

3

Cihaz
Teknolojisi

Cihaz Teknolojisi

Elektrik ve Radyasyon
Ölçümleri

3 Elektrik ve Radyasyon Ölçümleri

Satış Fiyatı
KDV
KDV'li SATIŞ FİYATI

15000
600000

TOPTAN SATIŞ

İstanbul Devlet Kitapları Müdürlüğü, Adana, Ankara, Elazığ,
Erzurum, İzmir, Samsun, Trabzon ve Van Bölge Şeflikleri.

PERAKENDE SATIŞ

Milli Eğitim Yayınevleri ve Bakanlık yayınları satıcısı kitapçılar.

1994



Hükümetimiz ile Dünya Bankası arasında imzalanan
anlaşma doğrultusunda Endüstriyel Okullar Projesi çerçevesinde
hazırlanan "Cihaz Teknolojisi 3 " adlı
kaynak kitap Millî Eğitim Bakanlığı, Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı'nın
3.3.1994 gün ve 2016 sayılı kararı ile 5000 adet bastırılmıştır.

Editör
Yrd.Doç.Dr. Ali Osman TAŞLICA
Çeviren
Yrd.Doç.Dr. Engin ERKMEN

Türkçe Düzenleme
Öğr.Gr. Fahri OLUKLULU

Teknik Düzenleme
Yrd.Doç.Dr. Necati MAHİR

© Yayın Hakkı, Butterworth & Co. (Publishers) Ltd. 1987
Türkçe yayın hakkı Millî Eğitim Bakanlığına aittir. 1994



İSTİKLÂL MARŞI

Korkma, sönmez bu şafaklarda yüzen al sancak,
Sönmeden yurdumun üstünde tüten en son ocak.
O benim milletimin yıldızıdır, parlayacak,
O benimdir, o benim milletimindir ancak.

Çatma, kurban olayım, çehreni ey nazlı hilâl!
Kahraman ırkıma bir gül! Ne bu şiddet, bu celâl!
Sana olmaz dökülen kanlarımız sonra helâl...
Hakkıdır, Hakk'a tapan, milletimin istiklâl!

Ben ezelden beridir hür yaşadım, hür yaşarım.
Hangi çılgın bana zincir vuracakmış? Şaşarım!
Kükremiş sel gibiyim, bendimi çiğner, aşarım.
Yurtarım dağları, enginlere sığmam, taşarım.

Garbın âfâkını sarmışsa çelik zırhlı duvar,
Benim iman dolu göğsüm gibi serhaddim var.
Ulusun, korkma! Nasıl böyle bir imanı boğar,
"Medeniyet!" dediğin tek dişi kalmış canavar?

Arkadaş! Yurduma alçakları uğratma, sakın.
Siper et gövdeni, dursun bu hayâsızca akın.
Doğacaktır sana va'dettiği günler Hakk'ın...
Kim bilir, belki yarın, belki yarından da yakın.

Bastığın yerleri "toprak!" diyerek geçme, tanı :
Düşün altındaki binlerce kefensiz yatanı.
Sen şehit oğlusun, incitme, yazıktır, atanı :
Verme, dünyaları alsan da, bu cennet vatanı.

Kim bu cennet vatanın uğruna olmaz ki fedâ?
Şühedâ fişkıracak toprağı sıksan, şühedâ!
Canı, cânânı, bütün varımı alsın da Huda,
Etmesin tek vatanından beni dünyada cüdâ.

Ruhumun senden, İlahi, şudur ancak emeli :
Değmesin mabedimin göğsüne nâmahrem eli.
Bu ezanlar-ki şahâdetleri dinin temeli-
Ebedî yurdumun üstünde benim inlemeli.

O zaman veod ile bin secde eder-varsa-taşım,
Her cerihâmdan, İlahi, boşanıp kanlı yaşım,
Fışkıır ruh-ı mücerred gibi yerden nâ'sım;
O zaman yükselerek arşa değer belki başım.

Dalgalar sen de şafaklar gibi ey şanlı hilâl!
Olsun artık dökülen kanlarımın hepsi helâl.
Ebediyen sana yok, ırkıma yok izmihlâl:
Hakkıdır, hür yaşamış, bayrağımın hürriyet;
Hakkıdır, Hakk'a tapan, milletimin istiklâl!

Mehmet Âkif ERSOY



ATATÜRK'ÜN GENÇLİĞE HİTABESİ

Ey Türk gençliği! Birinci vazifen, Türk istiklâlini, Türk cumhuriyetini, ilelebet, muhafaza ve müdafaa etmektir.

Mevcudiyetinin ve istikbalinin yegâne temeli budur. Bu temel, senin, en kıymetli hazinendir. İstikbalde dahi, seni, bu hazineden, mahrum etmek isteyecek, dahilî ve haricî, bedhahların olacaktır. Bir gün, istiklâl ve cumhuriyeti müdafaa mecburiyetine düşersen, vazifeye atılmak için, içinde bulunacağın vaziyetin imkân ve şeraitini düşünmeyeceksin! Bu imkân ve şerait, çok nâmûsait bir mahiyette tezahür edebilir. İstiklâl ve cumhuriyetine kastedecek düşmanlar, bütün dünyada emsali görülmemiş bir galibiyetin mümessili olabilirler. Cebren ve hile ile aziz vatanın, bütün kaleleri zapt edilmiş, bütün tersanelerine girilmiş, bütün orduları dağıtılmış ve memleketin her köşesi bilfiil işgal edilmiş olabilir. Bütün bu şeraitten daha elîm ve daha vahim olmak üzere, memleketin dahilinde, iktidara sahip olanlar gaflet ve dalâlet ve hattâ hıyanet içinde bulunabilirler. Hattâ bu iktidar sahipleri şahsî menfaatlerini, müstevlilerin siyasî emelleriyle tevhid edebilirler. Millet, fakr u zaruret içinde harap ve bîtap düşmüş olabilir.

Ey Türk istikbalinin evlâdı! İşte, bu ahval ve şerait içinde dahi, vazifen; Türk istiklâl ve cumhuriyetini kurtarmaktır! Muhtağ olduğun kudret, damarlarındaki asîl kanda, mevcuttur!

Bilgi çağına girerken bütün ülkelerin üzerinde önemle durdukları ve gide-
rek daha fazla kaynak ayırdıkları sektör eğitimidir. Bilim ve teknolojiadaki geliş-
melere paralel olarak eğitimde kaliteyi yükseltmek, gençlerimize ileri sanayi
toplumunun gerektirdiği bilgi, beceri ve davranışları kazandırmak Millî Eğiti-
mimizin temel amaçlarından biridir.

Ülkemizde; ekonomik, sosyal ve kültürel alanlarda olduğu gibi, sanayi
alanında da önemli gelişmeler olmaktadır. Nitelikli insangücü ihtiyacının gide-
rek arttığı ülkemizde meslekî ve teknik eğitim büyük önem kazanmaktadır.

Bu alandaki ihtiyacı karşılayabilmek için; çağdaş bilim ve teknolojik me-
todları bilen, yorumlayan, kullanan, geliştiren ve alanındaki yeniliklere uyum
sağlayan, üretken teknik insangücünün yetiştirilmesi gerekmektedir. Bu konu-
da, teknik öğretim kurumlarımıza büyük iş düşmektedir.

Bu kurumlarımızdaki öğrencilerin iyi yetismeleri için devletimiz her türlü
desteği sağlamakta ve Hükümetimiz ile Dünya Bankası arasında imzalanan
İkraz Anlaşmasıyla yürütülen Endüstriyel Okullar Projesiyle bu okullarımız,
çağdaş eğitim imkanlarına kavuşturulmaktadır. Bu okullarımızda çeşitli mes-
lek alanlarında ihtiyaç duyulan 42 adet yabancı teknik ders kitabının tercüme
haklarının satın alınması, basım ve dağıtımlarının yapılarak öğrenci ve öğret-
menlerimizin istifadesine sunulması, bu proje kapsamında yürütülen faaliyet-
lerden biridir.

Eğitim ve kültür düzeyleri yüksek, elisen teknolojiye uyum sağlayabilen
toplumlar, geleceğin dünyasının şekillenmesinde önemli rol oynayacaklardır.

Bu ve benzeri çalışmaların ülkemiz için yararlı olmasını diliyorum.

Nevzat AYAZ

Millî Eğitim Bakanı

ÖNSÖZ

Varlıklarını sürdürmek isteyen toplumlar, kalkınmanın gerektirdiği sayıda nitelikli insan gücünü yetiştirmek için eğitime değer vermek ve ona bilimsel ve teknolojik bir nitelik kazandırmak mecburiyetindedirler.

Eğitim, Cumhuriyetin kuruluşundan beri ülkemizde yenileşme aracı olarak görülmüştür. Bugün Eğitim Sistemimiz, bilim çağına girilen dünyamızda, toplumumuzun büyüyen ve çeşitlenen ihtiyaçlarına cevap vermede bir takım problemlerle karşı karşıyadır.

Eğitimle ilgili problemlerin çözümünde, yeni yöntemler, teknikler ve araçlar geliştirmek için araştırmalar yapmak, ayrıca daha önce yapılmış araştırmalar sonucu geliştirilen bilgi ve teknolojiyi ülkemize getirmek zorundayız.

Eğitime ayrılacak finansman kaynaklarının sınırlı olması, ülkemizi, genel bütçe dışındaki imkanlardan faydalanmaya zorlamaktadır. Devletimiz bu imkanları araştırmış, mesleki ve teknik öğretim kurumlarımızın bilim ve teknolojiye meydana gelen gelişmelere paralel olarak modernleştirilmesi için Uluslararası İmar ve Kalkınma Bankası (Dünya Bankası - IBRD) ile yapılan İkraz Anlaşmasıyla Endüstriyel Okullar Projesi uygulamaya konulmuştur.

Bu projenin amaçları; Endüstriyel Okulların yeni teknoloji ürünü makina ve teçhizatla donatılarak yenilenmesi, çeşitli meslek alanlarında müfredat programlarının geliştirilmesi, burslar ve yurt dışından danışman temin edilmesi yoluyla öğretmenlerimizin eğitilmesi ve çeşitli meslek alanlarında ders kitaplarının tercüme ve yayın haklarının satın alınarak Eğitim Sistemimize kazandırılmasıdır.

Proje ile belirlenen hedeflere büyük ölçüde ulaşılmıştır. Projenin amaçlarından biri olan çeşitli meslek alanlarında (Hidrolik-Pnömatik, Soğutma ve İklimlendirme, CNC, Döküm, Elektronik, Bilgisayar, PLC ve Metal İşleri) teknik ders kitapları, uzmanlardan kurulu komisyonlarca seçilmiş ve tercüme edilerek yayımlanmıştır.

Büyük kaynak ve emek harcayarak Eğitim Sistemimize kazandırdığımız kitapların öğretmen ve öğrencilerimize faydalı olmasını dilerim.

Salih ÇELİK
Projeler Koordinasyon
Kurulu Başkanı

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ

YARDIMCILAR

KISALTMALAR

1. ELEKTRİKSEL ÖLÇÜLERİ

1.1 Elektriksel Ölçümlerin Birim ve Standartları.....	1
1.1.1 SI (Uluslararası Sistem) Elektriksel Birimler	1
1.1.2 SI Temel Birimlerin Gerçekleştirilmesi.....	2
1.1.3 Ulusal Birincil (Primery) Standartları.....	3
1.1.3.1 Standart Hücreler	7
1.1.3.2 Josephson Etkisine Göre, Mutlak Değerdeki Ulusal Voltaj Standartlarının Kontrol Edilmesi.....	8
1.1.3.3 Standart Dirençler.....	10
1.1.3.4 OHM'un Mutlak Olarak Belirlenmesi	10
1.2 Doğru (d.c.) ve Alternatif (a.c.) Akım ve Gerilimin, Gösterici Cihazlarla Ölçülmesi	13
1.2.1 Kalıcı Mıknatıs-Hareketli Bobin Cihazları.....	13
1.2.1.1 Aralık Genişlemesi	17
1.2.1.2 Kalıcı Mıknatıs-Hareketli Bobin Cihazlarının Karakteristikleri	19
1.2.1.3 Hareketli - Bobin Cihazlarını Kullanarak Alternatif Akım (a.c.) Gerilimi ve Akım Ölçmeleri	19
1.2.1.4 Multimetreler	22
1.2.1.5 Elektronik Multimetreler	24
1.2.2 Hareketli-Demir Cihazları	26
1.2.3 Akım ve Voltaj Transformatörleri Kullanmak Suretiyle A.C. Menzil Genişlemesi	29
1.2.4 Dinamometre Cihazları	33
1.2.5 Termokupl Cihazları.....	35
1.2.6 Elektrostatik Cihazlar	35
1.3 Sayısal Voltmetreler ve Sayısal Multimetreler.....	37
1.3.1 Analog-Sayısal Dönüşüm Teknikleri	37
1.3.1.1 Ardışık-Yaklaşım ADC'leri	38

	Sayfa
1.3.1.2 İkili-Rampa ADC'leri	40
1.3.1.3 Darbe-Genişliği ADC'leri	44
1.3.1.4 ADC'lerden Gerilim Referansları	46
1.3.2 DVM ve DMM'lerdeki Elemanlar	47
1.3.2.1. D.C. Giriş Kademeleri ve Korunması	47
1.3.2.2 a.c. / d.c. Dönüşümü	50
1.3.2.3 Direnç ve Akım Ölçümleri	53
1.3.2.4 Kontrol ve Ölçüm Sonrası Bilgisayar İmkanları	53
1.3.2.5 Çıkış	54
1.3.3 DVM ve DMM Özellikleri	54
1.4 Güç Ölçümleri	56
1.4.1 Güç Ölçümünde Üç-Voltmetre Metodu	57
1.4.2 Direk Gösterimli Analog Watmetreler	58
1.4.3 Watmetrelerin Bağlanması	62
1.4.4 Üç-Faz Güç Ölçülmesi	64
1.4.5 Elektronik Watmetreler	67
1.4.6 Yüksek-Frekans Güç Ölçümü	72
1.5 Elektrik Enerjisinin Ölçülmesi	74
1.6 Güç-Faktörü Ölçülmesi	76
1.7 Direnç, Kapasitans (Sığa) ve Endüktans Ölçümleri	78
1.7.1 D.C. Köprü Ölçümleri	78
1.7.1.1 Düşük-Direnç Ölçümleri	83
1.7.1.2 Yüksek-Direnç Ölçümleri	84
1.7.2 Dirençlerin Kapasitör ve İndüktörlerin A. C. Eşdeğer Devreleri	85
1.7.3 Dört-Kollu A.C. Köprü Ölçümleri	89
1.7.3.1 A.C. Köprülerindeki Dağınık Empedanslar	92
1.7.4 Değiştiricili Oran Köprüleri	94
1.7.4.1 Köprü Düzenlemeleri	97
1.7.4.2 Dağınık Empedansların İndüktif Bağlantılı Köprülerin Denge Koşulu Üzerine Olan Etkisi	100
1.7.4.3 Dengesiz Bir Durumda İndüktif Bağlantılı Köprülerin Kullanılması	101
1.7.4.4 Oto Dengeleyici Oran Köprüleri	102

	Sayfa
1.7.5 Yüksek-Frekans Empedans Ölçümü	104
1.8 Sayısal Frekans ve Periyod/Zaman- Aralığı Ölçümleri	108
1.8.1 Frekans Sayıcıları ve Üniversal Kronometre Sayıcılar	111
1.8.2 Zaman-Aralığı Ortalaması	120
1.8.3 Mikrodalga-Frekans Ölçümleri	12
1.9 Osiloskop Kullanarak Frekans ve Faz Ölçümü	124
2. OPTİK ÖLÇÜMLER	126
2.1 Giriş	126
2.2 Işık Kaynakları	127
2.2.1 Akkor Lambalar	128
2.2.1.1 Kullanımı Üzerine Notlar	130
2.2.2 Deşarj Lambaları	130
2.2.2.1 Döteryum Lambaları	130
2.2.2.2 Yoğun Kaynak Lambaları	131
2.2.3 Elektronik Kaynaklar: Işık Yanan Diyodlar	131
2.2.4 Lazerler	132
2.2.4.1 Lazer Güvenliği	133
2.3 Algılayıcılar (Dedektörler)	133
2.3.1 Fotoçoğaltıcılar	134
2.3.2 Fotogerilim (Photovoltaic) ve Fotoiletken (Photoconductive) Algılayıcılar (Photodiodes)	136
2.3.2.1 Basit Fotogerilim Algılayıcıları	136
2.3.2.2 Slikon Diyodu	139
2.3.3 Piroelektrik Algılayıcıları	139
2.3.4 Dizilim Algılayıcıları	140
2.4 Algılayıcı Teknikleri	142
2.4.1 Algılayıcı Devresi Zaman Sabitleri	143
2.4.2 Algılayıcı Soğutması	144
2.4.3 Işın Kesme ve Faz-Hassasiyetli Algılama	144
2.4.4 Otokutu (Boxcar) Algılayıcıları	146
2.4.5 Foton Sayımı	148
2.5 Şiddet Ölçümleri	148
2.5.1 Fotometreler	149
2.5.2 Mor-Ötesi Işık Şiddeti Ölçümleri	151

	Sayfa
2.5.3 Renk-Sıcaklık Ölçerler	151
2.6 Dalga Boyu ve Renk	152
2.6.1 Spektrofotometreler	156
2.6.2 Spektroradyometreler	156
2.6.3 Renk Ölçümü	159
2.6.3.1 Prensipler	159
2.7 Optik Özelliklerin Ölçülmesi	161
2.7.1. Refraktometreler	161
2.7.1.1 Abbé Refraktometresi	162
2.7.1.2 Abbé Refraktometresinin Geliştirilmiş Biçimi	164
2.7.1.3 Katı Numunelerin Refraktometre İşlemi	164
2.7.1.4 Düzensiz Şekildeki Katılar	166
2.7.2 Polarimetre	166
2.7.2.1 Laurent Polarimetresi	168
2.7.2.2 Faraday-Etkisi Polarimetresi	169
2.8 Isısal Görüntüleme Teknikleri	170
3. NÜKLEER CİHAZ TEKNOLOJİSİ	174
3.1 Giriş	174
3.1.1 Sayım İstatistiği	174
3.1.1.1 Rastgele Olmayan Hatalar	177
3.1.1.2 Radyoaktif Bozunma	178
3.1.2 Algılayıcıların Sınıflandırılması	179
3.1.2.1 Gaz Algılayıcıları	180
3.1.2.2 Işıltı Sayaçları	180
3.1.2.3 Cherenkov Algılayıcıları	180
3.1.2.4 Katı-Hal Algılayıcıları	180
3.1.2.5 Bulut Odaları	180
3.1.2.6 Plastik Film Algılayıcıları	181
3.1.2.7 Termoluminesan Algılayıcılar	181
3.1.2.8 TL. Dozimetresi İçin Malzemeler	181
3.1.3 Sağlık ve Emniyet	182
3.2 Algılayıcılar	184
3.2.1 Gaz Algılayıcıları	184

	Sayfa
3.2.1.1 Geiger - Müller Algılayıcıları	186
3.2.2 Işıltı Algılayıcıları	186
3.2.2.1 İnorganik Işıltıcılar	190
3.2.2.2 Organik Işıltıcılar	193
3.2.2.3 Yüklenmiş Organik Işıltıcılar	193
3.2.2.4 Plastik Işıltıcılar	194
3.2.2.5 Işıltılı İyon-Değişim Biçimleri	195
3.2.2.6 Akış Hücreleri	195
3.2.2.7 Fotoçoğaltıcılar	195
3.2.3 Katı-Hal (Yarı - İletken) Algılayıcıları	196
3.2.4 Algılayıcı Uygulamaları	199
3.2.4.1 Alfa - algılayıcı sistemleri	202
3.2.4.2 Beta parçacıklarının algılanması	205
3.2.4.3 Gama - ışınlarının algılanması (100 keV nin üzerinde) İyonlaşma Odaları	208
3.2.4.4 Nötron Algılanması	211
3.3 Elektronik	217
3.3.1 Elektronik Montajlar	217
3.3.2 Güç beslemeleri	218
3.3.2.1 Yüksek gerilim güç beslemesi	221
3.3.3 Yükselticiler	221
3.3.3.1 Ön yükselticiler	221
3.3.4 Ölçekleyiciler	221
3.3.5 Darbe - Yüksekliği Analiz Cihazları	222
3.3.6 Özel elektronik üniteler	
3.3.6.1 Dinod Direnç Zincirleri	225
3.3.6.2 Katkı maddeleri/karıştırıcılar	226
3.3.6.3 Dengeleme üniteleri	227
3.3.6.4 Çakışma ve ters-çakışma devreleri	227
4. NÜKLEER TEKNİK KULLANARAK YAPILAN ÖLÇÜMLER	230
4.1 Giriş	230
4.1.1 Radyoaktivite Ölçme Bağıntıları	232
4.1.2 Optimum Ölçme Zamanı	234

	Sayfa
4.1.3 Doğruluk / Ölçümlerdeki Kesinlik	235
4.1.4 Tanklarda Taşınan Sıvıların Ölçümleri	236
4.2 Malzeme Analizi	237
4.2.1 Aktivasyon Analizi	238
4.2.2 X - Işınları Floresan Analizi	239
4.2.2.1 Dağıtıcı X-Işınları Floresan Analizi	239
4.2.2.2 X-Işınları Floresan Analizi (Dağılmayan)	241
4.2.3 Nötronlar Sayesinde Nem Ölçümü	243
4.2.3.1 Nötron-nem ölçerlerin kalibrasyonu	247
4.2.4 Sıvı Hidrokarbonların Kükürt Miktarının Ölçülmesi	247
4.2.5 Radyo-İzotop Kalsiyum Monitörü	249
4.2.6 Yıpranma ve Aşınma	251
4.2.7 Kaçak Ölçülmesi	251
4.3 Mekanik Ölçümler	252
4.3.1 Seviye Ölçümleri	252
4.3.1.1 X veya gama ışınları kullanarak	252
4.3.1.2 Nötronların kullanımı	254
4.3.2 Akış Ölçümü	255
4.3.2.1 Seyreltme yöntemi	255
4.3.2.2 Saplama metodu	255
4.3.3 Kütle ve Kalınlık	255
4.3.3.1 Kütle, birim alandaki kütle ve kalınlık ölçümleri	255
4.3.3.2 kaplama kalınlığının ölçülmesi	257
4.4 Karışık Ölçümler	261
4.4.1 Saha-Tarama Cihazları	261
4.4.1.1 Kara - esaslı radyometrik taramalar	262
4.4.1.2 Denizaltı taramaları	262
4.4.2 Arkeolojik veya Jeolojik Numunelerin Yaş Belirlenmesi	263
4.4.2.1 Orantılı gaz veya sıvı ışıltı sayım ile radyokarbon yaş tayini	263
4.4.3 Statik Eleme	267
5 TAHRİBATSIZ MUAYENE	268
5.1 Giriş	268

	Sayfa
5.2 Gözle Muayene	269
5.3 Yüzey-Kontrol Metodları	272
5.3.1 Gözleme Teknikleri	272
5.3.2 Manyetik akı Metodu	273
5.3.2.1 Manyetik Metotlar	273
5.3.2.2 Akı Kaçağı Belirlenmesi	274
5.3.2.3 Potansiyel Düşme Teknikleri	275
5.3.4 Eddy-Akımı Testleri	276
5.3.4.1 Eddy-Akımı Teknik Donanımı	277
5.4 Ültrason	279
5.4.1 Ültrason Genel Prensipleri	279
5.4.2 Ültrasonik Test Donanım Kontrolları ve Görüntü Sunumları	284
5.4.3 Prob Yapımı	288
5.4.4 Ültrasonik Spektroskopi Teknikleri	290
5.4.5 Ültrasonik Spektroskopinin Uygulanması	293
5.4.5.1 Dönüştürücü Tepkisi	293
5.4.5.2 Mikroyapı	294
5.4.5.3 Hata Geometrisi Analizi	294
5.4.6 Otomatik Ültrason Testi	297
5.4.7 Akustik Yayınım	298
5.5 Radyografi	300
5.5.1 Gama-Işınları	300
5.5.2 X-Işınları	303
5.5.3 Hassasiyet ve IQI	304
5.5.3.1 Tel Tipli IQI	306
5.5.4 Xerography	308
5.5.5 Floroskopik ve Görüntü Sıkıştırma (Şiddetlendirme) Metodları	309
5.6 Su Altı Tahribatsız Muayene	312
5.6.1 Dalarak Yapılan Çalışmalar ve Haberleşme	313
5.6.2 Göz ile Muayene	314
5.6.3 Fotoğraf Tekniği	314
5.6.4 Manyetik Parçacık İzlemesi (MPI)	315

	Sayfa
5.6.5 Ultrason.....	316
5.6.6 Korozyon Korunması.....	317
5.6.7 Diğer Tahribatsız-Muayene Teknikleri.....	317
5.6.7.1 Eddy Akımı.....	318
5.6.7.2 A.C. Potansiyel Farkı (AC/PD).....	318
5.6.7.3 Hacimsel Ultrason Taraması.....	319
5.6.7.4 Akustik Yayma.....	320
5.7 Gelişmeler	320
5.8 Personelin Yetkilendirilmesi	322
EKLER 5.1: ÜLTRASONİK MUAYENEDE TEMEL STANDARTLAR.....	324
6. GÜRÜLTÜ ÖLÇÜMLERİ.....	327
6.1. Ses ve Ses Alanları	327
6.1.1 Sesin Tabiatı	327
6.1.2 Bir Ses Kaynağını Veya Ses Alanını Belirleyen Büyüklükler.....	329
6.1.3 Ses Dalgalarının Yayılma Hızı.....	330
6.1.4 İlgiilenilen Büyüklüklerin Seçimi.....	331
6.1.4.1 Gürültünün İnsanoğlu Üzerindeki Etkisini Belirlemek İçin Yapılan Ölçümler	331
6.1.4.2 Mühendislik Tasarımı İçin Ölçümler Veya Gürültü-Kontrol Kararları.....	332
6.1.4.3 Gürültü İşaretleşme.....	332
6.1.4.4 Teşhis Amacı İle Yapılan Ölçmeler	332
6.2 Ses-Basınç Seviyesi Ölçümleri İçin Teçhizat	333
6.2.1 Mikrofonlar	333
6.2.1.1 Yoğunlaştırma Mikrofonu.....	334
6.2.1.2 Elektret Mikrofonu	338
6.2.1.3 Alçak Frekans Çalışması İçin Mikrofonlar.....	338
6.2.2 Frekans Süzücü Şebekeler ve Filtreler.....	339
6.2.3 Ses Seviye Ölçerleri	340
6.2.3.1 Tümüleyici Ses-Seviye Ölçerleri	343
6.2.3.2 İstatiksel Ses-Seviye Ölçerleri	344
6.2.4 Gürültü-Pozlama Metreleri/Gürültü Dozu Ölçerleri.....	346
6.2.5 Akustik Kalibrasyon Cihazları	347

	Sayfa
6.3 Frekans Analiz Cihazları.....	350
6.3.1 Oktav Bandı Analiz Cihazları.....	350
6.3.2 Üçüncü Oktav Analiz Cihazları	351
6.3.3 Dar-Band Analiz-Cihazları	353
6.3.4 Hızlı Fourier Transformasyonu Analiz Cihazları.....	354
6.4 Kayıt Cihazları.....	357
6.4.1 Seviye Kayıt Edicileri.....	357
6.4.2 X-Y Çizicileri	357
6.4.3 Sayısal Geçiş Kayıt Cihazları	357
6.4.4 Teyp Kayıt Cihazları	357
6.5 Ses-Şiddet Analiz Cihazları	358
6.6 Ölçme Cihazlarının Kalibrasyonları.....	359
6.6.1 Resmi Kalibrasyon	359
6.6.2 Saha Kalibrasyonu.....	360
6.6.3 Sistem Kalibrasyonu	361
6.6.4 Saha Sistem Kalibrasyonu	361
6.7 Ses-Basınç Seviyesi ve Ses Seviyesi Ölçümleri	361
6.7.1 Zaman Ortalaması.....	362
6.7.2 Uzun Zaman Ortalaması	363
6.7.3 İstatiksel Dağılım ve Yüzdeler.....	364
6.7.4 Uzay Ortalaması	364
6.7.5 Ses Gücünün Belirlenmesi.....	365
6.7.6 Ses-Şiddet Yoluyla Ses-Gücünün Ölçülmesi	367
6.8 Çevresel Koşulların Ölçmelere Olan Etkisi	367
6.8.2 Nem ve Yağmur.....	368
6.8.3 Rüzgar	368
6.8.4 Diğer Gürültüler	369
KAYNAKLAR	374
İNDEKS	382

ÖNSÖZ

Bu cildin içeriği, önceki baskılarına göre önemli değişiklikleri kapsamaktadır. E.B. Jones, özellikle proses kontrol için gereken donanım üzerinde önemle durmaktadır. 1. cildin, önsözünde belirtildiği gibi, bu gözden geçirilmiş baskıda, daha geniş olarak ölçüm tekniklerine yer verilmesi uygun görülmüştür. Bu teknikler direk olarak kullanılabilseler bile (Nükleer yöntemler hariç), hepsi teknolojiye önemli bir yere sahip olup, bu konuda bilgi sahibi olmak isteyen herkes için önem taşır. Bu açıdan, E.B.J. nin, ilave kısımları, onaylayacağını ümit ediyorum.

Ciltte, bulunan konular çeşitlidirler. Kitap sadece 'çeşitlemeler' şeklinde de isimlendirilebilirdi. Hernekadar seçilen başlık, birleştirici bir semsiye rolünü üstlenmekteyse de, konuların içerdiği fiziki manayı uygulanma yöntemlerine göre daha fazla taşımaktadır. Anlatılan konuların bir kısmı laboratuvar, bir kısmı arazi, bir bölümü fabrika, küçük bir kısmı da araştırmada kullanılabilirler.

Elektriksel ölçümler temel konulardır. Dolayısıyla bunlar daha kökten bir biçimde temel prensipler verilmek suretiyle, cihazların tanımından ziyade ele alınmışlardır. Zamanın, frekansla beraber ölçümü, özellikle incelenmiştir. Birçok zaman ölçümleri (ve oranı yükselmektedir) doğal olarak bir elektrik başlığı altında anlatılmaktadır, fakat tam kapsamlı bir değerlendirmede, mekanik cihazların da anlatılması gerekmektedir; fakat bu duruma, çok özel olduğu için değinilmemiştir.

Optik cihazlar konusunda, mikroskop, fotoğraf makinesi gibi esasen görüntü üretmek için kullanılan aletleri konu dışında tuttuk. Bunlar da özel konular kapsamına girmektedir. Bütün bu ayıklamalara rağmen bir bölüm için işlenen çok malzeme vardır. Bu araştırmada, bu materyal in toplanmasının luzumlu olacağı kanısındayız.

Tahribatsız muayene, gün geçtikçe önemi artan bir konudur. Emniyet ve güvenilirlik için kalite kontrol ve planlaması bu konuyla yakından ilgilidir. Bu konularda pekçok kitap yazılmış olup, burada biz ciddi bir öğrencinin bilmesi gereken geniş bir giriş tanımını vermekteyiz.

Radioaktif izotoplardan kaynaklanan, radyasyonun ölçülmesi Jones'un önceki baskılarında söylediği gibi iyi açıklanmış bir tekniktir. Buna ek olarak, gerektiği yerde, önceki materyali güncelleştirmek için, bu cilde radyasyonun nasıl ölçüldüğünü anlatan kısa, fakat sistematik olarak değerlendiren ayrı bir bölüm eklenmiştir. Böylece, bu konuların, uygulama bölümü içersine karışması önlenmiş olur. Gerçekten, radyasyon ölçüm teknikleri, sadece yerinde ölçüm ile sınırlı kalmamakla, daha geniş olarak uygulanagelmektedir.

Kitabın son bölümü "Gürültü" konusuyla ilgilenmektedir. Bu bölüm de, özel bir bölüm olarak düşünülebilir, fakat halkın sağlık ve rahatlık konularında artan ilgisi nedeniyle gittikçe önem kazanmaktadır. Ümit ediyoruz ki, parazit ölçüm teknikleri şeklinde bir giriş yapma, cihaz teknolojisi konusunun uygulama sahasını daha fazla yaygınlaştıracaktır.

Cihaz Teknolojisi ismindeki 4. cilt, çeşitli cihazlarda ortak olan, güvenlik ve bilgi kaydetme konularını içermektedir. Buna mukabil, birçok bakımdan, cihaz teknolojisi kitabının bölümleri, kendi başlarına bir bütün teşkil etmektedirler. Bu yaklaşım, 3. ciltte de devam etmektedir. Standartlar ve kalibrasyon konusu, bir bölüm için önemli olduğu zaman, bölüm içersinde tartışılmaktadır. Kaynakça, daha ileri konularda çalışmak isteyenler için ayrıca ilave edilmiştir. Yaygınlıkları konuyla ve konuya katkısı olan yazara bağlı olarak değişmektedir.

Gerçekten, önceki ciltlerin genel yapıları ve amaçları itibarıyla, cihaz teknolojisi konusunda büyük bir sahayı ele almaktayız. Kitaplarımız, endüstride çalışanlara bir başlangıç yapmak ve öğrenciler için hazırdırlar. Bir kitabın, özel bir inceleme için gereken şartlara ne derece haiz olduğu sorulabilir. Bir önceki önsözde de bahsedildiği üzere, cihaz teknolojisi, cihazlarda özelleşmek istemeyen, yüksek mühendis ve teknisyenler için düşünülmüştür. Buna karşılık, listede yazılan konularla sınırlı kalınması, kitabı biraz kısıtlamakta olup, ne yazık ki öğrenenin yazılı metinleri ezberlemek (ne kadar güzel yazılmış olurlarsa olsunlar), şeklinde yorumlanabilmesine, neden olabilmektedir.

Son olarak, yazarlara bu yararlı eserin ortaya çıkması için yaptıkları katkılardan ve editör-yazar iletişiminde gösterdikleri hoşgörüye teşekkür etmek kalıyor.

B.E.N.

1986

Yardımcılar

D Aliaga kelly, BSc, C Phys, MInstp, Amerikan Fizik derneği, MSRP, FSAS üye olup, Nuclear Enterprise Ltd şirketinden emekli olmuştur.

J Kuehn, F Inst Acoust, Bruel & Kjaer (UK) Ltd Şirketinin idari müdürüdür.

ML Sanderson, BSc, PhD. Akışkan Cihazı donanımı üzerine Cranfield Teknoloji Enstitüsünde okutmandır.

AWS Tarrant, BSc, PhD, CPhys, FInstp, FCIBSE Surrey Üniversitesinde optik mühendisliği araştırma gurubunun direktörüdür.

Tahribatsız muayene bölümü, Skotland Tahribatsız Muayene Okulundan, aşağıda isimleri verilen bir grup kişinin de katkısıyla hazırlanmıştır.

W Mc Ewan, BSc, CEng, MIMech E, Mweld Inst (Direktör)

G muir, BSc, MSc, MIM, MInst NDT, MWeld Inst, C Eng, FIQA

G Burns, BSc, PhD, AMIEE

R Service, MSc, MInst NDT, Mweld Inst, MIM, MICP, C Eng, FIQA

R Cumming, BSc, FIQA

A Mc Nab, BSc, PhD (Stratholyde Üniversitesi)

1. ELEKTRİKSEL ÖLÇÜMLER

M.L. SANDERSON

1.1. Elektriksel Ölçümlerin Birim ve Standartları

1.1.1. SI (Uluslararası Sistem) Elektriksel Birimler

Amper (A):

Elektrik birimi amper (A), SI sisteminin temel birimidir. (Goldman ve Bell, 1982, Bailey, 1982). 1948 yılında toplanan, 9. Genel Ağırlık ve Ölçü Birimleri Konferansında (CEPM), Amper aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır: boşlukta aralarında 1 m mesafe bulunan, sonsuz uzunlukta ve kesiti ihmal edilebilir iki paralel iletken arasında metre uzunluk başına 2×10^{-7} Newton'a eşit bir kuvvet oluşturmaları için geçecek sabit akımdır. Kuvvet / Birim uzunluk, (F / l), bu durumda aralarında d mesafesi olan ve IA akımı geçen her bir iletken için:

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I^2}{2\pi d} \text{ formülü ile ifade edilebilir. Bu denklemde, } \mu_0 \text{ boşluğun,}$$

geçirgenlik katsayısını simgelemektedir ve değeri $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \left(\frac{\text{Gauss}}{\text{Oersted}} \right)$

'dir. Türetilen SI elektriksel birimler aşağıda açıklanmışlardır.

Volt (v), potansiyel farkı ve elektromotor kuvvet birimidir; 1 Amperlik, sabit akım taşıyan bir iletkenin iki ucu arasında, güç 1 watt olduğu zaman meydana gelen potansiyel farkıdır.

Ohm (Ω), elektrik direncinin birimi olup elektromotor kuvvetin bulunmadığı bir iletkenin iki noktası arasına, 1 voltluk bir sabit potansiyel farkı uygulandığı zaman, iletkeninde oluşan akım 1A ise, meydana gelen elektrik direnci birimidir.

Kulomb (c), elektrik miktarı birimi olup, 1A lik bir akımla, 1 saniyede taşınan yüküdür.

Farad (F), 1 C luk elektrik yükü taşıyan, bir kondansatörün plâkaları arasında 1V potansiyel farkı olduğu zaman ölçülen değerdir.

Henry (H), Elektrik indüktans birimidir. 1 A/S sabit bir hızla değişen elektrik akımının kapalı bir devre içerisinde 1 V luk bir elektromotor kuvveti meydana getirdiği indüksiyon değeridir.

Weber (wb), manyetik akı birimi olup, bir sarımlık bir devrede, 1V luk bir elektromotor kuvvet, 1 s. lik bir hızla, sıfırlandığı zaman, oluşturulabilen akı değeridir.

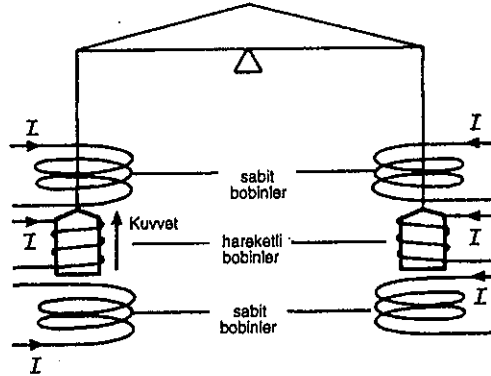
Tesla (T), $1 = \frac{wb}{m}$ ye karşılık gelen akı yoğunluğudur.

1.1.2. SI Temel Birimlerin Gerçekleştirilmesi

SI amper tanımlaması, fiziksel konumuna katkıda olabilecek bir anlam ifade etmemektedir. Amperin gerçekleşmesi, geleneksel olarak Ayrton-Jones akım dengesine göre ele alınmıştır. (Vigoureux, 1965, 1971). Verilen bir yönde, aynı I akımını taşıyan iki elektrik devresi arasındaki F_x kuvveti

$$F_x = I^2 \cdot \frac{dM}{dx} \quad \text{şeklinde formüle edilir.}$$

M iki devre arasında kalan indüktansdır. Akım dengesi içerisinde, akım taşıyan bobin arasındaki kuvvet, standart kütlelerle ölçülmüştür. Şekil 1.1'de, denge prensibi gösterilmektedir.



Şekil 1.1 : Akım Dengesi

Terazinin, iki adet asılmış bobini ve iki çift, içinden aynı akım geçen sabit bobini bulunmaktadır.

Eğer, alt ve üst sabit bobin çifti aynı yönde akım taşıyorsa, asılmış olan bobine hiçbir kuvvet etki etmez. Şayet sabit bobinlerdeki akımlar zıt yöndeyseler, asılı bobinde yukarı veya aşağı yönde kuvvet meydana gelir. F kuvveti bilinen m kütlesinin ağırlığıyla dengelenir.

$$mg = I^2 \cdot \frac{dM}{dx} \quad g : \text{yerçekimi ivmesidir.}$$

I, eğer $\frac{dM}{dx}$ bilindiği takdirde, kütle, uzunluk ve zaman birimleri cinsinden kesinlikle bulunabilir. $\frac{dM}{dx}$ sabit ve asılı bobinlerde yapılabilecek boyutsal ölçümler neticesinde hesaplanabilir. Akım yönündeki değişiklikler ve denge koşulunu sağlamak için gerekli kütlelerin ortalamasını almak, terazinin zıt kenarları arasındaki tesir kuvvetlerinin ve dış manyetik alanların etkisini elimine etmektir. Tipik olarak akım dengesini kullanarak, akımın elde edilmesinin doğruluk derecesi milyonda birkaç kısımdır, yani $1/10^6$ mertebelerindedir. Bu hata payının ana sebeplerinden bir tanesi, asılı bobinlerin kütleleriyle karşılaştırıldığı zaman, sabit bobinlerin oluşturduğu kuvvetin göreceli büyüklüğüdür. Amperin kesin olarak bulunmasını gerçekleştiren alternatif metodlar da tavsiye edilmiştir. Bu metodların birisi, protonların giromanyetik oranlarını, γ_p zayıf ve kuvvetli manyetik alan ölçümleriyle beraber kullanarak (Dix ve Bailey, 1975; Vigoureux, 1971) bulunmasını sağlar. Bir diğeri de, bir manyetik alan içerisinde olan bobin üzerindeki kuvvetin ölçülmesi ile birlikte, bobin aynı manyetik alan içerisinde hareket ettiği zaman indüklenen potansiyelin ölçülmesini kapsamaktadır.

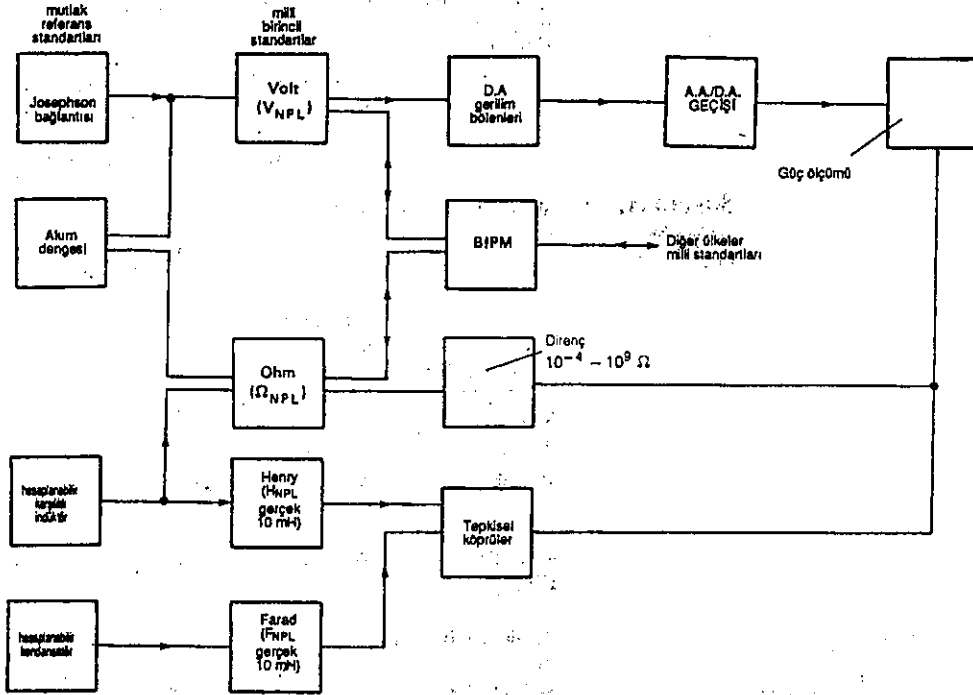
1.1.3. Ulusal Birincil (Primary) Standartlar

SI Amperin, akım dengesi yoluyla gerçekleştirilmesindeki hassasiyet, standart hücreler ve dirençlerin, ara karşılaştırılmalarının (intercomparison) hassasiyetinden daha düşük olduğundan ve ayrıca amperin gerçekleştirilmiş değerini de saklayabilmek zor olduğundan, birçok ulusal standart laboratuvarı, standart hücre bankaları ve dirençler kullanılmaktadır. Bu, ulusal standartların karşılaştırılmaları Fransa'da Sèvres şehrinde bulunan uluslararası Ağırlık ve Ölçü Birimleri (BIPM) bürosunda yapılmaktadır.

Şekil 1.2 (Dix ve Bailey'den alınmıştır, 1975), Ulusal Fizik Laboratuvarı (NPL) tarafından tutulmuş olan İngiliz (UK), birincil standartları göstermektedir. Bu şekil aynı zamanda, mutlak referans standartlarıyla, birincil standartlar arasındaki ilişkiyi, ayrıca ulusal alçak-frekans alternatif akım (a.c) standartları ve diğer ülkelerin birincil standartları arasındaki bağlantıyı da göstermektedir.

TABLO 1.1 : UK Doğruakım ve Alçak frekans Standartları
(Dix ve Bailey, 1975)

Mutlak referans standartları	Nasyonel Birincil standartlar	Diğer Milli Standart Cihazları
Josephson Bağlantı Sistemi (10^7 'de 1)	Satandart hücreler (3×10^8 'de 3)	Diesselhorst 1 horst Potansiyomet- resi (10^8 'de 1)
		Hücre karşıla- ştırma devresi (10^8 'de 1)
		D.C./A.C. termal iletim
		Elektrostatik Watmetre
		Elektrostatik Volt- metre
		Dinamometre Wat- metreleri
		İndüktif Bölücüler
		Kalibrelenmiş Yükler
	Standart 1Ω Dirençleri (10^7 'de 1)	Wheatstone Köp- rüsü (10^8 'de 1)
		Yüksek Akım köprüsü
		Elektronik Kaynaklar ve Amplifikatörler
		Yüksek direnç köprüsü
		Döner jeneratörler
		Akım karşılaştırıcısı (10^8 'de 1)
		Potansiyometre Akım-karşılaştı- rıcı potansiyon- metre
		Referans ölçme transformatörleri
		Monte edilmiş dirençler (10^8 'de 2)
		Standart dirençler 10^{-4} - $10^9 \Omega$
		Transformatör Ölçme sistemleri
		Standart Dirençler
		İndükleme Köprü- sü
		Standart İndük- törler $1\mu H$ - $10H$ (10^5 'de 2)
		Manyetik ölçümler. Geçirgen ölçüm Ci- hazı Titreşimli Bo- bin Manyetometresi
		L,C ve R için faz açısı satandartları
		Manyetik hassasiyet dengeci Epstein-manyetik ka- re-kayıp sistemi
		Sığa Köprüsü
		Lokal-kayıp test cihazı
Hesaplanmış Sığa $0.4pF$ (10^7 'de 2)	Standart Kondansatörler. $10pF$ (10^7 'de 2)	Standart Sığalar $10pF$ dan $1nF$ (5×10^{-7})
		Satandart sığalar $10nF$ 'den $1\mu F$
		Manyetik teyp kalibrasyonu



Şekil 1.2 : UK Ulusal Standartlar (Dix and Bailey, 1975)

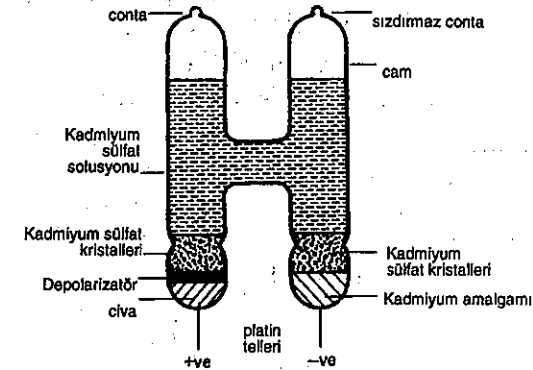
Tablo 1.1., U.K. milli doğru akım ve düşük frekans standartları aparatını vermektedir. NPL deki, radyo frekansı ve mikrodalga standartları, Tablo 1.2 de sıralanmıştır. (Steele et al, 1975). Milimetre altı dalga ölçümleri ve standartları Stone tarafından verilmişlerdir (1975). Elektrik standartları, başka memleketlerin ulusal laboratuvarlarında tutulan standartlara benzerdirler. Örneğin, Amerikada ki National Bureau of Standards (NES) ve Batı Almanyadaki, Physikalish Technische Bundesanstalt (PTB) enstitüsünde olduğu gibi...

TABLO 1.2 : UK rf (radyofrekansı) ve Mikrodalga Standartları
(Steele et al. 1975)

Büyüklik	Metod	FREKANS (GHz)	SEVİYE	Belirsizlik (95% emniyet payı)
(14) mm'lik eşeksenli (coaxial) hattaki güç	İkiz (Twin) kalorimetre	0-8.5	10-100mw	0.2-0.5 %
(7) mm lik, eşeksenli hattaki güç	İkiz (Twin) kalorimetre	0-18	10-100mw	Geliştirme halinde
WG16 (WR90) daki güç	Mikrokalori metre	9.0,10.0,12.4	10-100mw	0.2%
WG18 (WRG2) içindeki güç	Mikrokalori metre	13.5,15.0,17.5	10-100mw	0.2%
WG22 (WR28) içindeki güç	Mikrokalori metre	35	10-100mw	0.5%
WG26 (WR12) içindeki güç	İkiz kalorimetre	70	10 mw	0.8%
Sönüm 14mm lik eş eksenli hatta	w.b.c.o. piston w.b.c.o. piston	0.0306 0-8.5	0-120 dB 0-80 dB	0.002 dB 0.001 dB/10dB
Sönüm: WG 11A (WR229) WG 15 (WR112) WG 16 (WR90) WG 18 (WR62) WG 22 (WR28) WG 26 (WR12)	Modüle edilmiş alt taşıyıcı		0-100 dB	0.002 dB Alçak değerlerde 0.02 dB e kadar 100 dB de v.s.w.r.<1.05
Empedans	rf köprüsü	1×10^{-3}	10 μ s-1s	0.1 %
Bileşik iletkenlik	rf köprüsü	1×10^{-3}	1pF-10 μ F	0.1 %
Bileşik Kapasite	Woods köprüsü	5×10^{-3} -30 $\times 10^{-3}$	0-40 mS	0.1 % + 0.001mS
Eşeksenli Kapasite	Woods köprüsü	30×10^{-3} -200 $\times 10^{-3}$ 5×10^{-3}	0-40 pF	0.2 % + 0.001mS 0.1 % + 0.001pF
Parazit sıcaklığı 14 mm lik eşeksenli hatta	Termal	1-2	K	Yaklaşık 1.5 K
WG 10 (WR284) içinde	Termal	2.75, 3.0, 3.5	10 ⁴	aktarım
WG 14 (WR137) içinde	Termal	6.0, 7.0, 8.0	10 ⁴	standartları
WG 10 (WR90) içinde	Termal	9.0, 10.0, 11.2	10 ⁴	110 K ye kalibre edilmiştir
WG 10 (WR62) içinde	Termal	13.5, 15.0	10 ⁴	
WG 10 (WR28) içinde	Termal	35	10 ⁴	
WG 10 (WR229) içinde	Kriojenik		77	0.15 K aktarım
WG 10 (WR112) içinde	Kriojenik		77	standartları 0.6 K ye kalibre edilmiştir

1.1.3.1. Standart Hücreler

İngilterenin (UK), birincil gerilim standardı, 30 adet kadar Weston tipi doymuş civa-kadmiyum hücreleriyle sağlanmaktadır. Bir hücrenin yapısı şekil 1.3 te gösterilmektedir. Hücrenin elektrotları, civa ve civa-kadmiyum alaşımından meydana gelmektedir.



Şekil 1.3 : WESTON Standart Hücresi

Kadmiyum sülfat elektroliti, kadmiyum sülfat kristallerinin sayesinde, kullanım sıcaklığında doymuş halde bulunur. Elektrolitin pH derecesi, hücrenin elektromotor kuvvetinin (emf) kararlılığı üzerinde etkisi olup 1.4 ± 0.2 değerinde optimal bir değere sahiptir. (Froelich, 1974). Sülfat civası pastası, anot üzerinde kutup giderici (depolarizör) rolü oynar. Konstrüksiyonu ve bu tip hücrelerin bakımını, karakteristiklerini ve kullanımlarını ilgilendiren detaylar için, okuyucu kaynakçada açıklanan NBS monograflarına başvurulmalıdır.

Weston hücresi tarafından meydana getirilen emf (elektromotor) kuvvetin nominal değeri 20°C de 1.01865 V dur. Aynı malzemelerden, aynı zamanda teşekkül etmiş hücrelerin emf kuvvetleri birbirlerinden birkaç μ V farklı olur. Farklı zamanlarda üretilmiş hücrelerin emf leri arasında 10 μ V ile 20 μ V arasında bir fark olur. Bu hücrelerin kararlılığı yılda 10⁷ birkaç kısım mertebelerinde olabilir. Arka arkaya yapılan ölçümler suretiyle bunlar 10⁸ de birkaç kısım mertebelerinde karşılaştırılabilirler. Hücrenin iç direnci yaklaşık olarak 750 Ω kadardır.

Hücre elektromotor kuvvetinin, sıcaklıkla olan değişimi aşağıda verilen denklemle açıklanabilir.

$$V_T = V_{20} - 4.06 \times 10^{-5} (T - 20) - 9.07 \times 10^{-7} (T - 20)^2 + 6.6 \times 10^{-9} (T - 20)^3 - 1.5 \times 10^{-10} (T - 20)^4$$

Burada V_T bir hücrenin $T^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında emf kuvvetini ve V_{20} , 20°C de-ki emf kuvveti göstermektedir. 20°C deki küçük sıcaklık değişimleri için, hücre $40.6\mu\text{V}/\text{K}$ değerinde sıcaklık katsayısına sahiptir. Yüksek kararlılıkta, bir emf kuvveti sağlamak için, hücreleri termostatik olarak kontrol edilebilen bir muhafazada tutmak gerekmektedir. NPL'de, standart hücre kılıfı, 9 lu gruplardan oluşan 54 hücreyi kapsamaktadır.

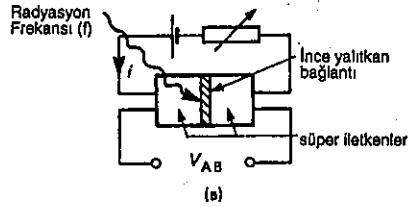
Bu gruplar, farklı bakır taşıyıcılarda bulunmaktadır. Taşıyıcılar $1\text{mK}/\text{h}$ değerinden daha iyi sıcaklık kararlılığına ve iki nokta arasında $5\mu\text{K}$ maksimum sıcaklık farkından daha iyi değerlere sahiptir.

Hücrelerin emf kuvvetleri bilgisayar kontrolundadır.

1.1.3.2. Josephson Etkisine Göre, Mutlak değerdeki Ulusal Voltaj Standartlarının Kontrol Edilmesi

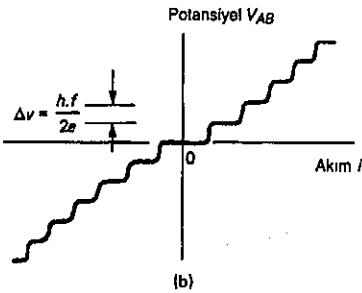
Hücrelerin karşılaştırılmaları, yüksek hassasiyetle yapılsa da, böylece birbirlerine göre yüksek kararlılığa sahip olan hücrelerin üretilebileceğini gösterse de, böyle ölçümler bu tip hücrelerin mutlak değerlerini garanti etmez. Josephson etkisi (Josephson 1962), günümüzde, hücre bankaları tarafından saklanan, ulusal gerilim standartlarının mutlak değerlerini kontrol etmek için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu etki, standart hücre tarafından taşınan gerilimi frekans'a (f) ve Josephson sabitine, $\frac{2e}{h}$ bağlamaktadır.

e : elektron üzerindeki yük değeri; h : Planck sabitidir. Şekil 1.4 de gösterilen, Josephson bağlantı etkisi, eğer iki süperiletken arasındaki, çok ince yalıt-



Şekil 1.4

a) Josephson bağlantı etkisi
b) Josephson bağlantısının gerilim / Akım karakteristiği



kan bağlantı radyo frekansı (rf) ile radyasyon altında bırakılırsa, o zaman, gerilim-akım ilişkisi, şekil 1.4-b de olduğu gibi, farklı basamak fonksiyonu göstermektedir. Bir voltaj basamağının büyüklüğü aşağıda verilmiştir.

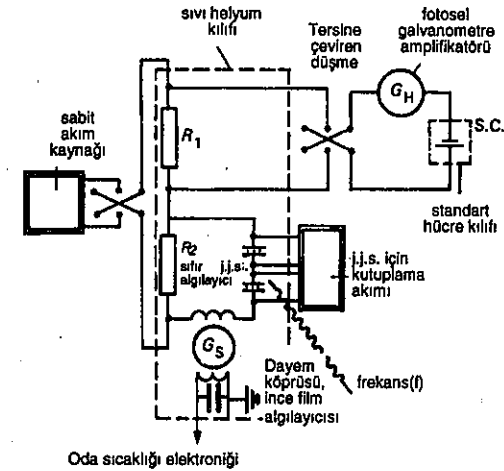
$$\Delta V = \frac{h}{2e} \cdot f$$

Dolayısıyla, gerilim, Josephson etkisi sayesinde, rf radyasyonunun frekansı ile ilişkilidir ve böylece temel zaman birimiyle de bağlantısı olur.

483594.0 GHz/V luk bir değer, Josephson sabiti $\frac{2e}{h}$ değerine, $\pm 5 \times 10^{-7}$ hata mertebesine denk gelir.

Yalıtkan bağlantı, birçok biçimlerde üretilebilir. En basit yöntemlerden bir tanesi, iki iletken arasında kuru bir lehim yerleştirmektir. 10 GHz lik bir ışınma frekansı için, gerilim basamakları yaklaşık olarak $20\mu\text{V}$ dur. Basamaklar arasındaki potansiyel farkını kullanmak suretiyle, birkaç milivolt mertebesinde kullanılabilir gerilim elde etmek mümkün olur.

Şekil 1.5, başka bir Josephson bağlantısının uygulanmasını göstermektedir. Bu bağlantıya süperiletken, kuantum interferometrik algılayıcı (squid) ismi verilmiş olup süperiletken potansiyometre içerisindeki algılayıcıdır. Bu teknik, Josephson bağlantısı emf kuvvetini, standart hücrenin emf kuvveti ile 10^{-7} doğruluk mertebesinde, karşılaştırılmasında kullanılır. Bu konuyla ilgili diğer detaylar (Dix ve Bailey 1975) de bulunabilir.



Şekil 1.5 : Josephson bağlantısını kullanarak gerilim karşılaştırma ünitesi (Dix ve Bailey den, 1975)

1.1.3.3. Standart Dirençler

Standart dirençlerin istenen özelliklerinin zamana göre kararlılık (stability), düşük dirençsel sıcaklık katsayısı ve farklı malzemelerle düşük termoelektrik emf etkileri göstermeleri şekilde sıralanabilir. UK (İngilterenin) ulusal birincil standart direnci bir grup standart 1Ω luk dirençler olup % 85 bakır, % 11 Manganez, ve % 4 Nikel den meydana gelmiştir. Dirençler yağ içersine batırılmışlardır. Böyle dirençlerle, 10⁷ de 1 kısım/sene mertebelerinde kararlılık elde edilebilir.

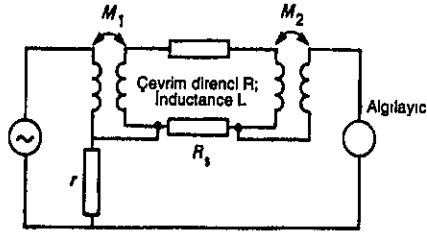
1.1.3.4. OHM'un Mutlak Olarak Belirlenmesi

Ohm, Cambell indüktörü sayesinde mutlak olarak tespit edilebilir. İndüktans, indüktörü meydana getiren bobinlerin geometrik ölçümleriyle belirlenebilir, (Rayner 1967). Şekil 1.6 da gösterildiği gibi böyle indüktörler Campbell köprüsünde kullandığı zaman, denge koşulları

$$R.r + \omega^2 . M_1 . M_2 = 0$$

$$M_1 . R_s = L.r$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 1.6 : Campbell Köprüsü

L çevrim endüktansı ve R de dirençtir. Dolayısıyla ilk denklem, R.r çarpımını, SI uzunluk ve zaman cinsinden belirlemek için kullanılabilir. R ve r dirençlerinin oranları, bir köprü tekniği kullanılarak bulunabilir ve böylece r mutlak olarak tespit edilebilir. Mutlak hesaplamaların hata payı 2 x 10⁻⁶ mertebesinde. Ohm'un mutlak belirlenmesini yapmak için, bir alternatif yöntem olan Thompson-Lampard hesaplanabilir kapasitans (sığa) metodu kullanır (Thompson ve Lampard, 1956).

Bu kapasitans, ışığın hızı ve birtek uzunluk ölçümünün bilinmesi suretiyle tespit edilebilir. Şimdi, komşu elektrodların küçük aralıklarla ayrıldığı şekil 1.7a'da gösterilen, simetrik kesite sahip silindirik yapıdaki bir elektrodu gözönüne alalım: Thompson ve Lampard, C₁ ve C₂ birim uzunluk başına çapraz kapasitansları aşağıda verilen denklemle göstermektedirler.

$$\exp\left(\frac{-\pi C_1}{\epsilon_0}\right) + \exp\left(\frac{-\pi C_2}{\epsilon_0}\right) = 1$$

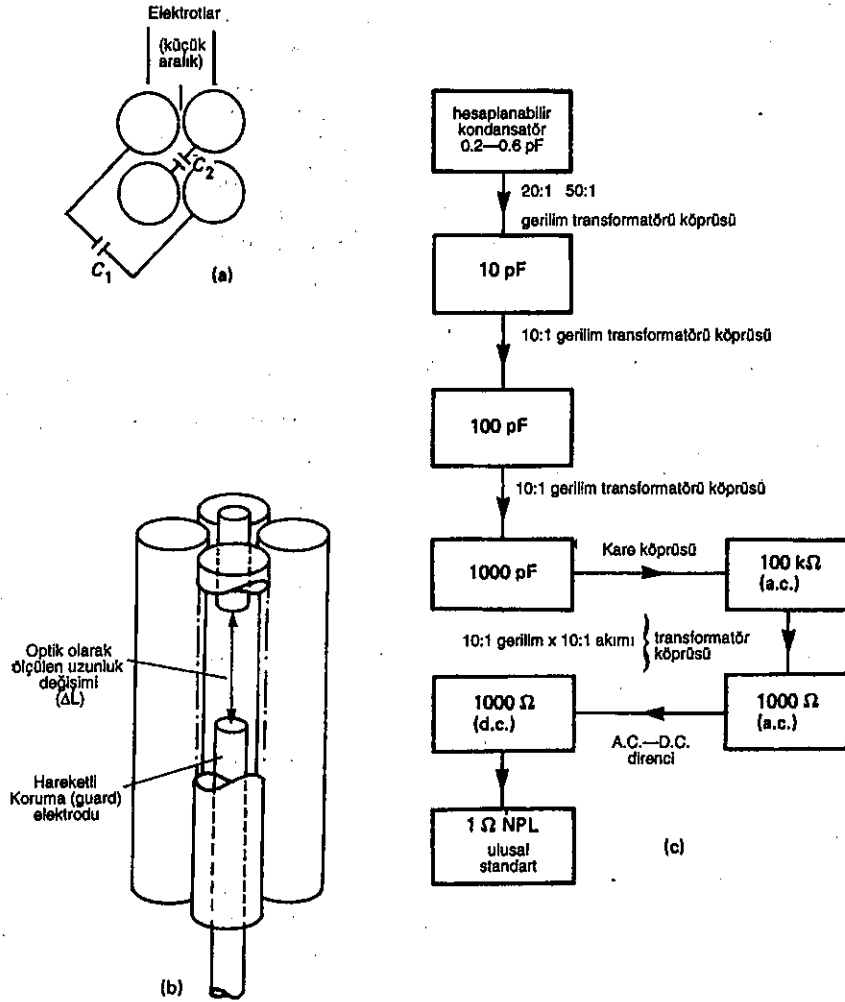
Simetriden dolayı C₁ = C₂ ve çapraz kapasitans (metre başına), C,

$$C = \frac{\epsilon_0 \log_e 2}{\pi} \text{ F/m, olarak bulunur.}$$

Işık hızı c, olarak verildiğinden $c^2 = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}$ ve tanım olarak μ_0 değeri

4π x 10⁻⁷ olduğundan, ışık hızı bilinirse, kapasitansın metre uzunluk başına değeri bulunabilir ve C = 1.9535485 pFm dir.

Şekil 1.7(b) de gösterildiği gibi, yeri, optik girişim tekniği ile belirlenebilen bir hareketli elektrot sayesinde kapasitansdaki değişimleri üretmek mümkün olabilir. Kapasitansdaki, değişim 10-pF lık standart kondansatör'ün kapasitansı ile karşılaştırılabilir ve dolayısıyla şekil 1.7c de gösterilen zincir yoluyla mukayese edilebilir. Bu yol ohm'un mutlak değerini belirlemek için kullanılmaktadır. Böyle bir işlemin doğruluk derecesi tipik olarak 1 x 10⁻⁷ mertebesinde.



Şekil 1.7: a) Thompson - Lampard Kondansatörün kesidi
b) Değişken Kondansatör
c) Thompson - Lampard Kondansatörü için karşılaştırma diyagramı

1.2 Doğru (d.c) ve Alternatif (a.c.) akım ve gerilimin, gösterici cihazlarla ölçülmesi

Doğru veya alternatif akım, ya da gerilimin analog gösterimini sağlayan en yaygın olarak kullanılan cihazlar, kalıcı mıknatıs-hareketli bobin veya hareketli demir ve dinamometre cihazlarıdır. Diğer gösterici cihazlar, termokupl ve elektrostatik cihazları kapsamaktadırlar. Elektrostatik cihazlar, iki yüklü plaka arasındaki çekim gücüne dayanmaktadır. Bu bölüm, böyle cihazların, temel çalışma ilkelerini vermektedir. Başka detaylar, Golding ve Widdis (1963), Harris (1966), Gregory (1973) ve Tagg (1974) de bulunabilir. Doğruluk derecesi ve tesir faktörlerinin, elektrik ölçer aletlerin ve aksesuarların üzerindeki etkileri BSI 89 : 1977 (British Standards Institution, 1977) kodlarında bulunmaktadır. Bu kodlar IEC 51 : 1973 e özdeşler.

1.2.1. Kalıcı Mıknatıs-Hareketli Bobin Cihazları

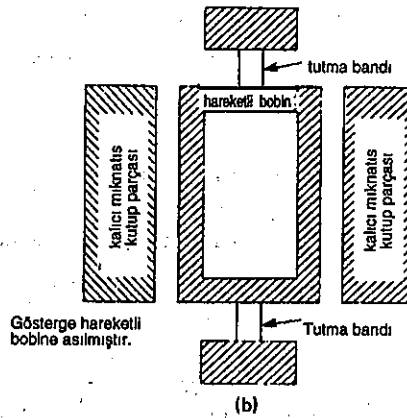
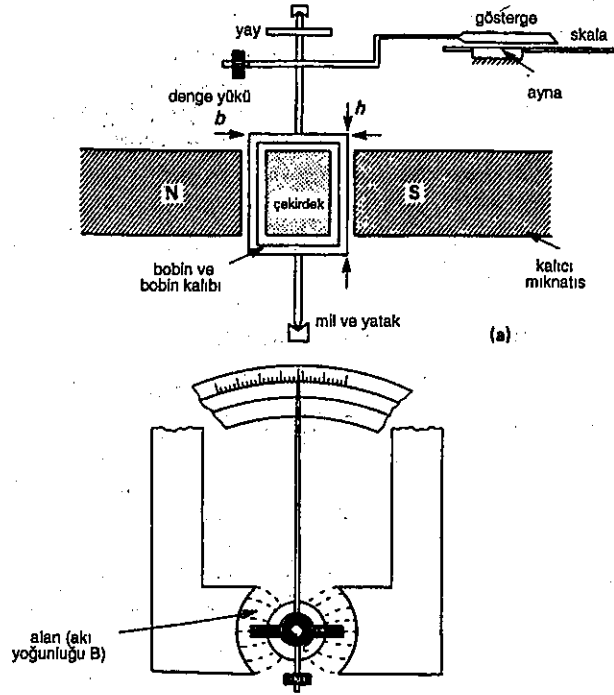
Kalıcı mıknatıs-hareketli bobin cihazları, Arsonval hareketli-bobin galvanometreleri prensibi üzerine kurulmuştur. Işık galvanometreleri, kalem, morötesi kaydedicilerinde kullanılmaktadır. Şekil 1.8(a) da, tipik bir cihazın modeli verilmektedir. Ölçülen akım, bakır veya alüminyumdan imal edilmiş yalıtılmış bir bobin şablonu üzerindeki, dikdörtgen bobin sargısından geçmektedir. Bu şekildeki sistem anafor akımlarının (Eddy-current) sönümünü sağlar.

Bobin, yumuşak demir ve yüksek gidergenlik (coercivity) özelliği olan Columax, Alcomax veya Alnico dan imal edilmiş, kalıcı mıknatıs arasında kalan boşlukta serbestçe hareket edebilmektedir. Akımın ve manyetik alanın etkisiyle oluşan burulmaya, kontrol yayları tarafından karşı gelinir. Bu yaylar genellikle düz veya helezonik fosfor-bronz yaylarıdır. Bunlar aynı zamanda akımın bobine gidiş yolunu teşkil ederler. Hareketin olduğu şaft yatakları, sentetik safir taşı ve gümüş çeliği veya paslanmaz çelikten imal edilmişlerdir. Alternatif destek imkanı, şekil 1.8(b) de gösterildiği gibi gergin bant askısıyla sağlanabilmektedir. Bu şekildeki avantaj taş ve milin sürtünme etkilerini ortadan kaldırır, fakat sistem şok yüklemelere daha hassas hale gelmektedir. İbre genellikle bıçak kenarı şeklinde olup, yüksek doğruluk mertebesinde çalışabilmesi için, parallaks (paralax) hatalarını azaltmak üzere, bir ayna ile beraber kullanılır.

Akı yoğunluğunun manyetik alanı ve i akımının etkileşmesi sonucu meydana gelen T_g burulması

$$T_g = N.B.h.b.i$$

formülü ile verilir.



Şekil 1.8 : a) Kalıcı mıknatıs-hareketli bobin cihazı elemanları
b) Gergin bant asma sistemi

Burada h ve b , N sarımlı bobinin ölçüleridirler. T_g burulmasına, yayın oluşturduğu T_r ters burulma ile karşı gelir.

$$T_r = k\theta$$

k yay sabitidir. Statik şartlar altında, bu iki burulma eşit ve zıtlırlar, ve dolayısıyla

$$\theta = \frac{N \cdot B \cdot h \cdot b \cdot i}{k} = S \cdot i \text{ olur.}$$

S , cihazın hassaslık katsayısıdır.

Dinamik koşullar altında, üretilen burulma, T_g : atalet; sönüm ve yay geri çağırma kuvvetleri tarafından karşı gelir ve dolayısıyla

$$T_g = J \frac{d^2 \theta}{dt^2} + D \frac{d\theta}{dt} + k\theta \text{ olur.}$$

Burada, J hareketli sistemin atalet sabiti, D sönüm sabiti, ve k yay sabiti dirler.

Sönümleme, hava veya bobin kalıbının kısa sarımından doğan anafor akımın sönümü ya da bobin ve dış devreden sağlanabilir. Edi-akımı sönümlemesi için

$$D = h^2 b^2 B^2 \left(\frac{N^2}{R} + \frac{1}{R_f} \right) \text{ olur.}$$

Burada R , bobin devresinin direncini ve R_f formeri oluşturan bobinin direncini gösterir. Dolayısıyla cihaz, ikinci dereceden taşıma denkleminde sahiptir.

$$G(s) = \frac{\theta(s)}{i(s)} = \frac{(k/J) \cdot (s)}{(s)^2 + (D/J) \cdot (s) + (k/J)}$$

Bu transfer denklemini, standart ikinci dereceden transfer denkleminde karşılaştırdığımız zaman

$$G(s) = \frac{K \omega_n^2}{(s)^2 + 2 \xi \omega_n (s) + \omega_n^2}$$

cihazın doğal frekans değeri $\omega_n = \sqrt{k/J}$, ve sönümleme faktörü $\xi = D/2 \sqrt{Jk}$ ile verilir.

Şayet $D^2 > 4 \text{ kJ}$, o zaman $\xi > 1$ ve sistem aşırı sönümlenmiş olur. Büyüklüğü, $t = 0$ da I olan akımın basamak girişine karşılık tepki aşağıdaki şekilde verilir.

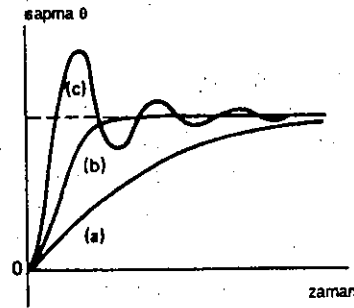
$$\theta(t) = S.I \left\{ 1 - \frac{\xi + \sqrt{\xi^2 - 1}}{2\sqrt{\xi^2 - 1}} e^{[-\xi + \sqrt{\xi^2 - 1}] \omega_n t} + \frac{\xi - \sqrt{\xi^2 - 1}}{2\sqrt{\xi^2 - 1}} e^{[-\xi - \sqrt{\xi^2 - 1}] \omega_n t} \right\}$$

Şayet, $D^2 = 4 \text{ kJ}$ ise böylece $\xi = 1$ ve sistem kritik olarak sönümlenmiş olur. Basamak girişine karşılık olan cevap denklemi $\theta(t) = S.I [1 - (1 + \omega_n t) e^{-\omega_n t}]$ ile verilmektedir. Şayet $D^2 < 4 \text{ kJ}$ ise böylece $\xi < 1$ ve sistem az sönümlenmiştir. Basamak girişine karşılık olan cevap denklemi

$$\theta(t) = S.I \left\{ 1 - \frac{e^{-\xi \omega_n t}}{\sqrt{1 - \xi^2}} \sin[\sqrt{1 - \xi^2} \omega_n t + \phi] \right\}$$

ve $\phi = \cos^{-1} \xi$.

Basamak cevap denklemleri Şekil 1.9 da verilmişlerdir.



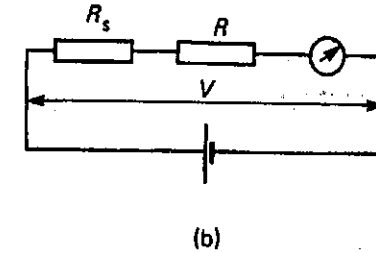
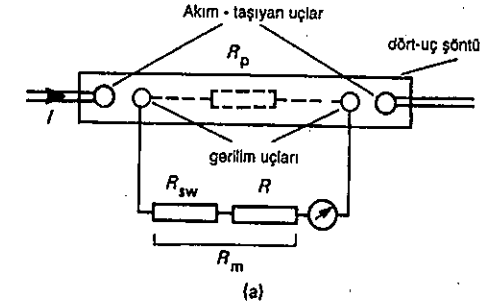
Şekil. 1.9 : 2. dereceden sistem cevapları
a) Aşırı sönümlenmiş
b) Kritik sönümlenmiş
c) Az sönümlenmiş

1.2.1.1. Aralık Genişlemesi

Bir hareketli bobinde tam-ölçekli sapma (FSD) için gerekli akım tipik olarak $10 \mu\text{A}$ den 20mA d.c. mertebelerindedir. Bu sınırların dışında, doğru akım (D.C.) ölçümleri, şekil 1.10(a) da gösterilen direnç şöntleri vasıtasıyla sağlanmaktadır. Şönt bağlantılı ampermetrenin hassaslık derecesi S_A , aşağıda verilmektedir.

$$S_A = \frac{\theta}{I} = \frac{R_p}{R_p + R_m} \cdot S$$

Burada R_p , şöntün direnci, R_m bobin ve bastırma direnci (swamping resistance) ve S , şöntlenmemiş hareketin hassasiyetidir.



Şekil 1.10 : a) Hareketli-bobin cihazı kullanan ampermetre.
b) Hareketli-bobin cihazı kullanan voltmetre

Yüksek-akımlı amperetreler (FSD) için 15mA lık bir akım gerektiren hareket kullanılmaktadır. Şöntler manganinden imal edilmiş 4 uçlu cihazlardır. Cihazdaki gerilim düşmesi 0.075 V dur ve dolayısıyla şöntde bulunan güç, yaklaşık olarak 0.075 IW dır. Tablo 1.3, değişik akım değerlerinde şöntteki güç dağılımını vermektedir.

S_v hassasiyeti, d.c. voltmetresi için

$$S_v = \frac{\theta}{v} = \frac{S}{R_s + R}$$

şekilde verilir.

Burada R_s seri dirençleri, R bobin direnci ve S ise hareket hassasiyetidir. (Şekil 1.10(b))

TABLO 1.3 :

Değişik Akım Değerleri için Şöntteki güç dağılımı

Akım (A)	Güç Dağılımı (W)
1	0.075
2	0.150
5	0.375
10	0.75
20	1.50
50	3.75
100	7.50
200	15.00
500	37.50
1000	75.00

Seri dirençlerinin değeri, hareketli sargının hassaslık derecesine bağlıdır. FSD si 10 mA olan, bir hareket için bu $100\Omega/V$ değeridir. Eğer FSD, $10\mu A$ gerektirirse, direnç o zaman, $100000\Omega/V$ değerinde olur. Dolayısıyla bir volmetrenin yüksek giriş empedansına sahip olabilmesi için, cihaz hareketinin, FSD için düşük akıma sahip olması gerekmektedir.

1.2.1.2. Kalıcı Mıknatıs-Hareketli Bobin Cihazlarının Karakteristikleri

Kalıcı mıknatıs-hareketli bobin cihazlarının, kararlı kalibrasyonu, düşük güç tüketimi, yüksek burulma / ağırlık oranı vardır ve kararlı ölçek temin ederler. % 0.1 FSD miktarlarına kadar doğruluk payları vardır. Seri dirençlerin ya da şöntlerin kullanılması yoluyla, bunlar geniş bir akım ve voltaj aralığında çalışabilir. Histerisis etkilere bağlı olan hatalar küçüktür ve genellikle dağılmış manyetik alanlardan etkilenmez.

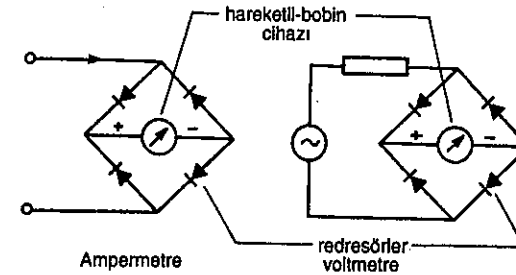
Bu tip cihazlarda, sönümü öngörülen değere ayarlamak mümkündür. Başka hatalar, yataklardaki sürtünme ve bobindeki direncin sıcaklıkla değişimi sonunda meydana gelmektedirler. Bobin için kullanılan bakır telin $+ 0.4\%/K$ sıcaklık katsayısı vardır. Voltmetre olarak kullanıldığı zaman, bu sıcaklık değişimi seri dirençleri tarafından emilmektedir. Manganin şöntlerle amperetre olarak kullanıldığı zaman, bobin direncini daha büyük bir dirençle bastırmak (swamp) gerekir. Şekil 1.10(a) da gösterilen bu direnç, genellikle manganinden imal edilmiştir. Bu durum, bobin/ bastırma direncinin sıcaklık katsayısının, şöntün sıcaklık katsayısına daha yakın olmasını sağlar, bu şekilde verilen bir sıcaklık aralığında, şöntle cihaz arasındaki sabit akım bölüşümü etkilenir.

1.2.1.3. Hareketli-Bobin Cihazlarını Kullanarak Alternatif Akım (A.C.) Gerilimi ve Akım Ölçümleri

Bir Hareketli-Bobin Cihazında oluşan burulmanın yönü, bobin içersindeki akımın ani yönüne bağlıdır.

Dolayısıyla bir A.C., kararlı olmayan sapma meydana getirecektir.

Hareketli bobin cihazları, Şekil 1.11 de gösterildiği gibi, tam dalga köprü-doğrultucuların kullanımı ile oluşan A.C. tepkisi ile birlikte verilmişlerdir.



Şekil 1.11 : Doğrultucu-hareketli-bobin cihazı kullanarak A.C. Akım ve gerilim ölçümü

Köprü doğrultucusu, A.C. sinyali, hareketli-bobin cihazı vasıtasıyla tekyönlü bir sinyale dönüştürmektedir; daha sonra bu cihaz, ortalama D.C. akımına tepki gösterir. Bu tip cihazlar, dalga şeklinin ortalama mutlak değerini ölçerler ve sinusoidal olduğu varsayımıyla rms değerini göstermek için kalibre edilmişlerdir.

Cihaz boyunca, bir periodik akımın dalga şekli için, ortalama mutlak değer, I_{mab}

$$I_{mab} = \frac{1}{T} \int_0^T |I(t)| \cdot dt$$

ve rms değeri

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2(t) \cdot dt}$$

Burada T dalganın periodudur. Akımın dalga şekli için, şekil faktörü

$$FF = \frac{I_{rms}}{I_{mab}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{1}{T} \int_0^T I^2(t) \cdot dt \right)}}{\left(\frac{1}{T} \int_0^T |I(t)| \cdot dt \right)}$$

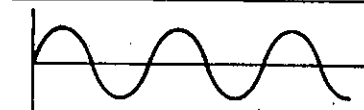
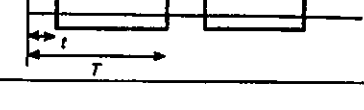
şeklinde tanımlanmaktadır.

Bir $I(t) = \hat{I} \cdot \sin \omega t$ sinusoidi için, rms değeri $\hat{I} / \sqrt{2}$ dir ve ortalama mutlak değeri

$\frac{2\hat{I}}{\pi}$ dir. Dolayısıyla sinusoid için şekil faktörü 1.11' dir. Redresör cihazları (Rectifier instruments) 1.11. I_{mab} gösterirler. Sinusoidal olmayan dalga şekilleri için, redresör cihazları, hata payı

$$\frac{1.11 - FF}{FF} \times 100 \%$$

şeklinde dir. Pekçok dalga, ortalama mutlak değer okuyan rms ölçekli cihazlarla ölçüldüğü takdirde meydana gelen şekil faktörleri ve gösterim hataları ile birlikte şekil 1.12 de verilmektedir.

Dalga Şekli	Şekil Faktörü	Ortalama duyarlı rms gösterimli cihazları kullanarak yüzde hata ölçümü
	1.11	0
	1.57	-29.3
	1.15	-3.96
	1	+11.1
	$\frac{1}{K} \sqrt{\frac{1}{1-K}}$ $K = \frac{t}{T}$	$\{ 2.22 \sqrt{K(1-K)} - 1 \} \times 100$

Şekil 1.12 : Dalga şekli faktörleri ve gösterim hataları (redresör cihazları)

Bu şekil faktörü hatası, aynı zamanda sayısal voltmetre kullanarak alternatif akım ve gerilimin ölçülmesi sırasında da meydana gelir. Sayısal voltmetreler, A.C. den D.C.'ye geçiş esnasında doğrultma yaparlar.

Akım-ölçer aygıtlar olarak, diyodlar akım taşıyabilme özelliklerine göre seçilmelidir. Diyotların lineer olmayan özellikleri, şönt kullanarak yapılabilecek aralık genişletmesini pratik olmaktan çıkarır ve dolayısıyla doğrultucu cihazlarının, akım transformatörleri ile kullanılması gerekir. (1.2.3. kısımlara bakınız). İleri diyod düşümü (forward diode drop), doğrulukla ölçülebilen gerilime bir alt sınır koymaktadır; ve bu şekilde cihazlarda, tipik minimum FSD, 10V olarak belirlenir.

Voltmetre olarak kullanıldığı zaman, sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen ileri diyot düşüşündeki değişim, (variation of the diode forward drop) cihaza normal sıcaklığa duyarlılık sağlamaktadır. Bu tip cihazları 50 Hz den 10 kHz e kadar % 1 lik FSD doğruluk payı ile tasarlamak mümkün olur.

1.2.1.4. Multimetreler

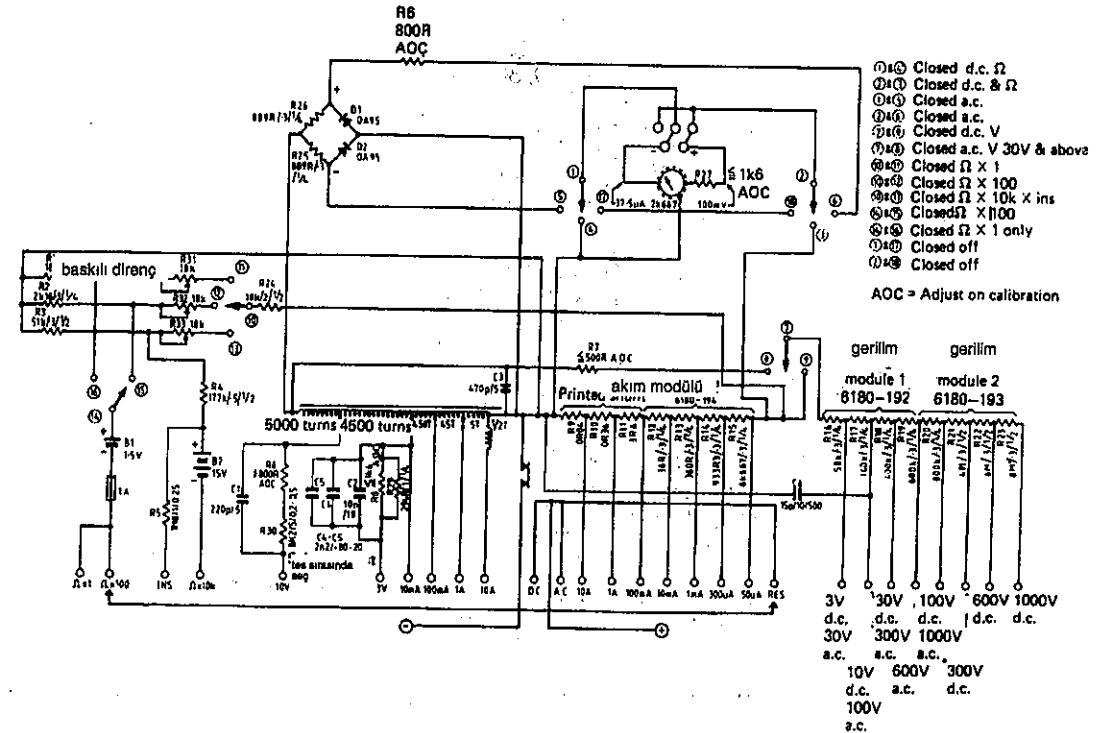
Bunlar, bir kalıcı muknatis-hareketli bobin kullanan çok menzilli cihazlardır. D.C., A.C., akım, gerilim ve dirençlerini ölçmeye imkan sağlar. Bu cihazların en çok kullanılanı AVO Model 8 Mark 6 (Thorn-EMI) tipinde olanıdır. Tablo 1.4, bu cihazın özelliklerini ve şekil 1.13 de devre şemasını vermektedir.

TABLO 1.4 : Multimetre Özellikleri

D.C. Gerilimi	8 değer : 100 mV, 3,10, 30, 100, 300, 600V, 1k V
D.C. Akımı	7 değer 50 μ A, 300 μ A, 1, 10, 100 mA, 1 A ve 10 A
A.C. Gerilimi	7 değer 3,10, 30, 100, 300, 600 V, 1 kV
A.C. Akımı	4 değer 10 mA, 100 mA, 1A ve 10 A
Direnç	3 değer x 1 : 0 - 2 k Ω x 100 : 0 - 200 k Ω x 10 k : 0 - 20 M Ω
Direnç ölçmek için gereken kaynaklar	Bir adet 15 V tipte B121 Batarya (x 10 k değeri için) Bir 1,5 V tipteki SP2 tek hücre (x 1, x 100 sınırları için)
Doğruluk	D.C. ± 1 % fsd A.C. (150 Hz) ± 2 % fsd Direnç ± 3 % orta skala
Hassasiyet (Sensitivity)	D.C. 20000 Ω /V bütün sınırlarda A.C. 100 Ω /V 3 V luk sınır 1000 Ω /V 10 V luk sınır 2000 Ω /V Diğer tüm sınırlar
Aşırı yük koruması	İki düşük direnç sınırlarındaki sigorta ile yüksek süratle elektromekanik olarak devre dışı bırakmak
Desibel (Decibels)	A.C. gerilim skalası ile -10 dan +55 e kadar
Uçlardaki gerilim düşmesi	Yaklaşık, 100 mV, 50 μ A sınırında ve 400mV diğer sınırlarda D.C. 10 A de 450 mV dan az olduğu zaman A.C.
Frekans Tepkisi (300 Va kadar A.C. gerilim sınırında)	50 Hz ile 15 Hz ve 15 kHz sınırlarında gerçekleştirilen okuma değerleri arasındaki fark ± 3 % dir.

Temel hareket 50 μ A lik bir sapmaya sahip olup, dolayısıyla D.C. gerilim sınırlarında alete, 20000 $\frac{\Omega}{V}$ luk bir hassasiyet derecesi sağlamaktadır.

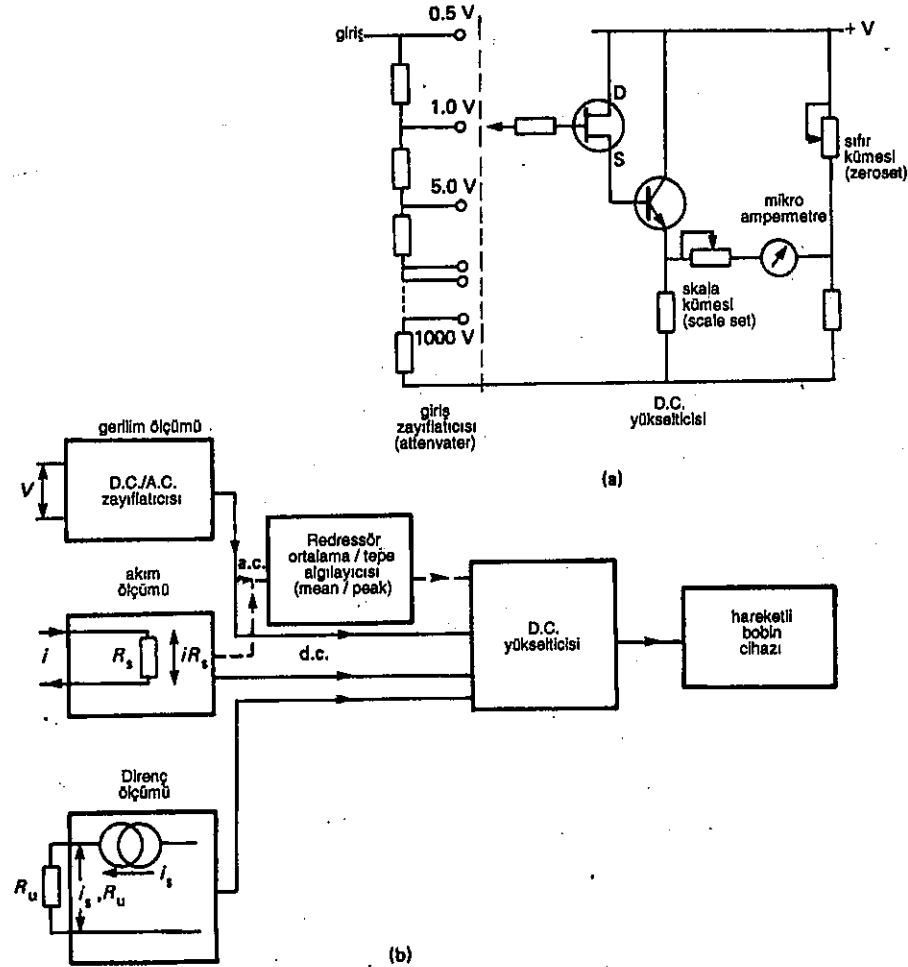
Dirençin üç sınırı, iç bataryalardan sağlanan D.C. gerilimini uygulayarak, dirençten geçen akımı ölçmek suretiyle çalışır. Bu sınırlardaki bir sıfır kontrolü, kısa devre yapılmış cihaz problemleriyle birlikte kullanıldığı zaman, iç bataryaların elektromotor kuvvetlerindeki değişmelerin denkleştirilmesini sağlamaktadır.



Şekil 1.13 : Multimetre

1.2.1.5. Elektronik Multimetreler

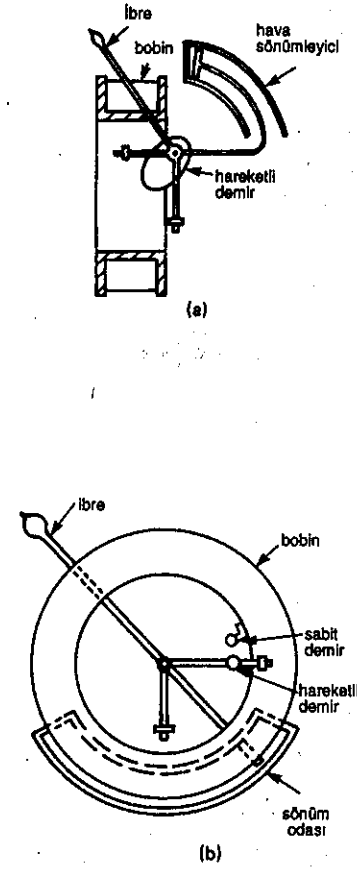
Şekil 1.14(a) da gösterilen elektronik giriş devresini kullanarak, gerilim değerine uygun olmayan, yüksek bir giriş empedansına ulaşabilmek mümkündür. Şekil 1.14(b) de gösterildiği gibi, bu durum, akım, direnç ve A.C. büyüklüklerini ölçmek için kullanılır. Akım ölçümleri için, maksimum giriş gerilimi, bütün sınırlarda eşit yapılabilir. Direnç ölçümleri, dirençlerdeki az gerilim düşmeleriyle ve doğrusal gösterimle sağlanabilir. A.C. miktarları, doğrultma ve ortalama veya tepe hassaslık ölçümleri yapılarak bulunabilir. Tablo 1.5, böyle bir cihazın özelliklerini vermektedir. (Hewlett-Packard HP410C, Genel amaçlı çok fonksiyonlu voltametre)



Şekil 1.14 : Elektronik multimetre

a) Elektronik input

b) Elektronik multimetre şeması



Şekil 1.15 : Hareketli - demir cihazı

a) Çekilme b) İtilme (Tagg, 1974)

TABLO 1.5 : Elektronik Multimetre Özellikleri

D. Akım Voltmetresi
Gerilim Sınırları: $\pm 15 \text{ mV}$ 'dan $\pm 1500 \text{ V}$ 'a kadar 15, 50 sıralarla (11 değer için) tam skala
Doğruluk: $\pm 2\%$ tam olarak her mertebe için
Giriş Direnci: $100 \text{ M}\Omega \pm 1\%$ (500 mV sınırı ve üzerinde), $10 \text{ M}\Omega \pm 3\%$ 150 mV sınırı ve altında
A. Akım Voltmetresi: Gerilim Sınırları: 0.5, 1.5, 5'li aralıklarla (7 sınır değeri için), 0.5V'dan 300 V'a kadar tam skala.
Frekans Aralığı: 20 Hz'den 700 MHz'e kadar
Doğruluk: 0.5V — 300 V rms değerler arasında sinüzoidal gerilmeler için $\pm 3\%$ tam skalada, 400 Hz. A. Akım prob'u, uygulanan sinyalin ortalama değerinin üzerindeki pozitif tepeye cevap vermektedir.
Frekans Tepkisi: 100 Hz'den 50 MHz arasında $\pm 2\%$ (400 Hz ref.); 0'dan — 4% 50 MHz ile 100 mHz arasında; $\pm 10\%$ 20 Hz ile 100 Hz arasında 100 MHz ile 700 MHz arasında.
Giriş Empedansı: Giriş kapasitansı 1.5 pF, düşük frekanslarda giriş direnci $> 10 \text{ M}\Omega$. Yüksek frekanslarda, empedans, dielektrik azalmaya bağlı olarak düşmektedir.
Emniyet: Prob gövdesi, emniyet için her zaman şasi'ye bağlanmıştır. Bütün A.A. ölçümleri toprak bağlantısıyla verilirler.
D. Akım Ampermetresi
Akım Sınırları: $\pm 15 \mu\text{A}$ 'den $\pm 150 \text{ mA}$ kadar olmak üzere tam skala 1.5, 5 aralıklarla (11 mertebe için)
Akım Sınırları: $15 \mu\text{A}$ 'den $\pm 150 \text{ mA}$ tam skala 1.5, 5 aralıkla (11 seviye için)
Doğruluk: $\pm 3\%$ her mertebede bütün değer aralığı (tam skala)
Giriş direnci: $1.5 \mu\text{A}$ seviyede $9 \text{ k}\Omega$ 'dan 150 mA seviyesinde yaklaşık 0.3Ω 'a düşer.
Özel akım seviyeleri: ± 1.5 , ± 5 ve $\pm 15 \mu\text{A}$, D.C. voltmetre probu kullanarak $\pm 5\%$ doğruluk ve $10 \text{ m}\Omega$ giriş direnci ile 15, 50 ve 150 mV sınırlarında ölçülebilir.
Ohmmetre Direnç Sınırı: Direnç 10Ω 'dan $10 \text{ M}\Omega$ orta skala (7 mertebe)
Doğruluk payı: Sifirdan orta skalaya kadar $\pm 5\%$ okumadan veya $\pm 2\%$ orta skaladan, hangisi daha büyükse; $\pm 7\%$ orta skaladan 2 değerli skala değerine kadar; $\pm 8\%$ 2 skala değerinden 3'e kadar; $\pm 9\%$ 3 skala değerinden, 5 değerine kadar; $\pm 10\%$ 5 skala değerinden 10'a kadar.
Maximum Giriş: D.Akım 100V; 15, 50 ve 150 mV; 0.5'den 15 V değerlerinde 500 V, yüksek mertebelerde 1600 V. olur. A.Akım: Tam skala 100 sefer veya 450 Vp, hangisi daha az ise.

1.2.2. Hareketli-Demir Cihazları

İki ana tip hareketli -demir cihazı bulunmaktadır- çekim ve itmeli tipleri şekil 1.15 de gösterilmektedir. Çekim tipli cihazda, disk şeklindeki bir parça yumuşak demir, düz bir solenoid biçiminde yapılmış, bobinin içine çekilmektedir.

Cihazın sönmülmesi, hava sönmü odasıyla sağlanmaktadır. Diskin biçimi, ölçek şeklini kontrol etmek için kullanılabilir. İtme cihazında, yuvarlak çubuk ya da kanat şeklindeki iki demir parçası bulunmaktadır. Bunlardan bir-tanesi sabitleştirilmiş, diğeri ise hareketli olup ölçülen alan akımı ile manyetik hale getirilmişlerdir. İki cihazda da, çekme ya da itme ile meydana gelen burulma aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$T_g = \frac{1}{2} \cdot \frac{dL}{d\theta} i^2$$

burada L devrenin indüktansdır.

Geri çağırma burulması, τ_r bir yay tarafından üretilir.

$$\tau_r = k\theta \text{ ve } \theta = \frac{1}{2} \frac{1}{k} \frac{dL}{d\theta} i^2$$

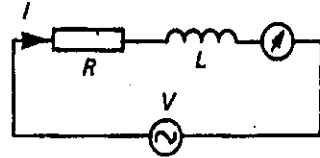
şeklinde yazılabilir.

Cihazın sapması, akımın ortalama karesi ile orantılıdır ve cihaz, A.Akımdan, kararlı bir sapma ortaya çıkarır. Bu tip aletlerin ölçekleri genellikle rms değerleri cinsinden kalibre edilir ve dolayısıyla, alt uçta sınırlı kalarak doğrusal olmayan davranış gösterirler. Cihazın yataklarındaki sürtünme, hataya sebep olmaktadır. Demirdeki histerisis etkileri, yükselen ve alçalan akım için farklı gösterimler vermektedir. Hatalar, dağınık manyetik alanların varlığına bağlı olarak da ortaya çıkabilir. Normal sıcaklıktaki değişiklikler, cihazın mekanik boyutlarında değişimlere neden olur, demirin geçirgenliğini etkiler ve bobinin direncini değiştirir. Bu son etki en önemlisidir. Ampermetre olarak kullanılıncı, dirençteki değişme hataya sebep olmaz; fakat voltmetre olarak kullanıldığı zaman, bakır sargıdaki direncin $+ 0.4\%$ K kadar değişmesi, voltmetrenin hassasiyetinin değişmesine neden olur. Bu etki, bobin sargısına, düşük sıcaklık katsayısına sahip olan bir tel ile seri olarak bağlanmış direnç vasıtasıyla azaltılabilir. Voltmetre olarak kullanıldığı zaman, cihazın indüktansı, hassasiyetinde frekansına bağlı olarak değişmelere neden olabilir. Bu durum şekil 1.16(a) da gösterilmektedir. Verilen bir açılal ω frekansında,

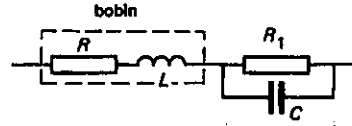
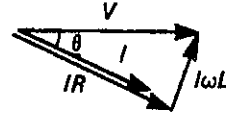
voltmetre okunmasındaki hata, $\frac{\omega^2 L^2}{2R^2}$ formülü ile verilmekte olup, burada L indüktans ve R de dirençtir. Şekil 1.16(b), bu hata için bir dengeleme metodunu göstermektedir.

Hareketli-demir cihazı ortalama kare gösteren bir cihaz olduğu halde (mean-square indicating instrument), cihaz hataları, sinüsoid olmayan gerilim dalga biçimi'nin rms değeri'nin ölçülmesi sırasında ortaya çıkabilirler. Bu hatalar müsaade edilen maksimum akıyı aşan, tepe akısı tarafından meydana getirilirler, aynı zamanda şekil 1.16(c) de gösterildiği gibi, zaman sabiti tarafından, harmonik akımın cihaz içersinde sönümlenmesi esnasında ortaya çıkarlar.

Hareketli demir cihazları, % 0.5 FSD den daha iyi bir doğruluk mertebesi sağlayabilir. Ampermetreler gibi şönt olmadan, 0.1 - 30A arasında tipik FSD leri vardır. En küçük FSD değeri, voltmetre olarak kullanıldıkları zaman $50\Omega/v$ metrebesindeki giriş empedansı ile 50V dur. 2500Hz frekans derecelerine kadar ölçme yapabilen cihazlar olduğu halde, bunların frekans tepkileri, yüksek indüktans ve düşük frekanslardaki dağılık kapasitans değerlerinden dolayı sınırlıdır. Hareketli-demir cihazları, göreceli olarak yüksek güç gerektirmekte olup, dolayısıyla yüksek empedans A.akım devrelerinde kullanılmak için uygun değildir.



(a)



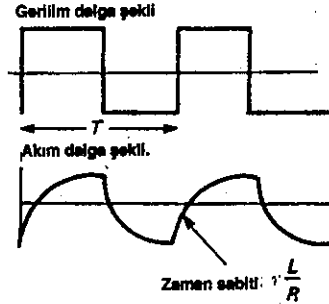
$$Z = R_1 + R_2 + j\omega(L - C\omega^2)$$

eğer $\omega^2 C^2 R_1^2 \ll 1$ ve şayet

$$C = \frac{L}{R_1^2}$$

$$Z = R_1 + R_2$$

(b)



rms okumada yüzde hatası ;

$$\frac{2\tau}{T} (e^{-T/2\tau} - e^{-T/\tau}) \times 100\%$$

için $T \geq \tau$

(c)

Şekil 1.16 : Hareketli-demir voltametrelerindeki indüktans etkileri

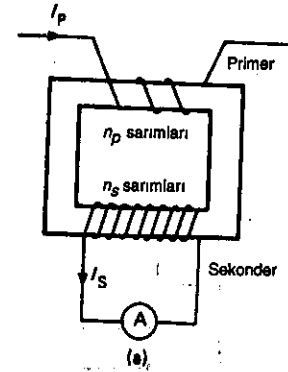
a) İndüktans etkisinin dengelenmesi

b) Sinusoid olmayan dalga şekilleri ölçümlerindeki hatalar

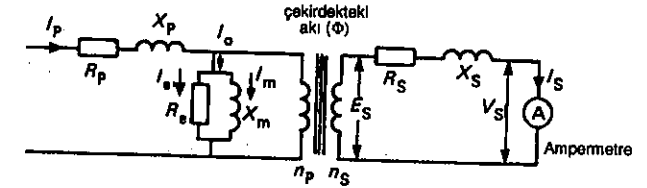
1.2.3. Akım ve Voltaj Transformatörleri Kullanmak Suretiyle A.C. Aralık Genişlemesi

1.2.1.1. ci bölümde, akım şöntleri ve dirençsel gerilim çoğaltıcıları kullanan kalıcı mıknatıs-hareketli bobin cihazlarının, genişleme aralığı, anlatılmıştı.

Aynı teknikler, A.C. ölçmelerinde de kullanılabilirler. Halbuki, yüksek akımlardaki güç ölçümlerinde, şöntte harcanan güç önemli miktarlara ulaşır (TABLO 1.3). Yüksek voltaj ölçmelerinde, dirençsel gerilim çoğaltıcısı, voltmetre için hiç yalıtım sağlamaz. Bu sebeplerden dolayı, aralık genişlemesi, genellikle akım ve gerilim transformatörleri sayesinde elde edilir. Bu durum, tek aralıklı ampermetrelerin ve voltmetrelerin, (FSD'leri 5A ve 110V olan) kullanılmalarını sağlamaktadır. Akım transformatörünün (ct) esası, Şekil 1.17(a) da ve eşdeğer devresi de şekil 1.17(b) de gösterilmektedir.



(a)



(b)

R_p, R_s : Primer ve sekonder sarım dirençleri.
 X_p, X_s : Primer ve sekonder kaçak empedansları.
 R_e : Demir kaybı.
 X_m : Miknatıslayıcı empedans

Şekil 1.17 : (a) Akım Transformatörü (b) Eşdeğer Devre

Ampermetre ikinci bir yük şeklinde davranırken, ölçülen yük akımı primer (birincil) sargıdan akmaktadır. ct'nin işlemi primer ve sekonder (ikincil) sargılar tarafından oluşturulan, amper sarım dengesine (akım ile çevrim sayısı çarpımı) bağlıdır.

Şayet transformatör, manyetiklik sağlamayan akım veya demir kaybı ile ideal durumdaysa, bu halde

$$\frac{I_p}{I_s} = n_{ct}$$

$$n_{ct} = \frac{ns}{np} \text{ şeklinde verilir.}$$

$$\text{Akım hatası} = \frac{|OA| - |OB|}{|OB|} \times 100\%$$

Faz açısı hatası = $\angle AOB$

(c)

Şekil 1.17c den, cts için iki hata saptanabilir. Bunlar akım ya da oran hatası ve faz açısı hatası ya da faz yer değiştirmesidir. Akım ya da oran hatası aşağıdaki biçimde tarif edilmiştir:

$$\frac{\text{Nominal oran (Ip/Is)} - \text{Gerçek oran (Ip/Is)}}{\text{Gerçek oran (Ip/Is)}} \times 100 \%$$

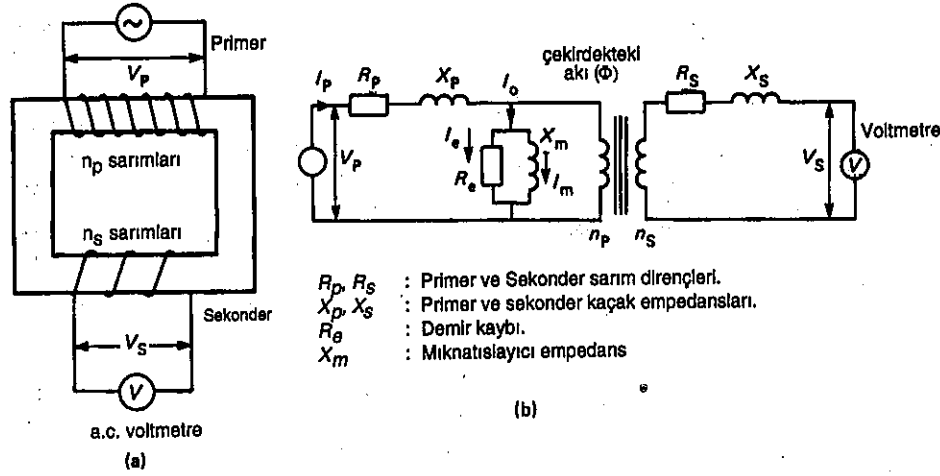
Graph (d) illustrates the percentage error of phase angle (Faz açısı hatası) and current (Akım hatası) as a function of the secondary voltage percentage (Yüzde olarak sekonder gerilim) for a 15 VA load at 0.8 power factor and 50 Hz. The phase angle error decreases from 1.0% to approximately 0.2% as voltage increases from 10% to 100%. The current error increases from -1.0% to approximately -0.2% over the same voltage range.

Yüzde olarak sekonder gerilim	Faz hatası (%)	Akım hatası (%)
10	1.0	-1.0
20	0.8	-0.8
40	0.5	-0.5
60	0.3	-0.3
80	0.2	-0.2
100	0.2	-0.2

(d)

BS 3938:1973 oran ve değişik ct sınıfları için (İngiliz Standartları Enstitüsü, 1973) kayma hatalarının sınırlarını tespit etmektedir.

Akım transformatöründeki amper çevrim dengesi, ikincil devre çalışmadığı zaman bozulmaktadır. Bu şartlar altında çekirdekte, ikinci sargıda yüksek gerilim indüklenmesini sağlayan yüksek bir akım yoğunluğu meydana gelir. Bu durum ikinci sarımdaki yalıtımı bozabilir ve operatör için tehlikeli olabilir. Dolayısıyla, primer uyarıldığında akım transformatörünü açık devrede bırakmamak gerekmektedir. Gerilim transformatörleri (vts), birincil gerilimi, standart 110 V.luk ikincil gerilime düşürmek için kullanılır. Şekil 1.18(a), böyle bir transformatörün bağlantısı ve Şekil 1.18(b) buna eşdeğer devresini göstermektedir.



Şekil 1.18 : a) Gerilim Transformatörü b) Eşdeğer Devresi

İdeal bir transformatör için

$$\frac{V_p}{V_s} = n_{vt} \text{ olup}$$

n_{vt} gerilim transformatörü sarım oranı

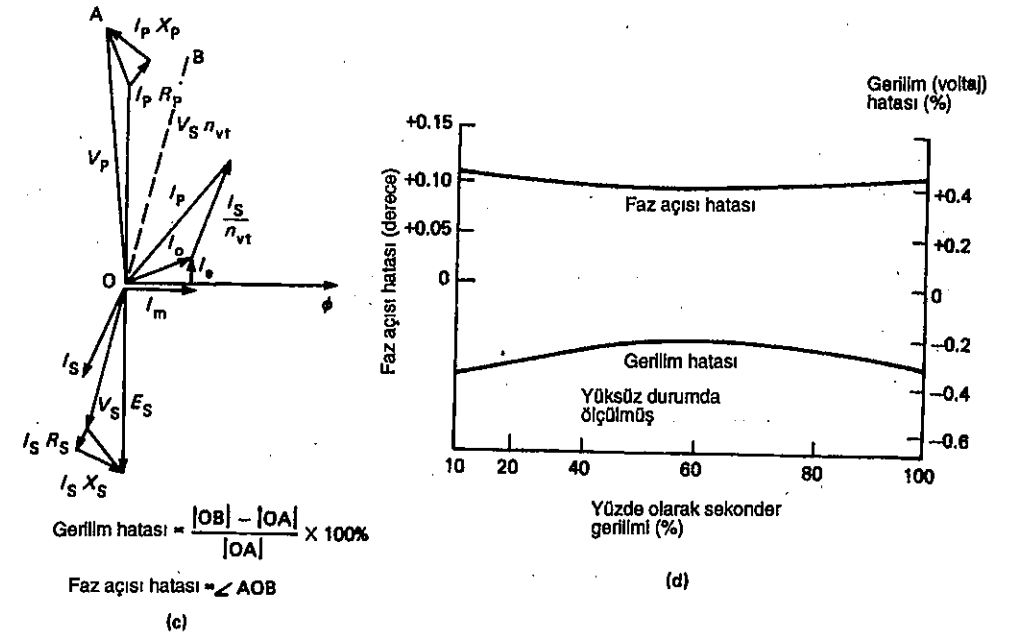
$$n_{vt} = \frac{n_p}{n_s} \text{ dır.}$$

Şekil 1.18(c), gerçek gerilim transformatörü için fazör diyagramını göstermektedir. Gerilim transformatörlerindeki iki hata gerilim ya da oran hatası ve faz açısı hatası veya faz değişimidir.

Gerilim hatası aşağıdaki şekilde tanımlanır :

$$\frac{\text{Nominal gerilim oranı } (V_p / V_s) - \text{Gerçek oran } (V_p / V_s)}{\text{Gerçek gerilim oranı } (V_p / V_s)} \times 100 \%$$

Faz değişimi Şekil 1.18(c) de gösterildiği gibi birincil ve ikincil gerilimler arasındaki faz değişimidir. İkincil gerilim, birincil gerilimin önünde ya da gerisinde olabilir. Şekil 1.18(d), ikincil gerilimin cinsinden, v_t için gerilim oranı ve faz açısı hataları için tipik eğrileri göstermektedir.



Şekil 1.18 : c) Gerilim Transformatörünün Fazör Diyagramı

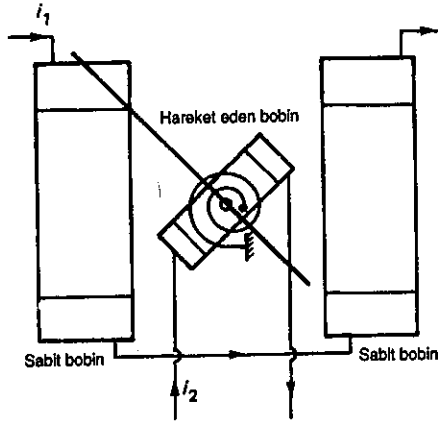
d) Gerilim Transformatörü için Gerilim ve Faz Açısı Hataları.

BS 3941:1974 Gerilim transformatörleri için özellikleri vermektedir. (İngiliz Standartları Enstitüsü, 1974).

Oran hataları, akım ve gerilim ölçümlerinde kullanıldıkları zaman c_{ts} ve v_{ts} için önem taşır. Hem oran hataları, hem de faz-açısı hataları, wattmetrelerin sınır aralığını artırmak için kullanıldıkları zaman önemlidir (Bölüm 1.4).

1.2.4. Dinamometre Cihazları

Dinamometre cihazının kullanımı, Şekil 1.19 da gösterilmektedir. Cihaz, birisi sabit diğeri bir eksen üzerinde dönebilen, hava ve demir çekirdekli bobin sisteminden oluşmaktadır. İki akımın etkileşmesinden doğan T_g burulması



Şekil 1.19 : Dinamometre Cihazı

$$T_g = \frac{dM}{d\theta} \cdot i_1 \cdot i_2$$

şeklinde verilir. Kontrol yayları tarafından üretilen geri getirme burulması

$$T_r = k \cdot \theta$$

ile verilmektedir.

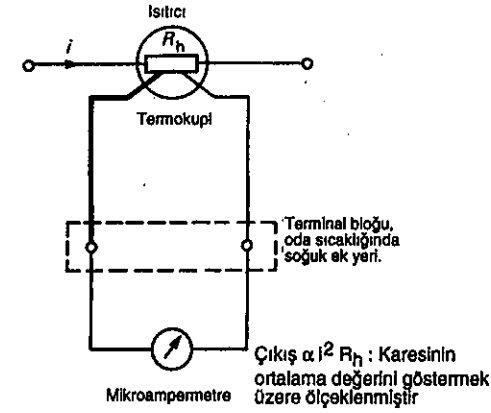
Dolayısıyla, sapma

$$\theta = \frac{1}{k} \cdot \frac{dM}{d\theta} \cdot i_1 \cdot i_2$$

ile ifade edilir. Şimdi, eğer aynı akım bütün bobinlerde varsa, kararlı sapma, akımın ortalama karesiyle orantılı olur. Buna alternatif olarak, emici dirençler kullanıldığı takdirde, cihaz voltmetre olarak görev görebilir. Bu tip aletlerin sınır aralıkları, genellikle rms büyüklükleri cinsinden ayarlanır, dolayısıyla lineer değildirler. Hava-çekirdekli cihazların, histerisis etkiye bağlı olan hataları yoktur, fakat demir çekirdeğin olmayışı, sapan burulmayı sağlayacak çok sayıdaki amper sayımına sahip olan bobinleri gerektirmektedir. Bu durum, cihazın bağlı olduğu devrede yüksek güç kaybına neden olmaktadır. Burulma/ağırlık oranı küçüktür, dolayısıyla sürtünme etkileri daha önemlidir ve cihazların doğruluğu, dağınık manyetik alanlar tarafından etkilenebilir. Dinamometre cihazları, diğer ampermetre ve voltmetre çeşitlerine göre daha pahalıdır. Dinamometre prensibinin en önemli kullanımı, watmetredir. (Bölüm 1.4.1'e bakın).

1.2.5. Termokupl Cihazları

Şekil 1.20, bir termokupl cihazının şemasını göstermektedir.



Şekil 1.20: Termokupl Cihazı

Bu cihazlarda, ince bir telden oluşan ya da havası boşaltılmış cam bir kılıfa yerleştirilmiş ince duvarlı bir tüpten meydana gelen ısıtıcı eleman; bu ısıtıcı elemanla, sıcak-bağlantısı, sıcak temasta olan bir termokupl; son olarak kalıcı mıknatıs-hareketli bobin milivoltmetresi vardır. Termokupl cihazları, ısıtıcı elemandan geçen akımın ısıtıcı etkisine cevap verir, dolayısıyla ortalama-kare duyarlı cihazlardır ve akım dalga şeklinden bağımsız olan bir ölçüm ortaya koyarlar. Bunlar, geniş bir frekans aralığında çalışabilme yeteneğine sahiptirler. Düşük frekanslarda, (10 Hz den az olan), telin ısısal tepkimesinden doğan ibre oynamasıyla sınırlı kalmaktadırlar. Yüksek frekanslarda (10 MHz den daha fazla olarak), ısıtıcı elemanın direncini bozan deri etkisi (skineffect) ile kullanımı sınırlıdır. Termokupl cihazları, tipik olarak 2-50 mA sınırlarında FSD ye sahiptirler ve rms değerlerine göre ayarlanmışlardır. Dolayısıyla skala lineer değildir. Bunlar kırılmalıdır ve aşırı ısıtma sebebiyle ısıtıcı elemanın ergimesinden önce sınırlı bir sınır ötesi dayanımları vardır. Voltmetre olarak cihazın frekans sınırları, reaktif olmayan seri dirençleri üretim kabiliyeti ile sınırlı kalmaktadır.

1.2.6. Elektrostatik Cihazlar

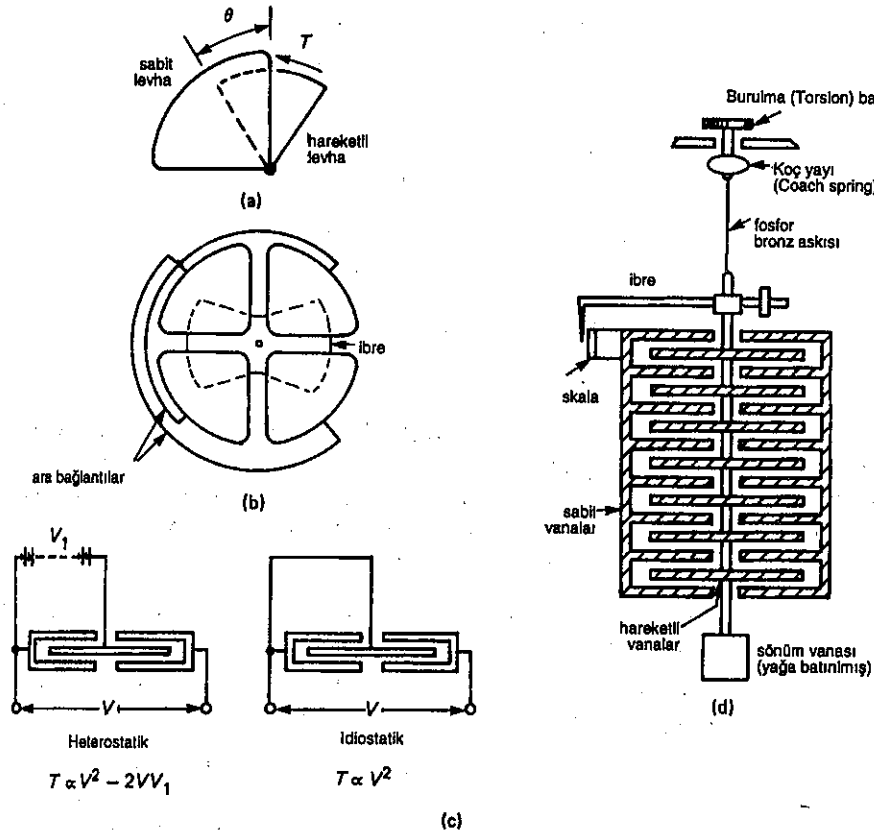
Voltmetre ve watmetre olarak kullanılabilecek elektrostatik cihazların kullanımları, iki yüklü cisim arasındaki kuvvetlere bağlıdır. Şekil 1.21(a) da

gösterildiği gibi hareketli ve sabit vanalar arasındaki burulma:

$$T = \frac{1}{2} \cdot \frac{dC}{d\theta} \cdot V^2$$

Burada C, plâkalar arasındaki kapasite değeridir.

Elektrostatik voltmetrenin genel kullanımı, şekil 1.21(b) 'de gösterilen dörtlü-kadran yapıdaki tasarımıdır. Bu tip bir voltmetre için mümkün olan iki tip bağlantı metodu vardır. Bunlar Şekil 1.21(c) de gösterilen heterostatik (Heterostatic) ve homostatik bağlantılardır. Ticari cihazlar çoğunlukla idiostatik bağlantıyı kullanırlar; burada ibre bir çift kadrana bağlanmıştır.



Şekil 1.21 : a) Elektrostatik Voltmetre Prensibi
b) 4-kadranlı Elektrostatik Voltmetre
c) Heterostatik ve Homostatik (idiostatic) Bağlantılar
d) Çok Hücreli Elektrostatik Voltmetre

Böyle bir tasarımda, üretilen burulma, gerilimin ortalama kare değeriyle orantılıdır. Şayet cihaz, rms değerini gösterecek şekilde ölçeklenmişse, o zaman ölçek lineer olmaz. Elektrostatik kuvvetler tarafından üretilen burulmalar küçüktür ve Şekil 1.21(d) de gösterilen çok hücreli aygıtlar, elverişli burulmayı arttırmak için kullanılırlar.

Çok hücreli cihazlar, 100-1000 V arasındaki gerilim değerleri için kullanılabilir. Elektrostatik cihazların kapasitif yüksek giriş empedansları vardır. Bunlar kırılğan olup, pahalıdırlar ve dolayısıyla kullanımları, alternatif akım ve doğru akım büyüklükleri arasındaki geçiş standartına göre sınırlı kalmaktadır.

1.3 Sayısal Voltmetreler ve Sayısal Multimetreler

Analog gösterici cihazları, ölçülen büyüklüklerdeki değişimleri ve yönelmeleri göstermede, diğerlerine göre ucuz ve basit metot sağlar. Voltmetreler gibi, direk gösterim cihazları, düşük giriş empedansına sahiptir. En iyi hallerde, sınırlı doğruluk sağlarlar ve bunu değerlendirmek gözleyicinin kişisel yatkınlığına bağlıdır. Tepki hızları da yavaştır. Buna karşılık, sayısal cihazlar, yüksek giriş empedansı, yüksek doğruluk, çözünürlük ve yüksek ölçüm hızı sağlar. Gözlemciye, enterpolasyon yapmayı gerektirmeyen ve karışık olmayan bir gösterim sunar.

1.3.1. Analog-Sayısal Dönüşüm Teknikleri

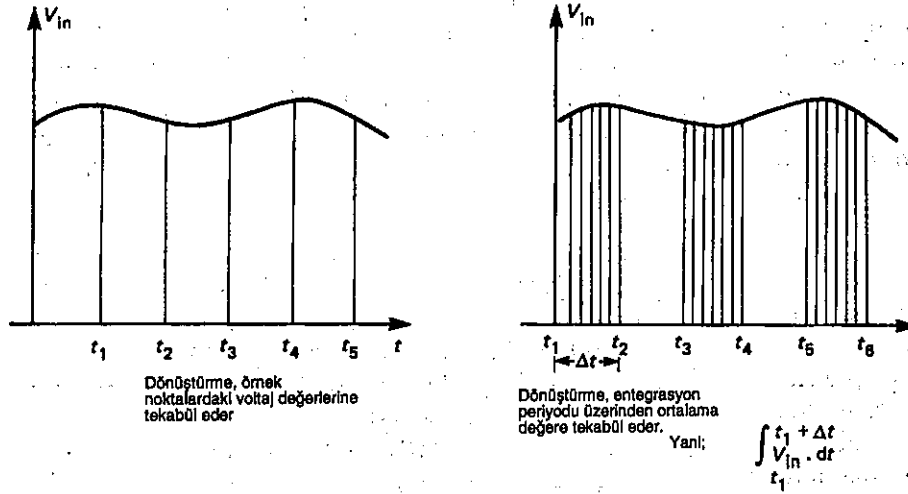
İşlevleri gerilim, akım ve direnç ölçümlerini kapsayan sayısal multimetreler (DMMs) ve işlevleri D.C., A.C. gerilimleriyle sınırlı kalan sayısal voltmetrelerin (DVMs) esası analog-sayısal dönüştürücüyü (ADC) teşkil etmektedir. ADC'ler hakkında detaylı bilgi, 4. ciltte, aynı zamanda Owens (1983), Arbel (1980), ve Sheingold (1977) de bulunabilir.

Bu bölümde, ilgi ardışık-yaklaşım, çift-rampa ve darbe genişliği (pulse width) teknikleriyle sınırlı kalınmaktadır.

ADC'ler, genliği sürekli olarak değişebilen bir sinyali alırlar ve kesikli sayıda seviyeleri olan sayısal biçime dönüştürürler.

Seviyelerin sayısı, dönüşümde kullanılan bitlerin sayısı ile sınırlanmıştır ve bu durum dönüşümün çözünürlüğünü belirler. N sayıda bit'i olan ikili bir kod için, 2N sayıda seviye vardır. Sayısal gösterim kesikli olduğundan, analog değerlerin aralığı vardır. Bütün bu aralıktaki değerlerin sayısal gösterimleri mevcuttur. Dolayısıyla, $\pm \frac{1}{2}$ en az önemli bit mertebesinde kuvantum belirsizliği vardır ve bu durum dönüşüm sırasında oluşabilecek

tüm diğer hatalara ilâve olarak karşımıza çıkar. DVM ve DMM'lerde kullanılan ADC ler, şekil 1.22 de gösterildiği gibi ya örnekleme ADC'leri veya bütünleme ADC'leridir.



Şekil 1.22 : Örnekleyen ve Bütünleyen (Integrating) ADC ler.

Örnekleme ADC'leri, bir zaman esnasında gerilime eşdeğer, sayısal değer üretirler. Bütünleyen ADC'ler ölçüm periyodunda, giriş değerinin ortalamasına eşdeğer bir sayısal değer üretirler. Ardışık yaklaşım tekniği ise ADC nin örneklemesini teşkil eder. Aşağıda anlatılan ikili -rampa ve darbe-genişliği teknikleri bütünleyen ADC ye örnektirler. Bütünleyen teknikler, ölçümlerini gerçekleştirebilmek için daha uzun bir zaman gerektirir, ancak gürültü ve doğru-frekansı sinyal reddi sağlayarak da avantaj sağlar.

1.3.1.1. Ardışık - Yaklaşım ADC leri

Bu teknik, sayısal-analog dönüştürücü (DAC) kullanan bir geri besleme tekniğine örnek teşkil eder. Bu şekilde, DAC için analog çıkış voltajı, dönüştürülecek giriş voltajına en yakın olan sayısal giriş bulunabilir. DAC la ilgili detaylı bilgiler 4. ciltte verilmektedir.

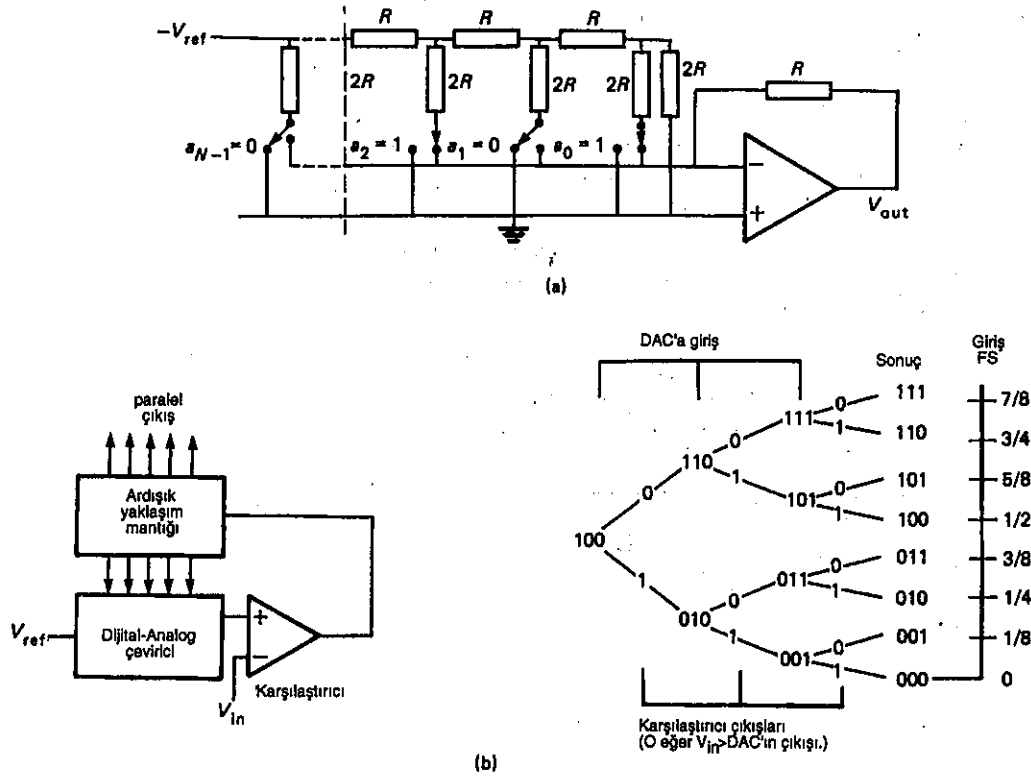
Şekil 1.23(a), N-bit'li R-2R merdiven DAC şebekesini göstermektedir. Bu aygıtın çıkışı aşağıda verilen biçimde, bir analog gerilimdir.

$$V_{out} = \frac{V_{ref}}{2^N} \sum_{n=0}^{N-1} a_n 2^n$$

Burada a_n , devre anahtarlarının durumuna bağlı olarak 1 veya 0 değerlerini alabilir, ve $-V_{ref}$ referans gerilimidir.

Şekil 1.23(b) de gösterilen ardışık yaklaşım tekniği, dönüştürme probleminin bir karar-dağılım (Decision Tree) yöntemi kullanılmaktadır. Dönüştürmenin ilk çevriminin kontrol devresi, DAC (MSB) ın en önemli bit'ini teşkil eder: a_{n-1} bit'i 1'e, tüm diğerleri 0'a gider. Karşılaştırıcının çıkışı incelenir. Şayet 0 sa, ki bu analog girişin, çıkıştan daha büyük olduğunu gösterir, o zaman MSB, 1 değerinde tutulur yoksa 0 a değiştirilir. Bir sonraki çevrim, daha sonraki en önemli bit'in 1 veya 0 olduğunu belirlemektedir. Bu işlem DAC'ın her bit'i için tekrarlanmaktadır.

Ardışık-yaklaşım, ADC tekniği için olan dönüştürme periyodu, verilen bir ADC için sabitleştirilmiştir ve sinyal seviyesine bağlı olmaksızın N_τ ya eşittir. Burada N bitlerin sayısı, τ ise tek bir bit'i belirlemek için çevrim zamanıdır. Bütünleyici- devre ardışık- yaklaşım lojik üreten mikrodevreler (Integrated circuit successive approximation logic generating chips), orta hızda ADC üretmek için standart DAC'lar ve karşılaştırıcılarla (comparators) beraber kullanılabilirler. Tipik bir 8-bit'lik ADC, 10µs lık bir dönüştürme zamanına sahip olacaktır. Ardışık-yaklaşım ADC leri, 16 bit'le sınırlıdır. Bu sayı 5-onluk bir dönüştürme eşdeğeridir.



Şekil 1.23 : a) R - 2R Merdiven Şebekesi DAC

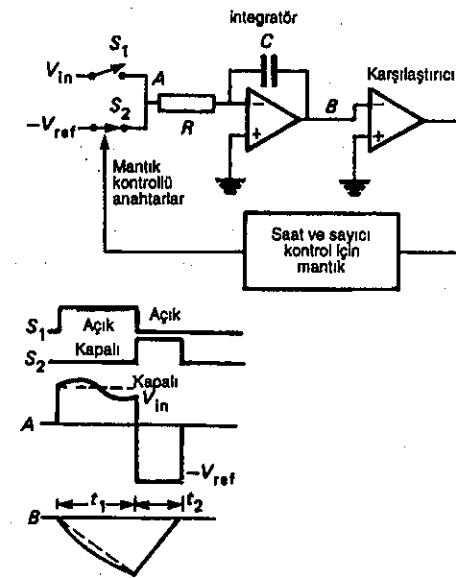
b) Ardışık Yaklaşım ADC

1.3.1.2. İkili -Rampa ADC leri

İkili-rampa dönüşüm tekniği şekil 1.24 de gösterilmiş olup, aşağıda verilen biçimde çalışır:

Giriş voltajı V_{in} , sabit bir zaman periodu için, tümleyicinin (integrator) girişine aktarılır. t_1 zaman periodu sonrasında tümleyici aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$- \frac{V_{in} \cdot t_1}{RC}$$



Şekil 1.24 : İkili - Eğim ADC

$-V_{ref}$ referans gerilimi integratöre uygulanır ve zaman, integratör çıkış değeri için ölçülür ve tekrar 0'a yüklenir. Böylece

$$\frac{V_{in} \cdot t_1}{RC} = \frac{V_{ref} \cdot t_2}{RC}$$

Burada

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{V_{in}}{V_{ref}}$$

Şayet t_1, τ perioduna sahip olan bir saatin, sabit n_1 sayım sayımına tekbül ediyorsa ve (aynı saat kullanılarak t_2 için) n_2 sayım ölçülüyorsa, o zaman

$$n_2 = \frac{V_{in} \cdot n_1}{V_{ref}}$$

İntegratörün R ve C bileşenlerinin değerleri, ADC yi belirleyen tanım-

layıcı denklemde yer almamaktadır; aynı şekilde referans saatin frekansı da yer almamaktadır. Tanımlayıcı denklemde, açıklıkla görünen yegâne değişken, referans gerilimidir. Çevrim boyunca değeri sabit kaldığı müddetçe ofset geriliminin karşılaştırmacı üzerindeki etkisi en aza indirilecektir ve histerisis davranışı göstermeyecektir. Dörtlü-eğim bütünleyici tekniğindeki değişimler (ki bunlar anahtar kaçağı akımının etkilerini ve ikincil derece etkilere karşı gelişen kutuplama akımının etkilerini azaltır) mevcuttur. (Analog aygıtlar, 1984). İntegratördeki doğrusal olmamanın yolaçtığı hatalar, ikili rampa tekniklerini kullanan dönüşümü 5'önlüğe kadar sınırlar.

Çift rampa dönüşüm tekniği, hat-frekansı sinyal reddedimi avantajına sahiptir (Gumbrecht, 1972). Şayet giriş, üzerine binen a.c. girişim sinyali ile birlikte bir d.c. girişi ise

$$V_{in} = V_{d.c.} + V_{a.c.} \sin(\omega t + \phi)$$

ϕ , entegrasyonun başında, girişim sinyalinin fazını göstermektedir, sonra, entegrasyonun çıkışındaki değer, V_{out} , t_1 periodu sonrasında

$$V_{out} = \frac{-V_{d.c.} t_1}{RC} - \frac{1}{RC} \int_0^{t_1} V_{a.c.} \sin(\omega t + \phi) dt$$

Eğer t_1 periodu hat frekansının perioduna eşitlenirse, o zaman hat sinyalinin integrali veya period üzerinde kalan herhangi bir harmonik şekil 1.24 de gösterildiği gibi sıfır olur. Diğer bütün frekanslarda, ϕ nin bir değerini bulmak mümkündür; öyle ki girişim sinyali hiçbir hatayı ortaya çıkarmasın. ϕ_{max} un, hata maksimum olacak şekilde bir değerini de bulmak mümkündür. ϕ_{max} un değeri aşağıdaki şekilde verilebilir.

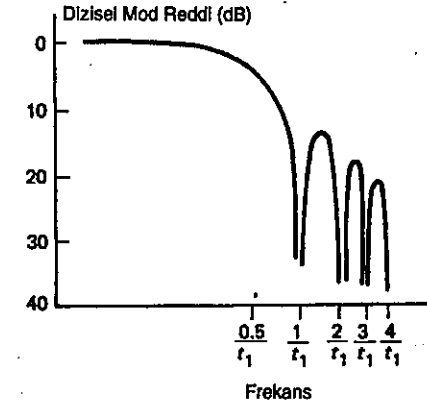
$$\tan \phi_{max} = \frac{\sin \omega t_1}{1 - \cos \omega t_1}$$

ADC' nin, seriler veya normal mod geri çevirmesi maksimum hatanın bir oranı olarak verilmektedir. Bu oran, sinus dalgasının maksimum tepe genliğine olan oranıdır. Genellikle (dBs içinde) seri modu zayıflatması (veya reddi) (SMR)

$$SMR = -20 \log_{10} \frac{\omega t_1}{\cos \phi_{max} - \cos(\omega t_1 + \phi_{max})}$$

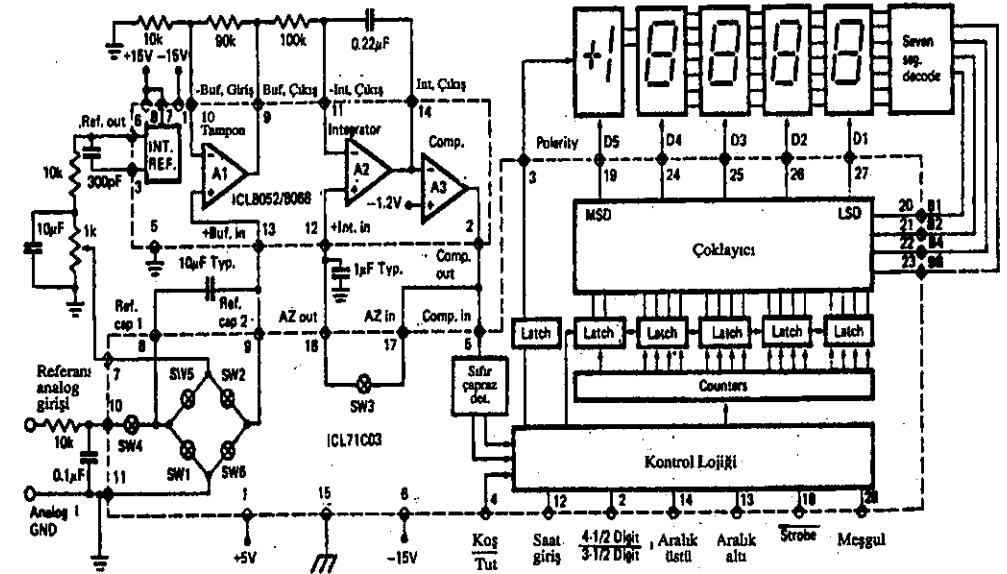
şeklinde ifade edilmektedir. Şekil 1.25 de, ikili-eğim ADC nin SMR sinin bir şekli verilmektedir:

Görülmektedir ki, n/t_1 , $n = 1, 2, 3 \dots$ şeklinde verilen her frekans için sonsuz miktarda SMR sağlamaktadır.

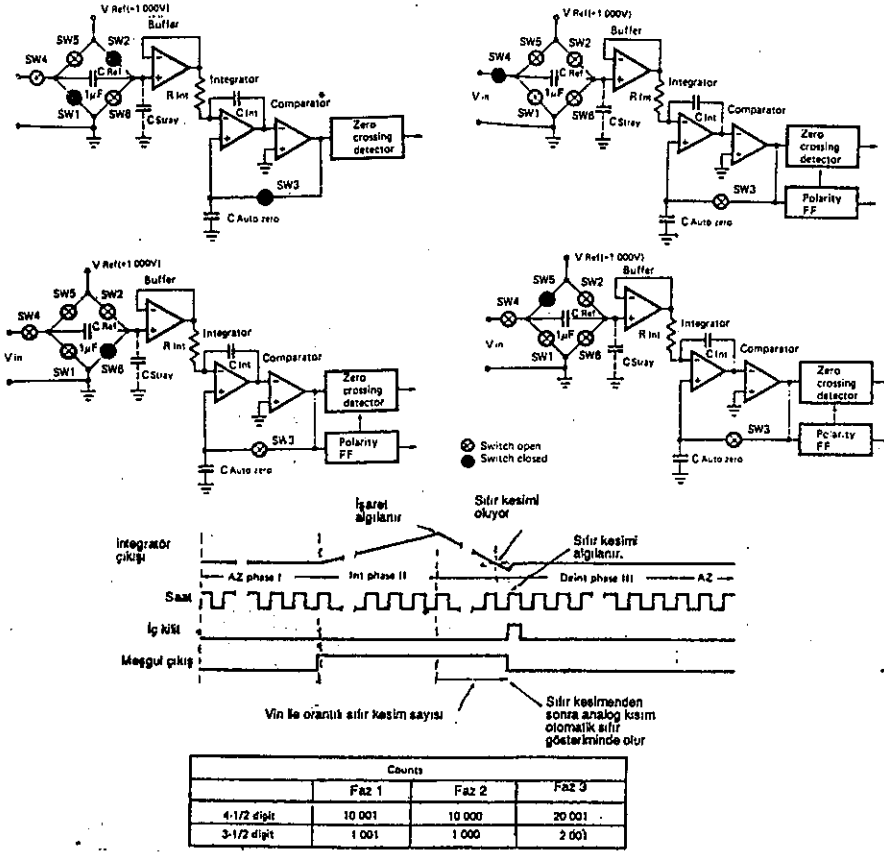


Şekil 1.25 : İkili-Eğim ADC için Seri Modu Geri Çevrilmesi

Pratikte, bir ADC nin sağlayabileceği reddedilme miktarı sınırlıdır, çünkü, t_1 periodu sadece sonlu bir doğruluk mertebesinde tanımlanabildiği için ve geri çevrilen sinyalin frekansı kayma yapabileceğinden, lineer olmayan etkiler ortaya çıkabilir. Şekil 1.26, ticari olarak piyasada bulunabilen çift-eğimli bütünleyici devre çip setini verir:



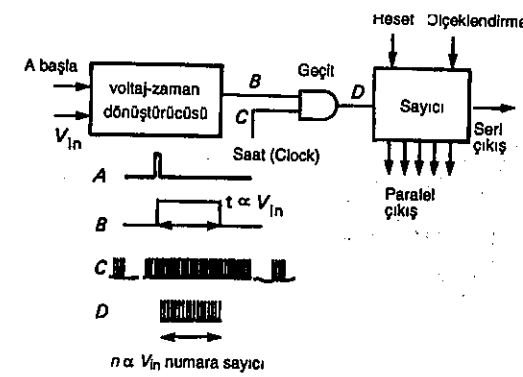
Şekil 1.26 : Çift-eğimli entegre devre grubu
a) Fonksiyon Blok diyagramı



Şekil 1.26 : Çift eğim integratör-devre seti
b) Dönüştürücünün işlev fazı
(Intersil Datel (UK) Ltd)
c) Zamanlama

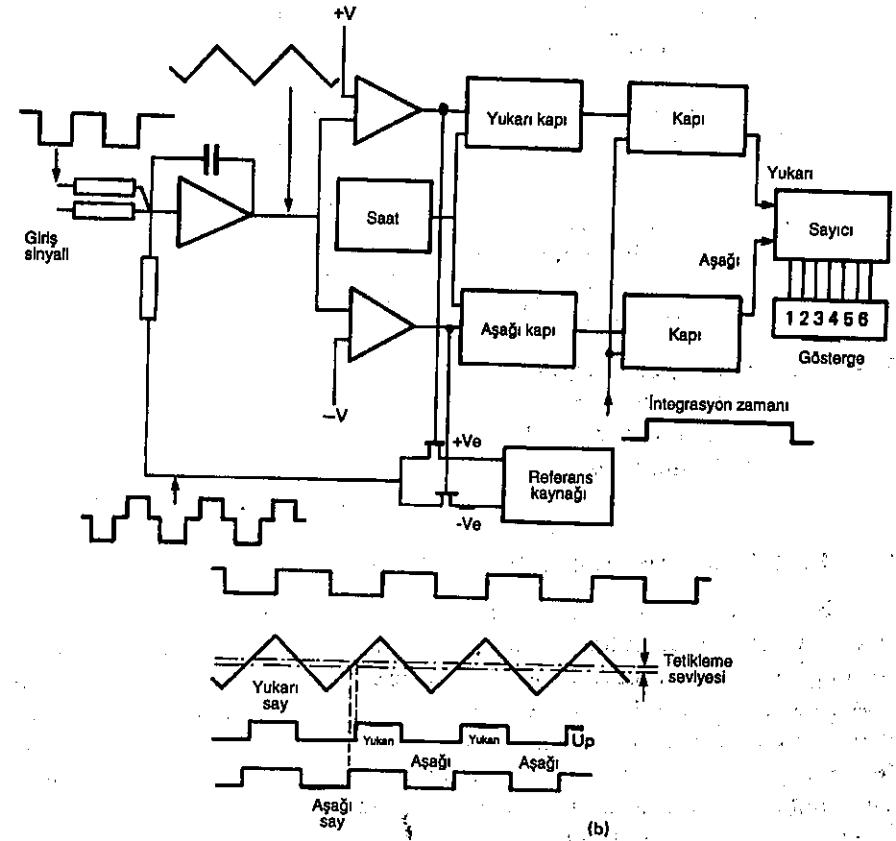
1.3.1.3. Darbe - Genişliği ADC leri

Basit olarak darbe-genişliği ADC si, Şekil 1.27 de şematik olarak gösterilmektedir. ADC, gerilim kontrollü bir tek kararlı (monostable) kullanır ve genişliği giriş gerilimine orantılı olan bir darbe üretir. Darbenin genişliği, bir referans saat ile ölçülür. Bundan dolayı, dönüştürme periodu sonrasında, sayıcı içerisinde analog girişe denk olan bir ikili sayı bulundurulur. Tekniğin doğruluk derecesi, gerilimin, darbe-genişliği dönüştürücüsüne göre doğrusallığına ve kararlılığına, ayrıca referans saatin kararlılığına da bağlıdır. Yüksek-hız dönüşümleri, yüksek-frekanslı saat kullanımını gerektirir. Uzun zaman aralıklarında, darbelerin toplanması neticesinde, hat frekansı ve gürültü sinyallerinin etkisi tamamlanarak toplanır.



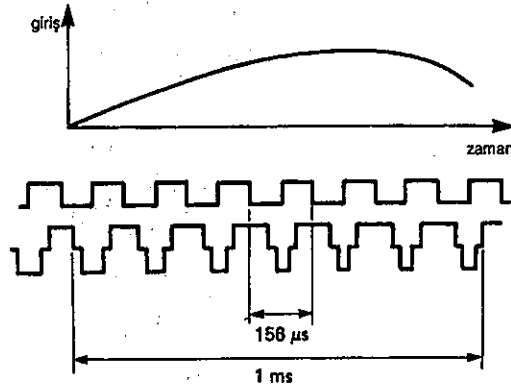
Şekil 1.27 : Darbe-Genişliği ADC

Şekil 1.28 de (Pitman, 1978; Pearce 1983), geliştirilmiş hassas voltmetrelerde kullanılmak üzere geliştirilmiş darbe-genişliği tekniği görülmektedir (Pitman, 1978; Pearce, 1983).



Şekil 1.28 : Hassas Darbe - Genişliği ADC.
a) Devre b) Zamanlama (Solartron Instruments Ltd)

Hassasiyet darbeleri, + Ve ve - Ve referans gerilimlerini bölmek suretiyle bir integratörün girişini beslemektedir. Bu integratörün, karesel dalga girişi üçgen çıkışa zorlanmıştır. İki karşılaştırıcıya uygulanan üçgen dalgaşekli, referans gerilimlerine giriş vermek için iki adet darbe (pals) dizisi üretir. Bir giriş geriliminin olmadığı durumda, geribesleme + Ve, - Ve darbelerinin genişlikleri eşit olacaktır. Karşılaştırıcıların çıkışları, yukarı-aşağı sayıcıya beslenmektedirler. + Ve darbesinin devamı için, sayıcı yukarı sayar; -Ve darbeleri sırasında ise aşağı saymaktadır. Böylece, ideal olarak, giriş olmadan, entegrasyon sonunda, period sıfır olacaktır. Şayet, bütünleyiciye bir giriş uygulandığı takdirde + Ve ve - Ve darbe genişlikleri şekil 1.28 de gösterildiği gibi geri besleme mekanizması tarafından ayarlanırlar. Eğer kare dalgasının perodu yaklaşık olarak 312µs ise ve saat yaklaşık olarak 13 MHz ile çalışıyorsa, o zaman bir tek period üzerinden, 4000 de 1 çözünürlük mertebesiyle bir okuma sağlamak mümkün olur. Şekil 1.29 değişen-zaman girişi için darbe-genişliklerinin değişimini göstermektedir.



Şekil 1.29 : Değişken-Zaman Girişinin ADC Darbe-Genişliğine Olan Etkisi (Soclartron Instruments Ltd)

Bütünleme periodunu, 20 ms ye çıkartmak suretiyle, çözünürlük 260000 de 1 mertebesine ulaşır ve önemli ölçüde 50 HZ Hat frekansı reddedimi elde edilir. Metod, çözünürlük ve ölçüm hızı arasında bir alışveriş olmasına izin verir.

1.3.1.4. ADC larde Gerilim Referansları

Bütün ADC larde, bir referans gerilimi sayesinde bir karşılaştırma yapabilmek mümkündür. Dolayısıyla, doğru bir dönüşüm elde edilebilmesi için,

hassas ve kararlı bir gerilim kaynağı olması gereklidir. Birçok sayısal voltmetreler, referans gerilimlerini üretmek için zener diyodlarını kullanır; ancak yüksek hassasiyet cihazları çoğunlukla referans gerilimini sağlamak için standart hücreleri kullanma imkânlarına sahiptir. Genellikle iki tip zener aygıtı kullanılır. Dengelenmiş Zener diyodu, zener kavşağı ve ileri-yön öngerilim kavşağının bir kombinasyonundan meydana gelmekte olup zener kavşağının çok yakınındadır; böylelikle sıcaklık katsayısı, doğru zener akımını seçmek suretiyle, birkaç ppm mertebelerinde ayarlanabilir. Aktif zener diyodları, diyod çevresindeki silikon devreye monte edilmiş sıcaklık kontrol ünitesine sahiptir. Tablo 1.6. (Spreadbury, 1981 den alınmıştır), iki tip zener aygıtının özellikleriyle bant aralığı (bandgap) aygıtları ve weston standart hücresi özelliklerini karşılaştırmaktadır.

Tablo 1.6 Gerilim Kaynakları Referansı

	Weston Hücresi	Dengelenmiş zener	Aktif zener	Band aralık aygıtı
Kararlı seviye, V	1.018	6.4	7	1
deg. ⁰ C için 10 ⁶ kısım	-40	1	02	30
Sıcaklık katsayıları	500 Ω	15 Ω	1/2 Ω	1/2 Ω
I _ç direnç		7.5 mA için	1 mA için	
		(bütün hallerde, op. amp. 0.001 Ω 'a kadar düşürebilir .		
Yaşlanma, senede 10 ⁶ kısım	0.1'den 3'e	2'den 10'a	20	100
Gürültü, µV rms	0.1	1	7	6

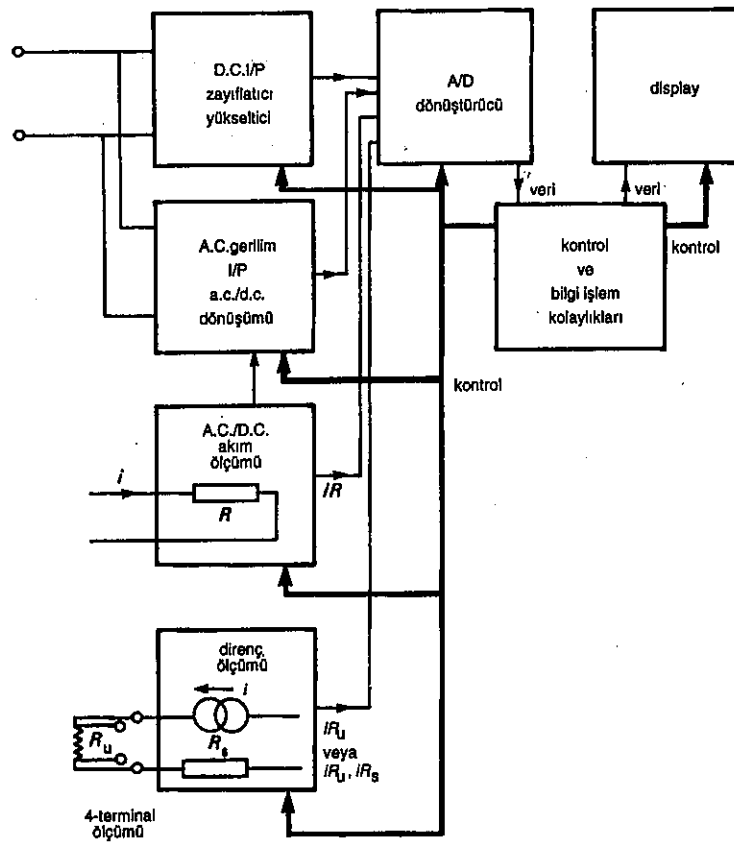
1.3.2. DVM ve DMM lerdeki Elemanlar

ADC, DVM veya DMM nin merkez elemanıdır. Buna karşılık ADC, unipolar d.c. sinyalleri üzerine çalışan kısıtlı bir giriş aygıtıdır. Şekil 1.30, tam teşekküllü bir DVM ve DMM cihazlarının elemanlarını göstermektedir.

1.3.2.1. D.C. Giriş Kademesi ve Koruması

D.C. giriş kademesi, zayıflatma / yükseltme ve sinyalin kutupsallık (polarite) hassasiyetiyle beraber yüksek giriş empedansı sağlamaktadır. Böylece ADC ye uygulanan gerilimin doğru genlik ve polaritede olduğu garanti edilmiş olur.

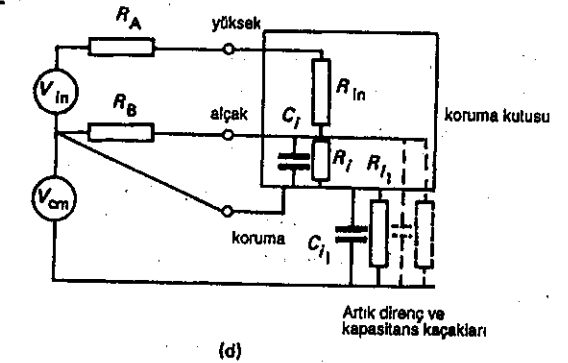
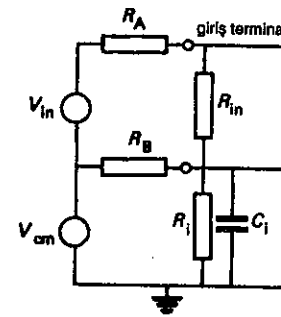
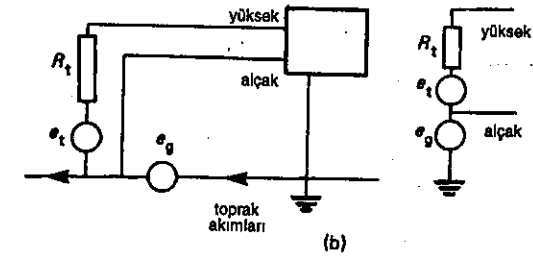
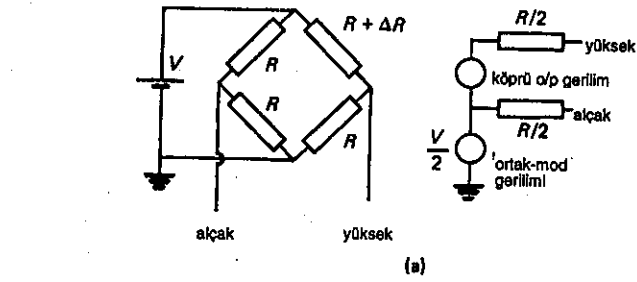
DVM'ler ve DMM'ler, çok daha geniş ortak-mod sinyalleri üzerine oturan küçük d.c. ve a.c. sinyallerini ölçmek için kullanılmaktadırlar. Örneğin şekil 1.31(a) da gösterilen, bir wheatstone köprüsünden çıkan çıkış sinyalini ölçerken, ortak-mod gerilimi, köprü beslemesinin yarısıdır. Eğer, bir transdü-



Şekil 1.30 DVM / DMM elemanlar

ser, birleştiği DVM den biraz uzakta yer almaktaysa, ortak-mod sinyalleri, Şekil 1.31(b) de gösterildiği gibi hat-frekansı toprak akımları tarafından üretilir ve dolayısıyla ölçülecek potansiyel bir a.c. hat-frekansı ortak-mod sinyalinin üzerine konabilir. Şekil 1.31(c), ölçüm devresi ve DVM veya DMM nin girişi için eşdeğer devreyi göstermektedir. R_A ve R_B , ölçüm devresinin yüksek ve alçak dirençlerini göstermektedir, R_{in} DVM veya DMM nin giriş direncini, R_i ve C_i ise cihazın alçak terminali ile güç toprağı arasındaki kaçak empedansı göstermektedir.

Yüksek terminalle, cihaz toprağı arasında kalan kaçak empedans ihmal edilebilir; çünkü, yüksek taraf genellikle tek bir teldir, buna karşılık, alçak taraf çoğunlukla geniş bir metal plâka veya düzlemden oluşmaktadır. R_B , R_i ve C_i den meydana gelen bölücü, ortak mod sinyallerini, giriş sinyallerine dönüştürür. Tipik olarak, R_i $10^9 \Omega$ olup, C_i 2.5 nF mertebelerine kadar ulaşabilir.



Şekil 1.31 : a) Köprü Ölçümlerinde Ortak-Mod Sinyalleri
b) Toprak Akımı Üretilmiş Ortak Mod Sinyalleri
c) Eşdeğer giriş devresi
d) Giriş koruması

Özel amaçlar için R_A sıfır olarak ve R_B 1 k Ω olarak alınırlar. Dolayısıyla d.c. da, ortak-mod reddetmesi (zayıflatması) -120 dB olup ve 50 Hz de -62 dB dir.

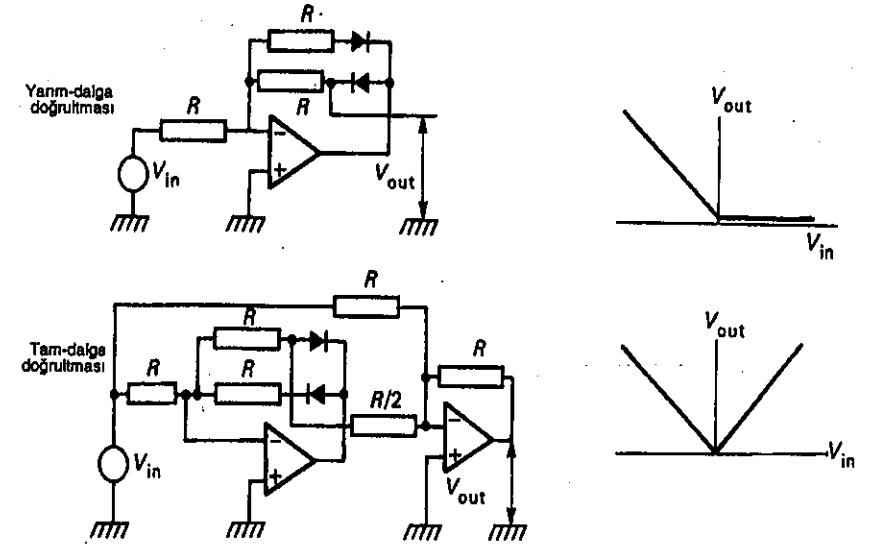
Ortak-mod reddetmesi, bir giriş koruyucusu ilâve edilmek suretiyle iyileştirilebilir. Bu durum şekil 1.31(d) de gösterilmiş olup, giriş devresinin çevresine bir metal kutunun ilâvesi şeklinde düşünülebilir. Bu metal kutu, hem alçak giriş, hem de güç toprağından yalıtılmışdır. Cihazın giriş ucu şeklinde kullanılmaya hazırdır. Eğer koruyucu, ölçüm devresinin alçak tarafına bağlanmışsa, alçak uç ile, koruyucu arasında, akım akışı etkisi giderilir, çünkü bunlar aynı potansiyele sahiptirler.

Kaçak empedansların değeri $10^{11} \Omega$ ve 2.5 pF mertebelerindedir. d.c. ortak-mod reddetmesi şimdi -160 dB ve 50 Hz lik ortak-mod reddetmesi de -122 dB e yükselmiştir. Dolayısıyla 100 V değerinde d.c. ortak-mod sinyali, 1 μ v luk bir giriş gerilimi ve 20V, 50 Hz lik bir ortak mod sinyali ise 20 μ v dan daha az bir giriş üretecektir. Ortak-mod sinyallerinin olmadığı durumlarda, koruyucu alçak sinyale bağlanmalıdır, yoksa istenmeyen sinyaller koruyucudan yakalanacaktır.

1.3.2.2. a.c. / d.c. Dönüşümü

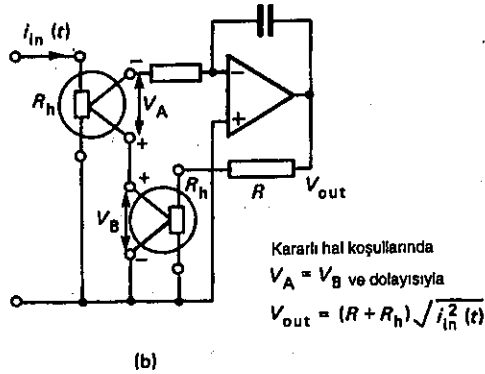
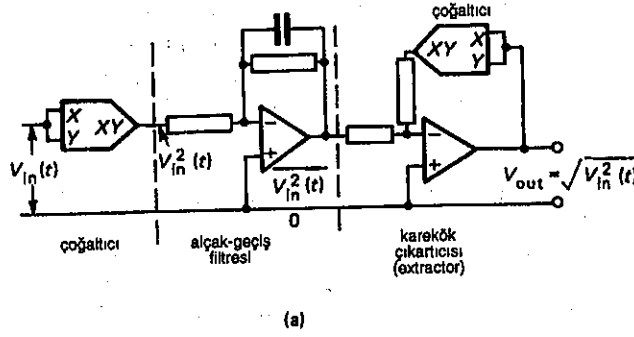
Sayısal cihazlarla yapılan a.c. gerilimi ve akımı ölçmelerinde genellikle iki teknik kullanılmaktadır.

Düşük maliyetli DVM ve DMM ler ortalama mutlak değer ölçüm -rms tekniği kullanılmaktadırlar ve bu teknik kalıcı mıknatıs-hareketli bobin cihazı sayesinde a.c. akım ve gerilim ölçümünde kullanılan tekniğe benzer özellikler taşımaktadır. Şekil 1.32 de gösterildiği gibi, çalışır teknikleri kullanmak suretiyle, ileri diyod düşüş etkisi azaltılabilir ve dolayısıyla yüksek doğrultma elde edilebilir. Cihazın rms ye duyarlı olmaması doğru gösterim için sinüsoidal dalga biçimine bağımlı olduğundan bu teknik, bölüm 1.2.1.3 de gösterilen şekil faktörü hataları gösterir. Gerçek rms ölçümü Şekil 1.33(a) da görüldüğü gibi, analog elektronik multiplikatör veya kare kök çıkarıcı kullanmak suretiyle, veya Şekil 1.33(b) de görüldüğü gibi termal çevirici kullanarak elde edilir. Yüksek hassasiyetli ölçüm cihazları, a.c/ d.c. geçişini etkilemek için vakum termokupl'ları kullanır. Brodie (1984) böyle bir tekniği kullanan a.c. voltmetresini anlatmaktadır. Bu teknikde 40Hz den 20kHz e kadar olan bir bant aralığında, 100mV dan 125V a kadar olan her sinyal seviyesi için, 160ppm lik bir ölçüm doğruluğu elde edilmiştir. Bu voltmetre, 10 Hz den 1MHz arasında kalan bir bant aralığında, 12.5 mV dan 600V sınırları arasında biraz daha az hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir.



Şekil 1.32 A.C. Sinyal Hassasiyet Doğrultması (Rectification)

Gerçek rms duyarlı cihazlarda, üretici çoğunlukla cihaz için müsaade edilen genlik faktörünü belirtir. Genlik faktörü, periyodik sinyalin tepe değerinin, rms değerine olan oranıdır. Tipik olarak, müsaade edilen maksimum genlik faktörü 5 dir.



Şekil 1.33 (a) Örnekse (analogue) çoğaltımla rms değerlendirme
(b) Isısal tekniklerin kullanımı ile a.c./d.c. dönüşümü

1.3.2.3. Direnç ve Akım Ölçümleri

Direnç ölçümleri, direnç içersinden bilinen bir akım geçirmek ve buradaki gerilim düşmesini ölçmek suretiyle yapılmaktadır. Şekil 1.30 da gösterildiği gibi, 4 - uç (Terminal) metodu, kurşun direncin değerini azaltmayı sağlar. Yüksek-hassasiyetli DMM ler, aynı akımın hem bilinmeyen dirençten, hem de standart bir dirençten geçtiği, oranmetre metodlarını kullanırlar. Bilinmeyen direç, iki direnç de oluşan gerilimlerin oranından ve standart direncin değerinden hesaplanabilir. a.c. ve d.c. akım ölçümlerinde, üzerinde gerilim oluşan bir şönt kullanılır. Bu gerilim, sonra ADC ile ölçülür.

1.3.2.4. Kontrol ve Ölçüm Sonrası Bilgisayar İmkanları

DVM de ve DMM içindeki kontrol elemanı, artan biçimde bir mikro işlemci tarafından sağlanmaktadır. Mikro işlemcinin kullanımı, sayısal cihazın, kullanıcıya yüksek oranda ölçümsonu saklama ve hesaplama kolaylıkları vermesini sağlamaktadır.

Bunlar :

- (1) Okumalar arasında, verilen bir zamanda, okunan değerleri saklanması (storage) ve derlemi (collection)
- (2) Ölçekleme uygulaması ve $y = mx + c$ şeklinde bir çıkış verebilen okumaların ofset hesapları. Burada, x okunan değer m ve c ise işlemci tarafından verilen giriş sabitleridir. Bu durum, ölçülen değerlerin mühendislik birimlerine göre çıkış olmasını sağlar.
- (3) Önceden konulmuş sınırlar içersinde kalındığından emin olmak için yapılan test okumaları. Bu mod için, cihaz ya yüksek-alçak geçişleri gösterir veya her kategoride okuma sayısını sayar.
- (4) İşlemci tarafından, verilen bir nokta değeri girişi için, yüzde sapmanın gösterimi ve hesaplanması.
- (5) Ölçülen değerin bilgi işlemci tarafından girilen değerlere oranını hesaplama.
- (6) Ölçülen değişkenin maximum ve minimum değerlerini saklama.
- (7) Numune ortalamasını, standart sapmayı, varians (variance) veya rms değerlerini sağlamak için verilen ölçme değerlerinden istatistiksel veriler üretme.
- (8) Ölçülen verilerin sayısal filtrasyonu. Böylece, sürekli bir ortalama, n sayıda okumadan alınan bir ortalama, veya n okuma üzerinden yürüyen pencere ortalaması sağlanabilir.

1.3.2.5. Çıkış

DVM ve DMM lerin görüntülenmesi, ışık yayan diyotlar (LED) veya sıvı kristal görüntülenmesi (LCD) ile sağlanmaktadır. Bütün bu görüntülemelerin göreceli önemleri, 4. ciltte, görüntüleme bölümünde anlatılmaktadır. Şayet sonuçlar, ileri sayısal sistemlerle iletişim de olursa, o zaman çıkış ya paralel-ikili veya ikili-kodlanmış, ondalık çıkışlar (BCD) şeklinde verilebilir. Birçok DVM ler ve DMM ler, standart IEEE-488 veya RS232 paralel, ya da seri arabirimlere uydurulmuşlardır. Bu durum, verilerin ve kontrolün, cihaz ve kontrol bilgisayarı arasına geçmesine müsaade eder. IEEE-488 in özellikleri ve RS232 arabirimleri 4. ciltte gözönüne alınmaktadır.

1.3.3. DVM ve DMM özellikleri

DVM'ler ve DMM'ler, elle tutulabilen, bataryalı multimetreler panel metreler ve tezgâh cihazlarından standart laboratuvar cihazlarına kadar geniş bir alanı kapsamaktadır. Bu sayısal cihazlar öncelikle, çözünürlük, doğruluk ve okuma hızlarıyla belirlenmişlerdir. Cihazın çözünürlüğü, (hassasiyetinden daha yüksek bir değerde olabilir) görüntünün en az önemli rakamındaki değişimin gösterdiği miktara tekabül etmektedir. Tipik olarak, sayısal cihazların

$3\frac{1}{2}$ ile $8\frac{1}{2}$ basamaklar arasında gösterimleri vardır. Yarım basamak, en önemli basamağın, 1 veya 0 değerlerini alabileceğini göstermektedir. Dola-

yısıyla, $3\frac{1}{2}$ basamaklı bir cihaz 2000 de 1 çözünürlüğü ve $8\frac{1}{2}$ basamak-

lı cihaz ise 2×10^8 de 1 oranında bir çözünürlük değerine sahiptir. Cihazın doğruluğu, $\pm (\times \text{okuma (R)} \text{ yüzdesi} + y \text{ skala (s) yüzdesi} + n \text{ rakkamları})$ şeklinde belirtilmiştir.

Tablo 1.7, yoğunlaşmış özellikleri vermektedir. Böylece elle tutulabilen, $3\frac{1}{2}$ -dijit DMM, ve $5\frac{1}{2}$ -dijit multimetre ve bir $8\frac{1}{2}$ -dijit standart laboratuvar DVM sini vermektedir. Tablo 1.7 de verilmiş doğruluk payları sadece yol göstermek için olup tüm detayların öğrenilmesi için okuyucunun üreticinin verdiği bilgilere başvurması gerekir.

Tablo 1.7 : Sayısal Voltmetre Özelliklerinin Karşılaştırılması

	3 1/2 multimetre (Fluke 8026B)	5 1/2 basamak akıllı multimetre (Thuribby 1905A)	8 1/2 basamak standart laboratuvarı DVM Solartron 7081
D.C. Gerilim seviyeleri Tipik Doğruluk	199.9 mV—1000 V ± (0.1%R + 1 rakam)	210.000 mV—110.0V ± (0.015%R + 0.0015%5 +2 rakamlar)	0.1 V—1000 V Kısa - Zaman kararlılık ±(1.2 ppm R + 0.3 ppm S) ±(1.2 ppm R + 0.3 ppm S)
Giriş Empedansı	10 MΩ bütün sınırlarda	> 1GΩ en az iki sınır 10 MΩ geri kalanda	> 10 GΩ en az 3 sınırdan 10 MΩ geri kalanda
A.C. gerilim sınırları Tip	199.9 mV—750 rms Gerçek rms duyarlı tepe faktörü 3:1	210.00 mV—750 Vrms Ortalama duyarlı/sinusoid için rms ayarlanmış	0.1 V—1000 Vrms Gerçek rms duyarlı tepe faktörü 5:1, kısa zaman kararlılığı
Tipik doğruluk	± (1% R + 3 rakam)	± (2 % R + 10 rakamlar)	± (0.05 % R + 0.03 % S)
Frekans sınırları	45 Hz — 10 kHz	45 Hz — 20 kHz	10 Hz — 100 kHz
Giriş empedansı	10 MΩ 100 pF	10 MΩ 47 pF	10 MΩ 47 pF
D.C. Akım sınırları Tipik doğruluk	1.999 mA—1.999 A ± (0.75 % R + 1 rakam)	210.00 µA—2100.00 mA ± (0.1 % R + 0.0015 % S + 2 rakam)	Uygulanamaz
Gerilim	Bütün değerlerde Max 0.3 V (1.999 A hariç) 1.999 A, 0.9V üzerine max. yükleme	2100 mA sınırı hariç bütün değerlerde 0.25 V max. 2100 mA seviyesinde 0.75 V üzerine max. yükleme	Uygulanamaz
A.C. Akım sınırları Tip	1.999mA—1.999 A Gerçek rms duyarlı tepe faktörü 3:1	210.00 mA—2100.0 mA Ortalama duyarlı/sinusoid için rms ayarlı	Uygulanamaz
Tipik doğruluk	± (1.5 % R + 2 rakam)	± (0.3 % R + 5 rakam)	Uygulanamaz
Frekans sınırı	45 Hz — 1 kHz	45 Hz—500 Hz	Uygulanamaz
Gerilim yükü	0.3 Vmax. bütün değerlerde (1.999 A sınırı hariç). 1.999 A sınırı 0.9 V üzerine max. yük.	2100.00 mA sınırı dışında bütün seviyelerde max. 0.25V max. yük. 2100 mA sınırı 0.75 V üzerine	Uygulanamaz
Direnç sınırları Tipik doğruluk	199.9 Ω — 19.99 MΩ ± (0.1 % R + 1 basamak)	210.000 Ω — 21.00 MΩ ± (0.04 %R + 0.0015%S + 2 basamak)	0.1 kW — 1000 HW Kısa-dönem kararlılık (2 ppm R + 0.4 ppms) Max. akım 0.1, 1 ve 10 kΩ sınırları üzerine Mx. akım 1 mA.
Kullanılan akım	Max. akım 0.35 mA, 199.9 Ω Sınırı üzerine	Max. akım 1 mA 210.000Ω sınırı üzerine	Max. akım 1 mA.
Okuma hızı		Saniyede 3	100/S den 1/51.2 s.
Ortak mod zayıflatma oranı	> 100 dB, doğru akım için, 50 Hz ve 60 Hz, D.C. aralıkları için 1 kΩ'luk birlikte > A.C. aralıkları üzerine 1 kW'luk dengesizlikle birlikte 50 ve 60 Hz için 60 dB	> D.A. da 120 dB veya 50 Hz	Effektif CMR (CMR + SMR), 1 kW'luk bir dengesizlik 5 1/2—8 1/2 basamak> 140 dB 50(60) Hz için > 120 dB 400 Hz'de A.C. ölçümleri için > 40 dB 50(60) Hz'de 5 1/2 — 8 1/2 basamakları > 70 dB 50 (60) veya 400 Hz
Seri-mod zayıflatması	50 veya 60 Hz'de > 60 dB	50 Hz'de > 60 dB	
İlave notlar	LCD görüntülenmesi ile çalışan Batarya	LED görüntülenmesi. Akıllı işlemler sınırları kapsamları: dereceleme ve ofseting, %de sapma, alçak-yüksek geçişler, max-min filtreleme, ortalama ve veri yükleme. RS 232 ve IEEE - 488 interfazları gerçek rms seçeneği mümkündür.	LED görüntülenmesi. Akıllı işlemlerin kapsamı: oran, dereceleme ve ofseting, sayısal filtreleme, Limitler, zaman-gerçek veya geçmiş, 1500 sayısal okuma veya zaman ve kanal modu ile 500 okuma RS 232 ve IEEE-488 interfazları.

1.4. Güç Ölçümleri

2-terminalli pasif bir şebeke için, şayet şebeke üzerindeki ani gerilim $v(t)$ ise ve aynı şekilde ani akım $i(t)$ ise, o zaman kaynağa dönen veya kaynaktan alınan ani güç $p(t)$ olarak ifade edilir.

$$p(t) = v(t) \cdot i(t)$$

Doğrusal bir şebeke için, şayet $v(t)$ sinusoidal ise

$$v(t) = \bar{V} \cdot \sin \omega t$$

ve

$$i(t) = \bar{I} \sin (\omega t + \phi)$$

ve ani güç,

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) = \bar{V} \bar{I} \sin (\omega t) \sin (\omega t + \phi)$$

şebeke tarafından harcanan ortalama güç

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) \cdot dt \text{ olur.}$$

Burada T dalga şeklinin periodu olup, dolayısıyla

$$P = \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} \bar{V} \bar{I} \sin(\omega t) \sin(\omega t + \phi) dt$$

Dolayısıyla P ,

$$P = \frac{\bar{V} \bar{I}}{2} \cdot \cos \phi \text{ olarak verilir.}$$

rms gerilimi,

$$\bar{V} = \frac{V}{\sqrt{2}}$$

ve rms akımı, I , $\bar{I} = \frac{I}{\sqrt{2}}$ dir.

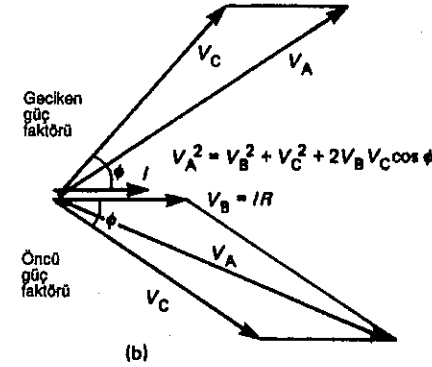
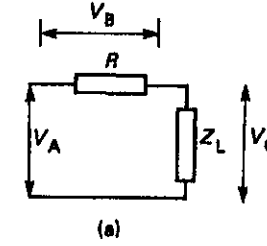
Dolayısıyla şebeke de harcanan ortalama güç

$$P = V I \cos \phi \text{ olarak verilir.}$$

($\cos \phi$, güç faktörü olarak bilinir)

1.4.1. Güç Ölçümünde Üç-Voltmetre Metodu

İndüktif olmayan bir direnç kullanarak, şekil 1.34(a) da gösterilen üç gerilimi ölçerek, watmetre kullanmadan, yükteki güç kaybını ölçebilmek mümkündür. Şekil 1.34(b), öncü (leading) ve geciken (lagging) güç faktörleri için fazör diyagramını göstermektedir.



Şekil 1.34 : a) Üç voltmetre metodunu kullanarak güç ölçümü

b) Üç voltmetre metodu için fazör diyagramı

Fazör diyagramından, basit geometri kullanarak

$$V_A^2 = V_B^2 + V_C^2 + 2V_B V_C \cos \phi$$

$$V_B = IR$$

Yükte harcanan ortalama güç

$$p = V_C I \cos \phi$$

şeklinde verilince,

$$p = \frac{V_A^2 - V_B^2 - V_C^2}{2R}$$

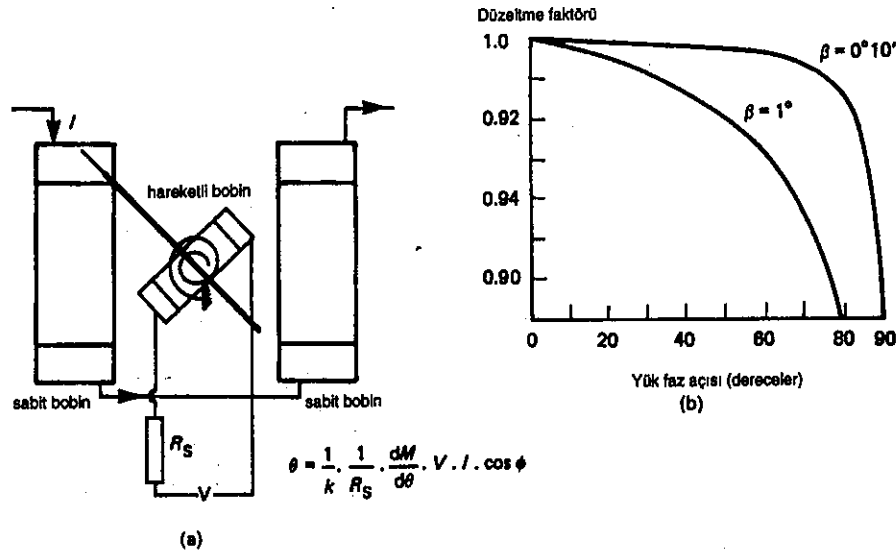
ve güç faktörü $\cos \phi$

$$\cos \phi = \frac{V_A^2 - V_B^2 - V_C^2}{2V_B V_C}$$

olarak bulunmaktadır.

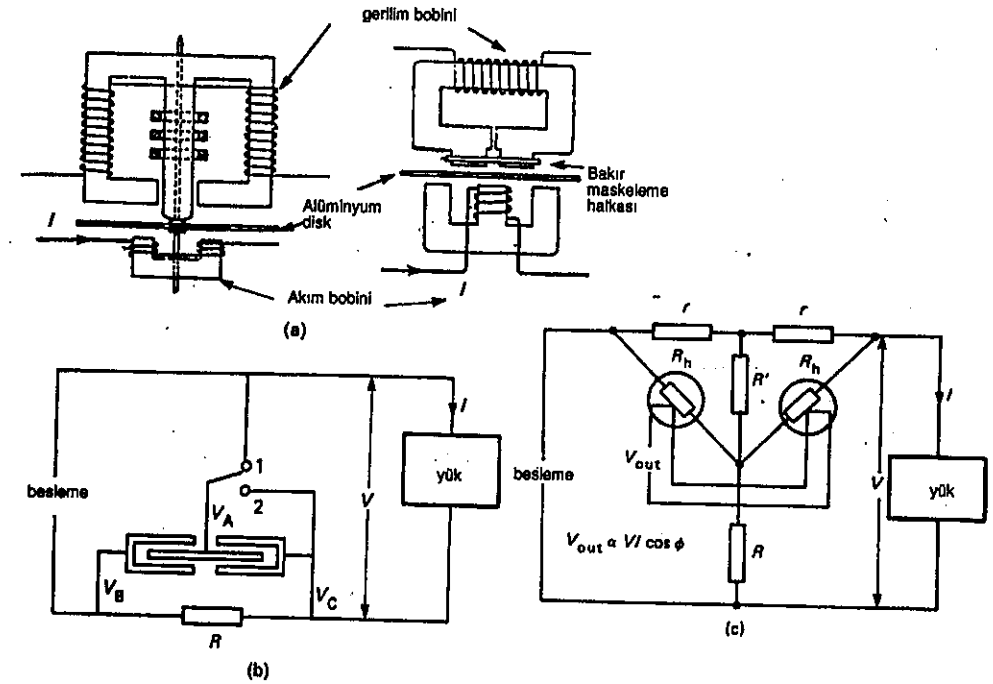
1.4.2. Direk Gösterimli Analog Watmetreler

Direkt gösterimli analog watmetreler, dinamometre, indüksiyon, elektrostatik veya termokupl prensiplerini kullanmaktadırlar. Bunlar Şekil 1.35 ve 1.36 da gösterilmiştir.



Şekil 1.35 : a) Dinamometre, Watmetre

b) Watmetre Düzeltme Faktörleri



Şekil 1.36 : a) Indüksiyon Watmetresi
b) Elektrostatik Watmetre
c) Termokupl Watmetresi

Bunlar arasında, dinamometre en sık olarak kullanılan cihazdır. Şekil 1.35(a) da gösterilen dinamometre watmetre içerisinde, şebekedeki akım sabit bobinler boyunca geçmektedir; bu esnada, uygulanan gerilime orantılı olarak hareketli bobin bir akım taşımaktadır. Gerilim bobinindeki, seri dirençleri indüktif değildirler. Geriçağırım burulması bir yay tarafından sağlanmaktadır; dolayısıyla bölüm 1. 2. 4. den, watmetrenin ortalama sapması aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$\theta = \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{R_s} \cdot \frac{dM}{d\theta} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi$$

Dinamometre watmetrelerinde mevcut birincil hatalar, gerilim bobinindeki gerilimin ve faz hatalarının, ve watmetrenin kendisindeki güç kaybının birer sonucu olarak ortaya çıkarlar. Diğer hatalar, gerilim bobininin kapasitansı ve anafor (eddy) akımlarından dolayı meydana gelir. Eğer gerilim bobininin indük- tansı ve direnci sırasıyla L_v ve R_v iseler ve R_s direnci de gerilim bobini

ile seri olarak bağlanmışsa, o zaman bobinden ω frekansı ile geçen akımın büyüklüğü aşağıdaki şekilde,

$$I_v = \frac{V}{\sqrt{(R_v + R_s)^2 + \omega^2 L_v^2}}$$

ve β faz açısı olmak üzere

$$\beta = \tan^{-1} \frac{\omega L_v}{R_v + R_s} \approx \frac{\omega L_v}{R_v + R_s} \text{ verilir.}$$

Dolayısıyla, frekansın değişikliğe uğraması, gerilim bobinindeki faz açısını ve hassasiyeti de değiştirir. Şayet yükleme devresinin bir gecikme güç faktörü varsa ki, bu $\cos \phi$ dir, o zaman watmetrenin doğru gösterimi

$$\frac{\cos \phi}{\cos \beta \cdot \cos(\phi - \beta)} \times \text{gerçek gösterim}$$

ve gerçek gösterimin bir yüzde miktarı olan hata ise

$$\frac{\sin \beta}{\cos \phi + \sin \beta} \times 100 \%$$

şeklinde verilir.

Watmetre, gecikme güç faktörlerini yüksek değerlerde okumaktadır.

Şekil 1.35(b), $\beta = 1^\circ$ ve $\phi = 0^\circ 10'$ için düzeltme faktörlerini vermektedir. Şekil 1.36(a) daki, indüksiyon watmetresi, 1.5. bölümde tarif edilen gölgeli kutup indüksiyon watt-h metre'sinin çalışma prensibine benzer bir şekilde işlemektedir. Burada, burulma, öne sürülen manyetik alanların etkisinde, ince bir alüminyum disk içinde, indüklenen anaför akımlarının etkileşmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Disk üzerinde üretilen ortalama burulma, ortalama güç ile orantılıdır. Indüksiyon watmetresinde, üretilen burulma, bir yay tarafından karşı çıkılır ve böylece doğrusal ve uzun olabilen bir ölçeği vardır.

Şekil 1.36(b) de gösterilen, elektrostatik watmetrede, anahtarın 1. pozisyonunda olma durumunda, ani burulma

$$T \propto (v_A - v_B)^2 - (v_A - v_C)^2 \text{ ve}$$

dolayısıyla

$$T \propto 2R \left(v \cdot i + \frac{i^2 R}{2} \right) \text{ dir}$$

Burada v ve i ani yük gerilimi ve akımı olmaktadır. Şayet, bir yay bu burulmaya karşı koyarsa, o zaman ortalama sapma

$$\theta \propto 2R \left(VI \cos \phi + \frac{I^2 R}{2} \right)$$

şeklinde verilir. (Örneğin, yükde harcanan ortalama güç, ve R de harcanan gücün yarısının ilâvesi). Anahtarın 2. durumda olması halinde ani burulma

$$T \propto 2R (v_A - v_B)^2$$

olarak verilir. ve ortalama sapma

$$\theta \propto R (I^2 R) \text{ dir.}$$

Örneğin, R de harcanan güç.

Böylece, bu iki ölçümden, yük içersindeki güç hesaplanabilir. Şekil 1.36(c) gösterildiği gibi, birleştirilmiş termokupl'ları kullanan denkleştirilmiş termal watmetrede R' direncinin değeri

$$R' = \frac{(R_h + r) \cdot R}{r}$$

olarak seçilmiştir.

Watmetrenin çıkışı, böylece aşağıdaki formülle gösterilebilir:

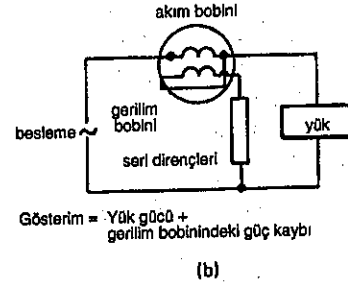
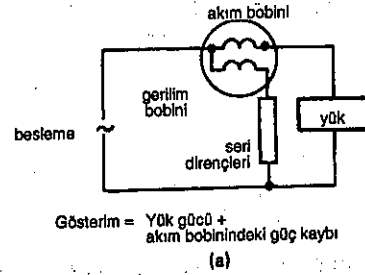
$$V_{out} = \frac{k \cdot r}{(r + R_h)(r + R)} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi$$

Burada k termokuplların bir sabitidir.

Denkleştirilmiş termal watmetre'lerde, akım veya gerilim devreleri tarafından harcananan güce bağlı olan, hiçbir hata meydana gelmez. Dinamometre watmetreler, d.c. frekansından birçok kHz'e kadar % 0.25 doğruluk payına sahip olan FSD sağlayabilirler. Indüksiyon watmetreleri sadece a.c. devrelerinde kullanılmak için uygundur ve doğru bir işlem için, sabit gerilim ve frekans beslemesi gerektirir. Elektrostatik watmetre, dalga şekli hataları olmayan standart bir cihazdır. Bu cihaz, demir kaybının, dielektrik kaybı, floresan tüplerce harcanan güç gibi alçak güç faktörlerinin ölçülmesi için uygundur. Termokupl watmetreler, yüksek doğruluk payı ile, 1 MHz'e kadar ölçümler yapabilmektedir.

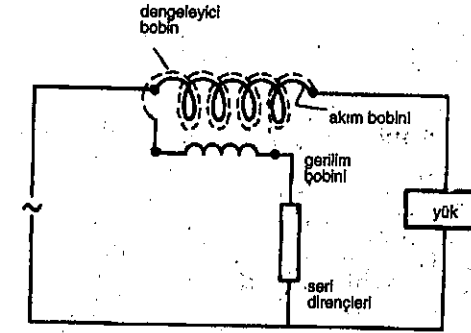
1.4.3. Watmetrelerin Bağlanması

Bir dinamometre watmetresini, ölçme devresine bağlamanın iki yolu vardır. Bunlar Şekil 1.37(a) ve (b) de gösterilmiştir.



Şekil 1.37 : Watmetre Bağlantısı

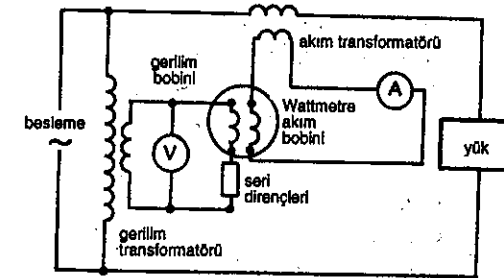
Şekil 1.37(a) da gösterilen bağlantı devresinde, gerilim bobini akım bobininin besleme ucuna bağlanmıştır. Dolayısıyla watmetre, yükteki güç kaybı ile akım bobinindeki güç kaybının toplamını ölçmektedir. Şayet watmetre Şekil 1.37(b) de olduğu gibi bağlarsa, akım bobini, akımı hem yük hem de gerilim bobini için almaktadır. Bu metod, güç kaybını hem yükte hem de gerilim bobininde ölçmektedir. Düşük yük akımlarında, akım bobinindeki gerilim düşmesi, küçük olacaktır; dolayısıyla, bu bobindeki güç kaybı küçülecek ve 1. bağlantı metodu küçük hata verecektir. Yüksek yük akımlarında, gerilim bobinindeki güç kaybı, yükteki güç kaybı ile mukayese edildiğinde küçük olacaktır ve ikinci bağlama metodu tercih edilmektedir. Şekil 1.38 de gösterilen dengeli watmetreler denkleştirilmiş gerilim sargıları ile seri olarak bağlanmış bir denkleştirici bobin kullanmaktadır.



Şekil 1.38 : Dengelenmiş dinamometre watmetresi.

Bu dengeli bobin, akım bobini ile eşdeğer olup onunla sıkıca sarılmıştır. Böylece, yük akımından dolayı, ana manyetik alanla ters olan bir manyetik alan meydana getirilir. Dolayısıyla gerilim bobini akımının etkisi ortadan kaldırılmıştır ve Şekil 1.38 deki biçimde bağlanan watmetre, gerilim bobinindeki güç harcanmasına bağlı hiçbir hata göstermemektedir.

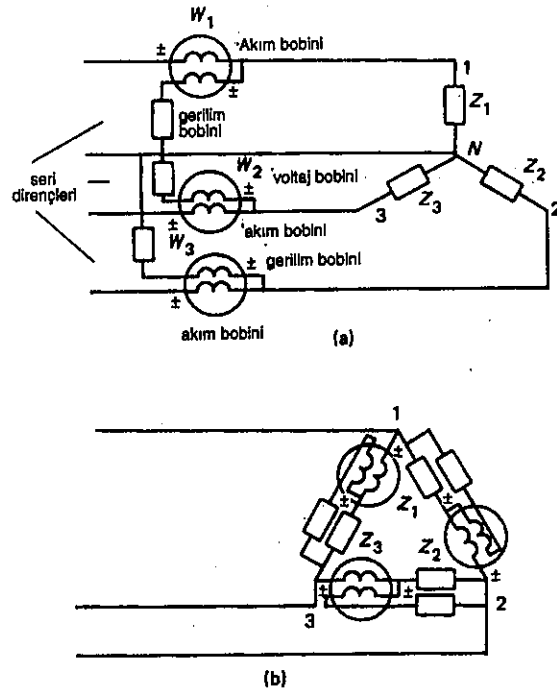
Elektronik watmetreler için, gerilim algılama devresindeki güç kaybı çok düşük yapılabilir ve dolayısıyla ikinci bağlama metodu tercih edilmelidir. Watmetrelerin akım ve gerilim sınırları, Şekil 1.39 da gösterilen akım ve gerilim transformatörleri yoluyla arttırılabilir. Bu transformatörler, ölçümlerde Bölüm 1. 2. 3 de belirtildiği gibi hatalar meydana getirmektedirler.



1.39 : Cihaz transformatörleri ile kullanılan watmetre

1.4.4. Üç - Faz Güç Ölçülmesi

n iletken sistemi için verilen güç, n watmetre ile ölçülebilir. Bunun için akım bobini bir iletken içinde ve potansiyel bobini iletken ile bir ortak nokta arasında olacak şekilde bağlanmış olması gerekmektedir. Bu ölçüm tekniği, şekil 1.40(a) ve (b) de hem yıldız hem de üçgen bağlantılı 3-faz sistemler için gösterilmiştir.



Şekil 1.40 : a) 3 watmetre kullanmak suretiyle, yıldız-bağlantılı 3-faz yükde güç ölçülmesi
b) 3 watmetre kullanarak yıldız-bağlantılı 3-faz yükde güç ölçülmesi

3-faz sistem için harcanan güç

$$P = W_1 + W_2 + W_3$$

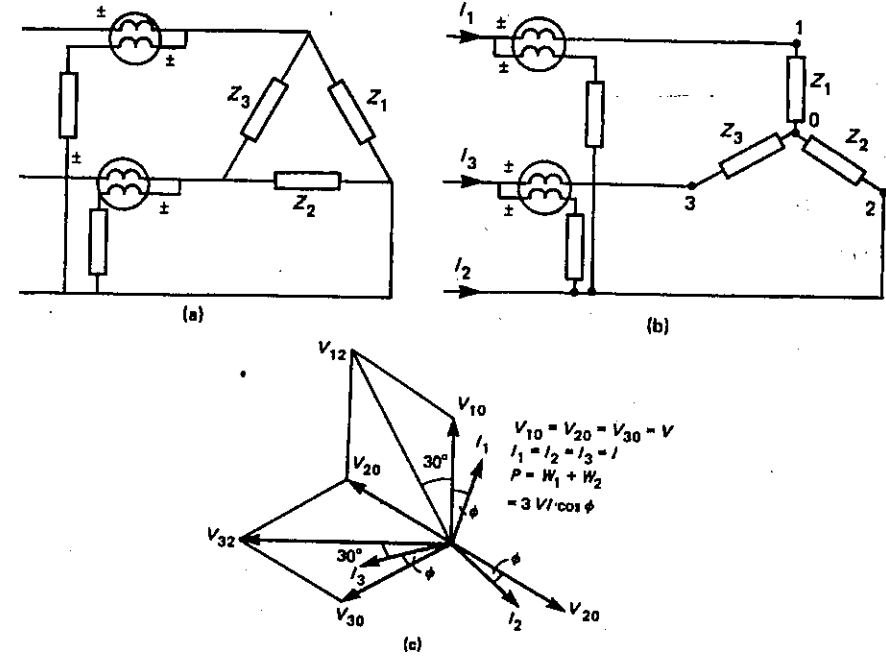
ile gösterilir.

Blondel teoremi derki: potansiyel bobin için ortak nokta şayet iletkenler-

den birisi olmak durumunda ise, o zaman watmetrelerin sayısı bir adet azalmaktadır. Dolayısıyla, iki watmetre kullanarak, 3-fazlı bir sistemde güç ölçümü, sistemin dengeli olup, olmamasına bakılmaksızın mümkün olabilir. Bu metod şekil 1.41(a) ve (b) de gösterilmiştir. Yıldız-bağlantılı dengeli yük (balanced load) için Fazör diyagramı şekil 1.41(c) de gösterilmiştir. 3-fazlı sistemde harcanan toplam güç

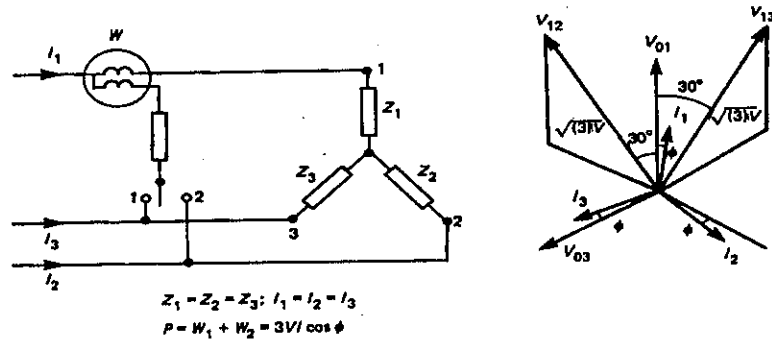
$$P = W_1 + W_2$$

ile verilir.



Şekil 1.41 : a) Üç-faz üçgen-bağlantılı yük durumunda, güç ölçümü için çift-watmetre metodu
b) Üç-faz yıldız-bağlantılı yük durumunda, güç ölçümü için çift-watmetre metodu
c) Dengelenmiş yıldız-bağlantılı yük durumunda çift-watmetre metodu için fazör diyagramı

Örneğin, harcanan güç, watmetrelerin gösterdiği değerlerin cebirsel toplamıdır. Ayrıca, şunun da belirtilmesi gerekir ki eğer, watmetrenin gerilim bobinine uygulanan gerilim, akım bobinine uygulanan akım ile 90° den daha fazla bir faz sapması yapıyorsa, o zaman watmetre ters yönde çalışacaktır. Bu tip durumlarda gerilim sargısını ters yönde yapmak ve güç ölçmesini negatif olarak saymak gerekli olmaktadır.



Şekil 1.42 : Dengeli-üç faz sistemleri için tek-watmetre metodu

Eğer yükün güç faktörü 0.5 değerindeyse I_1 , V_{10} nun 60 derece arkasında kalacaktır, böylece V_{12} ve I_1 arasındaki faz açısı 90 derece olur. Bu durumda, W_1 wattmetresi sıfır okuyacaktır. Dengeli yük durumunda çift wattmetrenin gösterdiği güç faktörünü elde etmek, mümkün olabilir; zira

$$W_2 - W_1 = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \phi$$

olup dolayısıyla

$$\tan \phi = \sqrt{3} \frac{W_2 - W_1}{W_1 + W_2} \text{ olmaktadır.}$$

Üç-faz sistemi dengeli ise o zaman, şekil 1.42 de gösterildiği gibi tek bir wattmetre kullanmak mümkün olur. Anahtarın 1. pozisyonunda olma durumunda, wattmetrenin gösterimi

$$W_1 = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos (30 + \phi)$$

bağlantısını verir.

Anahtarın 2. pozisyonunda olması durumunda,

$$W_2 = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos (30 - \phi)$$

bağlantısı geçerlidir.

Dolayısıyla, iki okumanın toplamı

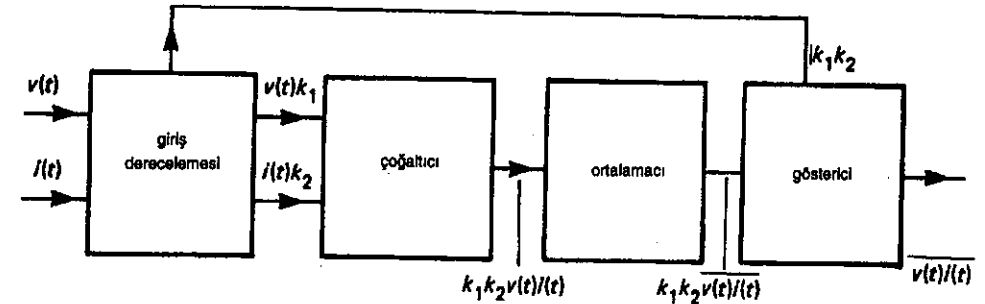
$$W_1 + W_2 = 3 \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi = P$$

olmaktadır.

(Örneğin: Sistemdeki harcanan toplam güç)

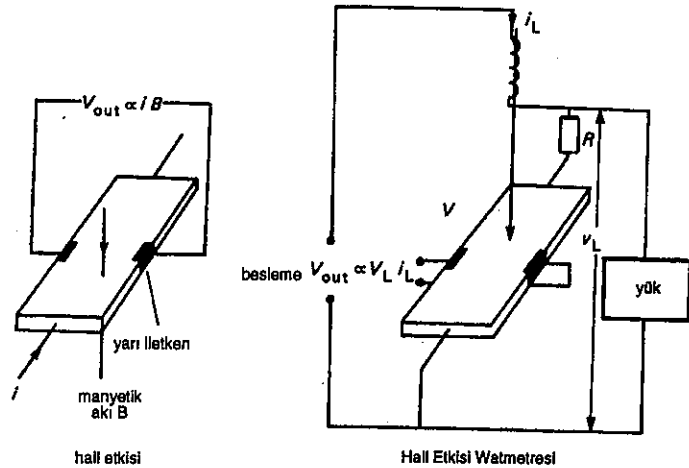
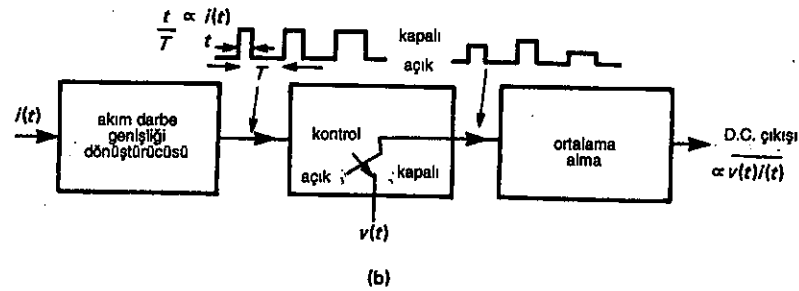
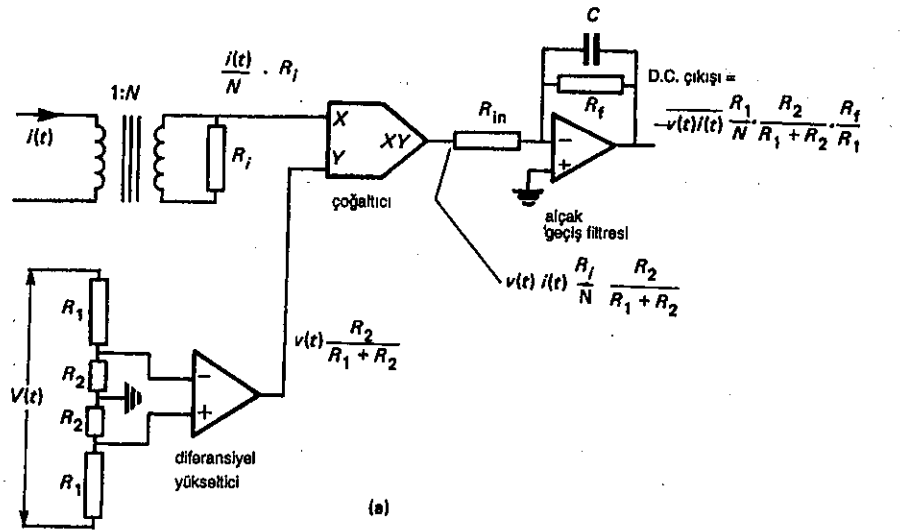
1.4.5. Elektronik Watmetreler

Watmetre ölçmelerinde çoğaltma ve ortalama işlemleri, Şekil 1.43 de gösterildiği gibi elektronik olarak ele alınabilir. Elektronik watmetreler, çoğaltma ve ortalama işlemlerinin sürekli veya kesikli olması durumuna göre iki kategoriye ayrılır.



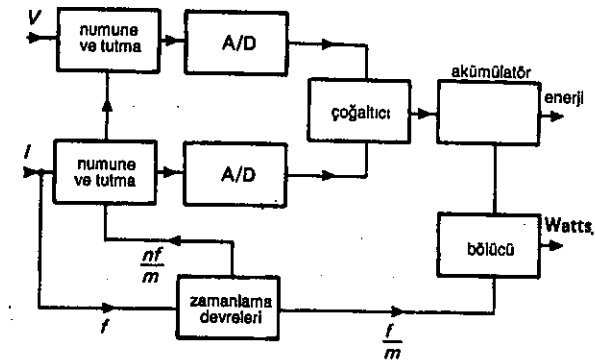
Şekil 1.43 : Elektronik Watmetre

Sürekli metoda göre, çoğaltma şekil 1.44(a) da gösterildiği gibi (Simeon ve Mc Kay, 1981), dört-kadran çoğaltıcısı yoluyla; şekil 1.44(b) ('Miljanic et al 1978) deki gibi zaman-bölümü çoğaltması, veya şekil 1.44(c) (Bishop ve Cohen, 1973) deki Hall-etkisi çoğaltıcısının kullanımı ile yapılabilir.



Şekil 1.44 : a) Dört-kadran analog çoğaltıcı watmetresi
b) Zaman-bölmeli çoğaltıcı watmetre
c) Hall-etkisi watmetresi

Örnekleme watmetresi, şekil 1.45 de gösterildiği gibi, hem gerilim hem de akımdan eş zamanlı numuneler almakta olup, bu değerleri sayısal hale sokar ve sayısal teknikleri kullanarak çoğaltma ve ortalama alma işlemlerini gerçekleştirir (Dix, 1982; Matouka, 1982).



Şekil 1.45 : Örnekleme Watmetresi (Dix, 1982)

Eğer gerilim ve akım dalga şekillerinin, temel T periyodu ile beraber temel (ana) ve harmonik içerikleri varsa, o zaman anı gücü Fourier serileri cinsinden yazılabilmek mümkün olur:

$$p(t) = P + \sum_{k=1}^{\infty} \rho_k \cdot \sin\left(\frac{2\pi kt}{T} + \rho_k\right)$$

burada P ortalama güçtür.

Eğer, dalga şekilleri uniform olarak, m periyodu üzerine n defa örneklendirilirse, o zaman j inci numunesinin, t_j zamanı

$$t_j = j \cdot \frac{m}{n} \cdot T$$

olarak verilmektedir.

Ölçülmüş ortalama güç W

$$W = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-1} P(t_j)$$

ölçülen ve gerçek ortalama değerler arasındaki hata

$$W - P = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{\infty} \rho_k \sum_{j=0}^{n-1} \sin\left(\frac{2\pi k \cdot j \cdot m}{n} + \rho_k\right) \text{ olur.}$$

Hata ölçümlerinin (Clarke ve Stockton, 1982 Rathore, 1984), aşağıdaki şekilde olduğu gösterilebilir:

$$|W - P| = \left| \sum_{k=0}^{\infty} p_k \sin(pk) \right| \leq \sum_{k=0}^{\infty} |p_k|$$

Burada Σ^* , terimlerin toplamını göstermektedir ve $k \cdot \frac{m}{n}$ ise bir

tamsayıdır, (frekansları örnekleme frekansının tam katları olan güç sinyalinin harmonikleri gibi). Matouka (1982), örnekleme watmetrelerindeki hata kaynaklarını analiz etmiştir. Bunlar, yükselticileri, offset, örneklenmiş verileri, amplitüd ve zaman kesiklemesini ve kesme hatalarını kapsamaktadır. Analog çoğaltıcıları kullanan sürekli analog metotlar, 100 kHz e kadar güç ölçümü yapabilmektedirler. Hall-etkisi tekniği, yüksek GHz mertebelerindeki sınıra kadar ölçüm yapabilir ve dalgakılavuzu için güç ölçümünde kullanılabilir.

15 bit A/D dönüştürücüleriyle uygun bileşenleri sıkça kullanarak örnekleme watmetresi, güç frekanslarında $1/10^4$ oranında tipik bir belirsizlik değerine ulaşır.

Tablo 1.8, sayısal gösterge sağlayan bir elektronik watmetrenin karakteristik özelliklerini vermektedir.

Tablo 1.8 : Elektronik Watmetre Özellikleri

Valhalla Bilimsel Sayısal Güç Analiz Cihazı

Model 2100 sınır / çözünürlük tablosu

Gerçek rms Gerçek rms akım sınırları
gerilim değerleri 0.2000A 2.000A 20.000A

150.00V	30.00 w	300 w	3000 w
300.0 V	60.00 w	600 w	6000 w
600.0 w	120.00 w	1200.0 w	12000 w

Gerçek wat sınırları

Çalışma özellikleri

A.C. / D.C. Akımı (Gerçek rms)

Tepe faktörü tepkisi : 50: 1 minimum rms değeri için, doğrusal olarak 2.5: 1 oranına tam- skala rms girişi için.

Tepe göstergesi: 2.5 x tam skalada aydınlanır

Minimum giriş: 5 % sınırlarında

Maximum giriş: 35A tepe, 20A d.c. veya rms, 100 A d.c. veya tahrip olmadan sınır ötesi: % 150 maximum girişe kadar, d.c. için, tam ölçek 16ms için rms

A.C. / D.C. Gerilimi (Gerçek rms)

Tepe faktörü tepkisi: 50:1 minimum rms girişi, 2.5: 1'e doğrusal olarak azalan tam ölçek rms girişi için

Minimum giriş : 5 %

Maximum giriş : 600V D.C. veya rms A.C., 1500V tepe

Maximum ortak mod : 1500 V peak, toprağa nötr

Tepe göstergesi : 2.5 x tam skala'da aydınlanır.

WATTS (Gerçek güç - VI cos ø)

Güç faktörü tepkisi : Sıfırdan, bire kadar önde giden ya da geciken

Doğruluk : (V - A - W 25°C ± 5°C, 1 sene)

D.C. ve 40 Hz den 5 kHz'e : Okumanın % 0.25. ± 6 basamak

5 Hz den 10 kHz'e : Okumanın % 0.5 ± 0.5 sınırı

10 kHz den 20 kHz'e : Okumanın ± 1 % i, % 1 sınırı (sadece 2A sınırı)

GENEL KARAKTERİSTİKLER

Göstergeler : Çift $4 \frac{1}{2}$ - dijit yüksek-7 şiddetle - LED segmanı

Çalışma sıcaklığı menzili : 0 - 50°C

Sıcaklık katsayısı : ± Sınırın ± 0.025 ~ 0°C den 20°C ye ve 30°C den 50°C ye kadar her derece için

Dönüşüm hızı : Yaklaşık 600 ms

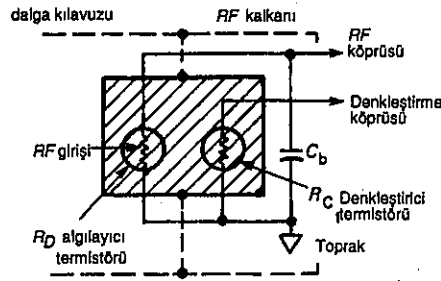
Güç : 115 / 230 V A.C. ± 10 % , 50 - 60 Hz. 5 w.

1.4.6. Yüksek-Frekans Güç Ölçümü

Yüksek frekanslarda, ortalama güç ölçümü, sinyal genliği ölçümünde en iyi metottur. Çünkü güç akışı, gerilim ve akımın tersine, az kayıplı nakil hattı boyunca sabit kalmaktadır. Güç ölçümleri, gücün termal etkilerini ölçerek veya diyod gibi, kare kanunu aygıtı (square law device) kullanmak suretiyle yapılır (Hewlett Packard, 1978; Fantom, 1985).

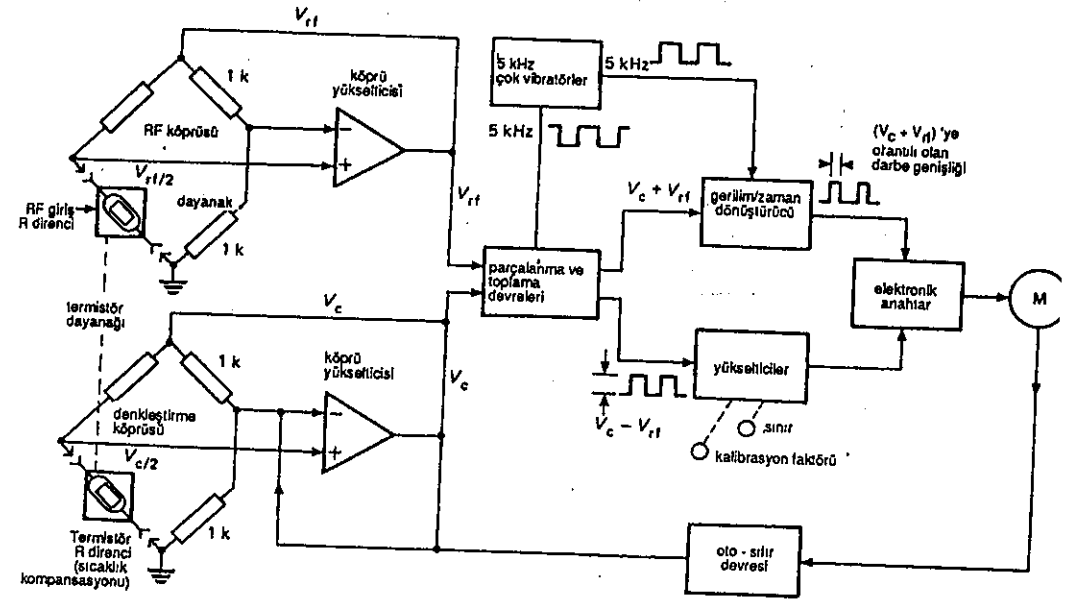
Statik kalorimetri teknikleri, termal olarak yalıtılmış bir yük kullanır ve emilmiş rf gücü tarafından meydana gelen sıcaklık artışını ölçerler. Akış kalorimetreleri, içinde su gibi emici bir unsur olan bir yükten meydana gelir. Bu su, rf gücünü sirkülasyon yapan bir sistemle beraber ısıya dönüştürür ve dolaşan sıvıdaki ısı artışını ölçer. Yüksek doğruluk oranlarından dolayı, kalorimetrik metotlar referans standartları olarak kullanılır. Ancak, ölçü sisteminin çok kompleks olmasından dolayı, kolaylıkla taşınmaz.

Ticari maksatlara hizmet eden ısısal teknikler ya termistörleri veya termokupl algılayıcılarını kullanmaktadırlar. Şekil 1.46, bir termistör sistemin eşdeğer devresini göstermektedir.



Şekil 1.46 : Bir termistör rf güç algılayıcısının eşdeğer devresi (Hewlett Packard'dan alınma, 1978)

Algılayıcı termistör, ya eşksenli (koaksiyel) veya dalga kılavuzu (waveguide) flanşından meydana gelmektedir. Dengeli termistör, algılayıcı termistörle yakın ısısal temas halindedir, fakat rf gücünden korunmuştur. Şekil 1.47, iki oto-dengeli d.c. köprüsü kullanan bir termistör güç metresini göstermektedir. Köprüler, besleme gerilimlerinin ayarlanması suretiyle dengelenmişlerdir. rf gücü uygulanmadığı zaman, V_c , V_{rfo} a eşitlenir (örneğin V_{rf} in rf enerjisi uygulanmadığı haldeki değeri). Bu başlatma işlemi takiben, her iki köprüdeki, çevre sıcaklığı değişimleri birbirlerini takip eder.



Şekil 1.47: rf güç ölçer termistörü (Hewlett Packard'dan 1978)

Eğer, algılayıcı termistör'e rf gücü uygulanırsa, o zaman V_{rf} azalacaktır.

$$P_{rf} = \frac{V_{rfo}^2}{4R} - \frac{V_{rf}^2}{4R}$$

Burada R termistörün direnci olur ve

$$V_{rfo} = V_c$$

o zaman rf gücü

$$P_{rf} = \frac{1}{4R} (V_c - V_{rf}) (V_c + V_{rf})$$

formülünden hesaplanabilir.

Elektronik işlemler, iki köprüden alınan çıkış sinyalleri üzerine hesaplamayı gerçekleştirirler.

1.5. Elektrik Enerjisinin Ölçülmesi

Bir elektrik devresine, T zaman periodunda sağlanan enerji

$$E = \int_0^T p(t) \cdot dt \text{ olarak verilmektedir.}$$

Elektrik enerjisinin ölçülmesi için, en popüler cihaz vatmetredir (watt-hour meter)

En çok kullanılan teknik, şekil 1.48(a) da şematik olarak gösterilen, gölgeli kutuplu indüksiyon vatmetresidir.

Bu cihaz, esas olarak, bir indüksiyon motorudur.

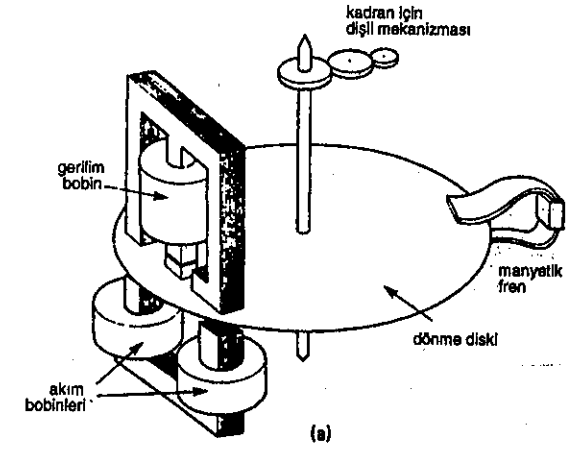
Bu indüksiyon motorunun çıkışı, fren sistemiyle emilmekte ve ısı enerjisi olarak harcanmaktadır. Döner eleman bir alüminyum disk olup, burulma kuvveti, manyetik alanlarla, diskte oluşan anafor akımlarının etkileşmesi sonunda meydana gelir. Bu ani burulma

$$(\phi_V i_i - \phi_i i_V)$$

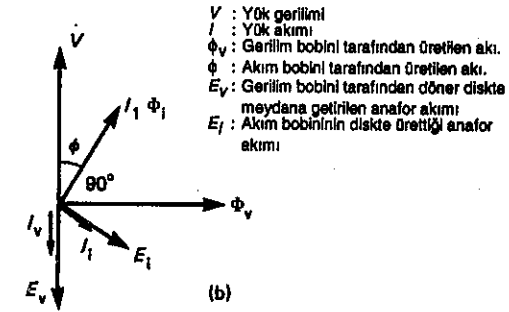
ile orantılıdır.

Burada ϕ_V , gerilim bobini tarafından üretilen akı, ϕ_i , akım bobini tarafından üretilen akı, i_V gerilim bobini tarafından diskte oluşturulan anafor akımı, i_i ise, akım bobininin ürettiği anafor akımıdır.

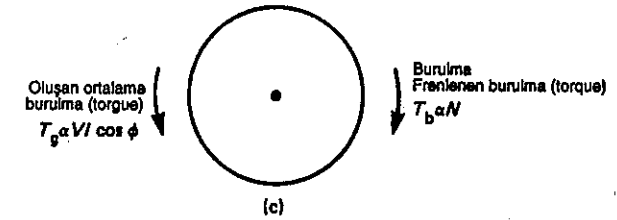
Şekil 1.48(b) de, büyüklüklerin göreceli fazları verilmektedir. Akım bobininin ürettiği akı, akımla aynı fazdadır; ve gerilim bobininin ürettiği akı, uygulanan gerilim ile, tamamen kuvadratur (quadrature) yapacak şekilde ayarlanır. Bu ayarlama, voltaj mıknatısı üzerindeki bakırdan yapılmış gölgeleme halkası ile sağlanmaktadır.



Şekil 1.48 : a) Vatmetresi



b) Vatmetresindeki akıların ve eddy akımlarının fazör diyagramı.



c) Vatmetredeki bir burulma dengesi

Ortalama T_g burulmasının, güçle orantılı olduğu gösterilebilir.

$$T_g \propto VI \cos \phi$$

Karşı gelen burulma, T_b anafor akımı frenlemesi sonucunda meydana gelir ve dolayısıyla şekil 1.48(c) de gösterildiği gibi N diskinin dönme hızıyla orantılı olur.

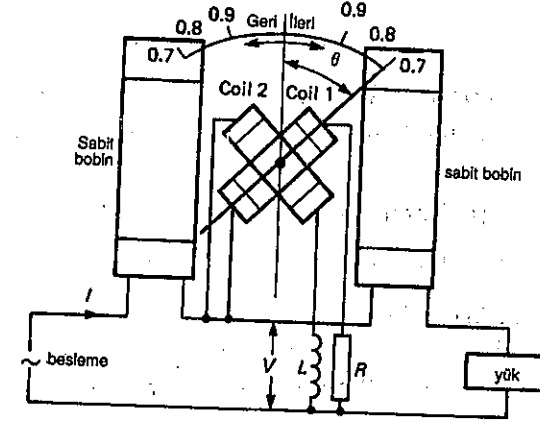
Üretilen ve frenlenen burulmaları eşitlemek suretiyle,

$$T_b = T_g; \text{ ve } N \propto VI \cos \phi$$

dolayısıyla, diskin dönme hızı ortalama gücüne orantılıdır ve diskin tam dönme sayısı sağlanan toplam enerjiyle orantılıdır. Disk, dişli mekanizma sayesinde mekanik bir sayaca bağlanmış olup, değerler direk olarak okunabilir.

1.6. Güç - Katsayısı (Power-factor) Ölçülmesi

Endüstriye güç sağlama yönünde güç katsayısı ölçümü önemlidir. Çünkü, endüstride zayıf güç koşullarında çalışanları üretici firmalar cezalandırmaktadır, zira zayıf güç koşullarında çalışma yüksek akım-üretim kapasitesi, fakat düşük enerji aktarımına neden olmaktadır. Güç faktörü için, bir gösterim cihazı sağlamak üzere Dinamometre prensibini kullanmak mümkündür. Bu durum şekil 1.49 da gösterilmiştir. İki hareketli bobinin yapıları birbirine benzerdir, ancak uzayda birbirlerine dikeydir. İki bobindeki akımlar büyüklükte eşittir fakat 90° lik bir zaman oynaması vardır. Cihazda, geriçağırıcı burulma kuvveti bulunmamaktadır ve hareketli bobin sistemi kendisini hiç bileşke burulma olmayacak şekilde ayarlamaktadır. Dolayısıyla:



Şekil 1.49 : Güç - katsayısı cihazı

$$VI \cos \phi \cdot \frac{dM_1}{d\theta} + VI \cos(\phi - 90^\circ) \frac{dM_2}{d\theta} = 0$$

Eğer, akım taşıyan bobin ile, 1. gerilim bobini arasında kalan ortak endüktans

$$M_1 = k_1 \cos \theta$$

olarak verilirse, ve akım-taşıyıcı bobin ile gerilim bobini 2. arasındaki ortak endüktans

$$M_2 = k_1 \sin \theta$$

olarak verilirse o zaman, güç çarpanı cihazının durma pozisyonu,

$$\theta = \phi$$

olduğu zaman meydana gelir.

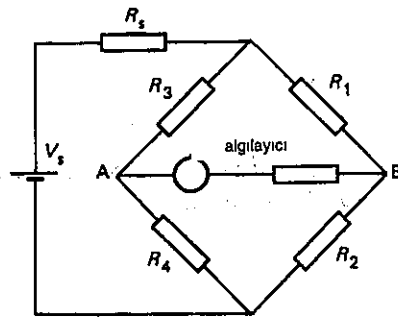
Cihazın kadranı, şekil 1.49 da gösterildiği gibi, güç katsayısı üzerinden kalibre edilmektedir. Metod aynı zamanda, dengeli üç-faz yükleri'nin ölçülmesinde de kullanılabilir, (Golding ve widdis, 1963).

1.7. Direnç, Kapasitans (Sığa) ve Endüktans Ölçümleri

Bu büyüklüklerin ölçülmesi için en çok kullanılan teknikler, köprü ölçüm teknikleridir. Köprü kelimesinin anlamı : bir elektrik devresinde, iki nokta arasına bir algılayıcı köprü olarak bağlanır ve bu şekilde ya potansiyel farkı veya iki nokta arasında ki sıfır çıkışı ölçülmektedir. Köprüler, en çok kalibrasyonu kolaylaştırmak suretiyle ve standartlarla, alt standartların karşılaştırılmalarını sağlayarak Elektrik Standartlarını, güncel tutarlar. Komponentlerin endüktansını, kapasitansını ve direncini ölçmek için kullanılmaktadır ve bunu, bu büyüklüklerin standartlarıyla karşılaştırarak gerçekleştirir. Standart dirençlerin, kapasitörlerin ve endüktörlerin yapıları hakkındaki detaylı bilgiler için, okuyucu Hague ve Foord (1971) ayrıca Dix ve Bailey (1975) e başvurulmalıdır. Birçok transdüktörlerde, elektriksel olmayan büyüklükler dirençteki, kapasitans ve endüktans'daki eşdeğer değişimlere dönüştürülür ve bu durum, birçok endüstriyel ve pek çok bilimsel ölçümler için köprülerin kullanımına yol açmaktadır.

1.7.1. D.C. Köprü Ölçümleri

En basit dört-kollu, doğru akım direnç köprüsü wheatstone köprüsüdür. Wheatstone köprüsü, Şekil 1.50'de gösterildiği gibi tipik olarak 1Ω dan $10M\Omega$ a kadar olan sınırlar içerisinde direnç ölçümüne uygundur. Bu köprü, ya denge, (örneğin sıfır konumunda) veya sapma modunda kullanılabilir. Denge modunda, ölçülmesi gereken direnç R_1 dir, ve R_3 standart değişken direnç olur. R_2 ve R_4 oranı belirlemektedir. Bir elektronik algılayıcı veya galvanometre olabilen algılayıcı, köprünün A ve B noktaları arasında sıfır potansiyeli ölçmek için kullanılmaktadır. Sıfır boşluğu,



Şekil 1.50 Wheatstone Köprüsü

$$R_1 = \frac{R_2}{R_4} \cdot R_3$$

olduğu zaman meydana gelmektedir. Köprü, ya otomatik olarak veya elle, algılayıcıdan gelen çıkış sinyalinin, kullanarak dengelemektedir. Boşluk veya sıfır şartı, köprüyü besleyen gerilim kaynağından, kaynak direnci R_s 'den, hassasiyetten veya algılayıcının R_d giriş direncinden bağımsızdır. Ancak, bu koşullar dengenin olacağı kesinlik sınırını belirler. Köprünün hassasiyeti, S aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$S = \frac{R_1 \text{deki } \Delta R_1 \text{ değişimi için Köprü çıkış gerilimi } V_{out}}{\text{Köprü besleme gerilimi}}$$

R_1 de verilen bir δ kesirsel değişim için

$$\delta = \frac{\Delta R_1}{R_1} \text{ olarak verilmektedir.}$$

O zaman hassasiyet S

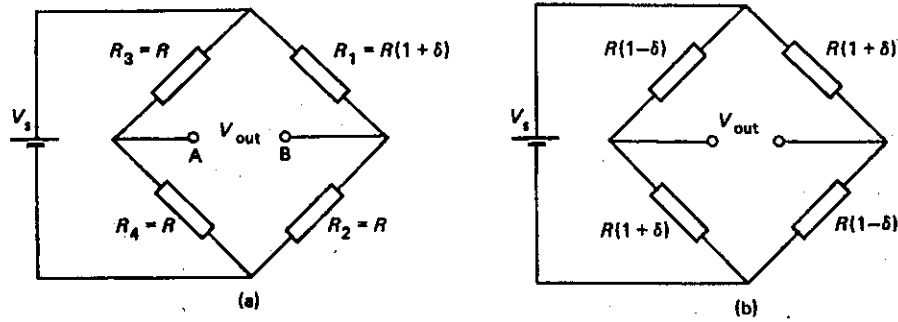
$$S = \frac{\delta R_d}{\sum_{i=1}^4 R_i + R_d [2 + (R_2/R_4) + (R_4/R_2)]} + R_s [2 + (R_3/R_4) + (R_1/R_3)] + R_d R_s \sum_{i=1}^4 (1/R_i)$$

olarak verilir.

Bir elektronik algılayıcıyla, R_d büyütülebilir ve şayet R_s küçük ise o zaman S aşağıdaki şekilde verilir:

$$S = \frac{\delta}{[2 + (R_3/R_4) + (R_4/R_2)]}$$

Bu oranın minimum değeri $(R_3/R_4) = 1$ olduğu zaman $\delta/4$ dür. Dengelenmemiş mod, Şekil 1.51(a) da gösterilmiştir.



Şekil 1.51 (a) Dengesiz Wheatstone Köprüsü (b) Hassasiyeti arttırılmış, dengesiz Wheatstone Köprüsü.

Bu dengesiz mod, çoğunlukla birim şekil değişimi göstergelerinde (Strain Gauge) kullanılmaktadır (Cilt 1, Bölüm 4). R_1 , aktif olan şekil değişimi göstergesidir ve R_2 , R_1 'in etkilendiği sıcaklık değişimlerine tabi olan fakat, şekil değişiminden bağımsız olan, yapay göstergedir. Köprüden gelen çıkış

$$V_{out} = \frac{V_s}{2} \left\{ 1 - \frac{1}{[1 + (\delta/2)]} \right\} \text{ dir.}$$

$$\text{ve } \delta = \frac{\Delta R}{R} \text{ olur.}$$

$\delta \ll 1$ için, köprü çıkışı, dirençteki değişimle doğrusal olarak bağlantılıdır.

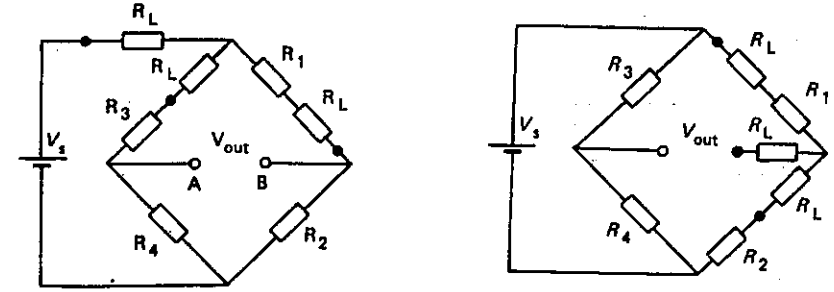
$$V_{out} = \frac{V_s}{4} \cdot \delta$$

Kendinden ısınma genellikle, köprü besleme gerilimini sınırlamaktadır ve dolayısıyla çıkış gerilimini de sınırlar. Köprü çıkış geriliminin yükseltilmesi, ortak-mod zayıflatma oranına sahip olan (CMRR) bir yükseltici tarafından yapılması gerekmektedir; çünkü köprü çıkışı genellikle küçüktür ve yükselticiye uygulanan ortak-mod sinyali $V_s/2$ dir.

Köprü algılayıcıları olarak kullanılmaya uygun yükselticiler hakkında, daha detaylı bilgiler, 4. cildin yükselticiler bölümünde bulunabilir. Şekil 1.51b'de gösterildiği gibi, deformasyon göstergeli köprü çıkışı, eğer dört gösterge kullanıldığı takdirde (ki, bunlardan ikisi gerilme modunda, diğer ikisi basma modundadır) arttırılabilir. Böylece bir köprü çıkışı için

$$V_{out} = V_s \cdot \delta \text{ olmaktadır.}$$

Şekil değişimi göstergeleri ve platin direnç termometreleri köprüden belli bir mesafede yer alabilir ve aktif elemanı köprüye bağlayan uzun teller, sıcaklık ile değişen dirence sahiptir. Şekil 1.52, üç kurşun direnç ölçümünde uygulanan Wheatstone köprüsünün kullanımını göstermektedir. Buradan görülebilir ki, dengeye yakın konumda, kurşun direncin etkisi ve sıcaklık değişimi yaklaşık olarak kendiliğinden ortadan kalkar ve dolayısıyla bu feshetme durumu, köprü şartının dengeden uzaklaşması ile daha fazla bozulmaktadır.



R_1 bilinmeyen direnç

R_L Kılavuz (tel) dirençlerini gösterir

R_1 e bağlantı = •

$R_4 = R_2$

Denge koşulu

$$\frac{R_1 + R_L}{R_2} = \frac{R_3 + R_L}{R_4}$$

$$R_1 = R_3$$

Dengesizlik koşulu

$$R_2 = R_3 = R_4 = R$$

$$R_1 = R(1 + \delta)$$

$$V_{out} = \frac{V_s \delta}{4} (1 - \beta)$$

$$\beta = \frac{R_L [R(4 + \delta) + R_L]}{R^2 (3 + 2\delta) + R R_L (4 + \delta) + R_L^2}$$

R_1 bilinmeyen direnç

R_L Kılavuz (tel) dirençlerini gösterir

R_1 in bağlantıları = •

$R_3 = R_4$

Denge koşulu

$$\frac{R_1 + R_L}{R_2 + R_L} = \frac{R_3}{R_4}$$

$$R_1 = R_2$$

Dengesizlik koşulu

$$R_2 = R_3 = R_4 = R$$

$$R_1 = R(1 + \delta)$$

$$V_{çıkış} = \frac{V_s \delta}{4} (1 - \beta')$$

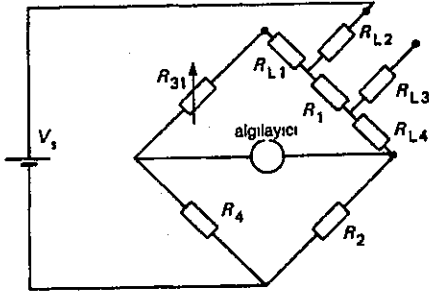
$$\beta' = \frac{R_L}{R_L + R [1 + (\delta/2)]}$$

Şekil 1.52 Wheatstone köprüsünü kullanarak üç-kılavuz (tel) ölçümleri

Şekil 1.53, dört-tel platin direnç termometresinin kurşun direncini kaldırmak için, Smith ve Muller köprülerinin kullanımını göstermektedir. (Bkz. Cilt2, Bölüm 1)

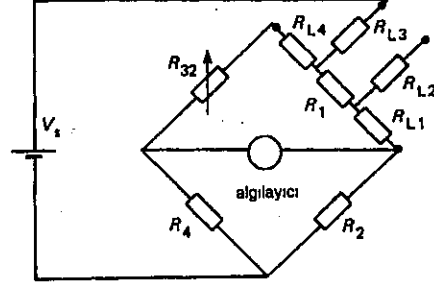
R_1 bilinmeyen dirençtir; $R_2 = R_4$; Bilinmeyen dirence olan bağlantılar; R_{L1} , R_{L2} , R_{L3} , R_{L4} kurşun dirençlerdir.

Birinci denge için köprü bağlantıları İkinci denge için köprü bağlantıları



Denge koşulu:

$$R_1 + R_{L4} = R_{31} + R_{L1}$$



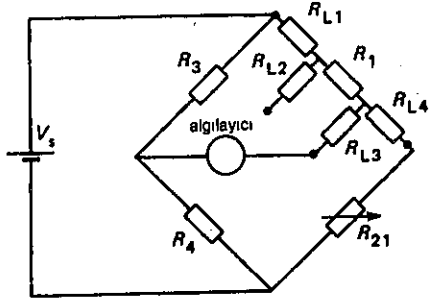
Denge koşulu:

$$R_1 + R_{L1} = R_{32} + R_{L4} \text{ Dolayısıyla}$$

$$R_1 = \frac{R_{31} + R_{32}}{2}$$

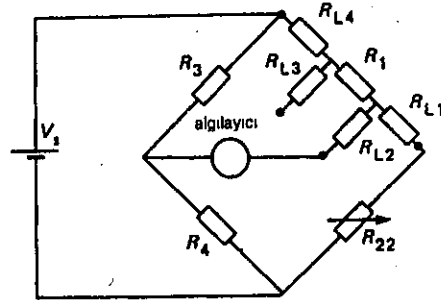
R_1 bilinmeyen dirençtir; $R_3 = R_4$; R_{L1} , R_{L2} , R_{L3} , R_{L4} kurşun dirençlerdir.

Birinci denge için köprü bağlantıları İkinci denge için köprü bağlantıları



Denge koşulu:

$$R_1 + R_{L1} = R_{21} + R_{L4}$$



Denge koşulu:

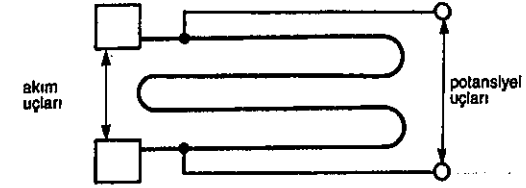
$$R_1 + R_{L4} = R_{22} + R_{L1}$$

$$R_1 = \frac{R_{21} + R_{22}}{2} \text{ dolayısıyla}$$

Şekil 1.53 (a) Dört-telli platin direnç termometre ölçümü için Smith köprüsü
(b) Dört-telli platin direnç termometre ölçümü.

1.7.1.1. Düşük-direnç ölçülmesi

Temas dirençleri, düşük direnç ölçümlerinde hatalara sebep olur ve dolayısıyla, bir direnci doğru olarak tanımlayabilmek için, şekil 1.54 de gösterilen dörtlü-terminal tekniğini kullanmak gerekmektedir.

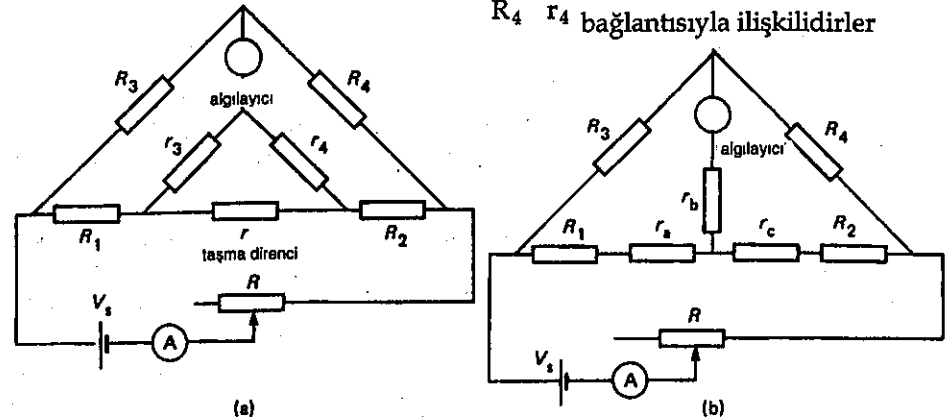


Şekil 1.54: Dört-uçlu direnç

Dış iki uç, dirence akımı beslemek için kullanılır ve iki adet potansiyel iç uç üzerinde direncin tanımlanmış olduğu iletkenin kesin uzunluğunu belirlemektedir.

Düşük direncin ölçülmesi, Şekil 1.55(a) da gösterilen ikili kelvin köprüsünü kullanarak gerçekleştirilebilir. R_1 ölçülecek direnç ve R_2 de, R_1 direnci ile aynı büyüklükteki standart dirençtir. Bu iki direnç arasındaki bağlantı genellikle çatal (Yoke) olarak isimlendirilir ve r direncine sahiptir. R_1 ve R_2 boyunca akım, R direnciyle ayarlanmaktadır. R_3 , R_4 , r_3 , r_4 dört adet direnç olup ya (R_3, r_3) veya (R_4, r_4) değişkendir ve

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{r_3}{r_4} \text{ bağlantısıyla ilişkilidirler}$$



Şekil 1.55 (a) Kelvin çift köprüsü (b) Kelvin çift köprüsünün eşdeğer devresi.

Şekil 1.55(b)'de gösterildiği gibi, köprüye uygulanmakta olan delta yıldız dönüşümü, köprünün iki yakası arasındaki çatal direncini paylaştırmaktadır.

Denge koşulu

$$\frac{R_1 + r_a}{R_2 + r_c} = \frac{R_3}{R_4} \quad r_a = \frac{r_3 \cdot r}{r_3 + r_4 + r}$$

$$r_c = \frac{r_4 \cdot r}{r_3 + r_4 + r}$$

ve dolayısıyla bilinmeyen direnç R_1 aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$R_1 = \frac{R_3}{R_4} (R_2 + r_c) - r_a = \frac{R_3}{R_4} \cdot R_2 + \frac{r_4 \cdot r}{r_3 + r_4 + r} \left(\frac{R_3}{R_4} - \frac{r_3}{r_4} \right)$$

Çatal kdirencini (r) kapsayan terim, r yi azaltmak suretiyle ve

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{r_3}{r_4}$$

oranını sağlamak suretiyle küçültülebilir.

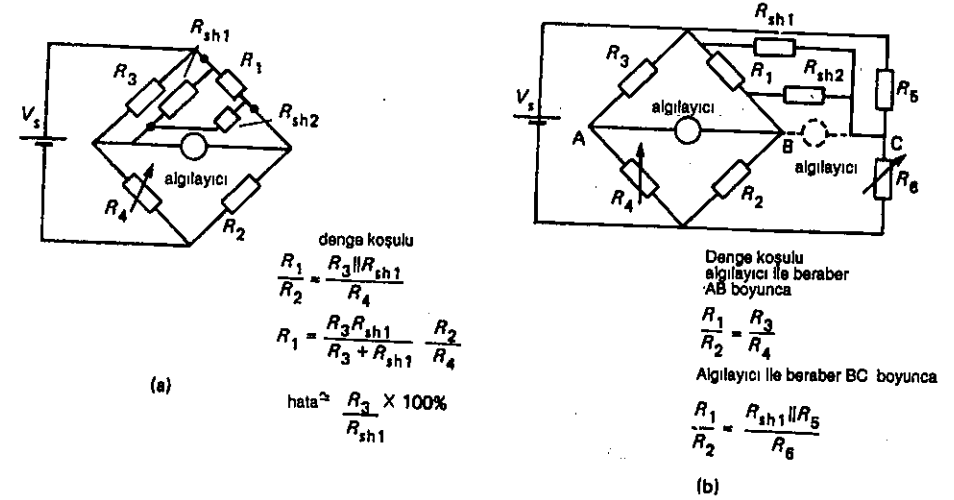
Köprü, $0.1\mu\Omega$ dan 1Ω a kadar dirençleri ölçmek için kullanılabilir. Yüksek kesirlik için, termal olarak üretilen elektromotor kuvvetlerin etkisi, R_1 ve R_2 deki akımı ters çevirerek ve köprüyü tekrar dengelemek suretiyle giderilebilir. R_1 in değeri, iki ölçümün ortalaması olarak alınmıştır.

1.7.1.2. Yüksek-direnç ölçümleri

Geliştirilmiş Wheatstone köprüleri, $10^{15}\Omega$ a kadar yükselebilen direnci ölçebilir. Bu tip ölçümlerdeki problemler, kararlı yüksek-değerlikli standart dirençler ve şönt kaçak direncinden kaynaklanan hatalardan dolayı ortaya çıkarlar.

Kararlı yüksek direnç değerleri problemi, daha düşük ve bu yüzden daha kararlı dirençlere sahip bir köprünün kullanılmasıyla ortadan kaldırılabılır. Bu durum daha yüksek oranlı ve dolayısıyla daha az duyarlı köprülere neden olmaktadır. Köprüyle beraber değişken eleman olarak R_4 direncini kullanarak, $R_1 \rightarrow \infty$, $R_4 \rightarrow 0$ gitmesi sağlanır. Şönt kaçağı, teller, köprü terminali ve bilinmeyen direnç boyunca oluşan kaçak direncinden meydana gelmektedir. Yüksek değerlikli standart dirençler, üç terminalden kurulmuştur. Şekil

1.56(a) da gösterilen köprü düzenlemesinde R_{sh1} , R_3 'e şönt yapar ve dolayısıyla, eğer $R_1 \gg R_3$ ise, bu bağlama metodu kaçak direncin etkisini azaltmaktadır. R_{sh2} nin yegâne etkisi, denge şartının hassasiyetini düşürmesidir. Şekil 1.56(b), kaçak direncin etkisini gidermek üzere kullanılan Wagner topraklama düzeninin d.c. (doğru akım) şeklini göstermektedir.



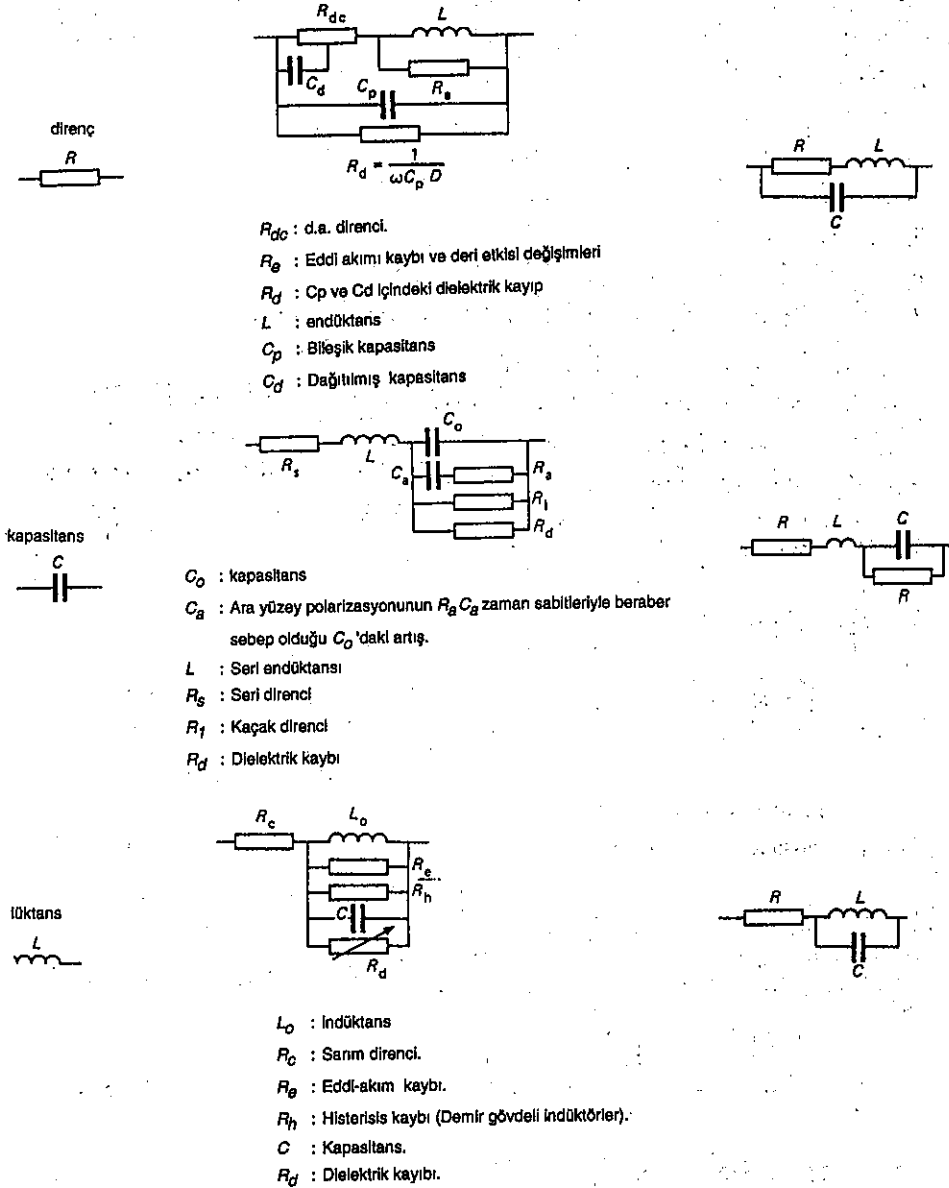
Şekil 1.56 (a) Üç-terminalli yüksek dirençlerle kullanılmak üzere Wheatstone köprüsü. (b) D.C. Wagner topraklama düzenlemesi.

Daha sonra, köprü dengesi, R_6 direncinin ayarlanması suretiyle algılayıcının BC boyunca köprüyü dengelemesini ve sonra R_4 ün ayarlanması ile, köprü dengesi, AB boyunca algılayıcı sayesinde sağlanmaktadır. Yöntem, iki koşulda da bir denge sağlanuncaya kadar tekrarlanır. Birinci denge koşulu R_{sh2} boyunca, potansiyel düşüş olmadığını temin eder ve dolayısıyla buradan akım geçişi olmaz.

1.7.2. Dirençlerin Kapasitör ve İndüktörlerin A.C. Eşdeğer Devreleri

Dirençler, kapasitörler ve indüktörler saf bileşenler olarak bulunmaz. Genellikle, kendi aralarında kombinasyonlar yaparlar. Örneğin, bir direnç hem kapasitif, hem de indüktif parazit elemanlarına sahip olabilir. Şekil 1.57, bu üç bileşenin, fiziksel kombinasyonu sağlayan çoğunlukla kullanılan ta-

mamlanmış ve basitleştirilmiş eşdeğer devrelerini göstermektedir. Eşdeğer devreler hakkında daha detaylı bilgiler Oliver ve Cage (1971) de bulunabilir.



Şekil 1.57 Direnç, kapasitans ve indüktansın fiziksel gerçeklenmeleri için eşdeğer devre.

Herhangi bir frekans için, herhangi bir fiziksel bileşen kompleks empedansı ile $Z = R + jX$ veya admitansı ile $Y = G + jB$ ile gösterilebilir.

Çünkü $Y = \frac{1}{Z}$ ve $Z = \frac{1}{Y}$ dir ve

$$R = \frac{G}{G^2 + B^2}; \quad X = \frac{-B}{G^2 + B^2}$$

ve $G = \frac{R}{R^2 + X^2}; \quad B = \frac{-X}{R^2 + X^2}$ olur

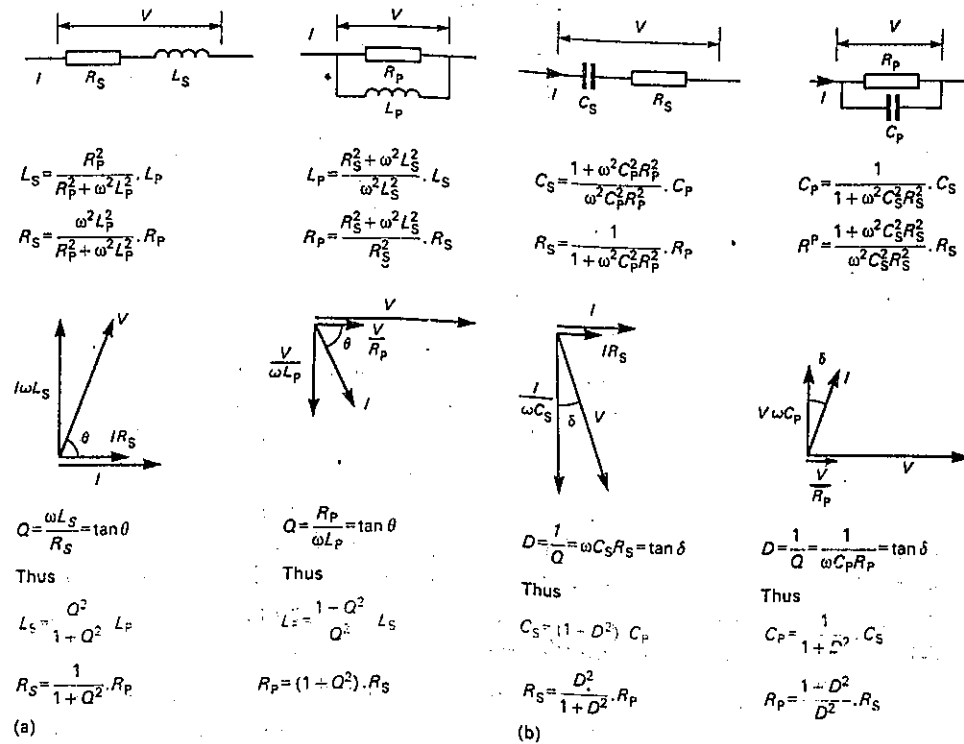
Bileşenin bu iki gösterimi, seri ve paralel eşdeğer devrelere karşılık gelmektedir. Şayet, verilen bir frekansda empedans $Z = R + jX$ ise, o zaman bu frekansta ki eşdeğer devre, ideal bileşenler cinsinden, şekil 1.58(a)'da gösterildiği gibi, bir indüktörle ya seri ya da paralel olan bir dirençtir. Bu şekil aynı zamanda, iki gösterim arasındaki dönüştürme formülünü vermektedir. Herhangi bir frekanstaki $Z = R - jX$ olan bileşenler için, eşdeğer devreler Şekil 1.58(b)'de olduğu gibi bir direncin veya kapasitörün seri veya paralel kombinasyonudur; kalite faktörü, Q , bir reaktif elementin saklama elemanı gibi hareket edebilme kabiliyetinin bir ölçüsüdür. Şöyle tanımlanmaktadır:

$$Q = \frac{2\pi \times \text{çevrimde saklanmış maksimum enerji}}{\text{Çevrimde harcanan enerji}}$$

Dağılma veya harcanma faktörü D ,

$$D = \frac{1}{Q}$$

şeklinde verilir. Seri ve paralel indüktif, kapasitif devreler için Q ve D faktörleri şekil 1.58'de verilmiştir. Bu şekilden, görülebilir ki Q , $\tan \theta$ ve D , $\tan \delta$ (δ kayıp açısıdır) ile verilmektedir. Genellikle, bir indüktansın kalitesi Q faktörü ile, bir kapasitörün de kalitesi D değeri veya kayıp açısı ile ölçülmektedir.



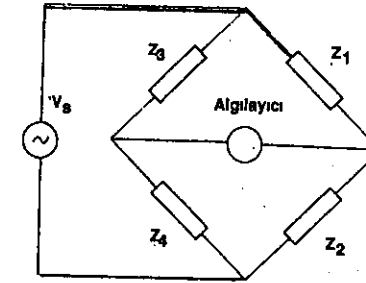
Şekil 1.58 (a) Eşdeğer seri/paralel direnç ve indüktör devreleri
 (b) Eşdeğer seri/paralel direnç ve kapasitör devreleri.

1.7.3. Dört-Kollu A.C. Köprü Ölçümleri

Şayet, Wheatstone köprüsünün direnç elemanları Şekil 1.59'da gösterildiği gibi empedanslarla ve aynı zamanda d.c. kaynağı ve algılayıcısı a.c. eşdeğerlikleriyle yer değiştirilirse, o zaman Z_1 bilinmeyen empedans olur ve denge koşulu

$$Z_1 = \frac{Z_2 Z_3}{Z_4}; R_1 + jX_1 = \frac{(R_2 + jX_2)(R_3 + jX_3)}{(R_4 + jX_4)} \text{ veya}$$

$$|Z_1| = \frac{|Z_2| |Z_3|}{|Z_4|} \text{ ve } \angle Z_1 = \angle Z_2 + \angle Z_3 \pm \angle Z_4 \text{ olarak verilir.}$$

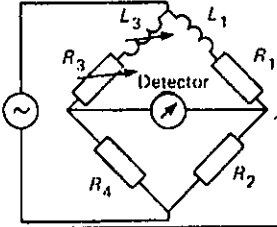


Şekil 1.59: A.C. Dört-kol köprüsü

Dolayısıyla, çok sayıda köprü kombinasyonları mevcuttur. En önemli köprü tasarımı, Ferguson'un verdiği şemaya göre sınıflandırılabilir. Bilinmeyen empedans, sadece R_1 ve X_1 parametrelerine sahip olduğundan, denge denkleminin sağ tarafındaki mevcut altı değişkenden sadece ikisini ayarlamak yeterlidir. Eğer, bilinmeyen empedansın her parametresinin ayarlanması bağımsız olacaksa, o zaman değişkenlerin aynı birim içerisinde ayarlanmaları gerekmektedir. R_2 ve X_2 parametrelerini ayarlamak, R_3 ve X_3 parametrelerini ayarlamakla aynıdır, dolayısıyla dört-kol köprüleri ya oran köprüleri veya çarpım köprüleri olarak sınıflandırılabilir.

Oran köprüsünde, Z_2 ve Z_3 deki ayarlanabilir elemanlar bilinmeyen empedansın yanındadır ve Z_3/Z_4 veya Z_2/Z_4 oranının ya gerçek veya sanal olması gerekir, ancak, denge koşulundaki iki eleman bağımsız iseler, kompleks olmamaları gerekmektedir. Çarpım köprülerinde dengeye, bilinmeyenin tersi olan, Z_4 ün içindeki elemanlar ayarlanarak ulaşılır. Ayarlamaların birbirlerinden bağımsız olmaları Z_2, Z_3 ün gerçek veya sanal ama kompleks olmasını gerektirir. Şekil 1.60, da C ve L ölçümlerinde en yaygın olarak kullanılan dört-kol köprülerine örnek verilmiştir. Bu köprülerin uygulamalarıyla ilgili olarak, okuyucunun Hagues ve Foord (1971) a başvurması gerekmektedir.

Maxwel

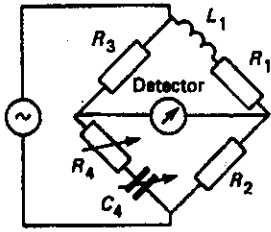


$$L_1 = \frac{R_2}{R_4} L_3$$

$$R_1 = \frac{R_2}{R_4} R_3$$

Bilinmeyen bir indüktörün direnci ve seri indüktansının ölçülmesi için indüktif ve direnç standartlarıyla birlikte oran köprüsü; denge koşulu frekandan bağımsızdır ve dolayısıyla kaynağın saflığı önemli değildir. Köprünün paralel bir şekli bilinmeyen indüktansın paralel birleşenlerini ölçmek için kullanılabilir.

Maxwel-Wien



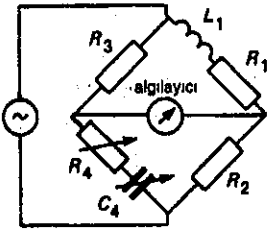
$$L_1 = R_2 R_3 C_4$$

$$R_1 = \frac{R_2 R_3}{R_4}$$

$$Q_1 = \omega C_4 R_4$$

Bilinmeyen bir indüktörün, direncinin ve seri indüktansının ölçülmesi için kapasitif ve dirençsel standartları kullanan çarpım köprüsü; indüktansın ölçümünde geniş ölçüde kullanılmaktadır; sayet C_4 ve R_4 değişken iseler, köprü L_1 ve R_1 i ölçmektedir; eğer R_4 ve R_2 veya R_3 değişken iseler, köprü L_1 ve Q_1 i ölçmektedir.

Hay



$$L_1 = \frac{R_2 R_3 C_4}{1 + \omega^2 C_4^2 R_4^2}$$

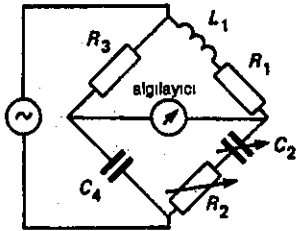
$$R_1 = \frac{R_2 R_3 \omega^2 C_4^2 R_4^2}{(1 + \omega^2 C_4^2 R_4^2)}$$

$$Q_1 = \frac{1}{\omega C_4 R_4}$$

Bilinmeyen bir indüktörün, direncinin ve seri indüktansının ölçülmesi için, sıgıl ve dirençsel standartları kullanan çarpım köprüsü;

D.C. kutuplanmış akımın varlığında A.C. indüktansının ölçülmesine uygundur; yüksek L ve Q indüktanslarının ölçülmesinde kullanılmaktadır.

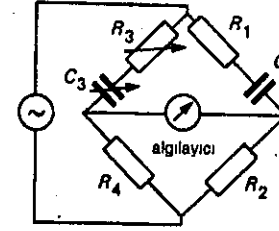
Owen



$$L_1 = C_4 R_3 \cdot R_2$$

$$G_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{C_4 R_3} \cdot C_2$$

Bilinmeyen bir indüktörün, seri indüktansı ve iletkenliğinin ölçülmesi için kapasitif ve dirençsel standartları kullanan oran köprüsü; yüksek-kesinlik köprüsü olarak kullanılır.

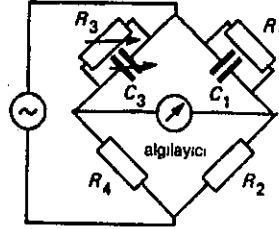


$$C_1 = \frac{R_4}{R_2} \cdot C_3$$

$$R_1 = \frac{R_2}{R_4} \cdot R_3$$

$$D_1 = \omega C_3 R_3$$

Bilinmeyen bir kondansatörün direncini ve seri kapasitesinin ölçülmesi için kapasitif ve dirençsel standartları kullanan oran köprüsü, kapasite ölçümünde çok yaygın bir şekilde kullanılır; eğer C_3 ve R_3 değişkenler, köprü C_1 ve R_1 i ölçer; Eger R_3 ve R_4 değişken durumdaysalar, köprü C_1 ve D_1 i ölçer.

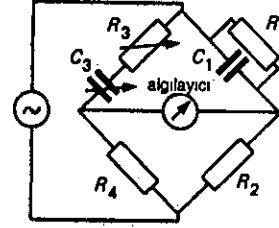


$$C_1 = \frac{R_4}{R_2} \cdot C_3$$

$$R_1 = \frac{R_2}{R_4} \cdot R_3$$

$$D_1 = \frac{1}{\omega C_3 R_3}$$

Bilinmeyen bir kondansatörün, paralel kapasitans ve direncinin ölçülmesi için kapasitif ve dirençsel standartları kullanan oran köprüsü; özellikle, yüksek D kondansatör ölçümlerinde kullanılır.

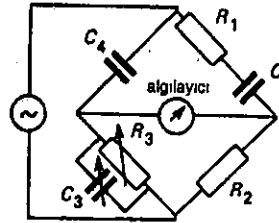


$$C_1 = \frac{R_4}{R_2} \cdot \frac{C_3}{1 + \omega^2 C_3^2 R_3^2}$$

$$R_1 = \frac{R_2}{R_4} \cdot \frac{1 + \omega^2 C_3^2 R_3^2}{\omega^2 C_3^2 R_3}$$

$$D_1 = \omega C_3 R_3$$

Bilinmeyen bir kondansatörün paralel kapasitansı ve direncinin ölçülmesi için kapasitif ve dirençsel standartları kullanan oran köprüsü; salıngaçta, frekansa bağımlı devre olarak kullanılmaktadır.



$$C_1 = \frac{C_4}{R_2} \cdot R_3$$

$$R_1 = \frac{R_2}{C_4} \cdot C_3$$

$$D_1 = \omega C_3 R_3$$

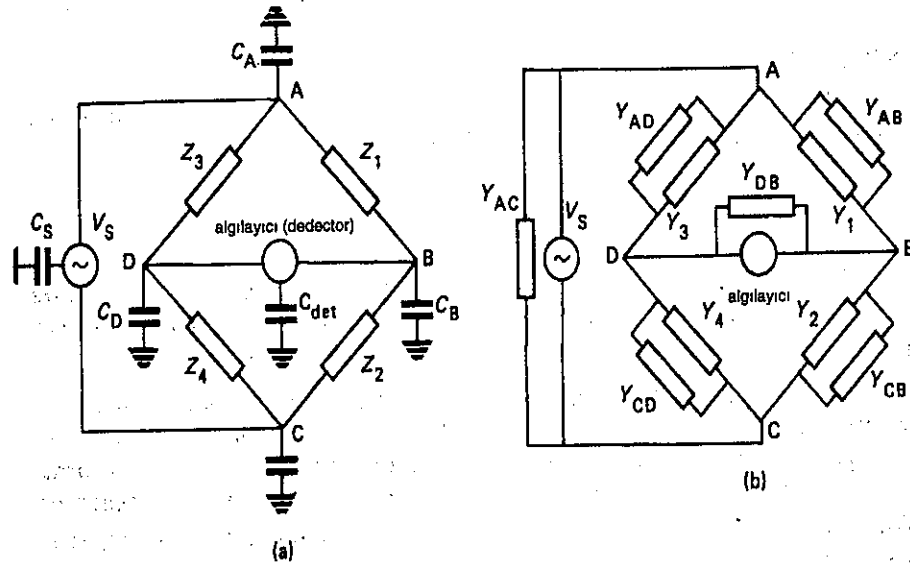
Bilinmeyen bir kondansatörün, paralel kapasite ve direncinin ölçülmesi için, kapasitif ve dirençsel standartları kullanan çarpım köprüsü; yüksek gerilimde dielektrik kayıplarını ölçmede ve r.f. ölçümlerinde kullanılmaktadır.

Şekil 1.60 Kapasitans ve indüktansın ölçülmesinde A.C. Dört-kol köprüleri

1.7.3.1. A.C. Köprülerindeki kaçak empedanslar

Bir A.C. köprüsünün dalları, kaynağı ve algılayıcısı ile beraber toprağa dağılmış olan kapasitansları vardır. Bu elemanların etrafında kalkan kullanımı, kaçak kapasitansların yerleri, büyüklükleri ve etkileri cinsinden tanımlanmalarına olanak tanır.

Şekil 1.61(a), bu kapasitansların ve şekil 1.61(b) ise kaçak kapasitanslarla birlikte, eşdeğer devreyi göstermektedir. Kapasitanslar, köprü, kaynak ve algılayıcının dalları boyunca admittans'lara dönüştürülmüşlerdir. Kaçak admittanslar, kaynak ve algılayıcı boyunca, denge koşulunu etkilemezler. Köprünün denge koşulu, dalların admittansları ve kapasitans admittansları cinsinden aşağıdaki formülle verilir:



Şekil 1.61 (a) Dört-kol A.C. köprüsünde dağılık kapasitanslar (b) Dağılık admittanslarla birlikte alternatif akım dört-kol köprüsünün eşdeğer devresi

$$(Y_1 + Y_{AB})(Y_4 + Y_{CD}) = (Y_3 + Y_{AD})(Y_2 + Y_{CB})$$

$$\text{Örneğin } Y_{AB} = \frac{Y_A Y_B}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_D} = \frac{Y_A Y_B}{\Delta}$$

$$\Delta = Y_A + Y_B + Y_C + Y_D$$

ve dolayısıyla denge koşulu aşağıdaki şekilde verilir:

$$(Y_1 Y_4 - Y_2 Y_3) + \frac{1}{\Delta} (Y_1 Y_C Y_D + Y_4 Y_A Y_B - Y_3 Y_C Y_B - Y_2 Y_A Y_D) = 0$$

Eğer, kaçak kapasitanslar denge durumunu etkilemiyorlarsa, o zaman bu koşul

$$Y_1 Y_4 = Y_2 Y_3$$

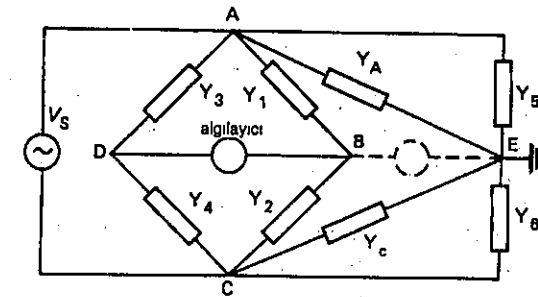
eşitliğinde gösterilir.

Ve denge koşulunun ikinci teriminin sıfır olması gerekir. Bu duruma aşağıda verilen denklemlerle kolaylıkla ulaşılabilir.

$$\frac{Y_A}{Y_C} = \frac{Y_1}{Y_2} = \frac{Y_3}{Y_4} \quad \text{veya} \quad \frac{Y_B}{Y_D} = \frac{Y_1}{Y_3} = \frac{Y_2}{Y_4}$$

Dolayısıyla, toprağa bağlı kaçak kapasitansların, denge koşulu üzerinde etkisi yoktur (şayet, bir çift aksi yönde dallanma noktalarındaki admittanslar, şönt yaptıkları bağlantı çiftlerinin admittansları gibi aynı oranda iseler).

Şekil 1.62'de gösterildiği gibi, Wagner topraklama düzeni dengelenmiş köprünün D ve B noktalarının toprak potansiyelinde olmalarını garanti eder ve dolayısıyla, bu noktalardaki kaçak kapasitanslar giderilmiştir. Bu duruma, Y_5 ve Y_6 elemanlarından oluşan köprünün yardımcı kolu yoluyla ulaşılabilir. Köprü, öncelikle Y_3 ü ayarlayarak D ve B arasındaki, algılayıcıyla dengelenmektedir.



Şekil 1.62 Wagner topraklama düzenlemesi

Algılayıcı B ve E arasına hareket ettirilir ve yardımcı köprü Y_5 ve Y_6 nın ayarlanması ile dengelenmektedir. Bu durum, B noktasının toprak potansiyelinde olmasını garanti etmektedir. İki dengeleme işlemi, köprünün her pozisyonda algılayıcıyla dengelenmesine kadar tekrar edilir. Anaköprü ve yardımcı kol için denge koşulları

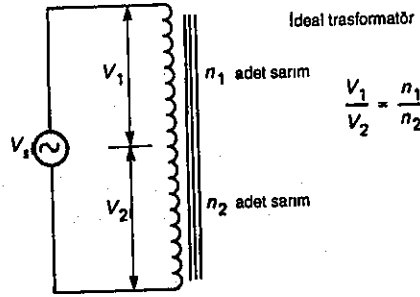
$$Y_1 Y_4 = Y_2 Y_3 \text{ ve}$$

$$Y_3 (Y_6 + Y_C) = Y_4 (Y_5 + Y_A)$$

denklemleriyle verilmektedir.

1.7.4. Transformatör Oranlı Köprüleri

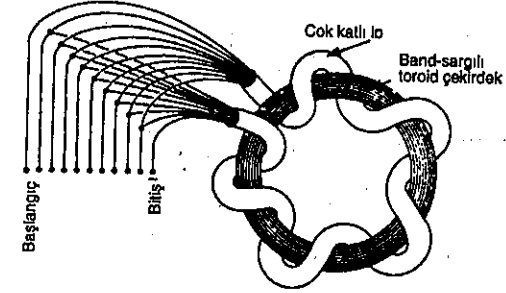
İndüktif bağlantılı köprüler olarak adlandırılan bu köprüler, kaçak empedanslar ile ilgili problemleri büyük ölçüde ortadan kaldırmaktadır. Bunların, aynı zamanda düşük sayıda standart dirençlere ve kondansatörlere gereksinim duymalarının sağladığı avantaj vardır. Dolayısıyla bu köprüler, 250 MHz'e kadar çıkabilen, geniş frekanslardaki bileşenlerin dirençlerini, kapasitans ve indüktanslarını ölçmek için kullanılan üniversal köprülerdir. Tüm transformatör oranlı köprülerindeki ortak eleman, Şekil 1.63'te gösterildiği gibi, ara uçlu transformatör sargılarıdır.



Şekil 1.63: Ara uçlu transformatör sargısı

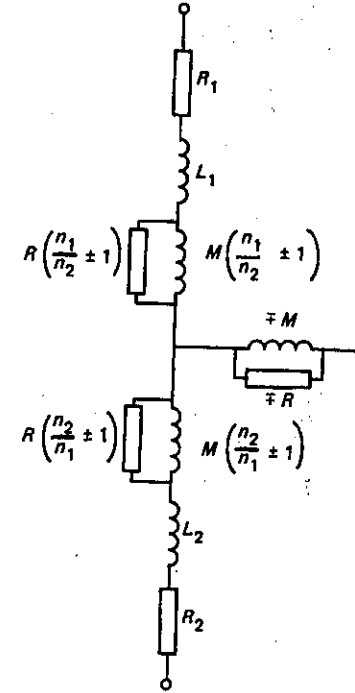
Eğer transformatör ideal ise, o zaman sargıların sıfır kaçak akı'sı olur; bu durum, bir sarımdaki bütün akımların diğer sarımla ve sıfır sarım direnciyle bağlantılı olmasını ifade etmektedir. İdeal değiştiricinin sarılı olduğu çekirdek malzemesinde, sıfır anafor-akımı ve histerisis kayıpları meydana gelir. Bu şartlar altında, V_1 geriliminin V_2 ye olan oranı, n_1 sarımının n_2 ye olan oranı ile eşittir ve bu oran, transformatörün herhangi bir sargısına uygulanan yüklenmeden bağımsızdır.

Pratik uygulamada, transformatör, süperalaşım veya süper mümetal-den meydana gelen toroid çekirdek üzerine sarılmıştır. Bu alaşımların düşük anafor-akımı, histerisis kaybı ve yüksek geçirgenliği vardır. Bobin, Şekil 1.64'de gösterildiği gibi, toroid çevresinde çok telli bir kordon şeklinde, her tel, seri olarak bağlanmış halde sarılmıştır. Bu tasarım sarımların kaçak indüktansını en aza indirmektedir.



Şekil 1.64 Toroidal ara uçlu transformatörün yapılışı

Sarımlar, direnci en aza indirmek için en geniş kesit alanına sahip olan bakırdan yapılmışlardır. Şekil 1.65, böyle bir transformatör eşdeğer devresini göstermektedir. L_1 ve L_2 sarımların kaçak indüktanslarıdır.



Şekil 1.65

Transformatörün eşdeğer devresi

R_1 ve R_2 sargı dirençleridir; M sarımlar arasındaki ortak indüktanstır; R histerisisi ve çekirdekteki anaför akım kayıplarını göstermektedir; n_1/n_2 nin ideal değerinin oran hatası yaklaşık olarak

$$\frac{n_2(R_1 + j\omega L_1) - n_1(R_2 + j\omega L_2)}{(n_1 + n_2)} \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega M} \right) \times 100\%$$

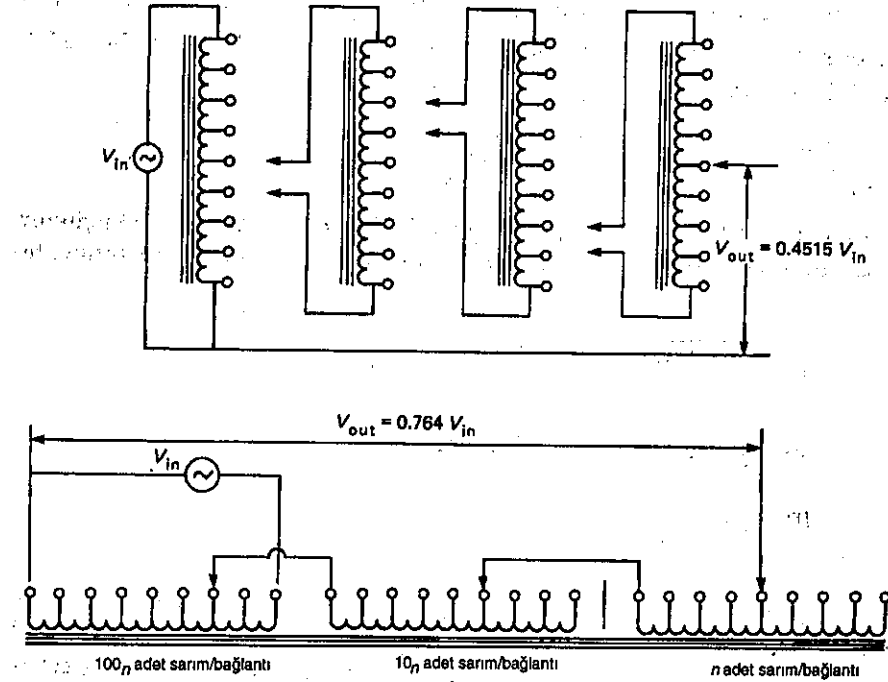
ve bu hata $1/10^6$ dan daha düşük yapılabilir. Yükleme etkisi de küçüktür. n_2 sarımını üstüne uygulanan Z empedansı aşağıdaki oran hatasını vermektedir:

$$\frac{(n_1/n_2)(R_2 + j\omega L_2) + (n_2/n_1)(R_1 + j\omega L_1)}{[(n_1 + n_2)/n_2] \cdot Z} \times 100\%$$

$n_1 = n_2$ olduğu durumda, eşit köprü için, bu

$$\frac{(R_2 + j\omega L_2)}{Z} \times \% 100 \text{ dır.}$$

Verilen hata oranı, yaklaşık olarak transformatörün çıkış empedansının kaçak indüktans ve sargı direncinden oluşan bir voltaj kaynağı gibi düşünüldüğünde olan hataya eşittir. Dolayısıyla, transformatörün efektif çıkış empedansı düşük değerde olabilir ve yükleme etkisi küçük olur. A.C. kaynağı tarafından görülen sargının giriş empedansı, sargıların ortak indüktansı (yüksektir) ve kayıp direnç (yüksektir) tarafından belirlenmektedir. Çok onlu oran transformatörleri Şekil 1.66 da gösterildiği gibi ya her onluk için ayrı veya bütün sargıları aynı çekirdek üzerinde kullanılmaktadır.



Şekil 1.66 Çok onlu oran transformatörleri

Çok-çekirdekli transformatör için, bir sonraki onluk çıkışı (bölüm zinciri altındaki), hemen üstteki tek bir uç bağlantısı boyunca çıkıştır. Tek bir çekirdek üzerindeki sarımlara konulacak onlukların sayısı, bütün onluklar boyunca volt/sarım oranını sabit tutabilmek gereksinimiyle sınırlıdır ve dolayısıyla uç bağlantısı başına düşen dönümlerin sayısı daha üstteki onluk için artmaktadır. Genellikle, çekirdeklerin sayısı ve tek çekirdekteki onlukların sayısı arasında bir uzlaşma sağlanır.

1.7.4.1. Köprü düzenlemeleri

Şekil 1.67'de gösterildiği gibi üç adet temel köprü düzenlemesi vardır. Şekil 1.67(a) da, algılayıcı

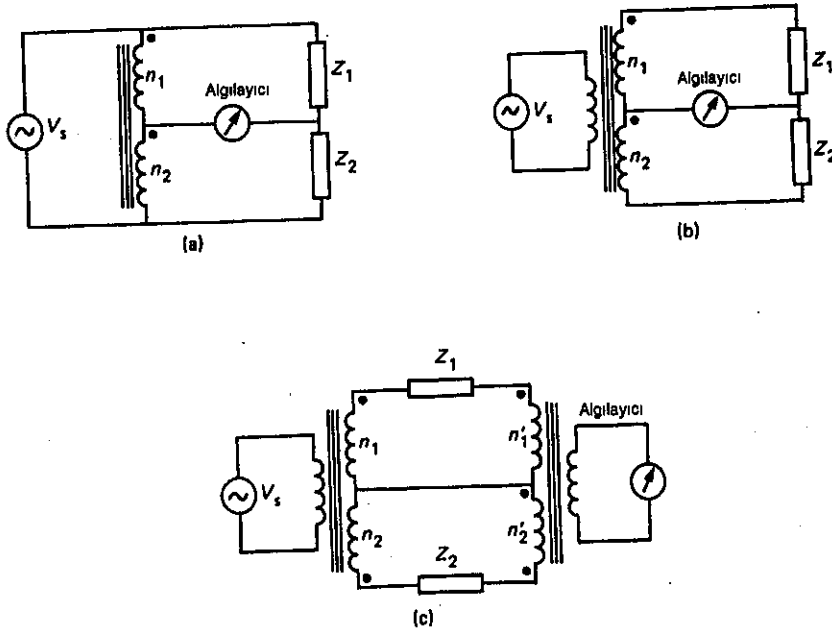
$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

olduğu zaman, bir sıfır göstermektedir ve pratik amaçlar için

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} = n \text{ olur.}$$

Dolayısıyla, $Z_1 = nZ_2$; $|Z_1| = n|Z_2|$ ve $\angle Z_1 = \angle Z_2$ olur.

Böylece, köprü benzer empedansları karşılaştırmak için kullanılabilir. Şekil 1.67(b)'de gösterilen, üç sarımlı gerilim değıştircisi, şekil 1.67(a)'daki köprü gibi aynı denge koşuluna sahiptir. Halbuki, üç sarımlı köprüde, gerilim oranı, dönüm oranına yaklaşık olarak eşit yapılabilir. Kaçak indüktansın ve her bölümdeki sarım direncinin Z_1 ve Z_2 ile seri olarak bağlanması köprü için bir dezavantajı vardır; dolayısıyla köprü yüksek empedansların ölçümünde en uygun araçtır. Şekil 1.67(c), bir çift oran transformatörü köprüsü göstermektedir.



Şekil 1.67 a) Ototransformatör oran köprüsü
b) Çift sarımlı transformatör oran köprüsü
c) Çift oran köprüsü

Burada, I_1 ve I_2 akımları, ikinci çift-sarımlı bir transformatöre beslenir. Algılayıcı, ikinci transformatörün gövdesinde sıfır akısı olduğu zaman, bir sıfır (boş) koşulu hissetmektedir. Bu şartlar altında, ideal bir transformatör için

$$I_2 n_1 = I_1 n_2 ; \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{n}$$

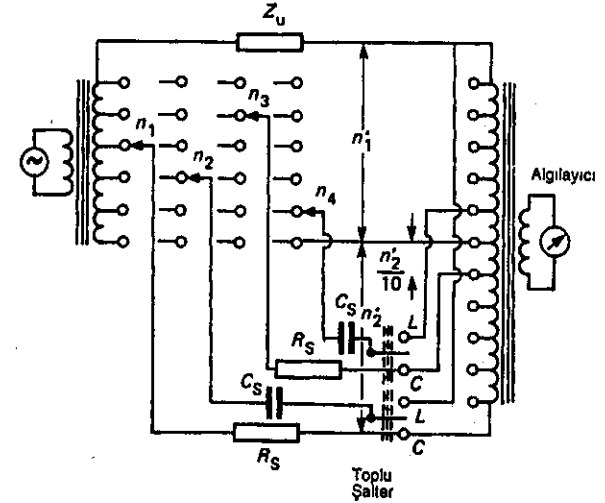
ve ikinci transformatör, sıfır giriş empedansı göstermektedir. Dolayısıyla

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{Z_1} \cdot n$$

olduğu için,

$$Z_1 = n n' Z_2 ; \quad |Z_1| = n n' |Z_2| \quad \text{ve} \quad \angle Z_1 = \angle Z_2$$

olur. Bu iki oranı kullanmak suretiyle, bu köprü küçük standart sayıların kapsayabileceği ölçme aralığını genişletmektedir. Şekil 1.68, R, C ve L nin ölçülmesinde üniversal bir köprüyü göstermektedir.



Şekil 1.68 Üniversal köprü.

Şekilde, sadece indüktif bölücünün iki onluğu gösterilmektedir. Bunlar, eşdeğer sabit kondansatörler ve direnç deposuna uygulanan gerilimleri kontrol eder. Kapasitansız ölçmek için bağlanmış köprü için denge koşulu:

$$C_u = \frac{n'_2}{n'_1} \left(\frac{n_2}{10} + \frac{n_4}{100} \right) \cdot C_s \text{ ve}$$

$$\frac{1}{R_u} = \frac{n'_2}{n'_1} \left(\frac{n_1}{10} + \frac{n_3}{100} \right) \cdot \frac{1}{R_s} \text{ olur.}$$

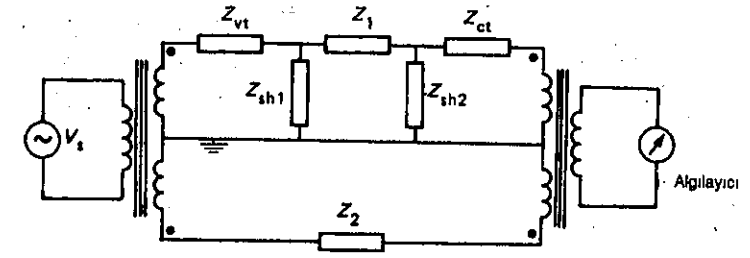
İndüktansın ölçülmesi sırasında, kondansatör ve indüktör boyunca geçen akım, akım transformatoründe toplanmaktadır ve belirlenen kapasitansın değeri, indüktans ile rezonans yapan değerdir. Bilinmeyen bir indüktans için, özdeş paralel devre cinsinden ölçülen değerler

$$L_{üst} = \frac{1}{\omega^2 C_u}; \quad \frac{1}{R_{üst}} = \frac{1}{R_u} \text{ şeklinde verilir.}$$

Burada C_u ve R_u değerleri yukarıdaki denklemlerde verilmektedir. ω 'nin değeri 10'un katları olarak seçilir ve dolayısıyla $L_{üst}$ ve C_u karşılıklıdır (reciprocal). $L_{üst}$ ve $R_{üst}$ 1.7.2. ci kısımda verilen denklemleri kullanarak, seri özdeş değerlerine dönüştürülebilir. Transformator oran köprüsü, düşük empedansları, yüksek empedansları, şebeke ve yükseltici karakteristiklerini ölçmek için düzenlenebilir. Oran köprülerinde kullanılan amper dönüm dengesi, akım transformatorlerinin kalibrasyonunu ve dört-üç empedanslarının karşılaştırılmasını yapan akım karşılaştırıcılarında kullanılmaktadır. Bu uygulamalar hakkında ilave bilgiler, Gregory (1973), Hague ve Foord (1971), Oliver ve Cage (1971) de de bulunmaktadır. Akım karşılaştırma prensibi, d.c de akım karşılaştırmasının yapılmasına imkan sağlayacak bir şekilde genişletilebilir (Dix ve Bailey, 1975). Transformator oran köprüleri, çoğunlukla kapasitif ve indüktif öteleme transdüserleriyle kullanılmaktadırlar; çünkü toprak kaçak empedanslarının sebep olduğu hatalardan arınmış olup kolaylıkla elde edilebilen, kararlı ve hassas değişken akım veya gerilim oranı sağlamaktadırlar. (Huggill, 1983; Neubert, 1975).

1.7.4.2. Dağınık (Kaçak) Empedansların İndüktif Bağlantılı Köprülerin denge koşulu üzerine olan etkisi

Şekil 1.69, bilinmeyen empedans'ın Z_{sh1} ve Z_{sh2} dağınık empedanslarıyla birlikte göstermektedir.



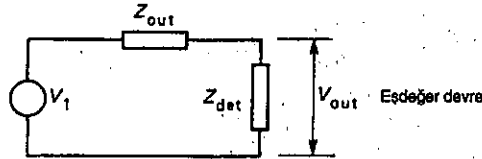
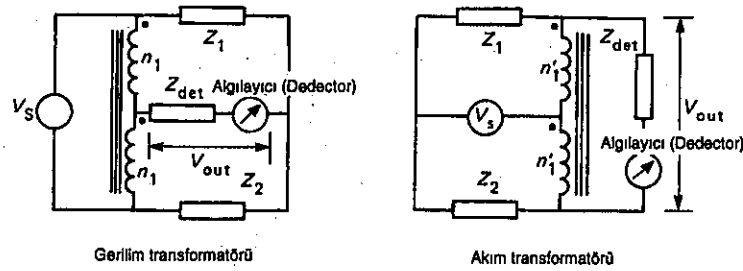
Şekil 1.69 Dağınık empedansların denge koşuluna olan etkisi

Köprünün denge koşulu Z_{sh1} den etkilenmemektedir. Çünkü V_1 in V_2 ye olan oranı şönt yüklemesinden etkilenmez. Dengede, akım transformatorünün çekirdeğinde sıfır net akı vardır. Sarımlarda gerilim düşmesi yoktur ve dolayısıyla $Z_{sh2} \cdot Z_{sh2}$ boyunca akım geçişi olmamaktadır. Dolayısıyla, köprü bütün kaçak (stray) empedansları zayıflatmaktadır. Bu durum, köprünün bir devredeki diğer bileşenlere bağlantılı olduğu halde, bileşenleri, "in situ" durumunda ölçmesini sağlamaktadır. Pratikte, şayet gerilim değiştiricinin çıkış empedansı, Z_{vt} değerine ve akım değiştiricisinin Z_{ct} giriş empedansına sahipse, o zaman Z_1 in ölçülmesi sırasında kaydedilen hata yaklaşık olarak

$$\left(\frac{Z_{vt}}{Z_{sh1}} + \frac{Z_{ct}}{Z_{sh2}} \right) \times 100\% \text{ olarak verilir.}$$

1.7.4.3. Dengesiz bir durumda indüktif bağlantılı köprülerin kullanılması

İndüktif bağlantılı köprülerdeki denge koşulu, sıfır (null) olarak algılanmıştır. Köprünün hassasiyeti, dengesiz koşullar altında çıkışı belirlemektedir ve dolayısıyla dengenin ne kadar kesinlikle bulunabileceğini de saptamaktadır. Şekil 1.70 iki sarımlı gerilim ve akım değiştiricilerini ve eşdeğer devrelerini göstermektedir. Şekil 1.71, iki köprünün kapasitif ve indüktif elemanlarla kullanıldığı zaman olan hassasiyetini göstermektedir. Rezonans, akım transformatorüyle birlikte bir rezonans devresi meydana getirir ve rezonans frekansın altında olan frekans değerleri için köprünün hassasiyeti, hem ω ya, yani köprünün açılal uyarım frekansına, hem de, şekil 1.71 de gösterildiği gibi, sarımın öz indüktansı, L_c ye bağlıdır.



	V_1	Z_{out}
Gerilim transformatoru	$\frac{V_s (Z_2 - Z_1)}{2 (Z_2 + Z_1)}$	$Z_1 \parallel Z_2$
Akım transformatoru	$\frac{2V_s (Z_2 - Z_1)}{(Z_2 + Z_1 + Z_1 Z_2 / Z_c)}$	$Z_1 \parallel 2Z_c + Z_2 \parallel 2Z_c$

$Z_c = j \omega L_c$; L_c oran kollarının (ratio arms) indüktansdır.

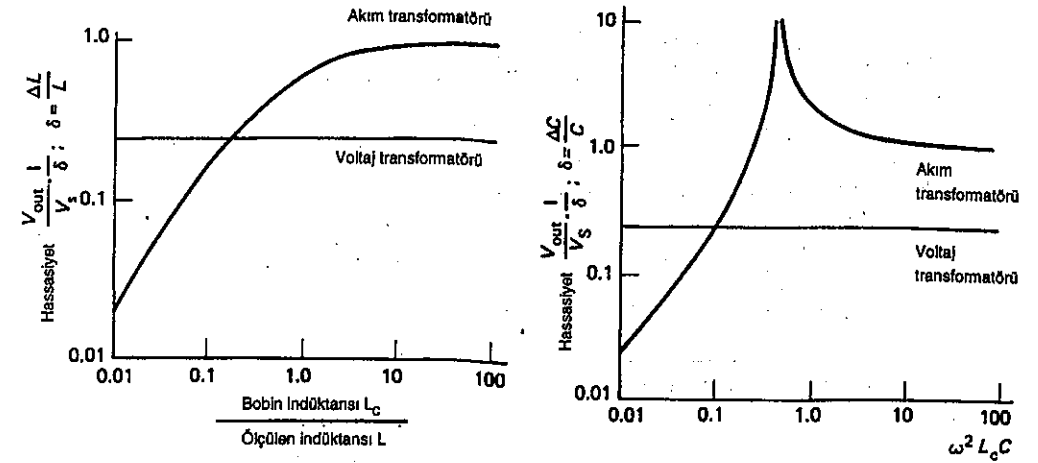
$L_c = M_c$ oran kollarının (ratio arms) ortak indüktansı

Şekil 1.70 Dengelenmemiş, indüktif bağlantılı köprü

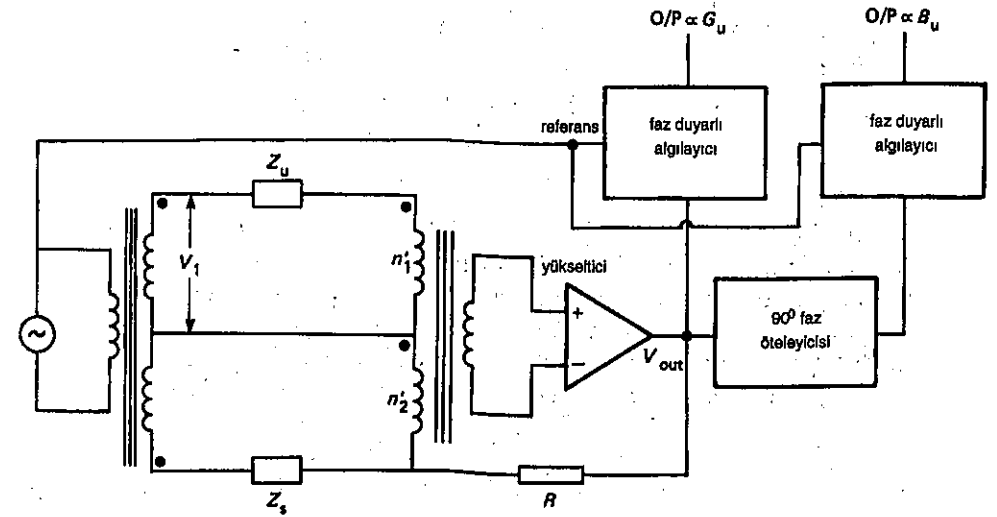
Hassasiyetin ω ya ve L_c ye olan bağımlılığı, hassaslığın azalması pahasına düşürülebilir. (Neubert, 1975)

1.7.4.4. Oto dengeleyici oran köprüleri

Şekil 1.72'de gösterildiği gibi, geribesleme kullanarak değiştirici oran köprüsü, kendini dengeleyebilen duruma getirilebilir. Denge halinde yüksek-kazançlı yükseltici, bilinmeyen Y_u admitansından gelen akımın, geribesleme direnci boyunca akan akım tarafından dengelenmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla, dengede,



Şekil 1.71 Akım hassasiyeti ve voltaj transformator köprüleri



- Eğer $Z_s = \infty$ Çıkış, bilinmeyen Z_u empedansının iletkenlik ve süseptansını vermektedir!
- Eğer $Z_s \neq \infty$ Çıkış, standart empedans Z_s nin değerlerinden iletkenlik ve süseptansda meydana gelen sapmayı vermektedir.

Şekil 1.72

$$V_1 Y_{u'1} = \frac{V_{out}}{R} \cdot n'_2$$

$$V_1 = \overline{V_1} \sin \omega t$$

$$V_{out} = V_{out} (\omega t + \phi)$$

ve

$$Y_u = G_u = jB_u$$

$$G_u = \frac{n'_2}{n'_1} \cdot \frac{1}{R} \cdot \frac{V_{out}}{V_1} \cos \phi;$$

$$B_u = \frac{n'_2}{n'_1} \cdot \frac{1}{R} \cdot \frac{V_{out}}{V_1} \sin \phi$$

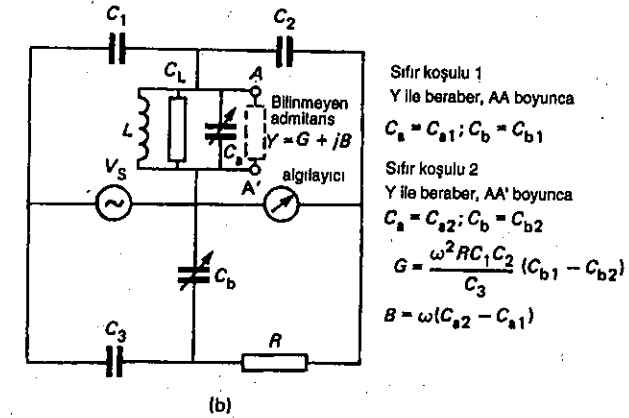
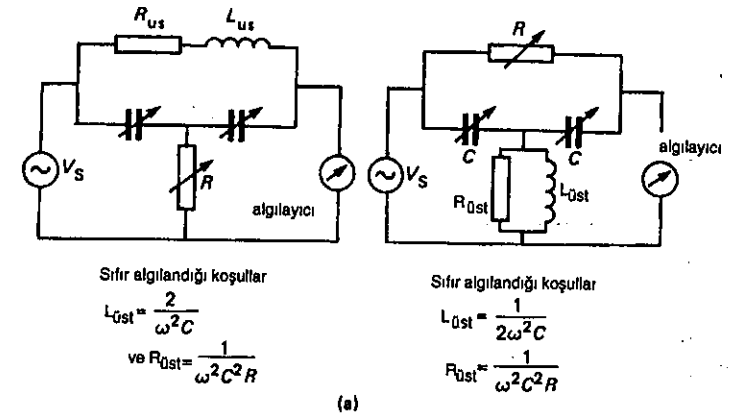
Yükseltici çıkışı ve bu çıkıştan 90 derece ötelenmiş bir sinyal iki faz hassas algılayıcılar içerisinde geçmektedir. Bu algılayıcılar, bilinmeyen dirençsel ve reaktif bileşenlerinin gösterimini sağlayan referans gerilimlerini kullanır. Standart ve bilinmeyen arasındaki farkın ölçülmesini sağlayan, bir köprüye sarımlar eklenebilir.

1.7.5. Yüksek-Frekans Empedans Ölçümü

Ölçüm frekansının yükseltilmesiyle birlikte, gerçek bileşenlerle beraber olan parazit unsurlar, ölçüme egemen olmaya başlarlar. Dolayısıyla, rf köprüleri, değişken kondansatörler kullanır (tipik olarak 1000pf dan daha az olmak üzere). Bunlar köprülerde ve boyutları küçük olan sabit dirençlerde ayarlanabilir eleman görevini üstlenirler. Bu elemanları kullanmak suretiyle, kurulacak bir köprü Şekil 1.60'da gösterildiği gibi bir Schering Köprüsüdür. rf köprülerinde, kılıflama ve kablo bağlantılarında geniş bağlama çevrimlerini önlemek üzere, azami dikkat gösterilmesi gerekmektedir. Böyle köprülerdeki empedans aralığı, frekans arttırıldıkça azalmaktadır.

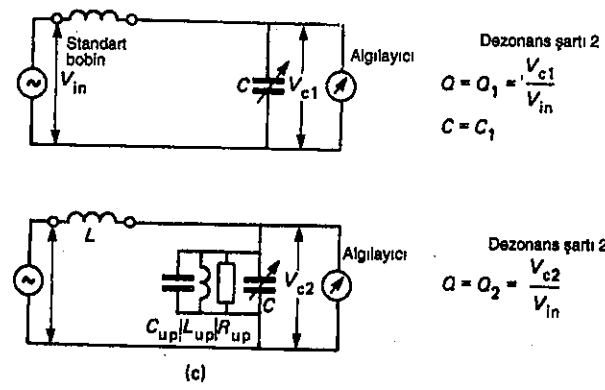
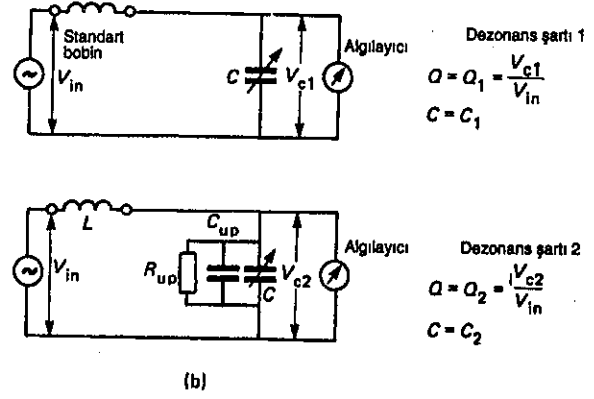
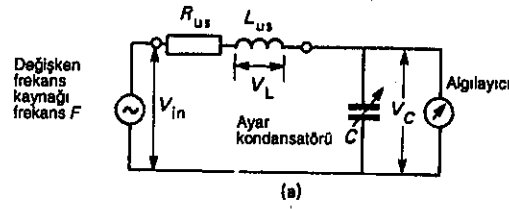
Mikrodalga frekanslarında, bütün kablo demeti koaksiyel olup, ayrı bileşenler artık kullanılmaz ve empedans ölçümleri, sistemin karakteristik empedansına yakın olan empedanslar için yapılabilir. Yüksek frekans ölçümleri için daha detaylı bilgiler Oliver ve Cage (1971) ve Somlo ve Hunter (1985) de bulunabilir.

Şekil 1.73'de, denge koşullarıyla birlikte gösterilen, köprülü T ve paralel T devreleri, rf frekanslarındaki ölçümler için kullanılırlar. Paralel T ölçme tekniğinin şöyle bir avantajı vardır: Burada denge, iki adet topraklanmış değişken kondansatörle sağlanabilmektedir.



Şekil 1.73 Köprülü T, (a) paralel T, (b) yüksek frekanslarda empedans ölçümü için devreler.

Çınlama teknikleri de, yüksek frekanslarda bileşenlerin ölçümünde kullanılırlar. Çınlamanın, bileşen ölçümünde en önemli uygulamalarından birtanesi, şekil 1.74'de gösterilen Q metredir. Bu şekilde indüktansı ölçerken, L_{us} ile, seri-çınlama devresi meydana getiren değişken kondansatör C, algılayıcı, f frekansındaki rezonansı ölçünceye kadar ayarlanmaktadır. Çınlama C boyunca bir maksimum gerilim olarak algılanır. Çınlama (Resonance) sırasında, Q, şu şekilde verilir.



Şekil. 1.74. Q metre (a) İndüktans ölçümü, (b) Kapasitans ölçümü (c) Direnç ölçümü

$$Q = \frac{V_C}{V_{in}} = \frac{V_L}{V_{in}}$$

$$L_{us} = \frac{1}{4\pi f C} \text{ olur.}$$

R_{us} 'in değeri ise

$$R_{us} = \frac{1}{2\pi f C Q}$$

olarak verilmektedir.

Bir indüktörün öz kapasitansı, C nin değerini, yani C_1 i ölçerek bulunabilir. C_1 , C'nin bir başka değeri C_2 ile birlikte f frekansında çınlama salınımı yapmaktadır. C_2 , 2f indüktans değerinde çınlama yapmaktadır.

C_0 , bobininin öz kapasitansı

$$C_0 = \frac{C_1 - 4C_2}{3}$$

şeklinde ifade edilir.

Şekil 1.74(b)'de, bir kondansatörün eşdeğer paralel kapasitans ve direncini ölçmek için Q metrenin kullanımı gösterilmektedir. f frekansında bir standart indüktör (inductor) kullanarak, C kapasitansı, çınlamanın oluştuğu C_1 C_2 değerine ayarlanmaktadır. Bilinmeyen kondansatör C boyunca bağlanmakta olup ve C nin değeri, çınlama tekrar bulununcaya kadar ayarlanır.

Eğer bu değer C_2 ise, o zaman, bilinmeyen $C_{üst}$ kondansatörü

$$C_{üst} = C_1 - C_2$$

şeklinde yazılabilir.

Güç kaybı faktörü, D aşağıdaki biçimde verilmektedir.

$$D = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1 \cdot Q_2} \cdot \frac{C_1}{C_1 - C_2}$$

Burada Q_1 ve Q_2 , iki çınlama hali için ölçülen Q değerleridir. $R_{üst}$ paralel direnci

$$R_{üst} = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{Q_1 - Q_2} \cdot \frac{1}{2\pi f C_1} \text{ olarak yazılır.}$$

Bir direncin (şekil 1.74(c)), yüksek frekans eşdeğer devresinin elemanları da ölçülebilmektedir. Verilen bir, f frekansında kondansatör C , L ile çınlama yapacak şekilde, bir C_1 değerine ayarlanmaktadır. Daha sonra direnç, kondansatör boyunca bağlanmakta ve çınlama tekrar sağlanuncaya kadar C nin değeri ayarlanmaktadır. Şimdi bu C değerine C_2 diyelim. Çınlama esnasında Q değerleri Q_1 ve Q_2 dir ve bilinmeyen elemanların değerleri

$$R_{üst} = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{(Q_1 - Q_2)} \cdot \frac{1}{2\pi f C_1}$$

$$C_{üst} = C_1 - C_2 \text{ ve}$$

$$L_{üst} = \frac{1}{(2\pi f)^2 \cdot C_{üst}}$$

olmaktadır.

1.8. Sayısal Frekans ve Period/Zaman-Aralığı Ölçümleri

Bu ölçümler, frekans oranı, faz farkı, yükselme ve düşme zamanı, kullama faktörü ölçümleri, basamaklı sayım teknikleri uygulamalar ve temelde zamanın ölçümü ile ilgilidirler.

Zamanın SI birimi, Sezyum-133 atomunun, taban enerji seviyesindeki $F=4$, $m_f=0$ ve $F=3$, $m_f=0$ çok ince (hyperfine) seviyeleri arasındaki geçiş karşılık olan 9192631770 periodlu ışıma süresi şeklinde tanımlanmıştır. Birim, sezyum-ışın atom saati sayesinde anlaşılmaktadır. Bu saatte, sezyum ışıma bir mikrodalga kaynağındaki gerekli geçiş denk düşen bir çınlama emilmesine tabi olmaktadır. Bir geri besleme mekanizması, mikrodalga kaynağının frekansını, çınlama frekansında tutmaktadır. SI birimi $1/10^{13}$ veya $1/10^{14}$ mertebeleri arasında hata payına sahiptir. İkincil standartlar, rubidium gazı, hücre rezonatörü-kontrollü salıngaç (oscillator) veya kuvarz kristalli osilatör tarafından sağlanmaktadır. Rubidium salıngaç, frekans-kilitli saat çevrimi yoluyla, kuvarz salıngaçın frekansını tutabilmek için atomik çınlama etkisi kullanılmaktadır. Bu durum tipik bir kısa süreli (short term) kararlılığı (100s periyotda ortalanmış), 10^{13} de 5 kısım ve (ay başına) 10^{11} de 1 kısım, uzun süreli kararlılık sağlar. Kuvarz kristal salıngaçları, ucuz ikincil standartları sağlamaktadırlar. Bunların tipik kısa süreli $5/10^{12}$ mertebesinde kararlılıkları (1s periyotlarda ortalanmış) ve ay başına 10^{18} de 1 kısımdan daha iyi olan uzun süreli kararlılıkları sağlamaktadır. Zaman detayları ve frekans standartları Hewlett-Packard (1974) de bulunabilir.

Zamanın ve frekans standartlarının yaygınlaşması radyo yayınlarında da ele alınmaktadır. Radyo istasyonları, $1/10^{11}$ veya $1/10^{12}$ mertebesinde belirsizlikle bilinen frekanslarda yayın yapar. Zaman-sinyali yayınları Koordineli Universal Zaman (UTC) olarak bilinir ve Paris'deki Uluslararası Saat Bürosu (BIH) tarafından koordine edilmektedir. BIH'in senelik raporları, zaman-sinyali yayınlarından, taşıyıcı frekansların doğruluklarından ve ulusal-zaman sinyali yayınlarının özelliklerinden sorumlu olan ulusal yetkilileri bilgilendirir. Tablo 1.9, İngilteredeki zaman-yayını hizmetlerinin detaylarını vermektedir.

Tablo 1.9 UK Zaman Yayınları

GBR 16 kHz Rugby'den yayınlanan (52° 22'13 "N 01° 10'25" W)

GÜÇ : ERP 65 kw

Nakil Modları : A1, FSK (16.00 ve 15.95 kHz) ve MSK (gelecek)

Zaman Sinyalleri : Tarife (UTC)

Zaman Sinyellerinin biçimi

0255 den 0300 e

100ms süren tüm ikinci darbeler, dakika 500 ms ye arttırılmışlardır.

0855 den 0900 e

1455 den 1500 e

Referans noktası, taşıyıcı yükselmesi-nin başlangıcıdır

2055 den 2100 e

Kesintisiz taşıyıcı, 54m 30s ve 0m 6s den 24s için iletilmiştir.

Her salı günü 1000 den 1400 e kadar kesinti olmaktadır

DUT 1: CCIR Çift-darbe kodu

MSF 60 kHz rugbyden yayınlanan

GÜÇ : ERP 27 kw

TARİFE (UTC)

Her ayın ilk salısında, 1000 ila 1400 arasında bakım için kesinti dışında, sürekli.

Zaman sinyallerinin biçimi
100 ms lik taşıyıcının, ikinci darbeler için kesintileri ve 500 ms lik olanın dakika darbeleri için kesintileri. Devir kesinti başlangıcında verilmektedir.

BCD NRZ kodu, 100 bits/s (ay, gün, saat, dakika), dakika kesintileri boyunca

BCD PWM kodu, 1 bit/s (sene, ay, ayın günü, haftanın günü, saat, dakika) her dakika 17 den 59 saniyeye kadar. DUT 1: CCIR kod (çift darbe ile)

MSF 2,5,5 ve 10MHz, Rugbyden yayınlanan

ERP (1 kw) Tarife (UTC)

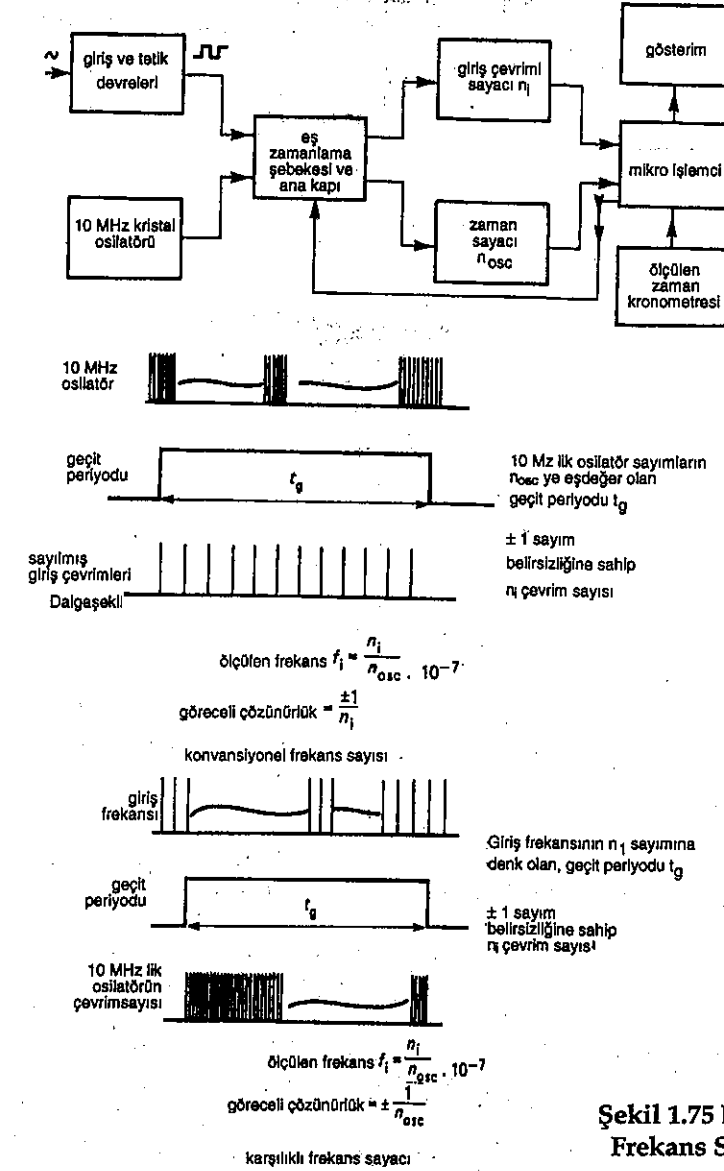
0 ve 5, 10 ve 15, 20 ve 25, 30 ve 35,40 ve 45, 50 ve 55 dakikalar arasında

Zaman sinyallerinin biçimi
5 devirlik, 1kHz modülasyonlu ikinci darbeler. Dakika darbeleri uzatılmıştır.

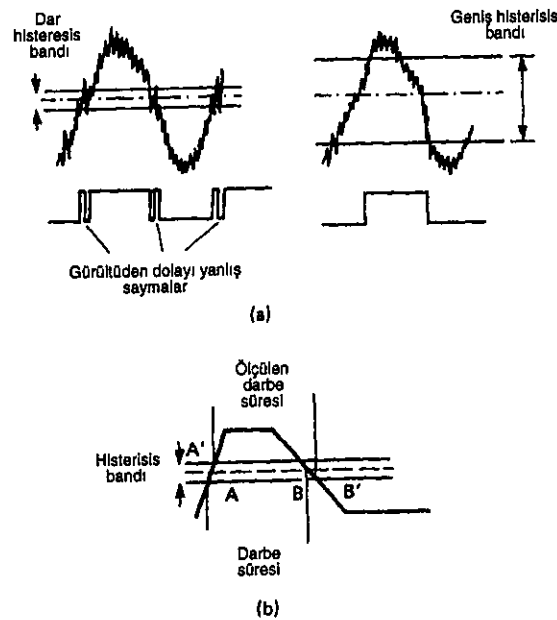
MSF ve GBR nakilleri, sezyum ışını frekans standardı tarafından kontrol edilmektedir. Doğruluk $\pm 2 \times 10^{-12}$ dir.

1.8.1. Frekans Sayıcıları ve Universal Kronometre/Sayıcılar

Frekans ölçümleri, fonksiyonları (frekans ölçümünde ilave olarak) frekans oranı, period ölçümü ve toplamasını kapsayan frekans sayıcıları tarafından yapılmaktadır. Universal kronometre/sayıcıları, zaman-aralığı ölçme fonksiyonu ile beraber frekans sayıcılarının işlevlerini kapsamaktadır. Şekil 1.75, bir mikro işlem-kontrollü frekans sayıcısının elemanlarını göster-



mektedir. Giriş sinyali işleme (conditionning) ünitesi giriş sinyallerini geniş bir aralıkta kabul etmektedir. Tipik olarak bu aralık 20 mV luk bir rms değerine sahip bir sinüzoid ve 20 mV rms den 20 V rms değerlerinde değişen sınırlara tekabül eden maksimum hassasiyet sınırlarıdır. Tetikleyici devre, ya giriş dalgasına göre otomatik olarak ayarlanan veya sürekli olarak bir sınır aralığı için ayarlanabilen, tetik seviyesine sahiptir. Tetik devresi, Şekil 1.76(a)'da gösterildiği gibi dalga biçimine ses etkisini azaltmak üzere, histerisis (hysteresis) kullanılmaktadır. Bu durum (Şekil 1.76(b)) zaman ölçümlerinde hatalara da neden olabilmektedir.



Şeki 1.76 (a) Gürültü etkisini azaltmak için histerisis kullanımı
(b) Histerisisin yol açtığı zamanlama hataları.

Bir frekans sayıcısında veya universal kronometrede bulunan kuvarz kristali dengelenmemiş (stabilize olmamış) sıcakta dengelenmiş, ya da fırında stabilizasyona tabi olabilir. Kuvarz salıngaçlarının frekans kararlılığı, yaşlanma, sıcaklık, besleme gerilim değişimleri ve güç beslemesi modunda olan değişimlerden (örneğin doğru-frekans beslemesinden, batarya beslemesine geçiş) etkilenebilir. Tablo 1.10, üç tip kuvarz osilatör için, karşılaştırmalı şekilleri vermektedir. Sıcaklık dengelenmeli salıngaç (Temperature-compensated oscillator), frekans düzeltmesi için sıcaklık-bağımlı dengeleme şebekesine sahiptir ve altı veya yedi basamaklı bir cihaz için yeterli doğruluk sağlayabilmektedir.

Tablo 1.10 Kuvarz salıngaçı özellikleri

Aşağıdaki durumlar karşısında kararlılık	Dengeli (compensated)	Dengelenmiş Kararlı sıcaklık	fırın
Yaşlanma: /24 saat	n.a.	n.a.	$<5 \times 10^{-10}$
/Ay	$<5 \times 10^{-7}$	$<1 \times 10^{-7}$	$<1 \times 10^{-8}$
/Sene	$<5 \times 10^{-6}$	$<5 \times 10^{-7}$	$<7.5 \times 10^{-8}$
Sıcaklık: 0-50°C ref.+23°C	$<1 \times 10^{-5}$	$<1 \times 10^{-6}$	$<5 \times 10^{-9}$
Ölçümdeki değişim ve besleme modu:			
Hat/iç batarya/dış D.C. 12-26V	$<3 \times 10^{-7}$	$<5 \times 10^{-8}$	$<3 \times 10^{-9}$
Hat gerilimi: ± 10%	$<1 \times 10^{-8}$	$<1 \times 10^{-9}$	$<5 \times 10^{-10}$
10^{-7} son değer sınırları içersinde			
ön-ısıtma zamanına ulaşabilmek	n.a.	n.a.	<15 dakika

* 48 saat sürekli işlem sonrasında

Kararlı-fırın osilatörleri, tipik olarak, kristal sıcaklığını $70 \pm 0.01^\circ\text{C}$ de tutmaktadırlar. Genellikle, düşük çınlama frekanslı, yüksek kütleli kristaller kullanırlar ve ana frekanslarının yüksek tonunda çalışırlar. Diğer iki kristale göre daha iyi yaşlanma özelliği gösterirler. Yediden-dokuz basamaklı cihazlara kadar kullanıma elverişlidirler.

Mikroişlemci, sayım işleminin kontrolünü, gösterimini ve ölçüm sonrası hesaplamasını (post-measurement computation) sağlamaktadır. Geleneksel frekans sayaçları f_i frekansındaki giriş dalga biçiminin n_i çevrim sayısını 10 MHz kristal osilatöründeki n_{osc} sayısına denk gelen geçit periodu t_g de say-

maktadırlar. Giriş dalga şeklinin ± 1 lik sayısına denk gelen bir belirsizlik değeri vardır. Göreceli çözünürlük aşağıdaki şekilde verilmektedir

$$G. \text{ Çöz} = \frac{\text{Ölçülen değerin en küçük ölçülebilen değişikliği}}{\text{Ölçülen değer}}$$

Frekansın ölçümü için;

$$\pm \frac{1}{\text{Geçit periyodu} \times \text{Giriş frekansı}} = \pm \frac{1}{\text{tg} \cdot f_i}$$

Düşük-frekanslı sinyallerde yüksek çözünürlüğü olan ölçümlere ulaşabilmek için, uzun geçit zamanları gerekmektedir. Karşılıklı frekans sayaçları, geçit zamanını, giriş dalga şekline senkronize eder.

Sonra geçit zamanı, giriş dalga biçiminin çevriminin bir tamsayı değerine ulaşır. Giriş dalga şeklinin frekansı dolayısıyla:

$$f_i = \frac{\text{Giriş dalga şeklinin çevrim sayısı}}{\text{Geçit periyodu}} = \frac{n_i}{n_{osc}} \times 10^{-7} \text{ Hz}$$

Karşılıklı metodun göreceli çözünürlüğü

$$\pm \frac{10^{-7}}{\text{Geçit zamanı}} = \pm \frac{10^{-7}}{\text{tg}} = \pm \frac{1}{n_{osc}}$$

giriş frekansından bağımsızdır ve dolayısıyla, düşük-frekanslı sinyaller için, yüksek çözünürlük ölçümlerini sağlamak mümkün olur. Her iki metodu kullanan modern frekans sayaçları, çoğu zaman yüksek frekanslarda yüksek çözünürlük elde etmek için konvansiyonel metodu kullanmaktadır.

$$T_i = \frac{1}{f_i} = \frac{\text{Geçit periyodu}}{\text{Giriş dalga şeklinin çevrim sayısı}} = \frac{n_{osc} \times 10^{-7}}{n_i}$$

n_{osc} 'de ± 1 göreceli çözünürlük olacak şekilde gösterilebilir.

Frekans sayaçlarının doğruluk dereceleri, dört faktörle sınırlanmıştır. Bunlar sistem çözünürlüğü ve tetik, sistematik ve temel zaman hatalarıdır. Tetik hatası (TE), giriş gürültüsünden meydana gelen mutlak ölçüm hatasıdır. Bu durum ya çok erken ya da geç meydana gelen tetikleme ortaya çıkarmaktadır. Bir sinüzoidal giriş dalga şekli için

$$TE = \pm \frac{1}{\pi f_i} \quad \text{giriş sinyalinin gürültüye oranı}$$

ve sinüzoid olmayan bir dalga için

$$TE = \pm \frac{\text{Tepeden tepeye gürültü gerilimi}}{\text{Sinyalin dönme hızı}}$$

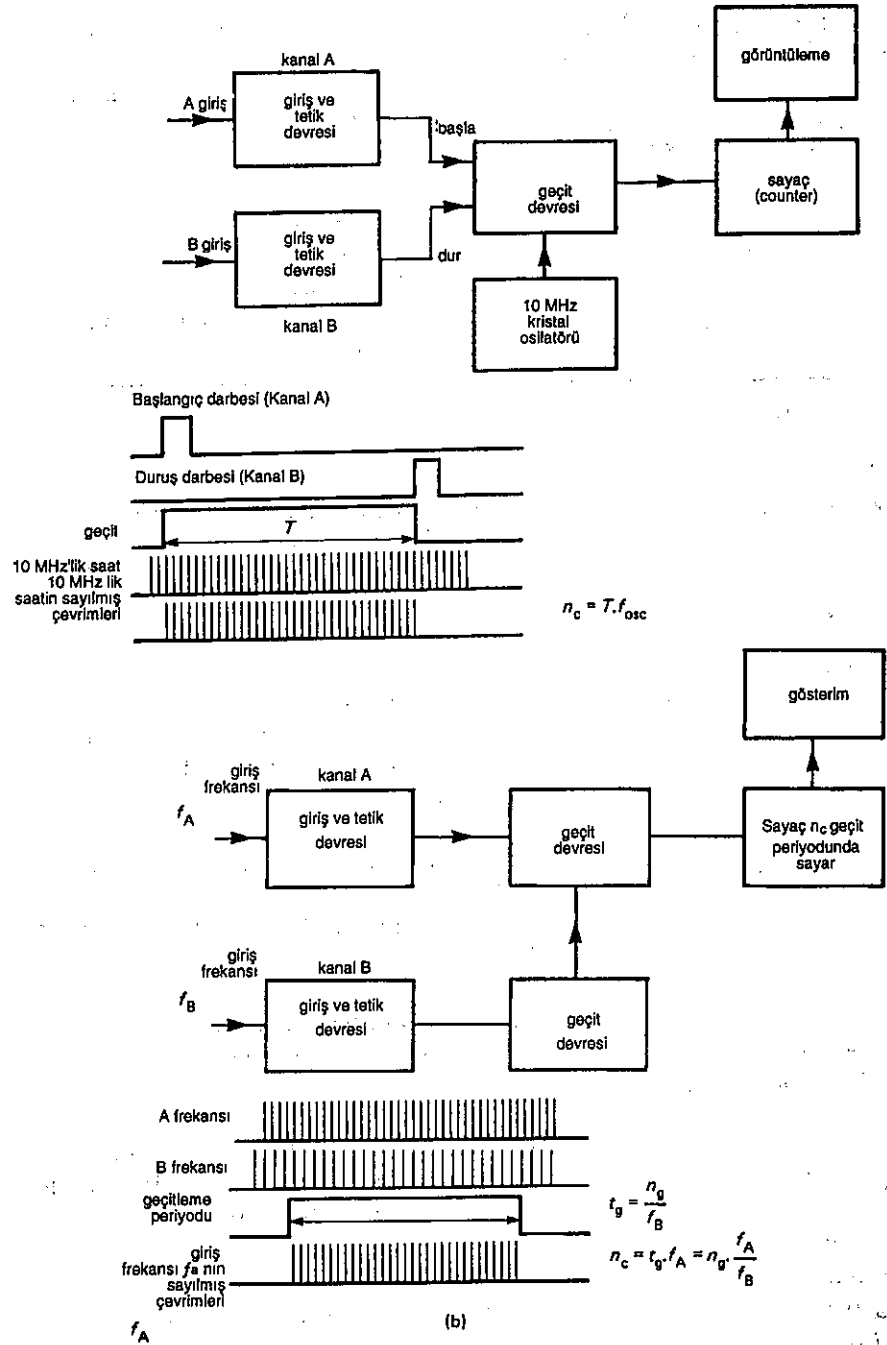
Sistematik hata (SE), başlangıçta diferansiyel yayının gecikmelerinden ayrıca dur sensörleri (stop sensor), sayacın yükseltici kanalları veya başlama ve durma kanallarındaki tetik seviye düzenlemelerindeki hatalardan kaynaklanmaktadır. Bu hatalar, kalibrasyon ile giderilebilir. Zaman bazı hatası ise (TBE), kalibre edilmiş değerinden, kristal frekansının sapması neticesinde meydana gelir. Sapmanın nedenlerine yukarıda değinilmiştir. Frekans ölçülmesinin göreceli doğruluğu

$$\pm \frac{f_i \text{ çözünürlüğü}}{f_i} \pm \frac{TE}{\text{tg}} \pm \text{Göreceli TBE}$$

ve periyod ölçümünün göreceli doğruluğu

$$\pm \frac{T_i \text{ çözünürlüğü}}{T_i} \pm \frac{TE}{\text{tg}} \pm \text{Göreceli TBE}$$

Şekil 1.77, tek bir vuruş aralığı ve frekans-oran ölçümlerinde kullanılan teknikleri göstermektedir.



Tablo 1.11, 200 MHz universal kronometre/sayıcılarının (Racal-Dana 9902/9904/9906) özelliklerini vermektedir.

Tablo 1.11 Universal Kronometre/Sayaç Özellikleri
ÖLÇME FONKSİYONLARI
Çalışma Modu

Frekans
Tek ve çok periyotlu
Tek ve çok oranlı
Tek ve çift-hat zaman aralığı
Tek ve çift-hat zaman aralığı ortalaması
Tek ve çok toplama

FREKANS ÖLÇÜMÜ

Giriş	Kanal A
Bağlaşım	A.Akım veya D. Akım
Frekans Sınırı	50 MHz e kadar D.A. (9902 ve 9904) HF D.A. 30 MHz e kadar VHF 10 MHz den 200 MHz'e, 4(9906) ile ön numaralanmış ± 1 sayım $\pm$ zaman bazı doğruluğu
Doğruluk	El ile: 1 ms den 100s
Geçit Zamanları (9900 ve 9902)	Otomatik: Saçılmayı önlemek üzere geçit zamanları 1s. ye kadar otomatik olarak seçilmişlerdir. Küçük frekans değişimlerinde, arzu edilmeyen sınır değişimlerini histerisis önlemektedir. Onluk basamaklarda 1ms dan 100s kadar (9904) HF: 1 ms dan 100s VHF: 4ms dan 400s ye kadar.

TEK-VE ÇOK PERİYOD ÖLÇÜMLERİ

Giriş	Kanal A
Sınırlar	1µs dan 1s tek periyoda, 100ns den 1s çok periyoda (9902 ve 9904) 1µs dan 100s tek periyoda 100ns dan 100s çok periyoda (9906)
Saat birimi	1ms
Bağlaşım	a.c. veya d.c.
Ortalanmış periyod	1 den 10 ⁵ onluk basamaklar halinde
Çözünürlük	Maksimum 10 ps
Doğruluk	$\pm 0.3 \%$

Band genişliği

Ortalama alınmış periyodlar $\pm$ sayma $\pm$ zaman bazında doğruluk (50mv vms girişi için 40dB lik S/N oranı)
Periyod seçildiği zaman otomatik olarak 10 MHz (3dB) düşürülür.

TEK VE ÇİFT GİRİŞ ZAMAN ARALIĞI

Giriş	Tek giriş: Kanal B Çift giriş: Kanal B başlar Kanal A durur
Zaman sınırı	100ns dan 10^4 (s) (2.8 saat yaklaşık) (9902) 100ns dan 10^5 (s) (28 saat yaklaşık) (9904) 100ns den 10^6 (s) (280 h yaklaşık) (9906)
Doğruluk	± 1 sayım $\pm$ tetik hatası $\pm$ zaman bazı doğruluğu Teknik hata = $\frac{5}{\text{Teknik noktasında, sinyal eğimi (V/}\mu\text{s)}}$ ns
Saat birimleri	100ns den 10ms a onluk stepler vasıtasıyla
Başlama/durma sinyalleri	Elektriksel veya temas ile
El ile başla/dur (9900)	Ön göstergede tek düğmeye basma yoluyla. Temas işlemi için (1MA akım çukuru), N.B. giriş duyu otomatik olarak öngerilimlidir. Elektriksel-pozitif ve negatif eğimler, hem başlangıç, hem de bitiş sinyallerinde seçilebilirler.
Tetik eğim seçimi (9900)	
Sıçrama korunması (9900)	Temas işlemi seçildikten sonra 10ms lik ölü zaman otomatik olarak ilave edilmiştir.

ZAMAN-ARALIĞI ORTALAMASI TEK VE ÇİFT GİRİŞ

Giriş	Tek giriş: B kanalı Çift giriş: B kanalından başlama A kanalında durma
Zaman sınırı	150ns den 100ms'a (9902) 150ns den 1s (9904) 150ns den 10s (9906)
Aralık arasındaki ölü zaman	150ns
Saat birimi	100ns
Ortalanmış zaman aralıkları	1 den 10^5 e kadar onluk basamaklarda
Çözünürlük	100ns den 1ps e kadar
Doğruluk	$\pm$ zaman bazı doğruluğu $\pm$ sistem hatası $\pm$ ortalama hatası; sistem hatası: giriş kanalı için

10ns. Başlangıç ve bitiş sinyalleri arasındaki gecikme farkları ve dıştan bağdaştırmak suretiyle en aza indirilebilir.

$$\text{Ortalama Hata} = \frac{\text{Tetik hatası} \pm 100}{\sqrt{(\text{Ortalanmış aralıklar})}} \text{ ns}$$

$$\text{Tetik Hatası} = \frac{5}{\text{Tetik noktasında (V/}\mu\text{s) sinyal eğimi}} \text{ ns}$$

ORAN

Yüksek-frekans girişi	Kanal A
Yüksek-frekans sınırı	10Hz den 30MHz (9900) d.c. dan 50 MHz (9902, 9904)
Alçak-frekans girişi	Kanal B
Alçak-frekans sınırı okuması	D.C. dan 10 MHz'e $\frac{\text{A Frekansı}}{\text{B Frekansı}} \times n$

n çoğaltıcı

1 den 10^5 onluk basamaklar içinde

Doğruluk

$$\pm 1 \text{ sayım} \pm \text{kanal B üzerinde tetik hatası}$$

$$\text{No. geçit periyodları}$$

$$\text{Tetik hatası} = \frac{5}{\text{Tetik noktasında sinyal eğimi (V/}\mu\text{s)}} \text{ ns}$$

TOPLAMA

Giriş	Kanal A (10 MHz maks)
Maks.hız	10^7 olay/saniye
Darbe genişliği	Tetik noktalarında minimum 50ns
Ön-ölçeklendirme	Olayların, 1 den 10^5 e kadar onluk çokluklar halinde ön-ölçeklendirmesi yapılır.
Okumalar	$\frac{\text{Giriş neticelerinin sayısı} + 1 \text{ sayım} - 0}{n}$
Elle başlama/durma	Ön paneldeki düğmeyi basmakla
Elektriksel başlama/durma	Kanal B ye uygulanan elektriksel sinyal

1.8.2. Zaman-Aralığı Ortalaması

10 MHz lik saat kullanarak yapılan tek-vuruş zaman aralığı ölçümlerinin $\pm 100\text{ns}$ değerinde bir çözünürlüğü vardır. Ancak zaman aralığının ölçümlerini tekrarlamak suretiyle, ölçüm çözünürlüğünü önemli ölçüde iyileştirmek mümkün olmaktadır. (Hewlett Packard, 1977 b). Şekil 1.78'de gösterildiği gibi, T zaman aralığındaki, sayısal saat sayımı ya n veya n+1 olacaktır. Eğer ölçüm saati ve tekrarlama hızı, eş zamanlı değilse, zaman aralığı

$\bar{T}$ nin en iyi tahmini değeri

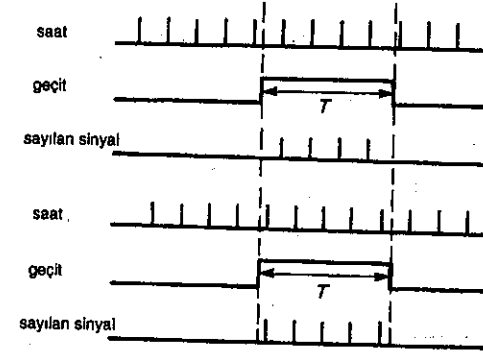
$$\hat{T} = \bar{n} T_{\text{osc}} \text{ olarak verilir.}$$

Burada $\bar{n}$, N sayıdaki tekrardan elde edilen, ortalama sayım sayısı ve T_{osc} ise sayısal saatin (Digital Clock) periyodudur. Yüksek N sayısında ortalananmış zaman aralığı için (TIA), çözünürlüğün bir ölçüsü olan, standart sapma σ_T

$$\sigma_T = \frac{T_{\text{osc}}}{\sqrt{N}} \sqrt{F(F-1)} \text{ olarak verilir.}$$

Burada F, ölçülen zaman aralığına bağımlı olan 1 ve 0 arasında yer almaktadır. Dolayısıyla, zaman tahmini üzerine maksimum standart sapma $T_{\text{osc}} / (2\sqrt{N})$

olarak verilir. 10MHz lik saati kullanarak, tekrarlı ölçmeler sonucunda, 10ps lik bir çözünürlük elde etmek mümkün olur. Tekrarlı ölçmeler gürültünün yolaçtığı tetik hatalarını azaltırlar. TIA ölçümlerinin göreceli doğruluğu aşağıdaki şekilde verilir:



Şekil 1.78 Bir-vuruş zaman-aralığı ölçüm çözünürlüğü.

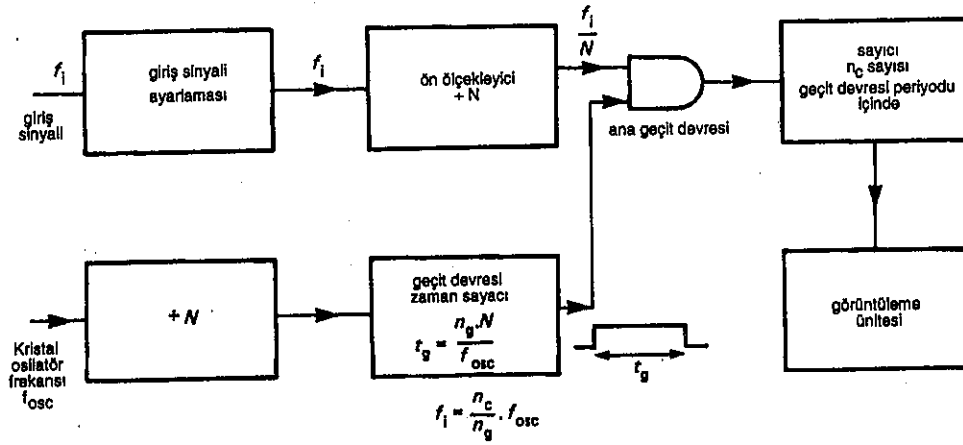
$$\pm \frac{T_{\text{çözünürlüğü}}}{T} \pm \frac{TE}{\sqrt{(N) \cdot T}} \pm \frac{SE}{T} \pm \text{Göreceli TBE}$$

Bu durum yüksek güvenilirlik mertebesiyle şöyle ifade edilebilir.

$$\pm \frac{1}{\sqrt{N}} \pm \frac{1}{n} \pm \frac{TE}{\sqrt{(N) \cdot \bar{n} \cdot T_{\text{osc}}}} \pm \frac{SE}{\bar{n} \cdot T_{\text{osc}}} \pm \text{Göreceli TBE}$$

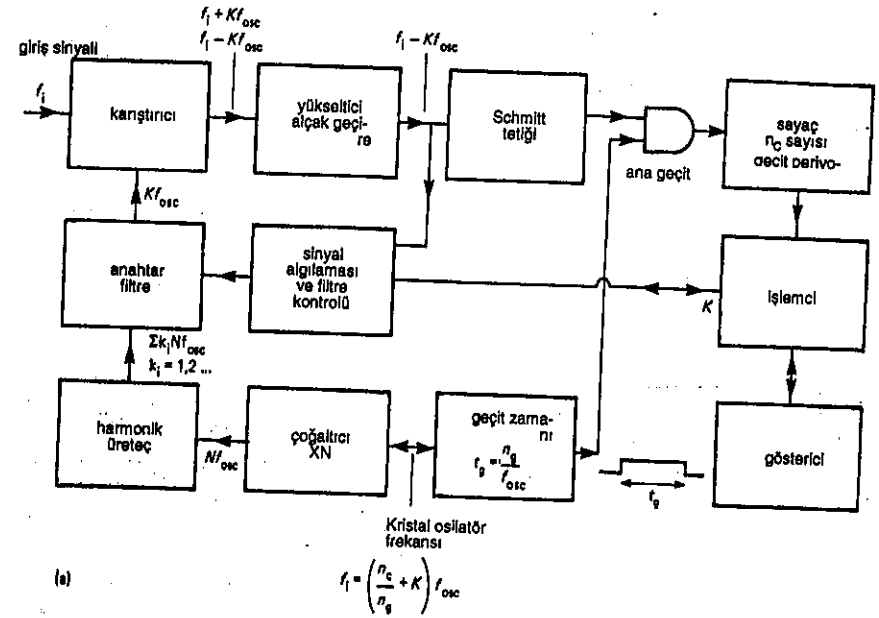
1.8.3. Mikrodalga-Frekans Ölçümleri

Şekil 1.79'da gösterildiği gibi, sayılmak için geçide girmeden önce giriş sinyali frekansı bölünür ve taşıyan ön-ölçekleyicinin kullanılmasıyla, en çok 1.5 GHz'e kadar frekansları yaklaşık olarak ölçmek mümkün olur. Tipik olarak 20 GHz'e kadar yüksek frekanslar, şekil 1.80(a) da gösterilen, heterodin dönüştürücü sayacı (converter counter) kullanarak ölçülebilir. Bu cihazda, giriş sinyali bir harmonik jeneratörden üretilen bir frekansla karışmıştır. Bu harmonik jeneratör kristal-kontrollü bir salıngaçtan türetilmiştir.

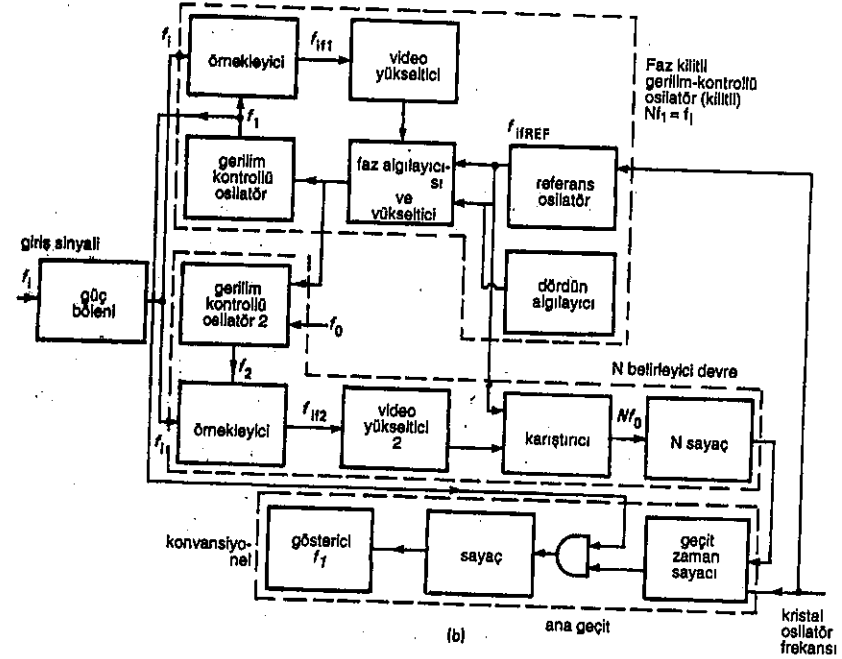


Şekil 1.79 Ön ölçekleme girişi yoluyla frekans ölçüm sınırı genişletilmesi.

Şekil 1.80(b)'de gösterilen, aktarım salıngaç tekniğinde, bir düşük-frekans sinyali, mikrodalga giriş sinyaline faz kilitlemesi olmuştur. Düşük-frekans sinyalinin frekansı, mikrodalga sinyali ile olan harmonik ilişkisi ile beraber ölçülmektedir. Bu teknik, tipik olarak 23 GHz'e kadar ölçümlere olanak sağlar. Heterodin dönüşümleri ve aktarım salıngaç (transfer oscillator) tekniklerini beraberce kullanan melez teknikte, ölçüm sınırlarını 40 GHz'e kadar genişletir. Bu teknikler hakkında, fazla bilgiler Hewlett Packard (1977a) da bulunabilmektedir.



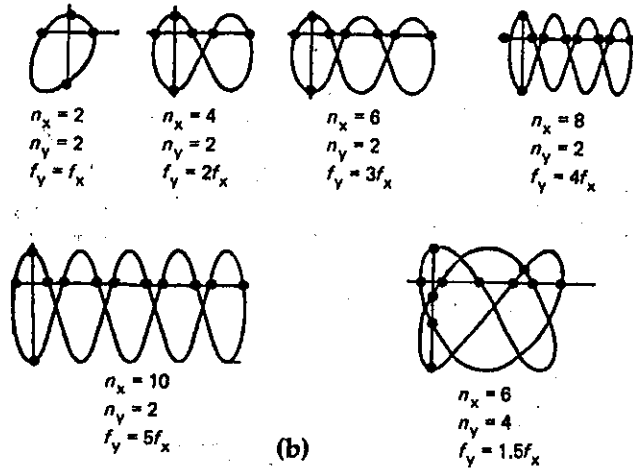
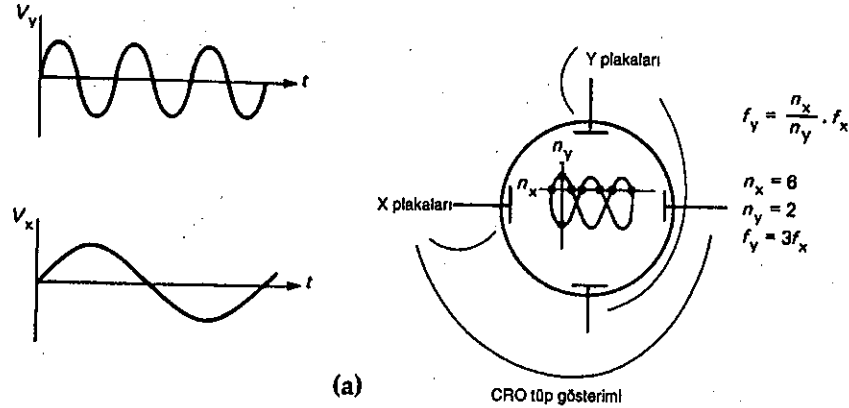
Şekil 1.80. (a) Heterodin dönüştürücü sayacı. (b) Taşınan salıngaç sayacı (Hewlett Packard. 1977 a).



1.9. Osiloskop Kullanarak Frekans ve Faz Ölçmesi

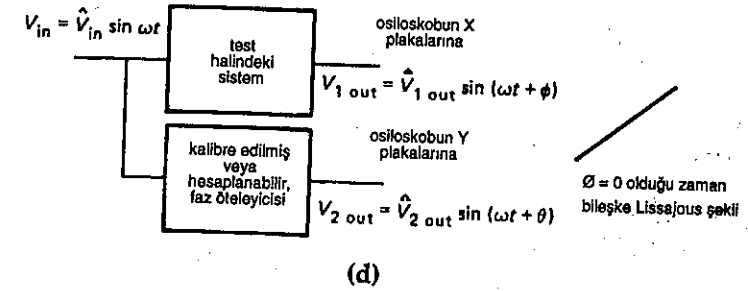
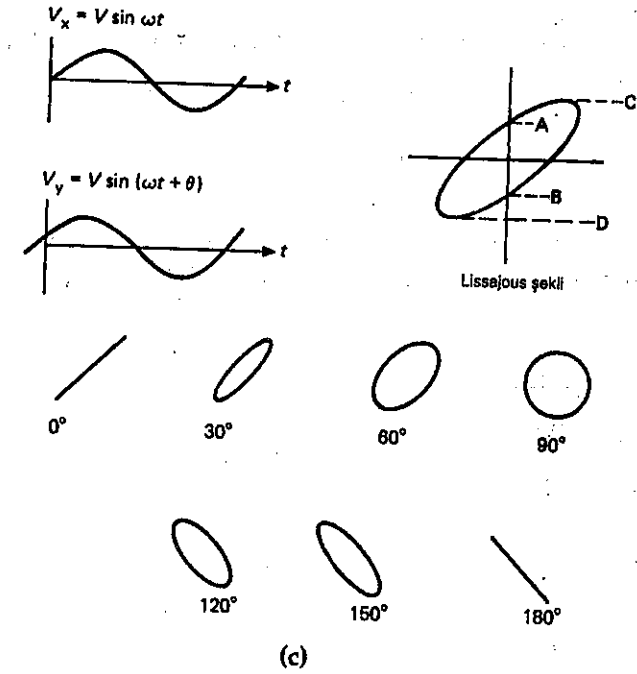
Lissajous şekilleri, bir referansa göre, sinyal fazı veya frekansı ölçmek için kullanılabilir. Fakat bu metodun diğerlerine göre, daha az doğruluk derecesi vardır. Şekil 1.81(a) frekans ölçüm tekniğini göstermektedir.

Bir sinyal osiloskobun X plakalarına, diğer bir sinyal ise Y plakalarına uygulanır. Şekil 1.81(b), f_x frekansının, X plakalarına ve f_y frekansının Y plakalarına değişik oranlar için uygulandığı zaman ortaya çıkan örnekleri göstermektedir.



Şekil 1.81 (a) Lissajous şekillerini kullanarak frekans ölçmek

(b) F_x den f_y kadar değişik oranlar için lissajous şekilleri



(c) Lissajous şekillerini kullanarak faz ölçümü.

(d) Lissajous şekillerini kullanarak geliştirilmiş faz ölçümleri.

Eğer f_y bilinen frekans ise, kalıcı bir örnek elde edilinceye kadar ayarlanır. f_y ise aşağıdaki şekilde verilir:

$$f_y = \frac{f_x n_x}{n_y}$$

Burada n_x , yatay çizginin kesilme sayısı ve n_y düşey çizginin kesilme sayısıdır. Bunlar şekil 1.81(b)'de gösterilmektedir. Eğer iki sinyal aynı frekansda iseler, o zaman göreceli fazları şekil 1.81(c) den belirlenebilir ve iki sinyal arasındaki faz açısı

$$\sin \theta = \frac{AB}{CD} \text{ olarak verilir.}$$

Metodun doğruluk derecesi, kalibre edilmiş veya hesaplanmış faz ötelenmesi kullanarak önemli ölçüde arttırılabilir. Bu yol, şekil 1.81(d) de gösterildiği şekilde osiloskobun plakalarına uygulanan iki sinyal arasındaki, faz ötelenmesini sıfırlamayı sağlamaktadır.

2. OPTİK ÖLÇÜMLER

A.W.S. TARRANT

2.1. Giriş

Bir ışın demeti, spektral bileşimi, şiddeti, uzaydaki yeri ve yönü, fazı ve polarizasyon hali ile karakterize edilebilir. Eğer bu büyüklüklerden herhangi bir tanesini bozacak bir etki olursa, ve değişim miktarı hesaplanabilirse, o zaman bu bozulma veya değişime neden olan şey hakkında bir hükme varabilmek mümkün olur. Buna bağlı olarak optik teknikler çok çeşitli yollardan kullanılır ve bütün bu yolları burada anlatabilmek olanaksızdır.

Bu bölüm, çoğunlukla kullanılan cihaz ve tekniklerden bir derlemeyi okuyucuya aktaracaktır. Optik cihazları iki kategori içerisinde düşünmek mümkündür: görüntü oluşturanlar (örneğin mikroskoplar ve teleskoplar) ve ışın şiddetini ölçmeye yarayanlar (örneğin fotometreler). Birçok cihaz her iki işlemi de kapsamaktadır (örneğin spektrofotometreler) ve bunlara, daha ziyade ikinci kategoriden şiddet ölçme cihazları şeklinde bakmak gerekir. Biz bu kitabın amaçları doğrultusunda, çoğunlukla ikinci sınıf cihazlarla ilgileneceğiz. 'Görüntü oluşturan' cihazlar, bilinen ders kitaplarında, örneğin, R.S. Longhurst's ün "Geometrik ve Fiziksel Optik" kitabında anlatılmıştır.

Optik fiberler ve ışın yönlendiricileri, optik teknolojinin sınırlarını muazzam bir şekilde genişletmiştir. Bir verici cihazdan teller sayesinde sinyaller almak yerine, günümüzde optik fiberler sayesinde çok çabuk cevap süresinden ve nazik tehlikeli bölgelerde de kullanımından dolayı, belirgin bir avantaj sağlamaktayız. Bu konu, 4. ciltte tartışılmıştır.

Teknolojinin bütün branşlarında, şayet özel bir teknik hakkında ön tecrübemiz yok ise, deli olmak isten bile değildir. Bu kitabın bir amacı da, işin ustası olmayan kimselere neyin olup, neyin olamayacağını anlatmaktır. Yazar optik tekniklere fazla aşina olmayanlara, bir ipucu vermek istemektedir. Bir optik sistemde ne olduğuna baktığımız zaman, bütün sistemde ne olduğuna bakmamız gerekir; bir optik sistemi biraraya getirmek, bir elektronik sistemi bir araya getirmek gibi değildir. Örneğin, bir ışın kaynağından, bir monokromatörden, basit bir hücreden ve bir algılayıcıdan meydana gelen bir spektrofotometreyi ele alalım. Lambanın yerindeki bir değişim, algılayıcı üzerinde ışığın dağılımını etkileyecek, ve algılayıcının birçok ünite "hattın altında" (Down the line) olmasına rağmen çalışması bozulacaktır. Optik sistemleri bir bütün olarak düşünmek gerekmektedir, seri halinde hareket eden üniteler şeklinde değil...

Cihazlara uygulandığı zaman, optik ve ışık terimleri çok gevşek bir anlamda kullanılmaktadır. Kesin olarak bu terimler, sadece görülebilen spektrum içerisindeki ışınım, yani 380-770 nm mertebelerindeki dalga boyları için kullanılmalıdır. Kullanılan teknikler çoğu zaman spektrumun ultraviyole ya da

kızıl-ötesi sınırı yakınlarında eşit olarak işe yaramaktadır ve doğal olarak, biz aynı terimleri kullanmaktayız. Çoğu kez, ultra-viole yayını yerine ultra-viole ışığı denilmektedir; bunu doğal karşılamak gerekir. Birçok optik fiberler kızıl-ötesi ışıma için kullanılır.

2.2. Işık Kaynakları

Cihazlarda kullanılan ışık kaynakları kolay olarak iki başlık altında toplanabilir: (1) Konvansiyonel veya koherant olmayan kaynaklar ve (2) lazer veya koheran kaynaklar. Konvansiyonel kaynaklar 2.2.1. den 2.2.3. e kadar olan kısımda ve lazer kaynakları da 2.2.4. kısımda ele alınmaktadır.

Cihazlarda kullanılan konvansiyonel ışık kaynaklarının temel özellikleri :

- (1) Spektral güç dağılımı,
- (2) Parlama veya ışıma, (Luminance or radiance)
- (3) Çıkan ışığın kararlılığı,
- (4) Çıkan ışığın kolay kontrolü,
- (5) Uzaydaki yerinin kararlılığı şeklindedir.

Bir cihazın tasarımında göz önüne alınması gereken diğer faktörler : Isı harcanması, diğer yardımcı elemanların yapısı, ışık kaynağı ömrü, maliyet ve değiştirilebilirlik özelliğidir. Bir ışık kaynağının ışıma yapmasından, birim katı (solid angle) açısına, buna denk gelen alandan yayılan enerji miktarını kasdetmekteyiz. Çoğu zaman bu büyüklük, bir lambanın normal gücünden daha önemlidir. Örneğin, bir spektroskopi sisteminde, ksenon (xenon) arkı kullanılmaktaysa, ilgilenilen büyüklük, spektrometrenin yarığından kaçan ışık miktarıdır.

Yüksek ışımalı, düşük güçteki bir lamba, yarıktaki küçük ve yoğun bir görüntü vermek üzere odaklanabilir ve bu şekilde çok miktarda ışığın geçmesi sağlanır; fakat lambanın, düşük ışıma kapasitesi varsa, ne kadar kuvvetli olursa olsun, sistemden aynı miktarda ışık geçirecek şekilde odaklanamaz. Bu durumda ışmanın, kaynağın tek etkili parametresi olduğu kolaylıkla gösterilebilir.

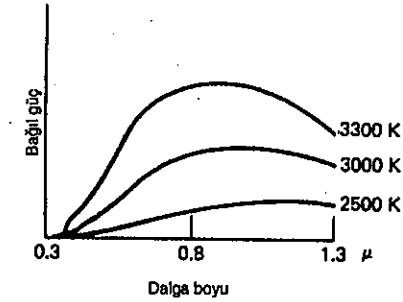
İlgilenilen durum sadece, spektrum'un görülebilir sınırları içerisinde kalan ışık çıkışı ise o zaman, ışıma yerine bazen parlama (luminans) terimi kullanılmaktadır. Işımanın ve parlamanın birimleri ve tanımları arasında kesin bir paralellik vardır.

(BS Spec. 4727; IEC-CIE, International Lighting Vocabulary). Işığın birimi olan lümen, ışığın görünme duyarlılığının bir ölçüsü olan dalga boyuna göre ölçülen enerji birimi şeklinde düşünülebilir (Walsh, 1958, Sahife 138).

2.2.1. Akkor Lambaları

Akkor kaynakları, bir ısıtıcı elemanın elektriksel olarak beyazlaşınca kadar ısıtılması ile üretilen ışık kaynaklarına denilmektedir. Normal olarak ısıtıcı malzeme tungsten metalidir; ancak sadece kızıl ötesi ışık isteniyorsa, kullanılan malzeme seramik olabilir. Bir tungsten lambasında, ısıtma tam olarak dirençseldir, ve farklı çaplarda filaman kullanımı, lambaların aynı güç değerinde, fakat farklı gerilim sınırlarında olmalarını sağlar. Gerilim ne kadar yüksek olursa, filaman da o kadar çok narin olur ve kırılabilir. Cihazlarda kullanmak gayesiyle, en yüksek ışımayı veren küçük ve yoğun filamanlar genellikle ihtiyaç duyulan tiplerdir, ve dolayısıyla düşük-gerilim lambaları çoğunlukla kullanılırlar. Işıma standardı olarak kullanılan lambalar için, filaman olarak katı tungsten şeridi kullanmak adettendir; ancak bu durum, düşük gerilimde, büyük akımlar gerektirmektedir (Örneğin, 18 A, 6 V).

Bir tungsten lambasının spektral güç dağılımı, Şekil 2.1'de gösterilen bir Planck yayınlayıcısına yaklaşık olarak eşdeğerdir ve kırmızı enerjinin ağırlığı dikkati çeken bir özelliktir.

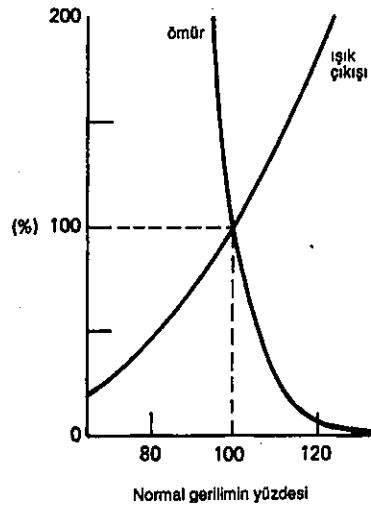


Şekil 2.1 : Tungsten lambasının spektral güç dağılımı

Tungsten lambalarının yüksek ışımaları vardır, ve giriş gücünün sabitleştirilmesi koşuluyla ışık çıkışında, çok kararlı olup mükemmel pozisyon kararlılığı da gösterirler. Işık çıkışı, giriş gücünü sıfırdan, maksimuma kadar ayarlamakla hassas olarak kontrol edilebilir, fakat filamanın yüksek termal kütesinden dolayı, ışık çıkışını isteyerek modüle etmenin imkânı yoktur. Eğer bir lamba, A.C. beslemesine bağlanırsa, şebeke frekansında bu frekansın iki katı değerinde modülasyon meydana gelebilir ve eğer cihazın diğer kısımları şebeke frekans modülasyonunu kullanıyorsa, bazı problemlere de neden olabilir.

Daha fazla kütsel filamanlara sahip olan, düşük-gerilimli lambalarda, modülasyon daha az dikkat çekicidir, fakat, bu durum ya yumuşatılmış d.c. beslemesi veya yüksek-frekanslı (10 kHz) güç beslemesi sayesinde giderilebilir.

Tungsten lambalarının en önemli dezavantajı, sınırlı ömürleri olmasıdır. Ömrü, şekil 2.2 den görüldüğü gibi, gerileme bağlıdır ve lambaların ömürlerini arttırmak için, cihazı kapasitesinin altında çalıştırmak alışıl gelmiş bir metottur.



Şekil 2.2 : Bir tungsten lambasının, gerilime bağlı olarak ömrünün ve ışık çıkışının değişimi (Henderson ve Marsden den alınmıştır)

Uzun ömürlü lambalar, Halojen tungsten lambalarıyla sağlanmaktadır. Bunlar, bir ampul içerisine doldurulmuş, filamanın bozulmasını geciktiren, genellikle brom veya iyot halojenlerine sahiptirler. Ampulün duvar sıcaklığının en az 300°C de bulunması gerekmektedir ve bu durum, kuvarz'dan yapılmış küçük bir ampul kullanılması sonucunu doğurur. Ancak, bu şekilde düşük miktarda mor-ötesi ışığın kaçışına izin verilir; ve küçük boyutları, uzun ömrü sayesinde, tungsten halojen lâmbası, cihaz açısından çok çekici bir ışık kaynağını teşkil etmektedir.

2.2.1.1. Akkor Lambalarının Kullanımı Üzerine Notlar

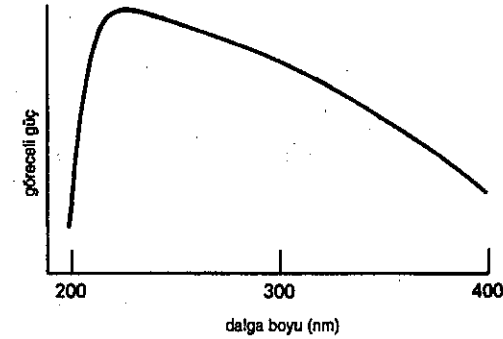
Uzun zaman kullanıldıktan sonra, çoğunlukla temas yaylarının gevşemesinden, arızalar ortaya çıkmaya başlamaktadır. Vida başlıkları, süngü başlıklarından daha fazla tutulmaktadır. Tungsten halojen lambalarına zarflarına elle dokunulmaması gerekir; aksi takdirde, yüzeye bulaşacak yağ tabakası, yüksek sıcaklıkta yanarak yüzeye zarar verebilir.

2.2.2. Deşarj Lambaları

Deşarj lambaları, bir gaz veya buhar içersinden geçen bir akımın oluşturduğu ışık sayesinde çalışan ve böylece çoğunlukla çizgisel spektrum meydana getiren lamba türleridir. Bu tip kapalı arkların, negatif sıcaklık/direnç özellikleri vardır ve dolayısıyla akım sınırlayıcı cihazlar gereklidir. Eğer lamba A.C. beslemesi ile çalışıyorsa, çoğunlukla indüktörler kullanır. Çok çeşitli lambalar mevcut olup (Henderson ve Marsden, 1972), pratikte kullanılan bazı çeşitleri burada verilecektir.

2.2.2.1. Döteryum Lambaları

Burada ışıma, döteryum içersinde düşük akım yoğunluğu boşalması (discharge) ile üretilmektedir. Görünen çizgi spektrumun yanında, mor ötesinde sürekli spektrum üretilmiştir.



Şekil 2.3 : Bir döteryum lambası için tipik olan spektral güç dağılımı

Işıma yüksek değildir; fakat giriş gücü stabilize edildiği takdirde, bu lambalar hem çıkış, hem de pozisyon itibarıyla kararlıdır. Gerekli mor-ötesi geçişi elde etmek için, ya bütün zarf silikadan (SiO_2) imal edilir veya bir silika pencere kullanılır. Bu lambalar, mor-ötesi spektrometrelerde kaynak olarak görev yaparlar ve 330 nm nun altındaki dalgaboylarında, tungsten lambalarından daha iyidir.

2.2.2.2. Yoğun Kaynak Lambaları

Bazı deşarj lamba cinsleri, çok yüksek parlamalı ışık kaynaklarına sahiptir. Bunlar yüksek basınçlarda bir gaz içersinde yüksek akım yoğunluğunun boşalmasını gerektirir. Lamba doldurucu gazlar, ksenon (xenon), civa, civa ve iyot veya diğer çeşitli karışımlar olabilmektedir. Neşredilen ışın, temel olarak bir çizgisel spektrum olup bazı sürekli ışımayı da içerir; ancak birçok durumlarda, spektrum gerçekten sürekli dir. Örneğin, ksenon spektrumunun 4000 nin üzerinde çizgisi vardır ve mor ötesi sınırların çok altına inmektedir. Ksenon lambaları, spektrofotometre'lerde geniş ölçüde kullanılmakta olup ayrıca çok şiddetli mor-ötesi ışımanın gerektiği diğer cihazlarda da uygulama alanı bulmaktadır.

Bu tipdeki pekçok lamba, hassas başlangıç düzenlemeleri gerektirmektedir ve sıcak durumdayken devreden çıkartıldıkları zaman özellikle tekrar çalıştırılmaları zor olmaktadır. Ateşleyici devreler mevcuttur fakat bunlar 50 kV a kadar çıkabilen yüksek gerilimlere ihtiyaç duyduklarından tel bağlantı sistemine özellikle önem vermek gerekmektedir. Bütün bu lambalar, soğuk oldukları halde bile yüksek basınç altında gaz taşımaktadır ve emniyet kurallarına titizlikle uyulması gerekmektedir. Ksenon arkları tehlike arzedecek ölçüde mor-ötesi ışıma meydana getirmektedirler, bu durum hem kendisi için, hem de havada oluşan ozon için zararlıdır. Hiçbir şekilde kılıflanmamış ve korunmamış bir halde kullanılmamalıdır ve lamba kılıfından çıkartıldığı zaman, otomatik olarak devre dışı kalacak şekilde, kurallara uygun olarak, ayarlanmış olması gerekir. Geniş hacimliler için, ozonsuz lambalar kullanılması dışında, kuvvetli havalandırma uygulanması gerekir. Bu lambalar, daha kısa mor-ötesi dalgaboylarını geçirmeyen zarfları olan lambalardır.

2.2.3. Elektronik Kaynaklar : Işık Yayan Diyodlar

Uygun olarak doping yapılmış yarı iletken birleşim yerlerine, akım uygulamak suretiyle, küçük bir miktar ışık üretmek mümkün olur. Parlama, çok düşük düzeydedir; fakat ışık çıkışı, çok yüksek frekanlara yükselecek şekilde, akımı modüle etmek suretiyle modüle edilebilir, ve dolayısıyla ışık yayıcı diyot (LED), fiber optik haberleşme sistemi için iyi bir kaynak teşkil etmektedir. LED ler, görüntüleme sistemlerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Spektrum güç dağılımı, bağlantı yerinde kullanılan malzemelere bağlıdır. Elektro-optik haberleşme bağlantıları için, görünen spektrumunu korumaya gerek yoktur ve çoğunlukla görünür sınırındakinden daha uzun dalga boyları (örneğin 850 nm) kullanılır. Çok ciddi kullanım problemleri olmamaktadır ve sadece düşük gerilimler gerekmektedir; fakat, bir tungsten lambasıyla karşılaştırıldığında, ışık çıkışı zayıf kalmaktadır.

2.2.4. Lazerler

Lazerlerden gelen ışın, uyumlu (koheran) olması sebebiyle diğer ışık kaynaklarının uyumlu olmayan ışınlarından farklıdır. Bir uyumsuz ışın demetinde, demetin bir noktası ile diğeri arasında, sürekli bir faz ilişkisi yoktur. Bir quantum veya dalga paketiyle taşınan enerjinin sonlu bir uzunluk boyunca yayılabileceği (yaklaşık 50 cm), boşlukta yol aldığı sürece, düşünülebilir. Bu sebepten dolayı, şayet demetin (eğer yol 50 cm den büyükse) bölünmesi ve üst üste binmesi halinde, girişim etkileri görülmeyecektir. Aynı etki, bir alışımlı kaynaktan yayılan monokromatik (tek renkli) ışığın, ölçülebilir bant genişliğine sahip olmasını gerektirir.

Ancak, bir lazerde, ışık, tek atomlarda meydana gelen rasgele etkilerden veya etkileşmelerden değil, birçok atom içersindeki eş zamanlı etkileşmelerden meydana gelir ve böylece dalga treninin sonlu uzunluğu, yarım metre değil, çok büyük mertebelere ulaşır. Buna bağlı olarak, lazer ışını, çok daha kesin uyumlu (koheran) olur; ve aynı zamanda şiddeti çok yüksek olup yüksek kesinlikte doğrusaldır (tek yönlüdür). Dolayısıyla, bir lazer ışını, çok muazzam bir enerji açığa çıkartacak şekilde, çok küçük bir noktaya odaklayabilmek mümkündür.

Lazerlerin çok değerli uygulama sahaları vardır : Bunlar,

- (1) Uzatılmış dalga treni (örneğin holografi ve kadastro, ölçümlerinde)
- (2) Çok yüksek enerjinin gerektiği yerlerde (bir metal levhanın kesilmesi, göz cerrahisinde)
- (3) Çok dar demet gereken yerlerde (Mühendislik ve yapı inşaatlarında, optik ayarlamalar) için, kullanılan özelliklerdir.

Lazerin çalışma prensibi, uyarılmış ışımadır. Herhangi normal bir gazda, her bir atom içersinde, mümkün olan her enerji seviyesindeki elektronların sayısı, sıcaklık ve diğer fiziksel faktörlerle belirlenir. Bir lazerde, bu normal dağılım, bilinçli olarak ters yüz edilir ve yüksek enerji seviyelerinden bir tane sinin yoğunlaştırılmasına çalışılır. Böylece, uyarılmış atomlar, fazla enerjilerini sadece radyasyon olarak değil, fakat bunu aynı faz içinde yaparlar, böylece birçok atomdan çıkan yayınım, tek bir dalga trenine dönüşür. Lazer kaynağını

katı ve sıvı sistemler de oluşturabilir; yüzlerce sistem bilinmektedir ki, ya darbe ya da sürekli modlarda lazer olarak kullanılabilirler. Lazer prensibinin basit bir açıklaması Heavens (1971) ve diğer kitaplarda (Dudley, 1976; Koechner, 1976; Mooradian et al., 1976) da bulunabilmektedir.

Birçok tiplerde ve güç değerlerinde lazer olmasına rağmen, laboratuvarlarda en çok kullanılan tip 632.8 nm. dalga boyunda çalışan, helyum-neon lazerleridir. Çıkış gücü genellikle birkaç miliwat mertebesindedir. Yüksek enerji gerektiren uygulamalarda, örneğin metal kesme işleminde, CO₂ lazerleri çoğunlukla kullanılır. Bunların dalga boyları kızıl-ötesi sınırın da olup (yaklaşık 10.6 µm), çıkış güçleri 500 W a kadar yükselebilir. Endüstriyel uygulamalardaki avantajı yüksek randımanıdır. (Yaklaşık giren gücün % 10 u, çıkış gücü olarak gider).

Diğer dalgaboyları için görünür sınırdaki kripton, argon veya ayarlanabilir renk lazerleri kullanılabilir. Kripton ve argon çeşitleri farklı sabit dalgaboylarında kullanılmaktadırlar. Ayarlanabilir boya (veya renk) lazerleri, organik boya içeren bir sıvı sistem kullanılmaktadırlar. Bu tip sistemlerde, çalışma frekansı, sistemin optik geometrisini değiştirerek sınırlı bir sahada ayarlanabilir.

2.2.4.1. Lazer Güvenliği

Lazerler, doğal olarak tehlikelidir. En önemli risk, gözdeki retina tabakasının zedelenmesiyle meydana gelebilecek kazalardır. Çok kısa bir zaman temas etme bile ciddi bir sorun çıkarabilir.

Dolayısıyla, güvenlik önlemleri alınması ve hassasiyetle uygulanması gerekmektedir. Kanuna göre, lazerlerin kullanıldığı bütün odaların uyarıcı işaretlerle donatılmış olması gerekir. En iyi önlem, en düşük güçlerde çalışan lazerleri kullanmak ve lazer kullanan cihazları, tam anlamıyla kapalı olarak tasarlanmak gerekir. Emniyet tedbirlerini anlatan en iyi döküman Amerikan Ulusal Standart Enstitüsünün yayınladığı "Lazerlerin Güvenli Kullanımı İçin Standartlar" isimli eserdir. Bu kitabın, lazerlerle çalışma yapılmadan önce mutlaka okunması gerekmektedir. Başka faydalı yönlendirici bilgiler, BS 4803 ve Üniversitelerde Emniyet, isimli eserlerde bulunabilir.

2.3. Algılayıcılar (Dedektörler)

Bir radyasyon algılayıcısının temel karakteristikleri

- (1) Spektral hassasiyet dağılımı,
- (2) Tepki zamanı,
- (3) Hassasiyet,

- (4) Kaydedebileceği en düşük radyasyon miktarı,
- (5) Etkili yüzeyinin şekli ve alanı,
- (6) Bir zaman periyodu boyunca gösterdiği kararlılık olarak söylenebilir.

Algılayıcı seçerken akılda tutulması gereken diğer faktörler; kesinlik, tepki doğrusallığı (lineerliği), fiziksel boyutlar, sağlamlık ve diğer yardımcı elemanların miktarı olarak özetlenebilir. Algılayıcılar üç şekilde kullanılabilir:

- (1) Işık şiddeti ölçümünün etkilenmesi gereken hallerde,
- (2) İki ışın demetinin şiddetlerinin eşitliğinin değerlendirilmesi gereken yerlerde,
- (3) Işığın var olup olmadığının anlaşılmasının gerektiği durumlarda kullanılırlar.

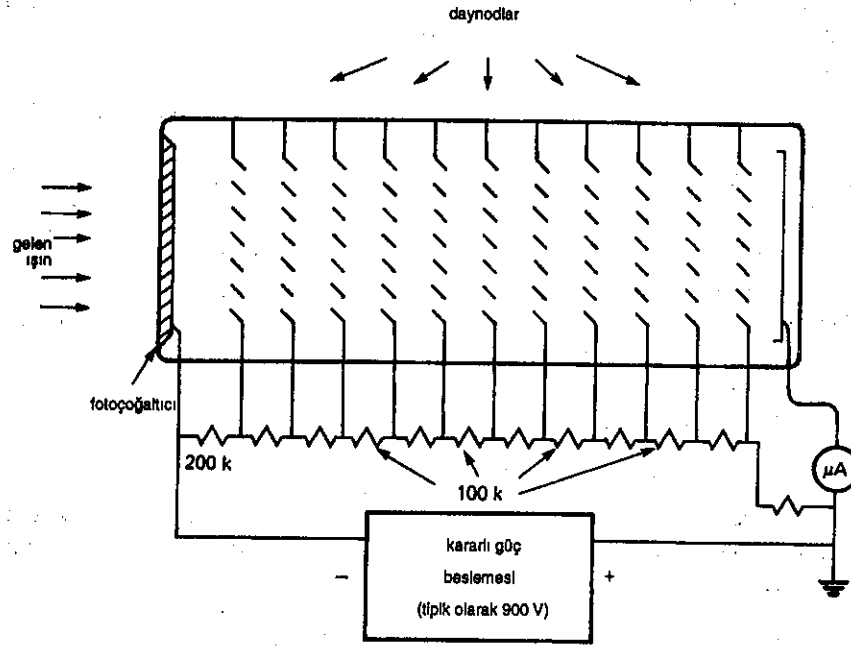
1. durumda, direk gelen radyasyonun şiddeti ile cevap zamanı arasında, doğrusal bir ilişki olması gerekmektedir. Birçok algılayıcıların bu özelliği yoktur ve bu gerçek, bir cihazın tasarımını belirlemektedir; örneğin, birçok kızıl ötesi spektrometrelerin bir lineer olmayan algılayıcının kullanılabilmesi amacıyla şiddetin ayarlanması için çok hesaplı optik düzenlemeleri vardır.

Hemen hemen bütün algılayıcılarda hassasiyet noktadan noktaya işlem yüzeyinde değişmektedir. Dolayısıyla, eğer ışık demeti, algılayıcıya göre yer değiştirirse, algılayıcının tepkisi de değişecektir. Bu etkinin spektrometre ve benzer cihazlarda kritik önemi vardır; eğer yüzeyleri mükemmel şekilde düz ve paralel olmayan bir çözelti hücresi, bir ışık demetinin içine konulacak olursa, bir prizma gibi davranır, üzerinde ışının yerini değiştirir ve garip bir netice meydana getirir. Hatalı hücrelerin kullanılmaması sağlanarak bu etkinin ortadan kaldırılması için önlemler alınmalıdır. Bazı algılayıcılar, gelen ışığın polarizasyon yönüne karşı duyarlıdır. Birçok optik cihazda, ışık rastgele polarize olurken, polarizasyon yönleri arasındaki şiddet dağılımı, özellikle monokromatörlerden geçtikten sonra hiçbir şekilde üniform değildir. Bu durum çoğunlukla problem yaratmaz, ancak önemli bir hata kaynağı olabilir.

2.3.1. Fotoçoğaltıcılar (Photomultipliers)

Fotoçoğaltıcılar, fotoyayınım etkisine dayanmaktadırlar. Işığın, foton yayınlatabilen bir yüzey üzerine düşürülmesi sağlanmaktadır. Bu yüzeye fotokatot ismi verilir (Şekil 2.4).

Fotokatot, bir vakum tüpü içerisinde çok düşük çalışma fonksiyonuna sahiptir ve elektronların serbest kalmasına olanak sağlar. Bu elektronlar kuvvetli olarak pozitif gerilimle yüklenmiş ikinci bir elektroda çekilir; bu ikinci



Şekil 2.4 : Fotoçoğaltıcının yapımı ve tipik bir devre

elektrot yüzeyinden birçok ikincil elektron saçılır ve bu ikincil elektronlar da üçüncü bir yüklü elektrod tarafından çekilir ve bu işlem bu şekilde devam eder. Bu şekilde seri daynodlar boyunca tekrarlanan bu işlem sonunda, orijinal elektron demeti büyük ölçüde çoğalır ve son anot yüzeyinde 100 µA değere ulaşabilen akımlara çıkabilir.

Spektral hassasiyet fotokatod tabakanın yapısıyla belirlenmektedir. Burada bizi güncel malzemeler ilgilendirmemektedir; değişik tiplerdeki katodlara S1 den yukarı doğru bir seri sayı ile atıf yapılmaktadır. Tepki doğrusaldır, tepki zamanı hızlıdır ve hassasiyet yüksektir. Hassasiyet, daynod zincirine uygulanan gerilimi değiştirmek suretiyle geniş ölçüde ayarlanabilmektedir. Dolayısıyla

$$S \propto V^{n/2}$$

olup burada S =hassasiyet, V = Gerilim ve n = daynod sıralarının sayısını temsil eder. Buna mukabil, doğru ve kesin ölçümlerin alınabilmesi için, 8 ile 14 sıra arasın -daynod kullanıldığından, daynodların zincir geriliminin son derece sabit tutulması gerekmektedir. Değişik katot şekilleri ve çoğaltıcı tasarımları mevcuttur. Gereğinden daha büyük yüzeye sahip katot kullanmak lazımsuzdur, çünkü bu durumun gürültü artışına katkısı olmaktadır.

Fotokatot üzerinde meydana gelen yayınım, termionik yayınım sonucu

da oluşabilir; bu durum kalıcı 'siyah akım'ın ortaya çıkmasına yol açar. Bu siyah akım gürültü içersindeki oynamalar, en son hassasiyeti sınırlandırmaktadır.

Fotokatotlar, 3. Bölümde de ele alınmışlardır ve kullanımları hakkında mükemmel derecede bilgiler, 'imalâtçılar' kataloğunda verilmektedir. Dikkat edilmesi gereken husus, çok yüksek güç kaynağına ihtiyaç duymaları, kırılan olup aşırı yüklemelerde kolaylıkla zedelenebilir olmalarıdır.

Cihazlar içinde kullanıldıkları zaman, kutuyu (zarfı) açmadan evvel, mutlaka daynod geriliminin, anahtarlar kullanarak ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bundan başka fotokatotlar, devreden çıkarılırsalar bile, hiçbir şekilde güneş ışığında bırakılmamaları gerekmektedir.

2.3.2. Fotogerilim ve Fotoiletken

Algılayıcılar (Photodiodes)

Bir ışık demeti, yarı iletken kavşağı üzerine düştüğü zaman, bu kavşağın elektriksel özellikleri üzerinde mutlaka bir etkisi olur ve bu etkiler ışık algılayıcılarında iki şekilde uygulanır:

- 1 - Işığın etkisinin bir emf üretimi için kullanılması,
- 2 - Aygıtın direncini değiştirmek için etkili olarak ışığın kullanılması

1. kategoriye girenler' fotogerilim algılayıcıları' olup bazen güneş hücreleri ismiyle adlandırılır, 2. kategoridekiler 'fotoiletken algılayıcılar' olarak bilinir. Bazı malzemeler, tam anlamıyla yarı iletken olmadıkları halde, fotoiletken etkiler göstermektedir, (örneğin kurşun sülfat), fakat bunları kullanan aygıtlara da 'fotoiletken algılayıcılar' ismi verilmektedir.

Fotogerilim algılayıcılarında, ışık enerjisi, elektrik enerjisine dönüştürülür; çoğunlukla bu şekilde ölçme yapmak için dışardan bir enerji gereksinimi olmamaktadır; güneş hücresi bu prensibi kullanmaktadır. Daha hassas olan, fotogerilim algılayıcıları, fotoiletken algılayıcıları gibi, dışardan güç kaynağı gerektirirler.

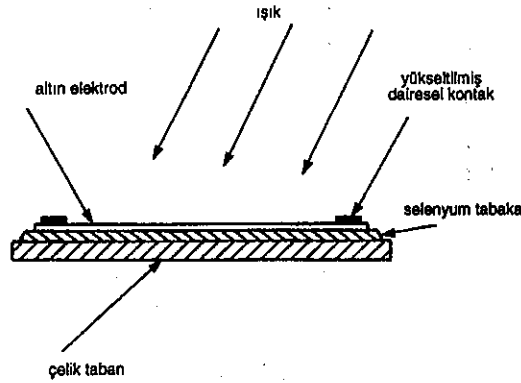
2.3.2.1. Basit Fotogerilim Algılayıcıları

Birçok uygulamalarda, bir fotogerilim hücresini, öz gücüyle çalışabilen bir aygıt olarak kullanabilmek için gerekli ışık mevcuttur. 150 lux mertebesinde aydınlanmış, 15 mm çapında bir algılayıcıyı ele aldığımızda, o zaman görünen spektrumda elde edilebilecek ısıma gücü yaklaşık 100 µW olacaktır. Dönüşüm verimliliği, yaklaşık olarak 5 % ise, bu durum 5 µW lık bir çıkış gücü vermektedir. Bu güç bir galvanometreye veya 50 -Ω dirençli döner bobinli ölçü aletine beslenirse, ölçme amaçlarının çok üstünde 300 µA civarında bir akım,

elde edilebilir.

Bu tipdeki algılayıcılar birçok senelerden beri uygulamada olup, 1950'lerde yarı iletkenlerin keşfinden çok önceki yıllardan beri kullanılmaktadır; bunlara 'doğrultucu hücreler' veya 'engel-tabakalı' hücreler denilmektedir. Şekil 2.5 de gösterilmekte olan en basit model, üzerine selenyum tabakası kaplanmış, bir çelik plâkadan meydana gelmektedir.

İnce bir şeffaf altın filmi, elektrod vazifesi yapmak üzere plaka üzerine kaplanmıştır. Önceki modellerde halka biçimindeki temas elektrodu, altın film ile bağlantıyı kolaylaştırmak için üzerine püskürtülmüştür. Günümüzde, 30 mm çapındaki hücrelere kadar, tam olarak yalıtılmış yapılar kullanılmaktadır.

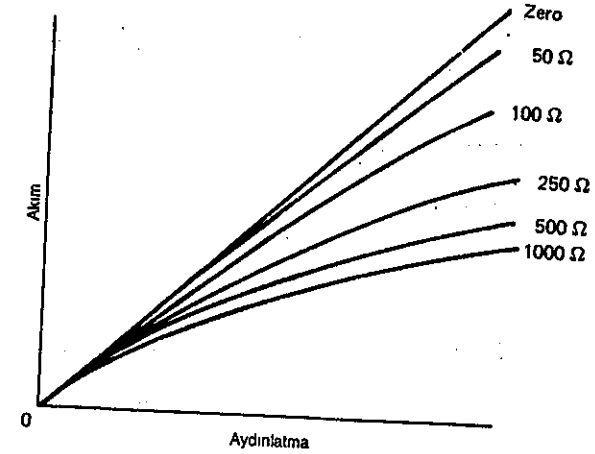


Şekil 2.5: Basit fotogerilim algılayıcısı

Yarı iletkenlik özelliği, çelik-selenyum kavşağında meydana gelmektedir. Işığın etkisi ile selenyumda elektron birikmesi oluşur ve altın elektrodu üzerinden bir dış devre bağlantısı kurulursa, bir akım geçebilecektir. Eğer, yarı iletken bağlantının direnci sıfır ise, o zaman geçen akım, ışık şiddeti ile orantılı olacaktır. Normal olarak, küçük de olsa bir miktar direnç olacaktır ve burada akımla oluşacak elektromotor kuvvet (emf), akım-üretim işlemine karşı koyacaktır. Bu demektir ki tepki, Şekil 2.6 'dan görüldüğü gibi, ışık şiddeti ile doğrusallık göstermeyecektir.

Eğer, dış direnç çok yüksek olursa (örneğin, 1000 Ω) o zaman tepki, logaritmik davranışa yaklaşacaktır ve bu özellik, bu tip algılayıcının, çeşitli ışık-kayıt cihazlarında fotoğraf pozometrelerde geniş bir şiddet aralığı boyunca kullanılmalarına imkan tanımaktadır.

'Campbell-Freeth Devresi' olarak bilinen bir devre, sıfır direnci sağlayacak şekilde tasarlanmıştır, (Thewlis, 1961). Böylece, tam anlamıyla doğrusal bir tepki elde edilebilir. Aktif olarak fazla uygulanmamaktadır zira; yüksek doğruluk sınırı hedeflendiği zaman, fotogerilim algılayıcılarının kullanım



Şekil 2.6: Fotogerilim algılayıcılarının lineer-olmayan tepkileri

şansları fazla yoktur. Çelik plâkalı, bu tip algılayıcılar, en güzel 'ucuz ve çekici' olarak tanımlanabilir. Doğruluk seviyeleri fazla yüksek değildir, (en fazla 1 veya 2 %), ayrıca sıcaklık değişimlerinde fazla kararlılık göstermemektedirler ve önemli ölçüde yorulma özellikleri göstermektedirler. Çok gürültülü olup diğer modern versiyonları ile karşılaştırıldıklarında uzun tepki sürelerine sahiptirler. Ancak bütün bunlara rağmen, ucuzdur ve sağlamdırlar, değişik biçimlerde imal edilebilirler ve dışardan güç beslemesine ihtiyaç duymazlar. Dolayısıyla pozlandırma ünitelerinde, sokak-ışığı kontrolünde, fotometrelerde, spektrofotometrelerde ve kalorimetrelerde, alev fotometrelerinde ve basit yoğunluk ölçümlerinde ve bunun gibi birçok alanda, çok yüksek doğruluğun gerekmediği, ancak fiyatın bir tercih nedeni olduğu yerlerde geniş ölçüde kullanılırlar. Böyle algılayıcıların spektral tepkimeleri, insan gözünün hassasiyetinden daha yüksektir; ancak, filtre kullanmak suretiyle, pekçok fotometrik amaçlar için yeterli olabilecek spektruma karşı tepkime üretilebilir. Böyle filtreler, tek bir ünite halinde algılayıcılarla kapalı bir kutu içinde toplanabilir.

2.3.2.2. Silikon Diyodu

Doping yapılmış yarı-iletken malzemelerdeki gelişme, diğer 'engel-tabaka' sistemlerinin kullanılmasına imkân sağlamıştır. Bunlardan birisi, yayıruk silikon fotodiyodudur; burada, barier tabakası, silikon tabakasının yüzeyi yakınında bir p-n kavşağı ile sağlanmaktadır. Bu durum, yukarıda tarif edilen algılayıcıdan çok daha az gürültülüdür ve çok daha düşük ışık seviyeleri için kullanılabilir. Dışardan yükseltme gerekmektedir, fakat hızlı tepkime elde edilebilir (bazı hallerde 50 ns) ve böylece silikon diyodu, daha geniş spektral alana, daha az hacime ve karmaşıklığa sahip olmanın verdiği avantajlar ile fotoçoğaltıcıdan elde edilen verimden geri kalmamaktadır.

2.3.2.3. Fotoiletken Algılayıcılar

Hemen hemen bütün yarı iletken malzemeler ışığa karşı duyarlı olup ışığın üzerlerine düşmesini takiben artan sayıda akım taşıyıcıları üretir ve böylece iletkenliklerinde bir artış meydana gelir; yarı iletken aygıtlar, işlemlerinin bozulmasını önlemek için, gün ışığından korunmak zorundadır. Bu prensibi kullanmak suretiyle çok çeşitli ışık-hassasiyetli aygıtlar imal edilmiştir. Bunlar, yarı iletken diyodları veya triodları şeklinde olabilirler. Birinci durumda, malzeme, elektrodların takılı olduğu, bir cam levha üzerine ince bir film tabakası olarak kaplanır; ışığın bir etkisi olarak, elektrotlar arası direnç gözle görünür bir şekilde düşmektedir (genellikle doğrusal olmayan bir şekilde).

Pek çok cins yarı iletken malzemelerin bulunmasından dolayı, bu aygıtlar, çok farklı spektral tepkiler verecek şekilde imal edilebilirler. Bu spektral tepkiler, 5 μ m veya üstünde, kızıl-ötesi seviyesinin yanındaki ve görülebilen sınırları kapsamaktadırlar. Tepki zamanı da, malzemeye de bağlıdır ve bazı malzemeler çok hızlı olup, bazıları yavaş tepki gösterir; örneğin kadmiyum sülfidin, yaklaşık 1s, tepki zamanı vardır. Triyod tipindeki fotoiletken algılayıcılar, ışığa maruz bırakılmış kavşak transistörleridir. Bunlar kendinden yükseltici görevi görürler fakat, genellikle doğrusal olmayan sinyal üretmektedirler. Bir standart transistör odası içerisindeki yükseltici ile birleştirilmiş silisyum diyoduna sahip olan aygıtlar mevcuttur.

Bütün fotoiletken aygıtlar sıcaklığa duyarlı olup, küçük sıcaklık değişimleri neticesinde sapma gösterirler. Bu nedenden dolayı, bütün kritik uygulamalar için, kesik ısıma ile beraber ve kızılötesi sınırına yakın bölgelerde, spektrometreler içinde, algılayıcı olarak kullanılırlar. Bilinen bir teknik, bunları sıfır-denge algılayıcıları olarak uygulamak, örnek ve referans demetlerini karşılaştırmak ve böylece lineer olmayan tepkileri önemsiz hale getirmektir.

2.3.3. Piroelektrik Algılayıcılar

Bunlar kesin olarak, ısısal algılayıcılar oldukları halde, piroelektrik algılayıcılar çok geniş biçimde, ışık algılayıcıları olarak kullanılmaktadırlar. Bunlar, sıcaklığa bağımlı, anlık elektriksel polarizasyon özelliğine sahip olan malzemelerin kullanılmasına dayanmaktadırlar. Kristal, seramik veya ince plastik film şeklinde olabilir. Böyle bir malzeme üzerine ışın düştüğü zaman, termal genleşme, kristalin, dakika içerisinde kafes mesafesini değiştirerek meydana gelir; bu durum, elektriksel kutuplaşmayı bozar ve kristalin iki yüzü arasında bir yük ve emf. kuvveti oluşmasına neden olur. Bu yüzler, bir dış devre ve uygun bir yükselticiye bağlantı sağlamak üzere elektrotlarla donatılmıştır.

Bu prensibi kullanan piroelektrik algılayıcılar, çok fazla duyarlı olup, ve temelde termal algılayıcılar olduklarından, çok geniş dalgaboyu sınırlarında duyarlıdırlar. Pratik de, dalgaboyu sınırı, kullanılan pencerelerin geçirgenliği piroelektrik malzemenin emme özellikleri ve yüzeylerinin yansıtma özellikleriyle sınırlıdır. Son söylenen özellik, ince filmlerin kaplanması ile ayarlanabilir ve böylece nispeten geniş spektral tepkiler elde edilebilir; buna alternatif olarak, özel bir dalgaboyunun hassaslığı büyük miktarlarda artırılabilir. Hatırlanmakta yarar vardır ki, piroelektrik algılayıcılar kararlı ışığa değil, sadece üzerlerine düşen ışıkta meydana gelen değişikliklere tepki gösterirler. Tepki hızları çok yüksektir, fakat doğal kapasitelerinden dolayı hassasiyet ve uygun bir yük direnci seçimi sayesinde belirlenebilen tepki hızı arasında bir uzlaşma vardır. Isıma alanlarındaki değişimlere tepki gösterme kabiliyetleri, bunların lazer darbe ölçümlerinde kullanılmalarına ve hırsızlara karşı alarm sistemlerinde yer almalarına imkân tanımaktadır. Genellikle çok küçük hacimlerde (örneğin 1 x 2 mm), fakat daha az cevap hızı ile, 1 cm lik çapa kadar imal edilebilmektedir. Aynı zamanda doğrusal ve iki-boyutlu dizilimler şeklinde de yapılabilirler. Spektrofotometre de olduğu gibi kararlı ışımayı ölçmek durumunda kalırlarsa, o zaman bilinen ışın demeti parçalama (kesme) yöntemi kullanılır (bölüm 2.4.3); piroelektrik algılayıcı, bu durumda sadece parçalanmış demete cevap verecektir. Örneğin lityum tantalat ve dopinglenmiş kurşun zirkon titanat gibi. Birçok malzeme kullanılmaktadır; Çok geniş spektral sınırlarıyla piroelektrik dedektörü, aynı zamanda hızlı tepkimesi ve düşük maliyetiyle diğerlerine göre daha fazla gelişmeye ve uygulamaya açık bir cihazdır.

2.3.4. Dizim Algılayıcıları

Yukarda sözü geçen aygıtlar, bir anlık zamanda, bir ışın demetinin şiddetini birkez ölçmek için uygundur. Çoğunlukla ihtiyaç, televizyon kamerasında olduğu gibi, bir optik görüntüde, birden fazla noktanın şiddetlerinin

ölçülmesini gerektirir.

Televizyon kamera tüplerinde, görüntü, bir fotoçoğaltıcınıninkine benzeyen fotokatot üzerinde meydana gelir; bu fotokatot bir elektron demeti tarafından taranmaktadır. Bu tüplerin işlenmesi, kitabın amacının dışındadır; fakat çok pahalı olduğundan, kendilerine destek olabilecek birçok elemanı gerektirir. Son senelerde, dizim aygıtları, yarı-iletken prensiplerini kullanarak geliştirilmiştir. Bunların, bir doğru boyunca aynı zamanda birçok noktada, bazı hallerde, binlerce görüntü noktalarından meydana gelen bütün alan boyunca ölçüm yapabilme özellikleri vardır.

Bütün bu aygıtlar, entegre-devre teknolojisine dayanmaktadır ve 3 ana kategoride sınıflandırılırlar:

- (1) Foto - diyot dizimleri;
- (2) Yük - eşli aygıtlar;
- (3) Yük - enjeksiyon aygıtları.

Burada, bu aygıtların, çalışma prensiplerine detaylı olarak inemiyoruz, fakat daha fazla bilgi Fry (1975)' in makalesindeki ve Beynon (1979) 'un kitabında bulunabilir.

(1) Bir fotodiyod dizimi, mikroskopik boyutlardaki, herbiri bir sinyal hattı ile bağlanmış (coupled) dizimden meydana gelmektedir. Bu kuplaj, entegre devre veya yonga üzerinde, kendi yanındaki bir transistör devresi sayesinde olmaktadır. Kullanılan teknik bütün fotodiyod elemanlarını eşit olarak yüklemeye dayanmaktadır; pozlandırma sırasında, boşalma (deşarj) meydana gelir ve bu esnada, en yüksek ışık şiddetindeki elemanlar en fazla yükü kaybeder. Dizilim (Array), her elemanı sinyal hattına bağlamak ve her elemanı orijinal yük potansiyeline getirmek için gereken yük miktarını ölçmek suretiyle okunabilir. Bu işlem, normal halde entegre devrelere göre olan hızlarda, tarama zamanında ve eleman sayısına bağlı olan (bir veya iki bin adet) tekrarlamada hızında gerçekleştirilebilir. Dikkat edilmesi gereken bir nokta, bütün dizilim algılayıcıları yük-bağımlı aygıtlar olduklarından, birbirini takibeden okumalar arasındaki zaman aralığı boyunca çok etkilidirler.

(2) Yük-eşli aygıtlar (CCDs), bir altlık üzerine kaplanmış elektron diziliminden meydana gelmektedirler, böylece her elektrot, bir metal-oksit yarı iletken aygıtın parçalarını oluşturmaktadır. Elektrotların tabanına (matrise), uygun gerilim kutuplaması sayesinde, her elektrodun altında, bir potansiyel kuyusu üretmek mümkün olur. Ayrıca, komşu elektrotlardaki kutuplama gerilimleri ile oynamak suretiyle, yükü bir potansiyel kuyusundan diğerine aktarmak mümkün olmaktadır, uygun bir devre sistemiyle dizilimin sonunda, her kuyudaki orijinal yük sırasıyla okunabilmektedir. Bu aygıtlar, öncelikle, bilgisayarlar için gecikme hatları olarak geliştirilmişlerdir, fakat bütün yarıiletken prosesler, gelen ışıktan etkilendiklerinden, kullanılabilen iki boyutlu dizilim

algılayıcıları imal etmişlerdir. Görüntünün, dizilimin üzerine düşmesine izin verilir ve yükler yüksek şiddeti olan noktalarda gelişecektir. Bunlar, istenen aralıkta okuma işlemi başlayıncaya kadar, potansiyel kuyularda tutulmaktadır.

(3) Yük-enjeksiyon cihazları (CID), benzer bir prensip kullanmakta, fakat çalışma tarzı sürekli serilerden ziyade bağlanmış (coupled) potansiyel kuyu çiftlerine dayanmaktadır. Her çift, bir X - Y çakışan gerilim tekniği kullanılarak çağrılır. Işık, fotoüretilmiş yüklerin, her çift üzerinde birikmesine izin verilerek ve potansiyel kuyusu dolarken, değişimi hissetmek suretiyle ölçülmektedir. Bir kez okuma tamamlandıktan sonra, bu yük, matris içersine, aynı zamanda çiftler içersindeki her elektrottan, kutuplaşmayı kaldırmak suretiyle, matris veya taban içersine enjekte edilmektedir.

Bu eserin yazılması sırasında, bu üç tip algılayıcı, yoğun geliştirilme aşamasındaydı ve performanslarında önemli ölçüde ilerleme bekleniyordu. Bunların hepsi, kızıl-ötesi civarı ve görünür dalgaboyu sınırlarına hassas olabilir. Alışılmış gürültü değerlendirilmesi ve elemanlar arasındaki yük kaçağı, tarama aralığının 1 saniyeden az olmasını gösterir CID ler, çok hızlı okuma imkânı sağlamaktadır böylece televizyonlarda kullanılmaları öne sürülmüştür; aynı zamanda, direkt tarama yapmanın yanısıra, örnekleme yapmaya olanak tanımaktadır. Tek bir aygıt içersinde, CCD nin iki değişkenini kullanmak suretiyle, dual kırmızı ve mavi duyarlılıkla birlikte bir CCD nin meydana gelme ihtimali vardır. 2-boyutlu dizilim algılayıcılarındaki çıkışlar bir CRO üzerinde doğrusal tarama olarak gösterilebilir (veya, raster gösterim). Buna alternatif olarak, bir mikroişlemciye beslenebilir. Uygulamaları çok geniştir; yayıncı spektroskopisi, boyut ölçümü, pozisyon ölçümü, robotik yönelme, kopya tanınması, ve döküman okuması bunlardan sayılabilir. İmalât tekniklerindeki gelişmelere bağlı olarak, bunların maliyetlerinin önümüzdeki senelerde azalacağı ve kullanımlarının yaygınlaşacağı düşünülebilir.

2.4. Algılayıcı Teknikleri

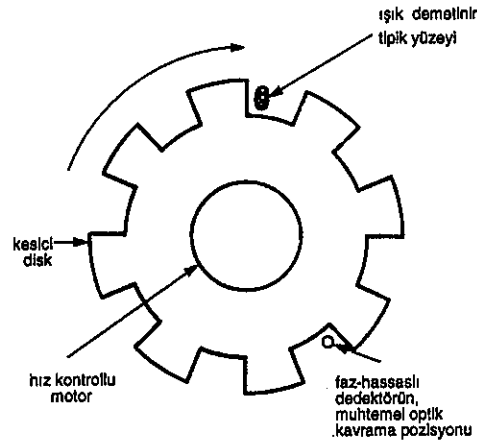
Hemen hemen, ışık şiddeti ölçülmesini gerektiren bütün optik cihazlarda, ışık şiddeti ile doğrusal orantılı bir sinyal (genellikle bir akım) üretebilen algılayıcılara dayanılmaktadır. Fakat bütün algılayıcıların, doğal olarak, tam karanlık ortamda akım geçirme özellikleri vardır, dolayısıyla biz hakiki ışıktan kaynaklanan sinyalle, siyah akımı birbirinden ayırmak durumundayız. İkinci bir problem, çok küçük veya geniş ışık akımlarını, çok doğru olarak ölçmek istediğimiz zaman karşımıza çıkmaktadır. Bütün algılayıcılarda siyah akımın küçük rastgele salınımları mevcuttur i.e gürültü; işte bu gürültü, bütün algılayıcıların hassasiyeti sınırlamaktadır.

Siyah ve siyah artı ışık sinyalleri arasındaki ayırım, ışık demeti üzerine düştüğü ve karanlık olduğu zaman sinyallerin farkını almak suretiyle gerçekleşmektedir. Elle bazı manüel cihazlarda, ışık demetinde bir obtüratör; ve obtüratör kullanmadan olmak üzere yapılan iki ayarlama türü vardır. Birçok cihazlarda, kesici bir disk (Şekil 2.7), ışık demeti içersinde döndürülür ve böylece demet, belli bir frekansda kesilir ve sinyal, sürekli siyah akıma cevap vermeyen a.c. devreleri tarafından gözlenir.

Bu tekniğe, ışın demeti kesilmesi ismi verilir.

Gürültünün etkileri, üç şekilde giderilebilir :

- (1) Algılayıcı devre sisteminin, zaman sabitini uzatarak;
- (2) Algılayıcıyı soğutarak;
- (3) Eş zamanlama teknikler kullanmak suretiyle, bu işlem gerçekleştirilir.



Şekil 2.7: Kesici Disk

2.4.1. Algılayıcı Devresi Zaman Sabitleri

Siyah akım gürültüsü, algılayıcı içersinde, atomik boyutlardaki rastgele olaylardan ortaya çıkmaktadır. Bundan dolayı, algılayıcı devresinin, zaman sabiti, yeteri kadar uzun tutulabilirse, çıkış akımının değişimleri yumuşatılır.

caktır ve doğru bir ortalama değere ulaşacaktır. Zaman sabitinin en iyi seçimi, herhangi bir uygulamanın şartlarına bağlı kalacaktır; fakat açık olarak, birçok hallerde, uzun zaman sabitleri kabul edilemezler. Elle okuma yapılan cihazlarda, 1 saniye uzunluğunda bir zaman sabiti bile, gözlemciyi sınırlendirebilir.

2.4.2. Algılayıcı Soğutması

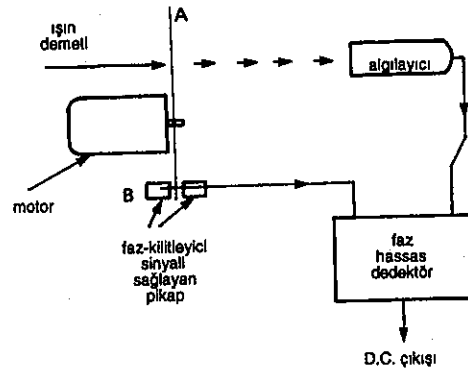
Burada, algılayıcı gürültüsünün tam bir tartışmasına gidilmesine imkân yoktur, fakat pekçok algılayıcıda, gürültüye en büyük etken, algılayıcı içersindeki termionik yayınumdan kaynaklanmaktadır. Metallerdeki termionik yayınum, Langmuir kanununa göre gelişir :

$$i \propto e^{3T/2}$$

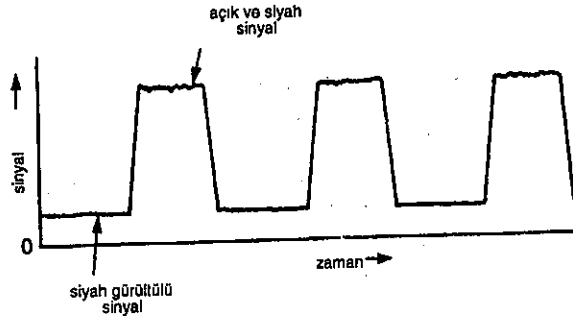
burada T, mutlak sıcaklık ve i, yayınum akımını gösterir. Oda sıcaklığı, mutlak sıcaklık cinsinden 295 K civarında olup, önemli miktarlarda yayınum akımı ve gürültü azalması, algılayıcı soğutulmak suretiyle elde edilebilir. Algılayıcılar, sıvı azot (77 K, - 196°C), katı CO₂ (195 K, - 79°C) veya Peltier etkili soğutma cihazları yoluyla soğutulabilirler. Sıvı azotun ya da katı CO₂ in kullanımı zordur ve cihazın karmaşıklığını artırmaktadır. Bir diğer problem ise komşu yüzeylerde havadan gelen nemin yoğunlaşması veya donması olayıdır. Peltier etkisi soğutması, çoğunlukla bu problemleri ortadan kaldırır, fakat çok düşük sıcaklıklara inilmesine imkân sağlamaz. Çok özel durumlar hariç, algılayıcıların soğutulması, diğer gürültü azaltıcı metodlara göre daha az ilgi çekmektedir.

2.4.3. Işın Kesme ve Faz -Hassasiyetli Algılama

Rastgele gürültü, hepsi farklı frekanslarda olan, çok geniş sayıdaki sinyallerin bir karışımı şeklinde düşünülebilir. Eğer belli frekansta çalışan bir ışın kesici kullanılırsa, algılayıcı devresi, seçici olarak bu frekansa cevap verebilecek şekilde yapılabilir, böylece gürültüde önemli ölçüde azalma kaydedilir. Bu durum ayarlanmış devreler kullanılması ile etkilense dahi, kesici hızının hassas olarak sabit tutulmamasından dolayı fazla güvenli sayılamaz. Çok daha iyi bir teknik, bir faz-hassas algılayıcısının kullanımıdır. Böyle bir sistem Şekil 2.8 de verilmektedir. Ölçülecek ışın demeti, bir disk A sayesinde kesilmektedir, ve algılayıcı sinyali, faz-hassas algılayıcıya aktarılmaktadır (Şekil 2.9).

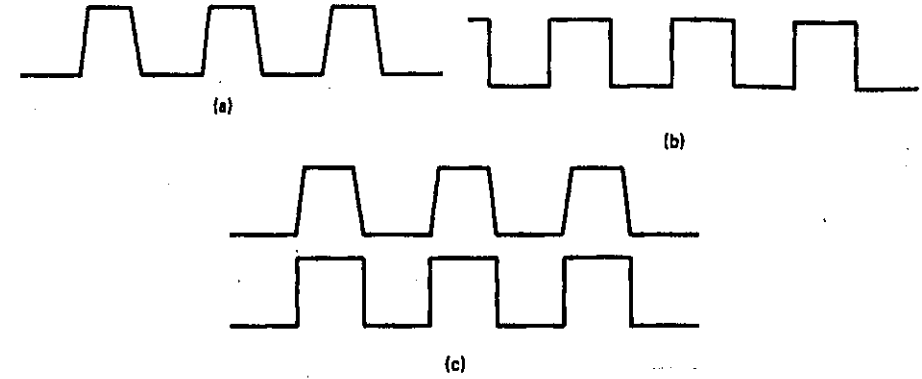


Şekil 2.8 Işın demeti kesicisinin faz-hassas algılayıcı ile kullanımı.



Şekil 2.9 Kesik-ışın dedektörünün tipik çıkışı

Algılayıcının geçiti, ayrı bir toplayıcı B ile kontrol edilmektedir ve A B arasındaki faz ilişkisi, istenen eş zaman sağlanuncaya kadar, B'nin yerdeğişimi ile ayarlanır (Şekil 2.10). Burada çift ışınlu osiloskop gerekli olmaktadır. Kesici diskin hızının, elden geldiğince üniform olması arzu edilir. Ancak, termal algılayıcılar kullanıldığı zaman, frekans, 300-10000 Hz sınırları arasında kalmaktadır.



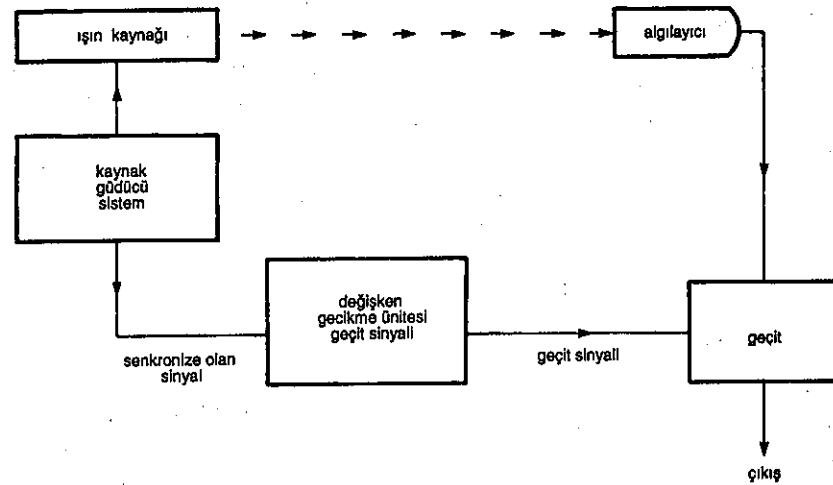
Şekil 2.10 Faz-hassas algılayıcıya giriş sinyalleri

- a) Algılayıcıdan gelen sinyal
- b) Pikaptan türetilen sinyal geçiti (Yanlış fazlanmış)
- c) Dedektör ve geçit sinyalleri (Doğru fazlanmış)

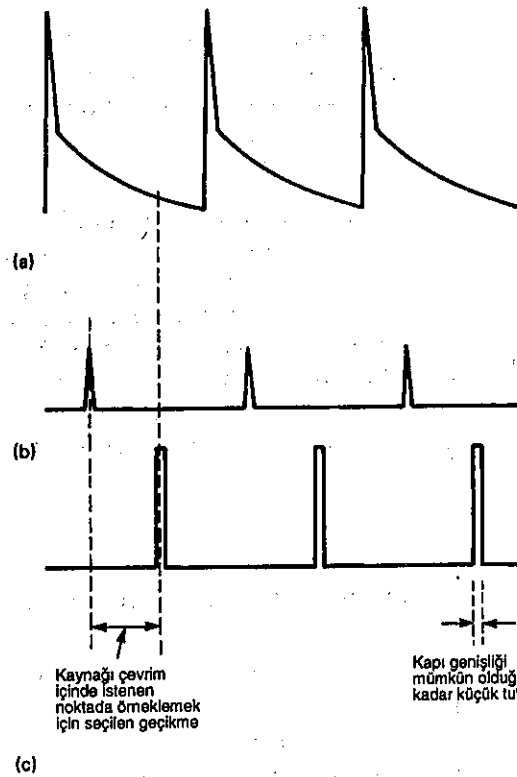
Faz kilitleme pikabı (phase-locking pick-up) optik veya kapasitif olabilir, bunlardan birinci özellik çoğunlukla tercih edilmektedir. Parçalayıcı diskin, oda ışığına maruz bırakılmaması için ihtimam göstermek gerekmektedir; aksi halde ışık, diskin arka yüzünden algılayıcının içersine düşebilir ve yanlışlıkla siyah sinyal olarak kayıd edilebilir. Ayrıca, üzerinde durulması gereken bir husus, ölçülmesi gereken ışın demetinin sonlu bir genişliği olduğundan, karesel olarak parçalamak mümkün değildir. Işık darbelerini, geçit darbelerinin şekli ve faz durumuna benzetmek suretiyle, sinyal / gürültü oranında çok efektif bir iyileşme elde etmek mümkün olabilir (en azından 1000: 1 mertebesinde). Bu teknik çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır, fakat stroboskobik arıza, floresan lambaları veya CRT ekranları gibi darbeli ışık kaynakları söz konusu olduğunda, meydana gelebilir.

2.4.4. Örnekleme (Boxcar) Algılayıcıları

Sinyal / gürültü oranı için daha ileri bir gelişme sağlamak örnekleme sistemi ile mümkün olabilir. Bazı hallerde bu durum, faz-hassas algılayıcı sistemlerine benzemektedir, fakat kesme işlemi optik olarak yapılmak yerine elektronik olarak gerçekleştirilmektedir. Darbe kaynağı ile kullanıldığı zaman (örneğin floresan lambası), algılayıcı sinyali, aralıklarla örneklenir ve faz kilitlenmesi kaynağı besleyen güç üreticisi tarafından sağlanır (Şekil 2.11). Örnekleme periyodu çok dar tutulmuştur ve faz içersinde örnekleme noktasının mevkisi, bir geciktirme devresi tarafından sağlanmaktadır (Şekil 2.12).



Şekil 2.11 Bir darbe kaynağına uygulanan örnekleme algılayıcı sistemi



Şekil 2.12 Örnekleme algılayıcı sisteminde kullanılan sinyaller

a) Algılayıcıdan gelen darbe kaynağından üretilen sinyaller (CRT)

b) Kaynakdan türetilmiş eş zamanlı sinyal

c) Geçit sinyali

Aynı bir deneyde, siyah akımı tesis etmek gerekmektedir. Eğer bir kararlı kaynağın ölçümü yapılacaksa, faz sinyalini sağlamak için osiloskop kullanmak gerekmektedir. Bu sistem gürültü performansında, kayda değer bir gelişme sağlamaktadır ve darbeleri kaynakların, ışık çıkışlarındaki değişikliklerin bir faz içerisinde öğrenilmesine olanak tanımaktadır. Işın demeti kesilmesinden daha pahalı olduğu halde, bu sistem çok daha kolaylıkla kullanılır; kesicinin yola geçtiği bütün optik ve mekanik problemlerini ortadan kaldırmaktadır. Bu teknikler cilt 4'te de tartışılmıştır.

2.4.5. Foton Sayımı

Çok zayıf bir ışığın, bir fotoçoğaltıcı sayesinde ölçülmesi gerektiği zaman, foton sayma tekniği kullanılabilir. Bir fotoçoğaltıcıda her bir elektron fotokatodu terk ettiği zaman, anotta, çok kısa süreli bir elektron çıkışına (avalanche) neden olmaktadır. (Yukarıdaki 2.3.1. bölüme bakınız). Çıkış akımının bu kısa patlamaları, hızlı bir CRT (Cathode ray tube) sayesinde görülebilir.

Çok zayıf ışık, katodun üzerine düştüğü zaman, verilen bir süre için bu patlamalar (veya çıkışlar), ışığın şiddeti hakkında bir değer elde etmek için sayılır. Çok hassas olmasına rağmen, sistemin kullanılması oldukça kolaydır. Katodu terkeden fotoelektronlardan kaynaklanan darbelerle, daynod zinciri boyunca çeşitli nedenlerden meydana gelen darbeleri birbirlerinden ayırmak gerekir; bu işlem çok dikkatlice ayarlanması gereken bir darbe yüksekliği gerici sayesinde yapılmaktadır.

Eş zamanlı çift darbeler de bir problem teşkil etmektedir. Pratikteki diğer bir problemde, elektrometre çalışması ile 'foton sayımı' eşleştirmektir (i.e normal). Hatırlanması gereken bir husus, bunun bir sayım işlemi olduğu, ölçme işlemi olmadığıdır ve rastgele istatistik işlemi uygulandığından dolayı, eğer bir koşulda $\pm 1\%$ lik bir doğruluk isteniyorsa, o zaman en azından 10000 sayımın yapılması gerekmektedir. Bu teknik 'Araştırma Laboratuvarı Donanımı' başlığı altında isimlendirilebilir (Raman spektrografları ve benzeri) fakat bunu tesis etmek zor olmaktadır ve kullanımı, çok yüksek hassasiyet'in istendiği durumlarda tavsiye edilebilir.

2.5. Şiddet Ölçümleri

'Işığın şiddet ölçümleri' ifadesi, farklı stillerdeki ölçümlerin geniş bir bölümünü anlatmak için kullanılabilir.

Bu kategoriler (1) algılayıcının spektral hassasiyetinin değiştirilmeden kullanıldığı (2) bazı örnek tepki eğrilerine bağdaştırmak amacıyla, algılayıcının spektral hassasiyetinin değiştirilmiş hali şeklinde söylenebilir. Çoğunlukla, biz ne algılayıcının üzerine düşen ışığın spektral güç dağılımı ile, ve ne de

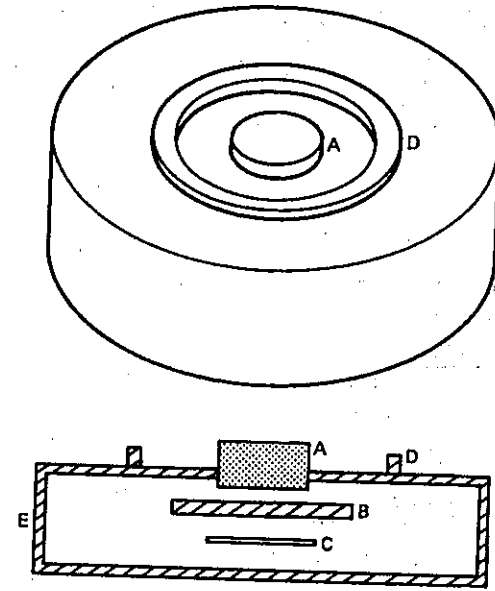
algılayıcıya göre, ışığın geometrik dağılımından değişmeyen ışık şiddetlerinin karşılaştırılmaları ile ilgilenmekteyiz. Bu tip karşılaştırmalı ölçümler açıklıkla 1. kategori de yer almaktadırlar ve bu iş için her uygun algılayıcı kullanılabilir. Buna karşılık, eğer ışıklandırma mühendisliğiyle ilgileniyorsak, yani ışığın spektral ve uzaysal kaynaklarıyla beraber, parlama derecesini doğru olarak ölçmek istiyorsak, o zaman spektral tepkisi, insan gözününkine eşdeğer ve cosinus konumuna uyan bir geometrik tepki gösteren fotometre kullanmamız gerekmektedir. Bu işlem, 2. sınıf ölçümlerdir.

Kategori 1 deki, bazı ölçümler, ışığın varlığı ya da yokluğunu belirlemek için gerekirler. Örnek olarak, endüstriyel fotoelektrik kontrolörleri ve sayaçları, hırsızlığa karşı alarmlar, cadde-aydınlatma kontrolleri vs. Burada önemli olan husus, algılayıcıların sadece belirlenen kaynaktan ışık alması ve yeterli tepkime zamanının olması gerekmektedir. Fotodiyotlar ve fototransistörler çoğunlukla kullanılmakta olup sağlam, ucuz ve güvenlidir. Kadmiyum sülfid, foto iletken hücreler çoğu zaman ışık kontrollerinde uygulanır; fakat uzun cevaplama süreleri (yaklaşık 1 s) birçok uygulamalarda kullanımlarını sınırlamaktadır.

2.5.1. Fotometreler

Şekil 2.13 'te, aydınlatma ölçümleri için (Bir yüzeye düşen, bir metre kare başına olan görünür ışık miktarıdır), tipik bir fotometre kafası gösterilmektedir. Gelen ışık, opal cam silindirin (A) nın üzerine düşmektedir ve ışığın birkısmı ise, (B) filtresini geçerek algılayıcı yüzeyi (C) üzerine düşmektedir. Algılayıcı, ya fotoiletken veya fotogerilim tipinde olabilir. (B) filtresi, spektral geçirim özelliğine sahip olacak şekilde düzenlenir öyleki, algılayıcı- filtre bileşiminin insan gözü spektral hassasiyetine denk düşmesi sağlanır. Birçok cihazlarda, filtre, cihazın bir bütününü teşkil etmektedir.

Cosinus tepkimesi, opal A camının yuvaya yerleştirilmiş D halkası ile beraber, titiz bir şekilde tasarlanmasıyla sağlanmaktadır. Okuma, uygun bir şekilde kalibrasyonu yapılmış metre üzerinde olmaktadır. Metre, bir veya iki metrelik ince kablo tarafından kafaya bağlanmış olup, ışığın kullanımı sırasında kişinin gözüne gelmesine engel olmaktadır.



Şekil 2.13 Kosinüs tepkili fotometre başı.

A: Opal cam silindir B: Filtre C: Algılayıcı

D: Kosinüs tepkisi üretebilecek ışık kalkanı E: Metal kasa.

Bu tip cihazlar, istenen doğruluk derecelerine göre geniş bir fiyat aralığında bulunabilirler: en iyi cihazlar, normal ışık altında, % 1 veya 2 aydınlanma doğruluğuna erişir. Daha iyi doğruluk payı, Dresler filtrelerinin kullanımı ile sağlanmaktadır. Bu tip filtreler birçok farklı filtre mozayiginden meydana gelmiş olup, daha pahalıdır.

Geniş ölçüde kullanılan bir başka cihazda, Hagner fotometresidir. Bu cihaz, hem aydınlanmanın, hem de parlamaların ölçümleri için kullanılmaktadır. Aydınlanma (Illuminance) kısmına yukarıda değinilmiştir; fakat ölçme başı, ayrı bir içsel algılayıcıya odaklanmış, teleskopik optik sistem ile ortaklaşır.

Bir ışın demeti bölücüsü, operatöre teleskopdan bakmasını sağlar, parlak (luminans) olması gerekli yüzeyde cihazı hedeflemesine olanak tanır: içsel algılayıcı çıkışı, bir metre de gözlenir ve görüş alanının içersine düşmesi için ayarlanmıştır. Fotometrelerde silikon algılayıcıların kullanılması, görünür seviyelerden daha yukarıda kalan, 380-770 nm mertebelerindeki dalgaboylarının ölçülmesine imkân sağlamaktadır. Birçok silikon algılayıcısı 1170 nm mertebelerindeki dalgaboylarında çalışabilmektedir. İlginç olması sebebiyle, bir örnek olarak, 700-1100 nm sınırları içersinde, fiber-optik haberleşmeler için, iki fonksiyonlu 'fotometre / radyometre' cihazları örnek olarak verilebilir. Esas olarak, bu cihazlar iki değişebilir filtre setiyle donatılmış fotometrelerdir. Bunlar, (1) gözün spektral tepkimesine uyum sağlaması için algılayıcının

spektral tepkisini geliştirirler ve (2) Düz spektral tepki oluşturarak böylece cihazın eşit olarak her dalga boyundaki ışımalara cevap vermesine ve böylece yayın- ma gücünün okunmasını sağlarlar. Pratikte bu düz bölge 1170 nm üzerine çıkamaz ve radiometre terimi yanıltıcı olur, çünkü bu terim bütün dalga boylarını kapsayan cihaz anlamında olmaktadır; geleneksel radyometreler, çok geniş dalgaboyu sınırlarında çalışabilmektedirler.

Yapım esnasında yukarda bahsedildiği gibi fotometrelere benzemektedirler yalnız dış algılayıcı başının değişebilen (interchangeable) filtrelerle adapte olabilmesi ve cihazın ikili kalibrasyona sahip olması gerekir. Hagner fotometresinden farklı olarak bu cihazlar, genellikle aydınlanmanın ve yayının ölçülmesiyle sınırlıdır. Hagner fotometresi, hem parlama, hem de aydınlanmanın her ikisini de ölçebilmektedir. Efektif işleme dalgaboyu sınırları, radyometre modunda 320-1100 nm. olarak açıklanmıştır.

2.5.2. Mor-Ötesi Işık Şiddeti Ölçümleri

Son senelerde, özellikle mor-ötesi ışınların, insanlarda ve hayvanlarda görme duyusu haricindeki etkileri üzerine kamuoyunda büyük bir ilgi uyanmaktadır. Fotobiolojik etkiler için, birçok spektral tepki eğrileri (örneğin, erytehma, ve photokeratitis gibi) bilinmektedir (Steck, 1982). Böylece mor ötesi fotometreleri, görünen ışık fotometrelerinde geçerli olan ilkeleri kullanarak uygun filtre ve algılayıcıları ile birlikte kullanılmak üzere geliştirilmişlerdir. Fotoçoğaltıcılar, çoğunlukla algılayıcı olarak kullanılır, ancak filtre malzemelerinin seçimi sınırlıdır; bugüne kadar, insan gözünün görme tepkisinin tam benzerine hiçbir şekilde ulaşamamıştır. İlginç bir gelişme, kişilerin mor-ötesi ışınlarına ne kadar maruz kaldıklarını ölçmek için geliştirilen mor-ötesi poz filmleridir. Bunlar, alışlagelmiş algılayıcılardan ziyade kimyasal reaksiyonları kullanmaktadırlar (Young et al., 1980).

2.5.3. Renk-Sıcaklık Ölçerler

Akkor ışık kaynaklarının rengi, 'renk sıcaklığı' cinsinden belirlenebilmektedir; örneğin, bir planck karacisim ısısalarının spektral güç dağılımının, en yakın bir biçimde, kaynağına benzediği gibi... (N.B: Bu durum, gerçek sıcaklık ile aynı değildir). Bir planck karacisim ısısalarının spektral güç dağılımı aşağıdaki kanuna uyduğu için

$$E_{\lambda} = C_1 \left\{ \lambda^{-5} \left(e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right) \right\}^{-1}$$

(Bölüm 2.8 e bakınız)

iki dalgaboyunda E_{λ} değerlerinin oranlarını bilmek suretiyle T yi belirleyebiliriz. Pratikte, planck dağılımı yumuşak olduğundan, geniş-bant filtreleri kullanılabilir. Birçok fotometreler (Bölüm 2.6.1. e bakınız), renk -sıcaklık metreleri olarak da düzenlenebilir. Bu şekildeki kullanım, algılayıcının farklı bölgelerini kırmızı ve mavi filtrelerle kapanmasını sağlayan oynar bir gölgelik sayesinde olmaktadır; dolayısıyla fotometre, bir 'kırmızı-mavi oranı' ölçme aygıtı haline dönüşmektedir.

Bu tip aygıtlar, akkor halindeki kaynaklarla (güneş ışığı ve gün ışığını da kapsar) iyi çalışmaktadırlar, fakat bir floresan veya deşarj lambası ile karşılaştırıldıklarında saçma sonuçlar verirler.

2.6. Dalgaboyu ve Renk

2.6.1. Spektrofotometreler

Optik geçirgenliği veya bir dalgaboyu aralığında yansıtma özelliklerini ölçmeye yarayan cihazlara 'spektrofotometre' ismi verilmektedir. Bu teknik, kimyanın bütün dallarında, analitik amaçlar için geniş ölçüde kullanılmaktadır, ve her tip renk ölçümlerinin fiziksel temelini teşkil etmektedir; dolayısıyla tüketim endüstrilerinin çok ilgisini çekmektedir. Sıvı örnekler üzerinde geçirgenlik ölçümleri, en çok bilinenleridir.

Bütün spektrofotometreler 4 elemanı kapsamaktadırlar :

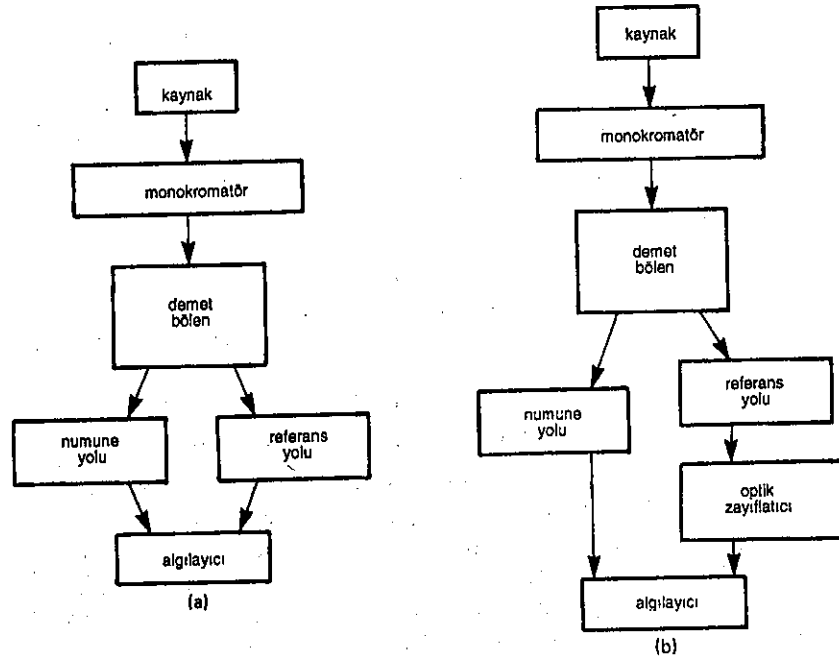
- (1) Yayınım kaynağı
- (2) Kaynak tarafından yayınlanan, bütün spektrum içersinde dar bir dalgaboyu bandını seçmek için gereken bir optik sistem veya monokromatör.
- (3) Örnek (şayet sıvı ya da gaz halindeyse, hücresi)
- (4) Bir radyasyon (ışına) algılayıcısı ve yardımcı ekipmanları.

Şunu bilmek gerekir ki, ışığın önce monokromatörden ve sonra örnekten geçmesi veya tersi olayın bir önemi yoktur; birinci duruma, görünür ve mor-ötesi ışık cihazlarında rastlanır; ama kızıl-ötesi ölçümler için, ikinci durum bazı avantajlar sağlamaktadır. Spektrofotometreler, ya içinde ışık hüzmelerinin sabit tek bir yol izlediği 'tek bir demet', (ve numunenin olduğu veya olmadığı hallerde yapılan ölçümler değişmektedir) ya da içinde ışığın iki ayrı yol takibettiği, bir tanesi örneği, diğeri referansı bulunduran 'ikili demet' fotometreleri söz konusudur; sonra ışık şiddetleri karşılaştırılırlar. Kimyasal çözeltiler üzerine yapılan çalışmalarda, örnek hücresi ile aynı olan ve aynı solventi taşıyan bir hücre içersinden referans ışığı geçirilmektedir; böylece solvent ve hücre etkileri birbirlerini söndürmektedir; yansıtma davranışında, referans örneği, çoğunlukla standart beyaz yansıtıcıdır. Elle idare edilen cihaz-

larda, tek ışın tekniği yaygındır ve günümüzde otomatik olarak idare edilen cihazlarda ise çift ışın tekniği çoğunluğun tercihidir.

Çift ışın tekniğinde, iki ana çeşit kullanılmaktadır (Şekil 2.14).

Şekil 2.14(a) da gösterilen, teknik algılayıcı tepkime lineerliğinin doğruluk derecesine dayanmakta olup, bazen 'lineer metot' olarak tarif edilir. Işık demeti alternatif örneği ve referans yollarını takip eder ve algılayıcı her seferde ışık şiddetini ölçer; oran, çalışılan dalgaboyunda geçirgenlik veya yansıma faktörlerini vermektedir. 'Optik sıfırlama metodu' olarak isimlendirilen ikinci metot Şekil 2.14(b) de gösterilmektedir. Burada, referans ışının şiddeti, örnek ışın şiddetine eşit hale gelecek şekilde azaltılmıştır. Servo kontrollü optik zayıflatıcı bu işlem için kullanılmaktadır; ve algılayıcı, sadece bu iki ışığın şiddetlerinin eşitliğinin doğrulanması işleminde uygulanmaktadır. Doğruluk derecesi, bunun için optik zayıflatıcıya (optical attenuator) bağlı kalmaktadır. Optik zayıflatıcı, değişken pencere (aperture) veya kutuplayan prizmalar sistemi şeklinde olabilir.



Şekil 2.14 Spektrofotometre de çift-ışın teknikleri.

a) Doğrusallık metodu b) Optik sıfırlama metodu

Spektrofotometrik sonuçlar, hemen hemen her zaman çok yoğun hesaplamalarda kullanıldığından ve birçok data bu şekilde kolaylıkla toplandığından, spektrofotometreler bazı hallerde mikroişlemcilerle donatılmışlardır. Bu mikroişlemciler, çoğu zaman çeşitli otomatik fonksiyonları kontrol etmek için kullanılır; örneğin, dalga boyu tarama mekanizması, otomatik örnek değiştirme vs. Kimsayasal amaçlar için, çoğu zaman geçirgenlikten ziyade örneğin emme özelliği (i.e optik yoğunluk) istenmektedir.

$$A = \log_{10} \frac{1}{T}$$

Burada A, emme veya optik yoğunluk ve T geçirgenlik olarak tarif edilir. Geçirgenlik ve emme arasındaki ilişki Tablo 2.1 de verilmektedir. Kimyasal çalışmalar için, cihazlar genellikle emme özelliğini okumaktadırlar. 'Dalga Sayısı', bir santimetredeki dalga sayısı birimi, dalgaboyu yerine, kimyacılar tarafından kullanılmaktadır. Bu iki büyüklük arasındaki ilişki de Tablo 2.2 de verilmektedir. Çok değişik alanlarda kullanıldığı için, çok amaçlı spektrofotometreler imal etmek ekonomik olmamaktadır. Bunların başlıcaları

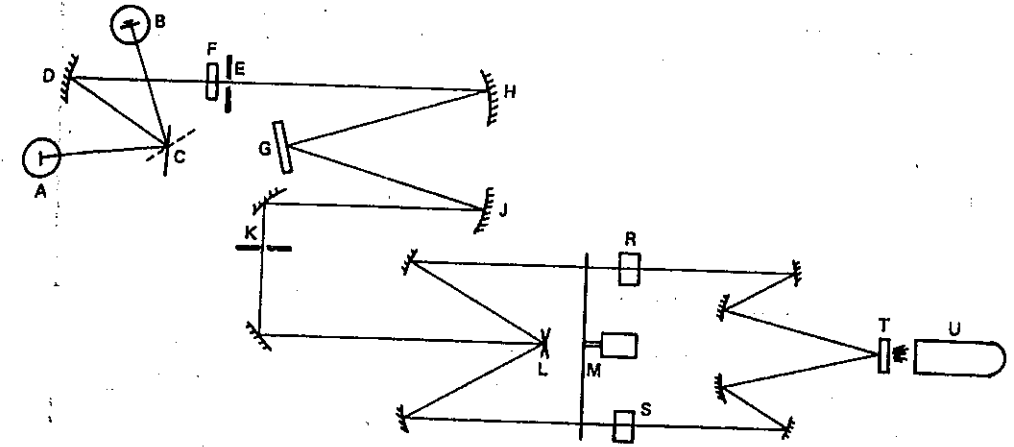
- (1) Geçirgenlik / emilme, mor-ötesi ve görünür ışık sınırları (200-600 nm);
- (2) Geçirgenlik ve yansıma, mor-ötesi ve görünür ışık yakınlarında (300 - 800 nm);
- (3) Geçirgenlik / emilme, kızıl-ötesi (2.5 - 25 μ m).

TABLO 2.1 : Geçirgenlik ve emilme arasındaki ilişki	
Geçirgenlik %	Emilme
100	0
50	0.301
10	1.0
5	1.301
1	2.0
0.1	3.0

TABLO 2.2 : Dalgaboyu ve Dalgasayısı arasındaki ilişki	
Dalgaboyu	Dalga sayısı (dalga sayısı / cm)
200 nm	50000
400 nm	25000
500 nm	20000
1 μ	10000
5 μ	2000
10 μ	1000
50 μ	200

Tipik bir mor-ötesi cihazının optik parçaları şekil 2.15 de gösterilmektedir. Işık, ya bir tungsten A lambasından veya B döteryum lambasından, C aynasını uygun pozisyona getirmek suretiyle alınmaktadır. Işın demeti, monokromatörün E yarığına bir ayna yardımı ile odaklanmaktadır. Bir seri filtre, istenen dalgaboyunun alt katmanlarını ayırmak için F ye sokulmaktadır. Işık, daha sonra G sayesinde dağıtılır, saçılır ve oluşan spektrumdan, dar bir dalga boyu bantı, K çıkışından seçilir. Dalgaboyu, G bir basamaklı motor ile döndürülerek suretiyle değiştirilebilir.

Işın, bölünmüş ayna elemanları dizilimi sayesinde L bölgesinde, iki parçaya bölünmüştür. K çatlağının görüntüleri K ve S de meydana gelmiştir. Bunlar, referans ve örnek hücrelerin pozisyonlarıdır. Bir senkronize M motoru vasıtasıyla çalışan kesici disk, bir seferde, ışığın sadece bir demet halinde geçmesine izin vermektedir. Bütün demetler, silikadan yapılmış bir T, difüzörüne yönelmiştir, böylece fotoçoğaltıcı tüp hem örnek hem de referans ışınlarıyla alternatif olarak karşılaşmaktadır; difüzör fotoçoğaltıcı katot içersindeki düzensizliklerin üstesinden gelebilmek için gerekli olmaktadır (Bölüm 2.4 e bakınız).



Şekil 2.15 Tipik mor-ötesi görünür spektrofotometresi

U'dan gelen sinyal, uygun bir şekilde numuneye veya referans devrelerine, kesici M yi kullanan sinyal ve karşılaştırılmış genlikler tarafından aktarılmaktadır. Bunların oranları direk olarak kaydedilebilen geçirgenliği vermektedir veya bir emme (absorbans) miktarı buradan hesaplanabilir ve kayıt edilebilir. Bir mikroişlemci, dalgaboyu taramasının işlevlerini, yarık genişliğini, filtre ve lamba seçimini kontrol etmek, ve temel geçirgenlik sonuçları üzerine istenen her hesaplamayı etkilemek için kullanılır.

2.6.2. Spektrometreler

Bir ışık kaynağının, spektral güç dağılımını ölçme tekniğine (SPD), 'spektrometre' ismi verilmektedir. SPD ile mutlak veya göreceli terimler kullanarak ilgilenebiliriz. Göreceli dediğimiz zaman, dalgabandı başına her dalgaboyu sınırındaki güç çıkışına atıfta bulunmaktayız. Bu dalgaboyu sınırı, belirlenmiş bir dalgaboyu için verilen bir orandır (Görünebilir spektrum için, bu çoğunlukla 560 nm dur). Biz mutlak demekle, bir sınır boyunca, her dalgaboyu için, dalgabandı birimi, steradian başına gerçek güç çıkışını kasdetmekteyiz. 'Mutlak' ölçümler, göreceli olanlardan çok daha zordur, çok özel laboratuvarlar dışında gerçekleştirilmez. Göreceli SPD ölçümleri, spektrofotometre tekniklerine benzeyen tekniklerden etkilenmektedir (Bölüm 2.6.1 e bakınız). Bilinmeyen kaynağın SPD si, SPD si bilinen kaynağınki ile karşılaştırılmaktadır. Tek-ışın metodunda, kaynaktan gelen ışın, bir monokromatörden bir algılayıcıya aktarılır ve algılayıcı çıkış istenen aralıktaki her dalgaboyunda

kaydedilir. Bu durum, SPD'si bilinen, bir kaynakla birlikte tekrarlanmaktadır ve her dalgaboyunda, iki okuma oranı, göreceli olarak, bilinmeyen SPD yi belirlemek için kullanılmaktadır. Eğer referans kaynağının SPD leri mutlak olarak bilinirse, o zaman bilinmeyen SPD si, mutlak terimlerle belirlenebilir.

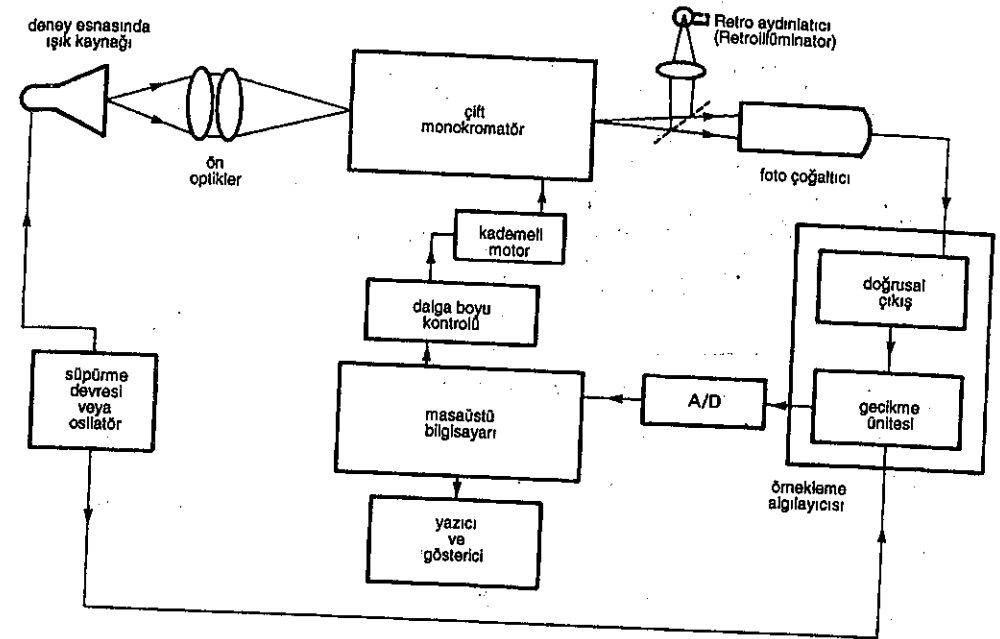
İkili-ışın metodunda, iki kaynaktan gelen ışın bir monokromatörden algılayıcıya, alternatif olarak aktarılır. Bu durum, kaynak çıkışları oranının, dalgaboyu/dalgaboyu şeklinde bulunmasına yolaçar. Bu metod, kimi zamanlar, çift-ışın spektrofotometreleri kullanımında, bir alternatif mod olarak ileri sürülmektedir. Yazarın tecrübesi, modern tekniklerle, tek demet tekniğinin daha kolay, daha esnek, daha doğru olduğu, ve çift-ışın tekniği gibi hızlı olduğunu söylemektedir. Bir spektrofotometreyi, bir spektoradyometre şeklinde, geliştirmeye çalışmak, doğruluğu düşüreceğinden tavsiye edilmez. Tek ışın tekniğinin son bir ürünü optik- çok- kanal-analiz cihazları olmaktadır. Burada, kaynaktan gelen ışık dağılmakta ve sadece bir yarığa (slit) değil, birçok 2-boyutlu dizilim aygıtlarının üzerine düşürülmektedir; her algılayıcı bit'i, bir mikroişlemci yardımı ile ayrı olarak okunmaktadır. Bu teknik, geleneksel tek ışın tekniği gibi doğrusal değildir, fakat zamanla çok çabuk olarak değişen kaynaklarla kullanılabilmektedir (örneğin, piroteknik alevler).

Hem tek ışın hem de çift ışın metodları, bilinmeyen kaynağın, spektrum taraması esnasında aynı şiddette kalmalarını gerektirmektedir (Tarama, 3 dakika civarında süregelmektedir). Genellikle bunu ayarlamak zor değildir; fakat bir kaynak kendinden kararsız ise (örneğin, bir karbon ark lambası), bütün ışık çıkışı veya bir dalga boyundaki çıkış bir referans sağlamak için kontrol edilebilir (Tarrant 1967).

Spektoradyometrenin de dezavantajları yok değildir ve bu alana girmek isteyenlerin uygun dökümanları taramaları gerekmektedir (Forsythe, 1941; Commission International de l'Eclairage, 1984).

Bazı özel problemler (1) doğrusal ve sürekli spektra birlikte oldukları zaman ve (2) eğer ilgilenilen kaynak zaman modülasyonlu ise (örneğin floresan lambaları, katod ışın tüpleri, vs) meydana gelebilmektedir. Doğrusal ve sürekli spektra beraber bulundukları zaman, farklı oranlarda çizgisel ve sürekli spektra monokromatörden geçmektedir; bu durumun dikkate alınıp önlem alınması gerekir. (Henderson, 1970; Moore, 1984).

Modulasyon probleminin algılayıcıya uzun bir zaman sabiti vermek suretiyle (düşük tarama hızını göstermektedir) veya faz-kilitli aygıtlar kullanmak suretiyle üzerine gidilebilir (Brown ve Tarrant, 1981), (Bölüm 2.4.3. e bakınız). Çok az sayıdaki firma, spektoradyometreleri seri olarak üretmektedir, çünkü çoğu zaman özel uygulamalar için, sipariş üzerine imal edilmektedir. En son bir aygıt, 'Surrey' spektoradyometresi, Şekil 2.16 gösterilmektedir.



Şekil 2.16 Surrey Spektoradyometresi.

Bu cihaz, katod-ışınları tübü üzerinde çalışılmak için geliştirilmiştir, fakat bütün kararlı kaynaklar için kullanılabilir (Brown ve Tarrant, 1981). Kaynaktan gelen ışık, ön optikleri tarafından, çift monokromatöre iletilir; monokromatör de, bir fotoçoğaltıcıdan dar bir dalgabandının geçişine izin verir. Fotoçoğaltıcı tübün çıkışı, tüp-kullanıcı sinyal ile eş zamanlı olmuş bir örnekleme algılayıcısına beslenmektedir. Böylece, tüp çıkışı seçilen bir periyot süresince örneklenir ve başlangıç parlaması veya sonuç parlamasının birbirlerinden ayrı olarak incelenmesine olanak sağlar. Örnekleme algılayıcısının çıkışı, masaüstü bilgisayarı tarafından kaydedilir. Bu bilgisayar aynı zamanda, bir kademeli-motor sayesinde dalgaboyu-tarama mekanizmasını kontrol etmektedir. Öncelikle bilinen kaynağın taraması yapılır ve okumalar bilgisayarda saklanır, böylece taramanın bitmesini takiben bilinmeyen kaynağın SPD si yazıcı da basılır. Renk de hesaplanıp bastırılabilir. Retro-aydınlatma ünitesinde, kuruluş sırasında kullanılabilir. Işık, monokromatörden tersine geçebilir; böylece monokromatör sisteminin gördüğü CRT yüzeyinin alanını kesin olarak belirleyebilir.

Bu cihaz 380-760 nm sınırları arasındaki görünür dalgaboyları menziline çalışmaktadır ve 5 cd / m² lik ekran aydınlatmaları için uygulanabilir. Renk ölçümleri için kullanıldığı zaman, x ve y de ± 0.001 doğruluk mertebesi elde edilebilir (CIE 1931 sistemi).

2.6.3. Renk Ölçümü

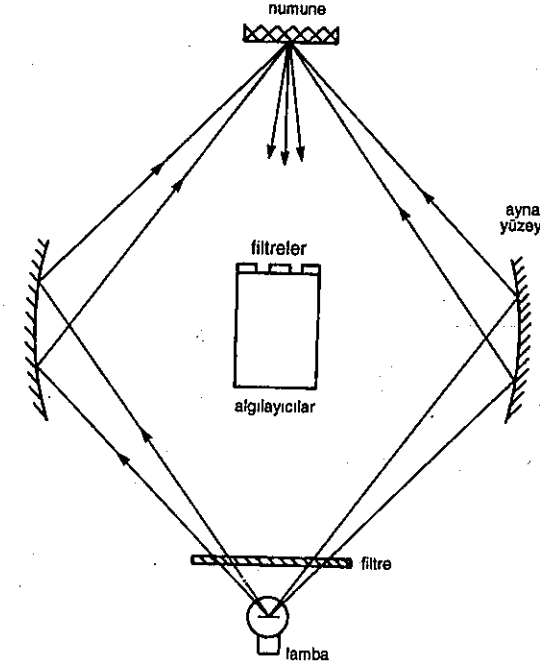
2.6.3.1. Prensipler

Renk ölçümü, basınç ya da viskozite gibi fiziksel büyüklüklerin ölçümüne benzemez; çünkü renk fiziksel bir cisim değildir; görme işleminin bir parçasıdır. Aynı zamanda psikofiziksel bir olaydır ve renk ölçmek istersek, olayın bu yönünü de unutmamamız gerekmektedir. Renklerin doğal yapısı, yazar tarafından kısaca başka yerlerde de tartışılmıştır (Tarrant, 1981). Konuya yeni aşına olanlar, Wright (1969) Judd ve Wysecki (1975) nin konu hakkında yazmış oldukları çok güzel ders kitaplarına da göz atmaları yararlı olacaktır. Renklerin ölçülmesinde birçok sistemler uygulama halindedirler; (örneğin, CIE sistemi ve türevleri, Lovibond sistemi (Chamberlin, 1979) ve Munsell sistemi), biz, bu kitapta bütün bu sistemleri detaylı olarak anlatmaktansa, kendimizi CIE 1931 sistemi hakkındaki bazı noktalara odaklayacağız (Commission Internationale de l'Edairage). Burada 1931, ana orijinal sistemi simgelemektedir. Halen bu temele dayanan 6 farklı sistem pratik uygulama halindedir.

Günümüzde, kuvvetli kanıtlar, gözlerimizin gündüz boyunca, kırmızı, yeşil ve mavi renklere denk düşen üç set görme alıcıları yolu ile işlevini gördüğünü söylemektedir (Geniş bir renk yelpazesi, bu üç rengi karıştırmak suretiyle elde edilebilir) ve bu renklere karşı gelişen tepkiler aritmatiksel olarak toplanır. Öyleyse, üçlü bir fotometre yapmak suretiyle (reseptör (alıcı) mekanizmasındakilere tekabül eden spektral hassasiyet eğrilerine sahip olan her kanal) gözlerimizin işlevine benzer, fiziksel ölçümler yapabilmemiz mümkün olabilecektir. Fakat bu durum, gözlerimizin bazı dalgaboylarına gösterdiği negatif tepkimelerden dolayı yapılamaz. Ancak, kırmızı, yeşil ve maviye denk düşen fotohücre/filtre bileşenlerini üretmek mümkündür ve bu bileşenler, basit matris denklemleri ile (belli renk sınırları içerisinde) insan gözü renk-bağdaştırma fonksiyonları ile ilgili olabilir.

Bu prensip, fotoelektrik kalorimetrelerde veya 'tristimulus kalorimetrelerinde' kullanılmaktadır. Bir örnek Şekil 2.17 de verilmektedir.

Örnek, bir lamba ve filtre bileşimi ile aydınlatılır. Bunlar 'Standart aydınlatıcılar' olarak tanımlanan cihazlardan bir tanesinin SPD'si ne sahiptirler. Numuneden yansıyan ışık bir filtre setinden geçerek fotoçoğaltıcıya aktarılmaktadır. Bu filtre seti çok hesaplı bir şekilde tasarlanmış olup, üç filtre/fotoçoğaltıcı spektral hassasiyet bileşenleri, insan renk-bağdaştırma fonksiyonlarıyla özdeşleşebilir. Bunun karşılığında her tepkimeyi ölçmek suretiyle ve bir matris hesaplaması yaparak, CIE 1931 sistemindeki (veya türevlerindeki) renk özelliği bulunabilir. Günümüzdeki birçok cihazlar, bu hesaplamalardaki işçiliği ortadan kaldıran mikroişlemcilerle çalışmaktadırlar, böylece yüzey renginin belirlenmesi hızlı ve kolay bir şekilde gerçekleştirilebilir.



Şekil 2.17 Tristimulus kalorimetresi

Bunlara bağlı olarak kalorimetrik ölçümler, bütün tüketim endüstrilerinde geniş ölçüde kullanılmaktadır; imal edilmiş ürünlerin renkleri çok sıkı bir şekilde kontrol edilmektedir. Çok yüksek bir kesinliğe ulaşmak mümkündür, böylece ölçülebilecek minimum renk farkı, insan gözünün algılayabileceğinden biraz daha küçüktür. Şuna dikkat edilmelidir ki, bütün yüzeylerin doğrusal karakteristikleri vardır ve böylece eğer bir numune, farklı görüş açıları/aydınlatma geometrileri olan iki cihazda ölçülmüşlerse, farklı sonuçların beklenmesi gerekir. Bu cihazların (Şekil 2.17 de olduğu gibi) diyagramları onları çok basite indirgemektedir. Gerçekten de filtre/fotoçoğaltıcı bileşiminin spektral hassasiyetinin, çok yüksek doğrulukta kontrol edilmesi ve ölçülmesi gerekmektedir; yeni baştan bir kalorimetreyi yapmaya çalışmak, ekonomik değildir. Önemle belirtilir ki, burada dikkat çekilen noktalar, çok etkileyici bir konu olan kalorimetrelerin tam bir anlatımı değildir ve hiç kimse referans kitaplarından birtanesini okumadan, renk ölçülmesi konusuna girmemelidir.

2.7. Optik Özelliklerin Ölçülmesi

Transparan malzemeler, içlerinden geçen ışın demetlerini özellikle hızlarını değiştirmek suretiyle etkilemektedir; kırılma indisi bunun bir ölçüsüdür. Bu bölümde, bu tip etkileri kontrol eden malzeme özelliklerinin ölçüm teknikleri üzerinde duracağız.

2.7.1. Refraktometreler

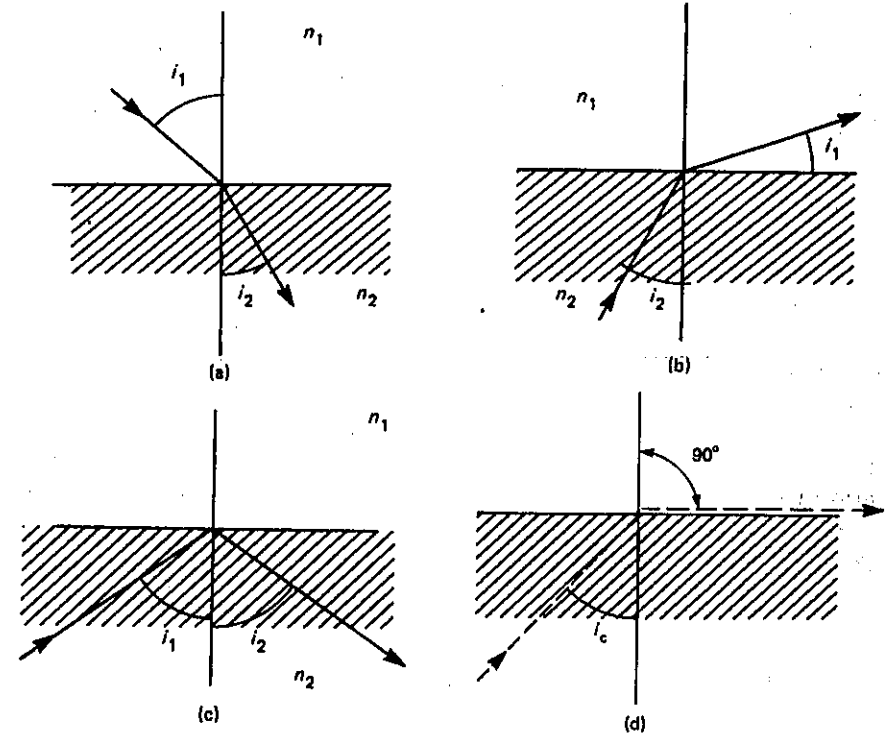
Şeffaf malzemelerin kırılma indislerinin çok hassas ölçülmesi, optik cihazların dizaynı için hayati önem taşımaktadır; ancak kimyasal çalışmalar için de değeri çok büyüktür. Bir maddenin kırılma indisinin bilinmesi, organik maddelerin hem tanınması, belirlenmesinde çok yararlıdır; dolayısıyla refraktometre bilimi, en fazla kimya laboratuvarlarında kullanım alanı bulmaktadır. Britton gazların kırılma indisini kullanarak, trilenin havadaki konsantrasyonunu belirlemeye çalışmıştır; fakat bu deney, bir girişim tekniği gerektirdiğinden burada tartışılmayacaktır. Eğer ışık daha az yoğunluktan, daha yüksek yoğunluğa sahip optik ortama geçtiği zaman, (örneğin havadan, cam içersine) o zaman, kırılan demetin açısı, geliş açısına ve iki ortamın kırılma indislerine Snell kanununa göre bağlıdır (Şekil 2.18 a).

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin(i_1)}{\sin(i_2)}$$

Bu şekilde teorik olarak, hava ile temas halinde olan bilinmeyen bir maddenin kırılma indisini, bu açıları ölçmek suretiyle ve havanın kırılma indisini de 1 kabul ederek (aslında 1.00027 dir) bulabiliriz. Pratikte, katı bir cisim için, paralel olmayan iki yüzeye sahip bir parça kullanmamız gerekmektedir ve bu durum bu levhalar arasındaki açıyı da ölçmemizi gerektirir. Bu metot, basit bir masa spektrometresi yardımı ile uygulanabilir. Sıvı örnekler, bu şekilde boşluklu bir prizma sayesinde ölçülebilir, fakat bu metod çok güç olup oldukça fazla sıvı hacmi gerektirir. Buna karşılık, birçok refraktometreler kritik açı etkisini kullanmaktadırlar. Işık, yoğun bir ortamdan, daha az yoğunluktaki bir ortama geçtiği zaman, kırılabilir (Şekil 2.18 (b)) eğer, i_2 açısı çok geniş olursa, o zaman ışın yoğun ortamdan çıkamaz ve tamamen içeriye doğru yansımaktadır (Şekil 2.18 (c)). Kırılmadan, iç yansımaya geçiş çok keskin bir biçimde olmaktadır; ve olayın meydana geldiği i_2 açısının değeri, 'kritik açı' olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.18d). Eğer bu açıya i_c dersek, o zaman

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{\sin(i_c)} \quad \text{olacaktır, ve}$$

i_c yi belirlemek suretiyle, n_2 bilindiği takdirde n_1 bulunabilir.

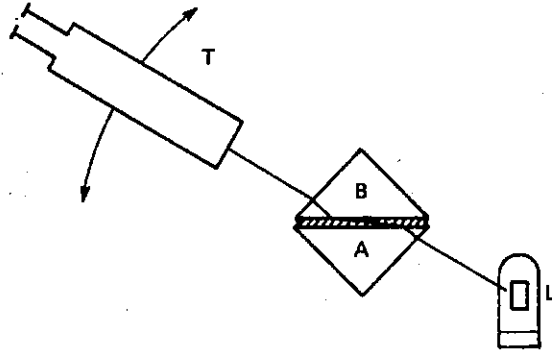


Şekil 2.18 (a) Bir ışının, az yoğun bir ortamdan yoğun ortama geçişinde meydana gelen kırılma (b) ışının yoğun ortamdan, az yoğun ortama geçişinde meydana gelen kırılma (c) toplam iç yansıma; (d) Kırılmış ışının tam yüzeye çıkışına denk gelen kritik açı durumu.

2.7.1.1. Abbé Refraktometresi

Bu prensibi kullanan bir Abbé refraktometresindeki temel parçalar Şekil 2.19 'da gösterilmektedir. Deneye tabi tutulan sıvı A ve B prizmaları arasındaki dar alana yerleştirilmiştir. Genellikle bir sodium lambasından (L) gelen saçılmış monokromatik ışık, A prizmasına girer ve dolayısıyla sıvı tabakasına, farklı açılardan düşer. Buna bağlı olarak, ışık, kritik açı tarafından keskin bir şekilde sınırlandırılmış değişik açılardan B prizmasına girecektir. Bu ışık sonra (T) teleskobuna geçer ve teleskobu dairesel olarak çevirdiğimiz zaman, kritik açıda keskin bir bölünme sınırı görülür; alanın bir yarısı parlak olup diğer yarısı tamamen koyudur. Teleskop parlak/koyu sınırındaki çapraz hatları sıralamak üzere oynatılır ve kırılma indisi, buna direkt olarak bağlanmış kalibrasyonu yapılmış bir skaladan okunur. Bu kalibrasyon aynı zamanda,

ışınlar B prizmasını terk ettiği zaman, cam/hava kırılmasını da hesaba katmaktadır.



Şekil 2.19 : Abbé refraktometresi

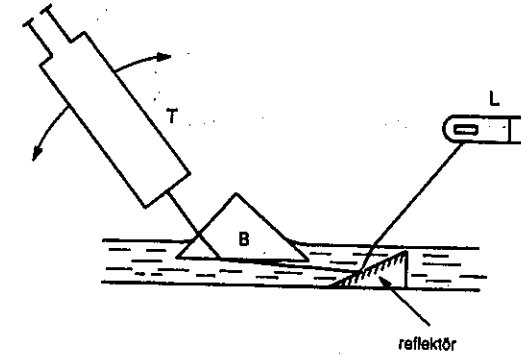
Kullanılması kolay olduğu halde, bu cihaz kırılma indisi ölçümlerini karışık hale getiren bütün problemleri içerir.

Şunlar not edilmelidir :

- (1) Bütün optik malzemelerde, kırılma indisi dalga boyu ile doğrusal olmayan bir biçimde değişmektedir. Dolayısıyla ya monokromatik kaynaklar veya dengeleme aygıtlarının kullanılması gerekir. Yüksek doğruluk gerektiren çalışmalarda, monokromatik kaynaklar değişmeyen bir şekilde kullanılmaktadırlar.
- (2) Birçok sıvının, kırılma indisleri de sıcaklıkla önemli ölçüde değişmektedir ve çok doğru çalışmak için, sıcaklık kontrolü gerekir.
- (3) Kırılma indisi, konsantrasyon ile değiştiğinden, konsantrasyonla çözeltilerle, (özellikle yüzey gerilimi ve yerçekiminin etkisi ile homojenliği bozulmaya eğilim gösteren şekerli çözeltiler gibi) yapılan çalışmalarda problemlerle karşılaşılabilir.
- (4) Kritik-açı cihazlarıyla ölçülebilen kırılma indislerinin sınırı, A prizmasının kırılma indisi ile sınırlı kalmaktadır. Bu tip ticari cihazlar, 1.74 değerine kadar kırılma indisi ölçmeye yeterlidirler.
- (5) Görüntü cihazlarındaki açık/koyu alan sınırı, böyle şiddetli kontrastları içerir; öyleki, üzerlerinde bazen çarpaz hatların sıralanması zor olmaktadır.

2.7.1.2. Abbé Refraktometresinin Geliştirilmiş Biçimi

Örnek olarak, çok miktarda sıvı mevcut ise, Şekil 2.19 da gösterilen A prizması kullanılmayabilir ve B prizması sadece sıvının içersine batırılabilir. Aydınlatma düzenlemeleri şekil 2.20 de gösterilmektedir. Bu tip cihazlara, çoğunlukla 'daldırma refraktometreleri' ismi verilmektedir.

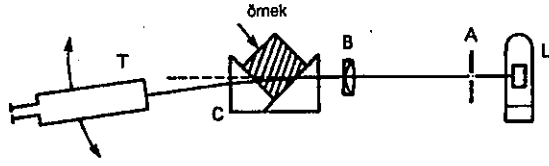


Şekil 2.20 : Yansıtmalı Daldırma Refraktometresi Bu cihaz, ışığın B prizmasına, yalayarak giriş yapmasına imkan verir.

Çok sayıda okumaya ihtiyaç olduğu, veya bir işlemin sürekli kontrolü gerektiği zaman, otomatik Abbé refraktometresi kullanılabilir. Optik sistem, esas olarak görüntü cihazındaki sisteme benzerdir; ancak tek farkı, açık/koyu sınırını belirlemek için teleskobu bütünüyle oynatmak yerine, objektif mercek sabit tutulur ve fark bulucu bir algılayıcı, bir kademeli motor kontrolü altında, görüntü düzlemi boyunca taranmaktadır. Algılayıcının, sınırda ani aydınlanma değişimine olan tepkisi, onun pozisyonunu ve böylece kırılma indisinin belirlenmesine yolaçar. Doğruluk payını sağlamak üzere, sınır her yönde taranmakta olup, ortalama pozisyon alınmaktadır.

2.7.1.3. Katı Numunelerin Refratometre İşlemi

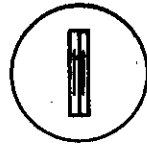
Bir örnekten büyük bir parça elimizde varsa, onun bir açı altında, iki yüzünü optik olarak parlatmak mümkündür ve sonra, masa spektrometresi ile bir monokromatik ışının oluşturduğu sapma ölçülebilir. Bu işlem zor ve pahalıdır. Hilger-Chance refraktometresi, optik camların kırılma indislerini belirlenmesi için tasarlanmıştır ve kabaca parlatılmış iki dik açılı düzlem yüzeyi gerektirmektedir. Bu sistem sıvılar için de kullanılabilir.



Şekil 2.21 Hilger-Chance Refraktometresi.

Optik parçalar Şekil 2.21 de gösterilmektedir.

(A) yarığından gelen monokromatik ışık (B) merceği tarafından toplanır ve V şekilli prizma bloğundan (C) geçer. C bloğu, yüzeyleri arasında son derece hassas 90° lik bir açı sağlamak amacıyla iki prizmanın, birbirlerine kaynatılmasından meydana gelmektedir. Çıkan ışık, (T) de teleskoba girmektedir. Örnek bloğu yerine konulduğu zaman, çıkan ışığın pozisyonu örneğin kırılma indisine bağlı olacaktır. Eğer, örneğin indisi, V bloğunun indisiden daha büyükse, ışın yukarıya doğru sapma gösterecektir; eğer düşükse sapma aşağıya doğru olacaktır. Teleskop, kesin ışın yönünü belirlemek üzere oynatılır ve kırılma indisi, kalibrasyonu yapılmış bir skaladan okunabilmektedir. Asıl cihazda, teleskop, yansıtıcı bir prizma ile, dönen bir kol üzerine takılmıştır, böylece teleskop ekseninin yatay olması sağlanmaktadır. Ortasında bir kıl çizgi olan geniş yarık (slit), A da kullanılmıştır ve teleskop gözü, odak düzleminde iki doğru ile belirtilmiş olup, böylece merkez kıl çizgi, büyük hassasiyetle doğruların aralarına yerleştirilebilir (Şekil 2.22).



Şekil 2.22 Teleskop doğru olarak ayarlandığı zaman oluşan alan görüntüsü.

Kırılmadan, örneğin esas gövdesi sorumlu olduğundan, (sadece yüzeyleri değil), V bloğunun üzerine birkaç damla sıvı damlatmak mümkündür, böylece kabaca parlatılmış numune üzerinde, mükemmel optik temas sağlanabilir. V-bloğu yanal plâkalarla donatılmış olup sıvı örnekler için bir çanak oluşturmaktadır.

Optik camların ölçülmesinde kullanıldığı zaman, 0.0001 mertebesindeki bir doğruluk elde edilebilir. Bu rakam aslında çok yüksektir, ve Abbé refraktometresine bağlı olarak ele alınan noktaların hatırdan çıkartılmaması gerekir. Cihazın, ışınları hava/cam yüzeylerinden dik ya da dik duruma yakın bir açı ile geçirdiğine dikkat çekilmektedir; böylece, sıcaklık ve nemin, havanın kırılma indisindeki değişimler üzerine olan etkileri azaltılır.

2.7.1.4. Düzensiz Şekildeki Katılar

Düzensiz şekilli katıların, kırılma indisleri, katıları aynı kırılma indisine sahip olan bir sıvı içersine batırmak suretiyle teorik olarak bulunabilir. Bu durum olunca, sıvıyı geçen ışın demetleri, katı ile karşılaştıkları zaman sapma yapmaz, fakat doğrudan doğruya geçerler, böylece, sıvı-katı sınırları tamamen kaybolur. Uygun bir sıvı (ya da çözelti) farklı kırılma indislerine sahip sıvıları birlikte kullanarak hazırlanabilir. Uyumluluk sağlayan bir kırılma indisi bulunduğu zaman, sıvının kırılma indisi, bir Abbé refraktometresi ile ölçülebilir. Uygun sıvılar Longhurst tarafından verilmişlerdir (1974) :

	n
Benzen	1.504
Nitrobenzen	1.553
Karbon bisülfid	1.632
α - monobromonaftalin	1.658

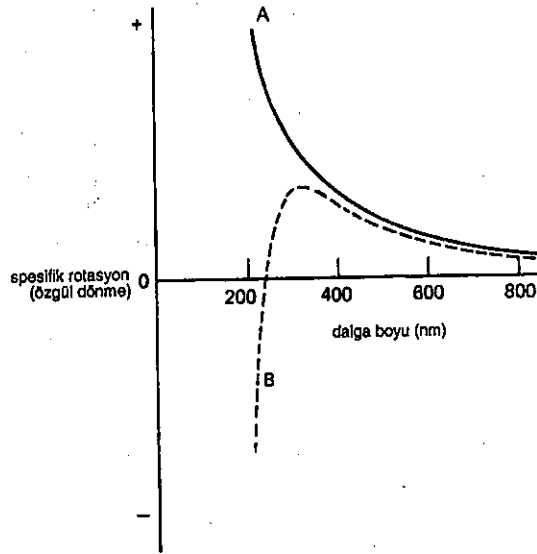
Yazar, bu işlemi tavsiye etmemektedir. Çok güzel bir seminer konusu olabilir; ancak pratikte bu sıvılar yüksek ölçüde toksiktirler, uçucudur ve çok kötü kokuları vardır. Bundan başka, işlem bütünüyle renksiz katı ve sıvılara bağımlıdır; şayet elemanlardan birtanesinde bir renk izi varsa, sınırların gözden kaybolacağı kesin kırılma indisi uyumunu (eşdeğerliğini), tayin edebilmek zor olacaktır.

2.7.2. Polarimetreler

Bazı çözeltiler ve kristaller, düzlemsel polarize bir ışın demeti, içlerinden geçtiği zaman, düzlemin rotasyon yapması özelliğine sahiptirler. Bu olay

'optik aktivite' ismiyle bilinmektedir, ve sıvılarda, sadece simetrisi olmayan moleküller ile meydana gelmektedir. Buna göre, az sayıdaki elemanlar, bu özelliği göstermektedirler; fakat ticari önem taşıyan bir grup, örneğin şekerler, bu işlevi görürler. Dolayısıyla, optik aktivitenin ölçülmesi tekniği, çözeltilerin şeker miktarlarını belirlemede 'elegant' bir yöntem olmaktadır. Bu tekniğe, 'polarimetre', eski adıyla 'Sakkarimetre' tekniği denilmektedir.

Polarimetre, kimyasal analize uygulanan en eski fiziksel metotlardan birisini teşkil etmektedir ve en az yüz seneden beri kullanılmaktadır. Orijinal cihazların hepsi görüntü cihazlarıdır; son senelerde fotoelektrik cihazlarının ortaya çıkması da, bu çok basit ve ucuz cihazların uygulamasını pek etkilememiştir.



Şekil 2.23 Dalgaboyuna bağlı olarak spesifik rotasyonun değişimi
A: Tipik Şeker
B: Eski haline dönen steroid

Bir sıvı içinde, polarizasyon (kutuplanma) düzlemi, sıvı içerisinde 1 miktarı kadar gidildiğinde, bir θ açısı kadar döndüğü zaman,

$$\theta = \alpha \cdot c \cdot l$$

olur.

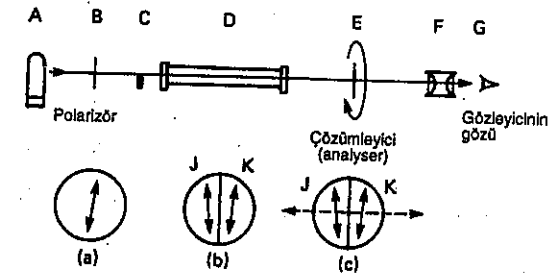
Burada, c optik olarak aktif maddenin konsantrasyonu ve α da, madde için 'Özgül dönme' dolarak tanımlanan katsayıdır. Bütün saf maddelerde, dalga boyunun azalması ile beraber ölgül dönme katsayısında (Specific Rotation

Coefficient), hızlı bir artış olur, (Şekil 2.23) ve bu sebepten, monokromatik ışık kaynakları, her zaman kullanılırlar (Düşük-basınçlı sodyum lambası). Bazı steroid'ler dalgaboyuna bağlı olarak ölgül dönmenin anormal davranışını göstermektedir, fakat 'Spektropolarimetre' bu kitabın ilgi alanı dışındadır.

2.7.2.1. Laurent Polarimetresi

Bu cihazın, ana optik elemanları Şekil 2.24 de gösterilmektedir. Çalışma en iyi şekilde, çözelti kabını gerçekleştirmeden önce tasarlamakla açıklanabilir.

Monokromatik bir A kaynağından gelen ışık, bir B polaroid yaprağı içersinden geçmektedir, böylece polarize olmuş düzlem oluşturmaktadır. Daha sonra, ışık demetinin yarısını kapayan, yarım-dalga levhasına rastgelmektedir. Bu yarım dalga levha etkisi, içinde geçen ışığın kutuplanma düzlemini hafifçe değiştirmektedir; bu durum Şekil 2.24.b de gösterilmektedir. Eğer, çözelti tübü (D), sistemde yoksa, ışık E noktasında ikinci bir polaroid plaka ile karşılaşmaktadır. Bu plaka o şekilde takılmışdır ki, ışık demeti çevresinde dönebilmektedir. (F) gözetleme deliğinden bakıldığı zaman, E düzleme dönünceye kadar alanın iki yarısı, eşit olmayan bir parlaklıkta (Şekil 2.24(c) de gösterildiği gibi), belirecektir.



Şekil 2.24 Laurent Polarimetresi

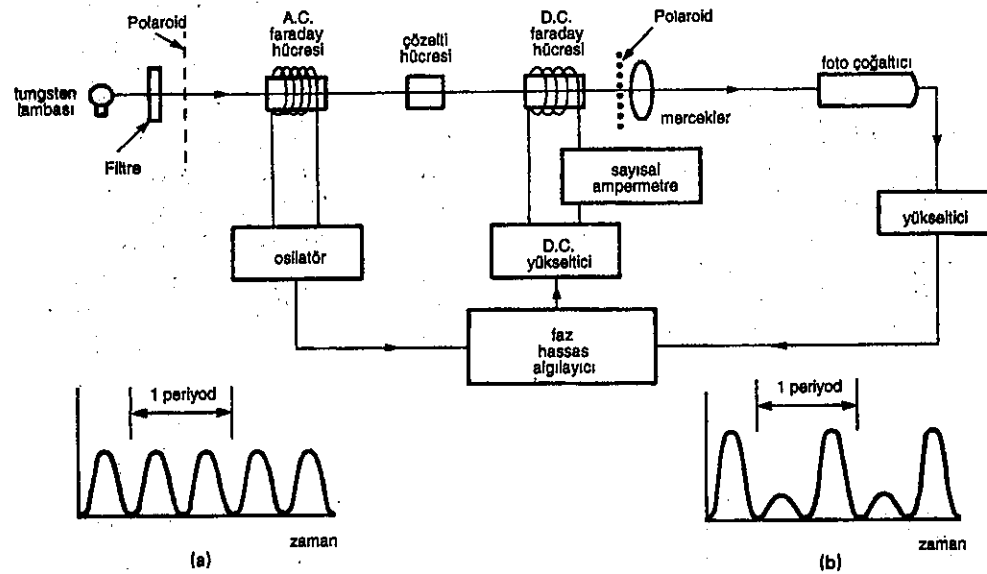
- B geçişinden sonra düzlem-polarize olmuş ışık
- C geçişinden sonra, alandaki polarizasyon yönleri
- Kesikli ok, örnek olmadan, aynı parlaklığa sahip olan düzlemi göstermektedir.

J ve K içindeki düzlemler sadece küçük bir açı miktarı kadar farklı olduklarından, eşit parlaklığın durumu, çok kesin bir şekilde değerlendirilebilir. Eğer, bu durumda (E) analizörünün konumu okunursa, çözelti tübü (D) ye-

rine koyulabilir ve işlem tekrarlanarak θ dönmesi belirlenebilir. Çözelti tübünün uzunluğu bilindiğinden, eğer özel dönme bilinirse çözeltinin konsantrasyonu bulunabilir.

2.7.2.2. Faraday-Etkisi Polarimetresi

Faradayın keşfetmiş olduğu birçok fiziksel olay arasında, camın bir manyetik alan etkisinde zayıf bir biçimde optik olarak aktif hale gelmesi de bulunmaktadır. Bu keşif, bir Faraday-etki polarimetresinde kullanılmasına kadar, yüz sene boyunca teknolojiye bir katkı sağlamamıştır. Şekil 2.25 'te bu cihazın temel optik parçaları görülmektedir.



Şekil 2.25 Faraday etkisi polarimetresi

(a) Fotoçoğaltıcı sinyali (Numune olmadan)

(b) Fotoçoğaltıcı sinyali (dengelenmemiş dönme ile beraber)

Düzlemsel-kutuplanmış monokromatik ışığı elde etmek için bir tungsten lambası, filtre ve polaroid kullanılmaktadır. Bu ışık daha sonra bir 'Faraday hücresinden' geçirilmektedir (Bir bobin içinde yeralan, sade bir cam bloğu). Bu hücre kutuplanma düzlemini ortalama pozisyonundan 3° kadar saptıran 380 Hz lik bir salıngaç vasıtasıyla enerji alır.

Şimdi, bir süre için hücre içerisinde çözelti olmadığını ve ikinci Faraday hücresinde de akım olmadığını varsayarsak, bu ışık ikinci polaroid üzerine

herhangi bir etkiye maruz kalmadan düşecektir. Bu durum, ortalama pozisyonu çapraz kestiğinden ve her salıngaç çevriminde ışık geçiriminin iki adet darbesi olduğundan, fotoçoğaltıcı, salıngaç frekansının iki misli büyüklüğünde bir sinyal meydana getirecektir (Şekil 2.25(a)). Eğer optik aktif bir numune, hücre içersine konulursa, dönme hareketi şekil 2.25(b) de gösterilen durumu ortaya çıkartacaktır ve ay-rica salıngaç çıkışı gibi aynı frekans mertebesinde bir bileşen oluşacaktır. Fotoçoğaltıcı sinyali bir faz-hassas devre içinde, salıngaç çıkışı ile karşılaştırılmaktadır, böylece her dönme hareketi, bir d.c. çıkışı vermektedir. Bu çıkış ikinci Faraday hücresine, çözelti tarafından üretilen dönmeye karşı gelmek için beslenir ve yeterli kazanç sağlayarak, numunenin meydana getirdiği dönme tamamen yeniden meydana getirilir. Bu koşulda, ikinci hücredeki akım, dönmenin ölçüsünü verecektir; bu ise, uygun olarak kalibre edilmiş bir ölçü cihazında görülebilecektir.

Bu düzenleme, çok hassas yapılabilir ve 1/10000 mertebesindeki bir dönme, çözelti içersinde, çoğunlukla 1 mm uzunluğunda kullanılabilen kısa bir yol mesafesi sağlayarak algılanabilir. Polarimetre haricinde bu teknik, açılmalarda ölçülmesinde, çok kesin bir metot teşkil eder.

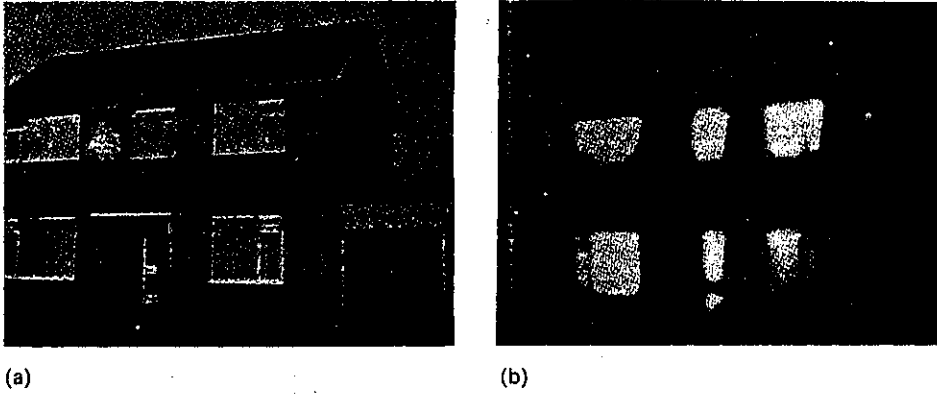
2.8. Isısal Görüntüleme Teknikleri

Kaynaklar ve objeler hakkında çok daha önemli bilgiler onları görünür ışıktaki gözleyerek değil, fakat yayınladıkları kızıl-ötesi ışınlarla izlemek suretiyle elde edilebilir. Planck yayılım kanunundan bildiğimiz gibi

$$P_{\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 [e^{C_2/\lambda T} - 1]}$$

(Burada p_{λ} , λ dalgaboyunda, bir cisimden yayımlanan güçtür, T mutlak sıcaklık, C_1 ve C_2 de sabitler olmaktadır), çevremizdeki, normal hava sıcaklığında bulunan cisimler önemli ölçülerde ışın yayınlamaktadırlar; fakat yayımlanan ışımlar kızıl-ötesi menzilin çok dışarsında kaldığından, çoğumuzun, bunlardan haberi yoktur. Cisimler tarafından yaklaşık 20°C (293K) sıcaklığında yayımlanan dalga boyu, yaklaşık $10\text{ }\mu\text{m}$ civarında olup, insan gözü, sadece $0.4-0.8\text{ }\mu\text{m}$ sınırları içersinde, ışığa karşı duyarlıdır. Kızıl-ötesi ışıma hassas bir optik sistem kullanmak suretiyle, ısı yayılımı incelenebilir ve şiddeti, cisimlerin yüzey sıcaklıklarına bağlı olduğundan, bir cisim veya kaynak üzerindeki sıcaklıkların dağılımı görünür hale getirilebilir. Elverişli koşullarda, 1 K dan az yüzey sıcaklıklarında bile, sıcaklık değişimlerini yakalamak mümkündür. Dolayısıyla bu teknik, çok büyük öneme sahiptir: örneğin bir evin duvarlarının sıcaklığını belirlemek suretiyle, en çok ısı

kaybının olduğu yerler bulunabilir. Şekil 2.26 bu durumu göstermektedir: (a) bir evin normal koşullardaki fotoğrafı (b) aynı görüntünün ısısal görüntü teknikleri kullanılarak elde edilmiş şekli. Pencerelerden ve kapıda meydana gelen ısı kaybına bağlı yüksek sıcaklıklar hemen belli olmuştur. ısısal görüntüleme, hastaların vücutlarındaki, yüzey sıcaklıklarındaki değişimleri ortaya çıkarmak, böylece dolaşımdaki aksaklıkları belirlemek için de kullanılmaktadır; aynı zamanda karanlıkta çalışabildiği için askeri sahada da, çok önemli uygulama alanı olup, mühendislik de her türlü kullanım imkânlarına sahiptir.

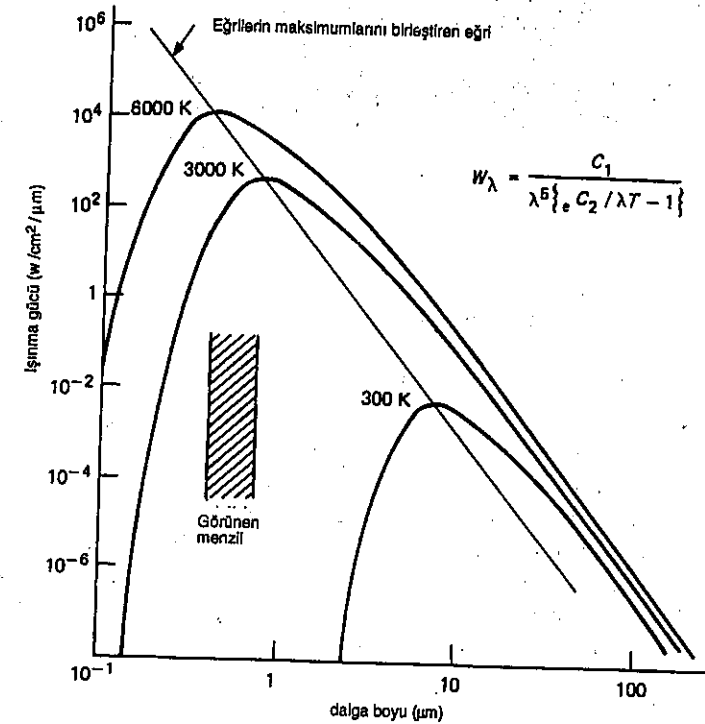


Şekil 2.26 : Bir eve uygulanan ısısal görüntüleme teknikleri (Agema Infrared System'in müsaadesiyle)

Bu teknik hakkında çok iyi bir döküm Lawson'un (1979) 'Elektronik Görüntüleme' kitabında verilmektedir; Şekil 2.27 ve Tablo 2.3, bu kitaptan alınmıştır. 300 K civarındaki, bir cismin spektrumu, 10 μm genişliğinde bir tepeye sahipse de, spektrumu oldukça geniştir. Fakat atmosfer, 5-8 μm civarında ve 13 μm üzerinde etkili bir biçimde ışık geçirmez. Bu demektir ki, pratikte, kullanılan bantlar 3-5 μm ve 8-13 μm sınırlarında bulunmaktadır. Tablo 2.3 den de görüldüğü gibi, 8-13 μm bandı arasında daha fazla enerji imkânı olduğundan ve dışarda kullanıldıkları zaman daha az güneş ışıması olacağından, algılayıcıların hassasiyeti 3-5 μm band aralığında çok daha iyidir ve pratikte iki bant aralığı da kullanılır. Nicholas (1968), bir üçlü dalga bandı sistemini, görünür 2-5 μm ve 8-13 μm sınırlarını kullanarak geliştirmiştir, fakat bu teknik henüz ticari olarak cihaz teknolojisine aktarılmamıştır.

'Karacisim' ışımasından (blackbody radiation) konuşulurken, hatırlamamız gereken husus, hiçbir yüzeyin 1.0 yayılım katsayısına sahip ol-

madığıdır, (çoğu zaman daha düşük), ve böylece yüzey sıcaklıkları ve ısı enerjisi arasında kesin bir ilişki yoktur. Gün ışığında yansıyan güneş enerjisi, yayımlanan güç üzerine eklenir ve bir başka karışıklık kaynağı olur. Ancak, tekniğin asıl önemli yanı, mutlak sıcaklıkların bulunmasından ziyade, sıcaklık farklarını tanımasıdır. Tekniğin temeli, uygun dalgabandına hassasiyet gösteren bir çeşit televizyon kamerası kullanması ve sinyali, normal bir televizyon ekranına yansıtmasıdır. Çoğunlukla, farklı şiddetleri göstermek için birçok renkler kullanılmaktadır. Ana problem 'uygun dalgaboyuna duyarlı' deyimi içinde yatmaktadır. Burada, işleme giren quantum enerjileri çok düşük olup, televizyondan gösterim için, hem süratte, hem de çözünürlük derecesinde yeteri kadar iyi bir tepki üretebilmek amacıyla, çok hassas algılayıcı sistemlerinin kullanılmaları gerekmektedir. En çok kullanılan algılayıcı, 'piroelektrik vidicon' tübüdür. Bu da, geleneksel bir elektron tarama yöntemiyle okunabilen kızıl-ötesi görüntüsü, bir piezoelektrik hedef üzerinde oluşmaktadır (Piroelektrik etki sayesinde yük modeli üretilmektedir).



Şekil 2.27 Planck Kanununun logaritmik ölçekde gösterimi

TABLO 2.3 : Farklı dalgalarda solar ve karacisim yayınıması
(Lawson dan, 1979)

Dalgaboyu bandı (μm)	Solar yayınımanın tipik değeri (Wm^{-2})	300 K de karacisimden yayınıması (Wm^{-2})
0.4 - 0.8	750	0
3 - 5	24	6
8 - 13	1.5	140

Kamera, alışlagelmiş bir televizyon kamerasına benzemektedir; yalnız merceklerinin uygun dalga bantlarında geçirgenlik göstermesi gereklidir; dalga bantları geçirgenliği için genellikle germanyum kullanılır. Çok çeşitli çizgisel ve matris tarama teknikleri geliştirilmiştir (Lawson, 1979 a bakınız), ve yükbağlaşımlı (Charge-coupled) aygıtların gelişimiyle, bu tekniği kapsayan algılayıcılar ticari olarak kullanılabileceklerdir.

Bu tipdeki sistemlerin, araştırma alanlarının dışında da geniş kullanım olanakları vardır ve en büyük dezavantajları fiyatlarıdır. Çözünürlükleri, optik standartlara göre iyi değildir; fakat birçok uygulamalarda, bunun önemi küçüktür; en büyük öneme, farklı cisimlerdeki küçük sıcaklık farklarını ortaya çıkartmak suretiyle sahip olmaktadır.

3. NÜKLEER CİHAZ TEKNOLOJİSİ

D. Aliaga KELLY

3.1. Giriş

Nükleer cihazlar, radyoaktif maddelerden veya nükleer hızlandırıcılardan neşredilen parçacıkları veya çeşitli ışınları ölçme durumlarına göre sınıflandırılır. Yayınlanan parçacık ya da ışınlar, alfa parçacıkları, beta parçacıkları, elektronlar ve pozitronlar, gama ve X-ışınları, nötronlar ve protonlar, döteryum gibi ağır parçacıklardan meydana gelmektedirler. Nötrino, mezon gibi daha birçok parçacık vardır; fakat bunların incelenmesi yüksek-enerji araştırma laboratuvarlarında sınırlı kalmaktadır, ayrıca çok özel sistemleri gerektirir; bu kitapta bunlara değinilmeyecektir.

Yapılan ölçümlerde önemli bir faktör parçacıkların ya da ışınların enerjileridir. Enerji birimi elektron volt (eV) olarak ifade edilir ve değeri 1eV den milyonlarca eV değerleri (MeV) arasında bulunabilir. Çok düşük enerjilere sahip olan nötronlar (0.025eV) termal nötronlar olarak isimlendirilirler, çünkü enerjileri, normal sıcaklıklarda gaz partiküllerinin enerjileriyle karşılaştırılabilir. Fakat, başka nötronlar 10 MeV veya daha yüksek enerji değerlerine sahip olabilirler. X-ışınları ve gama ışınları birkaç eV den MeV ye, ve bazen GeV (10^9 eV) ye çıkan değerlerde bulunabilir.

Bir özel algılayıcının ve algılayıcı sistemin seçimi, özel bir proje için optimum bir sistem seçilirken dikkate alınması gereken geniş sayıdaki faktörlere bağlıdır. Öncelikle algılanacak parçacık ya da radyasyon, olay sayısı enerjilerin ölçülüp ölçülmeyeceği, benzer ya da benzer olmayan tipteki arka fon (background) ölçümü ile olan girişimin ele alınması gerekmektedir. Sonra, bu özel duruma uygun olan, algılayıcının fiyat ve bulunabilirliğini de dikkate alarak seçimini yapmak gerekir. Elektronik ünitelerin seçimi, fiyat ve elverişlilik koşullarıyla, aynı zamanda gereken bilgiyi verecek bir çıkış sinyali üretme ihtiyacı ile belirlenmektedir. Kaydedilmesi gereken nokta odur ki, parasal imkânlar sınırsız da olsa, algılayıcı seçimi belli bir uzlaşmayı gerektirmektedir; çünkü hiçbirisi mükemmel değildir.

Kullanılacak olan radioaktivite kaynağının da dikkate alınması gerekmektedir ve güncel olanların listesi Tablo 3.1 ve 3.2 de verilmektedir. Özellikle X-ışınları floresan analizinde kullanılan diğer bazı kaynaklar Tablo 4.1 de verilmiştir.

3.1.1. Sayım İstatistiği

Herhangi bir ölçümün değişebilirliği (variability) standart sapma (σ) ile ölçülmektedir. Standart sapma, çok iyi bilinen metodlarla yapılan baskı (rep-

licate) belirlemelerinden elde edilebilir. Radyoaktivite ölçmelerinde, doğal bir oynama vardır; çünkü radyoaktif bozunmalar, poisson dağılımı ile açıklanan rastgele bir biçimde olmaktadır. Bu dağılım, N sayıda bir çok olayın standart sapması (σ) nın, N nin kareköküne eşit olduğunu söyler.

$$\sigma(N) = \sqrt{N} \quad (3.1)$$

Matematik uygulamalarda, kolaylık olması açısından, poisson dağılımına, normal (Gaussian) yaklaşımı, genellikle uygulanmaktadır. Genellikle, 20 sayısından büyük, N sayıdaki olay için geçerli olan bu yaklaşık metod, ortalaması N ve standart sapması $\sqrt{N}$ olan, özel bir normal dağılımdır. Çoğunlukla, ilgi, standart sapmadan ziyade, standart sapmanın hızına yönelmiştir (= Birim zamandaki sayım sayısı):

$$R' = \frac{N}{t} \quad (3.2)$$

Burada t, gözleme zamanı olur. Bu denklemde, zamanın hata payının gözardı edilebilecek derecede, çok hassas bir şekilde bilinmesi gerekmektedir.

Sayım hızındaki standart sapma $\sigma(R')$, hata ilerlemesinin (error propagation) alışlagelmiş yöntemleriyle hesaplanabilir:

$$\sigma(R') = \frac{\sqrt{N}}{t} = \left(\frac{R'}{t}\right)^{1/2} \quad (3.3)$$

Pratikte, bütün sayaçların hiçbir radyoaktif kaynak olmadığı zaman bir arkafon sayma hızları (B) vardır. Radyoaktif kaynağın olması durumunda, sayım hızı R_0 a yükselir. O zaman, sadece kaynaktan gelen sayım hızı

$$R = R_0 - B \quad (3.4)$$

olarak belirtilir. Hata-ilerleme metodlarıyla, R nin standart sapması aşağıdaki şekilde hesaplanabilir :

$$\sigma(R) = \left(\frac{R_0}{t_1} + \frac{B}{t_2}\right)^{1/2} \quad (3.3)$$

Burada t_1 ve t_2 sırasıyla kaynak + arkafon, ve arkafon sayım hızlarını göstermektedir. Pratik sayma zamanları kaynağın ve arkafon'un aktivitesine bağlıdır. Alçak-seviye sayımları için kuvvetli kalkan kullanmak, sayacın bileşenlerini dikkatli seçmek, ters-çakışma (anti coincidence) sayaçlarını kullanmak ve çok geniş sayıda örnek almak suretiyle arkafon sayısı miktarını düşürmek gerekir. Kaynak ve arkafon için, verilen bir zamanda optimum bölünme

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{1}{1 + \left(\frac{R_0}{B}\right)^{1/2}} \text{ ile verilmektedir.} \quad (3.6)$$

Tablo 3.1 Genel Kullanım İçin Radyasyon Kaynakları

İzotop	Yarı ömür	Yayınlama (enerjiler-MeV)			
		Beta $E_{\max}$	Gama E_{av}	Alfa	
^3H (Tritium)	12.26 sene	0.018	0.006	Nil	Nil
^{14}C	5730 sene	0.15	0.049	Nil	Nil
^{22}Na	2.6 sene	0.55	0.21	1.28	Nil 0.511 MeV yokoluş
^{24}Na	15 saat	1.39	1.37	Nil	Nil
^{32}P	14.3 gün	1.71	0.69	Nil	Nil Saf beta yayınlayıcısı
^{36}Cl	3×10^5 sene	0.71	0.32	Nil	Nil Yayınlanan betalar fisyon ürünlerini simgeler.
^{60}Co	5.3 sene	0.31	0.095	1.17 (100)	1.13 (100) Nil Radyografide kullanılır
^{90}Sr	28 sene	0.54	0.196	Nil	Nil Saf beta yayınlayıcısı
^{90}Y	64.2 saat	2.25	0.93	Nil	Nil
^{131}I	8.04 gün	0.61+	0.18+	0.36 (79)+	Nil Tıp uygulamalarında kullanılmaktadır.
^{137}Cs	30 sene	0.5+	0.19+	0.66+(86)	Nil Standart gamma kalibrasyon kaynağı
^{198}Au	2.7 gün	0.99+	0.3+	0.41 (96)	Nil Üniöersel standartlar için adapte edilmiştir
^{226}Ra	1600 sene	—	—	0.61 (22) 1.13 (13) 1.77 (25) diğer	Nil Madam Curie tarafından ortaya çıkartılan, ilk radyoaktif element olup halen tıbbi uygulamalarda kullanılmaktadır.
^{241}Am	475 sene	—	—	0.059(35) + diğerleri 5.48(85)	5.42(12) Alfa X-ışınları kalibrasyon kaynağı

Not : Parantez içersindeki sayılar, bozunmadan çıkan partikül ya da ışınmanın % sini göstermektedir. + , daha düşük seviyede yayınlanan diğer radyasyonu simgeler.

Tablo 3.2 Nötron Kaynakları

Kaynak ve tipi	Nötron Emisyonu n/s	Çıkan nötronların Birimlikli ya da kütle için yarı-ömrü enerjileri
¹²⁴ Sb-Be (γ, n)	5 × 10 ⁵ /Bq	60 gün Alçak: 30 kev Ber cevherlerinin saha çalışması
²²⁶ Ra-Be (α, n)	3 × 10 ⁴ /Bq	1622 sene 12 Mev, Av: 4 Mev Eskin. kaynağı, günümüzde Am/Be
²¹⁰ Po-Be (α, n)	7 × 10 ⁵ /Bq	138 gün Max 10,8 Mev Av 4,2 Mev Kısa ömür dezavantajdır
²⁴¹ Am-Be (α, n)	6 × 10 ⁵ /Bq	433 yr Max. 11 Mev Av. 3-5 Mev. En popüler nötron kaynağıdır.
²⁵² Cf fisyon	2,3 × 10 ⁶ /μg	2,5 yr Reaktör nötron Spekturumunu simüle eder Kısa ömür ve yüksek fiyat

Tablo 3.3 Rastgele hatalarla bir sayım seti için X² büyüklüğünün sınırları

Gözlem Sayısı	X ² in alt limiti	X ² in üst limiti
3	0.103	5.99
4	0.352	7.81
5	0.711	9.49
6	1.14	11.07
7	1.63	12.59
8	2.17	14.07
9	2.73	15.51
10	3.33	16.92
15	6.57	23.68
20	10.12	30.14
25	13.85	36.42
30	17.71	42.56

3.1.1.1. Rastgele Olmayan Hatalar

Bunlar, sayım cihazındaki hatalardan, kayıt yapılması, cihazın kullanımı veya örneğin hazırlanması sırasında yapılan kişisel hatalardan meydana gelebilir. Böyle hataların varlığı, bir seri tekrarlanan ölçmeler sonunda yapılan istatistiksel değerlendirmeler sonucunda anlaşılabilir. Donanımdaki

veya işlem esnasındaki hatalar için, analiz aynı kaynağı kullanır; kaynakdan gelen hatalar için ise, birden fazla kaynak kullanılır. İstatistiksel hatalar Gauss dağılımına uygun düşerlerken, rastgele olmayan hatalar bu dağılıma uymazlar ve bu nedenle bir seri ölçümler Gauss dağılım eğrisine uymuyor ise, o zaman rastgele-olmayan hataların varlığı söz konusu olmalıdır. Ki kare testi bir kimseye, bir seri verinin Gauss dağılımına ne derece iyi uyduğunu test etmeye imkân sağlar. Eğer rastgele olmayan hatalar bulunmuyorsa, o zaman X² in denklem 3.7 ile verilen değeri, değişik gözlem grupları için Tablo 3.3 te verilen limitler içinde kalmalıdır.

$$X^2 = \frac{\sum_{i=1}^{i=q} (\bar{n} - n_i)^2}{\bar{n}} \quad (3.7)$$

Burada $\bar{n}$, gözlenen ortalama sayım sayısı, n_i i gözlemdaki sayım değeri, q gözlem sayısıdır. Eğer bir seri gözlem, Gauss dağılımına uygun düşmekteyse, o zaman % 95 olasılıkla X², Tablo 3.1 de verilen alt değerden büyük ya da eşit olma durumu vardır; fakat :% 5 olasılıkla, verilen üst değerden büyük, ya da eşit olacaktır. Dolayısıyla, 10 adet gözlem için, eğer X², 3.33 - 16.92 sınırları dışında yer alıyorsa, o zaman çok büyük bir olasılıkla rastgele-olmayan hataların varlığı söz konusudur.

Ki kare testi uygularken, her gözlem sonunda kaydedilen sayım sayısının, istatistiksel hatayı aktivite belirlemek için gereken doğruluk payından daha az yapacak kadar geniş olması gerekmektedir. O zaman, her gözlem için 10000 sayım kayıt edilirse ve bir seri gözlem için X², beklenen limitler içersinde kalmaktadır, buradan şu sonuç çıkartılabilir ki ± 2 % den büyük rastgele-olmayan hatalar bulunmamaktadır.

3.1.1.2. Radioaktif Bozunma

Radioaktif kaynakların, tamamen rastgele bozunmak gibi bir özellikleri vardır ve bozunma hızı aşağıda verilen kanuna uygun olarak gerçekleşir :

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (3.8)$$

Burada λ , bozunma sabiti olarak tanımlanır ve N, t zamanında mevcut olan, radyoaktif atomların toplam sayısıdır.

Bu durum şu şekilde ifade edilebilir :

$$N = N_0 \exp (-\lambda t) \quad (3.9)$$

N_0 , bir rastgele sıfır zamanında, saf maddenin atom sayısıdır. Bu denklemleri kullanarak

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N_0 \exp (-\lambda t) \quad (3.10)$$

elde edilir.

Denklem 3.10, bozunma hızının zamana bağlı üstel olarak azaldığını göstermektedir. Genellikle bozunmayı, elementin yarı ömrü $T_{\frac{1}{2}}$ cinsinden tarif etmek daha uygundur. Yarı ömür, aktivitenin, $\frac{dN}{dt}$, başlangıç değerinin yarısına düşmesi için geçen zaman değeridir ve $\lambda = 0.693 / T_{\frac{1}{2}}$ olarak hesaplanır.

İki ya da daha fazla radyoaktif madde kaynak durumunda ise, her izotopun bozunma hesabı daha karışık hale gelir ve burada bahsedilmeyecektir. Bir kaynağın aktivitesi, içersindeki bozunma frekansının bir ölçüsüdür. Aktivite Becquerels (Bq) cinsinden ölçülür; ve bir Becquerel saniyede bir bozunmaya denktir. Eski birim olan curie (Ci) halen kullanılmaktadır ve, 1 Megabecquerel = 0.027 milicuries olmaktadır. Çoğu zaman, emilmiş radyasyonu da, (doz) dikkate almak önemlidir. Bu büyüklük, grey olarak tarif edilir, ve grey herhangi bir iyonlaştırıcı radyasyon için emici cisimde 1 Joule / kg enerji bırakan doz miktarıdır: bir başka şekilde 1 Gy = 1j kg⁻¹ dur. Eski birim, rad, grey'den yüzkez daha küçük olup sık olarak kullanılmaktadır.

3.1.2. Algılayıcıların Sınıflandırılması

Algılayıcıların çeşitli özellikleri önemlidir ve bir sistem seçilirken, bunların dikkate alınmaları gerekmektedir. Bu özellikler başlıca:

- (1) Maliyet
- (2) Elverişli boyutlar
- (3) Yardımcı elektroniklerin karmaşık yapıları
- (4) Enerji ölçme kabiliyetleri ve farklı radyasyon tiplerini ya da parçacıklarını ayırabilmesi
- (5) Verim, gelen parçacığın gözlenebilme ihtimali şeklinde özetlenebilir.

Algılayıcılar aşağıda verilen şekilde sınıflandırılabilir:

3.1.2.1. Gaz Algılayıcıları

Bunlar iyonizasyon odalarını, gaz orantılı sayaçları; gayger sayacını, çoktelli oran sayaçlarını, kıvılcım sayaçlarını, sürüklenme sayaçlarını ve sis odalarını içerir.

3.1.2.2. Işıltı Sayaçları

Bazı malzemeler, üzerlerine iyonlaştırıcı radyasyon ya da nükleer parçacıklar gönderildiği zaman, ışık saçıcı özelliğe sahiptirler. Saçılan ışık, çok duyarlı ışık dedektörü tarafından tutulur, ve ışık darbeleri, elektronik darbelerle dönüştürülerek yükseltilir ve ölçülür.

3.1.2.3. Cherenkov Algılayıcıları

Yüklü bir parçacık, şeffaf (transparan) bir bölgeyi, aynı bölgeden geçen ışıktan daha yüksek bir süratle geçerse, o zaman cherenkov ışığı meydana gelir. Sadece, göreceli hız $\beta = \frac{v}{c}$ ve ortamın kırılma indisi n , $n\beta > 1$ koşulunu sağlamakta iseler, ışıma meydana gelecektir. Bu şartlar olduğu zaman, cherenkov ışığı aşağıda verilen açıyla neşredilir.

$$\cos \theta = \frac{1}{n\beta} \quad (3.11)$$

Burada θ , parçacık hız vektörü ile, konik radyasyon dalga cephesinin ilerleme vektörü arasında kalan açıdır.

3.1.2.4. Katı-Hal Algılayıcıları

Bazı yarı iletken maddelerin, herhangi bir potansiyel uygulandığı veya içersinden bir iyonlaştırıcı parçacık ya da radyasyon geçtiği zaman, gaz-iyonlama odalarında olduğu gibi, iyon oluşturma yetenekleri vardır. Meydana gelen bu iyonlar, yarı iletkenin dış bağlantı elemanlarına elektronik darbeler gönderirler; ve bu darbeler yükseltilir, ölçülür ve sayılır. Bu şekilde, katı iyonlaştırma odası gibi bir aygıt üretilebilir. Bu amaçla, en çok kullanılan maddeler silisyum ve germanyumdur.

3.1.2.5. Sis Odaları

Sis odaları, eski araştırma çalışmalarında uygulanmaktaydı ve günümüzde halâ yüksek enerji laboratuvarlarında, en karışık şekillerde, iyon parçacıklarının veya radyasyonun geçtiği yolları belirlemek için kullanılmaktadır. Bu yollar, süperdoymuş gazın içersinden geçen parçacık veya radyasyo-

nun arkasında bıraktığı sıvı baloncuklarından anlaşılmaktadır.

Fotoğraf filmleri de, iyon parçacıkları veya radyasyonun geçişini belirlemek için kullanılırlar; çünkü duyarlı emülsiyonlarında gizli (latent) görüntüler oluşturmaktadırlar. Filmin geliştirilmesi (tabı) esnasında, iyon veya parçacıkların yolları üzerinde, gümüş tanecikleri belirir ve yolların görülmesini sağlar.

3.1.2.6. Plastik Film Algılayıcıları

İnce (5µm), polikarbonat plastik filmler, yüksek iyonlaştırıcı parçacıkların algılayıcıları olarak kullanılabilir. Bu parçacıklar polikarbonat filmin moleküllerinde radyasyon tahribatına yol açabilir. Bu tahribat yolları, uygun bir kimyasalla dağlanıp, mikroskop kullanılarak gözlenebilir. Alternatif olarak, iki elektrod arasında kıvılcım üretilebilir; bu elektrodlardan bir tanesi ince, dağlanmış polikarbonat algılayıcının bir tarafına yerleştirilmiş alüminize mylar (Mylar) filmidir. Dağlanmış algılayıcının delikleri arasından geçen kıvılcımlar, uygun bir elektronik ölçek kullanılarak sayılabilirler.

3.1.2.7. Termolüminesan (Işıl Işıl) Algılayıcılar

Çok seneden beri, bazı maddeler, özellikle florürler ve seramikler ısıtıldıkları zaman ışık fotonlarını yayınlayabilecek hale gelirler ve seramikler de akkor haline geçebilir. İyonlayıcı radyasyon emildiği zaman enerjisinin büyük bir bölümü ısı oluşumuna harcanır, küçük bir kısmı ise kimyasal bağların kopmasına yolaçar. Bazı maddelerde, enerjinin çok küçük bir miktarı, yarı kararlı enerji seviyelerinde saklanır. Dolayısıyla, bu şekilde saklanan enerji, madde ileri bir tarihte ısıtıldığı zaman, görünür ışık fotonları şeklinde açığa çıkar, ve bu olay termolüminesan etki şeklinde bilinir (TL). 1950 senesinde, Daniels bu etkinin, radyasyon dozunun ölçülmesinde kullanılabileceğini ileri sürmüştü ve gerçekten, bir atom bombası denemesinden sonra bu amaçla kullanılmıştır. O zamandan beri, radyasyon dozimetresi olarak, TL ye olan ilgi, her geçen gün artmış ve radyoaktif malzemelerle veya radyasyonla çalışan personelin taşıdığı fotoğraf filminden yapılan dozimetrelerin yerini almaya başlamıştır. TL İngilterede Milli Radyoloji Koruma Bürosu tarafından onaylanmış ve film arması ile birlikte, radyasyon-ölçer'i olarak kullanılması tavsiye edilmiştir.

3.1.2.8. TL. Dozimetresi İçin Malzemeler

Dozimetrede kullanılmak üzere en popüler fosfor, Lityum Florürdür (LiF). Doğal LiF, veya lityum izotopları ^6Li , ^7Li ile zenginleştirilmiş veya eksiltmiş olabilir. Ayrıca, LiF'e bir aktivatör olarak mangan (Mn) ilavesi de

yapılabilir. LiF'ün avantajları şunlardır:

- (1) 30 KeV den 2 MeV ye kadar (veya daha üstüne) geniş ve doğrusal enerji tepkimesi;
- (2) Dozun verilme hızından bağımsız olarak mR seviyesinden 10^5R seviyesine kadar dozları ölçebilme kabiliyeti. Buna doz-miktarı bağımsızlığı denmektedir.
- (3) X-ışınları, gamma ışınları, beta ışınları ve elektronlarla birlikte, termal nötronları da ölçebilme yeteneği;
- (4) LiF'ün doza karşı reaksiyonu, yaklaşık olarak doku tepkimesine eşdeğerdir; bir anlamda, vücut tepkimesiyle aynı tepkimeye sahip olması;
- (5) Düşük miktarlarda kullanılabilmesi, böylece, operatörün çalışmasını etkilemeden, onun parmaklarındaki dozu ölçmek için kullanılması;
- (6) Birçok defalar, tekrar kullanılabilir ve dolayısıyla ucuz olması şeklinde sayılabilir.

Son senelerde popüler olan, bir başka fosfor ise Mangan ile karışık kalsiyum florürdür ($\text{CaF}_2 : \text{Mn}$). Bu malzemenin, düşük doz ölçümleri için lityum florürden yaklaşık 10 kez daha hassas olduğu bulunmuştur ve 1mR lik bir dozu ölçebilir, ayrıca 10^5R doz-miktarı değerlerine kadar doğrusal tepki gösterir. Ancak, 300 KeV nin altında, doğrusal olmayıp, geniş ölçüde enerji bağımlılığı gösterir. Termolüminesans (TL) aynı zamanda çanaklar, fırın tabanları, seramik kaplar gibi arkeolojik bulguların da yaş tespitini yapmak için kullanır. Bu teknik, bir cismin çok yüksek sıcaklığa ısıtıldığı zaman, kendisinin termolüminesan gücünü kaybetmesine dayanmaktadır ve eğer cisim uzun bir süre sabit arkafon radyasyonuna tabi tutulursa, ortamda sakin olarak tutulduğu zamanla orantılı olarak bir miktar TL depolaması yapmaktadır.

3.1.3. Sağlık ve Emniyet

Radyoaktivite ile çalışan herkes, tehlikeleri ve miktarlarını bilmek durumundadır. Radyoaktivite duyu organları tarafından direk olarak gözlenemediğinden, uygun ölçme cihazlarını ve pozlanmayı en aza indirecek kullanım tekniklerini gerektirmektedir. Dolayısıyla, gerekli kanunlar, radyoaktif maddelerin kullanım tekniklerini belirlemektedirler.

4. Bölümde herhangi bir radyoaktif maddeyi kullanmadan önce bölgesel fabrika sorumlusuna danışma tavsiyesi ile birlikte, kuralların bir çizelgesi verilmektedir.

Dünyadaki her insan, düzenli olarak bir miktar radyasyon aldığından (insan vücudunda doğal olarak bulunan radyopotasyum ve herkesin maruz kaldığı arkafon radyasyonu), normal bir vücut yılda 300 mikro-grey (μGy) (30

milirad'a eşdeğer) doz civarında radyasyonu almaktadır. Bundan dolayı, radyasyon pozlanmasını sıfıra indirmek imkânsız olurken, herhangi bir radyoaktif kaynak kullanımı da, normal hayatta karşılaştığımız durumlardan, daha fazla doz almamıza neden olmaz.

Radyoaktif kaynakların kullanımından doğabilecek tehlikeleri azaltmanın üç ana metodu vardır:

- (1) kalkanlama : Kurşun gibi uygun kalınlıkta bir malzemenin, çalışan kişi ve kaynak arasına yerleştirilmesi;
- (2) Mesafe : Kaynak ile çalışan kişi arasındaki mesafenin artması, radyasyonun şiddetini azaltır.
- (3) Zaman : İşçinin vücudundaki toplam doz miktarı, radyasyon sahasında kişinin geçirdiği süreye bağlıdır. Bu zamanın, gereken işlemi yapabilmek için minimum süreye indirilmesi gerekir.

Yukarda belirtilen hususlar, kapalı kapsüllerde korunan kaynaklar için geçerli olmaktadır. Eğer radyoaktif kaynaklar, kullanım esnasında vücutla temas etme durumunda iseler, o zaman bu durumun önlenmesi için açık kaynaklarla olan çalışmaların bir eldiven gözü içersinde operatör dışarda kalacak şekilde gerçekleştirilmeleri gerekmektedir. İç pozlanmaya karşı temiz çalışmak ve dış pozlanmaya karşı ise iyi ve doğru cihaz donanımı iyi yöntem olmaktadır.

Radyoaktif tehlikeleri kontrol edebilen cihazlar, radyoaktif parçacık ya da radyasyona tabidir. Birçok kaynak tarafından yayımlanan gama ışınları için pekçok cihaz mevcuttur. Herhalde, en ucuz ve güvenilir cihaz, uygun bir metal kapakla yalıtılmış gayger cihazıdır. Metal kapak, gama yayımlayan kaynaklardan gelen farklı enerjilerdeki ışınları, insan vücudunun tepkimesine benzetecek şekilde, sayacın cevabını geliştirmek üzere kullanılmıştır. Piyasada (toptancılarda) bu tip cihazlar bulunabilir. Daha geliştirilmişleri, iyonlaştırma odalarına dayanmakta olup, çok daha geniş şiddet sınırlarında çalışabilirler ve dolayısıyla daha pahalıdır. Beta yayımlayıcıları için, kolaylıkla emilen beta parçacıklarının, ince bir pencereden sayaca girişine izin veren Gayger cihazı en ucuz monitörü teşkil eder. Daha pahalı olan monitörler, daha geniş pencere girişlerine sahip ısıltı sayaçlarıdır. Bu şekilde örneğin radyoaktif beta saçılmalarının meydana geldiği kaza durumlarında veya yayılmış kaynakların kontrolünde bu monitörler faydalı olmaktadır. Alfa parçacıklarının algılanması özellikle zordur; çünkü bunlar en ince pencereler tarafından bile emilebilmektedir. Bunun için, çok ince pencereli gayger sayaçları veya normal atmosfer basıncında havada kullanılan, açık-alınlı iyonlaştırma odaları uygulanabilir. Daha pahalı ısıltı sayaçları veya yarı iletken algılayıcılar da bu işlem için düşünülebilir.

Nötronlar ise çok daha fazla gelişmiş ve pahalı monitörlere ihtiyaç gösterirler. Bu monitörler, iyonizasyon odalarından ve BF_3 veya ^3He taşıyan orantılı sayaçlardan, ^6LiI , ^6Li - cam veya plastik ısıltı sayaçlarına kadar, nötron enerjilerine bağlı olarak sınıflandırılabilir.

3.2. Algılayıcılar

3.2.1. Gaz Algılayıcıları

Gaz-dolum algılayıcıları, akım okuma özelliği olan veya gelen tek parçacıkları haber veren şeklinde grublandırılabilir. Birinci grup akım iyonlaştırma odaları, ikinci grup ise sayıcı veya darbe iyonlaştırma odaları, orantılı sayaçlar ve Gayger sayaçlarıdır. İyonlaştırma odasının amacı her zaman aynı olup, gaz içersindeki iyon çiftlerinin, oluşum hızını ölçmektir. O zaman, elektrotlara uygulanan gerilimin, doymayı sağlayacak kadar büyük olmasından emin olunmalıdır; bir başka şekilde pozitif ve negatif iyonların tekrar birleşip sıfırlanmaları fazla olmamalıdır.

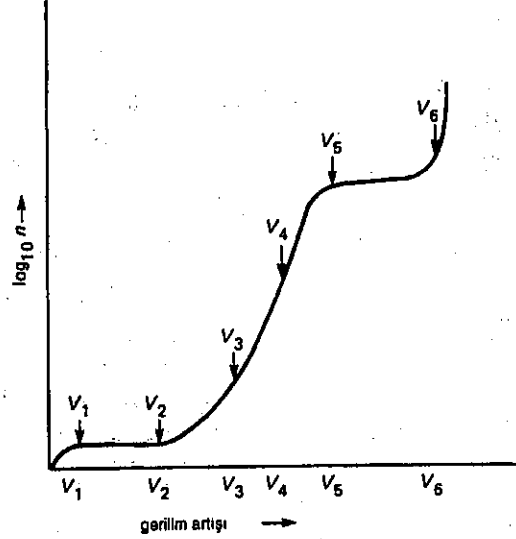
Bu üç gaz dolum algılayıcısı arasındaki ilişkiyi anlamak için, çok tipik geometrik bir özelliğe sahip, aralarında gaz bulunan iki aynı eksenli silindirden meydana gelen bir sayıcı göz önüne alalım. Çoğunlukla ince bir telden olan iç silindir (anot), dış silindire (katod) göre pozitif potansiyeldedir. Şimdi iyonlaşmanın, uygun bir kaynaktan, örneğin (10 elektron üreten bir kaynaktan), gaz içersinde meydana geldiğini düşünelim. Problem, anoda kaç elektronun (n) geleceğine karar vermektir. Şekil 3.1, sayaca uygulanan gerilimin (V), n nin logaritması ($\log_{10}n$) ile olan ilişkisini vermektedir. V çok küçük olursa (volt veya daha düşük seviyelerde), tekrar birleşmeden dolayı, 10 elektronun hepsi anot teline ulaşamaz. V_1 de kayıp, ihmal edilebilir değerde olup doyuma ulaşmışdır ve darbe 10 elektronu da kapsar. V yi arttırmaya devam edersek, V_2 ye kadar n genellikle 10 veya 100 volt sınırlarında, 10 sayısında kalır.

Bu noktada, elektronlar çarpışmalar arasında yeterli seviyede enerji kazanır ve iyonlaşma için katettikleri yol sonunda, çarpışmalar neticesinde başka atomlarında iyonlaşmasına sebep olmaya başlar. O zaman n sayısı, V ile üstel olacak şekilde artmaya başlar ve her ilk elektron, anot teline yakın yerlerde ikincil elektron çıkışı meydana getirir.

V_2 ile V_3 arasındaki bir potansiyelde, çoğalma sabittir; fakat bunun üzerinde, tele ulaşan elektronların son sayısı, başlangıç iyonlaşmasıyla artık orantılı değildir. Burası sınırlı oranlılık bölgesidir, V_4 . Bunun üzerinde V_5 ten V_6 ya doğru, tek bir iyonun bütün sayacı deşarj edebileceği Gayger bölgesine gelinir. Burası, bütün sayaç boyunca boşalımın olduğu bölgedir ve başlangıç iyonlaşmasıyla orantılı olmayan bir çıkış darbesi vermektedir. V_6 nın üzerin-

de, sayaç sürekli bir boşalım devresine girer. n nin oranı, çıkış darbesindeki elektron sayısının, herhangi bir gerilimde başlangıç iyonlaşmasına olan oranı, Gaz-Yükseltme Faktörü, A olarak tarif edilir ve değeri iyonlaşma odası bölgesinde 1 den, orantılı bölgede $10^3 - 10^4$ e ve hemen Gayger bölgesinin altında 10^5 e ulaşmaktadır.

İyonlaşma-odası algılayıcıları, değişik tipte ve boyutlarda olabilir. Silindirik geometri, en çok uygulananı olup bunun yanısıra paralel levha odaları



Şekil 3.1 Gerilimdeki artışa gaz sayacın tepkisi

da çoğunlukla araştırmalarda ele alınmaktadır. Bu odalar genellikle radyasyon-korunma monitörlerinde kullanılmaktadır, çünkü yeryüzündeki radyasyonu incelemek için yeteri kadar duyarlı olacak şekilde tasarlanabilmektedir ve ayrıca, çok yüksek radyasyon alanlarında, örneğin bir izotop ışın üreticinin yanında bile aşırı yüklenmemektedirler. Bunlar, sağlık fiziki alanında uzun zaman süresince, odadan geçen iyonlaştırıcı radyasyon miktarını toplayarak ölçmek için kullanılmaktadır. Ve bir örnek olarak, X-ışınları ve hızlandırıcı cihaz bulunduran ünitelerde çalışan personel üzerinde üretilen radyasyonu ölçmek için personelin taşıdığı küçük tümler odası (Small integrating chamber), verilebilir.

Orantılı sayaçlar, iyon odalarından çok daha hassastır ve bu durum, zayıf kaynaklı alfa ve beta parçacıklarının ve düşük enerjili X-ışınlarının

sayımına olanak sağlar. Bitiş-camı orantılı sayacı (end-window proportional counter) 2π geometrik özelliği sağladığından, düz kaynakların sayımında özellikle faydalıdır (sayaç, 2π açısı altında giriş yapan parçacıkları saymaktadır). Silindirik orantılı sayaçlar radyokarbon yaş ölçümlerinde kullanılırlar; çünkü, düşük enerjili ^{14}C beta parçacıklarının algılanmasına ($E_{\text{max}} = 156 \text{ keV}$) ve hatta, trityumun ^3H , beta parçacıklarına ($E_{\text{max}} = 18 \text{ keV}$) karşı da duyarlılıkları vardır.

3.2.1.1. Geiger-Müller Algılayıcıları

Gayger sayacı, nükleer radyasyon sahasında geçmişte olduğu gibi günümüzde de en çok kullanılan araçtır. Birçok çekici özellikler taşımakta olup bazıları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- (1) Çok ucuz maliyet. Yarı-iletken algılayıcıların veya ısıltı algılayıcılarının fiyatının ancak bir kesiri kadardır.
- (2) Gayger-Müller tüpünün çıkış sinyali, orantılı, ısıltı veya yarı-iletken algılayıcılardan çok daha yüksek olup 1 V mertebesinde. Bu demektir ki elektronik sistemin maliyeti, diğer sayaçların maliyetinin bir bölümü kadardır. Yüksek gerilim beslemesi ile beraber bir Gayger-Müller tüpü, pek çok ölçek birimini minimumda veya hiç yükseltme yapmadan tutabilir.
- (3) Çıkarma (discharge) mekanizması çok hassas olduğundan, sayacın hassas hacmine giren tek iyonlayıcı parçacık, boşalmayı (discharge) tetikleyebilir.

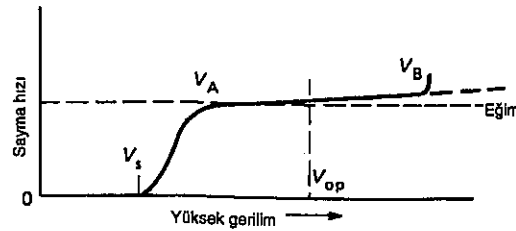
Bu avantajlarla beraber, bazı dezavantajları da vardır :

- (1) İyonlaştırıcı parçacıkların enerjilerini ayırt edemezler.
- (2) Organik gazlar yerine, halojenlerin doldurulması ömrünü uzatmış olmasına karşın yine de sonlu bir ömre sahiptir. Holojen tüpler 10^{13} veya daha fazla sayım yaparlarken, organik gaz tüpleri 10^{10} sayısında kalmaktadır.
- (3) Bir Gayger-Müller sayacında, bir boşalmanın başlangıç zamanı ile, ikinci bir boşalmanın olabileceği zaman arasında belli sonlu bir periyot vardır. Bu periyoda 'ölü zaman' ismi verilir ve $100 \mu\text{s}$ civarındadır. Şuna dikkat edilmelidir ki, bu sayaçlarda sayım hızının, ölü zaman düzeltilmesi, gözlenen sayım hızının sadece küçük bir yüzdesi olacak şekilde ayarlanması gerekir.

Bu düzeltme, aşağıda verilen formülden hesaplanabilir :

$$R' = \frac{R}{1 - R\tau}$$

Burada R , birim zamanda gözlenen sayım hızıdır, R' birim zamandaki gerçek sayım hızıdır, τ sayacın ölü zamanıdır. Herhangi bir sayaç için, ölü zaman, iki kaynak kullanarak bir seri ölçümler yapmak suretiyle gerçekleştirilebilir. Gayger tübü imalatçıları, normalde bir sayacın ölü zamanına dikkat çekerler ve bunu bir elektronik devre sayesinde uzatmak alışlagelmiş bir işlemdir; böylelikle toplam ölü zaman süresi sabit olur fakat, tübün ölü zaman değişimlerinin hepsinden daha büyük olur, çünkü bireysel darbeler arasında ölü zaman değişebilir. Şekil 3.2 den, sayım hızı özellikleri anlaşılabilir.



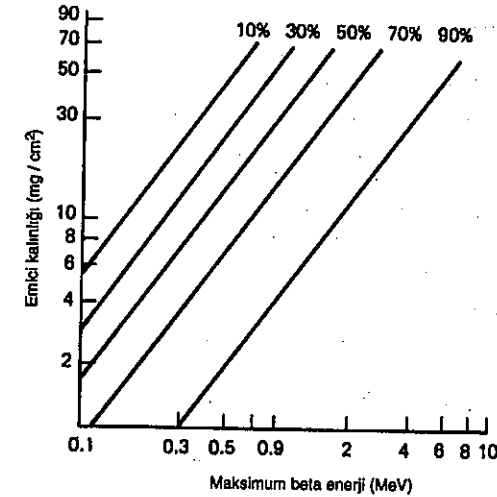
Şekil 3.2 Geiger sayacı tepkime özellikleri

Başlangıç gerilimi V_s , sabit bir radyoaktif kaynağa bakan tübe uygulandığı zaman, onu sayıma başlatan gerilim olur. Gerilim artırılınca, sayım hızı plato'ya gelinceye kadar süratle artar. Burada sayım hızı V_A dan V_B ye kadar küçüktür, yaklaşık 100V için 1-5 % civarında kalır. V_B nin üzerinde sayım hızı süratli bir şekilde artar, ve tüp devamlı boşalma haline girer, bu durum sayacı bozar.

Bir çalışma gerilimi (V_{op}) plato üzerinde seçilir, böylece yüksek-gerilimdeki en ufak bir oynamanın, sayım hızı üzerindeki etkisi minimuma düşürülür.

Düşük enerjili beta ve alfa parçacıklarını, bir gayger sayacı ile saymak için, parçacıkların hassas gövdeye geçişine izin vermek ve sayacın tetiklenmesini sağlamak üzere ince bir pencerenin temin edilmesi gerekir. İnce duvarlı cam sayaçları üretilebilir; bunların duvar kalınlıkları $30\text{mg}/\text{cm}^2$ mertebelerinde olup yüksek enerjili beta parçacıkların sayımına uygundur, (Bu yazıda,

birim alan başına düşen kütle, doğrusal kalınlıktan daha önemlidir: cam için $25\text{mg}/\text{cm}^2$, yaklaşık 0.1 mm lik kalınlığa denk düşer). Düşük enerjili beta ve alfalar için, $1.5\text{mg}/\text{cm}^2$ mertebelerine inebilen çok ince camlar imal edilmiştir. Şekil 3.3, değişik kalınlıktaki camlardan geçişi göstermektedir ve Tablo 3.4, bunun nasıl tipik kaynaklara uygulandığını söylemektedir.



Şekil 3.3 İnce Camlardan Geçirim

Alternatif olarak kaynak, sayıcı gaz ile birlikte karıştırılmak suretiyle direk olarak sayacın içersine aktarılır; şayet kaynak katı bir madde ise, o zaman, aynı şekilde sayacın içersine yerleştirilir ve sayıcı gazın sürekli olarak akışı sağlanır. Buna akışkan-sayaç metodu denir.

TABLO 3.4 İnce Pencerelelerin Geçirgenliği

Çekirdek	Maks. Enerji E_{max} (MeV)	Pencere kalınlığı için Geçirgenlik yüzdesi			
		$30\text{mg}/\text{cm}^2$	$20\text{mg}/\text{cm}^2$	$7\text{mg}/\text{cm}^2$	$3\text{mg}/\text{cm}^2$
^{14}C	0.15	0.01	0.24	12	40
^{32}P	1.69	72	80.3	92	96

3.2.2. Işıltı Algılayıcıları

Işıltı sayaçları üç ana öge içerirler, ışıltı kristali (scintillator), ışık-elektrik dönüştürücüsü (genellikle bir fotoçoğaltıcıdır) ve elektronik yükseltici; şimdi, bugün için geçerli olan bu elemanları inceleyeceğiz.

Işıltıcı, organik veya inorganik bir malzemeden yapılmış tek kristalden, plastik flor, aktive edilmiş bir cam veya sıvıdan olabilir. Şekilleri ve boyutları çok farklı olarak imâl edilebilir. NaI (Tl) en küçük ışıltı kristalidir; talyum ile aktive edilmiş sodyum iyodür (iodide) şeklinde isimlendirilir, ve tıbbi problemlerde kullanılır; ayrıca kozmik ışın araştırmalarında kullanılan binlerce metre-küp hacminde sıvı ışıltıcılarda mevcuttur.

Uygun bir malzemenin seçimi -bazılarının özellikleri Tablo 3.5 ve 3.6 da verilmektedir- birbirleriyle çekişen birçok faktöre bağlıdır. Hiçbir malzeme mükemmel olmadığından, özel amaçlar için, seçimlerinde uzlaşma, bir anlamda optimizasyon yapmak gerekmektedir.

Tablo 3.5 İnorganik Işıltı Malzemeleri

Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Kırılma İndisi (n)	Işık Çıkışı (Antrasen %)	Bozunma Sabiti (s)	Maksimum (nm) Yayınım dalgaboyu	Çalışma Sıcaklığı	Hidroskopi
NaI (Tl)	3.67	1.775	230	0.23 x 10 ⁻⁶	413	Oda	Evet
NaI (Saf)	3.67	1.775	440	0.0 x 10 ⁻⁶	303	—	Evet
CsI (Tl)	4.51	1.788	95	1.1 x 10 ⁻⁶	580	Oda	Hayır
CsI (Na)	4.51	1.787	150-190	0.65 x 10 ⁻⁶	420	Oda	Evet
CsI (Saf)	4.51	1.788	500	0.6 x 10 ⁻⁶	400	—	Hayır
CaF ₂ (Eu)	3.17	1.443	110	1 x 10 ⁻⁶	435	Oda	Hayır
LiI (Eu)	4.06	1.955	75	1.2 x 10 ⁻⁶	475	Oda	Evet
CaWO ₄	6.1	1.92	36	6 x 10 ⁻⁶	430	Oda	Hayır
ZnS (Ag)	4.09	2.356	300	0.2 x 10 ⁻⁶	450	Oda	Hayır
ZnO (Ga)	5.61	2.02	90	0.4 x 10 ⁻⁹	385	Oda	Hayır
ClWO ₄	7.9			0.9-20 x 10 ⁻⁶	530	Oda	Hayır
Bi ₄ Ge ₃ O ₁₂	7.13	2.15		0.3 x 10 ⁻⁶	480	Oda	Hayır
CsF	4.64	1.48	40	5 x 10 ⁻¹²	390	Oda	Hayır

1 Katkı maddesi parantez içinde belirtilmiştir.

2. Işık çıkış, aynı geometriye sahip, standart antrasen kristalinin ışığının yüzdesi olarak belirtilmiştir.

Tablo 3. Organik Işıltıcıların özellikleri

Malzeme	Parlitci	Yoğunluk (g/cm ³)	Kırılma İndisi (n)	Kaynama Ergime veya Yumuşama noktası (°C)	Işık Çıkışı (% antrasen)	Bozunma Sabiti (ns)	Maks Işınım dalgaboyu (nm)	Yüklem miktarı (Ağırlık % s)	H/C Hidrojen/Karbon Atomları	Tutulma uzunluğu (fem)	Önemli uygulamaları
Plastik	NE 102A	1.032	1.581	75	65	2.4	423	—	1.104	2.5	γ, α, β hızlı n
	NE 104	1.032	1.581	75	68	1.9	406	—	1.100	1.2	Çok hızlı sayım
	NE 104B	1.032	1.58	75	59	3.0	406	—	1.107	1.2	Dito, (BBQ) ⁽¹⁾
	NE 105	1.037	1.58	75	46	—	423	—	1.098	—	İle ışık pilodları
	NE 110	1.032	1.58	75	60	3.3	434	—	1.104	4.5	Dozimetre için hava çeşidi
	NE 111 A	1.032	1.58	75	55	1.6	370	—	1.103	—	γ, α, β hızlı n, vs.
	NE 114	1.032	1.58	75	50	4.0	434	—	1.109	—	Çok hızlı zamanlama
	NE 160	1.032	1.58	80	59	2.3	423	—	1.105	—	Geniş düzlemler için ucuzdur.
	Pilot U	1.032	1.58	75	67	1.36	391	—	1.100	—	Yüksek sıcaklık larda kullanımı için 150°C'ye kadar
	Pilot 425	1.19	1.49	100	—	—	425	—	—	—	Çok hızlı zamanlama
Sıvı	NE 213	0.874	1.508	141	78	3.7	425	—	1	—	Çerenkov Dedektörü
	NE 216	0.885	1.523	141	78	3.5	425	—	1.213	—	Hızlı n (PSD) ⁽²⁾
	NE 220	1.306	1.442	104	65	3.8	425	29 % 0	1.171	—	α, β için sayım
	NE 221	1.08	1.442	104	55	4	425	Gel	1.669	—	İçten sayım, dozimetre
	NE 224	0.887	1.505	169	80	2.6	425	—	1.669	—	α, β için sayım
	NE 226	1.1	1.38	80	20	3.3	430	—	1.330	—	γ, hızlı n,
	NE 228	0.71	1.403	99	45	—	385	—	0	—	γ, nötrona duyarlı
	NE 230	0.945	1.50	81	60	3.0	425	14.2 % D	2.11	—	n, (Heptan bazlı)
	NE 232	0.89	1.43	81	60	4.0	430	24.5 % D	0.984	—	Döleryumlanmış
	NE 233	0.874	1.506	117	74	3.7	425	—	1.96	—	Döleryumlanmış
	NE 235	0.858	1.47	350	40	4	420	—	1.118	—	α, β için sayım
	NE 250	1.035	1.452	104	50	4	425	32 % 0	2.0	—	Geniş tanklar için
									1.76	—	İçten sayım
										—	dozimetre

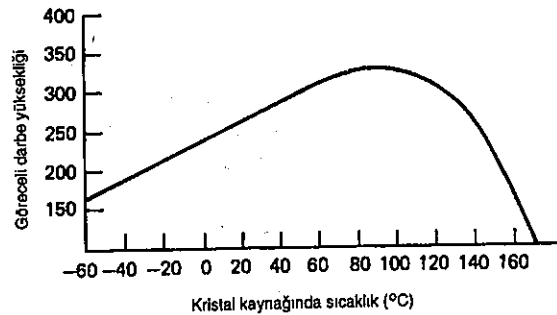
1 BBQ dalgı uzunluğu öteleyicisidir.
2 PSD Darbe Şekli ayırıcısıdır.

3.2.2.1. İnorganik ışıltıcılar

NaI (Tl), çok senelerden beri hala, en iyi gama ve X-ışınları algılayıcısı olmak durumundadır, çok hidroscopik olduğundan, nemden korunması için tamamen kapalı olarak saklanması gerekir.

Şoka karşı hassastır; ancak Harshaw tarafından yeni geliştirilmiş şekli, kalıptan çekilmiş NaI (Tl), (polisin) daha dayanıklı olup özellikle büyük hacimler için pahalıdır. Genelde ışık çıkışı, emilen foton enerjisi ile orantılı olup böylece darbe yüksekliği foton enerjisinin bir ölçüsüdür ve bilinen foton enerjileri ile kalibrasyonu yapıldığı zaman, cihaz spektrometre olarak kullanılabilir. NaI (Tl) un, bozunma ömrü, 230 ns civarında olup, düşüktür; fakat, talyum katkısı olmadan, NaI ün, sıvı azot sıcaklığında (77K) çalışıldığı zaman sadece 65 ns lik bir bozunma ömrü vardır.

En çok kullanılan bir başka inorganik ışıltıcı CsI dür. Talyum ile aktive edildiğinde, CsI (Tl), oda sıcaklıklarında NaI (Tl) dan % 10 daha düşük mertebelerde ışık çıkışı verecek şekilde kullanılabilir, fakat diğerine göre şok dayanımı çok daha iyidir. Emme katsayısı da NaI (Tl) göre daha büyüktür ve bu iki özellik, onun uzay taşıtları ve satelitlerde kullanılmasına yol açar; çünkü düşük kütle ve kalkış esnasındaki şok dayanımı uzay araştırmalarında aranan özelliklerdir. İnce katmanlar içersinde, dairesel bir ışık göstericisine uydurulmak için kıvrılır ve böylece topraktan gelen X-ışınlarının ölçülmesi için problarda kullanılabilir. Talyum yerine sodyum ile aktive edildiği zaman, çıkış ışığı özellikleri değişir. Çıkış ışığı CsI (Tl) de biraz daha fazladır ve sıcaklık / ışık çıkışı ilişkisi farklıdır (Şekil 3.4 e bakınız). Maksimum ışık çıkışının yaklaşık 80°C de gerçekten meydana geldiği görülür. Bu sondaj logging in bir avantajdır; algılayıcı deliğin içersine sarkıtıldıkça, sıcaklık artışı ve şok etkisi büyük bir olasılıkla görülecektir. CsI (Tl), havadaki nemden çok etkilenmediği için alfa parçacıklarının algılanmasında popüler bir algılayıcı olagelmıştır ve böylece penceresiz sayaçlarda kullanılabilmektedir.



Şekil 3.4 Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak CsI (Na) Çıkışı.

CsI (Na), normal havaya açık olduğu zaman, 5-10 MeV enerji değerindeki α parçacıklarını geçirmeyen bir katman geliştirir dolayısıyla böyle kullanılmaya elverişli değildir. CaF ve CaF(Eu), NaI (Tl) kristalinin iki misli daha fazla ışık verecek şekilde geliştirilmiş ışıltı kristalleridir, fakat sadece çok küçük kristaller üretilebilmektedir ve şimdilik üretimdeki zorluklar, kullanımı engellemektedir.

Bi₄Ge₃O₁₂ (Bizmut germanat, veya BGO), 170 keV enerjilerindeki fotonları emebilecek birçok küçük ışıltı kristaline gereksinimi olan, tıpta kullanılan taramalı tomografi cihazının şartlarını yerine getirmek üzere geliştirilmiştir. Bu kristaller, özellikle algılayıcı, fotoçoğaltıcının çıkış akımını tümlemeye başladığı zaman gecikmiş ışıltı, (afterglow) yapmazlar ve radyasyon değişimlerine çabuk olarak tepki gösterebilirler. NaI (Tl) den daha yüksek olan yoğunlukları, çıkış ışığı düşük olan (NaI (Tl) un % 8 kadarı olup, dezavantajını teşkil eder) küçük kristallerin kullanılmasına izin verirler. Buna karşılık, hidroscopik olmayıp, az bir koruma ile kullanılabilirler. CsF, çok yüksek bozunma zamanına (yaklaşık 5ns) sahip, ancak düşük ışık çıkışına izin veren (% 8 NaI (Tl)) bir ışıltı kristaldir. Tomografik tarayıcılarda da kullanılır.

LiI (Eu) özellikle nötron algılanması için kullanılan bir kristaldir. Ayrıca zenginleştirilmiş ⁶Li kullanarak, yavaş nötronları algılama kapasitesi artırılır ve çok yüksek saflıkta ⁷Li kullanarak da, nötronlara karşı duyarlı hale getirilebilir. Dolayısıyla, pahalı olmasına rağmen, çok amaçlı bir nötron algılayıcısıdır. Sıvı-azot sıcaklığına soğutulduğu zaman, hızlı nötronların algılanma kapasiteleri artmaktadır ve sistem algılayıcıya isabet eden nötronların enerjilerini belirlemek için, bir nötron spektrometresi olarak kullanılabilir. LiI (Eu), NaI (Tl) dan bile daha hidroscopik olup en büyük dezavantajını teşkil eder.

Kadmiyum Tungstat (CdWO₄) ve Kalsiyum Tungstat (CaWO₄) tek kristalleri, bazı zorluklarla birlikte büyütülmüş olup hidroscopik olmadıklarından dolayı kılıflanmadan parıltıcı olarak kullanılabilir. Fakat, kırılma indisleri yüksek olduğundan, ışığın % 60-70 lik bir kısmının, kristalde yakalanmasına sebep olurlar. CaF₂ (Eu), bütün korozyif maddelere karşı dayanıklı olup, hidroscopik olmayan bir ışıltı kristalidir. Bu özelliklerinden dolayı, yakıt elemanları işlenmesinde kullanılan korozyif sıvılarla temasda bulunsun bile veya pencereye gerek olmadan, beta algılanması için kullanılabilir. Aynı zamanda, 'Phoswich' kavramını kullanmak suretiyle gama ışınları arkafonu içersindeki, beta parçacıklarının algılanmasında, kalın bir NaI (Tl) veya CsI (Tl) veya CsI (Na) kristalleriyle beraber uygulanabilir. Phoswich kavramına göre, sadece ince CaF₂ (Eu) kristalinde meydana gelen olaylar, (kalın kristaldeki eşzamanlı olaylarla birlikte gelişmeyen) sayılmaktadırlar. Bu demektir ki, iki kristal çakışan olaylar sergilediği zaman, sadece, CaF₂ (Eu) kristalinde emilen parçacıklar ilgi alanı içinde kalmaktadırlar. Diğerleri çakışma veya darbe ayırım

metodları sayesinde geri çevrilmektedirler. Çakışma yöntemi bölüm 3.3.6.4 te daha geniş kapsamlı olarak ele alınmıştır.

3.2.2.2. Organik Işıltıcılar

İlk organik ışıltıcı, Kallman tarafından 1947 yılında, naftalin kristalinin gama ışınları yayınladığını göstermek istediği zaman ileri sürülmüştür. Daha sonra, antrasen'in algılama veriminin yükseldiği gösterilmiş ve stilben kullanılmıştır. Stilben, özellikle nötron algılanmasında faydalı olmaktadır. Organik parıltıcı karışımları, örneğin naftalin içinde antrasen çözeltisi, sıvı ve plastik çözelti de piyasaya sürülmüştür ve şimdi organik ışıltıcıların alanı çok geniştir. Plastik ve sıvı organik ışıltıcılar, genelde inorganik ışıltı kristallerinin imalatından daha ucuza gelir ve daha büyük hacimlerde yapılabilir. Genellikle inorganik ışıltı kristallerinden çok daha hızlı tepkime zamanına sahip olup, kendi ışıltısına geçirgenlik gösterirler ve büyük boyutlarda kullanılabilirler. Tablo 3.6, plastik ve sıvı parıltıcıların ana detaylarını vermektedir.

Organik ışıltıcıların, herhalde en geniş kullanım alanı sıvı-ışıltı sayımı olmaktadır; burada trityumun ^{14}C , ^{55}Fe ve diğer düşük aktiviteli, düşük enerjili beta yayımlayıcılarının, iç sayımları artan bir şekilde dikkate alınmaktadır. Birçok tipteki biyolojik numuneler, ışıltıcı ile birleştirilmektedir ve bunu yapmak yayınlanan ışığı minimum ölçüde harcayarak, minimum kimyasal ısıma sağlayarak ve minimum düzeyde güç sarfetmek kaydıyla gerçekleştirmek gereklidir. Sonuncu şart, özellikle çok sayıda numunenin varlığında önemli bir faktör olmaktadır.

Düşük beta enerjilerinde, sayaç cihazları, ışıltıcı kadar önem taşımaktadır. Fosforesans, özel küçük şişeler ve yansıtıcılar kullanılarak minimuma indirilebilir. Kimyasal lüminesans, biyolojik ve diğer numunelerle bir başka problem teşkil eder ve numuneyi gören çakışık iki fotoçoğaltıcının kullanılmasıyla tam anlamıyla ortadan kaldırılmamıştır. Bu durumun kaldırılması veya azaltılması gerekmektedir; örneğin alkalilik durumunu ve/veya peroksitleri, çözeltiyi ışıltıcı ile karıştırmadan önce asitlemek suretiyle gidermek gerekmektedir.

3.2.2.3. Yüklenmiş Organik Işıltıcılar

Bazı tipteki parçacıklar ve iyonlaştırıcı veya iyonlaştırıcı olmayan radyasyon ölçümleri yapan ışıltıcıların algılama verimlerini geliştirmek için, ışıltıcılara bazı maddelerden küçük miktarlarda, ışık çıkışına fazla zarar vermeden ilâve edilebilir. Akılda tutulması gereken şey, yaklaşık bütün durumlarda, bir organik ışıltıcıya yabancı maddeler ilâve edildiği zaman, ışık çıkışında bir kayıp meydana geldiğidir, fakat verimdeki kazancın, bu kayba

değer olduğu kabul edilebilir. Uygun katkı maddeleri Bor, (hem doğal hem de zenginleştirilmiş ^{10}B) ve gadaliniyum olarak sayılabilir. Bunlar, nötronlar için algılayıcının verimini arttıran elemanlardır. Kalay ve kurşun, gama ışınları için, hem sıvı hem de plastik ışıltıcılarda, algılama kabiliyetini arttırmak için kullanılmaktadır.

3.2.2.4. Plastik Işıltıcılar

Polystyren ve poliviniltolüen gibi bazı plâstikler örneğin, P-terfenil vs. gibi maddelerden küçük miktarlarda yüklenebilirler; bu şekilde, iyonlaştırıcı parçacıklarla veya radyasyonla bombardımana uğratıldıkları zaman ışıltılamaya başlarlar. Metil metakrilat gibi bir akrilik, ışıltılayan bir malzeme üretmek için dopinglenebilir, ancak poliviniltolüen bazlı ışıltıcılar gibi yüksek ışık çıkışı vermez. Buna karşılık, çok daha ucuz bir şekilde üretilebilir ve pekçok yüksek-enerji uygulamaları için kullanılabilir.

Plastik ışıltıcılar, çok özel deneyler için, en karmaşık kalıplara dökülerek şekillendirilebilirler ve suya, havaya, birçok kimyasal maddelere karşı olan etkisizlikleri, direk olarak ölçülecek aktivite ile temasta bulunmalarına imkân sağlar. Atom sayısı düşük bileşenlerden oluştuğu için, organik ışıltıcılar beta sayımında kullanılmak üzere NaI (TI) veya CsI (TI) gibi inorganik ışıltı kristallerine tercih edilir, çünkü bir organik ışıltıcıdan herhangi bir etkileşmeye (reaksiyona) girmeden, saçılan beta parçacıklarının sayısı yaklaşık 8 % olup, benzer NaI (TI) kristalinde, saçılan parçacık sayısı yaklaşık % 80-90'a ulaşmaktadır.

Organik ışıltıcılar X-ışınları veya gama ışınlarının algılamasında kullanıldıkları zaman, inorganik ışıltı kristalleriyle karşılaştırıldıkları zaman tepkilerinde farklılıklar göstermektedir.

Inorganik ışıltı kristallerinin genelde üç ana tepkime tipi vardır, bunlar: fotoelektrik emilme, Compton saçılması ve çift üretimidir; Bu etkiler inorganik ışıltı kristallerinin yüksek atom ağırlıklarından dolayı meydana gelir; organik ışıltıcılardaki düşük Z li (atom sayısı), karbon ve benzeri bileşenler, çok düşük enerjiler haricinde sadece Compton reaksiyonuna sebep olur; sonuçta, mono-enerjetik bir gama yayınlayıcısı için, üretilen spektrum bir Compton dağılımı olmaktadır. Gama ve X-ışınları ve ışıltı malzemeleri arasındaki temel etkileşmeler, (Price 1964 e bakınız) ve reaksiyonların incelenmesi, bu kitabın içeriği dışında kalmaktadır.

Basit Compton dağılım spektrumunu elde etme kabiliyeti, düşük şiddetlerde bir ya da iki izotopun ölçülmesi hallerinde, kayda değer kullanım alanı bulmuştur ve çok geniş bir NaI (TI) inorganik algılayıcı pahalı olabilir. Bunun bir uygulaması insan vücudunda bulunan ^{40}K ve ^{137}Cs nin ölçülmesi için kullanılan tüm-gövde sayaçlarıdır. ^{40}K bütün potasyumlarda mevcut olan doğal

aktivite kaynağıdır. ^{137}Cs ise, birçok atom bombası denemesi sonunda gökten yağın radyoaktivitenin bir sonucudur. Benzer şekilde, gübrenin potasyum miktarını ölçerken, bir plâstik algılayıcı bu işlemi, bir inorganik algılayıcıya göre çok daha ucuza halledebilir. Topraktaki nemin, uygun bir numuneden gama ışınları geçirmek suretiyle ölçülmesi, bir plâstik ısıtıcı ile, yine daha kolaylıkla gerçekleştirilebilir; çünkü, örneğin NaI (Tl) ile karşılaştırıldığı zaman, organiklerin hızlı bozunma zamanı daha yüksek sayım hızlarına ve dolayısıyla istatistik hatalarının azalmasına yol açmaktadır.

3.2.2.5. Isıltılı İyon-Değişim Reçineleri

Plâstik ısıltılı kürelerin yüzeylerini uygun şekilde işleyerek, çok küçük miktarlardaki beta-yayınlayıcı izotop çıkarımı ve sayımı büyük miktarlarda taşıyıcı sıvı kullanarak sağlanabilir. Bu taşıyıcı sıvı, yağmur suyu, reaktörlerden gelen soğutma suyu, dereler, nehirler vs. olabilir; böylece, konsantre edilmiş bir numune elde etmek için çok miktarlarda suyu buharlaştırmak gereği ortadan kalkar.

3.2.2.6. Akış Hücreleri

Çoğu zaman trityumun, ^{14}C ün, ve diğer beta-yayınlayıcı izotopların sulu ortamlarda, sürekli olarak kontrol edilmeleri gerekmektedir ve bu amaçla, Schram ve Lombaert tarafından geliştirilmiş akış hücresi ve kristal antrasen'in gerekli olduğu anlaşılmıştır. Sonuçta NE 806 akış hücresinin ortaya çıkmasına olanak sağlayan, bu hücreyi geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Standart akış hücresi tek 2-in. çaplı, düşük-gürültülü fotoçoğaltıcı üzerinde kullanılmak üzere dizayn edilmiştir ve 2 c/s arkafonda % 2 lik bir algılama verimi, 1 c/s arkafon değerinde ise % 30 luk bir algılama verimi sağlamaktadır.

3.2.2.7. Fotoçoğaltıcılar

Fotoçoğaltıcı, ısıtıcıda oluşan ışık kıvılcımlarını yükseltilmiş elektrik darbesine dönüştüren bir ayardır. Genellikle, arkayüzü düz cam olan, boşaltılmış bir tüpten meydana gelmektedir. Camın iç yüzeyi üzerine düşük 'çalışma fonksiyonu' olan, yarı şeffaf bir metal tabakası kaplanmıştır, (ışık üzerine düştüğü zaman elektron çıkartma özelliğine sahiptir.) Bu fotokatodun en geleneksel bileşimi sezyum ve diğer bazı metallerdir. Benzer malzemelerle kaplanmış bir seri daynodlar elektriksel bir optik sistem meydana getirmektedir. Bu sistem, ikincil elektronları bir daynoddan diğerine, minimum elektron

kaybı ile aktarmaktadır. Sonuç olarak anot, çoğaltılmış elektron selini toplamaktadır ve bu elektronik sisteme çıkış darbesini sağlar. Bu işlemde $10^6 - 10^7$ mertebesinde çoğaltma (gains) elde edilir. Isıltıcıdan yayınan ışığın spektrumuna bağlı olarak, ışık-hassas fotokatodun hassasiyeti, yüzey malzemesinin seçimi ile optimize edilebilir. Galyum arsenid (Ga As) kaplaması sayesinde, fotokatodun çıkarttığı tek elektronlar algılanabilir. Silikon fotodiyotlar da, parıldama ışığını algılamak için kullanılırlar, fakat bu aygıtların spektral hassasiyeti kırmızı bölgesinde olduğu için ($\sim 500-800 \text{ nm}$), ve ($\sim 400-500 \text{ nm}$) mertebesinde olan parıltıcı ışığa ters düştüklerinden, çıkış ışığı, bir silikon fotodiyodunun spektrum sahasına denk düşen, CsI (Tl) parıltıcısının kullanılması gerekmektedir. Işık algılayıcılarına 2. bölümde de değinilmiştir.

3.2.3. Katı-hal (Yarı-iletken) algılayıcıları

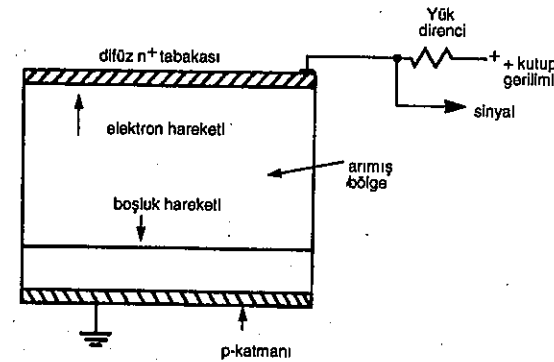
Önceleri, bir katı-hal veya yarı iletken algılayıcının çalışmasının bir iyonlaşma odasının çalışmasına benzediği düşünülmekteydi. Bu cihazların radyasyon algılayıcıları olarak kullanımları için, değişik malzemeler üzerinde araştırmalar, dünyanın birçok yerinde süregelmektedir ve en uygun olduğu saptanan iki maddenin, silikon ve germanyum olduğu bulunmuştur. Bu malzemelerin her ikisi de endüstrisinde çok yoğun geliştirilme aşamasındadır ve algılayıcıları araştıranlar, ilerleyen çalışmalardan faydalanma imkânına sahiptir. Değerli oldukları ispatlanmış, testi yapılmış diğer malzemeler, kadmiyum tellürit (CdTe), civa iyodür (HgI_2), galyum arsenit (GaAs) ve silisyum karbürdür. CdTe ve HgI_2 oda sıcaklığında kullanılabilir fakat, bugün için sadece çok küçük boyutlarda, büyük zorluklarla imal edilebilmektedir. Düşük enerjili X-ışınları algılaması ve spektrometresi için uygundur.

Bu kitapta, yarı iletken algılayıcılarının derin fiziğine inilmemesine rağmen, çalışmaları hakkında kısa bir bilgi verilecek ve çoğu kimsenin eşdeğeri olarak bildiği, iyon odaları ile karşılaştırılacaklardır. Öncelikle elektronları (dolayısıyla boşlukları) ortaya çıkartmak için yarı-iletkenlerde, gazlara göre çok daha az enerjiye ihtiyaç duyulur. Germanyumda 3eV luk ortalama enerji bir elektron-boşluk çifti oluşturmak için gereklidir (3,7 eV, silisyum için gereklidir). Ancak, gazlarda bu oluşum için, 30eV lik bir enerjiye ihtiyaç vardır. Serbest elektron ve boşlukların kolaylıkla oluşumu, atomların birbirlerine çok yakın olmasından ve elektronların, iletkenlik bandının hemen altındaki enerji seviyelerinde toplanmasından dolayı meydana gelmektedir. Gaz halde, atomlar izole edilmiştir ve elektronlar daha sıkı olarak çekirdeğe bağlıdır. Bunun bir sonucu olarak, gelen radyasyondan emilen bir miktar enerji, katılarda, gazlara göre daha fazla serbest yük meydana getirir ve istatistiksel dalgalanmalar, serbest kalan toplam yükün çok küçük bir oranına karşılık gelir. Bu durum, yarı iletken algılayıcıların, gaz dedektörlerinden özellikle yüksek enerjilerde daha iyi enerji çözünürlüklerinin olmasının temel nedenidir. Düşük enerjilerde ise, yarı iletken algılayıcıdan gelen sinyal, gaz sayacınıninkine göre, yaklaşık 10 kez daha fazla olduğundan, sinyal / gürültü oranı artmış olacaktır.

Bir yarı iletken malzemeden, verimli bir dedektör elde edebilmek için 1 cm^2 yüzeyinde 1 mm kalınlığında, bir silisyum dilimi aldığımız ve bunun yüzeylerine bir potansiyel uyguladığımız zaman, ne olacağına bakmamız gerekir. Her yüzünde, omik temas olması durumunda, bu malzemelerin direnci eğer $2000 \Omega \text{ cm}$ ise, o zaman dilim 200Ω luk bir direnç gibi hareket edecektir ve şayet 100 V, böyle bir dirence uygulandığı zaman, Ohm kamununa göre 0,5 Amperlik bir akım geçecektir.

Şimdi, silisyum diliminin üzerine radyasyon geldiği zaman, çok kısa ekstra akım oluşacaktır, fakat bu akım 0,5 A'e göre çok küçük olacağından kaydedilemeyecektir. Bu durum, gaz-iyonlaştırma odasından farklıdır, şöyleki iyon odasında, kalıcı akım çok küçüktür. Bu problemin çözümü, yarı iletken kavşaklarda yatmaktadır. Kavşakların işlevi, sabit bir sıcaklıkta, verilen bir yarı iletken için, kütle-hareket kanunu, elektron ve boşluk derişimlerinin çarpımlarının sabit kalmalarını gerektirmektedir. Dolayısıyla, bir verici elemanla (Fosfor gibi) doping işlemi uygulamak, sadece serbest elektron konsantrasyonunu arttırmakla kalmaz, fakat aynı zamanda boşluk derişimini aşağıya çeker; böylece çarpımın sadece yarı iletken bağımlılığı şartını sağlar. Örneğin silisyumun oda sıcaklığında $n \times p \approx 10^{20}$ ilişkisi olup, n boşluk sayısını, p de elektron sayısını göstermektedir. Böylece, verici sayısının 10^{18} derişim değerine doping yapıldığı bir bölgede boşluk sayısı 10^2 ye düşecektir.

Bell laboratuvarlarından McKay, 1949 senesinde, ters kutuplanmış p-n kavşağı bir yarı iletken üzerinde meydana getirilirse, aygıt üzerinde kuvvetli bir elektrik alanı oluştuğunu ilk defa gösterdi. Bu alan serbest boşlukları p-bağlantısından uzaklaştırırken (boron ile dopinglenmiş), elektronları da n tarafından süpürmektedir (Fosforla doping yapılmış) (Şekil 3.5). Böylece boşluklardan ve elektronlardan arındırılmış, bir bölge oluşturulur. Fakat, eğer bir iyonlaştırıcı parçacık veya gamma enerji quantumu bölgeden geçerse, elektron ve boşluk çiftleri meydana gelir ve bunlar dış devrede bir akım oluşturmak üzere toplanır. Bu durum, yarı iletken bir algılayıcının temel çalışma prensibidir. Arkafon sinyali, boşluk çiftlerinin ve termal prosesler neticesinde meydana gelen elektronların toplanmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.5 Bir yarı iletken algılayıcının şematik diyagramı.

Sıvı azot sayesinde, algılayıcının sıcaklığı yaklaşık 77 K ye düşürülerek, arka fonun büyük bir kısmı giderilir, fakat pratik algılayıcılarda, diyodu meydana getirmeyen yüzeylerde, yüzey kirleticilerin (contaminant) etkisi çok zararlı olabilir. Bu problemleri önlemek için çeşitli metodlar, örneğin koruyucu halkaların (quard rings) kullanımı, problemin önemli bir bölümünü azaltmaktadır. Buna karşılık, çok küçük miktarlardaki oksijenin etkisi, algılayıcıya çok hasar verebilir; dolayısıyla pek çok algılayıcı yüksek vakum odalarında tutulur. Bir germanyum veya silisyum kristalini, lityum ile (arayer vericisi) doping yapmak suretiyle, "kristali bir elektrik alan içersinde normal sıcaklıklarda bırakmak suretiyle"; alıcılar, tamamen p tipi silisyum veya germanyuma çevrilir. Bu durum yüksek enerjili yüklü parçacıkların algılanmasına uygun, geniş algılayıcıların hazırlanmasına olanak tanır. Bu anlamda, 100 cm³ hacime kadar aynı eksenli dedektörler imal edilmiş olup bunlar önceleri NaI (Tl) ışıltı spektrometrelerinin ayırt edemediği spektrumdaki enerji çizgilerini belirleyerek, gama-ışınları spektroskopisinde bir çıkır açmıştır.

Germanyum ve Silisyumun arılaştırılması üzerine günümüzde gerçekleştirilen son çalışmalar, süper-saf kalitede dedektörlerin imalatına Lityum sürüklenme gerektirmeyecek şekilde imkân sağlamıştır. Böyle saf malzemelerden üretilen algılayıcılar oda sıcaklığından, sıvı azot sıcaklığına kadar olan aralıkta, herhangi bir kalıcı zarara uğramadan çalışabilir. Halbuki böyle durumlarda Lityum aşılmuş algılayıcılarda kalıcı zarar meydana gelir. Buna rağmen, yüzey (kontaminasyonu) kirlenmesi problemi, vakum altında çalışmayı gerektirir. Böyle malzemeler, gelmiş geçmiş en saf malzemeler sınıfındadır - yaklaşık 10¹³ de 1 kısım kirletici madde içerirler.

3.2.4. Algılayıcı Uygulamaları

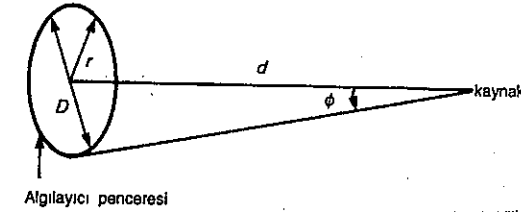
Bütün radyasyon - ölçme sistemlerinde, ölçmelere uygulanması gereken birçok ortak nokta vardır. Bunlar :

- 1) Geometri
- 2) Saçılma
- 3) Geri saçılma
- 4) Emme
- 5) Özenme (self-absorption)

GEOMETRİ

Her radyoaktif kaynak, ürünlerini her yöne doğru yayınladığı için (4 π geometrisinde), sayacın aktif hacminin, kaç parçacığı ya da quantayı toplayabileceğini hesaplamak önemlidir.

Şekil 3.6'da gösterildiği gibi bir radyasyon nokta kaynağını gözönüne alırsak, kaynaktan yayımlanan bütün radyasyon, emilme olmadığı varsayılarak, ortasında kaynağın yer aldığı hayali bir küreden geçecektir.



Şekil 3.6 Radyasyon toplanma geometrisi.

Ayrıca verilen her küre boyutu için, birim küre alanı, birim zaman başına düşen ortalama radyasyon akısı, bütün yüzey boyunca sabittir. Geometrik faktör, G toplam algılayıcı ve kaynak tarafından belirlenen 4 π (Pi sayısı) katı açının bir bölümü olarak yazılabilir. r yarıçapındaki dairesel pencereden d mesafesi uzaklığındaki nokta kaynağı için, aşağıda verilen denklem geçerlidir:

$$G = 0.5 (1 - \cos \phi) \quad (3.12)$$

$$= 0.5 \left\{ 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{r^2}{d^2} \right)^{\frac{1}{2}}} \right\} \approx \frac{D^2}{16 d^2} \quad (3.13)$$

Saçılma (Scattering)

Parçacıklar veya fotonlar, içersinden geçtikleri maddeler tarafından saçılır ve bu olay parçacık ya da fotonun cinsine, enerjisine, kütesine, katıldığı malzemenin kütesine ve yoğunluğuna bağlıdır. Burada bizim üzerinde durduğumuz şey parçacık enerjisinin veya parçacığın kendisinin, malzeme içersinden geçerken uğradığı kayıp değil, fakat radyoaktif kaynak ve algılayıcı arasında doğrusal yoldan sapan parçacıkların meydana getirdiği etkilerdir. Bazı parçacıkların, kaynağı çevreleyen malzeme tarafından emildiği bulunmuştur. Diğerleri sapma göstermiş olup, daha sonradan tekrar algılayıcı içersine saçılmıştır; böylece ışın demetindeki parçacık sayısını arttırmışlardır.

Bazı parçacıklar, algılayıcıya gelen demete, 90° dik olarak geriye doğru saçılmaktadır. Geri saçılma, aynı zamanda fotonlarla da meydana gelmektedir ve bu durum, kurşun gibi yüksek Z sayısına sahip olan bir malzemenin radyasyon sahasına yerleştirilmesiyle bir gama ışın demetinin sayım hızındaki artma ile ispatlanabilir.

Geri Saçılma (Back Scattering)

Geri saçılma, atom sayısı Z nin artmasına ve gelen birincil parçacığın enerjisindeki azalmaya bağlı olarak da artar. En çok kullanılan platin numunesi için, hacmini % 50 dolduran bir oda içerisindeki numunede, geri saçılma faktörü 1.04 olarak belirlenmiştir.

Emme (Absorption)

Algılanacak parçacıklar kolaylıkla emilebildiğinden, kaynak ve algılayıcıyı vakum altındaki bir oda içine monte etmek veya kaynağı doğrudan, bir iyon odasının veya orantılı sayaç gazı içersine sokmak tercih edilmektedir. Günümüzde en popüler metod, bir yarı iletken algılayıcı kullanılmaktadır ve bu durum, algılayıcı ve kaynak küçük vakum hücresinde çalıştıkları zaman, enerjilerinin çok doğru olarak belirlenmesine uygundur. Bu yöntem özellikle alfalar için önemlidir.

Özemme (Self - absorption)

Bir kaynakta, görünen miktarlarda katı mevcutsa, sayım hızında kayıplar beklenebilir; çünkü kaynağın düşük enerji seviyelerinden yayınlanan parçacıklar, kaynağın yüzeyini terkedemeden, tekrar emilmektedirler. Nader et.al., 2π geometresine sahip olan bir sayaç içinde, alfa parçacıklarının öz-soğurma faktörünün bir formülünü vermektedir:

$$f_s = 1 - \frac{s}{2pR} \quad s < pR \quad (3.14)$$

ve

$$f_s = \frac{0,5R}{s} \quad s > pR \quad (3.15)$$

Burada s, kaynak kalınlığı, R kaynak maddesi içinde alfa parçacıklarının maksimum menzili ve p, parçacıkların kaynaktan sarfettikleri, fakat halâ sayılabilir maksimum R kesiridir.

Radyasyon Kalkanlaması

Algılayıcı, kalın bir kalkan içersine konabilir. Bu şekilde her yerde düşük seviyede bulunan doğal arka fon azaltılmış olur. Böyle bir radyasyon kalkanının tasarımı kendi başına bir konudur ve birkaç santimetre kalınlığındaki kurşun levhadan, kalın savaş gemisi saçına veya insan vücudundaki doğal radyasyonun ölçülmesinde kullanılan tüm-gövde sayaçlarında bulunan yüksek saflıktaki kurşun malzemeye kadar değişen sınırlara sahiptir.

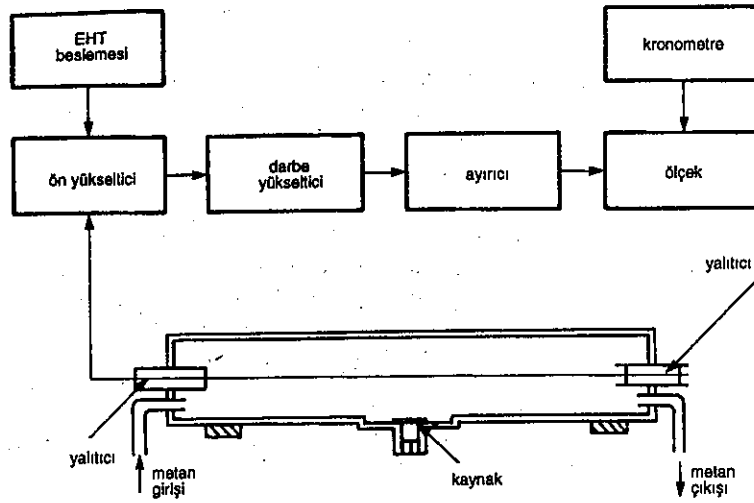
3.2.4.1. Alfa - algılayıcı sistemleri

En basit alfa algılayıcısı, hava doldurulmuş iyon odasıdır. Bu oda, önceki çalışmalarda radyoaktivite üzerinde yoğun bir şekilde kullanılmıştır; fakat günümüzde, sağlık fiziği konusunda; örneğin, radyoaktif maddelerin dökülüp saçılması gibi hallerde, kontrol amacıyla uygulanmaktadır. Bu alanda, her geçen gün, yarı iletken ve ısıtılı sayaçlarının kullanımı artmaktadır. İnce-pencere iyonlaşma veya gaz-orantılı sayaçlar ve gaz sayacın aktif hacmine, örneğin sokulduğu içsel sayaçlar'da kullanılabilir. Alfa parçacıkları tarafından meydana getirilen yüksek iyonlaşmadan dolayı, alfa parçacıklarını, beta ve gama ışınları gibi diğer radyasyonların oluşturduğu yüksek arka fonda, uygun ayırım teknikleri kullanarak ölçebilmek mümkündür.

İyonlaşma Odaları

Alfa parçacıklarının, düşük kalınlıkta bir gaz ya da katı içersinde emilmeleri kolay olduğundan, sayımlarında kullanılan ilk çalışmalardan bir tanesi, radyoaktif kaynağın hiç ara penceresi olmayan bir gaz sayacının içersine yerleştirilmesi yöntemi olmuştur. Şekil 3.7, içersinden genellikle saf metan (CH₄) gazının akmasına müsaade edilen bir sayacın şematik akım devresini göstermektedir. Sayaç, iyonlaşma bölgesinde çalıştırılabilir, fakat çoğunlukla yüksek gerilim beslemesi artırıldığından, aynı kaynaktan gelen alfa, beta parçacıklarının ayırımını yapabilecek şekilde orantılı bölgede çalıştırılır; böylece sinyal / gürültü oranında iyileşme sağlanabilir.

İyonlaşma odaları iki farklı şekilde kullanılırlar: İçindeki devrelerin zaman sabitlerinin küçüklük veya büyüklüğüne bağlı olarak bu sayaçlar, her farklı iyonlaştırıcı olaya bireysel tepki göstermek suretiyle "sayma modunda" veya uzun bir zaman süresince, iyonlaşmayı toplayarak "tümleme modunda" çalışmaktadır. Günümüzde, sayma modu, alfa parçacıkları haricinde az kullanılmaktadır.



Şekil 3.7 Akışkan-gaz-orantılı-sayaç sistemi.

Gaz Orantılı Sayaçlar

İnce pencereci orantılı sayaçlar, alfaların, yüksek beta ve gama arkafonlarının varlığında sayılabilmesine olanak tanır. Çünkü bu dedektörler, gaz içersinden geçen alfa parçacıklarının meydana getirdiği yüksek iyonizasyon yoğunluğu ve beta parçacıklarının yada gama - fotonlarının meydana getirdiği zayıf iyonizasyon arasında ayırım yapabilmektedirler. Akışkan gaz kullanan sayaçlarda, kaynak cihaz içersine yerleştirilebilir ve algılayıcı boyunca olan gerilim 5-50 kez büyütme yapabilecek şekilde artırılabilir. Bu durumda, saf metan (CH_4), Şekil 3.7'de gösterilen aynı düzenlemeyle kullanılabilir.

Böyle bir sistemin algılama verimliliği, kaynağın sayaç dışında bulunduğu ince-pencere sayaçlarından önemli ölçüde daha fazladır. Bunun başlıca nedenleri ;

- 1) Parçacıkların pencerede takılarak, kayıplara yolaçması;
- 2) Geliştirilmiş tasarıma bağlı olarak kaynaktan ayrılan her parçacığın gaz hacmine girmesi ve sayılması şeklinde sıralanabilir.

Geiger Sayaçları

Gaz-orantılı sayaçlar tarafından alfa-parçacık algılanmasında yapılan ölçümler, aynı zamanda Gayger sayaçlarında da geçerlidir. Bu demektir ki ince giriş pencereleri veya içten takılmış kaynaklar kullanılabilir ve şekil 3.7'deki düzenek Gayger Sayacına da uygulanabilir. Ancak, bazı farkların dikkate alınması gerekmektedir. Gayger bölgesinde çalışılma, parçacık enerjilerinde olan farklılıkların ölçülmediği anlamına gelmektedir; dolayısıyla bütün parçacıkların, sayacı tetikleyebilme imkânları vardır ve enerji çözünürlüğü imkânsızdır. Diğer yandan, Gayger bölgesinde çalışan sayaç çok hassas olup, pekçok durumlarda elektronik yükseltmeye gerek kalmadan, sayaç, ölçeği direk tetikleyebilen bir çıkış üretebilir. Sistemi optimum koşullarda çalıştırabilmek için, bazı yükseltmeler istenir ve bunların değişken olması gerekir. Bu işlem, yüksek-gerilim beslemesinin ve yükseltici kazancının Gayger platosu üzerinde ayarlanmasıdır ve böylece yüksek - gerilim beslemesindeki küçük değişimler, sistemin sayım özelliklerini etkilemez.

Isıltı Sayaçları

Alfa parçacıkları, çok kısa bir mesafede bir madde tarafından kolaylıkla emilebildiğinden, şayet alfalar bir ısıltı kristaline bir pencereden (ne kadar ince olursa olsun) girmekte iseler problem ortaya çıkar; çünkü bu durum, ışığın girişini ve fotoçoğaltıcıyı yüklemesini engellemektedir. Bir fotoçoğaltıcı tüpü kullanan ilk ısıltı algılayıcısı, üzerine çok ince toz halinde çinko sülfür tabakası püskürtülmüş, fotoçoğaltıcıyı gören bir cam zarf ile donatılmıştır. Fotoçoğaltıcı RCA 931 - A tipinde olup, üzerindeki küçük bir yapıştırıcı tabakası, çinko sülfürü yerinde tutmaktadır. Toz çinko sülfürün, düşük ışık geçirgenliğinden dolayı 5-10 mg / cm^2 lik bir katman optimum kalınlık olarak bulunmuştur. Bütün sistem, ışıktan arındırılmış bir kutuda kaynak ve algılayıcı ile beraber hapsedilmişlerdir. Daha sonraki araştırmacılar, çinko sülfürün üzerine bir alüminyum tabakası çökeltirerek, alfaların geçişine izin verip ışığın geçişini engellemişlerdir. Düz pencere girişli fotoçoğaltıcılar, piyasada bulunmaya başladığı zaman çinko sülfür, Perspex / Lüsit gibi bir şeffaf plastik diskin yüzeyine kaplanmıştır. Bu şekil alüminyumun yüzeye buharlaştırılıp kaplanmasından daha kolay olmuştur, fakat ışık problemini önleyememiştir, hatta alümine edilmiş mylar malzemesi bile bu soruya bir cevap olmamıştır. Düşük veya sıfır ışık koşullarında yapılan çalışma, hâlâ en geçerli yöntem olmaktadır.

İnce ısıltıcılardan plâstikler de, alfaları algılamak için geliştirilmişlerdir ve ince tabakaların (çoğunlukla uygun bir plastik ışık kılavuzuna, ısı ile bağlanmış), çinko sülfür algılayıcılarından daha ucuz olarak kullanıldıkları bilinmektedir. Buna rağmen plastik ısıltıcılardan ışık çıkışı, çinko sülfürden daha az olmaktadır, fakat her ikisi için de, çok ince katmanları içersinde, beta

parçacıklarının veya gama ışınlarına karşı çok mükemmel engelleme yaptıkları söylenebilir. Bunlar, alfaların ölçümü sırasında, arkafonda mevcut olabilir. Plastik ısıltı kristallerinin, inorganik çinko sülfür dedektörüne göre ana avantajlarından bir tanesi 4×10^{-9} s mertebesinde sönüm zamanına sahip olan bir darbeye göre bir çok hızlı tepkime zamanlarının olmasıdır. Tepkime zamanı, çinko sülfür için $4-10 \times 10^{-6}$ s dir.

Alfa algılanmasında kullanılan diğer bir parıltıcı, CsI(Tl) inorganik kristalidir. Bu kristal hidroskopik olmadığından karanlık ortamlarda pencereye ihtiyaç göstermeden kullanılabilir ve şayet bir daire, kenarlarından uygun bir şekilde inceltilirse üzerine gelen iyonlaştırıcı parçacığın enerjisi ile orantılı bir çıkış üretecektir, böylece bir spektrometre olarak davranış gösterecektir. Çok ince CsI (Tl) algılayıcıları vakum altında çökeltme yoluyla üretilmişlerdir. Bunlar, beta ve gama arkafonunun çok düşük oranlara indirilmesi gereken yerlerde ve aynı zamanda ağır parçacıkların pozitif olarak algılanmasının gerektiği yerlerde kullanılmaktadır.

Inorganik tek kristaller pahalıdır ve geniş alanlı algılayıcılar gerektiği zaman, ya çinko-sülfür toz ekranı veya geniş alanlı çok ince plastik ısıltı kristali kullanılmaktadır. Sonuncusu, öncekinden çok daha ucuzdur; zira, ince çinko sülfür tabakasını üretmek için, çok fazla işçilik gerekir ve işlem her zaman tekrarlanamaz. Sağlık fiziği uygulamalarında, el, ayak ve masa üstünün kirli durumlarında, monitör olarak, çeşitli plâstik ısıltı kristali, çinko sülfür veya toz antrasen parıltıcı kombinasyonları kullanılır. İlgilenilen alfa yayınlayıcısı, bir sıvı ısıltı çözeltisi içersine karıştırılırsa, geometrik etkinin neredeyse tamamen ortadan kalktığı görülür ve radyoaktif izotopun sıvı parıltıcı içersinde çözünürlüğünü sağlamak koşuluyla, maksimum algılayıcı verimi sağlanabilir. Buna karşılık, bütün radyoaktif kaynakların, çözünürlüğü sağlayacak şekilde kimyasal olarak dengelenmesi mümkün olmamaktadır. Bu tip durumlarda, radyoaktif malzeme, çok ince toz halinde, jel matrisli, sıvı parıltıcı içine karıştırılabilir. Böyle bir matris, çok ince ayrıştırılmış ve çok yüksek saflıkta silikadan meydana gelmektedir. Mc Dowell (1980), alfa sıvı ısıltı sayımı üzerine, pekçok referansla birlikte bir araştırma yazısı yayınlamıştır.

3.2.4.2. Beta parçacıklarının algılanması

İyonlaşma Odaları : İyonlaşma odaları, önceleri beta parçacıklarının algılanmasında büyük ölçüde kullanılmakta ise de, günümüzde özel amaçlar için ele alınmaktadırlar :

- 1) Radyoaktif beta kaynaklarının, yüzey dozu miktarı için kalibrasyonu. Bir extrapolyasyon odası (extrapolation room), paralel levha iyonlaşma odasının iki elektrodu arasındaki boş mesafeyi değiştirir; ve iyonlaşma akımı, birim boşluğun hava boşluğuna olan oranı için,

boşluğun azalmasıyla bir grafiğe çizilir; bu sıfır boşluğa extrapolyasyon yapmaktır. İşlemdeki belirsizlik payı ise, bir beta kaynağının mutlak dozunun bir ölçüsü olarak, çok nadir % 1'e ulaşır.

- 2) Beta dozimetresi : Doz miktarını ölçmek için kullanılan birçok kontrol cihazları, beta ışınlarının iyonlaşma odasına girmesine izin veren bazı aygıtlarla beraber çalışırlar. Bu durum, ince bir pencerenin, bir diyafram sayesinde betaları kesip gama-ışınlarına, sadece karışık beta-gama dozları ölçülmek istendiği zaman izin vermesini sağlamaktadır. Buna karşılık, bu tip ölçümlerin doğruluk derecesi çok iyi olmayıp beta doz miktarının doğru ve hassas ölçümü henüz, gelişmeye muhtaç bir sahadır.

Orantılı Sayaçlar

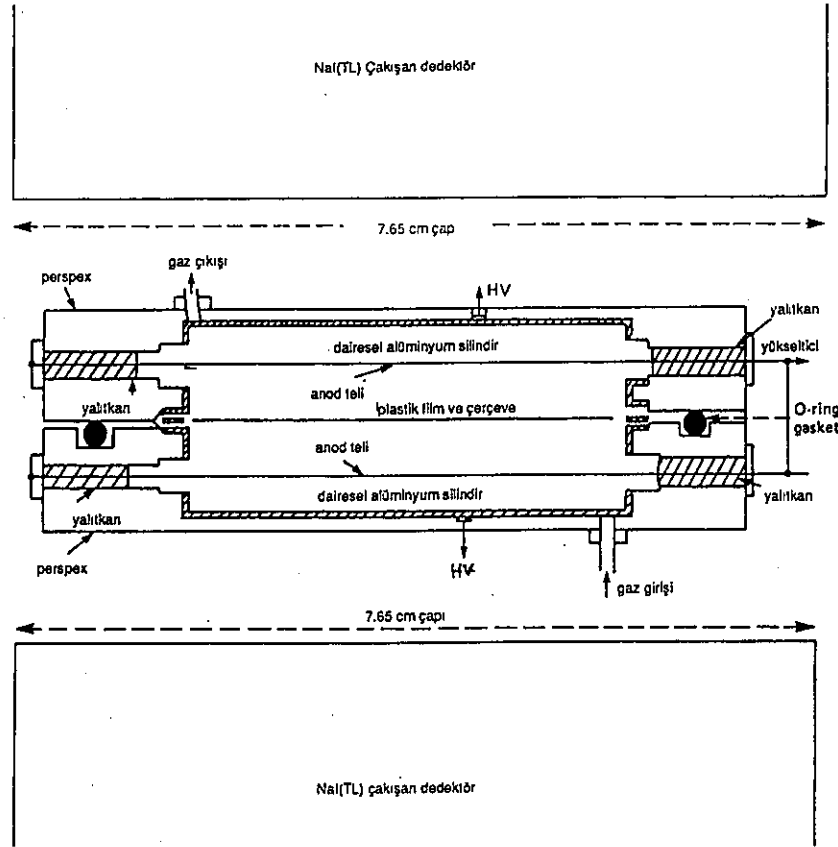
Beta parçacıkları, bir orantılı sayaç içinde, üç farklı durumdan meydana gelebilir : birincisi, sayacın gazla dolu olan bir kısmından (ki buna içsel sayım denir); ikinci olarak, sayacın içinde bulunan bir katı kaynaktan; ve üçüncüsü, ince bir pencere yoluyla sayaca giren beta parçacıklarını yollayan dışsal bir kaynaktan...

Birinci metot, içsel sayım, gaz halindeki radyoaktif kaynağı, sayıma uygun bir gazla karıştırmaktır veya radyoaktif kaynak direkt olarak uygun bir gaz haline dönüştürülebilir. Bu durum, ^{14}C atomlarının algılanması sırasında, katı karbonun orantılı sayaçta direkt olarak sayılabilecek türden gaz halindeki karbondioksit (CO_2), asetilen (CH) veya metan (CH_4) gazlarından, birisine dönüşümü ile olmaktadır. Bu metot karbon yaşının belirlenmesi için radyo karbonun ölçülmesinde kullanılmaktadır: radyokarbon yaşı belirlenmesi.

İkinci metot, katı kaynakların, gaz kaçağına imkân vermeyen bir kol sayesinde, fiziksel olarak sayacın gaz hacminin içine yerleştirilmesidir. Önceleri, bu metot çok kullanılmaktaydı; fakat günümüzde, özel durumlarda başvuru olan bir yoldur. 3. metot, kaynağın sayacın dışında olması durumu, şimdi en çok popüler olanıdır; çünkü imalatçılar, dışarıdaki hava ile sayaç gazı arasındaki sınırı geçen parçacıkların enerjilerini çok az düzeyde yutan son derece ince pencereler geliştirmişlerdir. İnce mika veya plâstik pencereler birkaç $\frac{\text{mg}}{\text{cm}^2}$ mertebelerinde olabilirler ve çoğu zaman, tel örgülerle geniş yüzeylerde desteklenmektedirler. Orantılı sayaçların özel bir biçimi, $\frac{2\pi}{4\pi}$

şeklinde olanı da bulunmakta ve radyoaktif kaynakların çok hassas ölçümlerinde kullanılmaktadır. Genellikle bir ucu açık ilaç kutusu şeklindedir ve kaynak ya iki sayaç arasında, karşı karşıya (4π düzenlemesi) ince plastik bir plâka üzerine yerleştirilir veya aynı kaynağa bakan tek bir sayaç şeklinde

düzenlenebilir (2π düzeneği). Bu tip sayaçlar, genellikle laboratuvarlarda imal edilir. Bunlar, plâstik gövde üzerine, katodu oluşturan uygun bir iletken metal tabakasının kaplanması suretiyle yapılır. Bir adet ya da daha çok sayıdaki teller anodu meydana getirmektedir. Tipik bir tasarım, Şekil 3.8'de gösterilmektedir.



Şekil 3.8 : 4 π sayacının tipik gösterimi

Gayger Sayaçları

Gayger sayaçları birçok sebepten dolayı, beta parçacıklarının sayımında en popüler algılayıcı olma konumunu sürdürmektedir. Öncelikle, hem laboratuvar imalatı olarak, hem de ticari olarak ucuzdur. İkinci bir neden olarak, yarı iletken ya da ısıtılı algılayıcılara nazaran daha az özel elektronik gerektirmektedirler. Üçüncü olarak, en gelişmiş şekliyle halojen - dolumlu versiyonlarının oldukça uzun ömürleri vardır. Beta parçacıklarını algılamak

için, bir tür pencerenin, parçacıkların algılayıcıya girişlerini sağlamak üzere temin edilmesi gerekir.

Özel bir kaynağın, özel bir Gayger sayacı ile algılanması sırasında, verimi etkileyen birçok parametreler arasındaki ilişkiler, çok yoğun bir şekilde incelenmiştir. Zumwalt (1950), ilk yayımlarından bir tanesinde, temel sonuçları vermiştir. Price (1964), Overman ve Clark (1960) da yayın ve kitaplarında bunlara işaret etmişlerdir. Genelde, gözlenen sayının hızı R ve buna denk gelen bozunma hızı A , denklem 3.16 ile birbirlerine bağlanır.

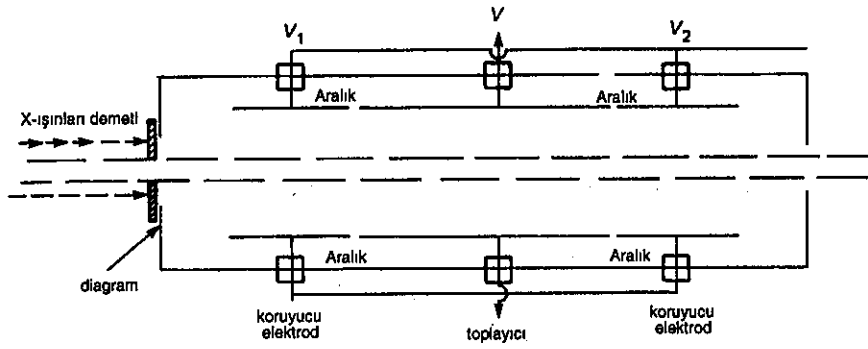
$$R = YA \quad (3.16)$$

Y sayım verimini gösteren bir faktördür. Y 'de yedi faktör kapsamakta olup, bu parametreler yukarıda bahsedilen kitaplarda yer almaktadırlar.

3.2.4.3. Gama - ışınlarının algılanması (100 keV nin üzerinde)

İyonlaşma Odaları

Gama ışınları dozimetresi ve doz-miktarı ölçümleri bugün, gama ışınlarının algılandığı iyonlaşma odalarının başlıca uygulama alanlarıdır. Günümüzde ısıtılı ve diğer sayaçlar bunların yerini almaktaysa da, bazı endüstriyel ölçme sistemlerinde de kullanılmaktadır. Serbest-hava iyonlaşma odası olarak tanımlanan bir başka aygıt, (Şekil 3.9), X - ışınları üreticinin kalibrasyonunu yapmak üzere, X - ışınları çalışmalarında kullanılmaktadır. Bu oda, ortamın hava olduğu koşullarda, değeri bilinen bir hacim hava içersinde, direk olarak serbest kalan yükü ölçmektedir. Şekil 3.9 'da, sadece toplayıcı elektrotlar tarafından tanımlanan $V_1 + V + V_2$ hacmi içinde üretilen iyonlar toplanıp ölçülmektedir ve bu hacim dışında kalan hiçbir iyonlaşma ölçülmektedir. Ancak, odanın fiziksel boyutlarından ve gerekli olan yardımcı ekipman miktarından dolayı, sadece standart laboratuvarlarında kullanılmaktadır. Bragg - Gray odası, bir katı ortamda, eğer küçük bir kovuk (girinti) varsa, kovukta yer alan elektronların açılal dağılımı ve enerji spektrumu, oyuk tarafından bozulmaması ve kovukta meydana gelen iyonlaşma, aşağıda verilen şartlar sağlandığı zaman ortamın karakteristik özelliklerini vermesi prensibine dayanmaktadır:



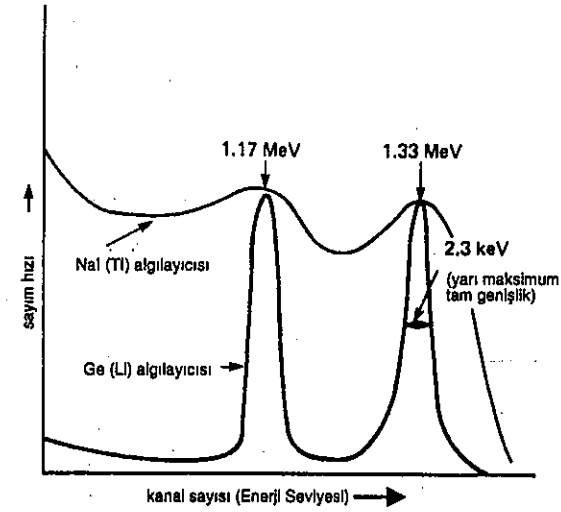
Şekil 3.9 Serbest - hava - iyon - odası.

- 1) Kovuk boyutları, ikincil elektronların menziliyle karşılaştırıldıkları zaman küçüktür;
- 2) Kovuk içersinde, gaz tarafından gama ışınlarının emilmesi gözardı edilebilir.
- 3) Kovuk, ortamın bir denge duvarıyla çevrilmiştir
- 4) Kovuğun bulunduğu bölgede ortam hacmi üzerindeki doz hızı sabittir.

Bilinen en iyi iyon odası, Farmer tarafından tasarlanmış olup, insanlar için doz oranı ve doz ölçümlerinde serbest-hava iyon odası için, dünyada alt standart olarak kabul edilmektedir.

Katı - Hal (Yarı - iletken) Algılayıcılar

Yarı iletken algılayıcıların, gama-ışınları ölçümlerindeki etkisi çok büyük olmuştur; Şekil 3.10 'dan, bir NaI (TI) algılayıcısı ile karşılaştırıldığı zaman yarı-iletken algılayıcıların enerji çözünürlüğündeki gelişme görülmektedir. Burada, NaI (TI) algılayıcılarının çözemediği ^{60}Co izotopunun 1.17 ve 1.33 MeV değerindeki enerji piklerinin, nasıl katı-hal algılayıcısıyla açıklığa kavuştuğu görülmektedir.



Şekil 3.10 Farklı algılayıcılar kullanarak enerji çözünürlüklerinin karşılaştırılması.

Enerji çözünürlüğü için, katı-hal algılayıcısı, ısıltı alıcısına göre 10 kez daha fazla iyileşme sağlamaktadır. Ancak, bazı dezavantajları, katı-hal algılayıcılarının, ısıltı alıcılarını geride bırakmasını engellemektedir. Öncelikle, katı-hal alıcıları günümüz koşullarında en fazla 100 cm^3 hacimle imal edilebilmektedir; halbuki NaI (TI) ısıltı kristalleri $76 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ boyuta sahip olup, plastik ve sıvı ısıltı alıcılar ise çok daha büyük hacimlerde imâl edilmektedirler. İkinci olarak, germanyum katı-hal alıcıları, vakum altında, sıvı azot sıcaklıklarında çalışmaktadırlar. Üçüncü olarak, geniş katı-hal alıcıları çok pahalı olma özelliğini taşırlar. Sonuç olarak, eğer amaç enerji spektrumunun belirlenmesi ise koşullar katı-hal algılayıcılarının kullanımını, eğer çok düşük seviyelerde aktivite ölçülmesi gerekseyse o zaman ısıltı algılayıcılarının kullanılmasını gerektirmektedir. Bu iki tip algılayıcı sistemlerinin çok popüler olan bir kullanımı, küçük katı-hal algılayıcısının, bir ısıltı algılayıcısıyla birlikte, vakum altında, sıvı azotla soğutulmakta olan kriostat vasıtasıyla çevrelemektir. ısıltı algılayıcısı NaI (TI) inorganik kristali ya da plastik veya sıvı ısıltıcı olabilir.

Katı - hal algılayıcısını, silindirik ısıltı sayacı ile birlikte çalıştırsak, birinci algılayıcıdan gelen Compton-saçılma fotonları ters-çakışma kalkanına çarparak elektronik olarak katı-hal algılayıcısının enerji-tepki spektrumundan çıkartılır.

3.2.4.4. Nötron Algılanması

Nükleer parçacıkların algılanması, çoğunlukla iyonlaşma enerjisinin toplanmasına bağlıdır ve nötronlar, yüklü parçacıklar olmadıklarından, direk olarak algılanamaz. Dolayısıyla nötron duyucuları, bir dönüşüm işlemine tabi olurlar. Gelen parçacıklar, iyonlaşmış parçacıkları ortaya çıkartırlar ve ^{235}U (fisyon) + ~ 200 MeV veya $^{10}\text{B} (n, \alpha) \text{Li}^7 + \sim 2 \text{ MeV}$ nükleer reaksiyonları çoğunlukla kullanılırlar. Isıveren (exhotermic) reaksiyonlar arzu edilir, çünkü olay başına artan enerji, sinyal / gürültü oranını arttırmaktadır; fakat sağlanan avantajlarla beraber, bazı sınırlamalar da gelmektedir. Özellikle, yukarıda verilen reaksiyonlar, nötron spektroskopisi için kullanılmazlar, çünkü reaksiyon ürünleri tarafından taşınan enerji oranındaki belirsizlikten ötürü, tepki protonlarının, hidrojenik (renksiz, kokusuz gazsız yanıcı madde) bir malzeme de algılanmaları tercih edilir. Ortaya çıkan iyonlaşmayı algılamaların pek çok yolları vardır.

Gerçek zaman içersinde katı-hal algılayıcıları, ısıltı sayaçları veya iyon odaları kullanmak suretiyle eş zamanlı ölçüm yapılabilir, yada seçilen bir ortamda (^{56}Mn dan ^{55}Mn), nötronların aktivasyonunu uygun bir zaman süresinden sonra, ölçmek suretiyle gerçekleştirilebilir. Kullanılacak tekniğin seçimi istenilen bilginin türüne ve çevrenin sınırlamalarına bağlıdır. Sonuncu şart, nötronik şartlardan dolayı ileri gelen bir durumdur. Örneğin, bor dolumlu ısıltı sayaçları çok hassas yapılabilir ve alçak akıların algılanmasında uygundur, ancak ısıltı kristalleri ve fotoçoğaltıcılar nötronlardan zarar görebilir ve nötronları takip eden gama ışınlarına da hassasdırlar. Bu araçlar dolayısıyla, nükleer reaktör koşullarındaki yüksek sıcaklık ve yüksek nötron akısı şartlarına uygun değildir.

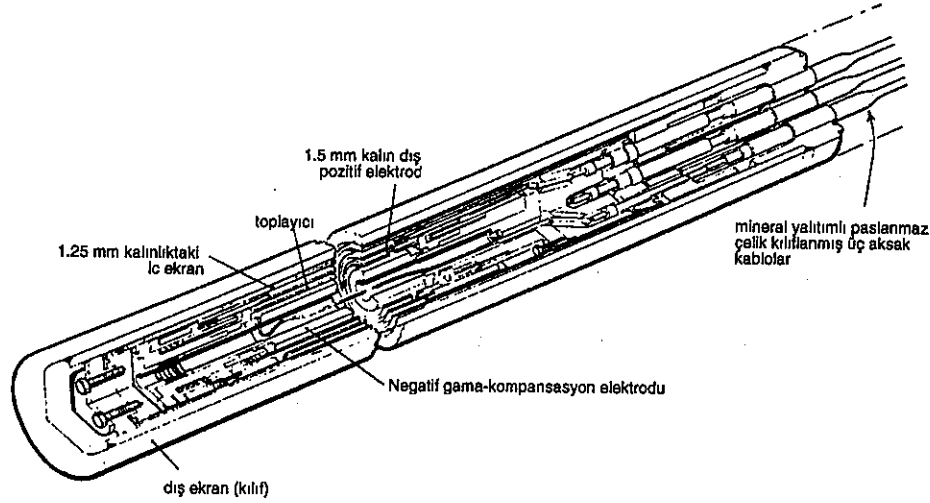
Reaktörlerdeki nötron yoğunluğu, çoğunlukla gaz-dolum iyon odalarında ölçülmektedir. Dönüşüm, ^{235}U in oluşturduğu ince bir tabaka olarak (~ 1mg cm⁻²) elektrod odasına uygulanması, ve fisyonu neticesinde meydana gelmektedir. Doğal veya zenginleştirilmiş bor, ya boyanmış bir tabaka veya BF₃ gazı içersinde bulunmak suretiyle ^{10}B reaksiyonu neticesinde nötronların algılanmasında kullanılmaktadır. İyon odaları, bireysel reaksiyonları algılamak için, darbe aygıtları olarak çalıştırabilirler; ayrıca, olayların toplanarak bir akım meydana getirildiği d.c. üretici olarak kullanılabilir veya "akım oynaması" olarak tanımlanan ve nötron akısının, çıkışta mevcut, gürültü genliğinden anlaşıldığı "Cambell" modu şeklinde işlev görebilir. Gürültü, zamana göre nötronların rastgele gelmesinden kaynaklanır. Tekrar edersek, uygulanan metod, işlemin gerektirdiği şartlara göre belirlenmektedir. Örneğin, bir fisyon odasındaki nötronlardan kaynaklanan bireysel olaylar, gamma ışınlarının yol açtığı olaylardan çok daha geniştir, fakat gama fotonlarının geliş hızı, nötronlara göre çok daha fazladır. Dolayısıyla, darbe sayaçları, düşük

akılarda, d.c. odaları ile karşılaştırıldıkları zaman, iyi derecede gama zayıflatma niteliklerine sahiptir. Diğer yandan, nötron / gama akısı oranı, yüksek reaktör gücünde, iyileşme eğiliminde olup, sayım kayıpları artmaktadır ve gama darbeleri yığılması, nötron olaylarını simgelemektedir. Dolayısıyla D.C. işlemi, bu seviyelerde, darbe ölçümünün yerini almaktadır. Akım dalgalanması modu, özellikle, iyi gama arındırması sağlamaktadır; çünkü sinyaller olay başına ortalama yükün karesine bağımlı olmaktadır, örneğin nötronların gamalar üzerindeki başlangıç avantajları ortaya çıkmaktadır. Böyle sistemler, en yüksek akı değerlerinde çalışabilir ve günümüzde hem darbe sayımını, hem de akım dalgalanması tekniğini birleştirebilen ve 10 mertebelerinden büyük dinamik menzile sahip olan, tek odalar imâl edilmişlerdir.

Bir algılayıcının hassasiyeti, beklenen nükleer reaksiyonun, meydana gelme olasılığı ile orantılı olup, bu özel reaksiyon için tek bir çekirdeğin kesit değerleri cinsinden açıklanabilir. Bir nükleer çekirdeğin kesit alanı, barn (b) birimi ile gösterilir, ve 10⁻²⁴ cm²'ye denk düşmektedir. ^{10}B , termal nötronları yavaşlatmak için 4000 b civarında bir kesit değerine sahiptir; ^{235}U , fisyon için kesidi ~ 550 b civarındadır. Bunlara ilâve olarak, verilen bir kaplama kalınlığı içinde reaksiyona giren atomların sayısı, atom ağırlığıyla ters orantılı olarak değişmektedir, böylece prensipte, ^{10}B sensörleri, fisyon reaksiyonuna dayanan sensörlerden çok daha fazla hassastır. Bu avantaj, olay başına elde edilen düşük enerji ile gölgelenmektedir ve borun verilen bir nötron akısında hızlı bir şekilde yanması, bu tip algılayıcıların zamana göre duyarlılıklarının kaybolmasına yol açmaktadır.

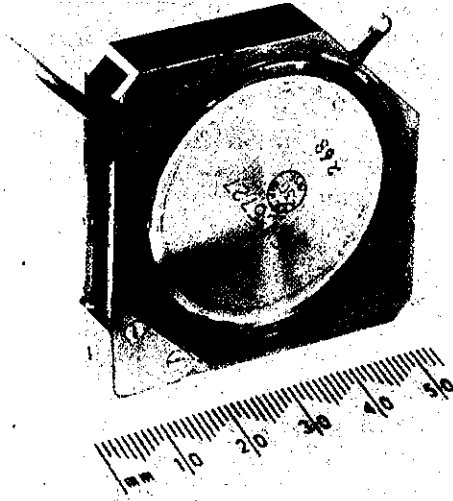
Nötronlar birçok elementlerde aktivasyona (hareketliliğe) neden olmaktadır ve eğer algılayıcının yapı malzemeleri iyi seçilmezse, bu hareketlilik gama sinyallerine benzeyen artık sinyallere ve çok ciddi olarak kısalmış dinamik menzile yol açabilir. Dolayısıyla, iyon odalarının elektrotları ve zarfları, düşük aktivasyon kesitleri ve kısa yarı ömürlü dönüşüm maddesine sahip olan yüksek saflıktaki malzemelerden imal edilmektedir. Alüminyum çoğunlukla, alçak sıcaklık uygulamalarında kullanılmaktadır, fakat bazı odalar ~ 550°C 'de çalışırlar, ve bunlar titanyumlu ve / veya özel düşük manganezli, düşük kobaltlı paslanmaz çelikler kullanılmaktadır. Nükleer dönüşüme uğrayabilen kaplamalardan gelen aktivasyonunda dikkate alınması gerekmektedir ve bu fisyon odalarının bir dezavantajıdır. Yalıtkanların seçimi de radyasyon, sıcaklık durumlarından etkilenmektedir. Polimerler yüksek akılarda bozulmaktadırlar, fakat yeterli verim yüksek saflıktaki, çok kristalli alümina ve suni safirden, 550°C 'de bile elde edilebilir. Benzer problemler kablolarla ve özel tasarlanmış çoklu koaksiyel iletkenlerle giderilebilmektedir. Bunlar yüksek saflıkta sıkıştırılmış magnezyum ile yalıtılmıştır. Bu tipdeki elektrot / kablo sistemleri, 550°C de 10⁹ Ω mertebesinde yalıtım dirençleri oluşturabilir ve endüstriyel koşullarda, 30 MHz lik bant genişlikleri içindeki mikro amper sinyallerinin ölçümü sırasında bile, elektriksel girişimleri gidermek üzere ta-

sarlanmıştır. Şekil 3.11 bor-kaplanmış gama dengeli, 550°C ve 45 Bar basınç koşullarında AGR reaktörleri içinde çalışabilecek şekilde tasarlanmış, d.c. odasının yapısını göstermektedir.



Şekil 3.11 Tipik reaktör kontrolü iyon odası (UKAEA, Winfrith müşadesi ile).

Sayaçta kullanılan gaz, helyum olup alçak manganlı dış kılıf çeliğindeki β faaliyeti, kalın titanyum elektrotlar sayesinde perdelenmektedir. Bu odanın



Şekil 3.12. Akı-dağılımı ölçümleri için darbe-fisyon iyon odası

çapı 9 cm dir; 75 cm uzunluğunda olup, 25 kg. ağırlığındadır. Buna karşılık Şekil 3.12, paralel plaka dizaynını göstermektedir ve, bunlardan 300 kadarı, AEE Winfrith deki ZEBRA deneme hız reaktöründe akı dağılımlarını belirlemek için, yakıt "paketlerinin" yerlerine kullanılmaktadır.

Bor triflorür (BF_3) orantılı sayaçları, birçok alanda termal nötron algılamasında önemli bir yer tutarlar.

Bu sayaçlar, kullanışlı olup yeteri ölçüde hassasdırlar. ve 0.3 ve 196 s^{-1} (birim akı) $^{-1}$ hassasiyet sınırlarında ticari olarak bulunabilir. Gamaya karşı darbeleri fisyon odalarından daha fazla duyarlıdır: çünkü bor reaksiyonu, olay başına daha az enerji gerektirmektedir; bu durum daha geniş hassasiyetle denklenebilir. Kalıcı bir dezavantajı da, bazı uygulamalar için, toplam doz açısından (gama + nötronlar), kısa ömre sahip olmasıdır ve nükleer reaktör uygulamalarında, yüksek güçlerde dozu sınırlamak için geri çekme mekanizmalarını sağlamak gerekir.

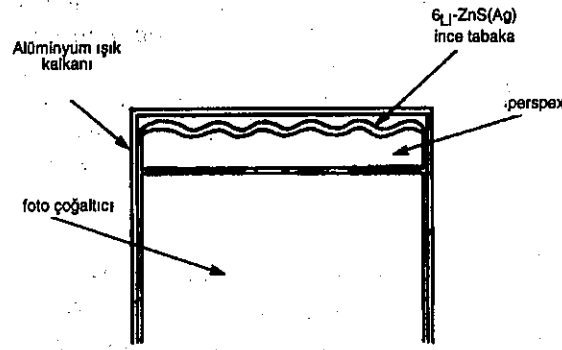
Proton-tepki sayaçları, hızlı nötronları algılamak için kullanılır. Bunlar, sayaç içine yerleştirilmiş bir malzeme ile, nötronların (n, p) reaksiyonuna dayanarak çalışmaktadır. Burada, yayınlanan yüksek enerjili bir proton algılanabilir. Malzeme, bir gaz veya katı olabilir; ayrıca, hidrojen gibi düşük ağırlıklı bir çekirdeğe nötronun enerjisini aktarabilmesi açısından sahip olması gerekir. Şayet dolun maddesi gaz ise, hidrojen ve helyum gazları, en çok kullanılanlardır; çünkü bu gazlar birim hacimde en çok sayıda çekirdeğe sahiptir. Eğer dolun maddesi katıysa, parafin, polietilen veya benzer düşük atom ağırlıklı bir malzeme, sayaç içersindeki duvarlara kaplanabilir.

Bu, tip sayaçlar, Hurst ve al. tarafından, insan dokusunun $0.2 - 10 \text{ MeV}$ enerji sınırları arasında, aldığı dozu ölçmek için kullanılmıştır. Üç üniteli bir sayaç olup (metan gazı dolumlu), iki bağımsız bölme, ince bir polietilen (13.0 mg/cm^2) tabakası ve kalın (100 mg/cm^2) bir polietilen tabakasına sahiptir. Üç proton kaynağının enerji tepkileri, o şekilde birleşirler ki, istenen toplam cevabı verirler. Bu tepkime $0.2 - 10 \text{ MeV}$ sınırları içinde, doku-doz eğrisi ile mutabakat sağlamaktadır. Bu sayaç özellikle, reaktör ortamlarında hemen hemen her zaman, nötronları takip eden gama ışınlarını ayırabilmektedir.

Gaz saflaştırmada ve sayaç tasarımındaki gelişmeler, ^3He dolumlu orantılı sayaçların ortaya çıkmasına neden olmuştur. $10-20 \text{ atm.}$ 'deki ^3He basınçları, enerji dağılımlarını ölçmek için, bu sayaçların direkt kullanılmalarına imkân tanır ve reaktör nötron spektrum analizinde kullanılmak üzere dünyadaki hemen bütün reaktör merkezlerinde bulunurlar.

Yukarıda anlatıldığı şekilde, nötronların ölçülebilmesi için, madde içinde etkileşmeye girmesi ve yüklü parçacıklar çıkartması zorunluluğu vardır. Termal enerji değerlerindeki nötronlar için (yaklaşık 0.025 eV enerji), ^{235}U gibi

radioaktif parçalanabilen bir tabaka, alfa parçacıkları, fisyon ürünleri, helyum iyonları vs. gibi reaksiyon artıkları üretecektir. Ancak, reaksiyon artıkları veren daha uygun malzemeler ${}^6\text{Li}$ ve ${}^{10}\text{B}$ dur. Bu ihtimaller ${}^6\text{Li}$ için 945 barns ve ${}^{10}\text{B}$ için 3770 barns değerlerindedir. Çinko sülfür tozu ile ${}^6\text{Li}$ ve ${}^{10}\text{B}$ atomlarını karıştırmak suretiyle ve bir metil metakrilat diski içerisinde, bu karışımı ince halkalar biçiminde dairesel yarıklara sıkıştırılmak suretiyle bir düzen hazırlanır. Sonra ${}^6\text{Li}$ ve ${}^{10}\text{B}$ atomlarının, bir nötron emilmesini takiben parçalanmaları neticesinde ortaya çıkan ürünler, komşu ZnS parçacıklarına çarparlar ve algılayıcının optik olarak bağlandığı fotoçoğaltıcının algılayabileceği ışık kıvılcımlarını meydana getirir. Şekil 3.13, böyle bir nötron - algılayıcı sistemini göstermektedir.

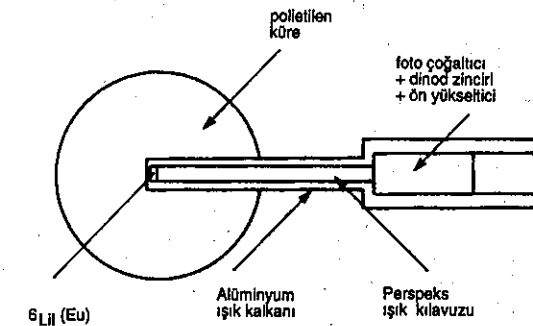


Şekil 3.13 Termal nötron ısıltı sayacı.

Nötron - proton reaksiyonları, termal enerjilerden 200 MeV ve daha yüksek değerlerine kadar olan sınırlarda nötronların algılanmasına izin vermektedir. Bir reaksiyonun meydana gelmesi için, yüksek proton derişimine sahip, hidrojen gibi bir malzeme gerekmektedir. Parafin, polietilen, hidrojen gibi gazlar, iyi proton kaynakları olmaktadır. Ayrıca protonlara duyarlı bir parıltıcıyı (örneğin ZnS), bir hidrojenik malzeme ile karıştırmak suretiyle, nötron demetinin çarpması sonunda üretilen protonlar, ZnS içinde meydana gelen ışık kıvılcımları sayesinde sayılmaktadır. Sıvılar da, bu amaç için kullanılabilir ve burada sıvı parıltıcı, çözünebilen kimyasal şekillerdeki bor, gadolinyum, kadmiyum vs. maddelerle karıştırılır. 500-1000 l hacimlerindeki geniş tanklar, yüksek enerji çalışmaları için imâl edilmiştir. Bu çalışmalara kozmik ışın nötronları da dahildir. ${}^6\text{Li}$, seryum aktive edilmiş cam içerisinde çözünmüş bir halde kullanılabilir, ayrıca cam birçok maddeye karşı duyarlı olduğundan, bu malzemenin çok faydalı bir nötron algılayıcısı olduğu anlaşılmıştır. ${}^6\text{Li}$ cam parıltıcısının, nötron radyografisinde çok yararlı olduğu görülmüştür. Bu teknikte, X - ışınları radyografisinde olduğu gibi, bir fotoğraf filmine, nötron demeti tarafından cam parıltıcı da, meydana getirilen görüntü kaydedilir.

Diğer bir nötron algılayıcısı, öyropyum (Eu) ile aktive edilmiş tek kristal Lityum iyodürdür (${}^6\text{LiI}$ (Eu)). Bu kristal sıvı azot sıcaklığına soğutulduğu zaman, darbe yüksekliği analiz sayesinde, bir nötron kaynağının spektrumunu kaydedebilmektedir. Bu işlem, özel sıvı parıltıcı NE213 (ksilen (xylene) esası) maddeyi kullanarak da sağlanabilir. Bu parıltıcı 1 den 20 MeV enerji değerleri için, hızlı nötron spektrometresinde standart parıltıcı olarak dünyada kabul edilmiştir. Nötron algılanmasında problemlerden biri, yaklaşık her pratik durumda gama-ışınları arkafonunun bulunmasıdır. Burada anlatılan algılayıcıların büyük çoğunluğu, gama ışınlarına duyarlı olmama gibi faydalı bir özelliğe sahiptir. Ancak tek istisna, gamalara oldukça duyarlı olan LiI (Eu) dur; çünkü iyot atomları yüksek atom numarasına sahiptirler. Parıltıcının boyutlarını 4 mm² ye, kalınlığını 1 mm ye düşürerek ve ince uzun bir ışık kılavuzunun ucuna yerleştirerek -öyleki algılayıcı polietilen kürenin ortasında kalsın- insan dokusunun nötrona karşı olan tepkimesine çok yakın, nötron doz hızını ölçebilen bir algılayıcı yapılır. Şekil 3.14, tepkimesinde yaklaşık izotropik olan, küresel bir sayacı göstermektedir; ayrıca bu sayacın gama duyarlılığı çok düşürülmüştür. Bu cihaz Bonner Küresi olarak bilinir ve çapı 10 cm den 30 cm ye kadar bütün enerji seviyelerini kapsayacak şekilde değişebilir.

Termal nötronlar için ($E = 0.025 \text{ eV}$), ${}^6\text{Li}$ (n, α) veya ${}^{10}\text{B}$ (n, α) veya fisyon gibi bir ara reaksiyon kullanılabilir; bir katı-hal algılayıcısı, reaksiyonda açığa çıkan ikincil parçacıkları saymak için uygulanabilir. Hızlı nötronlar için, içerisinde nötronların, tepki protonları oluşturduğu bir yayınlıyıcı (radiator), katı-hal algılayıcısının yakınına yerleştirilebilir ve algılayıcı böylece protonları sayar. İnce bir ${}^6\text{LiF}$ tabakasını, iki katı-hal algılayıcısı arasına sıkıştırmak suretiyle ve çakışan alfa, tritium darbelerini, geliş nötron enerjisi + 4, 78 MeV değerine orantılı olacak bir çıkış sinyali verecek şekilde toplayarak, geliş nötron enerjisine göre düzeneğin cevabı, yaklaşık doğrusal olarak bulunmaktadıdır.



Şekil 3.14 : Küresel hızlı-nötron algılayıcı.

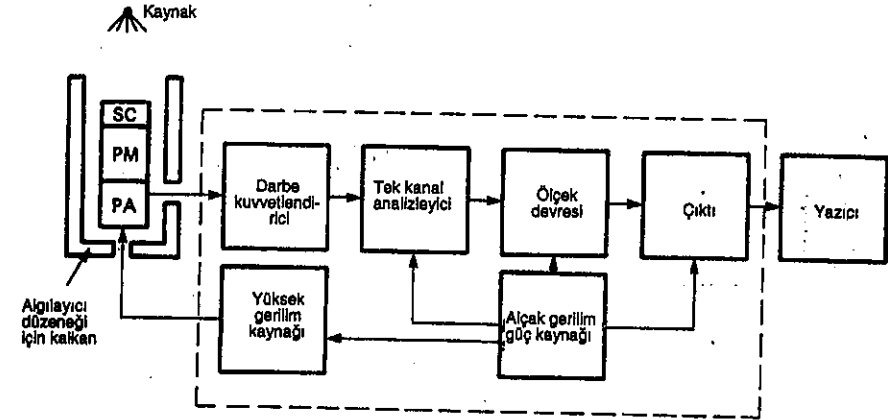
3.3. Elektronik

Elektriksel büyüklüklerin ölçülmesinin genel bir incelemesi, 1. Bölümde ve 4. Cildin sinyal işlem bölümünde ele alınmış ve yükselticiler, darbe yüksekliği analiz cihazlarının üzerinde özellikle durulmuştur. Biz bu bölümde, nükleer cihazlarda, önem arz eden elektronik ile ilgileneceğiz.

3.3.1. Elektronik Montajlar

Özel bir görevi gerçekleştirmek için, bir elektronik set dizaynı mükemmel olarak gerçekten de endüstride önemli sistemler için yapılabilir. Günümüzde daha fazla kullanılan bir sistem, tek tek birbirleriyle bağlantılı bir seri devreyi ortak bir çatı altında toplayarak tasarlamak şeklinde yapılmaktadır. Bu durum, gereken elemanların çatıya monte edilmesi sayesinde pek çeşitli düzenlemelere imkân sağlar ve genelde gerekli güç ünitelerini de beraberinde getirir. Bu "yapılanma-blok" sistemi, bütün dünyada NIM ismi altında standart hale dönüştürülmüş ve temeli US Atom enerjisi komisyonu (USAEC)-Nükleer cihaz modülleri komitesi, USAEC, TID-20893 'ün yayınında sunulmuştur. Temel ortak çatı, 483 mm (19 in) genişliğinde olup, takılabilir üniteler standart boyutlarındadır ve tek bir modül 221 mm yüksekliğinde x 34,4 mm genişliğinde x 250 mm derinliğindedir (Bağlantı ögesi hariç tutulduğu zaman). Modüller, 34,4 mm nin bir, iki veya daha fazla katlarındaki genişliklerde olabilir. Çoğunlukla standart birimler, tekli veya çift genişliktedir. Standart NIM kutularına giren, çoğu standart ünitelerin, pozitif ve negatif stabilize besleme elde etmek için ortak güç beslemesinden, standart bir düzenlemeleri vardır. Ortak besleme ünitesi, NIM kutusunun arkasına monte edilmiştir. Standartlaştırılmış modül sisteminin kullanılması, farklı üreticiler tarafından birimlerin aynı kutu içinde kullanılmalarına izin verir; çünkü tek bir toptancıdan, bütün üniteleri elde etmek hem imkânsız olabilir, hem de ekonomik olmayabilir. Bir üreticide bazen 70 'e yakın bireysel modül bulunabilir ki, bu rakam, çeşitlilik hakkında bir fikir vermektedir. Şekil 3.15 de, küçük bir radyoaktif kaynaktan gelen gama-ışınları enerji spektrumu ölçümü için kullanılan bir ışıltı sayacının tipik düzenlemesi görülmektedir.

Algılayıcı, bir fotoçoğaltıcının fotokatoduna, optik olarak bağlanmış NaI (TI) ışıltı kristalinden oluşabilir. Bütün sistem, ince kalkanlanmış bir şekilde metal bir zarf içerisinde her bir daynodu besleyen, daynodu direnç zinciri ile beraber saklanmışlardır (sayfa 74, 106 ya bakınız). Daynod sistemi, fotoçoğaltıcının alt kısmında yer almakta olup, bir ön yükseltici ile beraber bulunur. Önyükseltici, fotoçoğaltıcının yüksek empedans çıkışını, genellikle 50 Ω civarındaki ana darbe yükselticisinin alçak giriş empedansı ile bağdaştırmak üzere kullanılmaktadır. Bu şekil aranjman, aynı zamanda uzun bir koaksiyel kablunun gerekirse elektronik aksamla, algılayıcı arasındaki bağlantıyı sağlamasına olanak tanır.



Şekil 3.15 Işıltı sayacı tipik elektroniki.
SC: Parıltıcı, PM: Fotoçoğaltıcı, PA: Önyükseltici.

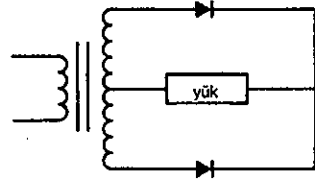
Ana yükseltici, giriş genliklerini, yaklaşık 0,5 - 10V mertebesine yükseltmektedir. Daha sonra, tek-kanal analiz cihazı, ölçülecek kaynağın enerjilerine denk düşen, giriş gerilim aralığını kapsayacak şekilde ayarlanmaktadır. Eğer, ışıltı - fotoçoğaltıcı enerji tepkimesi doğrusal ise, - NaI (TI) da olduğu gibi- o zaman, sistem, bilinen enerji değerindeki kaynaklar kullanmak suretiyle kalibre edilebilir ve bilinmeyen bir enerji kaynağı enterpolasyon (ara değerlendirme) yoluyla bulunabilir.

3.3.2. Güç Beslemeleri

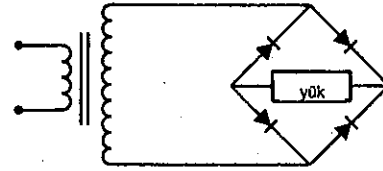
Nükleer cihazların ana güç besleyicileri iki sınıfa ayrılmaktadır: birinci tip besleyiciler, düşük d.c. gerilimlerde yüksek akım (örneğin 5-30 V, 0,5 - 50 A de) ve ikinci tipler, yüksek gerilimli, alçak akım beslemeleri (200 - 5000 V, 200 μ A-5m A değerlerinde) şeklinde tanımlanabilir. Buna alternatif olarak, hem birincil, hem de ikincil (tekrar şarj yapılabilir) bataryalar taşınabilir algılayıcılarda kullanılabilir. Genelde, laboratuvarlarda kullanmak üzere, d.c. şebeke beslemeleri, a.c. şebeke beslemesini doğrultarak ve düzelterek elde edilebilir. Birçok Avrupa ülkesinde ve İngiltere'de, a.c. güç şebeke beslemesi 50 Hz olup, Amerika ve Güney Amerika da 60 Hz. dir; fakat genellikle tek bir frekans için tasarlanmış bir besleme ünitesi diğeri üzerine kullanılabilir.

Buna karşılık, şebeke besleme gerilimleri önemli bir şekilde değişmektedir; İngiltere de 240 V ve birçok ortak pazar ülkesinde 220 V dur. Diğer bazı ülkelerde de 110, 115, 120, 125, 127 V vs. gibi besleme gerilimlerine rastlanmaktadır. Bu şebeke beslemelerinin, bazılarının kararlılığı istenenin çok alt düzeyindedir ve ± 50 V luk dalgalanmalar ölçülmüştür. Nükleer cihazların hepsi kararlı şebeke beslemesine bağımlı olduklarından bu tip değişen şebeke beslemelerinde kullanılabilecek ekipman için özel şebeke besleme kararlılığını sağlayabilen aygıtlar, bir zorunluluk haline gelmiştir. Günümüzde iki tip voltaj düzenleyici bulunmaktadır. Birincisi, demir çekirdek içersinde uygun bir hava boşluğu olacak şekilde tasarlanmış, bir değiştirici biçiminde olan doymuş indüktör kullanılmaktadır. Bu cihaz, karşılanması gereken gerilim salınımının büyük olmadığı hallerde kullanılır. İkinci tip stabilizatör, çıkış geriliminden bir bölüm seçer, onu bir standartla karşılaştırır ve artı veya eksi bir karşılaştırma gerilimi uygular. Bu ünitelerden bazıları sisteme olan giriş akımını değiştirmek üzere motor takviyeli anahtarlar kullanmakta ve bu işlem yavaş gerilim değişimlerine imkân sağlamaktadır. Daha karışık bir sistem ana voltajdan çıkartma veya toplama yapabilmek için yarı iletken kontrolü bir gerilim beslemesi kullanılmaktadır.

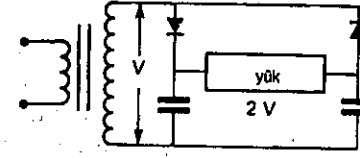
En basit olarak güç beslemesi, bir değiştirici ve doğrultucu (Rektifier) tarafından sağlanmaktadır. En iyi sonuçlar tam-dalga doğrultucusu (Şekil 3.16) veya bir köprü doğrultucusu (Şekil 3.17) ile sağlanmaktadır. Şekil 3.18'de, gerilim-çiftleme devresi gösterilmektedir. Her sistemden gelen çıkışlar daha sonra, Şekil 3.19 daki gibi uygun bir filtre kullanarak düzeltilebilir. Basit bir stabilizatör bir Zener diyodu biçimine uydurulabilir; bu diyod üzerindeki gerilim düşmesi, üzerinden geçen akımdan tamamen bağımsızdır. Basit bir stabilizatör, Şekil 3.20 'de gösterilmektedir. Zener diyodları, oldukça yüksek gerilimleri kararlı hale dönüştürmek için, seri halde kullanılabilir.



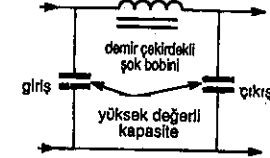
Şekil 3.16 Tam-dalga doğrultucusu.



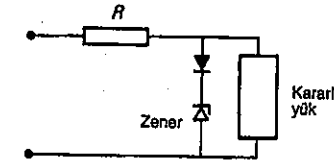
Şekil 3.17 Köprü doğrultucusu.



Şekil 3.18 Gerilim - çiftleme devresi.



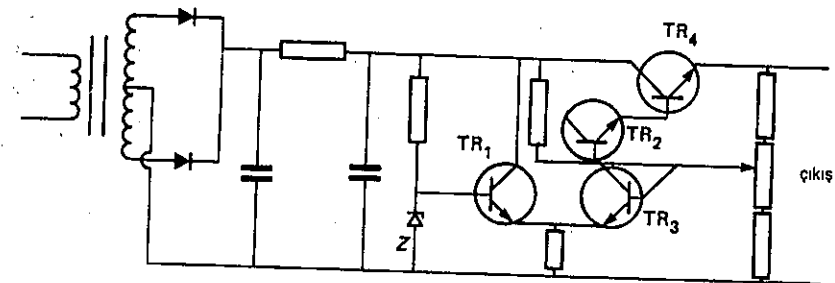
Şekil 3.19 Düzeltici filtre.



Şekil 3.20 Basit doğrultucu.

Geliştirilmiş bir stabilizatör, Zener diyodunu, kontrolörden ziyade bir referans elemanı olarak kullanılmaktadır. Böyle bir devre Şekil 3.21 'de gösterilmektedir; burada algılayıcı bir eleman olan TR_3 taransistörü, sabit zener gerilimi ile, tabanına uygulanan çıkış voltajının bir kesirini karşılaştırmaktadır.

Kontrol transistörü TR_4 serileri vasıtasıyla, fark yükselticisi TR_1 , TR_3 ve TR_2 kontrol sinyalini başlatan çıkış geriliminin, yükselmesini ve alçalmasını düzeltmektedir.



Şekil 3.21 : Geliştirilmiş Stabilizatör

3.3.2.1. Yüksek gerilim güç beslemesi

Yüksek gerilimler, fotoçoğaltıcıları, yarı-iletken algılayıcıları, çok ve tek telli gazorantılı sayaçlarını vs. çalıştırmak için gerekmektedir. Bunların çıkışları hem kararlı, hem de darbe geçişlerinden (transient) bağımsız olmalıdır. Fotoçoğaltıcılarda kararlılık gereksinimi çok önemlidir; çünkü bir fotoçoğaltıcı gerilimindeki % 0,1'lik bir değişim, çıkışta % 1'lik bir değişime neden olmaktadır. Bu sebepten beklenen akım değişim aralığı üzerindeki % 0,01 mertebesindeki kararlılıklar ve a.c. besleme limitleri üzerindeki % 0,001 mertebesindeki kararlılıklar, bu şekildeki güç beslemelerinde tipik olarak gerekmektedir.

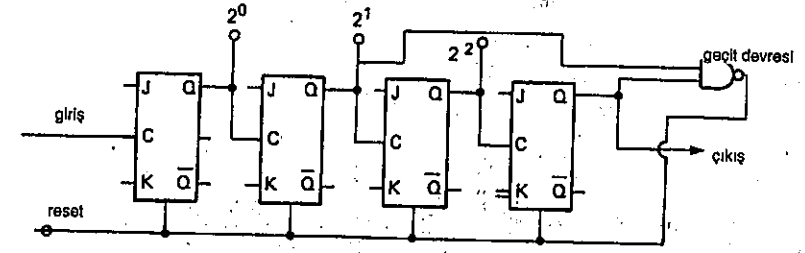
3.3.3. Yükselticiler

3.3.3.1. Ön yükselticiler

Çoğu zaman algılayıcılar, ana elektronik teçhizattan uzaktaki yerlere monte edilmektedir. Bağlantı kablosu belli bir uzunluğun üzerindeyse, önemli miktarda sinyal kaybı meydana gelebilir. Bundan dolayı, ön yükselticiler, daha çok empedans değiştiricisi olarak işe yararlar ve pek çok algılayıcı çıkışlarındaki yüksek empedansı 50 veya 70 Ω luk bir bağlayıcı kabloya eşleştirmek üzere, yeterli ölçüde düşük empedansa dönüştürmektedirler. Eğer algılayıcı bir ısıltı sayacı ise, fotoçoğaltıcının çıkış empedansı, binlerce ohm mertebesinde olabilir ve eğer sayaç çıkışı, 50 Ω luk bir kablo empedansına direkt olarak bağlanırsa, tam olarak sinyal kaybının meydana gelmesi beklenebilir; dolayısıyla uygun bir empedans eşleme cihazının gerekliliği ortadadır.

3.3.4. Ölçekleyiciler

Başlangıçtan itibaren, radyoaktif çekirdeğin parçalanmasının anlaşılması nükleer olayların sayımı yoluyla gerçekleşmektedir. İlk sayaçlar, ikili sayım yapan ikili-ölçek devreleri için termionik süpaplardan kullanılmıştır. Bunlardan bir seri kullanmak suretiyle, on sayaç ölçek devresi türetilebilir. Fakat katı-hal devreleri, bu şekildeki onlu sayaç ölçek devrelerini, tek bir yarı iletken devreye indirgemiş olmaktadır. Bu sistem süpap sistemine göre çok daha güvenli olup boyut olarak daha küçüktür ve daha az akım sarfiyatı vardır. Bütün ölçekler ikili ölçeği temel olarak aldıklarından, Şekil 3.22, onlu bir ölçek devresi elde etmenin düzenlenmesini göstermektedir ve günümüz teknolojisinde birçok onlu-ölçek, tek bir devre içerisinde toplanabilmektedir.



Şekil 3.22 İkili üniteleri kullanarak onluk-sayım devresi.

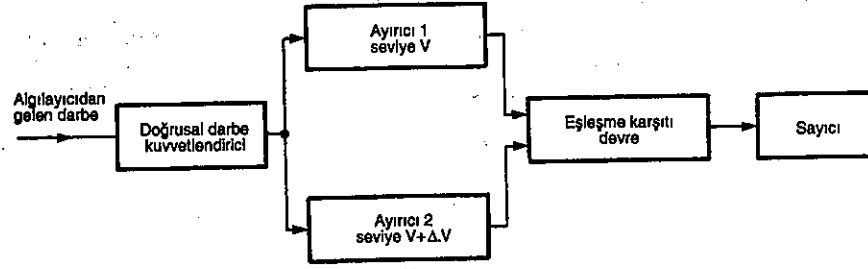
Temel ünite J-K ikilisi olarak tanımlanmaktadır; çünkü bu isimlendirme, ikili ünitenin orijinal geniş-ölçek yayımı için kullanılmıştır. 150-200 MHz'lık hızlar, modern onluk sayaçlarla elde edilebilir. Bunlar, standart salıngaç, giriş-çıkış devreleri gibi yardımcı ünitelerle birleştirebilir ve sayımı gösteren ışık göstergeleri de kullanılabilir.

3.3.5. Darbe-Yüksekliği Analiz Cihazları

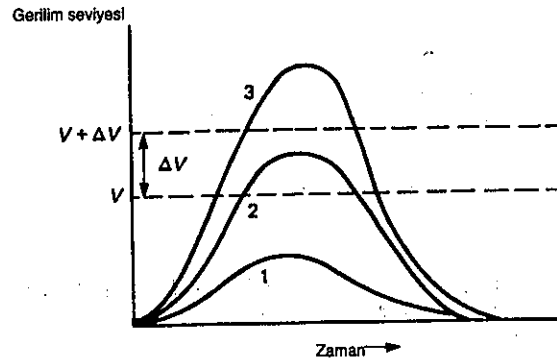
Bir algılayıcı, ölçülen radyasyonun etkisi altında bir tepkime göstermek-teyse, algılayıcıdan gelen darbelerin genliği, enerjinin bir ölçüsüdür. O zaman bu enerjiyi bulmak için, algılayıcı darbelerinin, artan genlik kanallarına sınıflandırılmaları gerekmektedir. Tetikleme devreleri önceden ayarlanan bir seviyenin üzerindeki bütün darbeler için tetikleme özelliğine sahiptirler. Bu şekilde devreler bir ayırıcı vazifesi görmektedir. Biri diğerinden daha yüksek tetikleme seviyesi iki tetikleyici devre kullanmak suretiyle sağlayacak biçimde ve ters çakışan devrenin (anti-coincidence circuit) çıkışlarını bağlamak suretiyle zıt çakışan devrenin çıkışı, sadece ayırıcıların tetikleme seviyeleri arasında kalan gerilim farkı içersine düşen genliklere sahip darbelerden meydana gelecektir. Şekil 3.23 tipik bir düzenlemeyi ve Şekil 3.24 nasıl bir giriş darbesi 1 in, V tetikleme seviyesinin altında hiç çıkış vermediğini, aynı şekilde, darbe 3 ün V+ΔV tetikleme seviyesinin üzerinde hiç çıkış vermediğini göstermektedir. Fakat, iki seviye arasına düşen darbe Z, bir çıkış darbesi üretebilmektedir. ΔV kanal genişliği olarak adlandırılır.

Çok-kanal analiz cihazı (MCA), bir algılayıcının darbelerini, genlikleriyle belirlenen kanallara ayırmaya olanak sağlar. Önceki analiz cihazları, yirmiyeye kadar veya daha fazla tek-kanal analizi gerçekleştirebilmekteydiler. Buna karşılık bunların, kararlı hale geçmeleri zor olmuştur ve bir bilgisayar belleği

ile birleştirilmiş analog sayısal dönüştürücünün, Hutchinson-Scarrott sistemi (ADC) iyi kararlı ve yeterli lineerlikte 8000 adet kanalın çalışmasına imkân sağlamıştır. MCA'nın, tek kanal analiz cihazına göre en büyük dezavantajı, ölü zaman aralığının (yani iki darbe arasında, başka darbeler için kayıt yapılamayan zaman parçası) daha uzun olmasıdır ve böylece daha düşük maksimum sayım hızına sahip olmasıdır.

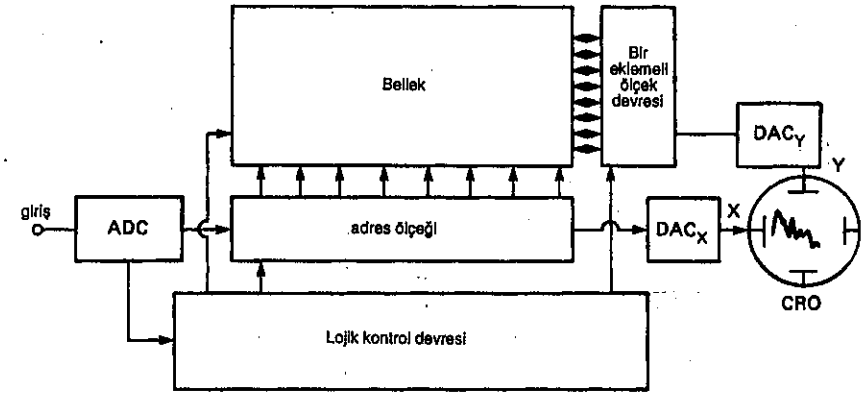


Şekil 3.23 Tek-kanal darbe-yüksekliği analiz cihazı.

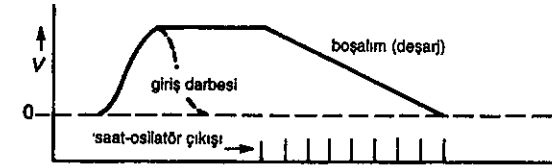


Şekil 3.24 Şekil 3.23'ün dalga formları ve işlemi.

Şekil 3.25'te, tipik bir çok-kanal analiz cihazının blok diyagramı gösterilmektedir. Orijinal ADC, Wilkinson tarafından imâl edilmiştir. Bu cihazda, depolama kondansatörü önce yüklenir ve giriş darbesinin tepe yüksekliğine eşit bir gerilim değerine ulaşır. Sonra kondansatör, bir sabit akım tarafından doğruşal olarak boşaltılır ve bu şekilde bir rampa dalga şekli meydana gelir ve bu zaman süresinde, yüksek-frekans saat salıncacı devreye sokulur (Şekil 3.26).



Şekil 3.25 Çok-kanal analiz cihazının blok diyagramı.



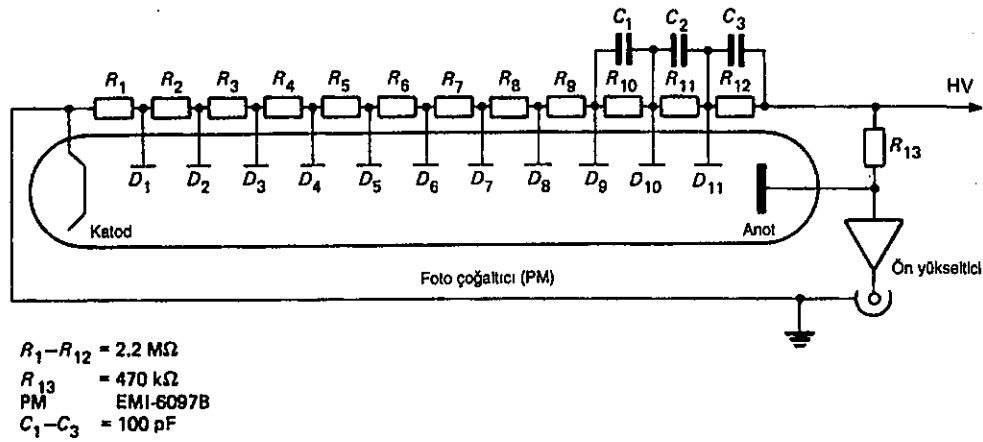
Şekil 3.26 Bir kondansatörün doğruşal boşalma özelliğini kullanan Wilkinson ADC ünitesinin prensibi.

Dolayısıyla, boşalımın periyodu ve saatteki çevrim sayısı giriş darbe genişliğine orantılıdır. Rampa esnasında kaydedilen saat darbelerinin sayısı, kanal sayısını vermektedir ve bunları bir kaydedici de saydıktan sonra, sınıflandırma genellikle bir ferrit-gövde belleğinde kayıtlı edilir. Son gelişmelerden bir tanesi, ardışık yaklaşım analog-sayısal dönüştürücü (Gatti, Kandiah vs.) kullanmaktır. Bu cihaz gelişmiş kanal kararlılığı ve çözünürlüğü sağlamaktadır. ADC ler, daha geniş olarak 1. bölümde ele alınmışlardır.

3.3.6. Özel Elektronik Üniteler

3.3.6.1. Daynod Direnç Zincirleri

Her fotoçoğaltıcı, her daynodu uygun bir gerilimle beslemek için bir direnç zinciri gerektirmektedir. Böylece, ısıltı kristalinden kaynaklanan ışık kıvılcımları, her daynodda hızlanır ve çoğalır. Saniyede 10^5 sayım hızlarında, dirençler çoğunlukla değer olarak aynıdır, böylelikle zincir dirençleri tarafından harcanan toplam akım birkaç yüz mikroamper mertebelerindedir. Şekil 3.27, tipik bir daynod direnç zincir sistemini göstermektedir.

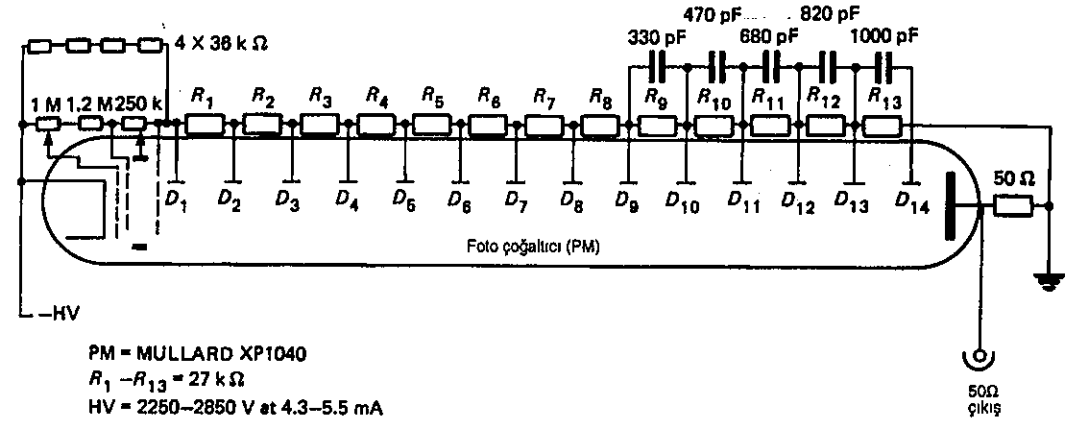


Şekil 3.27 15 000 sayım / s mertebesine kadar olan sayım hızları için daynod direnç zincirleri.

Önceden belirtildiği gibi, daynod zincirini besleyen yüksek gerilim son derece kararlı, gerilim değişimlerinden ve yanıtıcı darbelerden vs. bağımsız olmalıdır. Gerilimdeki % 0.1 lik bir değişim, çıkışta % 1 lik bir değişmeye neden olabilir. Zincir tarafından tutulan ortalama akım düşüktür ve kestirme (bypass) kondansatörlerin yerleştirilmesi, daynodlara beslenen kalıcı akımdan değerce daha yüksek akım değerine sahip darbelerle izin verir. Özellikle, çoğalan elektron şalesinin bulunduğu, fotokatottan başlayıp, çoğalma etkisiyle büyük sayılara ulaşan darbeler buna örnekler.

Ancak, darbelerin sayısı, saniyede 15000 - 50000 den daha fazla olduğu zaman, daynod zincirindeki kalıcı akımı arttırmak gerekmektedir. Aksi takdirde, uzaysal yükleme etkileri daynodlar üzerindeki gerilimlerin düşmesine yol açar, dolayısıyla fotoçoğaltıcı kazancını düşürücü etkileri olmaktadır. Ölçülecek sayım hızı yüksek veya çok hızlı olursa, darbe yükselme zamanlarının sayımı gerekmektedir; o zaman daynod akımı birkaç yüz mikroamperden 5-10 MA e kadar yükseltilebilir ve Şekil 3.28 'de verilen devre kullanılmaktadır.

Fotoçoğaltıcılar, Bölüm 2'de tartışılmaktadır.

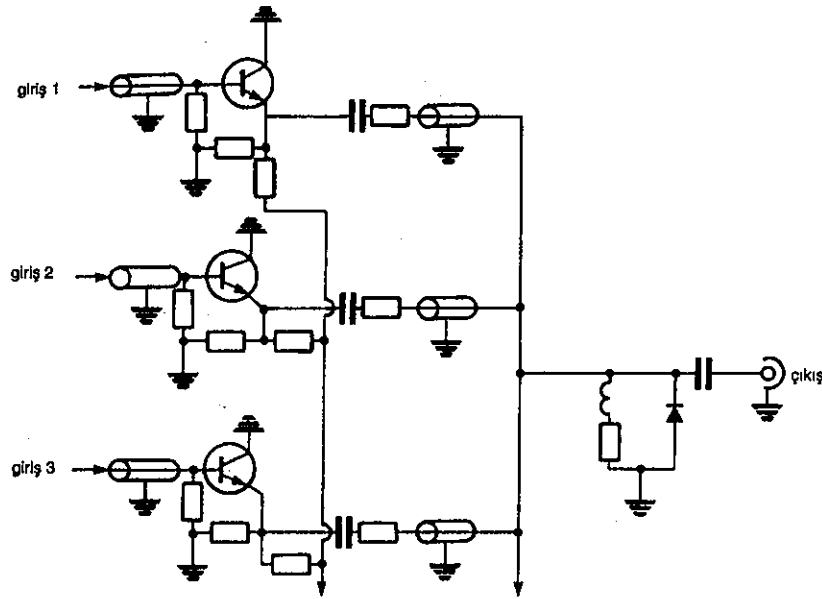


Şekil 3.28 Yüksek sayım hızları için ($\sim 10^6$ c/s) daynod direnç zinciri.

3.3.6.2. Katkı maddeleri / karıştırıcılar

Belli bir sayıdaki algılayıcı sinyallerin, tek bir çıkış altında birleştirilmesi gerektiği zaman, bir karıştırıcı (mixer) ünitesi kullanılmıştır. Bu durum, ortak bir çıkış vermesi için sinyalleri sekize kadar önyükseltici veya yükseltici de toplamaktadır. Bu sistem örneğin, tek bir geniş ısıltı kristaline takılmış birçok fotoçoğaltıcıdan gelen çıkışları birleştirmek gerektiğinde kullanılmaktadır.

Bu şekildeki bir ünite, aynı zamanda tüm gövde sayaçlarında da kullanılmaktadır ve ünitenin, incelenecek gövde çevresinde yer alan birçok farklı algılayıcısı bulunmaktadır. Şekil 3.29 böyle bir ünitenin devre sistemini göstermektedir.



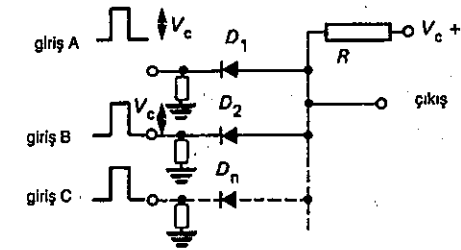
Şekil 3.29 Hızlı sinyal karıştırıcısı / katkıcısı.

3.3.6.3. Dengeleme üniteleri

Bu üniteler aslında, potansiyometre üniteleri olup, farklı algılayıcılardan gelen çıkışlara izin verir. Çoğunlukla bu algılayıcılar sistemin ana yükselticisine girmeden önce sistemin dengelenmesi için, herbir geniş kristal üzerinde çok katlı fotoçoğaltıcılarla beraber bulunan ısıltı sayaçlarıdır. Bu sistematik, özellikle darbe-yükseklik analizi yapılması istendiği zaman gerekmektedir; diğer yandan, çıkıştaki değişimler, verilen bir spektrum çizgisinin enerjisi için elde edilen eşit darbe yüksekliklerini önleyecektir.

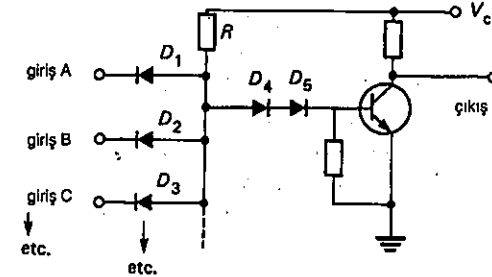
3.3.6.4. Çakışma ve ters-çakışma devreleri

Bir çakışma devresi, iki ya da daha fazla girişli ve bütün girişler eş zamanla denk geldiği zaman, çıkış sinyali veren bir aygıttır. Bu devrelerin sonlu bir "çözünürlük zamanları" vardır; yani devrenin halâ çakışık diye belirleyeceği sinyaller arasında kalan en büyük zaman aralığına verilen isimdir. Şekil 3.30 diyodların anahtar olarak kullanıldığı, basit bir çakışma devresini göstermektedir.



Şekil 3.30 Basit çakışma ünitesi.

Eğer tek veya beraber olarak diyodlar sıfır potansiyelde tutulurlarsa, o zaman, bu diyod veya diyodlar iletken hale geçerler ve devrenin çıkışı toprağa yakın olur. Fakat, her iki girişte V_c genliğinde, eş zamanlı darbeler uygulandıkça, besleme gerilim seviyesi V_c ye yükseltirirse, o zaman bütün diyodlar iletkenliklerini kaybeder ve giriş darbeleri mevcut olduğu müddetçe, çıkış, besleme seviyesine kadar yükselir. Geliştirilmiş bir devre Şekil 3.31 'de gösterilmektedir.

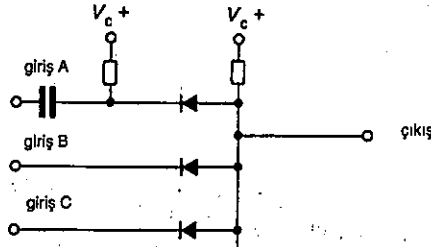


Şekil 3.31 Geliştirilmiş Çakışma Devresi .

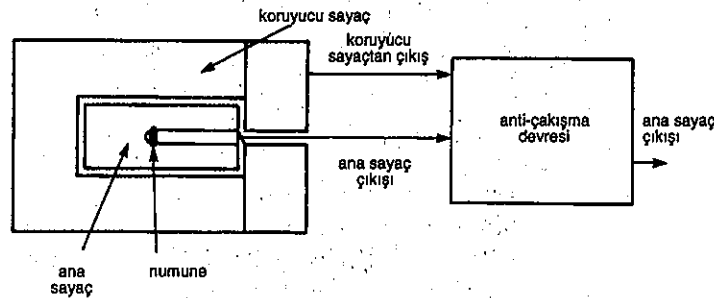
Çakışma devrelerinin kullanılması, kozmik ışınların incelenmesinden kaynaklanmıştır; çünkü yüksek - enerjili parçacıkların istikametlerini belirlemek için, bir seri sayaçın teleskop olarak kullanılmasına olanak sağlar. Sayaçlar arasında, yüksek emici kalıpların kullanılması ile, kozmik parçacık-

ların tabiatı, enerjileri ve eş zamanlı parçacık sağınaklarının varlığı tespit edilmiştir. Bu ölçümlerde ters-çakışma üniteleri, kurşun gibi yüksek yoğunluklu malzemelerde, emilen parçacıkların enerjilerini belirlemek üzere kullanılır. Parçacıklar, kurşuna saplanmadan önce teleskop sayaçlarını tetiklemektedir; ancak bunlar, kurşun kalıbın altındaki sayaçları etkilememektedir.

Günümüzde, çakışma devreleri, bir nükleer reaksiyonun ürünleri veya radyoaktif bozunma esnasında, hızla yayılan parçacıklar veya bir pozitronun yok olması esnasında açığa çıkan iki fotonu tespit etmek için algılayıcılarla beraber kullanılmaktadır. Yukarıda bahsedilen son fiziksel olay, tıbbi tarama, bilgisayar takviyeli tomografi (CAT - tarama) vasıtasıyla, yaşayan insan dokusunu analiz ederken karşımıza çıkmaktadır. Ters -çakışma devreleri, merkez ana sayacı çevreleyerek düşük-seviyeli sayımları gerçekleştirmek için kullanılır. Örneğin, radyokarbon yaşı belirlemesinde, koruma sayacı ve ana sayacı aynı anda meydana gelen sinyaller sayılmazlar; ancak sadece ana merkez sayacında ortaya çıkan sinyaller sayılmaktadır. Şekil 3.32 'de bir çakışma -devresini, şekil 3.33 ise bütün sistemin bir blok diyagramını vermektedir.



Şekil 3.32 Ters-çakışma devresi.



Şekil 3.33 Ters-çakışma devresinin kullanımı.

4. NÜKLEER TEKNİK KULLANILARAK YAPILAN ÖLÇÜMLER

D. ALİAGA KELLY

4.1. Giriş

Hiçbir işe başlamadan önce, nükleer tekniklerin uygulanmasının, endüstride sağlanması gereken, iki önemli yönü vardır. Bunlar:

- (1) Radyoaktif kaynakların kullanılması sırasında veya kullanılmasına niyetlendiği zaman, kanuni hükümlere uymak,
- (2) Yeterli sağlık fiziği yöntemleri ve cihazlarını kullanmak suretiyle çalışanın, kanuni koşullara uyup uymadığını kontrol etmek olarak özetlenebilir.

Kanuni kurallar, radyoaktif kaynağın öne sürülen kullanımını kapsamaktadır; bir anlamda bu kurallar, endüstriyel sahaya malzemenin taşınması, ne şekilde taşındığı, kullanılmadığı zaman nerede ve nasıl depolandığını, artık depolanması yolu ile mi saklandığı yada cihaz veya hammadde üreticisine geri mi gönderildiği gibi soruları cevaplamaktadır. Bölge içi fabrika sorumlusuna, radyoaktif malzemenin herhangi bir endüstriyel uygulaması için haber verilmesi ve önceden kendisiyle temasa geçilmesi, kanunlara doğru bir biçimde uyulmasında faydalı öğütlerin alınmasına neden olacaktır. İngiltere UK Atom Enerji Kurumu, bütün radyoaktif kaynakları kapsayan çok yararlı, güncel kanuni dökümanların bir listesini vermektedir. (Sim. 1986)

Kanuni şartlara uymak için, bir sağlık fiziği ölçüm sistemi kurmak lüzumlu olacaktır. Böylece, öncelikle, bir radyasyon kaynağının yakınında bulunan personelin korunması sağlanmış, ikinci olarak radyasyon seviyelerinin, kanunla saptanan limitler içerisinde kaldığı doğrulanmış olacaktır. Genelde bu durum, Milli Radyoloji Korunma Bürosundan temin edilebilen Film/ısıyayimli dozimetreleri taşıyan kişileri ilgilendirmektedir; bu film dozimetreleri aybaşlarında ve TLD'ler ise daha uzun aralıklarla kontrol edilmektedir. Buna ilâveten, kullanılan radyasyon kaynağının tipine bağlı olarak, belirlenecek işlemin emniyet sınırları içerisinde kalan doz miktarını ölçmek için, uygun bir monitör cihazı istenmektedir. (Ayrıntılı bilgi için 3. Bölüme bakınız).

Bu kitapta, radyoizotopların tümüne birden değinmek mümkün değildir; biz sadece

- 1) Yoğunluk;
- 2) Kalınlık;
- 3) Seviye;
- 4) Akışkanlık;
- 5) İz uygulamaları

6) Malzeme Analizi konularıyla ilgileneceğiz.

Bu uygulamaları detaylı olarak ele almadan evvel, bazı genel noktaları tartışacağız.

Radyoizotopların, hatırı sayılır avantajlarından birtanesi, yayımladıkları radyasyonlarının, bir taşıyıcı tankın duvarlarından, uygun bir algılayıcıya, ölçülen madde ile hiç bir temasta bulunmayı gerektirmeden geçebilmesidir.

Bu demektir ki, tehlikeli sıvılar veya gazlar, kaçak tehlikesi olmadan, (ya maddeden tankın dışına doğru veya dış kontaminasyonun maddenin (substance) içersine doğru), etkin bir şekilde kontrol edilebilir veya ölçülebilir. Dolayısıyla, kimya endüstrisinde pekçok yüksek miktarlarda zehirli maddeler, kaçak riski olmaksızın (örneğin, bunları fabrikanın bir ucundan, diğer ucuna aktaran boruların dış yüzeylerinden) ölçülebilir ve tamamen kontrol edilebilir (Bölüm 4.1.4. e bakınız). Radyoizotop kullanılmasıdaki bir diğer avantajda, ölçümün bir boru içersinden sıvı yada gaz akışını etkilememesidir; ve böyle bir akış tamamen serbest olup engellenemez. Böylece bir sigara- imâl makinesindeki tütün miktarı, tütünü taşıyan tüp kağıt ilerledikçe, her bir sigaranın belli bir miktar tütün bulundurmasını sağlayacak şekilde, kesin olarak belirlenir. Hız, radyoizotopların kullanılmasıdaki bir diğer avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Yoğunluk, seviye v.s. ölçümleri sürekli bir şekilde yapılabilirler, böylece radyoizotop sisteminden gelen sinyalin ölçülmesi ile işlemler kolaylıkla kontrol edilebilir. Böylece, bir yoğunluk ölçeri katıların ve sıvıların karışımını kontrol eder, böylece sabit yoğunluktaki malzeme makineden çıkar. Akışkanların ölçümünde kullanılan hız, örneğin bir nükleer reaktörde dolaşan soğutma gazını ve engellemelerden kaynaklanan normal akışkan ölçümü cihazları ile fark edilmesi mümkün olmayan küçük, lokal değişimleri gözlemeye imkan sağlar.

Radyoizotoplardan gelen radyasyonun girici gücünün, özellikle gama radyografisindeki kullanımı iyi bilinmektedir. Örneğin, çok radyoaktif küçük bir kobalt kapsülü, büyük kütleli ve karmaşık metal dökümlerinin radyografisini çekmekte kullanılabilir. Buna karşılık, geleneksel X- ışınları cihazı, bu işi yapmak için çok büyük kalacaktır. Gama radyografisi, daha kapsamlı olarak 5. bölümde tartışılmıştır. Ayrıca, toprağın derinliklerinde gömülü bulunan borulardaki kaçaklar, radyoaktif sıvı akıtmak ve sonrada borunun geçtiği izin radyoaktivite kontrolünü yapmak suretiyle, sıvının toprağa sızıp sızmadığı kontrol edilir. Şayet kullandığımız radyoaktif sıvının yarılanma ömrü çok küçükse (Yarılanma ömrü bir radyoizotop için, başlangıç aktivitesinin, yarı değerine düşene kadar geçen zamana verilen isimdir) boru hattı, kısa bir zaman içersinde, radyoaktif kirlilikten arınmış olacaktır, böylelikle işçinin boruyu tamir etmesine imkân sağlayacaktır veya, örneğin şehir suyunun kısa bir zaman sonra, vatandaşların tekrar kullanımına açılmasını sağlayacaktır.

4.1.1. Radyoaktivite Ölçme Bağıntıları

Radyoizotoplardan kaynaklanan radyasyon, herhangi bir malzemeden geçtiği zaman, (4.1). denkleminde verildiği gibi enerjilerine, yoğunluk ve tiplerine göre emilmektedir.

$$I = I_0 \text{ Bexp } (-\mu_L x) \quad (4.1)$$

I_0 Geliş radyasyonunun şiddeti

I Malzemeden geçen radyasyonun çıkış şiddeti

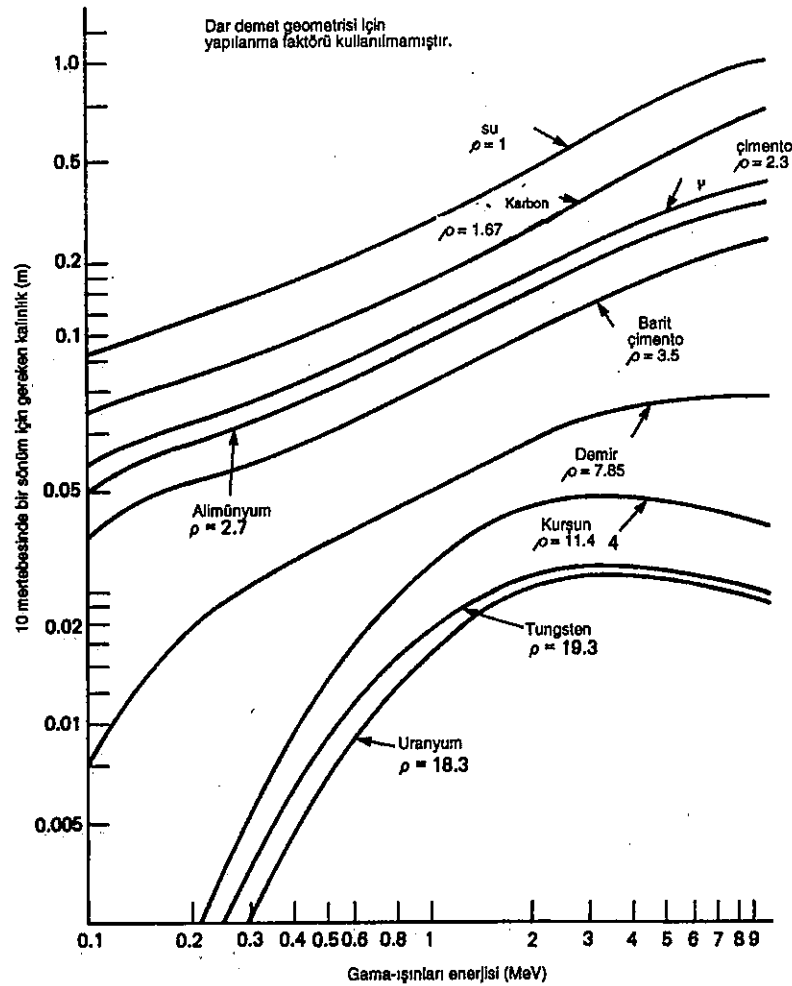
Bu formülde, x malzemenin kalınlığı (cm), μ_L doğrusal emme katsayısı (cm^{-1}) ve B artma (build- up) çarpanı olmaktadır. Emme katsayısı, radyasyon enerjisini, yoğunluk ve malzemenin cinsini ilgilendiren bir katsayıdır; uygun tablolardan, malzeme ve radyasyon kaynağının özel koşulları için bu katsayı elde edilebilir. Bu tablolar, yoğunlukla kütle emme katsayısı (μ_m) (genellikle cm^2/g) cinsinden verilmektedirler ve doğrusal absorpsiyon katsayısının (μ_L) (cm^{-1}), kütle absorpsiyon katsayısı (μ_m) ve malzemenin yoğunluğu (g/cm^3) ile çarpılmasından türetildiğini bilmek faydalıdır. Akılda tutulması gereken bir nokta da, farklı malzemelerin karışım meydana getirdiği bir ortamda, karışımdan geçen aynı radyasyon için, her malzeme farklı bir emme katsayısına sahip olacaktır. Artma çarpanı, (B), gama ışınları veya X- ışınları radyasyonu ile meşgul olduğu zaman geliş radyasyon saçılmasının şiddeti, algılayıcıya gelen hızının saçılma olmadan evvelki şiddetine göre farklılaştırdığından, gerekli bir büyüklük olmaktadır. Elektronlar ve beta parçacıkları için, bu faktör 1 olarak alınabilir. Gama- ışınları emilmesinin zorluğu, Şekil 4.1 de gösterilen eğrilerin doğrusal olmayan özellikleriyle gösterilmektedir. Bu durum, dar bir ışın demeti kullanıldığında, 10 kademeli bir sönmölme-eyi etkilemesi için gereken farklı malzemelerin kalınlıklarını vermektedir.

Denklem 4.1 den, özel bir malzeme için yapacağımız ölçümde, optimum koşulların tercihinde, çok faydalı bilgiler elde edilebilir, veya buna ters olarak, özel bir radyoaktif kaynağımızın olması durumunda, farklı malzemelerin ölçümünde Limitlerin ne olduklarını bulabiliriz.

İlk olarak, yoğunluk ölçümü için, maksimum hassasiyetin

$$x = \frac{1}{\mu_L} \quad (4.2)$$

olduğu zaman elde edilebileceği gösterilebilir. Bu durum, doğrusal emme katsayısının tersinin, malzeme kalınlığına eşit olduğunu söylemektedir. Bu karşıt (reciprocal) aynı zamanda ortalama- serbest yol olarak da isimlendirilmektedir ve gösterilebilir ki özel bir maddenin herhangi bir kalınlığı için, radyoaktif kaynağın optimum bir şekli ve şiddeti vardır.



Şekil 4.1 Dar bir gama-ışını demetini, 1/10 mertebesinde azaltmak için gerekli olan kalınlık.

Çok yoğun maddeler ve kalın numuneler için, yüksek enerji radyasyonu yayımlayan bir kaynak gerekmektedir. Dolayısıyla, çoğunlukla 1.33 ve 1.17 MeV enerjilerinde ışın yayımlayan ^{60}Co izotopu kullanılmaktadır. Ölçeğin diğer bir ucunda, Melinex gibi çok ince filmlerin ölçülmesi için, yumuşak bir beta veya alfa parçacık saçıcısı seçilmelidir. Kalınlığın ölçülmesi için, genellikle iki algılayıcı ve bir kaynağın olması ayarlanmıştır. Kaynaktan gelen radyasyonun, standart bir malzeme üzerinden geçerek bir algılayıcının üzerine düşmesi sağlanır; diğer algılayıcıya ise, test örneğinden gelen radyasyonun çarpması sağlanır. Her bir çift algılayıcıdan gelen sinyal, iki d.c. seviyelerinde birleştirilir ve aralarındaki fark, potansiyometre- tipi-kalem kayıtediciyi çalıştırmaktadır.

4.1.2. Optimum Ölçme Zamanı

Radyoaktivite sayımının temel istatistiği, bir önceki bölümde anlatılmıştır. Şimdi, bunun nasıl özel ölçümlere uygulanabileceğini göreceğiz. Varsayalım ki, saniyede kaydedilen fotonların veya parçacıkların sayısı n olsun, ve kaydetme zamanı da t olarak belirlensin. t zamanında gerçek kayıt edilen miktar $nt \pm \sqrt{nt}$ olacaktır; burada $\sqrt{nt}$, Poisson istatistiğine göre, ölçmenin standart sapmasını vermektedir ve nt nin gerçek değerinin belirsizliğinin bir ölçüsüdür. Göreceli belirsizlik (variasyon katsayısı)

$$\frac{\sqrt{nt}}{nt} = \frac{1}{\sqrt{nt}}$$

şeklinde verilir.

Bir radyoizotop cihazı, bir radyasyon algılayıcısının I çıkışı cinsinden, bir malzemenin X özelliklerini ölçmek için kullanılmaktadır. Cihaz hassasiyeti, veya göreceli hassaslık, S , algılayıcı çıkışının $\frac{\delta I}{I}$ m, kesirsel değişimi

nin oranı olarak açıklanmaktadır. Bu durum, verilen bir $\frac{\delta X}{X}$ kesirsel değişiminden, özelliğin değişimini vermektedir.

$$S = \frac{\delta I}{I} \bigg/ \frac{\delta X}{X} \quad (4.3)$$

Şayet, bir ölçümde, hatanın ana kaynağı, kaydedilen olay sayısındaki, istatistik değişimse; özellik ölçümündeki, değişim katsayısı

$$\frac{\delta X}{X} = \frac{1}{S} \cdot \frac{\sqrt{nt}}{nt} = \frac{1}{S \sqrt{nt}} \quad \text{şeklinde} \quad (4.4)$$

ölçülmektedir. Bunu, S den daha küçük bir değere düşürebilmek için, n veya t veya bu değişkenlerin her üçü de mümkün olan en yüksek değere yükseltilebilir. Birçok durumlarda, buna karşılık ölçme için elverişli zaman süresi kısadır. Bu durum özellikle, levha malzemelerinin, yüksek hız, üretim hatlarında geçerlidir ve sadece birkaç saniye ölçme için yeterli olabilmektedir.

Şimdi, ölçme zamanı, kolimatör, algılayıcı boyutu ve emici kalınlığının, ölçmedeki hatayı nasıl etkilediğini görebiliriz. Ölçme zamanının kısa olması, kolimasyon süresinin artmasına, emicinin kalın olması, algılayıcının küçük olmasına ve sabit bir hatayı tutabilmek için gerekli kaynak aktivitesinin artmasına sebebiyet verecektir. Geniş bir kaynak, daha pahalı olacaktır, ve buna ilâve olarak fiziksel boyutları, kullanılabilen aktivite için bir limit koyacaktır. Bir kaynağın bütün yönlerde ışıma yapacağı akılda tutularak, faydalı ölçüm için, sadece çok küçük bir kısım, kolimasyon ile yönlendirilebilir - kalan diğer kısım, kaynağı korumak için gereken kalkan tarafından emilmektedir.

4.1.3. Doğruluk / Ölçümlerdeki Kesinlik

Bir ölçmenin kesinliği veya tekrarlanabilirliği, aynı miktarda ölçümlerin tekrarlanabilme kabiliyetidir. Kesinlik, standart sapma σ cinsinden, tekrarlı ölçmelerden elde edilen ortalama değerden, nicel olarak ifade edilebilir. Pratikte, radyoaktif kaynağın yayınım hızının istatistiksel sapmalardan, cihazdan kaynaklanan dengesizliklerden ve ölçme koşullarındaki değişimlerden belirlenebilmektedir.

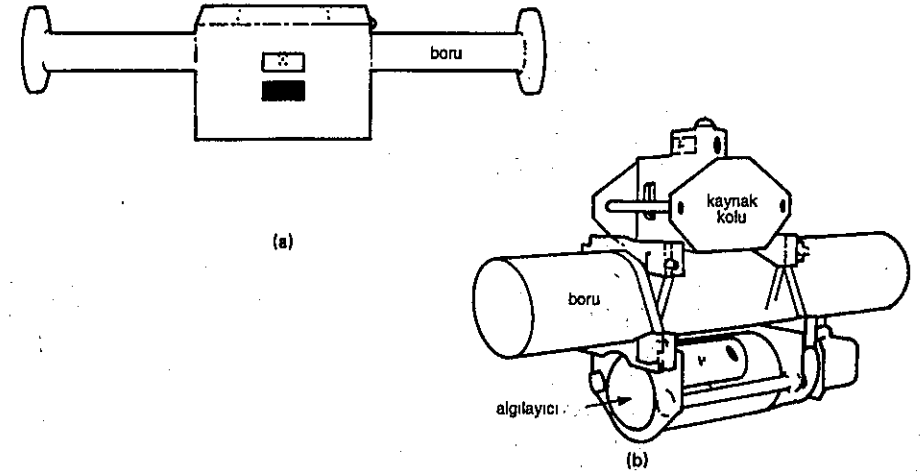
Bir ölçmedeki kesinlik payı, doğruluk derecesinin bir ifadesi olup normal bir ölçüm, ölçülen büyüklüğün gerçek değerini vermektedir. Nicel olarak, tekrar edilen ölçümlerin gerçek ortalama değerinin sapması cinsinden ifade edilebilmektedir. Bir ölçmenin doğruluk derecesi kesinliğe ve kalibrasyonun doğruluk derecesine bağlıdır. Eğer kalibrasyon tam (exact) ise, o zaman limit içersinde, doğruluk (accuracy) ve persizyon (precision) eşit olmaktadır. Kalınlık gibi bir büyüklüğü ölçtüğümüz zaman genellikle iyi bir kalibrasyon edebilir. Diğer taraftan birçok tipteki örnekleri analiz etmek suretiyle, geleneksel yöntemlerle, gerçek değeri elde etmek çoğunlukla zordur, ve sonuçların irdelenmesi sırasında dikkatli olunması gerekmektedir.

Bundan dolayı, genelde sonuç, hesaplanan hata ile birlikte, ayrıca hatanın bilindiği emniyet limitlerinde irdelenmektedir. Bir standart sapmanın, emniyet limiti 1σ (hatarın %68'lik kısmında kalan bölümü), ve iki standart sapma, 2σ (sonuçların, hata içinde kalan %95'lik kısmı) şeklinde kullanılmaktadır. Analitik cihazlarda, ölçülebilen en küçük büyüklüğe veya konsantrasyona, atıfta bulunduğu zaman, 'algılama limiti' terimi tercih edilmektedir. Bu terim, ölçümün standart sapmasının bazı katlarına eşit olan konsantrasyon

olarak tarif edilmektedir. Pratikte, malzemelerin kalınlığını ölçmek için kullanılan radyoizotop cihazlarının doğruluğu $\pm 1\%$ mertebesinde olup, çok hafif malzemelerde bu miktar $\pm 2\%$ olmaktadır. Kaplama kalınlığı, yaklaşık aynı doğrulukta ölçülebilir. Seviye göstergeleri ± 1 mm lik bir ara yüzeyin hareketine duyarlı yapılabilirler. Kapalı kaplardaki, homojen sıvıların yoğunluğunu ölçmek için kullanılan göstergeler, genellikle $\pm 0.1\%$ doğruluk mertebesinde çalışabilmektedirler; bazı özel cihazlar ise, hatayı $\pm 0.01\%$ değerine kadar düşürebilmektedir. Hacim yoğunluklu göstergelerin (bulk density gauge) doğrulukları ölçme koşullarına ve uygulamaya bağlı olarak ± 0.5 den $\pm 5\%$ sınırları içersinde kalmaktadır.

4.1.4. Tanklarda Taşınan Sıvıların Ölçümleri

12.7 mm den 1 m çapına kadar olan borular içersinden akan sıvılarda bazı ölçümler yapmak için nükleer metodlar kullanılabilir. Plâstikler veya 76 mm çapında, ince duvarlı borular için, birleştirilmiş, kaynak ünitesi ve algılayıcısı (Şekil 4.2(a)), kullanılmaktadır; daha geniş borular için ayrı bir tutucu ve algılayıcıdan oluşan sistem (Şekil 4.2(b)) kullanılır.



Şekil 4.2 Akışkan-yoğunluğu Ölçme Sistemleri (Nuclear Enterprises Ltd).

a) Birleştirilmiş algılayıcı kaynak tutucusu

b) Geniş borular için ayrı üniteler

Gama ışınları kaynağı, bir emniyet kapağı ile birlikte kalkanlanmış bir tankda saklanmış olup borunun veya tankın bir yüzüne takılmıştır. Böylece, maksimum doz hızı $7.5 \mu\text{Gy/h}$ den az olmaktadır. 20 atm de, argon bulunduran ölçüm odası, borunun yada tankın diğer yüzüne monte edilmiştir. Standart kol vasıtasıyla tutturulmuş olup, $\pm 0.1\%$ mertebesinde hassasiyeti vardır.

Sistem, 500- 4000 kg/m³ mertebelerindeki yoğunluğu 0.5 kg/m³ hassasiyetle, spesifik yerçekimini, $\pm 0.0005\%$ doğruluk mertebesiyle, katıları $\pm 0.05\%$ mertebelerinde ve ayrıca $\pm 0.25\%$ sınırlarında spesifik ağırlıktaki çamurların nem yüzdesini ölçebilmektedir.

Ölçümlerin prensibi, akışkan sıvı içerisinde, gama ışınlarının emilme derecesi, bir iyon odası sayesinde ölçülmesine dayanmaktadır. Burada çıkış, ayarlanabilir bir kaynağa karşı dengelenebilir. Bu kaynak, ölçümü yapılan malzemenin arzu edilen değerine kalibrasyonu yapılmış kontrol sayesinde, ayarlanır. Standart değerden sapmalar, sinyal tablosunun ön yüzüne takılmış, kalibrasyon metresi üzerinde gösterilmektedir. Daha geniş borular için, sistemin standardizasyonu, elle ayarlanmakta olup, bu amaçla destekleyici bir kaynak temin edilmiştir. Kaynak tipinin seçimi

(1) uygulamaya (2) duvar kalınlığı ve boru çapına ve (3) istenen hassasiyete bağlıdır.

Normal kullanım için, kaynaklar ¹³⁷Cs (Kaynak ömrü 30 sene), ²⁴¹Am (460 sene) ve ⁶⁰Co (5 sene)dir.

Ölçme kafası -10 ilâ + 55°C arasında bir sıcaklık aralığına, sinyal tablosu ise 5-40°C lik bir aralığa sahiptir. Minimum cevap zamanı 0.1 s olup, 25 saniye-ye kadar ayarlanabilir.

4.2. Malzeme Analizi

Analiz yapmada nükleer metodlar, özellikle nötron aktivasyon analizi, doğada mevcut birçok element için, en hassas metodlardan birisidir. Ancak, bütün elementler için geçerli olan tek bir metod, mevcut değildir; olaya karışan değişik faktörleri gözönüne alarak, kullanılacak teknikleri belirlemek gerekmektedir.

- (1) Algılanacak element;
- (2) Olaya giren miktarlar;
- (3) İstenen nicelik analizinin (quantitative analysis) doğruluğu;
- (4) Halihazır değişik metodların maliyeti;
- (5) İstenen istatistik limitlerde, analiz yapabilecek cihazların hazır olup, olmadıkları;
- (6) Gereken zaman;
- (7) Ölçülecek elementin yerleştirildiği matris;

(8) (7). şıkda bahsedilen matrisin, daha etkili bir maddeye değiştirilmesinin fizibilitesi.

Örneğin, çevresel malzeme numunesi, tarif edilen pek çok metod sayesinde, analiz edilebilir; fakat bir metodun seçimi, olaya karışan bütün faktörlere bağlı olarak, bir uzlaşma şeklinde yapılmalıdır.

4.2.1. Aktivasyon Analizi

Bir malzeme, nötronlar, fotonlar, alfa veya beta parçacıkları protonlar ile vb. ışımaya tabi tutulduğu zaman, bazı faktörlere bağlı olarak bir reaksiyon meydana gelebilir. Bu faktörlerden en önemlileri:

- (1) Işıma için kullanılan foton yada parçacıkların tipi;
- (2) Işımanın enerjisi;
- (3) Malzeme içindeki akı;
- (4) Işıma zamanı olmaktadır.

En kullanışlı parçacıkların nötronlar oldukları saptanmıştır, çünkü nötr haldeki konumları, birçok atomu çevreleyen yüksek elektrik alan engellerinden sızmalarına olanak sağlamaktadır ve bu iş için düşük enerjiler yeterli olmaktadır. Gerçektende, ışınlamanın (irradiation), en çok kullanılan yollarından bir tanesi, nükleer reaktörlerde bol bir şekilde üretilen düşük enerjili termal nötronlardır (0.025 e V). Meydana gelen etkileşimler, ortamdaki mevcut bazı elementlerin radyoaktif hale geçmelerini sağlar ve tekrar nötr atomlara dönüşümleri sırasında mevcut elementlerin yapıları hakkında bilgi sağlayan parçacıklar veya radyasyon yayımlarlar.

Nötron aktivasyon analizi, söylendiği üzere, kalın bir numuneyi zedelemekten kimyasal yöntemlerle olduğu gibi, düşük miktarlardaki elementleri belirlemede en faydalı ve hassas tekniklerden bir tanesi olmak durumundadır. Beta parçacıkları yada gama ışınları yayımlayarak bozulan elementin radyasyonuna özellikle tepkime gösterebilecek bir algılayıcı sistemi seçilebilir; bu sistem diğer tip radyasyonlara ve malzemede bulunabilen başka elementlerden gelen farklı enerjileri algılamamaktadır. Radyasyonun yarılanma ömrü, söz konusu elementi belirlemek için de kullanılmaktadır; ve ilgilenilen enerjideki tepkimenin genliği, numunede bakılan element miktarının direkt ölçüsünü vermektedir. Nicel olarak, ışınlama sonunda mevcut indüklemeye aktivitesi A ile olan ilişki

$$A = N \sigma \phi \left[1 - \exp \left[\frac{-0.693 t_i}{T_{1/2}} \right] \right]$$

şeklinde ifade edilir. Burada, N mevcut hedef atom sayısı, σ kesit alanı (cm^2), ϕ ışınlama akısı (nötron $\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), t_i ışınlama zamanı ve $T_{\frac{1}{2}}$ ürün

çekirdeğin yarılanma ömrüdür. Buradan, elementin mevcut atom sayısı N yi uygun düzeltme faktörlerini dikkate alarak hesap edebiliriz. Elementin aktivasyonunun yanısıra ve müteakip bozunma ürünlerinin ölçülmesi sonucunda, numune bombardımana tabi tutulurken, ortaya çıkan uyarılmış ürünlerin sayımı yapılabilir. Bu işleme 'direk gama-ışınları analizi' ismi verilmektedir ve örneğin, ayın yüzeyini analiz etmek için kullanılmaktadır. Birçok elementler beta parçacıkları, elektronlar veya gama ışınlarıyla bombardıman yapıldıkları zaman radyoaktivite üretmezler. Buna karşılık, pek çoğu bombardımana uğradığı zaman karakteristik X-ışınlarını yayımlar ve meydana gelen X-ışınları mevcut her elementin karakteristiğini yansıtmaktadır. Bu işlem aşağıda anlatılacak olan X-ışınları floresan analizinin temelini teşkil etmektedir.

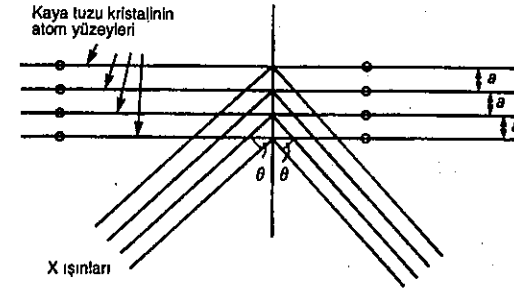
Elektron ve protonlar karakteristik X-ışınları ve parçacıklar yayımlayan elementleri uyarmak için kullanılmaktadırlar, ancak bir teknik çok yüksek vakum altında çalışmayı gerektirmektedir.

Yüksek enerjili gama ışınları, nötron yayımında bazı elementleri uyarma özelliğine sahiptir; bu durum, berilyum 1.67 MeV ve döteryum 2.23 MeV den daha yüksek enerjili gama ışınlarına tabi tutulduğu zaman meydana gelmektedir. Bu özellikten faydalanarak, açık sahada taşınan bir monitör sayesinde, ^{124}Sb kaynağının berilyumu uyarmasından faydalanılarak berilyum taraması yapılmaktadır. Hızlandırıcılardan gelen yüksek enerjili gama ışınları birçok elementi uyarma özelliğine sahiptirler, ancak çok pahalı cihaz gerektirmektedirler.

4.2.2. X- Işınları Floresan Analizi

4.2.2.1. Ayırıcı X-Işınları Floresan Analizi

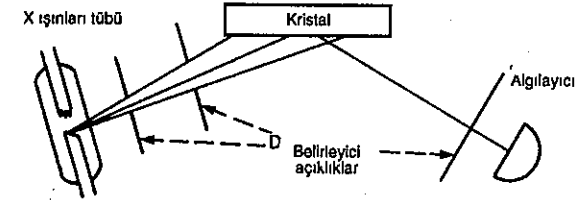
Ayırıcı X-ışınları floresan analizinde, X-ışınlarına tabi tutulan bir maddeden neşredilen karakteristik X-ışınları spektrum enerjisi, ayırıcı X-ışınları spektrometresi yoluyla belirlenmektedir. Bu cihaz, analiz elementi olarak, X-ışınlarının içersinden geçtiği normal bir kristal yapısı kullanılmaktadır. Bu özellik Bragg tarafından keşfedilmiştir ve Bragg 1913 yılında, bir kaya tuzundan hareket ederek, kristal difraksiyonu metoduyla, ilk kez X-ışınları spektrumunu elde etmiştir. Şekil 4.3, X-ışınlarının kaya tuzundan kırınımına uğradığı zaman, ne meydana gelebileceğini göstermektedir. Bragg yansıyan X-ışınlarının Bragg kanununa uyduğunu bulmuştur.



Şekil 4.3 Bir kaya tuzu kristali boyunca X-ışınlarının kırınımı.

$$n\lambda = 2a \sin \theta$$

Burada λ gelen ışının dalgaboyu, a kafes düzlemleri arasındaki mesafe ve n yansımanın mertebesini gösterir. θ geliş ve aynı zamanda yansıma açısıdır. Bu metodla X-ışınları spektrumunun, şiddet dağılımını ölçmek için, geliş demetinin yönlendirilmesi lazımdır ve algılayıcı normalin ters tarafında denk gelen pozisyona yerleştirilir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Dispersif X-ışınları spektrometresi.

Sistem efektif olarak, Bragg yansıması için, uygun bir açıda gelen bütün ışınları seçmektedir. Eğer geliş açısı değiştirildiği takdirde (Normal olarak, kristali, kontrol edilebilen bir açıda çevirmekle ve algılayıcıyı da bu açının iki katı büyüklüğündeki bir açıda yerleştirmekle mümkün olmaktadır), algılayıcı farklı dalgaboyuna sahip bir radyasyon alacak ve bir spektrum elde edilecektir. Şayet sistem, araştırılan bütün dalgaboyu aralığında $d\theta$ açısı için sabit bir değerde ise, (Şekil 4.4 de gösterildiği gibi), o zaman

$$nd\lambda = 2ad(\sin\theta) = 2a \cos \theta d\theta \text{ yazabiliriz.} \quad (4.7)$$

Bundan dolayı, elde edilen şiddet $\cos\theta$ ve $d\theta$ ya orantılı olacaktır. $\cos\theta$ ile bölmeyi takiben, kristalin yansıma katsayısının açısı ile olan değişim ve algılayıcı verimliliği, dalga boyu değişimi için düzeltme yapıldıktan sonra, kaydedilen sinyal, birim dalgaboyu aralığına gelen şiddetle orantılı olacaktır; ve bu şekilde, sürekli X-ışınları spektrumu geleneksel olarak çizilmektedir.

4.2.2.2. X-ışınları Floresan Analizi (Dağılmayan)

Bir madde X-ışınları veya (γ)-ışınları demeti ile ışınladığı zaman, mevcut elementlerin ışıma yaptığı bulunmuştur ve bu elementler, kendilerine özgü enerji değerlerinde X-ışınları yayarlar. Gelen X-ışınlarının enerjisini seçmek suretiyle, arzu edilen elementler bulunabilir. Bir örnek verecek olursak, bir gümüş sikke X-ışınları ile radyasyona tabi tutulduğu zaman, mevcut olan gümüş 25.5 keV mertebesinde enerji yayınlamaktadır; şayet madde de çinko, bakır gibi elementler de varsa, bunlardan karakteristik X-ışınları 8.0 ve 8.6 keV değerlerinde yayınlanacaktır.

Sıvı azot sıcaklığına soğutulan Si (Li) ve Ge (Li) algılayıcıları, değişik spektral çizgileri ayıraraklar ve çok kanal (multichannel) analiz cihazı, elektronik olarak bunların şiddetlerini değerlendirecektir. Ancak, şuna dikkat çekilmektedir ki, gelen X-ışınlarının ve uyarılmış, karakteristik X-ışınlarının metallerde çok kısa ilerleme yolları vardır ve teknik, özde metal yüzeyindeki elementel konsantrasyonu ölçmektedir. Uyarılmış X-ışınları, tayin edilecek elementin 'K- emme kenarı' nı aşacak enerji seviyesinde seçilmektedir ve böylece yüksek atom ağırlığına sahip elementler karakteristik ışıma yapamayacaklardır. Tablo 4.1 de günümüzde kullanılan kaynaklar verilmektedir.

Bunlara alternatif olarak, uygun elementlerden yapılmış anodlarla birlikte, özel X-ışınları tüpleri, özel analizler yapmak ve radyoizotop kaynaklarının ürettiği şiddet seviyelerinden daha yüksek seviyeler elde etmek için kullanılmaktadırlar. Gaz orantılı sayaçları ve NaI (TI) ısıtılı sayaçları dağıtıcı olmayan X-ışınları floresan analizinde kullanılmaktadırlar; fakat yüksek çözünürlüklü yarı iletken algılayıcı, bu çalışmadaki en önemli algılayıcı tipidir. Birçok sistemler, sabit bir laboratuvar ortamında kullanıldıklarından ve sıvı-azot sıcaklıklarında çalıştırılma ihtiyacından dolayı, içersinde sıvı azot bulunduran birçok yalıtılmış küçük kaplar, tekrar doldurulmadan önce 8 saatlik bir kullanım süresi sağlamaktadırlar.

Süper-saf Ge algılayıcılarının piyasaya sürülmeleri, sınırlı sürelerde sıvı-azot sıcaklıklarında çalışabilen taşınabilir sistemlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur; ancak vakum altında kaldıkları sürece, algılayıcıyı zarara uğratmadan oda sıcaklığına yükseltilebilirler; bu durum, ilk kez Ge (Li) algılayıcısında, Lityumun oda sıcaklığından, kristalden difüzyon ile uzaklaşması şeklinde meydana gelmekteydi. AsSi (Li) algılayıcıları, en fazla 30

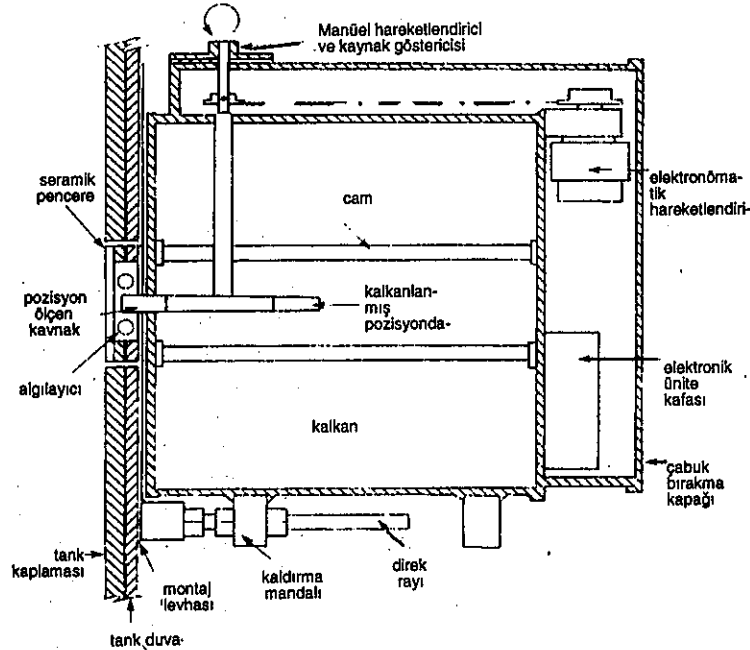
keV mertebesine kadar gereklidirler, Ge (HP) algılayıcısının ortaya çıkışı, yüksek enerjilerde laboratuvar koşulları dışında ayırıcı olmayan (non-dispersive), X-ışınları floresan analizine izin vermektedir.

Tablo 4.1 X-ışınları floresan analizi için uyarılma kaynakları.

İzotop	Yarı Ömür	Ana foton enerjileri (keV)	Yayınma (%)
²⁴¹ Am	433 sene	11.9—22.3 59.5	~40 35.3
¹⁰⁹ Cd	453 gün	22.1, 25.0 2.63—3.80	102.3 ~10
⁵⁷ Co	270.5 gün	88.0 6.40, 7.06 14.4 122.0 136.5	3.6 ~55 9.4 85.2 11.1
⁵⁵ Fe	2.7 sene	5.89, 6.49	~28
¹⁵³ Gd	241.5 gün	41.3, 47.3 69.7 97.4 103.2	~110 ~2.6 30 20
¹²⁵ I	60.0 gün	27.4, 31.1 35.5	138 7
²¹⁰ Pb	22.3 sene	9.42—16.4 46.5	~21 ~4
¹⁴⁷ Pm	2.623 sene	+Bremsstrahlung 1.16 MeV (Hedef metalin karakteristik X-ışınları)	~0.4
+hedef		+Bremsstrahlung 225 keV	
²³⁸ Pu	87.75 sene	11.6-21.7	~13
^{125m} Te	119.7 gün	27.4, 31.1 159.0	~50 83.5
¹⁷⁰ Tm	128 gün	52.0, 59.7 84.3	~5 3.4
Tritium (³ H)	12.35 sene	+Bremsstrahlung 968 keV	
+Ti hedef		4.51, 4.93	~10 ⁻²
		+ Bremsstrahlung 18.6 keV	
+Zr hedef		1.79-2.5	~10 ⁻²
		+ Bremsstrahlung 18.6 keV	

4.2.3. Nötronlar Sayesinde Nem Ölçümü

Bir madde içersinden, bir demet hızlı nötron geçtiği zaman, numunedeki her hidrojen atomu, hızlı nötronları termal enerji değerlerine düşürecek ve bu yavaş nötronlar BF_3 veya ^3He dolumlu, gaz orantılı sayaçlarla algılanabilirler. Malzemelerde bulunan hidrojen'in büyük bir bölümü sudan kaynaklanmaktadır ve nötron yavaşlaması direk olarak hidrojen yoğunluğuyla orantılıdır; ve bu gerçek, birçok malzemenin, nem miktarının ölçülmesine neden olur. Buna karşılık kadmiyum, bor ve asal toprak elementleri, klor ve demir, su miktarının ölçülmesinde etkileri olabilir, çünkü termal nötronları tutma olasılıkları çok yüksektir. Bu elementlerin mevcut olduğu durumda, nem ölçme metodunun dikkatlice kullanılması gerekmektedir. Diğer taraftan, bu metod hidrojen miktarı ve diğer elementlerin konsantrasyonlarının sabit tutulması koşuluyla, maddelerdeki bu elementlerin analizi için bir yol teşkil etmektedir. BF_3 veya ^3He algılayıcıları hızlı nötronlara duyarlı olduklarından, radyoaktif hızlı nötron kaynağını, termal nötron algılayıcısının yakınına yerleştirmek mümkündür. Böylelikle, hızlı nötronların yavaşlamasından ortaya çıkan her saçılmış termal nötronun algılanması mümkün olur. Bu tip donanımlar sayesinde, sandıklar, fiçiler gibi benzer yerlere depolanan taneli malzemelerdeki örnek miktarı sürekli olarak ölçülebilir. Ölçme kafası, depo-nun dışarsına monte edilmiş olup, radyasyon geçirilebilen seramik bir camdan girmektedir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Kaplardaki tanecikli malzemelerin nem miktarını ölçmek üzere nemmetre.

Dönüştürücü, hızlı-nötron-radyo-izotop kaynağı ve yavaş nötron algılayıcı dan meydana gelmiş olup, kalkanlanmış ölçme kafası içersine monte edilmiştir. Kaynak, döner bir diskin üzerine takılmıştır; dolayısıyla, elektro-pnömatik hareketlendirici sayesinde, ya kalkanın orta kesiminde veya yavaş nötron algılayıcısının ve kaba dışdan monte edilmiş, ölçme kafasının bir ucundaki seramik pencere yanına yerleştirilebilir. Kaynak tarafından üretilen hızlı nötronlar temel olarak, ölçme kafası yanında yer alan, nemli malzemede bulunan, hidrojen atomlarıyla çarpışmalar sonucunda yavaşlamaktadırlar. Algılayıcılardaki sayım hızı, hidrojen miktarının artışıyla artmakta olup, nem miktarının bir ölçütü olmaktadır.

Yavaş nötron algılayıcısı, standart, ticari olarak piyasada bulunabilen bir cihaz olup, ölçü kafası sökülmeden ulaşılabilecek durumdadır. Ölçü kafası ile beraber izole edilmiş bir kapta yer alan elektronik aksam, bir yükselticiden, darbe-yüksekliği analiz cihazı ve hat-sürücü modülünden meydana gelmektedir. Hat sürücü modülü, ön-şekillenmiş 5V luk darbeleri, işlem ünitesine beslemektedir.

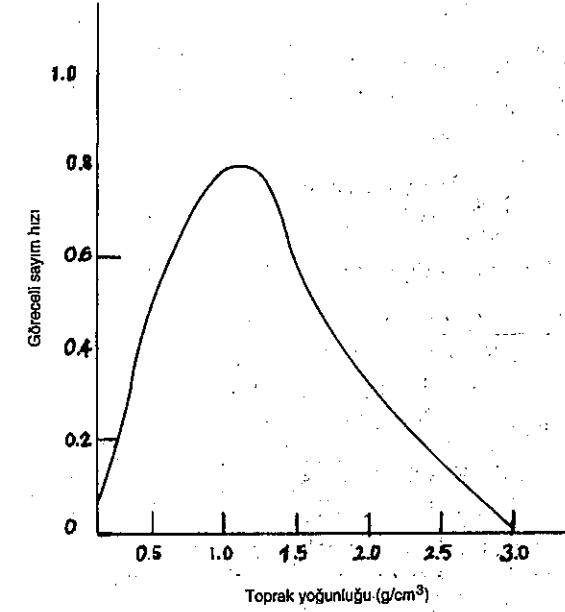
Temel elektronik ünitelerden gelen darbeler, işlemci ünitesinde sayısal işleme tabi tutulurlar. Böylece, alın paneline monte edilmiş bir 100 mm ölçek üzerinde veya başka bir cihaz üzerinde sayısal yada analog sinyal olarak nem miktarının analog gösterimi elde edilir. Cihaz, % 0-20 nem değerleri arasında kalan sınırları ve ± 0.5 % nem kesinliğine ve 5-25s tepkime hızına sahiptir. Numune hacmi 100 ve 300 litre arasında yer almakta olup, algılayıcının çalışma sıcaklığı 5-70°C, elektronik aksamın sıcaklığı ise 5-30°C arasında yer almaktadır. Şekil 4.6, böyle bir nem göstergesinin bir kok tankında kullanımını göstermektedir. Benzer bir algılayıcı ve radyoaktif kaynak düzenlemesi, sondaj nötron nemmetrelerinde kullanılmaktadır.

Hızlı nötron kaynağı, genellikle silindirik yapıda olan, termal nötron algılayıcısı civarındaki bir halka içinde bulunur ve bu iki bileşen sağlam çelikten silindirler içersine monte edilmişlerdir. Bu sistem bir "borehole" (bor çukuru) içersine bırakılabilir ve cihaz indikçe, sondaj deliği çevresindeki su dağılımını ölçecektir. Bu sistem, toplam toprak yoğunluğuna (yüksek emme kesidine sahip hiçbir elementin bulunmadığı koşulda) biraz duyarlıdır. O zaman, ölçülen nem miktarı üzerine olan etkiyi ortadan kaldırmak için toplam toprak yoğunluğu hakkında sadece kaba bir tahmin yapmak gerekmektedir. Toprakta bulunan su miktarı, yoğunlukla ağırlık yüzdesi olarak verilmektedir; çünkü su miktarını belirleyen normal gravimetrik metod, suyun ağırlığını ve toprak numunesinin toplam ağırlığını ölçmektedir. Nötron ölçme göstergesi ile ölçülen su miktarını, ağırlık yüzdesine dönüştürmek için, bir kimsenin bağımsız bir ölçüm yapmak suretiyle gerçekleştireceği, toprak yoğunluğunu da bilmesi lâzımdır. Bu, "borehole" (bor çukuru) durumunda olduğu gibi, benzer bir "borehole" cihazı ile gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.6 Tank üzerinde, kok nem göstergesi kullanımı.
(Nuclear Enterprises Ltd. in müsaadesiyle)

Bu cihaz, prob ucundaki bir kaynaktan gama ışınlarının probun arkasına yerleştirilmiş uygun bir gaz dolmuş algılayıcısına saçılmasını sağlamaktadır. Kurşun tapa, kaynaktan gelen direk radyasyondan algılayıcıyı korumaktadır. Şekil 4.7, cihazın tepkisini göstermektedir.



Şekil 4.7 Saçılmış -gama- ışınları göstergesinin toprak yoğunluğuna olan tepkimesi.

Probun çevresinde, sıfır yoğunluktaki malzeme için algılayıcının tepkisi sıfırdır; çünkü gama - ışınlarının saçılmasına ve algılanmasına neden olacak malzemeler, algılayıcı yanında bulunmamaktadır. Pratikte, serbest havada bile prob, hava moleküllerinin saçılmasından kaynaklanan küçük bir arkafon gösterecektir. Civardaki yoğunluğun artmasına bağlı olarak, algılayıcıya doğru olan saçılma başlar ve cihazın tepkimesi yoğunlukla lineer olarak artar; ve özel bir kaynak ve toprak için bir maksimuma ulaşır. Sonra, tepkime azalacak ve maksimum yoğunluğa erişilince, sıfır olacaktır. Tepkime, değişen yoğunlukla, bir maksimumdan geçtiğinden, prob parametreleri ayarlanmalıdır, böylece ilgi alanı içerisindeki yoğunluk sınırlarının, tamamen maksimumun bir tarafında yer alması sağlanabilir. Toprak-yoğunluk göstergeleri, tepkimenin negatif-eğim tarafında çalışabilecek şekilde tasarlanmışlardır.

4.2.3.1. Nötron-nem ölçerlerinin kalibrasyonu

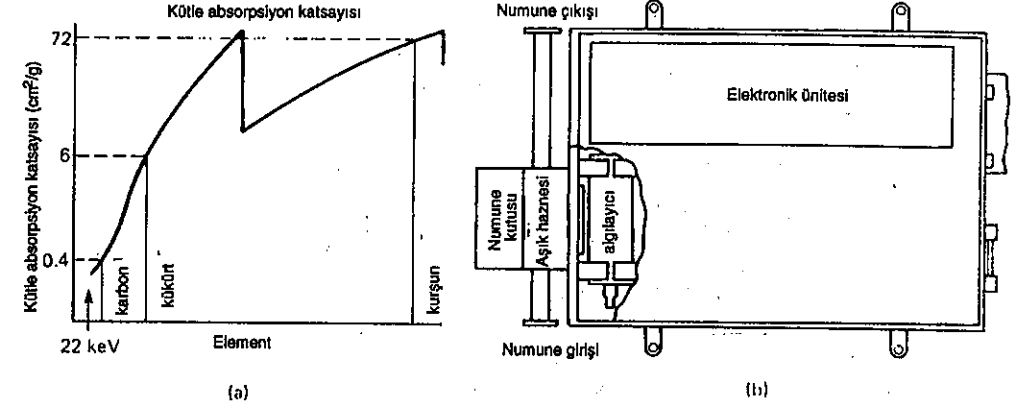
İlk nötron-metre modelleri, bilinen yoğunluktaki beton bloklar içersine sokulmak suretiyle kalibre edilirdi; fakat bu yüzden yöntem önemli hatalara neden olabilmekteydi, çünkü betondaki tepkime, toprakta meydana gelen den oldukça farklılık göstermekteydi. Test edilecek malzemenin bileşimine karşı, gösterge hassasiyetini ortadan kaldırmak için, Ballard ve Gardner, bilinen bileşimde, deneysel gösterge cevapları veren yoğun olmayan homojen malzemelerin kullanılması gerektiğini ileri sürmüşlerdir. Bu veriler daha sonra, en küçük kareler metodu kullanılarak bir denkleme bağdaştırılmaktadır. Bu denklem, özel bir bileşimdeki toprakta uygulanan, özel bir prob için düzeltmeyi sağlamaktadır.

İkili Göstergeler

Geliştirilmiş göstergeler, algılayıcının, ısıtıcısının seryum ile aktive edilmiş Lityum camı olduğu, ısıltı sayacından meydana gelmektedir. Bu şekilde, algılayıcının hem nötronlara hem de kaynaktan gelen gama ışınlarına hassasiyeti sağlanmaktadır; aynı prob yavaşlamış nötronları, ve gama ışınlarını aynı anda algılamak için de kullanılır; bu ikisi birbirlerinden farklı darbe şekilleri verdiklerinden dolayı ayırd edilebilirler. Böylece, biri nötronları, diğeri saçılan gama ışınlarını ölçmek için için iki ayrı proba gerek kalmaz; bu durum nem ve yoğunluğun darbe-şekli analizi ile gözlenmesine müsaade eder. Yüzey - nötron göstergeleri de piyasada bulunmaktadır. Bu cihazlarda, radyoaktif kaynak ve algılayıcı dikdörtgen bir kutu içersine monte edilmişlerdir; kutu ise düz toprak yüzeyine yerleştirilmiştir. Bu şekildeki ölçmelerde, yüzeyin düzgünlüğü önemlidir; aksi halde, boşluklar, algılayıcı tepkimesinde önemli hatalara neden olabilirler.

4.2.4. Sıvı Hidrokarbonların Kükürt Miktarının Ölçülmesi

Ham petrolde kükürt, ağırlıkça % 5 mertebelerine kadar bulunmaktadır; rafine edilmiş petrolde ise bu oran daha azdır. Birçok ülkede, çevre sağlığı açısından yüksek kükürt içeren yakıtların kullanılması yasaklanmıştır. Kükürtlü bileşenler, makinelerin ve kazanların korozyonuna neden olur ve katalizör etkilerini sınırlar, dolayısıyla konsantrasyonu makûl bir seviyeye düşürmek mutlaka gereklidir. Kükürt miktarının hızlı sayımı ana hedef olup, uygun X-ışınlarının absorpsiyonunun ölçülmesi, direk bilgisayar kontrollu bir yöntemdir. Genelde, kütle emiş katsayısı, atom numarasının artmasına bağlı olarak artmaktadır (Şekil 4.8) ve X-ışınlarının dalga boyunun kısalması ile de azalmaktadır.



Şekil 4.8 Direk bilgisayar kontrollu kükürt analiz cihazı.

(Nuclear Enterprises Ltd.)

a) Kütle emme katsayısı

b) Cihaz düzeneği.

Doğru ölçüm yapabilmek için, seçilen dalgaboyunun, hidrokarbonun karbon-hidrojen oranındaki değişimlerden bağımsız olması gerekmektedir. Kullanılan X-ışınlarının 22 keV değerinde bir enerjileri olduğu zaman, karbon ve hidrojen için, kütleli yakalanma (Mass attenuation) eşit olmaktadır. Bu şekilde X-ışınlarını kullanarak, emilmenin karbon-hidrojen oranından bağımsız olması sağlanır. Uygulanan X-ışınları, ²⁴¹Am radyoizotopundan kaynaklanan radyasyonun, bir gümüş hedefe yöneltilip floresan uyarılmaya sebep olunması ve bunun sonucunda 23 keV enerji değerindeki X-ışınlarının ortaya çıkması ile elde edilmektedir. Bu kaynak 450 senelik bir yarılanma ömrüne sahip olduğundan, kaynağın yarılanmasından dolayı bir sapma (drift) söz konusu olmaz. X-ışınları, içinden hidrokarbonun aktığı bir ölçü hücresinden geçmektedir ve kükürtün her birim ağırlığı için olan emme, karbon ve hidrojen'in emilmesinden çok daha fazladır ve emilen X-ışınları miktarı, kükürt konsantrasyonunun bir ölçüsüdür. Ne yazık ki, X-ışınları emme derecesi, numune yoğunluğuyla ve yüksek atom ağırlıklı eser elementlerin ayrıca suyun konsantrasyonu ile de etkilenmekte, ve değişmektedir.

X-ışınları konsantrasyonu, yüksek çözünürlüklü orantılı sayaçla da ölçülebilir; bu şekilde doğruluk payı, sayım sayısındaki istatistiksel değişimin, algılayıcı kararlılığının ve bağlı elektronik aksamın bir fonksiyonu olmaktadır; bu etkiler ± 0.01 mertebesinde kükürt konsantrasyonu hata payına sebep olabilirler. 650 ppm mertebesindeki su miktarı da, kükürte % 0.01 lik bir hataya neden olabilecektir. Yoğunluk değişimleri için karşılama nükleonik

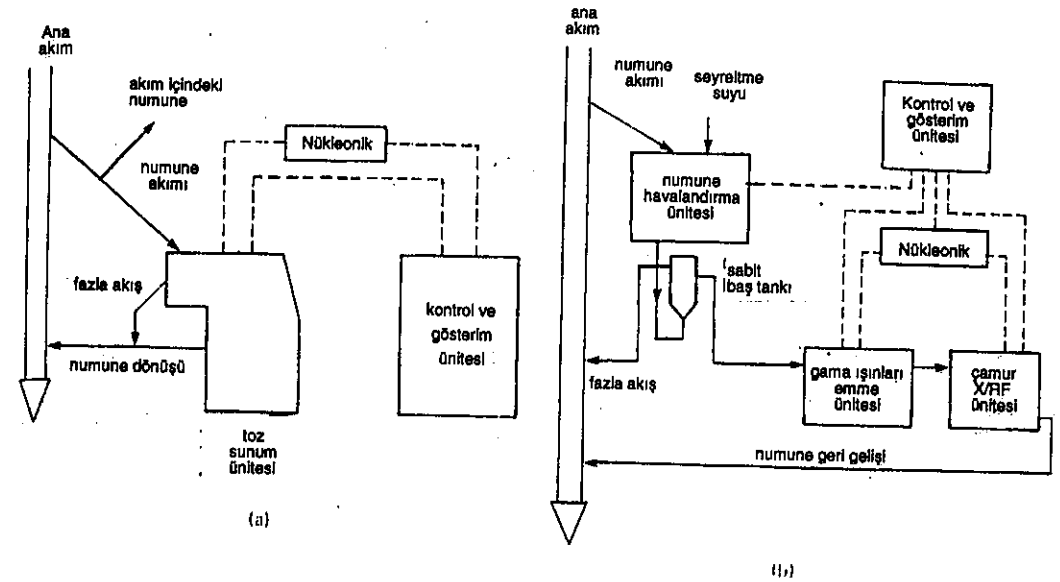
olmayan ölçek kullanılarak yoğunluk ölçümü ile sağlanabilir; bu aynı zamanda, kükürt sinyalinin elektronik olarak da düzeltilmektedir. Saf olmamanın yol açtığı hatalar, su miktarı 500 ppm in altına çekilebildiği için önemli değildir; sadece en önemli kirlenici Vanadyum olup, 50 ppm aştığı zaman tehlike arz etmektedir.

Paslanmaz çelik akış hücresinin, standart kenarları (flanges), yanakları vardır ve yüksek radyasyon basınç pencereleriyle donatılmış olup, atıl hacim bulundurmaz şekilde tasarlanmıştır. Akış hücresi, kaynağı etkilemeden, temizlik amacıyla yerinden kaldırılabilir. Buhar takibi (steam tracing) veya elektriksel ısıtma, donma sınırındaki örnekler için kullanılabilir. İstatistiksel doğruluk payı için yüksek sayma hızları sağlayabilen, yüksek çözünürlüklü orantılı sayacın çıkışı yükseltilmiştir ve gerektiği zaman bir sayaca ve sayısal / analog dönüştürücüye uygulanabilir. Dolayısıyla, hem sayısal, hem de analog çıkışlar, gösterim ve kontrol amacı için elverişlidir.

Metre, ağırlıkça % 0-6 mertebelerinde kükürt sınırlarına sahiptir ve ağırlıkça % ± 0.01 kükürt veya % ± 1 kesinlikte işaret edilen ağırlığı, (hangisi daha büyükse) göstermektedir. Bu işlem 6:1 'de 10:1 e kadar olan karbon-hidrojen oranlarından bağımsızdır ve toplama zamanları 10 s. den 200 s. kadar değişmektedir. Akış hücresi 15 bar, basınçlara kadar uygulanabilir; sıcaklıklar 150°C ye kadar çıkabilirler ve elektronik aksam için sıcaklık sınırları -10dan + 45°C ye kadar değişmektedir. Cihaz düzeneği Şekil 4.8'de gösterildiği gibidir.

4.2.5. Radyo - İzotop Kalsiyum Monitörü

Çimento üretiminde kullanılan, hammaddenin kalsiyum miktarı, kuru toz yada çamur halde direk olarak ölçülebilmektedir. Metodun esası, uyarılmayı sağlayan bir ^{55}Fe radyoizotopunu kullanarak, akan numuneden yayımlanan karakteristik K seviyeli X-ışınlarının şiddetinin ölçülmesine dayanmaktadır. Bu kaynağın seçilmesinin nedeni, demir tarafından oluşturulan girişimden etkilenmeyen bölgede, Ca (Kalsiyum) X-ışınlarının uyarılmasının meydana gelmesidir. Şekil 4.9 (a) da gösterilen, kuru katılar için kullanılan cihaz içinde toz halindeki örnek, bir vida konveyörü ile yoldan alınmakta ve bir depoya aktarılmaktadır. Toz gösterim ünitesinde, toz tankdan alınmakta ve sürekli olarak tartılan örnek sunucuya beslenmektedir. Beslenme hızı, birim alanda sabit örnek kütlesi sağlayacak şekilde kontrol edilmektedir. Ölçümden sonra, örnek tekrar işleme geri döndürülür. Sistemde, şayet birim alana düşen örnek kütlesi, önceden belirlenen limitleri aştığı takdirde, bir alarm devreye girer ve örnek sunucu ve ölçek kafası etrafındaki tozu ortadan kaldıracak bir emme (aspiration) yapılır.



Şekil 4.9 Kalsiyumun, çimento hammaddesi ölçme cihazı içindeki akım şeması (Nuclear Enterprise Ltd.).
a) Cihazın kuru toz şekli
b) Çamur hali.

Bu koşullar altında, topraklama yapmadan, atom sayısı 19 veya daha büyük olan elementlerin, kesin tekrarlanabilir X-ışınları floresan ölçümlerini yapmak mümkündür.

Toz ünitesindeki X-ışınları algılayıcısından gelen sinyalin bir kafa yükseltici sayesinde aktarımı yapılır ve standart nükleonik sayım zinciri ile uzaktaki bir görüntüleme ve kontrol ünitesine transfer edilir. Analog çıkışlar, kontrol amacıyla temin edilirler. Şekil 4.9 (b) de gösterildiği gibi çamurlar için uygulanan şekilde, ilâve yoğunluk ölçümü, dolayısıyla çamurdaki katı konsantrasyonunun bir ölçümü yapılmıştır. Çamurun yoğunluğu, çok yüksek mertebede yönlendirilmiş 660 keV gama-ışın demetinin emilme miktarını ölçmek suretiyle bulunabilir. Bu enerjide, ölçümler katı bileşimindeki değişimlerden bağımsızdır. Kuru toz cihazı, cihaz okumalarını kimyasal analiz ile karşılaştırarak, kalibre edilmektedir. Kimyasal analiz, örnek hatalarını azaltmak için maksimum özenle, çok yakından gözlenen koşullar altında gerçekleştirilmektedir. Bu işlem en iyi şekilde, bir seri homojen örnek tek-

rar çevrime girmesiyle birlikte, cihazın kapalı bir döngüde işlemesi esnasında sağlanmaktadır. Bu durumu, toplam X-ışınları sayımına, kalsiyum karbonat yüzdesini bağlayan bir doğru vermektedir.

Çamurla birlikte, her seyreltme sırasında, kalsiyum karbonat yüzdesini, X-ışınları sayımına bağlayan bu doğru, bir nomogram verecek şekilde elde edilir. Bu nomogram, basit özel amaçlı bilgisayarın, ölçülen değer yada sinyali algılamasına imkân sağlar.

Normal işlemde numune, cihaz boyunca sürekli olarak akmaktadır ve 2-5 dakikalık bir süre sonunda elde edilen tümlenmiş (integrated) okuma, 2 kg kuru numune ya da 30 litre çamuru simgeler ve numune bileşiminin bir ölçütüdür. Kuru metod için $\pm 0.15\%$ değerler içerisinde kalan CaO in bir göstergisi ve çamurlar için $\pm 0.20\%$ sınırlarına, bu metod sayesinde ulaşabilmek mümkün olur.

4.2.6. Yıpranma ve Aşınma

İçten yanmalı motorlarda, silindir blok içindeki pistonların, valfların, mekanik yatakların aşınmasının ölçülmesi, normal mekanik metodlarla gerçekleştirildiğinde çok sıkıcı bir iştir. Ancak, sözkonusu bir parçadaki yıpranma, parçayı bir nükleer reaktörde, nötron akımı ile ısıtarak numunede bir indüklemeye radyoaktivitesi oluşturmak suretiyle ölçülebilir. Böylelikle örneğin, aktive edilmiş ve standart bir makinanın pistonlarına takılmış piston halkalarındaki demir, aynen normal piston halkaları gibi davranış gösterecektir; yalnız aşınmanın olduğu yerlerde aktif parçacıklar, yağlama mekanizmasıyla çevreye taşınacaklar ve uygun bir algılayıcı, hem aşınmayı, hem de yağlama mekanizmasındaki aktif parçacıkların dağılımını belirleyebilecektir. Ayrıca böyle parçacıkları uzaklaştırmada, yağ filtresinin de verimliliği test edilmiş olacaktır. Yataklardaki aşınmayı ölçmek için, yatak yüzeylerinin bir tanesi hafifçe radyoaktif hale getirilir ve yağlama sistemine geçen aktivite, meydana gelen yıpranmanın bir ölçüsü olmaktadır.

4.2.7. Kaçak Ölçülmesi

Toprağa gömülü borulardaki kaçaklar, belediyeler için her zaman bir problem teşkil etmektedir. Belediyeler, su kanalları, gaz veya boşaltım borularındaki kaçakları, halka en az zahmet verecek ve halkın temel gereksinimlerini en az kısıtlayacak sürede, bu kaçakları ortaya çıkartıp boruları tamir etmek zorundadırlar. Su dağıtım şebekelerindeki geniş kaçakların yerlerini bulmak üzere iki metod geliştirilmiştir. Bu metodlardan birincisi çapı yaklaşık, boru çapına eşit olan, içinde 100 MBq, ^{24}Na izotopu bulunan genişleyebilen lastik top, şebekedeki kaçak kısmın diğer bölümlerden bağlantısının kesilmesinden

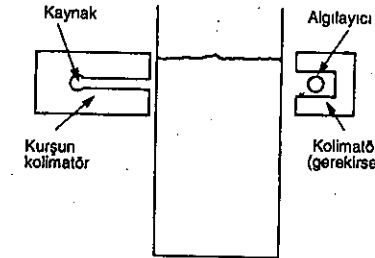
sonra, borudan içeriye sokulur. Dolayısıyla, akış sadece kaçak yönüne doğru olacaktır ve top kaçak bölgesinin olduğu yere kadar ilerleyecek ve orada duracaktır. ^{24}Na izotopu, yüksek enerjili gama ışınları saçtığından, bunun radyasyonu kalın bir toprak tabakasının üzerinden taşınabilen hassas bir algılayıcı sayesinde gözlenebilir. Buna alternatif olarak, radyoaktif madde, direk olarak akışkan içersine de verilebilir. Uygun bir zaman sonra, boru hattı, hassas taşınabilir algılayıcıyla gözlenebilir ve kaçak yerindeki aktivite birikimi saptanabilir. ^{24}Na , kaçak muayenesi için tutulan bir radyoaktif kaynaktır; özellikle şehir kullanım suyu veya kirli su kaçakları için, kısa yarılanma ömrü (15 saat), 2,7 MeV gama enerjisinde ve $^{24}\text{NaCl}$ gibi suda çözünür olduğundan, bu işlem için tercih edilmektedir. Böylece, kaçak muayeneleri, hızlı bir şekilde yapılabilir ve aktivite emniyet sınırlarına, çok kısa sürede inilebilir.

4.3. Mekanik Ölçümler

4.3.1. Seviye Ölçümleri

4.3.1.1. X veya gama ışınları kullanarak

Seviye ölçümleri çoğunlukla, kap dış duvarında kaynak ve algılayıcının zıt taraflarda sabit pozisyonlarda yerleştirilmeleriyle gerçekleştirilir (Şekil 4.10).

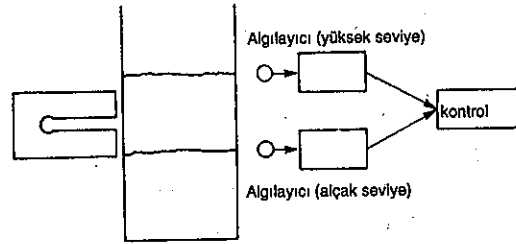


Şekil 4.10 Seviye Göstergesi (Sabit).

Çünkü, kimya mühendisliğinde ve petrol arıtma endüstrilerindeki birçok tanka seviye ölçerler yerleştirilmiş olup, bunlar büyük boyutlara sahiptirler ve yüksek-aktiviteli kaynaklar gerekmektedir. Bunların, kalın kurşun kalkanlar içersine, bu tip ölçerlerin civarında çalışan personele zararlı olabilecek saçılan radyasyonu azaltacak dar kolimatörlerle birlikte yerleştirilmeleri gerekmektedir. Maliyetten dolayı, ısıltı sayaçları kadar olmasa da, Gayger sayaçları, en çok kullanılan algılayıcılardır. Bir seviye ölçerin tasarımındaki

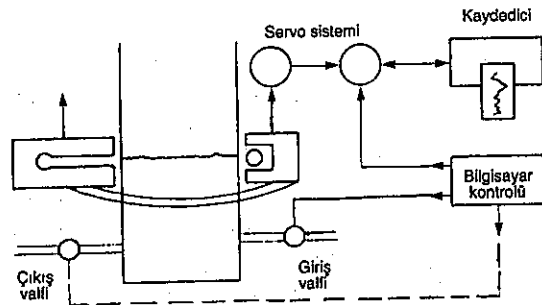
önemli kriter, kaynaktan algılayıcıya kadar olan mesafede, kontrol edilen katı veya sıvının, ışın demetini kararttığı zaman, optimum yol fark sinyalini verebilecek radyoaktif kaynak seçimidir. Tank duvarının ışını emmesi de ölçülen malzemenin emmesi ile beraber, dikkate alınması gereken bir faktördür.

Tek bir kaynak ve tek bir algılayıcı, tek bir tepkime verecektir; fakat tek bir kaynak için, iki adet algılayıcı kullanmak (Şekil 4.11) yoluyla 3 okuma almak mümkün olabilir: düşük (her iki algılayıcı çalışır), normal (bir algılayıcı çalışır) ve yüksek (hiçbir algılayıcı çalışmaz). Bu sistem kağıt yapımında, sıcak hamurun seviyesini ölçmek için kullanılır.



Şekil 4.11 İkili dedektör seviye göstergesi.

Diğer bir seviye ölçer, katı malzemenin veya sıvı seviyesinin sürekli bir gösterimini sağlamak için, Şekil 4.12 de verildiği gibi bir algılayıcı ve servo-kontrollü plâtfom üzerine takılmış bir kaynaktan meydana gelmektedir. Bu plâtfom, tank da bulunan sıvı ya da katı seviyesini takip etmektedir. İşlem aynı zamanda, seviyenin sürekli okunmasını temin eder ve bu sayede, belli bir programa bağlı olarak, tanka giren yada çıkan katı miktarını kontrol etmek için, bu sinyali kullanmak mümkün olur.

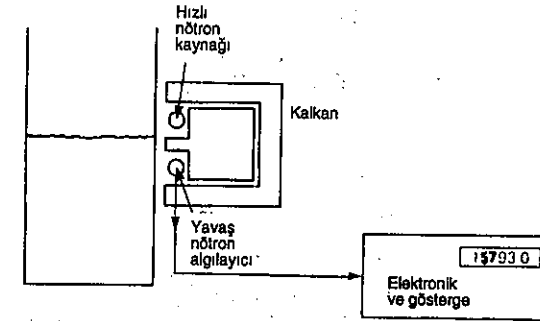


Şekil 4.12 Otomatik kontrollü seviye ölçer (sürekli).

Diğer bir seviye ölçer, tank içersinde bir radyoaktif kaynak kullanmaktadır, fakat su seviyesi ile birlikte yukarı ve aşağı çıkıp inen bir kapsül içine hapsedilmiştir. Harici bir algılayıcı, tank içindeki kaynağı takip eder, seviyeyi gösterir ve önceden saptanmış bir noktada seviyeyi tutmak için tekrar dolum işlemini başlatır. Bir radyoaktif kaynak ve elle taşınabilir gayger algılayıcısından meydana gelen taşınabilir seviye ölçerleri, taşınabilir bir kutuya yerleştirilmiş elektronik aksam ve sayım tablosu ile beraber, yüksek basınç altındaki silindirlerde saklanan sıvı CO₂ seviyesini ölçmek için yapılmışlardır. Bu metod, silindiri tartma ve orijinal ağırlığından çıkartma yönteminden çok daha basittir.

4.3.1.2. Nötronların kullanımı

Bazı endüstriyel malzemelerin, yağlar, su, plâstikler vs. gibi çok düşük atom sayıları Z vardır. ²⁴¹Am / Be veya ²⁵²Cf gibi bir kaynaktan gelen hızlı nötron demeti kullanarak ve bir ısıltı-sayacı içinde seryumla aktive edilmiş Lityum camı, ¹⁰BF₃ veya ³He gaz dolum sayaçları sayesinde, böyle malzemelerin seviyelerini ölçebilmek mümkün olur (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 Hızlı nötronların yavaşlatılması ile seviye ölçümü.

Kaynaktan gelen hızlı nötronlar, düşük Z li malzemelerle yavaşlatılırlar veya yavaşlatılırlar ve bunlardan bazıları algılayıcı içersine geri saçılırlar. Hızlı nötron kaynağı ile, yavaş nötron algılayıcısını, taşıyıcının bir tarafına monte etmek suretiyle, bu bileşim, bir servokontrol mekanizması sayesinde, değişen seviyeyi kontrol etmek için veya sabit bir pozisyonda, önceden belirlenmiş bir noktada tank içersindeki seviyeyi tutmak için kullanılabilir. Bu aygıt, aynı zamanda, taşınabilir bir algılayıcı sistemi olup, borulardaki valflarda vb. çoğunlukla plastik imâl fabrikalarında meydana gelen tıkanmaları, birikimleri tespit etmek için kullanılır.

4.3.2. Akış Ölçümü

Radyoaktif kaynak kullanımı ile akış ölçümü pek çok yoldan yapılır.

4.3.2.1. Seyreltme yöntemi

Bu işlem radyoaktivite taşıyan bir sıvıyı, sabit bir hızda akış hattına püskürtme esasına dayanmaktadır; örnekler, yanıl karışmanın tamamlandığı bölgeye, hat boyunca taşınırlar. Püskürtülen radyoaktif sıvı ve örneklerdeki radyoaktivite konsantrasyonlarının oranından, akış hızının saptanması yapılır.

4.3.2.2. Saplama metodu

Bu metod, radyoaktif bir sıvıyı, akış hattına, tek bir darbe ile püskürtme esasına dayanmaktadır. Zamanı ölçmek suretiyle bu radyoaktif sıvı saplaması bilinen mesafede iki noktadan geçtiği zaman, akış hesaplanabilir. Saplama metodunun bir çeşidi, yine tek bir radyoaktif sıvı darbesi ile akan sıvı içersine püskürtme yapar, fakat ölçme, tamamen karışmanın gerçekleştiği bölgeden önce, sabit bir hızda numuneyi hattın alma esasına dayanmaktadır. Burada akış hızı, sürekli numunenin bilinen bir zaman içersinde ortalama konsantrasyonunun ölçülmesi suretiyle hesaplanmaktadır.

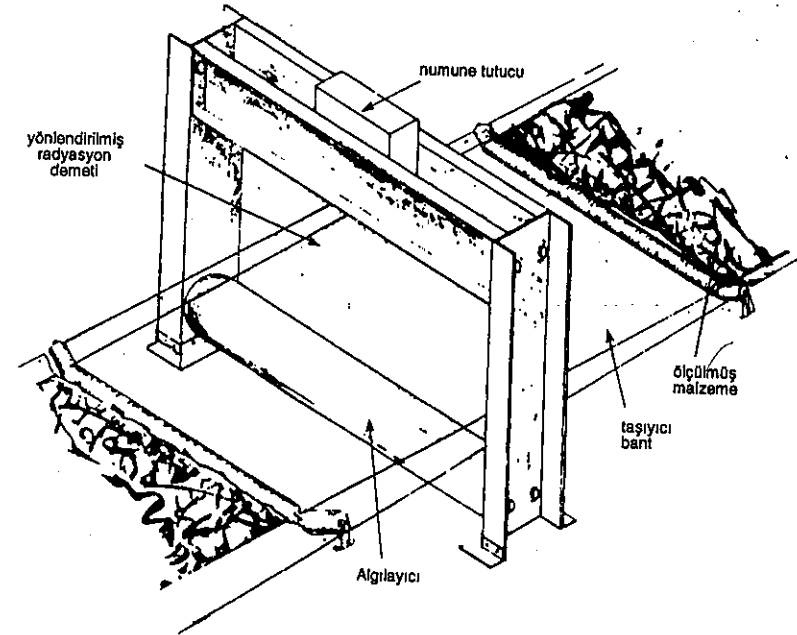
4.3.3. Kütle ve Kalınlık

Fotonların ve parçacıkların nicelik reaksiyonları, konsantrasyona ve reaksiyona giren parçacıkların kütlelerine bağlı olduğundan, nükleer tekniklerin bunları kütsel olarak ölçmede kullanılmaları beklenebilir. Sayfa de anlatıldığı gibi, bir malzemenin yoğunluğunun bir sondaj (borehole) deliği yakınında ölçülmesine değinmiştik.

Şimdi ise, endüstride kullanım alanı bulan başka tekniklere bakacağız.

4.3.3.1. Kütle, birim alandaki kütle ve kalınlık ölçümleri

Bu ölçümelerde kullanılan teknikler esasen benzerdirler. Bir gama kaynağından yayınlanan radyasyon malzeme üzerine düşmekte ve malzemedan geçebilen ışınlar uygun bir algılayıcı sayesinde algılanmaktadır. Şekil 4.14 'de gösterilen, nükleonik kemer tartısı (Nucleonic Belt Weigher), demir cevheri, kireçtaşı, kok, çimento, gübreler vs. gibi tanecikli malzemelerin kütsel akış hızını ölçmek için tasarlanmıştır; kemerin toplam genişliği boyunca gerçekleşen emme ölçülmektedir.



Şekil 4.14 Nükleonik kemer tartısı (Nuclear Enterprises Ltd).

Algılayıcının üzerine düşen toplam radyasyonu gösteren sinyal, katı-hal elektronik algılayıcının gösterdiği kemer hızını veren sinyalle işleme sokulmaktadır, kütle akış hızı toplam kütle olarak verilmektedir. Tüm donanım, kaynağı içine alan bir C iskeletini kapsamaktadır. Radyasyon kaynağı, bir radyasyon obtüratörü olan kalkınlanmış tank içersine monte edilmiş, kaynak dışı çelik kapsüle yerleştirilmiş olan ¹³⁷Cs radyoizotopundan meydana gelmektedir; algılayıcı ise, ışıltı sayacı olup, hassas kısmı kemer genişliğiyle denktir ve 11 A ve B grubu gazlarına uygun olan, aleve dayanıklı silindirik bir kutunun içersinde, önyükseltici ile beraber korunmaktadır. Bir kalibrasyon plâkası, kaynakla birleştirilmiş olup, açıklık içersinde uygun bir noktada, nokta analizi yapmaktadır. Bunlara ilâve olarak, algılayıcıdan 300 m ye kadar olan mesafe içersine yerleştirilebilen, toz ve nemden korunmalı, elektronik aksamın yerleştirildiği bölüm vardır. Ölçümlerin kesinlik payı $\pm 1\%$ den daha iyidir; algılayıcı ve elektronik aksamın çalışma sıcaklığı -10 dan $+40^{\circ}\text{C}$ ye kadar değişmektedir. Maksimum doz miktarı $7,5 \mu\text{Gy} / \text{saat}$ olduğundan,

Algılayıcı ve önyükselticinin, servisi normal şartlar altında gerçekleştirilebilir. Aynı donanım, birim alan başına düşen kütleyi de ölçmek için kullanılabilir; radyasyonun sonlu bir alan üzerine düştüğü bölge de böylece sınırlandırılır ve kalınlık sabit ve biliniyorsa, o zaman okunan değer yoğunluğun bir ölçüsü olmaktadır.

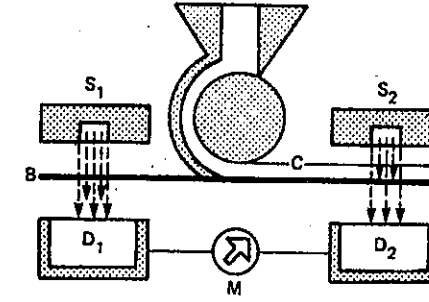
4.3.3.2. Kaplama kalınlığının ölçülmesi

Endüstride, şerit şeklinde imâl edilmiş taban malzemelerine uygulanan kaplama kalınlığını ölçmek, bazen de otomatik olarak kontrol etmek şeklinde birçok işlemler vardır. Bu işlemlere örnek olarak, çelik üzerine kalay, çinko, vernik kaplanması veya kağıt üzerine yapıştırıcılar, vaks, kil katranı ya da plâstikler ve buna benzer pek çok işlemler örnek olarak gösterilebilir. Nükleer metodlar sayesinde, $\pm 1\%$ mertebesine kadar kaplama kalınlığının ölçülmesi yüksek güvenilirliği olan cihazlarla, çok çeşitli koşullar içersinde yapılabilmektedir. Nükleonik kaplama kalınlık ölçerleri, bir radyoizotop kaynağından yayınlanan radyasyonun, ölçümü yapılacak malzeme ile etkileşmesi prensibine dayanmaktadır. Bunlar esasen, bir radyasyon kalkanı içersinde bulunan kaynak ve ölçme kafası içindeki algılayıcı ve elektronik konsol'dan meydana gelmektedirler. Kaynaktan gelen radyasyon, söz konusu malzeme üzerine dik olarak düştüğü zaman, bu radyasyonun bir kısmı saçılmakta, bir bölümü emilmekte ve kalan kısmı da malzemeden geçmektedir. Emilen radyasyonun bir kısmı, kaplamada karakteristik floresan X-ışınlarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. İstenen ölçüme bağlı olarak, algılayıcının, saçılan, geçen ve emilen veya floresan radyasyonun şiddetini ölçtüğü bir sistem kullanılmaktadır. Algılayıcı tarafından kontrol edilen radyasyonun şiddeti, kaplama kalınlığının (birim alan başına düşen kütleye) bir ölçüsü olmaktadır.

Elektrik konsolu, algılayıcı sinyalini işleme sokan ünitelere sahiptir ve toplam kaplama kalınlığını ve/veya hedef kalınlığından sapmaları göstermektedir. Ölçme kafası sabit veya malzemeyi tarayabilecek şekilde programlanmış olabilir. Kaplamanın cinsine ve kalınlığına, taban malzemelere, makine detaylarına bağlı olarak, dört ölçerden bir tanesi seçilmiştir: diferansiyel beta transmisyon, beta geri saçılma, X-ışınları floresanı ve seçici emme (preferential absorption).

Diferansiyel beta-geçirim ölçeri (Şekil 4.15)

Diferansiyel beta-geçirim ölçeri, yaprak şeklinde olan taban malzemelere uygulanan kaplamaları ölçmek için kullanılmaktadır. Bunun için, kaplamanın toplam ağırlığının, taban malzemenin ağırlığının onda birinden daha az olmaması gerekmektedir ve hem taban malzemenin hem de kaplama malzemesinin her iki yanında ulaşılabilir olması ve iki malzemenin bileşimlerinin



Şekil 4.15 Diferansiyel beta-geçirim ölçeri.

(Nuclear Enterprises Ltd.) S₁ : İlk kaynak;

D₁ : İlk algılayıcı S₂ : İkinci kaynak D₂ : İkinci algılayıcı

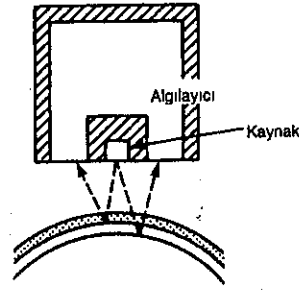
B : Taban malzeme C : Kaplama, M : Diferansiyel ölçme göstergesi

de birbirlerine yakın olması istenir.

Burada, kaplamanın kalınlığı (birim alandaki kütleye) temel malzemenin kalınlığını ölçmek suretiyle, kaplamaya başlanmadan önce yapılır; sonra malzemenin hem baz, hem de kaplama kalınlığı beraber ölçülür ve son olarak, birinci ölçüm, ikinciden çıkartılmak suretiyle kaplama kalınlığı farktan bulunur. Okumalar, kaplanmamış malzemeyi, ölçme kafasından geçirmek suretiyle ve kaplanmış malzemeyi de diğer kafadan geçirerek, kaplama da her iki pozisyon arasında uygulanmak şeklinde gerçekleştirilmektedir. Malzemeden geçen radyasyonun şiddeti toplam kalınlığın bir ölçüsüdür. Farklı metreler, her kafanın okuduğu değeri kaydederler ve üçüncü bir metre ya da ölçer kaplama kalınlığına denk olan iki okuma arasındaki farkı bulur ve gösterir. Bu ölçer'in tipik uygulamalarını, kağıt, alüminyum plâka ve yapraklara uygulanan vaks (wax) yada plâstik, veya kağıt yada kumaşa kaplanan aşındırıcılar şeklinde özetlemek mümkündür.

Beta - geri saçılım ölçeri (Şekil 4.16)

Beta - geri saçılım ölçerinin, malzemenin sadece bir yüzeyi ölçmeye elverişli ve kaplama malzemesi ile ana malzeme atom numaraları arasındaki fark büyük olduğu zaman kullanılması tercih edilir. Bu cihazda radyoizotop kaynağı ve algılayıcı, aynı hücrede muhafaza edilmektedir. Örneğin radyasyon, kaplanmamış bir takvim rulosuna yönlendirildiği zaman, geri saçılacak



Şekil 4.16 Beta-geri saçılma ölçeri.
(Nuclear Enterprises Ltd.)

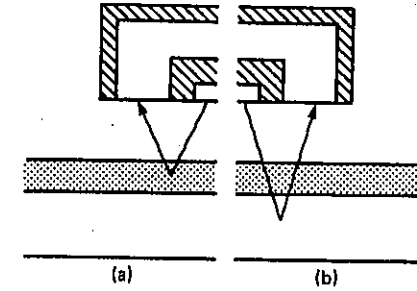
ve algılayıcı tarafından ölçülecektir. Ruloya kaplama yapıldıktan sonra ise, algılayıcıya geri gelen radyasyon değişecektir. Bu değişim kaplama kalınlığının bir ölçüsü olmaktadır. Bu tip ölçerin, belli başlı uygulama alanları, takvim üzerlerindeki lastik ve yapıştırıcı kaplamalar, ruloya kaplanmış kağıtlar, yada çelik levhalara uygulanan vernik, boya ve plâstik kaplamalar olarak özetlenebilir.

X-ışınları floresan yöntemiyle kaplama ve arkalamanın (backing) ölçülmesi

Karakteristik floresan radyasyonunu uyarmak için radyoizotop kaynaklarını kullanan X-ışınları floresan teknikleri, normal olarak son derece ince olan kaplamaların ölçülmesinde kullanılırlar. Kaplama floresan ölçeri, kaplama kalınlığının artmasıyla, kaplama içinde uyarılmış X-ışınları şiddetindeki artmayı kontrol eder. Arkalayıcı - floresan ölçeri, arka kaplamadaki veya taban malzemedeki X-ışınlarını uyarır ve kaplama kalınlığındaki artmaya bağlı olarak, emilmeden dolayı şiddetteki azalmayı ölçmektedir. Floresan radyasyonun şiddeti, normal koşullarda bir iyon odası ile ölçülmektedir; ancak, bu işlem için bir orantılı yada ışıltı sayacı da zaman zaman kullanılmaktadır.

Karmaşık geometri, yüksek verimli algılayıcılar ve bozulmayan (fail-safe) radyasyon obtüratörü kullanarak, ölçme kafasının civarındaki doz miktarları, maksimum müsaade edilen seviyelerin altında tutulmaktadır ve bu şekilde operatörler ve bakımcıların mutlak güvenliği sağlanmış olur. Şekil 4.17 (a),

kaplama kalınlığının artışına bağlı olarak artan, uyarılmış X-ışınlarının şiddetini ölçen kaplama-floresan ölçerinin prensibini göstermektedir. Şekil 4.17 (b) ise, kaplama kalınlığının artması ile, arkalama malzemesindeki uyarılmış X-ışınları şiddetinin azalmasını gösteren arka-floresan-ölçer prensibini göstermektedir. Bu cihaz, çelik levhalara uygulanan kalay, çinko, alüminyum ve krom kaplamaları ya da plastik veya kağıt yapraklara uygulanan titanyum kaplamaları ölçmek için kullanılmaktadır.



Şekil 4.17 X-ışınları floresan ölçeri (Nuclear Enterprise Ltd).

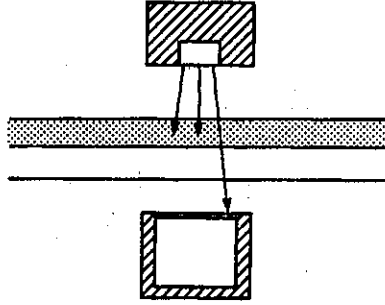
- Kaplama kalınlık artışına bağlı olarak artan uyarılmış X-ışınları şiddetini kontrol eden kaplama-floresan ölçeri
- Kaplama kalınlık artışına bağlı olarak, arkalamadaki uyarılmış X-ışınları şiddetinin azalmasını kontrol eden arka-floresan ölçeri.

Seçici Absorpsiyon Ölçeri (Şekil 4.18)

Bu ölçer, kaplama malzemesinin, baz malzemesine göre daha yüksek bir ortalama atom numarası olduğu zaman uygulanmaktadır. Ölçer, kapalı bir radyo izotop kaynağından çıkan düşük-enerjili X-ışınlarını kullanmaktadır.

X-ışınları, yüksek atom numarasına sahip olan maddeler tarafından (örneğin klor), daha düşük atom numaralı maddelere göre (örneğin, kağıt, tekstil ürünleri), daha fazla emilmektedirler. Dolayısıyla, kaplama kalınlığındaki değişimleri kontrol etmek, kaplama tarafından tercihli olarak

emilen X-ışınlarının derecesini tek bir ölçme başı kullanmak suretiyle belirleyerek mümkün olmaktadır. Bu cihaz plastiklere, kağıt veya tekstil ürünlerine uygulanan, yüksek atom numarasına sahip, içersinde, kil, titanyum, halojenler, demir gibi maddeleri bulunduran kaplamaların ölçülmesinde kullanılmaktadır.



Şekil 4.18 Tercihli-emme ölçer. (Preferential absorption gauge) (Nuclear Enterprises Ltd.)

4.4. Karışık Ölçümler

4.4.1. Saha-Tarama Cihazları

Uranyum araması yapılırken, taşınabilir cihazlar (1) Uçaklarda (2) Kamyonlarda (3) Elde (4) Denizaltı araştırmalarında kullanılmaktadır. Uranyum çoğunlukla petrolün olduğu aynı jeolojik yapılarda bulunmaktadır ve uranyum taramaları, diğer sismik analiz gibi geleneksel teknikleri desteklemek için uygulanmaktadır. Berilyum içeren kayaların taranması, bir önceki kısımda da tartışılmıştı.

Bir uçak ağır yükler taşıyabildiğinden dolayı, bu tip taramalarda kullanılan algılayıcılar genellikle geniş NaI (TI) grubu algılayıcılarından meydana gelmektedir. Örneğin bir uçak, 4 adet herbiri 29.2 cm çapı ve 10 cm kalınlığı olan NaI (TI) algılayıcıya taşıyabilir. Bunlar, 4 veya 5 kanallı herbiri ayrı ayrı potasyum, uranyum, toryum ve arkafonu gözleyen spektrometreleri beslemektedir. Bu sisteme eş zamanlı olarak, Loran-C gibi uygun bir yer tayin edici sistem işlemlerde olup, uçak belirlenen bir güzergâhta uçarken, radyoaktivitelerin diyagramları, harita kayıdedicinin üzerine uçağın mevkisi ile beraber

basılmaktadır. Bu şekilde, karada ve denizde geniş alanlar, uygun cihazlarla donatılmış yerdeki elemanlarla beraber, yukarıdan işaret edilen muhtemel uranyum yatakları tespit için taranabilmektedir.

4.4.1.1. Kara sahasındaki radyometrik taramalar

Nasıl bir uçak, uygun algılayıcı sistemlerini ve bilgisayar cihazlarını bünyesinde bulundurabiliyorsa, aynı şekilde karadaki cihazlarda bunları bulundurabilir ve yüksek uranyum işaretleri veren bölgelere gidebilirler.

Aynı tip elektronik aksam, bir motorlu cihazdan idare edilebilir ve özellikle toprak yüzeyinin pürüzlü, engebeli olması durumunda, algılayıcıların küçük ve elle taşınabilir olması gerekmektedir. Bu tip cihazlar aynı zamanda, potasyum, uranyum, toryum ve arkafon analizlerini de yapabilecek küçük bir bilgisayarla donatılmışlardır.

4.4.1.2. Denizaltı taramaları

Kayalardan tortulardan gelen doğal gama radyasyonunun ölçülmesi, denizaltında çekilen bir gama-ışınları spektrometresi sayesinde gerçekleştirilmektedir. UKAEA Harwell firması tarafından, Jeolojî Enstitüsü ile birlikte geliştirilen bu spektrometre, son beş senede kullanılmış olup, Birleşik Krallığın kıta sahanlığında 10000 km den fazla kullanılmıştır. Bu sistem, bir NaI (TI) kristali ve fotoçoğaltıcı kombinasyonundan meydana gelmektedir. İçersine, 76 mm çaplı x 76 mm veya 127 mm uzunluğunda, EMI tipli 9758 fotoçoğaltıcı ile birlikte bir önyükseltici ve silikon lastik içersinde yüksek-gerilim jeneratörü yerleştirilmiştir. Ünite, paslanmaz çelikten bir silindir içine oturtulmuş olup, bu silindir de 30 m uzunluğunda, 173 mm çapında PVC borusuna takılmıştır. Bu boru, gemi ile, bir kablo vasıtasıyla çekilmektedir. Probun, aynı zamanda, demir zincire benzeyen balastla takviye edilmesi sonucunda, deniz sahanlığının üzerinde, taşlara, kayalara takılmadan sürünmesi sağlanmaktadır. Gemi bordasında bulunan elektronik aksam, potasyum, uranyum, toryum ve toplam gama radyoaktivitesinin ölçülmesi için, dört kanala sahiptir ve ölçülen veriler, uygun kağıt kayıtediciler üzerine işlenmektedir. Teletayp ve hafızadaki bilgiler, bilgisayar esaslı çok kanal analiz cihazına verilen çıkışı beslemek için hazırlanırlar.

4.4.2. Arkeolojik veya Jeolojik Numunelerin Yaş Belirlenmesi

4.4.2.1. Orantılı Gaz veya Sıvı Işıltı Sayım ile Radyokarbon Yaş Tayini

Radyokarbon yaş tayini W.F. Libby ve arkadaşları tarafından 1947 senesinde, uzaydan gelen kozmik ışınların, hava molekülleriyle etkileşmesinden doğan radyoaktivitenin ölçülmesi esnasında ortaya çıkmıştır. Havadaki azotla etkileşim sonunda, $^{14}\text{CO}_2$ e çok çabuk dönüşebilen radyoaktif ^{14}C meydana gelmektedir. $^{14}\text{CO}_2$, dünyadaki tüm CO_2 in % 1'ini kapsamaktadır. Milyonlarca seneden beri, kozmik ışınlar düzenli bir hızda dünyamızı bombaladıklarından dolayı, yeryüzünde saniyede cm^2 başına iki tane ^{14}C atomu üretilmektedir ve bu şekilde, ^{14}C ün yarılanma ömrü 5000 sene civarında olduğundan, bir denge durumuna erişilmiş olması gerekmektedir. CO_2 bütün canlıların bünyesine girdiğinden dolayı, dağılımın üniform olması gerekmektedir. Ancak, yaşayan canlı öldüğü zaman, CO_2 transferi durmaktadır ve bünyedeki karbon, ölüm anından itibaren sabit hale geçmiş olmaktadır. Dolayısıyla, bu kalıcı karbonda bulunan ^{14}C , 5000 senelik yarılanma ömür zamanına bağlı olarak bozunacaktır; dolayısıyla, numunedeki mevcut ^{14}C izotop miktarının ölçülmesi, kişi, hayvan yada bitkinin ölüm zamanından itibaren geçen sürenin belirlenmesini sağlayacaktır.

Biz, her 8 g karbon için, saniyede 2 bozunma bulmayı umuyoruz. Bu oran, deniz suyunda çözünmüş karbonu, atmosferdeki CO_2 i, ve canlılarda bulunan karbonu kapsamaktadır. Bu üç kategori toplanırsa 8 e ulaşılır (7,5 g okyanuslarda, 0.125 havada ve 0.25 canlılarda, 0.125 insanlarda bulunan karbon miktarı olmaktadır). Bir numunenin, tahmin edilen karbon yaşını bulmadan önce, bu tekniğe özgü pekçok problemle karşılaşmaktadır. Önce numunenin, ^{14}C ü sayıma uygun olacak şekilde açığa çıkarması için işlenmesi gerekmektedir. Numunenin alacağı son şekle bağlı olarak ve gaz sayaçları (Gayger ve orantılı) ya da sıvı-ışılta sayaçları ile kontrol edilip edilmeyeceğine göre çeşitli metodlar kullanılmaktadır. Bir metod, numunedeki karbonu, gaz haline dönüştürüp, bir orantılı gaz sayacında saymaktır. Bu gazlar karbondioksit (CO_2), metan (CH_4) veya asetilen gazı (C_2H_2) olabilir. Libby tarafından kullanılan orijinal metod (burada karbon numunesi gaz sayacın içerisinde ince bir tabakanın üzerine oturtulmuştu), gaz yanma metodu ile yer değiştirmiştir. Son metoda göre, numune, bir tüp fırın içerisinde ısıtılmaktadır veya bir oksijen bombası ile aynı işlem yapılmaktadır. Daha sonra gaz, direk olarak bir orantılı sayaçta uygun saflaştırmadan sonra, CO_2 veya CH_4 şeklinde sayılmakta, veya benzen gibi sıvı hale getirilip, sıvı ışıltıcı ile karıştırıldıktan sonra, sayaç tarafından ölçümü yapılmaktadır.

Sayma Sistemleri

Bir kimse, saniyede sadece, her 8 g karbondan, iki yumuşak beta parçacığı ($E_{\text{max}} = 0.156 \text{ MeV}$) çıkışı ile birlikte iki adet bozunma meydana geldiğini dikkate alırsa, gerçekten sayımın çok düşük seviyede olduğu sonucuna varılmaktadır. Tipik bir orantılı gaz sayacının (15 cm çap x 60 cm uzunluk), tabii sayım hızı (kalkanlanmamış), 75.6 sayım/saniye kadar olacaktır; buna karşılık, 1 atm CO_2 gazı yada sayacı dolduran CH_4 gazından dolayı, sayım hızı 0.75 sayım / saniye ye inecektir. Ölçümde % 1 'lik bir standart sapma hedefleniyorsa, 10000 sayım, 0.75 sayım /saniye hızıyla yapılmalıdır; bu işlem 3.7 gün sürecektir. Hemen göze çarpan gerçek şudur ki, doğal arkaфон çok kuvvetli bir şekilde azaltılmalıdır ve eğer mümkünse örnek boyutu, sayım özelliklerini arttırmak için artırılmalıdır (Watt ve Ramsden, 1964).

Arkaфон birçok nedenlerden meydana gelmektedir; bunlardan bazıları:

- (1) Duvarlardan, havadan, kayalardan vs. gelen çevresel radyoaktivite;
- (2) Kalkanın kendisinde mevcut olan radyoaktivite;
- (3) Kalkan içersindeki, sayacın ve buna bağlı parçaların yapımında kullanılan malzemelerin taşıdığı radyoaktivite;
- (4) Kozmik ışınlar;
- (5) Gazın yada sıvı ışıltıcının radyoaktif kirlenmesi;
- (6) Hayali elektronik darbeler, pikler. Bunlar yanlış kullanımdan veya civardaki elektrik şebekelerinden kaynaklanan, elektromanyetik gürültüden meydana gelmektedir.

Radyokarbon yaşının saptanması

Ölçmenin amacı, ^{14}C ün bozunmasını hesaplamak olduğundan elimizde

$$I = I_0 \exp (-\lambda t) \quad (4.8)$$

denklemin vardır. Burada I, ölçüldüğü zamanda numunenin mevcut aktivitesi, I_0 numunenin, sıfır zamanındaki orijinal aktivitesi, λ bozunma sabiti

($= 0,693 / T_{1/2}$, $T_{1/2}$ Yarılanma ömrü) ve t geçen zamanı göstermektedir. Şayet $T_{1/2} = 5568$ sene ise (^{14}C için bulunan en iyi yarılanma ömrü değeri 5630 sene; fakat enternasyonal birim olarak, karışıklığı önlemek için bütün günler 5568 sene olarak bilinmektedir), o zaman denklem 4.8, aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$t = 8033 \ln \frac{S_s - B}{S_o - B} \quad (4.9)$$

Burada S_s numunenin sayım hızı, S_o modern numunenin sayım hızı, B ölü karbonun sayım hızıdır. Oksalik asidin (oxalic acid) modern karbon standardı, % 95 olup, bu oran 1890 ahşaba denk düşer; universal olarak kabul edilmiştir ve Washington D.C. deki Milli Standartlar Bürosundan temin edilebilir. 2×10^9 sene tahmini yaşı olan antrasit kömürü, ölü karbon arkafonunu sağlamak için kullanılabilir. Doğada ya da, örneğin kimyasal işlemler ile hazırlanması sırasında, izotopik parçalanma için düzeltmeler de yapılmalıdır.

Karbon Yaşı İstatistiği

Arkafon için düzeltildiği zaman, kaynak sayım hızının standart sapması σ

$$\sigma = \left[\frac{S}{T - t_b} + \frac{B}{t_b} \right] \frac{1}{2} \quad (4.10)$$

olarak verilir. Burada S , numunenin arkafon ile beraber kaba sayımı; B , t_b zamanı boyunca ölçülen arkafon, T toplam zaman olarak verilmektedir. Karbon belirlemede $S \approx 2B$ olur ve numune ile arkafon için sayım periyotları birbirlerine eşitlenirler, (yaklaşık 48 saat mertebesinde). Dolayısıyla, eğer $t = t_b = \frac{T}{2}$ ve $S = D + B$ ise, o zaman

$$\sigma_D = \left(\frac{D + 2B}{t} \right) \frac{1}{2} \quad (4.11)$$

yazılabilir.

Herhangi bir sistemde bulunabilecek maksimum yaş, algılanabilen minimum örnek aktivitesine bağlıdır. Eğer "2 σ kriteri" kullanıldığı takdirde, minimum algılanabilir sayım hızı, standart sapmanın iki misline eşit olacaktır ve D nin gerçek değerinin $D \pm 2\sigma_D$ bölgesinde bulunma ihtimali 95.5 % olacaktır. Bazı laboratuvarlar "4 σ kriteri" ni kullanmayı tercih etmektedirler. Bu kriter, gerçek değer $\pm 4\sigma$ aralığında yer alması için, % 99.99 luk bir ihtimal sağlamaktadır. Eğer $D_{\min} = 2\sigma_D$ ise, o zaman

$$D_{\min} = 2 \sqrt{\left(\frac{D_{\min} + 2B}{t} \right)} \quad (4.12)$$

olur ve sonra maksimum tarihlendirme yaşı $T_{\max}$ aşağıdaki şekilde tahmin edilebilir:

Denklem 4.9 dan

$$\begin{aligned} T_{\max} &= \frac{T_1}{\log_e 2} \log_e \frac{D_o}{D_{\min}} \\ &= \frac{T_1}{\log_e 2} \log_e \left[\frac{1}{2} \frac{D_o \sqrt{t}}{\sqrt{D_{\min} + 2B}} \right] \end{aligned} \quad (4.13)$$

$$D_{\min} \ll 2B$$

olduğundan, denklem basitleştirilebilir:

$$T_{\max} = \frac{T_1}{\log_e 2} \log_e \left[\frac{D_o}{\sqrt{B}} \sqrt{\frac{t}{8}} \right] \quad (4.14)$$

Burada D_o , modern karbon numunesinin, arkafon düzeltmesi yapılmış aktivitesidir. $\frac{D_o}{\sqrt{B}}$ oranı, bir sistem için merit faktörü olarak düşünülebilir.

Libby nin sistemi gibi, tipik bir sistem için (1985)

$$t = 48 \text{ saat ve } \frac{T_1}{2} = 5568 \text{ sene}$$

$$D_o = 6.7 \text{ sayım/dak ve } B = 5 \text{ sayım/dak}$$

$$\frac{D_o}{\sqrt{B}} \approx 3, \text{ Böylece}$$

$$T_{\max} = \frac{5568}{\log_e 2} \log_e \left[3 \sqrt{\left(\frac{48 \times 60}{8} \right)} \right] = 8034 \times 4.038$$

$$= 32442 \text{ sene bulunur.}$$

Radyokarbon zaman ölçeğinin kalibrasyonu

Radyokarbon bozunma ölçümlerinden elde edilen tarihlere, gerçek bir yaş değerine ulaşabilmek için birçok düzeltmeler uygulamak gerekmektedir. İlk olarak, 1949 yılında yaşı bilinen antik bir tahta ile yapılan karbon testi sonuçları karşılaştırıldığı zaman, iyi uyum sağladıkları tespit edilmişti. Radyokarbon testi, CO_2 orantılı sayaçlarının kullanımı ve bu sayaçların içersine numunenin direk olarak sokulması sayesinde geliştikçe, birçok numunenin defalarca incelenmesinden, değişik metodlarla tespit edilen tarihlerde

farklılıklar bulunduğu meydana çıkmıştır. Bu farklılıkların bazıları, 19. yüzyılın kömür ve odunun etkileri olduğu sanılmaktadır. Suess bu olayı "fosil yakıt" etkisi olarak tanımlamaktadır. Diğer tarihleme metodları, örneğin dendrochronoloji (3 halkanın sayılması), termoluminesan tarihleme, tarihsel belirleme vs. göstermiştir ki, radyokarbon testi ve diğer metodlarda, eğride değişimler olmaktadır. Ottoway (1983), problemleri ve bu sanatın günümüzdeki durumunu daha detaylı bir şekilde ele almıştır.

4.4.3. Statik Eleme

Çok kesin olarak cihaz olmamasına karşın, radyoaktif kaynakların ilginç bir uygulaması, statik elektriğin kaldırılmasıdır. Birçok imalat işleminde, statik elektrik örneğin, bir basım işleminde kağıtların rulolar arasından geçmesi sırasında olan sürtünmeden meydana gelmektedir. Bu durum, baskıhanelerde, yüksek hızlarda yırtılmalara neden olmaktadır. Dokuma endüstrisinde, bir dokuma tezgâhı gece boyunca bırakıldığı zaman, kalan yün parçaları ve iplikler, uzun bir süre yüklü kalmaktadırlar; bu şekilde toz parçacıkları kumaşa çekilmekte ve sisli bir görüntü meydana getirmektedir; böylece kumaşın değeri azalmaktadır. Lastik üretiminde (kablo kaplama ya da taşıt lastikleri üretiminde), lastik, rulolar arasından geçmektedir ve statik elektrik oluşumu, malzemenin yapışıp kalmasına ve işlemin durmasına neden olmaktadır. Bütün bu problemler, tamamen veya kısmen, statik elektriğin olduğu bölgeye bir radyoaktif kaynak koymak suretiyle çözülebilir; böylece, sürtünmeyle meydana gelen yüklere ters işaretli iyonlar üretilerek nötralizasyon sağlanabilmektedir.

Çok çeşitli kaynaklar, birçok şekillerde, kritik bölgelerde havanın optimum iyonlaşmasını sağlamak üzere günümüzde hazır bulunmaktadırlar. Uzun serit halindeki trityum, ^{90}Sr / ^{90}Y ve ^{241}Am bunlardan en popüler olanlarıdır. Statik yüklemeleri önlemenin önemi, iki alanda vurgulanmaktadır. Birincisi petrol endüstrisinde, gaz-dolu tankerlerin, boş tanklarda meydana gelen statik boşalmalardan etkilenecek patlamaları; ikinci durum, mikrodevre imalatında oluşacak statik boşalmasının bütün bir entegre devreyi bozması olaylarıdır.

5. TAHRİBATSIZ MUAYENE

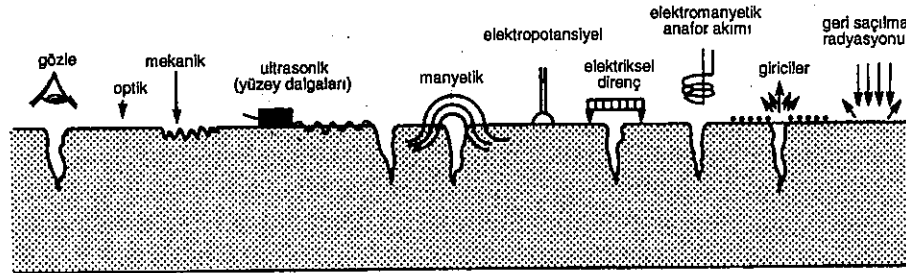
Tahribatsız Muayene Scotland Okulu

5.1. Giriş

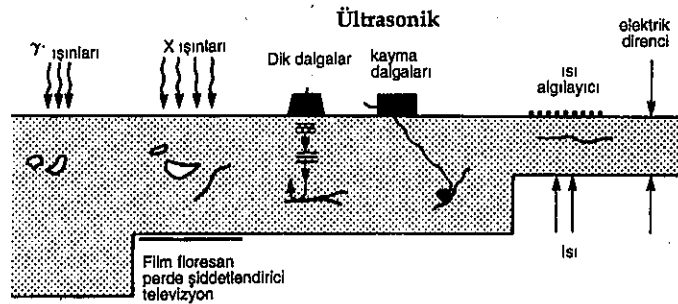
Tahribatsız muayene cihazlarının gelişmesi ve ilerlemesindeki itici güç, mühendislik malzemeleri, ürünler ve fabrikalar için sürekli artan bütünlük ve güvenilirlik ihtiyacını ispatlamak gereği olmuştur. Tesirli malzeme imalatı, ürün kalitesi garantisi, kullanım süresince fabrikanın sigortalanması, tahribatsız muayene için ana sebepleri göstermektedir. "Sağlık durumu" bilgisi hem ekonomik, hem de emniyet açısından gerekmektedir. Gerçekten, birleşik krallıkta (UK), son saydığımız nedenler, İş hareket Sağlık ve Emniyet (1974) kanunu ile tescil edilip, kuvvetlendirilmiştir. Mühendislik malzemelerindeki arızalar, genellikle, çeşitli koşulların bir bileşimi sonunda meydana gelmektedir. Bunlardan, temel üç tanesi, yetersiz tasarım, yanlış kullanım ve malzeme-deki hatalar şeklinde sıralanabilir. Tahribatsız muayene kullanımı, malzeme hatalarının yolaştığı arızaları ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Yapım sırasında, bu hatalar örneğin dökümden sonra oluşan çekilme ve boşluklar, dövme ve haddeleme sonrasındaki katlar ve kıvrımlar, levha malzemelerindeki dalgalanmalar, kaynak dikişlerinde çatlak ve tam sızımama durumları şeklinde özetlenebilir. Alternatif olarak, servis koşullarında ve malzemelerdeki artan karmaşıklık, TM (tahribatsız muayene) tekniklerinin, daha az belirgin faktörleri kontrol etmek için kullanılmalarını gerektirebilir. Örnek olarak, bu faktörler, bileşim, mikroyapı ve homojenlik olabilir.

Tahribatsız muayene, imalat sektörüyle sınırlı değildir. Tasarımcı ve kullanan, köprülerin, petrol ve gaz endüstrisindeki boruların, güç santralleri endüstrisinde basınç tanklarının, nükleer santrallerin muayenesinde ve uçak, rafineri donatılarında bu yöntemi uygulayabilmektedir. Bu kademedeki hatalar, yorulma ve korozyona bağlı bozulmalar olabilmektedir. Tahribatsız muayenenin servis esnasındaki amacı, tesisdeki arızalı kısımları kontrol ederek, tamir için veya parça değişimi için gereken uyarıları yapmaktır. Periyodik kontrollarda her şeyin iyi işlediğine dair güven vermektedir. Bu saydığımız şartlardan dolayı, tahribatsız muayene, malzemelerin imalat ve kullanımında önemli bir rol oynamaktadır. Bundan başka, tasarımlar daha ilginç ve değişik oldukça ve daha yeni malzemeler kullanıldıkça, geçmiş deneyimlere dayanmanın geçerliliği azalmaktadır. Bunlara bağlı olarak tahribatsız muayene gittikçe artan bir öneme sahip olmaktadır. Tahribatsız muayene teknikleri normal olarak, malzemelerin yüzey durumlarını kontrol etmek için veya dahili özelliklerini incelemek amacıyla sınıflandırılmışlardır (Şekil 5.1, 5.2). Bununla yakından ilgili olarak, farklı durumlar, farklı kalite seviyeleri gerektirdiğinden, her metodun hassasiyet mertebesi önem kazanmaktadır. Uygulama

sınırları çeşitlidir. Bundan sonraki konularda, çok yaygın olarak kullanılan tahribatsız muayene teknikleri gözden geçirilecek ve güncel yeniliklere değinilecektir.



Şekil 5.1 Yüzey kontrolü için Tahribatsız Muayene metodları.



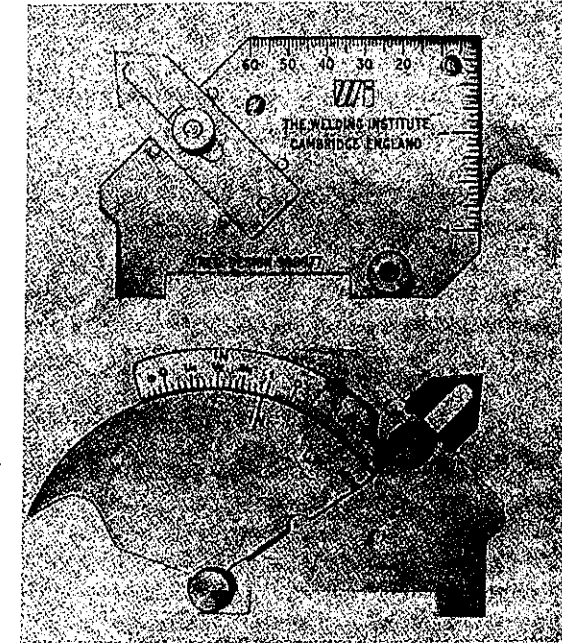
Şekil 5.2 Yüzey - altı analizi için Tahribatsız Muayene metodları.

5.2. Gözle Muayene

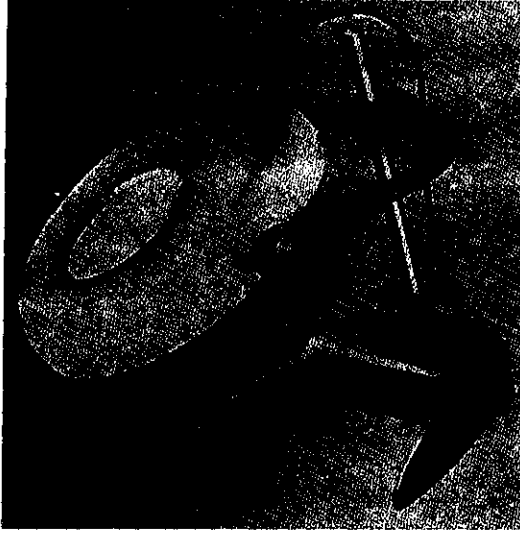
Birçok tip parça için, bütünlük gözle muayene neticesinde tescil edilmektedir. Gerçekten de, ultrason ve radyografi ile daha ileri kademedeki muayene edilmesi gereken parçalar için bile, gözle muayene halâ kalite kontrolde önemli bir yere sahiptir. Yöntemlerin içersinde en çok kullanılanı "gözle muayene" metodudur. Uygulanması kolay olup, sayacağımız avantajlardan, bir veya daha fazlasını içermektedir.

- (1) Düşük maliyet;
- (2) İşlem esnasında uygulanabilirliği;
- (3) Hataların erken düzeltilmesine izin vermesi;
- (4) Yanlış uygulamalara dikkat çekmesi;
- (5) Parça kullanım halindeyken, gelişen hatalar için erken uyarıda bulunması.

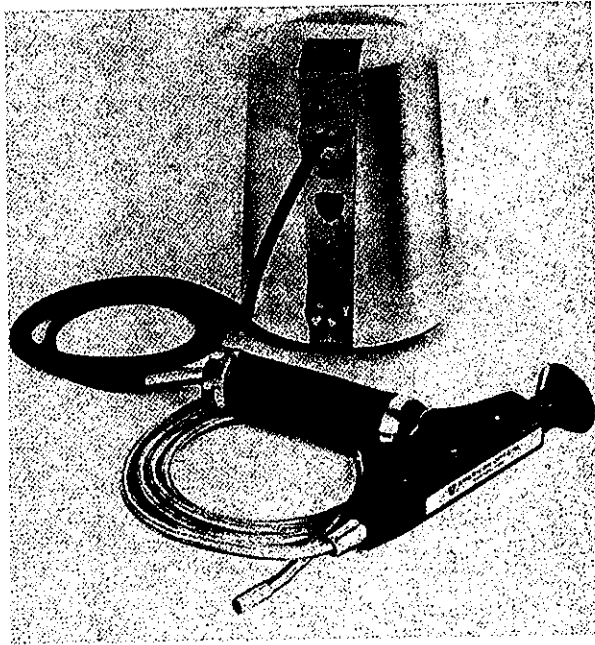
Boyutsal düzensizlikleri belirleyen cihazlar arasında, Kaynak Enstitüsü Ölçerleri (Şekil 5.3), Aydınlatmalı Büyüteçler (Şekil 5.4) ve daha karmaşık olan Fiber Ölçer'i (Şekil 5.5) sayabiliriz.



Şekil 5.3 Gözle Muayene Ölçerleri (Kaynak Enstitüsü).



Şekil 5.4 Göz muayenesi için aydınlatmalı büyüteçler.
(P.W. Allen & Co.)



Şekil 5.5 Yüksek çözünürlüklü esnek fiberskop.
(P.W. Allen & Co.)

Şekil 5.5 'de gösterilen cihaz, odaklama kontrollü ve sivri uçlu yüksek çözünürlüklü esnek fiber ölçerdir. 1 m den 5 m ye kadar esnek uzunluklar, buhar kazanları, ısı değiştiricileri, dökümler, türbinler, kaynak içleri ve diğer periodik kontrollerin zorunlu olduğu elemanlardaki görünmeyen ulaşılabilir bölgeler için lüzumludurlar.

5.3. Yüzey-Kontrol Metodları

Yüzeye yakın hataların kontrolü, çok çeşitli gözleme tekniklerinin kullanılmasına büyük bir imkân sağlamaktadır. İç-çatlak algılamalarında, çoğunlukla radyografik ve ultrasonik tekniklerle sınırlı kalınmaktadır; halbuki dış yüzey-çatlak belirlenmesi için gözle muayene, manyetik parçacık, potansiyel düşme ve anaför akımı gibi teknikler imkân dahiline girmektedir.

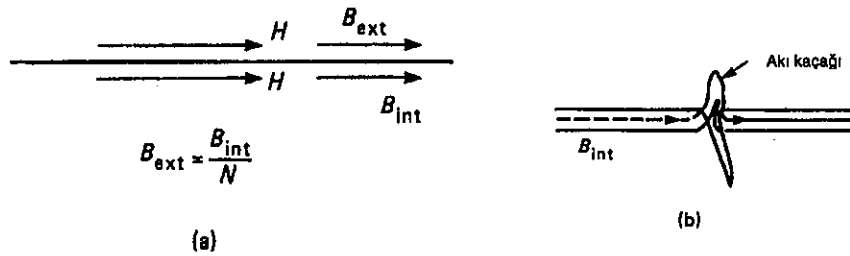
5.3.1. Gözleme Teknikleri

Birçok hallerde, parçaların yüzeyindeki hatalar göze gözükmemektedirler. Ancak, kayıdetme amacıyla veya zor bölgelere giriş imkânı için, fotoğraf ve mikrofotograf teknikleri çok lüzumlu olabilirler. Tehlikeli ortamlarda, nükleer sahalarda ya da açık sahillerde olduğu gibi, video kayıtedicilere bağlanmış televizyon kameraları deney sonrasında sonuçlara ulaşılmasına olanak tanır. Bu kameralar, uzaktan kumandalı taşıma sistemlerine yerleştirildikleri zaman, boru kontrollerinde çok yararlı olmaktadır; ayrıca çok dar boru çapları için de minyatür kameralar kullanılmaktadır. Eğer yüzey-bozucu hatalar çok bariz değillerse, varlıkları girici boyaların kullanımı ile ortaya çıkartılabilir.

Bir girici-boya sıvısı, malzeme yüzeyine sürüldüğü zaman, malzemenin yüzey geriliminden ve ıslanma özelliklerinden dolayı, kuvvetli bir kılcal etki (capillary effect) sözkonusu olmaktadır; bu etki sıvının ince çatlaklardan içeri sızmasına neden olmaktadır. Kısa bir süre sonra (yaklaşık 10 dak.), yüzey temizlenir ve emici toz, sıvı boya ile karışarak boyanın hatalar civarında leke bırakmasına sebep olur. Boya morotesi ışık altında ya parlak kırmızı veya floresan etki gösterdiğinden küçük hatalar kolayca belirginleşir. Girici boya işlemi, büyük üretimler için yüksek oranlarda otomatikleştirilir, fakat son değerlendirme, her koşulda yetişmiş elemanlara ihtiyaç göstermektedir. Tam otomatik kontrole ulaşabilmek için, floresan boyayı uyaran taramalı morötesi lazerler, hatalardan görünür ışık almak için fotoalgılayıcılara bağlanmış olup, halen geliştirilme aşamasındadırlar.

5.3.2. Manyetik Akı Metodları

Teste tabi tutulan malzeme ferromanyetik ise, manyetize olan malzeme-deki hatalardan kaçan lokal manyetik akılar gibi, manyetik özelliklerin kulanılmasıyla, bazı muayene metodları uygulanabilir. Örneğin, demir gibi bir malzemede manyetik akı mevcutsa, manyetik doyma noktası altında akı, malzeme yüzeyi altında kendisini sıkıştırır. Bu durum, manyetik alan gücünün (H), teğetsel bileşiminin, manyetik sınır boyunca sürekli olmasından dolayıdır. Demirin geçirgenliği yüksek olduğundan, dış akı yoğunluğu B_{ext} küçük olmaktadır (Şekil 5.6 (a)). Bir hata çevresinde, hataya dik olan normal bileşenin varlığı, manyetik akının havaya olan sürekliliğini sağlayacaktır ve bölgesel akı kaçağı belirgin hale gelecektir (Şekil 5.6 (b)). Şayet yalnız teğetsel bileşen mevcut ise, hiç akı kaçağı olmayacaktır ve B, hataya dik olduğu zaman, maksimum kaçak koşulları elde edilecektir.



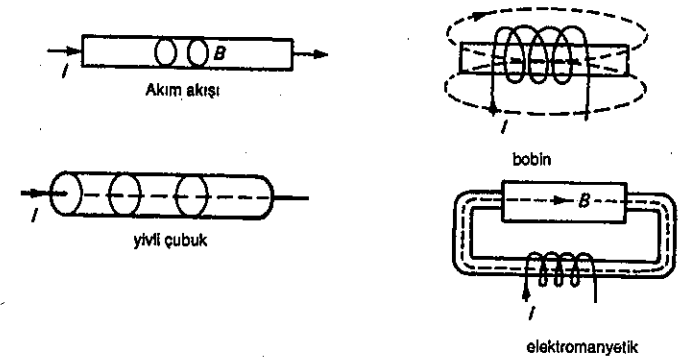
Şekil 5.6 Manyetik akı testinin prensibi.

5.3.2.1. Manyetikleme Metodları

Akı kaçaklarını algılamak için, malzemenin manyetiklenme seviyeleri gerektiği kadar yüksek olmalıdır (manyetik akı yoğunluğu için 0.72 Tesla dan büyük değerler). Bunun karşılığında, yüksek akım seviyeleri gerekmektedir. Amper akım kanununu geçirgenliği 240 olan, 25 mm çapındaki yuvarlak demir bir çubuğa uygulamak suretiyle, yüzeyde gerekli akı değerini sağlayan, 2400 A/m 'lik manyetik alan gücüne ulaşabilmek için gereken akım 188 A 'lik tepe akımdır. Bu şekildeki akım seviyeleri, ya çıkışı numune tarafından kısa

devre yaptırılmış bir voltaj düşürme transformatöründen a.c. akımı şeklinde veya diyod ve rektifikasyonu sonucunda, doğrultulmuş yarı dalga akımı biçiminde uygulanmaktadır. Kullanılan akım tipindeki farklılıklar, manyetik alanın yüzey derinliğine inilirken belirginleşmektedir. Bir manyetik iletkendeki a.c. akımı için manyetik alan sızması, 50 Hz de bile sınırlı kalmaktadır; yarı dalga doğrultulmuş akımdaki d.c. bileşeni, daha yüksek bir giriş derinliği sağlamaktadır.

Malzeme yüzeyinde, istenen akı yoğunluk seviyelerine ulaşmak için birçok metodlar kullanılabilir. Bunlar, yivli çubuklar, bobinler ve elektromıknatısları kapsamaktadırlar, (Şekil 5.7).



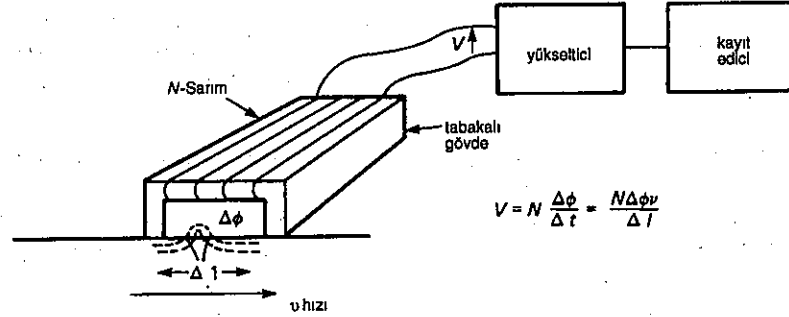
Şekil 5.7 Akı indükleme yolları.

5.3.2.2. Akı Kaçağı Belirlenmesi

En etkili akı belirleme yöntemlerinden bir tanesi, çok ince taneli demir oksit tozlarının, akı kaçağının olduğu bölgede toplanıp kaçak yerini belirlemesidir. Toza, floresan bir boya ilâvesi, çatlağın mor ötesi ışık altında kolaylıkla görülmesini sağlamaktadır. Buna karşılık, böyle bir sistem, hataları kaydedememektir, ancak fotoğraf ve kopya teknikleri, sıyrılabilen manyetik boya ve lastik uygulaması şeklinde kullanılabilir. Bunlara alternatif olarak, malzemenin manyetiklenmesinden önce çevresine sarılan geliştirilmiş manyetik kayıt teypi uygulama tekniği gösterilebilir. Test sonrasında, sargı teyp açılır ve bir teyp ünitesinde kaydedilen akı kaçakları tespit edilir.

Daha dinamik durumlarda, örneğin tübün çevrim (on-line) testi ve çubuk malzemeleri için, verilerin daha hızlı kaydedilmesine ihtiyaç vardır. Üzerine pekçok tel sarımı yapılmış, yüksek geçirgenlikli halka içeren küçük bir algılayıcı başı, akı kaçağı algılayıcı altından geçerken, manyetik indüksiyon yoluyla, zayıf akı kaçaklarını algılayabilmek için kullanılabilir (Şekil 5.8).

Malzeme hareketi, şoklar meydana geldikçe gösteren bir grafik kaydediciye (chart-recorder) aktarılabilir.



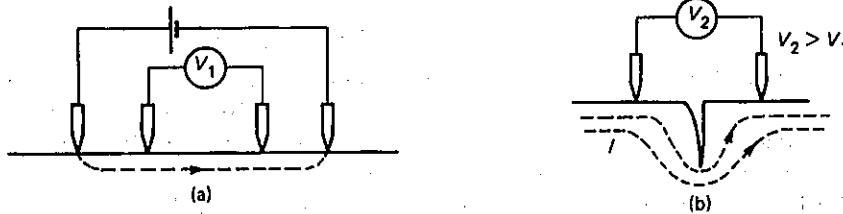
Şekil 5.8 Akı kaçağının algılanması.

ΔL : Akı kaçağı genişliği;

$\Delta \phi$: akı kaçağı değeri; V: indüklenen gerilim.

5.3.3. Potansiyel Düşme Teknikleri

Malzeme direncinin ölçülmesi, yüzey-kırıcı-çatlakların ölçülmesiyle ilişkilidir. Dört noktalı bir prob başı (Şekil 5.9) yüzeye uygulanır ve dış prob-ların arasından akım geçer. Yüzey boyunca potansiyel düşmesi, iki dahili prob tarafından ölçülür ve çatlak derinliği arttıkça, daha büyük bir akım yolu, yükselen potansiyel düşüşüne neden olur. Prob mesafesini değiştirmek suretiyle, çatlak derinliğindeki değişimlere karşı maksimum hassasiyet elde edilebilir. Bunlara ilâve olarak, değişen frekansa a.c. uygulanması, akım girme derinliğinin yüzey altında "yüzey etkisi" (Skin effect) nden dolayı değişmesine neden olmaktadır.



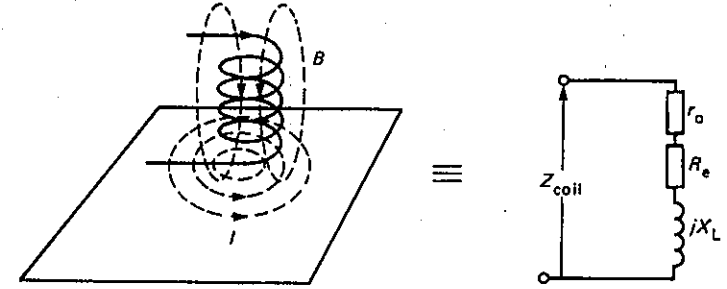
Şekil 5.9 Potansiyel düşüş tekniği için prob.

5.3.4. Anafor (Eddy)-Akımı Testleri

Hem malzeme özelliklerini, hem de hataların varlığını belirleyebilen, güçlü bir yöntemde Anafor-akımı tekniğidir. Zaman-değişimli bir manyetik alan, test malzemesi içersindeki zayıf elektrik akımlarını indüklemek için kullanılmaktadır. Bu akımlar, hem malzemenin iletkenliğine, hem de geçirgenliğine duyarlıdır.

Bunun yanısıra, iletkenliğin içsel değeri, esas olarak malzemenin bileşimine bağlıdır, fakat, kristal hatalarından dolayı yapıda meydana gelen değişimlerden etkilenmektedir. Yapı hataları (boşluklar veya arayer atom-ları), mekanik gerilme koşulları veya işlem sertleşmesi (work hardening) malzemedeki dislokasyonların durumlarına bağlıdır. Bunlara ilâve olarak, süreksizliklerin mevcudiyeti, anafor akımı akış dağılımını fark edilen bir şekilde bozacaktır.

Alışıl gelmiş anafor-akımı test sistemi, uygulanan akımdan dolayı, malzeme içersinde bir a.c. manyetik alanı meydana gelmesine neden olan bir bobini kapsamaktadır. Bu durum, karşılığında kendi alanlarını oluşturan anafor akımlarını uyurarak, ana akımını bozmaktadır (Şekil 5.10).



Şekil 5.10 Anafor akımı test prensibi

$Z_{\text{Bobin}} = (r_o + R_e) + j X_L$; R_e , anafor-akım-akışından meydana gelen ilâve kayıplardır.

Bu aynı zamanda bobin empedansına da yansımaktadır. Bobinin direnç-sel bileşeni anafor-akımı kayıpları ile ilişkilidir ve indüktansı da, manyetik devre koşullarına bağlıdır. Dolayısıyla, iletkenlikteki değişiklikler bobin direncindeki değişimlere yansıtacaktır; bu esnada geçirgenlik yada yüzeye bobinin gösterimi, bobin indüktansını etkileyecektir. Uyarılmanın frekansı, önemli bir test parametresini teşkil eder; çünkü "yüzey etkisi" (skin effect), yüzey altındaki akım giriş derinliğini değiştirmektedir. Yüzey derinliği formülünden

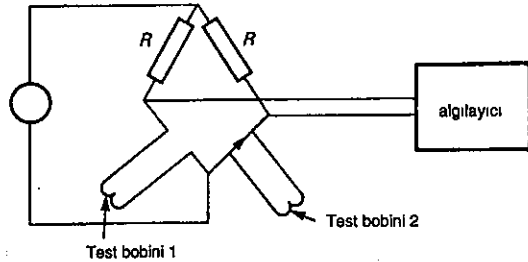
$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}}$$

yazılabilir.

Burada f frekansı, μ geçirgenliği ve σ iletkenliği simgelemektedir. Ferromanyetik malzemelerde, yüzey derinliği, δ , manyetik olmayan malzemelere göre geçirgenliğin karekökü kadar daha azdır. Uygun frekansı seçmek suretiyle, çoğunlukla 100 kHz - 10 MHz arasında, süreksizliklerin ve diğer yüzeyaltı özelliklerin algılanması değişebilmektedir. Daha yüksek frekans için, daha düşük giriş derinliği olmaktadır. Bunlara ilave olarak, ferromanyetik malzemelerde, bir a.akım manyetik alanının malzemeyi doyma noktasına kutuplaması, manyetik-olmayan malzemelerin geçirgenliğine yakın bir seviyeye gelecek şekilde ilâve bir geçirgenlik sağlamaktadır. Dolayısıyla, anafor akımı tekniği malzemelerin çok genel bir test tekniği olup, iletkenlik, geçirgenlik ve yüzey geometrisindeki değişimler ölçülebilmektedir.

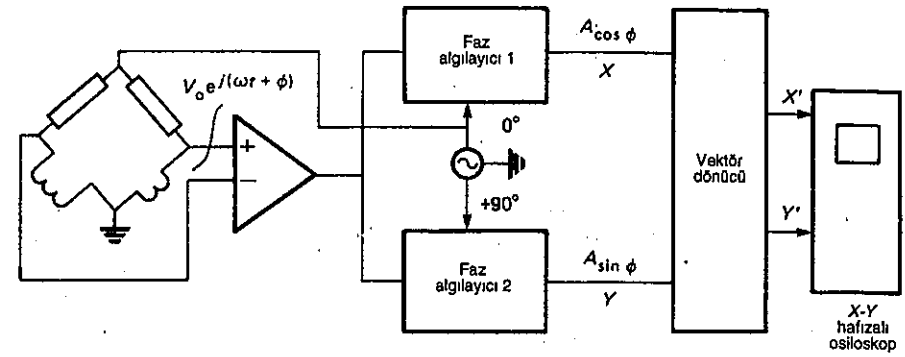
5.3.4.1. Anafor - akımı teknik donanımı

Anafor akımı testinde, bobinler dengelenmiş - köprü biçiminde malzemedeki değişimleri yansıtan, bobin empedansındaki küçük değişimlerin maksimum algılanmasını sağlayacak şekilde tasarlanmışlardır. Algılayıcının en basit örneği, köprü dengesizliğinin büyüklüğünü ölçen tipidir. Böyle üniteler, bilinen malzemeleri, bilinmeyenlerle karşılaştırır ve basit çatlak kontrolü için kullanılmaktadır (Şekil 5.11).



Şekil 5.11 Anafor - akım algılayıcısının basit şeması.

Ünitenin daha değişik bir çeşidi, bobin empedans faz değişimi ve genliğinin ölçülebilir olanıdır (Şekil 5.12): çünkü indüktansdaki değişimler, iletkenlikteki değişimlerden 90° lik bir faz sapması yapmaktadırlar.



Şekil 5.12 Faz eliminasyonu ile anafor-akımı algılanması.

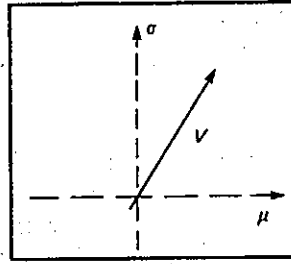
Böyle üniteler, vektör gösterimi olurken köprü dengesiz voltajını $V_0 e^{j(\omega t + \phi)}$ şeklinde alır ve bunu iki dörtlü faz algılayıcıları arasından geçirir. 0° referans algılayıcısı, $V_0 \cos \phi$ ile orantılı bir gerilim üretmektedir; bu esnada 90° algılayıcısı $V_0 \sin \phi$ değerinde bir gerilim verir. X - Y osiloskobunda gösterilen vektör noktası, genliği ve gerilim dengesizliğinin fazını ve dolayısıyla empedans değişimini göstermektedir. Vektörün, ekran civarında herhangi bir yere ayarlanmasına izin vermek için, bir vektör döndürücüsü sinüs ve kosinüs potansiyometrelerini kullanarak işleme katılır. Bu durum aşağıda verilen denklemleri öne sürer:

$$V'_x = V_x \cos \phi - V_y \sin \phi$$

$$V'_y = V_x \sin \phi + V_y \cos \phi$$

Burada V'_x ve V'_y rotasyon yapılmış X ve Y osiloskop gerilimleri olup V_x ve V_y faz-algılayıcı çıkışlarıdır.

Böyle bir üniteyi kurmak suretiyle, yüzeyden probun kalkması sırasında, spot hareketi manyetik devreyi ya da geçirgenlik eksenini belirlemektedir; ayrıca hata sapması ve iletkenlik değişimleri, geçirgenlik eksenine dik açı yapan eksene bir bileşke verecektir (Şekil 5.13). İlâve vektör işlemi, bilinen geometrik bir detaydan, tepkimeyi ortadan kaldırmak üzere yer alabilir.



Şekil 5.13 Anafor - akımı algılamasında CRT (Katod Işınlı Tüpü) gösterimi.

Denkleştirme problemleri, destek elemanları gibi bir detaydan sinyal üretebilirler ve bu sinyal cisim (detay) artı hata sinyalinden çıkartılır. Bu şekildeki çıkartmalar daha geniş geometrik tepkimeler tarafından maskelenen küçük hata tepkimelerini kaydederler. Birçok sayıda farklı frekansa, eş zamanlı olarak (çoklu frekans testi) uygulanabilir; böylelikle her frekansın cevabından kaynaklanan derinlik hakkında bilgi sağlanır. Sürekli malzemenin, geniş kapsamlı kontrolünde, üçüncü tip test şekli, malzemenin içersinden geçtiği bir ölçü başını kapsamaktadır. Önceden bahsedilmiş olduğu gibi, faz algılanmasını kullanan bir algılayıcı sistemi, bilinen hata yönelmelerine cevap verecek şekilde hazırlanmıştır. Bu hata sinyalleri, önceden belirlenmiş bir sınırı aştıkları zaman, tüp pozisyonu ile birlikte bir şeritli kart üzerine kaydedilirler veya tübün kendisi hata pozisyonu tarafından işaretlenir.

5.4. Ültrason

5.4.1. Ültrasonun Genel Prensipleri

Bir mühendislik malzemesinin tahribatsız muayenesinde ultrason tekniği kullanıldığı zaman, bir enerji probu malzemeye yöneltilerek, malzemenin yapısal özellikleriyle gözlenip çözümlenebilecek biçimde etkileşmesi sağlanır. Şayet metalde bir akma mevcutsa, enerji demetinin ilerleyişi lokal olarak değişime uğrar ve bu değişim algılanarak, akmanın teşhisini sağlayacak biçimde gösterilir. Teşhis büyük ölçüde, tarayıcı enerji demetinin doğal yapısını bilmeye, gözlem altındaki parçanın yapısal bileşenleri ile olan etkileşmesine ve parçanın imalat geçmişi hakkında bilgi sahibi olmaya bağlıdır. Ültrason enerjisi, test altındaki malzeme içersine, mekanik dalgalar veya çok yüksek frekanslı titreşimler halinde gönderilir. Kullanılan frekans insanın işitme kapasitesinin en üst sınırından fazla olabilirse de (20 kHz), ultrason frekansları normal koşullarda 0.5-10 MHz sınırlarında yer almaktadırlar.

Denklemler $\left(\lambda = \frac{V}{f} \right)$ olup burada λ = dalgaboyu, V = hız, f = frekansı temsil eder.

Bu denklem dalgaboyu ve frekansı malzeme içindeki hız'a bağlamaktadır. Dalgaboyu hata hassasiyetini belirlemektedir; böyleki dalgaboyunun yarı uzunluğuna sahip herhangi bir hata algılanamayacaktır. Buna bağlı olarak, titreşim dalgaboyunu azaltmak suretiyle, küçük yapı hatalarını algılama yetkinliği artırılmış olacaktır ve sesin hızı her malzeme için karakteristik olduğundan, titreşim frekansının artışı, hassasiyette artma sağlayacaktır. Frekans seçimi, küçük akmalara algılanmasında önemli bir değişken olmaktadır. Ültrasonik dalgaların tabiatı öyledir ki, ilerleme, ortam içersinde parçacık hareketine yolaçmaktadır. Yayılma, hacim değişimi şeklinde, sıkıştırma dalgası olarak veya bir çarpıtma işlemi ile, kayma dalgası şeklinde gerçekleşebilir. Dolayısıyla yayılmanın hızı, içinde bulunduğu ortamın elastik özelliklerine ve yoğunluğuna bağlı olmaktadır.

Sıkıştırma dalga hızı

$$V_c = \sqrt{\left(\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1 - \mu}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)} \right)}$$

Kesme (veya kayma) dalga hızı

$$V_s = \sqrt{\left[\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1}{2(1 + \mu)} \right]} = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

burada E , elastiklik modülü, ρ yoğunluk, μ Poisson oranı, ve G kayma modülü olmaktadır.

Ültrasonik dalgaların diğer özellikleri, ultrasonun bir arayüzeye, örneğin iki farklı ortam arasındaki sınır duvarı ile karşılaşması sonucunda ortaya çıkarlar. Böyle bir durum meydana geldiği zaman, dalga'nın bir kısmı yansır; yansıyan miktar, iki ortamın akustik özelliklerine bağlıdır ve gidiş yönü, ışık dalgaları için geçerli olan aynı kanunlarla belirlenmektedir. Şayet ultrason sınırla bir açı yaparak buluşursa, dalga'nın yansımayan kısmı kırılır ve ikinci ortam içersinde gidiş yönünde bir sapma meydana gelir. Enerji kaybolabilir ya da sönmülenebilir, çünkü ortam içersinde ilerleme esnasında emilme ya da, dalgaboyu büyüklüğündeki detaylarla etkileşen, ultrason dalgalarının saçılması durumu meydana gelebilir. Bu önemli bir faktör olup, frekans seçimi esasına dayanan akma bölgesine olan hassasiyete ters etki yapar. Dolayısıyla, yüksek frekanslar, küçük akmalara karşı duyarlılık sağlarlar, fakat kısa-mesafeli algılamadan dolayı saçılma ve emilme ile sınırlanmışlardır.

Ültrasonda, sıkıştırma veya uzunlamasına olan dalgalar başlıca modu teşkil ederler. Bu şekilde, malzemede her noktada, parçacık yerdeğişimi yayılma yönüne paralel olmaktadır. Yayılan dalga cephesi, bir seri alternatif sıkışmalar ve genleşmelerle ilerlemektedir. Bir sıkışma ve bir genleşme ile ka-

tedilen mesafe bir dalgaboyunu teşkil etmektedir. Bununla birlikte her zaman kullanılan enine veya kayma dalgaları, ilerleme yönüne dik açı yapan her noktada parçacıkların hareketi ile karakterize edilirler. Bu şekilde dalga hareketlerini karşılaştırırken, önemli nokta, verilen bir malzeme için, kayma (kesme) dalgalarının hızının sıkıştırma dalgalarının hızının yaklaşık 5/9 u olmasıdır. Her frekans için, kayma dalgalarının düşük hızı, daha kısa dalgaboyuna tekabül etmektedir. Dolayısıyla, verilen bir frekans için, algılanabilecek en küçük boyuttaki hata, kayma dalgaları durumunda daha az olacaktır.

Kayma hareketini başka şekilleri de üretilebilir. Serbest yüzey olduğu zaman, Rayleigh veya yüzey dalgası ortaya çıkabilir. Bu tip kayma dalgası, bir dalgaboyundan daha kısa etkin girişimle, bir cismin yüzeyinde yayılabilir. İki serbest yüzey tarafından sınırlandırılmış ince kısımlarda, bir 'Koyun (Lamb)' dalgası üretilebilir. Bu sıkıştırma dalgasının bir şekli olup, yaprak (levha) malzemedede ilerler ve hızı sadece malzemenin elastik sabitine bağlı olmayıp, plâka kalınlığı ve frekansa da bağlıdır. Böyle dalga şekilleri, ultrason testlerinde kullanılabilirler. Verilen yayının modu için bir dalga, kırınım veya yansıma yapabilen diğer yayının modlarında dalga üretebilir veya dalgaya dönüşebilir ve bu durum malzemeden gelen test sinyallerinin doğru değerlendirilmesinde pratik zorluklara yolaçmaktadır.

Ültron dalgaları bir proba takılmış dönüştürücü tarafından üretilmektedirler. Dönüştürücü malzemesi, piezoelektrik etkiden dolayı, bir alternatif elektrik alanı altında, genişleşme ve daralma özelliğine sahiptir. Dolayısıyla, elektriksel salınımları mekanik titreşimlere çevirebilir veya ters işlemi gerçekleştirebilir. Prob, test edilecek örneğin dışında olduğundan, örnek ve prob arasına bağdaştırıcı bir eleman koymak zorunluluğu vardır. Bağdaştırıcı, bir sıvı ya da bükülebilen bir katı olabilir ve prob yüzeyi ile örnek yüzeyi arasına oturtulur, ve ültronik enerjinin geçişine destek olur.

Prob, verici şeklinde, enerjiyi yayınlamak için, yada alıcı gibi enerjiyi toplayıcı şekilde çalışabilir. Bu alıcı-vericinin veya tek kristal probunun karakteristik bir özelliği, ölü alana sahip olmasıdır. Bu alanda, iletim-yankı genişliğinden dolayı (transmission-echo), hatalar hiçbir şekilde çözünüp, belirlenemezler. Test altındaki örnekte, ültronik enerjinin geçişi hakkındaki bilgi, bir katod-ışını-tüp ekranı üzerinde gösterilen elektriksel darbeler şeklinde, dönüştürücü sayesinde verilmektedir. Bilginin en geniş şekilde kullanıldığı gösterim, A-taraması olup, yatay çizgi mesafe ya da zaman aralıklarını ve düşey eksen ise sinyal genliğini veya geçen ya da yansıyan sinyallerin şiddetlerini vermektedir.

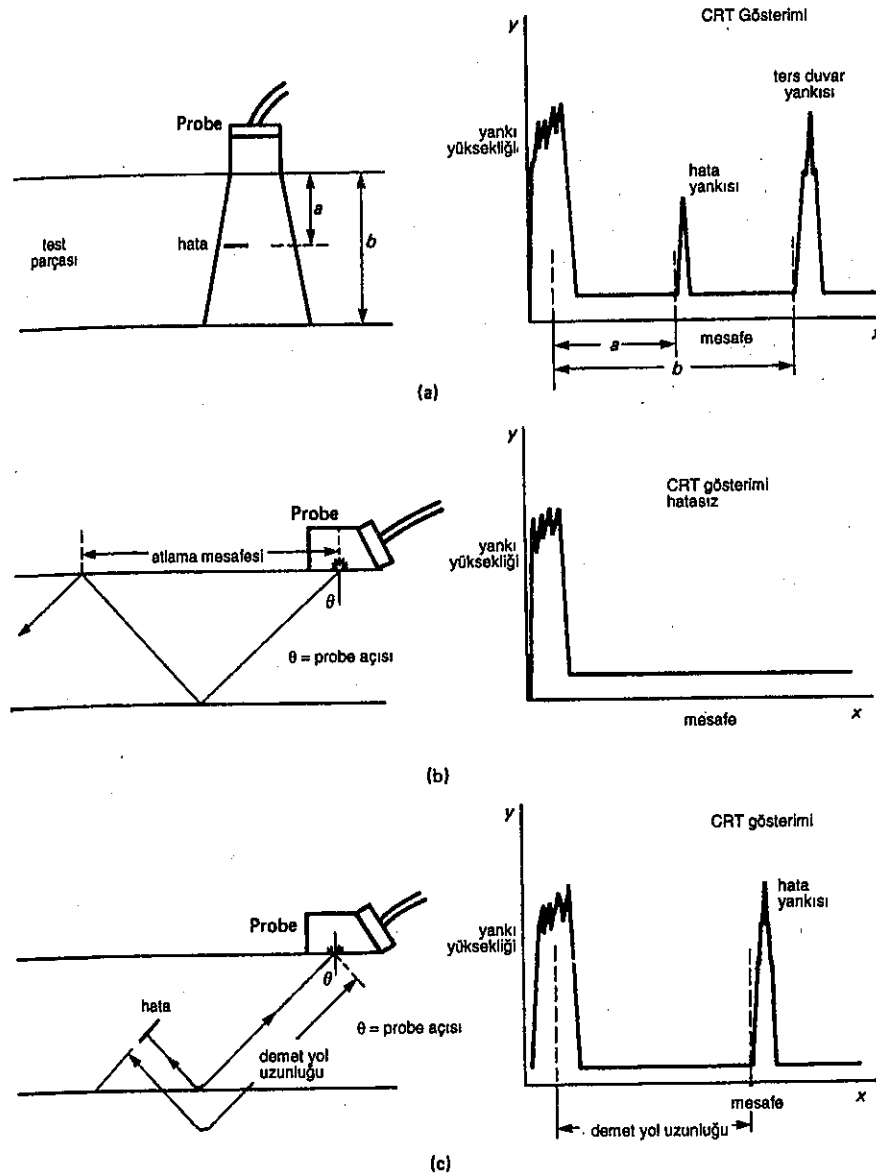
İncelemenin temel metodları : Geçirim, darbe yankılaması ve çınlamadır. Geçirim metodun da, bir ültronik enerji demeti, bir örnekten geçirilmekte ve bir yüzeyine ültronik verici, diğer yüzünde alıcı yerleştirmek suretiyle, numune kontrol edilmektedir. Dahili akmaların varlığı, algılanan sin-

yaldeki genlik azalması ya da sinyalin tamamen kaybolmasından anlaşılmaktadır. Hata derinliği hiçbir şekilde verilmemektedir.

Darbe - yankı metoduyla, ayrı problemleri kullanmak mümkünse de, alıcı ve vericinin tek bir probda toplanmış olması daha yaygındır. Böylece, sadece tek bir yüzeye ulaşmak gerekmektedir. Bu metod, malzeme içersinde geri yansıyan ve proba doğru yolunu bulan enerjiye dayanmaktadır. Bilgi, darbenin vericiden bir engele, akma bölgesine yada sınır duvarına kadar gidip, alıcıya geri gelmesi sırasında geçen zaman tarafından sağlanmaktadır. Zaman, ültronik demetin katetdiği yol ile orantılıdır, dolayısıyla katod ışınları tübü, doğru kalınlık ölçmelerini sağlamak üzere veya bilinmesi gereken hata bölgesini saptayacak şekilde kalibre edilebilirler (Şekil 5.14 (a)).

İşin yönüne uygun bir şekilde duran hata için, geri yansıyan sinyalin genliğinden hata büyüklüğü hakkında bir fikir elde edilebilir. Bu test metodunda, sıkıştırma problemleri, sıkıştırma dalgalarını yüzeye dik olarak girecek şekilde taşımak için kullanılmaktadırlar. Diğer yandan, kayma problemleri enerjinin malzeme içersine bir açı ile girmesi istendiği zaman kayma dalgalarını taşımak için kullanılmaktadır. Bu esnada, kaçak mesafe olarak adlandırılan bir referansa da başvurulabilir. Bu mesafe, cisim yüzeyi üzerinden ölçülen prob indeksi yada prob için ışının çıkış noktası ve ışın ekseninin bir çift çapraz yolu takip ederek yüzey üzerine düştüğü nokta arasında kalan ölçülen mesafedir.

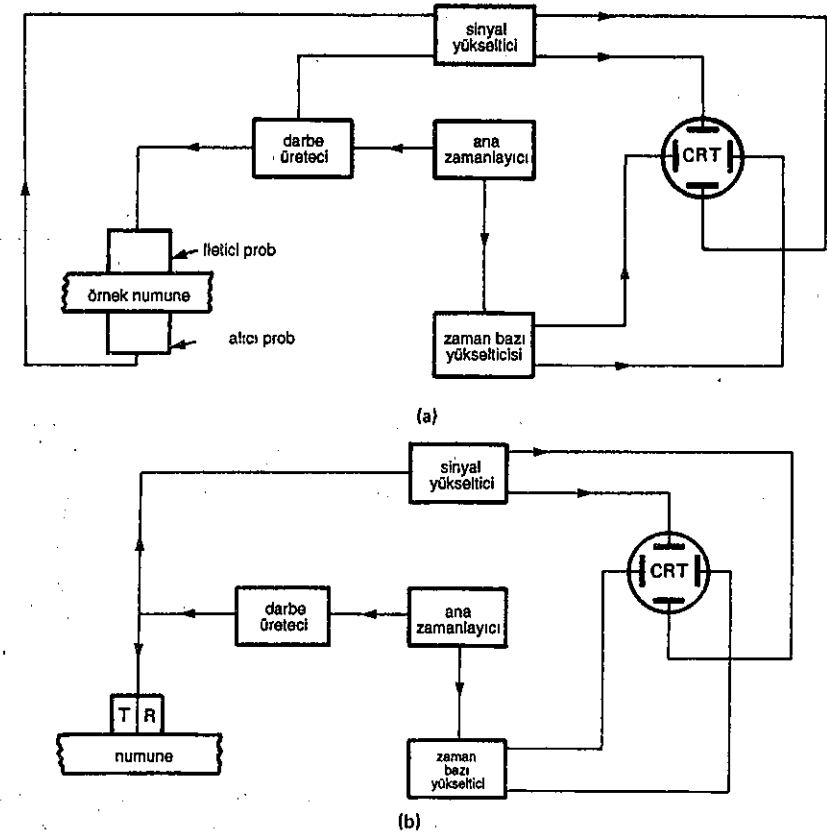
Kesin ve doğru olarak hata yerinin belirlenmesi, kaçak mesafe ve ışın yol uzunluğunun belirlenmesi ile mümkündür (Şekil 5.14 (b) ve (c)). Bir bileşenin kalınlığı tam olarak, gelen ültronik enerjinin yarıdalgaboyuna eşitse, bir çınlama şartı, mevcut olup, bileşen kendi doğal frekansı ile salınım yapacaktır. Bu koşul algılanan darbede bir artışa neden olacaktır. Çınlama koşulu, sayet kalınlık yarıdalgaboyunun çok katlarına eşit olursa da sağlanabilir. Çınlama metodu, bir cisimde titreşimin maksimum genliğini uyarmak üzere, ültronik dalgaların frekansını değiştirmeye dayanmaktadır; bu işlem genellikle, kalınlığı bir yüzden ölçmek gerektiği zaman uygulanır.



Şekil 5.14 Farklı ultrasonik problemlerin ve hataların sunduğu görüntüler.
a) Mesafe (zaman) - aktarım - sıkıştırma - dalga gözlenmesi
b) Kaçak zamanı - kayma - dalga incelenmesi
c) Işın yol uzunluğu (aktarım mesafesi) - Kayma dalgası incelemesi.

5.4.2. Ültrasonik Test Donanım Kontrolleri ve Görüntü Sunumları

Birçok ultrasonik setlerde, sinyal bir katod ışını tübünde gösterilmektedir (CRT). Cihazın çalışması, geçirim ve darbe-yankı tekniklerine benzer olup, test cihazının blok diyagramları Şekil 5.15 (a) ve (b) de gösterilmektedir. Ana kronometre, darbelerin üretim hızlarını veya darbe tekrar frekansını (PRF) kontrol eder ve zamanlama devresini taban hattını (base line) sağlamak suretiyle destekler. Bu esnada, darbe üretici darbe çıkışlarını veya proba iletilen darbe enerjisini kontrol etmektedir. Probda, elektrik darbeleri, dönüştürücü vasıtasıyla, seçilen frekansda mekanik titreşimlere dönüştürülür ve test malzemesine yöneltilir. Örnekten geçen enerji miktarı çok küçüktür. Proba geri gelen ses bandının üzerinde, mekanik titreşimler, dönüştürücüde tekrar elektriksel salınımlara dönüştürülürler.

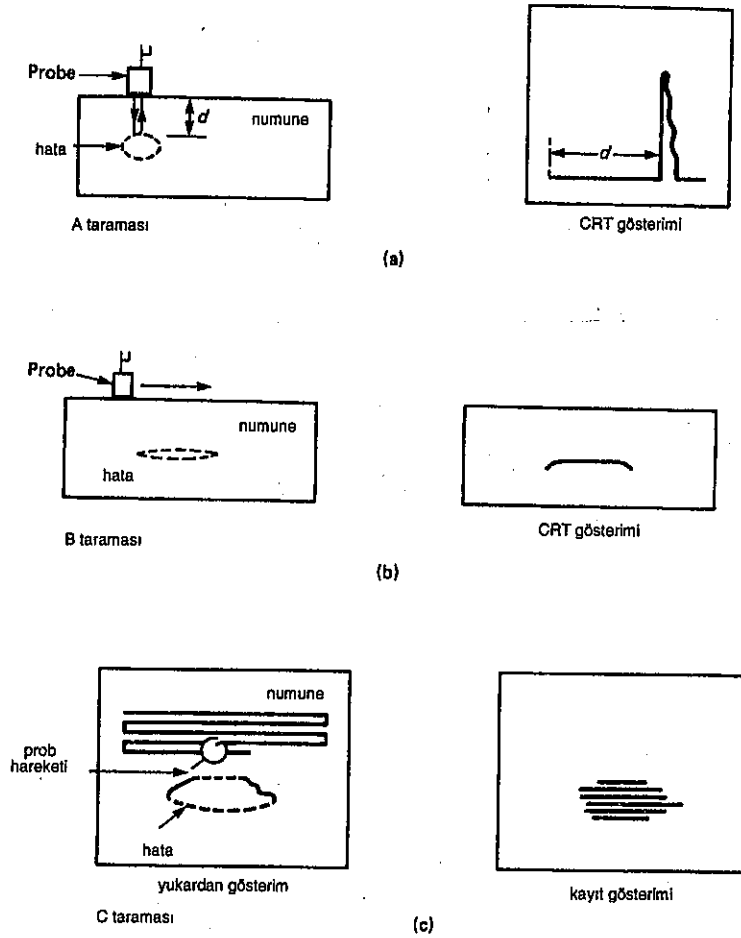


Şekil 5.15 Ültrasonik akma algılayıcısının blok diyagramı. a) Geçirim yöntemi, b) Darbe-yankı tekniklerini kullanarak...

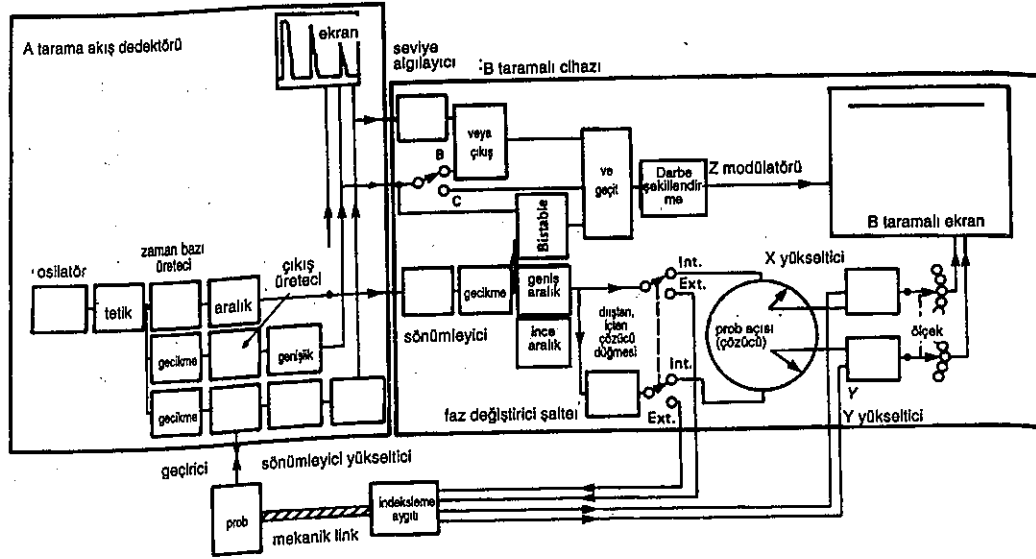
Ana şebekede, verici ve alıcı probları birleştirilmişlerdir. CRT (Cathode Ray Tube) deki, zaman tabanlı yükseltici, tübün yüzeyindeki demetin süpürme veya tarama hızını kontrol etmektedir. Bu işlem, birim zamanda ultrasonik dalgaların katettiği yol ile hız arasındaki ilişki kullanılarak, hataların yerini belirlerken yada kalınlığı ölçerken mesafe derinlik ölçeği olarak kullanılabilir. Alıcı probundan yükselticiye gelen sinyaller büyütülürler ve bu işlem sönümleyici kontrol mekanizması ile birlikte gerçekleştirilir. Sinyal düşey ekseninde meydana gelir. Görüntüleme CRT ekranında, verilmiş ve toplanmış sinyallerin uygun zaman sıralamasına göre, genliklerini de belirtecek şekilde, oluşturulur.

A-, B-, C- tarama sunumları, CRT gösterimleri cinsinden açıklanabilirler (Şekil 5.16). CRT de, katod ve anot arasına bir ızgara yerleştirilmiş olup, elektron akışını sınırlamaya yardımcı olmaktadır ve dolayısıyla, daha pozitif ya da negatif yapılabilen ekran parlaklığı kontrol altında tutulmaktadır. Elektron tabancası, akabinde takibeden bir sapırtıcı sistemi de mevcuttur. Bu sistem elektron demetini tüp ekranı boyunca yatay veya düşey olarak sapırtabilir.

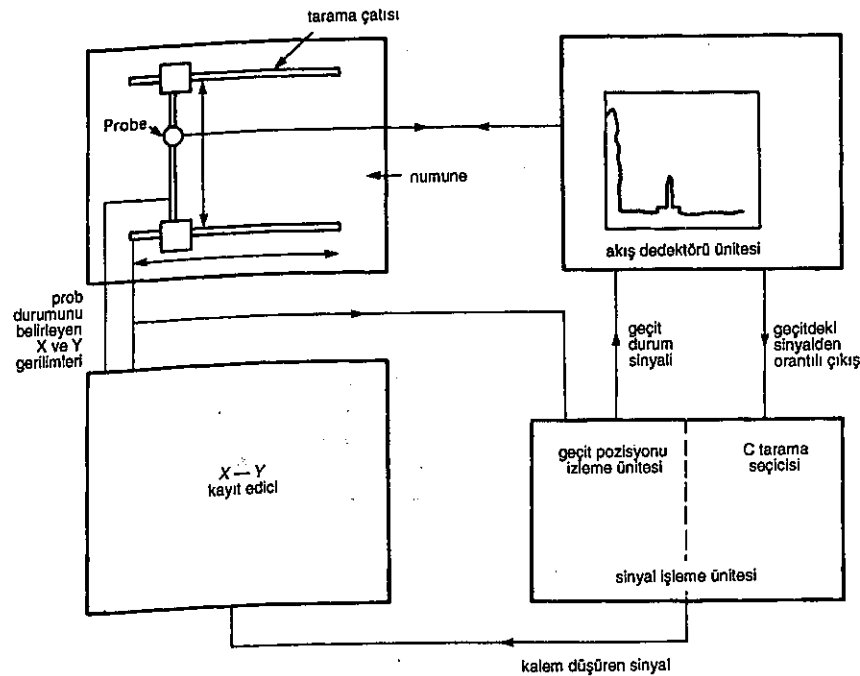
A taraması gösteriminde, sapırtıcı plâkalarının X ve Y koordinatları, zaman bazını ve yükseltilmiş tepkiyi göstermektedir. Ancak B taramasında, hatalardan ve test plâkasının ön ve arka yüzlerinden gelen, kaydedilmiş ve yükseltilmiş yankılar uygulanmaktadır. Bunlar A taramasına dik olan, Y sapırtıcı plâkasına değil, izin parlaklığını arttırmak için CRT nin ızgarasına uygulanmaktadır. Şayet, örnek boyunca probun hareketine orantılı olan bir sinyal, X sapırtıcı plâkalarına uygulandığı takdirde, bütün CRT ekranı örnekte verilen bir uzunluk için, malzemenin arakesitini gösterecek şekilde ayarlanabilir (Şekil 5.16 (b)). Bu tip gösterimin diğer bir uzantısı C-taramasında kullanılmaktadır. Burada tüpteki hem X, hem de Y sapmaları, çapraz probun denk gelen koordinatlarına uymaktadırlar. Malzeme içersindeki akma yankıları geçit verilmişlerdir ve CRT'nin ızgarasını modüle etmek ve hataların bulunduğu yerlerde, aydınlık bölgeler yapmak amacıyla kullanılırlar. Radyografa benzeyen, ancak çok daha fazla ince ve hassas olan bir resim Şekil 5.16 (c) de olduğu gibi gösterilmektedir. Şekil 5.17, A veya B tarama gösterimi verebilen bir donanımın akım şemasını ve Şekil 5.18 ise, C-taraması için akım şemasını vermektedir.



Şekil 5.16 A-, B-, ve C- tarama gösterimleri.
(Welding Institute'dan alınmıştır)



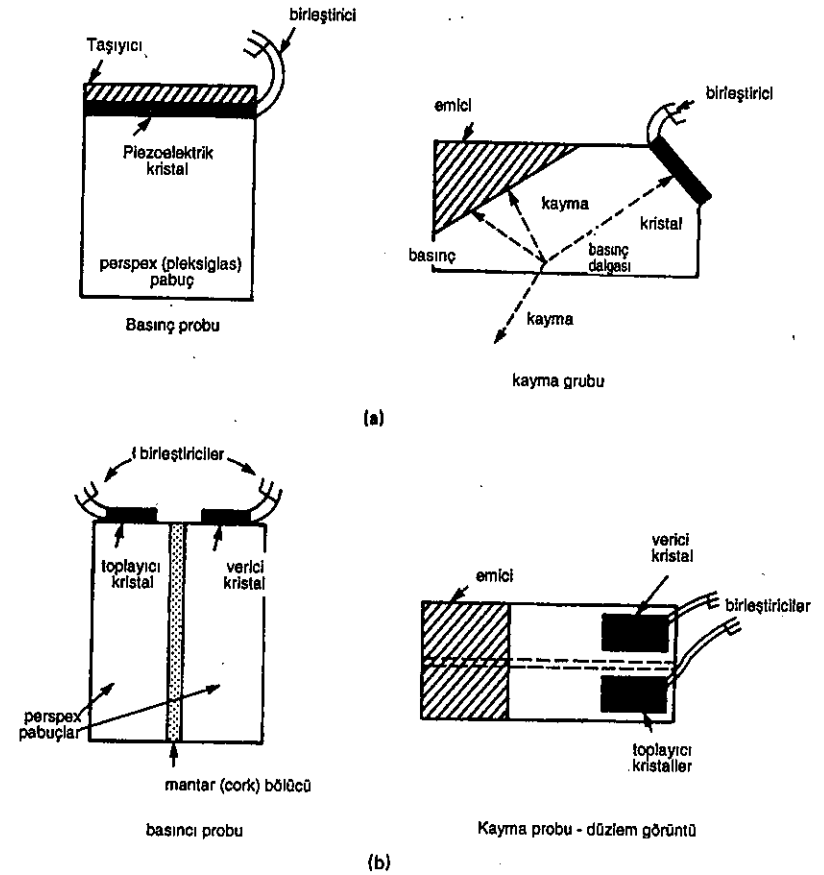
Şekil 5.17 A- ve B- tarama ekipmanı (Welding Institute).



Şekil 5.18 C- tarama ekipmanı (Welding Institute).

5.4.3. Prob Yapımı

Ültrasonik prob yapımında, piezoelektrik kristal, piezoelektrik olmayan, bir akustik sıkıştırma dalgası salan alın parçasına takılmıştır (Şekil 5.19 (a)). Kristalin diğer yanı, arka yöne yayılan enerjiyi emen bir malzemeye bağlanmıştır. Bu yayınlanan dalgalar, kristaldeki enerji kaybına denk düşerler ve dolayısıyla kristal sönümlenmesini arttırmırlar. İdeal olarak, yayılan ve ilerleyen akustik dalgadan elde edilen sönüm doğru prob performansını vermeye yeterli olacaktır. Problar, tek veya ikiz piezoelektrik kristaller kullanarak ya sıkıştırma dalgaları veya açılal kayma dalgaları üretebilirler. Tek kristal sıkıştırma probunda, şiddet alanı değişimi, perspeks aşınma papucu (perspex wear shoe) içersinde yoğunlaşmamaktadır. Fakat ikiz kristal problemleri (Şekil 5.19-b) ölü alan (dead zone) veya tek probun çözünür olmayan bölgesi çok uzun olabileceğinden kullanılabilirler.

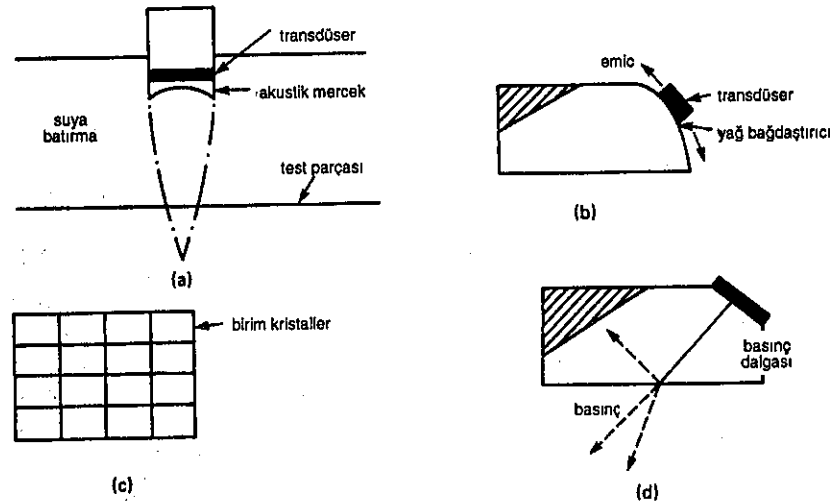


Şekil 5.19 Tek (a) ve ikiz-kristal, (b) Prob yapımı.

Karşılaştırıldığı zaman, aç probları prob sınırında ve işlem parçasında mod dönüşümü prensibine göre çalışırlar. Boyuna dalgalardan meydana gelen bir açsal dönüştürücü tarafından üretilmektedir ve örnek yüzeyine bir açı altında çarpmaktadır. Eğer açı doğru olarak seçilmişse, sadece açı yapan kayma dalgası çalışılan parça içersine iletecektir. Yeniden bir ikiz kristal, Şekil 5.19 (b) de gösterildiği gibi sıkıştırma probları şeklinde kullanılmaya hazırdır. Odaklanmış, değişken açılı, kristal mozaik veya açılı-sıkıştırma-dalgası biçimindeki özel problar da hazırdırlar (Şekil 5.20).

Bir akustik lensi, bir dönüştürücü kristalinin altına koymak suretiyle, yayınlanan demeti, optik merceklerde olduğu gibi odaklamak mümkün olur. Eğer merceğin verilmiş bir silindirik eğrisi varsa, test edilen örnek batırılmış durumda ise, sesi silindirik yüzeye dik girecek şekilde ayarlamak mümkündür. Değişken açılı problar, değişken açılı yayınlanan ses dalgası verebilecek şekilde ayarlanabilirler. Bu durum, aynı örnek üzerinde farklı açılarla çalışıldığı zaman değer kazanmaktadır.

Mozaik tipli probda, birçok kristal yanyana dizilmişlerdir. Kristaller aynı fazda uyarılmış olup, bu şekilde mozaik, mozaik eşit büyüklükte büyük bir kristal probu gibi davranması sağlanır. Sonuç olarak, açılı sıkıştırma probları, ostenitik (çelik) malzemelerin testlerinde kullanılmakta olup, geniş tane yapısından dolayı kayma (yada kesme) dalgaları hızlı bir şekilde sönümlenmektedir. Böyle problar, geliş sıkıştırma demetini açılarak,



Şekil 5.20: Özel Prob Yapımı.

- Odaklanmış Prob;
- Değişken Açılı Prob;
- Mozaik Prob;
- Açsal Sıkıştırma Probu

sadece kayma dalgalarının başlangıç emisyon açılarından daha küçük hale getirilebilirler. Bir kayma dalgası, test örneğinde meydana gelse bile, sönümlemeye bağlı olarak, çabuk bir şekilde kaybolur.

5.4.4. Ültrasonik Spektroskopi Teknikleri

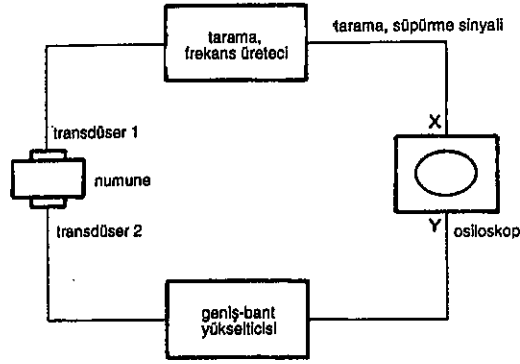
Ültrasonik spektroskopi, ultrasonik sinyallerin frekans bileşenlerini analiz etmek için kullanılan bir tekniktir. Spektroskopinin geçmişi Newton'a kadar dayanmaktadır. Newton, beyaz ışığın birçok farklı renklerden meydana geldiğini keşfetmiştir. Her renk değişik bir frekansa denk geldiğinden, beyaz ışık farklı radyasyon frekanslarının toplamı olarak düşünülebilir; yani beyaz ışık, bir frekans spektrumunu kapsamaktadır. Bir malzemeden beyaz ışığın geçişi ve arkasından spektrumunun incelenmesi, malzemenin atomik yapısı hakkında bilgi verir. Buna benzer olarak, bir malzemeden ultrason geçişi ve spektrumunun hemen sonra incelenmesi, hata geometrisi, kalınlık, dönüştürücü frekans tepkisi ve mikroyapıdaki farklılıklar hakkında bilgi sağlamaktadır.

Bu iki yöntemin sonuçları arasındaki farklar ultrason sinyallerinin elektromanyetik dalga yerine, elastik dalgalardan meydana gelmesidir.

Ültrasonik spektrumun değerlendirilebilmesi için, ultrason enerjisinin nasıl malzeme içine girdiği hakkında bilgi sahibi olmak gerekmektedir. İki ana faktör bunu belirler:

- (1) Transdüserlere özel olan frekans tepkisi
- (2) Transdüserleri uyaran, üreticinin çıkış spektrumu.

Transdüser tepkimesi önemlidir. Tekniğe bağlı olarak, bir veya iki transdüser kullanılabilir. Tepkime, mekanik davranışa bağlıdır ve disk yüzeyine dik olan elastik sabitler ve kalınlık önem taşırlar. Bunlara ilâve olarak, örneğin yüzeyine takılı bir aşınma plakasının yola geçtiği sönümleme ve transdüser - numune bağlaşma (kuplaj) koşulları, önemli faktörler olabilirler. Düşük Q değerine sahip olan kristaller, ultrasonik spektroskopi için iyi olan geniş ve yaygın tepkime vermektedirler; fakat, genlik tepkisi, yani hassaslıkta keskin bir düşüş göstermektedir. Sonuçlar göstermektedir ki, temel çınlama f_0 , frekans değerinin çok altındaki değerlerinde kristalin tepkisi düzdür; dolayısıyla bu durum yüksek f_0 değerlerinin bir avantaj olacağı sonucunu çıkarır. Ancak, kristal malzemenin de, yeterli miktarda pratik olması için sağlam olması gerekir ve bunun için kristal malzemenin belli bir kalınlık sınırı vardır. Genelde, frekans modülasyonu sırasında genliği değiştirerek, dönüştürücünün tepkime etkisini eşitlemek için bazı denemeler yapılmaktadır. Direk bir yöntem sürekli bir şekilde frekansı değiştirmek ve tepkimeyi kaydetmektir. Bu şekilde frekans-modülasyon teknikleri (Şekil 5. 21), verici ve



Şekil 5.21 Frekans - Modülasyon Spektroskobu.

alıcı görevler yapacak iki prob gerektirirler. Eğer bir yansıma test işlemi uygulanırsa, o zaman her iki dönüştürücüde tek bir proba monte edilebilir.

Şekil 5. 21, sistemin bir akım şemasını vermektedir.

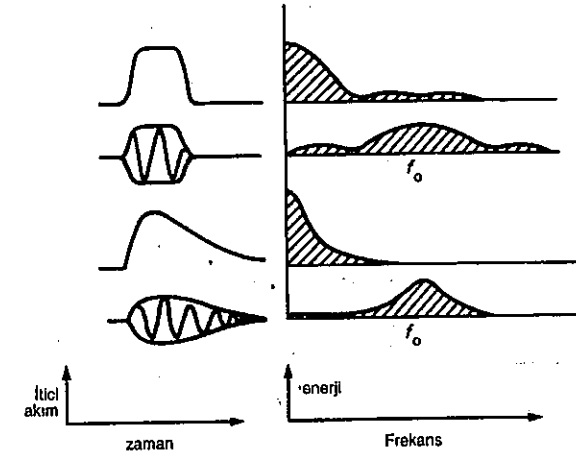
CRT üzerindeki gösterim, bir frekans genlik diyagramı şeklindedir. Sistemdeki bazı değişiklikler şöyle sıralanabilir:

- (1) Zarf fonksiyonunun gösterimini sağlamak için, geniş-bantlı yükseltici ve osiloskop arasında uygun bir filtre ve bir algılayıcı,
- (2) Parazit sinyallerini bastırmak için, elektronik ayarlı rf yükselticisinin yerleştirilmesi.

Alternatif olarak, darbeler içersinde gizli (implicit) olan spektrumu kullanarak, frekans sınırları ortaya koyulabilir. Dört tip çıkış sinyali için, çıkış spektrumu Şekil 5.22'de gösterilmektedir. Çıkış şekilleri

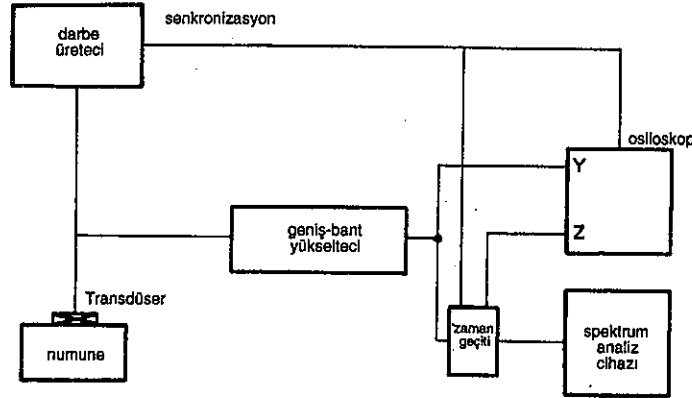
- (1) Dikdörtgen biçimli, tek d.c. darbesi;
- (2) Dikdörtgen zarflı ve f_0 taşıyıcı frekanslı salınım darbesi;
- (3) Üstel yükselme ve sönme ile birlikte d.c. darbesi;
- (4) Üstel yükselme, sönme ve taşıyıcı f_0 frekansı ile birlikte salınım darbesi.

Bu sonuçlardan, spektrumun ana diliminin, spektral enerjinin çoğunu taşıdığını ve spektrum genişliğinin, darbe süresi ile ters orantılı olduğu görülmektedir.

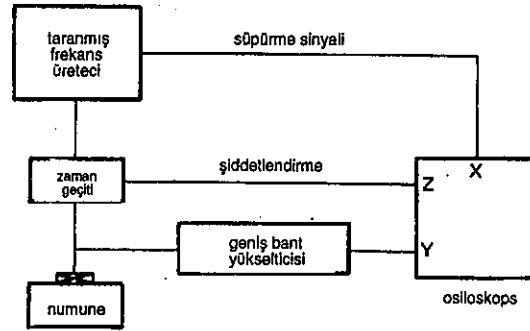


Şekil 5.22 Darbe şekli ve ilişkili spektrum.

Genliği büyük olan, geniş bir ultrasonik spektrum elde etmek için, uyarım darbesinin mümkün olduğu kadar büyük bir genliği ve kısa süresi olması lazımdır. Pratikte, bir uzlaşmanın olması gerekmektedir; çünkü transdüserin bozulma direncinin ve darbe üreticinin çıkış voltajının bir limiti vardır. Darbe spektroskopisinde (Şekil 5. 23) kullanılan elektronik donanım frekans modülasyonu için olanından büyük ölçüde farklılık göstermektedir. Bu sistem, analizi yapılacak ultrasonik sinyalleri seçebilecek bir zaman geçiti, ve dolayısıyla zaman, frekans alanında gözlem yapılmasına olanak sağlar. Önceki işlemleri kapsayan bir darbe frekans-modülasyon tekniği de kullanılabilir (Şekil 5. 24). Frekans süpürme (tarama) hızından büyük ölçüde daha süratli biçimde, zaman geçiti (Time gate) periyodik olarak açılıp kapanmaktadır ve böylece frekans tarama sinyallerini bir seri darbelere parçalamış olmaktadır. Bu teknik, esasen transdüser tepki özelliklerini belirlemek için kullanılmaktadır.



Şekil 5.23 Darbe-Yankı spektroskobu.



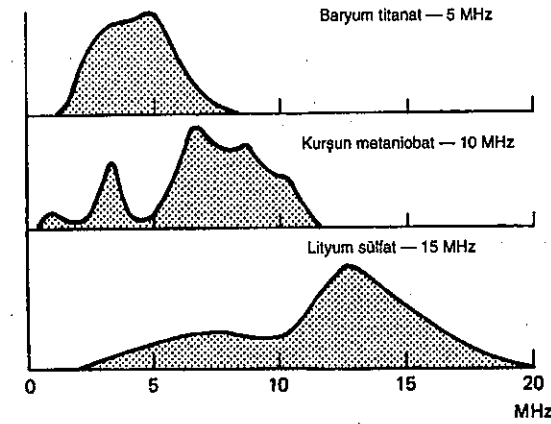
Şekil 5.24 Darbeli frekans - Modülasyon spektroskobu.

5.4.5. Ültrasonik Spektroskopinin Uygulanması

5.4.5.1. Dönüştürücü tepkisi

Alışlagelmiş ultrasonik kontrol sonuçlarının transdüserden, transdüserde büyük ölçüde, element boyutu ve çınlama frekansı aynı kalsa da, değiştiği bilinmektedir. Bu durumu önleyebilmek için, imalat sırasında hem tepkime özelliklerini, hem de demet profilini kontrol etmek gerekmektedir. Frekans tepkimesini belirlemek için, hem darbe, hem de darbeli frekans-modülasyon teknikleri uygulanmaktadır. Test önce, ultrasonik sönümlemesinin frekansa olan bağımlılığı ihmal edilebilir olan, bir örnekten gelen arkadivar yankısı analiz edilerek gerçekleştirilir. Numune, ultrason demetinin ırak-

saklığından gelen hataları önlemek için ince tutulmuştur. Sonuçların analizi, tepkime özelliklerini vermekte olup, tipik örnekler Şekil 5.25 'de gösterilmektedir.



Şekil 5.25 Değişik piezoelektrik dönüştürücülerin frekans tepkileri.

5.4.5.2. Mikroyapı

Bir ultrasonik sinyalin, amorf (kristalin olmayan) veya polikristalin (çok taneli) bir malzeme içersinden geçerken zayıflatılması, malzemenin mikroyapısına ve ultrasonik sinyalin frekans yoğunluğuna bağlıdır.

Mikroyapıdaki farklılıklar, ultrasonik zayıflama spektrumunu incelemek suretiyle belirlenebilir. Rastgele yönelmiş kristallerden meydana gelen çok kristalli malzemelerde ultrason zayıflaması başlıca saçılmadan dolayı meydana gelmektedir. Tek kristalin elastik özellikleri ve ortalama tane boyutu, ultrasonik sönümlemenin frekans bağımlılığını belirlemektedir. Camlarda, plâstiklerde ve diğer amorf (nonkristalin) malzemelerde olan sönümleme, tane sınırı saçılmasından farklı mekanizmalardan dolayı olmasına rağmen, metaryelin karakteristiğine bağlıdır.

5.4.5.3. Hata geometrisi analizi

Bir hatanın şeklini kavramak, çoğunlukla ultrasonik yankı yüksekliğindeki değişimleri ölçmek suretiyle yapılmaktadır. Ancak bu esasa dayanarak yapılan ölçümler daha az kesin sonuç verebilir; çünkü yönelme, geometri ve akustik empedans en az hata boyutu kadar, yankı boyutlarını etkileyebilmektedir. Daha ileri araştırmaya izin veren bir teknik, frekansı değiştirmek sure-

tiyle ultrasonik demetin dalgaboyunu değiştirmektedir ve bu şekilde ultrasonik spektroskopiye gidilir.

Darbe-yankı spektroskopu, bu teknik için idealdir. Eğer, hata yankılarının spektrum işaretleri büyük farklılıklar göstermekteyse, boyut ölçümü için, hata yankı yüksekliklerinin ölçülmesi tavsiye edilmemektedir.

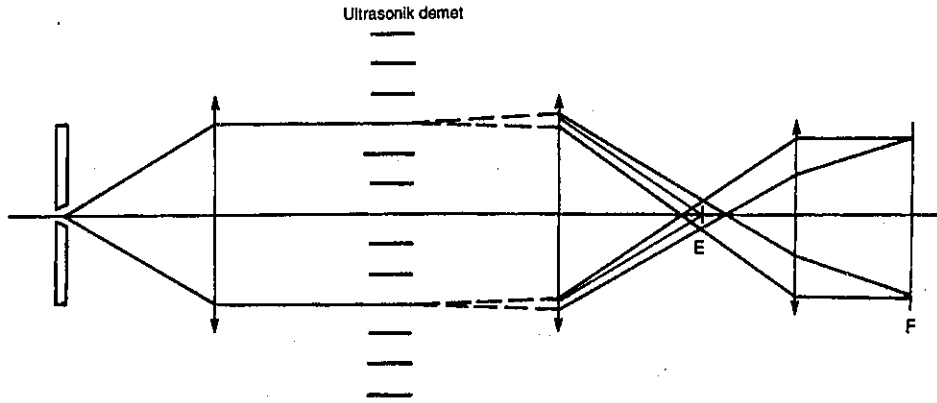
Ültrasonda elde edilen bilgilerin farklı şekillerde gösterilmesi

Ültrasonik bilginin işlenmesinin diğer birçok teknikleri mevcuttur.

İki ana grubun genel prensipleri (1) Ultrasonik gözleme, (2) Ultrasonik görüntüleme, anlatılacaktır. Bu bölümün sonunda verilen referanslarda daha ayrıntılı bilgiler bulunabilir.

Ültrasonik görüntüleme iki temel tekniğin kullanılmasını sağlar :

(1) Schlieren metodları ve (2) Fotoelastik metodlar. Bu ikisini birleştiren üçüncü bir metod D.M. Marsh tarafından "Tahribatsız Muayene Testinde Araştırma Teknikleri (1973)" adı altında anlatılmıştır. Schlieren metodları, ultrasonik dalgaları takibeden kırılma indisi eğimlerinin (Gradient) yolaçtığı ışık sapmasının algılanmasına dayanmaktadır. Birçok durumlarda, bu teknik, sıvılarda uygulanmaktadır. Fotoelastik görüntüleme, ultrasonik bir dalgada, ortamın çift kırılma gerilmesini algılamak için çaprazlanmış polaroidleri kullanarak gerilmeleri ortaya çıkartmaktadır. Ana kullanım sahaları, özellikle yoğun alanlarda, örneğin katının fiziksel olarak temasta bulunduğu dönüştürücülerde karşımıza çıkmaktadır. Diğer pekçok metod denenmiştir. Schlieren sisteminin prensibi Şekil 5.26 da gösterilmektedir.



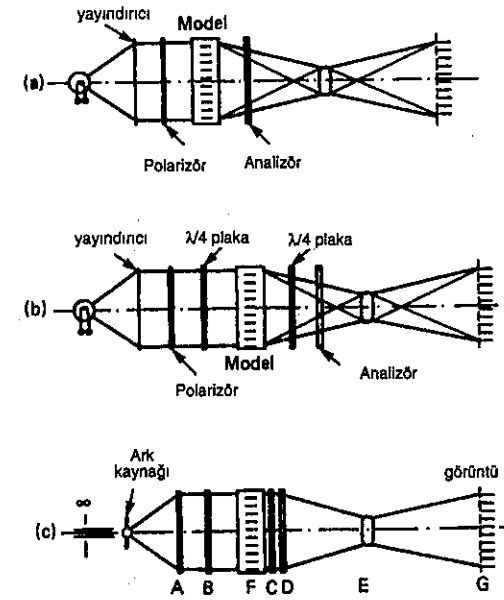
Şekil 5.26 Schlieren görüntülemesi.

Ültrasonun olmaması halinde, bütün ışık, ultrason'un saptırdığı E. tarafından yakalanmaktadır. Ultrason tarafından kırılan ve dolayısıyla E'nin dışından geçen ışık karanlık alanda bir görüntü oluşturmaktadır.

Sistemin etkili çalışması için azami dikkat gerekmektedir. Mercekler veya aynalar, sistemde odaklama cihazları olarak kullanılabilirler; aynalar kromatik dağılma hatasından arınmış olup, geniş diyaframlar (yada açıklıklar) için bile üretilebilirler. Problemler, donanımda yada eksen harici hatalarla birlikte ortaya çıkabilir. Mercek sistemleri, bu problemleri önleyebilir, fakat geniş diyaframlar için pahalı olabilirler. Fotoelastik görüntülemenin temel prensipleri (Şekil 5. 27), fotoelastik gerilme analizi için kullanılanın aynısıdır (Fotoelastik Gerilme Analizi Cilt 1'e bakınız).

Görüntüleme, ultrasonun sürekli olarak kullanıldığı durumlarda iyi netice vermektedir. Eğer darbeli bir sistem kullanılırsa, o zaman, ultrasonu kesen ışık demetinin yönlendirilmesi (Collimation) ve darbeli bir ışık kaynağı gerekmektedir.

Fotoelastik sistemin temel avantajı yoğun oluşu ve Schlieren sistemine zıt biçimde koruyucu kaplamadan yoksun olmasıdır. Fotoelastik sistemler aynı zamanda ucuzdurlar; ancak, Schlieren sisteminin en önemli avantajı, katılarda olduğu kadar, sıvılarda da görüntüleme yapabilmesidir. Fotoelastik tekniklerin, boylamasına olan dalgalara hassaslığı kayma dalgalarına olanının yarısı kadardır.



Şekil 5.27 Fotoelastik görüntüleme metodlarının diyagramları

- a) Temel anizotropik sistem; b) İzotropik cevap için dairesel polarize sistem; c) Fresnel merceklerini kullanarak pratik geniş-diyafram sistemi.

Schlieren sistemleriyle yapılan ölçümler, ultrasonik görüntüleme sistemlerinin hassaslığının, özellikle ışın demetinin kötü doğrultulmasından etkilendiğini göstermiştir. Örneğin, su içerisinde demetin yamukluğu, katı içerisindeki kırınım tarafından büyütülmektedir. Dolayısıyla dönüştürücülerin ince ayar yapılabilen kelepçelerle iyice sabitleştirildiğinden emin olmak gerekmektedir. Ultrasonik dalgaların görüntülenmesine diğer bir alternatif yaklaşım, ultrasonik radyasyondan, bir optik görüntü meydana getirmektir. Bu sahada pekçok sistem vardır ve tekrar edelim, çok az bir kısmına burada değinilecektir.

Çeşitli tiplerdeki ultrasonik kameralar, pek çok senelerden beri mevcuttur. Genelde uygulamaları, aşırı fiyatlarından ve tasarımıdan kaynaklanan ileri sürülen koşullardan dolayı, laboratuvar kullanımlarıyla sınırlıdır. Pekçok başarılı kameralar, elektron-demet saçılması sağlamak için, boşaltılmış tübün son noktasını teşkil eden kuvarz plâkalar kullanılmaktadırlar ve tüplerin boyutları, atmosfer basıncına dayanımlarıyla sınırlıdır. Bu durum kısmen de olsa kalın plâkalar kullanarak ve hassaslıkta azalma olsa da harmonik kullanmak suretiyle giderilebilir. Ultrasonik görüntülemeye yeri bir yaklaşım renkli resimler üretebilen sıvı kristallerin bulunmasıdır. Bütün bu sistemler, su içersine batırılmak durumunda olup kritik açı radyasyonunun sadece küçük bir açı ile geldiği ve alındığı açıdır.

Akustik holografi, artan bir şekilde, ultrasonik akma belirlenmesi ve tanımlanması sahasına girmektedir. Bir hologram, ultrasonik radyasyonla meydana getirilmektedir ve herhangi bir yapı hatasının optik görüntüsünü sağlamak üzere kullanılmaktadır. Böyle bir sistem teorik olarak karmaşıktır ve her holografik sistemde olduğu gibi, kararlılık (stability) konusunda pratik problemler içermektedir; fakat kullanımı hakkında artan sayıda örnekler vardır (Örneğin, tıbbi ve sismik analizler). Pasakomy, gerçek-zamanlı holografik sistemlerin, basınç odalarındaki kaynak dikişlerini incelemek için kullanılabileceğini göstermiştir. Taramalı holograf sistemleriyle akustik holografi, taranmış çift V-çentik kaynaklarını ölçmek için kullanılmaktadır. Reaktör basınç kazanları da aynı teknikle kontrol edilmekte olup, akma belirlenmesi hata limitleri içinde kalmaktadır.

5.4.7. Otomatik Ultrason Testi

Yarı otomatik ve otomatik test sistemlerini sağlamak üzere mikrobilgisayar teknolojisi kullanımı artmıştır ve pekçok boru test cihazları mevcut olup, mikroişlemciler tarafından kontrol edilmektedir. Tipik bir sistemin, hata sinyallerini kaydetmek üzere programlanmış bir mikroişlemcisi vardır. Hata sinyalleri çatlakları simgelemektedir. Kurma ve montaja bağlı olarak, cihaz bu çatlakları işaretleyecek, kaydedecek ve ana bilgisayara bir link sistemiyle ak-

taracaktır. Bileşen parçaların hat üzerinde kontrolü "British Steel" ve SSNDT çalışanları tarafından daha ileri düzeyde geliştirilmiştir. Otomatik kontrolün gelişmesine paralel olarak, akma belirlenmesinin otomatik hale gelmesi için, bilgi kullanma (data-handling) sistemleri bulunmuştur. Analiz yapılacak bilgi hacmi geniş olduğundan, bilgisayar kullanımı esas olmaktadır. Bu gelişmelere bağlı olan bir tehlike, aşırı-kontrol (Over inspection). Toplanmış bilgilerin sayısının, belirlenmesi için yeterli olandan daha fazla olmaması gerekmektedir.

5.4.8. Akustik Yayınım

Akustik yayılım, bir katı malzeme kırılma ya da şekil değişimine uğradığı zaman enerji açığa çıkması olayıdır. Tahribatsız muayenede, akustik yayılımın iki özelliği önem taşımaktadır, bunlar: çatlak oluşumunun uzaktan algılanmasına veya hareketinin olduğu andan itibaren sürekli olarak kontrol edebilme olanağı sağlaması şeklinde özetlenebilir. Bir bileşen, gerilme altında kaldığı zaman, açığa çıkan enerji iki tip akustik spektrum vermektedir: sürekli veya patlamalı. Patlamalı tipteki spektrum çoğunlukla, büyüyen ve ilerleyen çatlağın ilerleyen ucu ile bağlantılıdır. Patlama spektrumunun analizi malzeme süreksizliklerini belirlemek için gerçekleştirilir. Sürekli spektrum, genellikle kırılma mekanizmalarından ziyade, akma mekanizması ile ilişkilidir.

Akustik enerjiyi açığa çıkartan tipik mekanizmalar:

- 1- Çatlak büyümesi,
- 2- Süreksizliklerin ilerleyen ucundaki dislokasyon yığılması,
- 3- Süreksiz yüzey sürtünmeleridir.

Akustik spektrum, bir test parçası ya da bileşeni, gerilmeye uğrayınca meydana gelmektedir. Başlangıç gerilmesi, yüksek bölgesel gerilme bölgelerindeki küçük akmaları da kapsayacak şekilde, bütün süreksizliklerin akustik yayınmalarını üretecektir.

Bir yapıya en geniş kapsamlı yaklaşım, tek bir gerilme uygulanmasında yapılmaktadır; ancak çevrimsel gerilme, işlem esnasındaki gerilmeden fazlasını kabul etmeyen yapı elemanları için kullanılabilir. Sürekli gerilme altında kalmış geniş yapı taşlarında, kısa bir gerilme gevşemesi uygulaması, akustik aktivitenin kısmen geri kazanılmasına imkân sağlayacaktır.

Akustik yayılım kontrol sistemlerinin 3 ana fonksiyonu vardır:

- 1- Sinyal algılaması
- 2- Sinyal hazırlaması
- 3- İşleme girmiş sinyallerin analizi

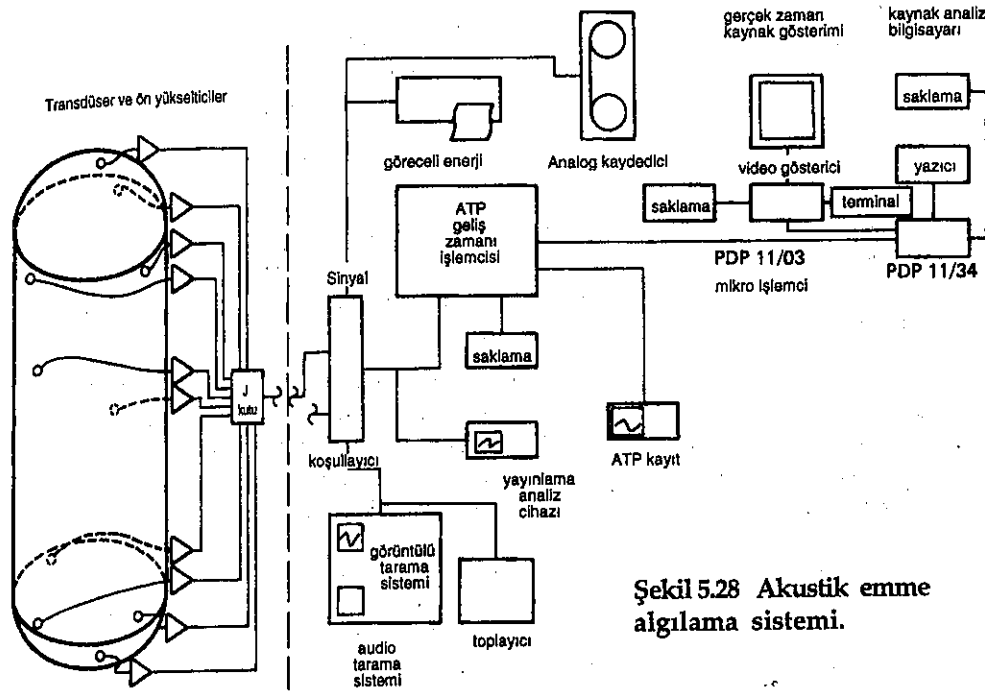
Çeliklerde akustik yayma sinyalinin çok kısa bir darbe olduğu bilinmektedir. Diğer çalışmalar göstermiştir ki, tek bir mod hassas olan algılama sistemi daha iyi sinyal verecektir. Algılayıcı çıkışları test altındaki cismin geometrik özelliğine bağlı olarak, biraz düşünmeyi gerektirmektedir. Tipik algılayıcı malzemeleri PZT-5A, (Rayleigh dalgalarına ve kayma dalgalarına hassastır) ve geniş bir sıcaklık aralığında Lityum Niyobattır. Sinyal hazırlama (Signal conditioning) esas olarak algılayıcı çıkışını alır ve analiz sisteminin işleme koyabileceği bir sinyal üretir. Tipik olarak bir sinyal hazırlama sistemi alçak gürültülü önyükseltici ve filtre yükseltici elemanlarını kapsamaktadır.

Akustik yayma spektrumunun analizi, tekrarlanmayan yayınları ortadan kaldırma ve istatistiksel olarak önem arzeden hâkim sinyalleri işleme sokma kabiliyetine bağlıdır. Tipik bir sistem, Şekil 5. 28 'de gösterilmektedir.

Temel işlem fonksiyonları :

- 1- Gerçek - zaman gösterimi
- 2- Çıkış kaynağı analiz bilgisayarıdır.

Gerçek zaman görüntülemesi (real time display), işlemciye (operatöre), önemli salınımlar analiz sistemi tarafından işlenirken, bütün emisyonların bir göstergesi olmaktadır.



Şekil 5.28 Akustik emme algılama sistemi.

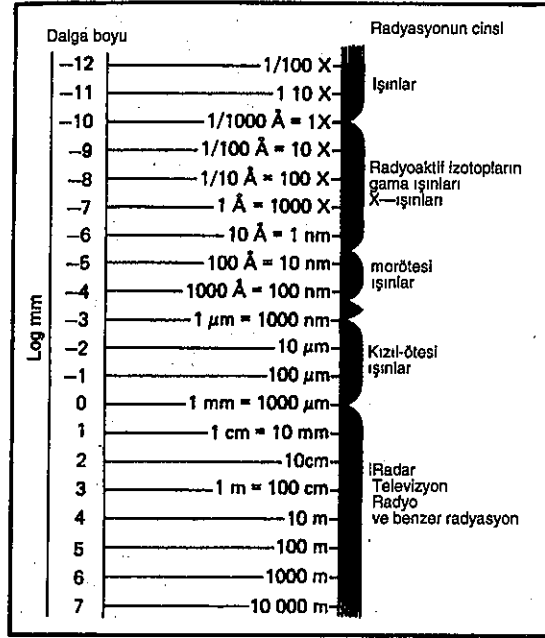
Önemli hataların, kalıcı olarak kaydedilip saklanması da mümkündür. Fabrikada, türbülanslı sıvı akışının ve çukurlanmanın (cavitation) olduğu hallerde, gürültü girişimini önlemek bakımından, akustik yayma algılaması en iyi şekilde düşük-megahertz sınırlarında gerçekleştirilmektedir. Akustik yayma algılaması başarılı bir biçimde, boru çatlaklarına, basınç kazanlarındaki bilinen akımların gözlenmesinde, kaynaklardaki akma oluşumlarına, gerilme korozyonu çatlaklarına ve yorulma çatlaklarına uygulanmaktadır.

5.5. Radyografi

Radyografi, uzun senelerden beri, dökümhanelerde gözleme (inspection) ve imalat çalışmalarında temel bir araç durumundadır. Buna ilâve olarak, geniş ölçüde basınç kazanlarında, boru hatlarında, açık sahil sondaj platformlarında ve diğer pekçok endüstri dallarında, işlem esnasında yada tamamlanmış kaynaklı bileşenlerin bütünlüğünü kontrol etmek için kullanılmaktadır. Bu teknik, aynı zamanda uçak sanayisinde de uygulama alanı bulmaktadır. Metod, X-ışınları, gama ışınları (ve nötron kaynakları) gibi kısa dalgalı yüksek enerjili elektromanyetik radyasyonun katı malzemelere girme özelliğine dayanmaktadır. Radyasyon kaynağından uzak mesafedeki bir yere yerleştirilmiş örneğin bir yüzüne, kayıt edebilecek bir cisim koyarak ve uygun ayarlamalar yapılarak, yüzeyin gölge-resmi yada iki boyutlu görüntüsü ve örneğin iç yapısı elde edilebilir. Dolayısıyla, radyografi iç akımların belirlenmesine uygun olan, seyrek bulunan tahribatsız muayene metodlarından bir tanesidir ve malzemelerin iç yapısının kalıcı olarak kaydedilmesi gibi bir avantaja da sahiptir. X-ışınları ve gama ışınları elektromanyetik spektrumun bir parçasıdır (Şekil 5. 29). Bu grubun elemanları, hızın frekans ile dalga boyunun çarpımına eşit olması bağıntısı ile birbirlerine bağlıdır ve 3×10^8 m/s ortak hızı sahiptirler. Dalgaboyu kısalıdıkça, malzemeye giriş miktarı artmaktadır. Bunlarla ilgili olan cihaz 3. bölümde tartışılmıştır.

5.5.1. Gama-Işınları

Endüstriyel radyografide kullanılan gama-ışını kaynakları suni olarak üretilmiş radyo izotoplardır. Birçok radyoaktif izotop olduğu halde, sadece bazıları radyografi için uygundur. Çoğunlukla kullanılan izotopların bazı özellikleri tablo 5.1'de verilmektedir.

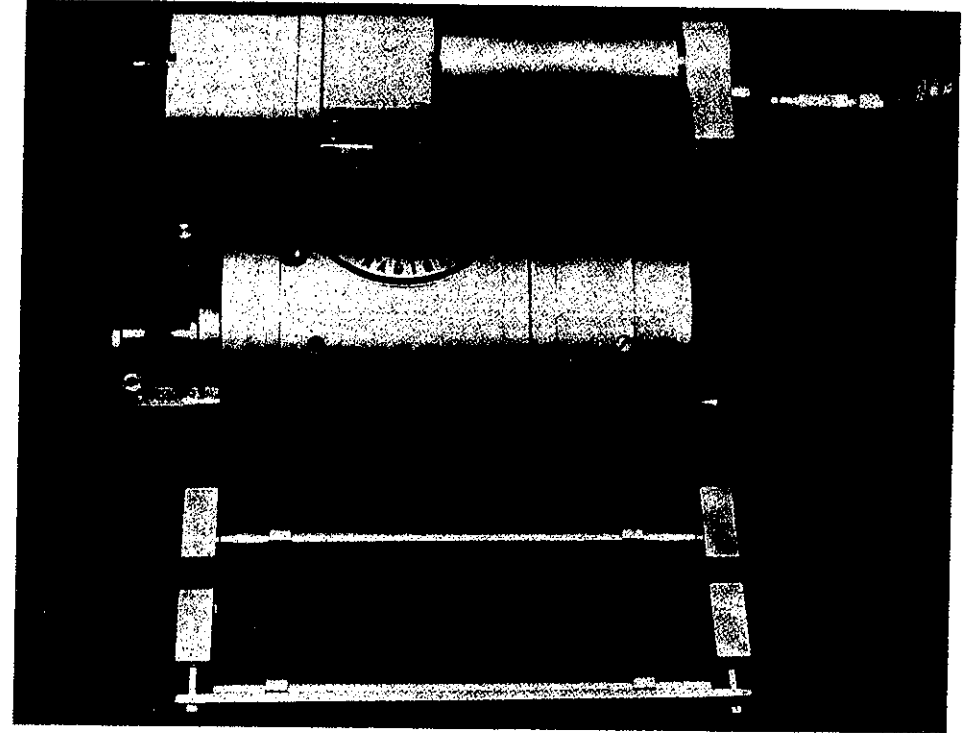


Şekil 5.29 Elektromanyetik spektrum.

Tablo 5.1 Gama radyografisinde sık kullanılan izotoplar

Kaynak	Etkin eşdeğer enerji (MeV)	Yarılanma ömrü	Özel emisyon (R/h/Ci ; 1 m de)	Spesifik aktivite (Ci/g)	Çelik Kalınlığı için kullanılır. (mm. olarak)
Tulyum ¹⁷⁰	0.08	117 gün	0	0.0025	9
Iridyum ¹⁹²	0.4	75 gün	0.48	25	75
Sezyum ¹³⁷	0.6	30 yıl	0.35	25	80
Cobalt ⁶⁰	1.1 ; 1.3	5.3 yıl	1.3	120	140

Bu kaynaklar sürekli olarak radyasyonu yayınladıklarından kurşun yada volfram gibi ağır metallerden yapılan, koruyucu taşıyıcılarda saklanmaları gerekmektedir. Kabin kapağı açıldığı zaman, operatörün ışınlardan zarar görmemesi için, radyoaktif malzemenin, uzaktan kumanda ile yönetilmesi lâzımdır. Böyle bir gama-ışın kaynağı kabı Şekil 5.30 'da verilmektedir.

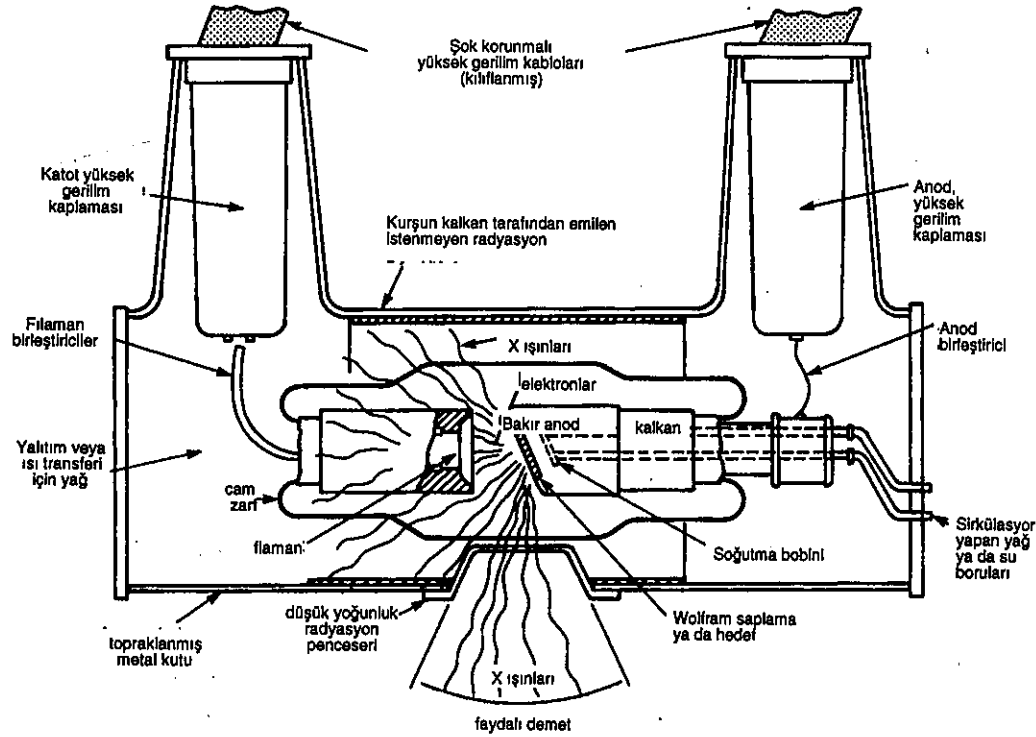


Şekil 5.30 Gama - ışımları kaynağı kabı.

Eyer (saddle) çalışma parçasına takılmıştır. Operatör kaynak kabını eyerin içersine kaydırmakta ve çekilmektedir. Kısa bir gecikmeden sonra, kaynak pozlandığı duruma getirilir. Pozlama zamanı dolduğu zaman, kaynak otomatik olarak kalkarı içersine girmektedir (Pantatron Radyasyon Müh. Ltd.).

5.5.2. X- Işınları

X-ışınları, yüksek enerjili (ya da hızlı) elektronların katı bir cisme çarpıp durmaları esnasında meydana gelmektedir. Radyografide, X-ışınları vakum altında, kalın-duvarlı cam tüp içerisinde üretilmektedir. Tipik bir tüp yapısı Şekil 5.31 'de gösterilmektedir. Kullanım esnasında, 100 kV dan 2 MV a kadar olan bir d.c. gerilimi, ısıtılmış, spiral sarımlı bir filament (katod) ile pozitif yüklü, bakır anod arasına uygulanmaktadır. Anot bunun içersine yerleştirilmiş olup, 2-4 mm² lik etkin alana sahip bir tungsten hedef taşımaktadır; ve bu hedef üzerine elektronlar yöneltilmektedirler.



Şekil 5.31 Tek kesitli, sıcak - katodlu, yüksek vakumlu, yağ soğutmalı, radyografik X-ışınları tübü.

Anod ve katod yaklaşık 50 mm lik açıklıkla yerleştirilmişlerdir ve tüp akımı, anodun aşırı ısınmasını önlemek üzere (5-10 mA) değerinde düşük akımlarda tutulmaktadır. Bir dizi çelik kalınlıkları için, tipik gerilimler Tablo 5.2'de verilmektedir.

Tablo 5.2 : Farklı X-ışınları enerjilerine tabi tutulan çeliklerin maksimum kalınlıkları

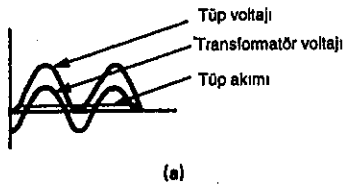
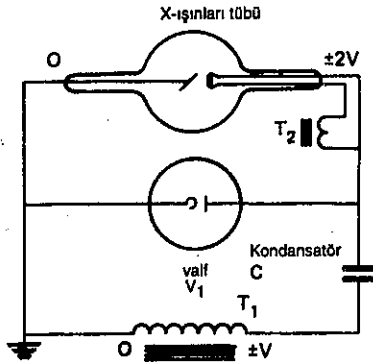
X-ışınları enerjisi (keV)	Yüksek hassasiyet teknik kalınlığı (mm)	Düşük hassasiyet teknik kalınlığı (mm)
100	10	25
150	15	50
200	25	75
250	40	90
400	75	110
1 000	125	160
2 000	200	250
5 000	300	350
30 000	300	380

X-ışınlarının üretilmesi için gereken yüksek voltaj, transformatörlerin, doğrultucuların ve sızgıların uygun bir bileşiminden oluşan basit bir devreden sağlanmaktadır. Daha geniş çapta kullanılan iki devrenin bir tanesi, darbeli bir çıkış üreten Villard devresi, diğeri ise yaklaşık sabit potansiyel çıkışı üretebilen Greinacher devresidir. Bu devreler Şekil 5.32 de, sonuç gerilimi ile beraber verilmektedirler. 240 V giriş zamanında, bir gerilim stabilizatörü arzu edilir. Pozlama (Akım ve zaman çarpımı), örnekten örneğe değişmektedir, fakat 5 m A lik tüp akımı ve 2-30 dakikalık pozlanma zamanları alışlagelmiş değerlerdir.

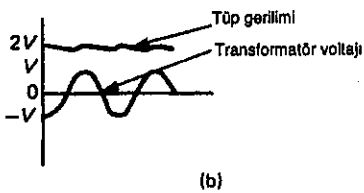
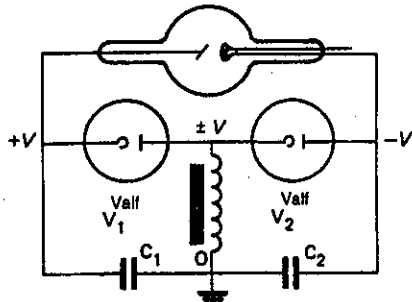
5.5.3. Hassasiyet ve IQI

Performans, film ve perdelerin (ekranların), gerilimin, pozlamanın ve film odak noktasının (hedef) doğru seçilmeleriyle optimize edilebilir. Tekniğin daha iyi olması, radyografin daha hassas olmasını sağlar. Hassasiyet, radyografıta belirlenebilen akma küçüklüğünün bir ölçüsüdür. Ne yazık ki, bu önemli özellik direk olarak ölçülememektedir, ve böylece radyografin göreceli kalitesine "resim gösterici" (IQI) ile ulaşılabilir. Birçok farklı IQI tasarımları

kullanılmaktadır, fakat hiçbirisi ideal değildir. Çok yoğun denemelerden sonra, İngiliz Standartları Enstitüsünün uyguladığı ve ISO (Enternasyonal Standartlar Organizasyonu) nun kabul ettiği iki tip vardır, bunlar: tel tipi ve basamak-oyuk tipli olanıdır. Kullanım esnasında, nerede mümkünse örneğin kaynak tarafıyla yakın temasta olacak şekilde yerleştirilmesi lâzımdır ve böyle bir pozisyonda, IQI, hangi ölçüde film kullanılırsa kullanılsın filmin kenarına yakın bir yerde ortaya çıkacaktır.

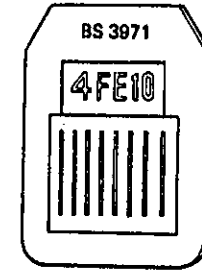


Şekil 5.32 Gerilim çiftleme devreleri.
a) Villard modeli;
b) Greinacher sabit-potansiyeli.



5.5.3.1. Tel tipli IQI

Bunlar 30 mm uzunluğunda ve çapında olan, uzun tellerden meydana gelmektedir (Tablo 5.3). Beş model mevcut olup, en popüler olanı yedi adet ardışık tel taşımaktadır. Teller birbirlerine paralel ve eşit uzaklıkta olacak şekilde yerleştirilmişlerdir ve X veya gama ışınları için düşük emici iki ince şeffaf plastik plâka arasına monte edilmişlerdir. Bu demektir ki, teller birbirleriyle ilişkili olacak şekilde tutturulduğu halde, IQI esnektir ve eğrilmiş örnekler için önem arz etmektedir. Tellerin, radyografisi alınan örnek ile aynı malzemeden yapılmış olması gerekmektedir. Çelik, bakır ve alüminyum için IQI lar piyasada bulunabilirler. Diğer malzemeler için, malzemeye uyan bir IQI bulabilmek mümkün olmayabilir. Bu durumda, aynı emici özelliklere sahip benzer malzemeler yerlerine konabilir. Aynı zamanda plastik plâkaya ilâve edilmiş harfler ve sayılar vardır; bunlar malzemenin tipini ve tellerin serilerini gösterirler (Şekil 5.33). Örneğin, 4 Fe 10, IQI nun demir ve çelik için uygun olduğunu ve 0.063 den 0.25 mm sınırları arasında tel çaplarını kapsadığını göstermektedir. Kaynak radyografisi için, IQI, kaynak üzerine merkezi olarak yerleştirilmiş tellerle beraber ve kaynak uzunluğu boyunca dik açı yapacak şekilde dizilmiş olarak konulmuştur.



Şekil 5.33 Tel - tipi IQI.

Radyografin yüzde hassasiyeti S, aşağıda verilen formülden hesaplanabilir:

$$S = \frac{\text{Radyografıta görülebilen en ince tel çapı} \times 100}{\text{Model kalınlığı (mm)}}$$

Dolayısıyla, teknik daha iyi olunca, daha fazla tel radyograf üzerinde görüntülenebilecektir. Şuna dikkat edilmelidir ki, S nin daha küçük değeri için, daha iyi kalitede radyograf elde edilir.

Tablo 5.3 Tel Çapları

Tel No.	Çap (mm)	Tel No.	Çap (mm)	Tel No.	Çap (mm)
1	0.032	8	0.160	15	0.80
2	0.010	9	0.200	16	1.00
3	0.050	10	0.250	17	1.25
4	0.063	11	0.320	18	1.00
5	0.080	12	0.400	19	2.00
6	0.100	13	0.500	20	2.50
7	0.125	14	0.63	21	3.20

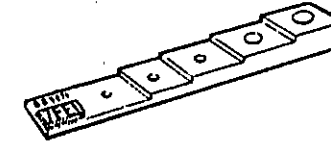
Tablo 5.4 IQI için çukur ve basamak boyutları

Basamak No.	Çap ve basamak kalınlığı (mm)	Basamak No.	Çap ve basamak kalınlığı (mm)
1	0.125	10	1.00
2	0.160	11	1.25
3	0.200	12	1.60
4	0.250	13	2.00
5	0.320	14	2.50
6	0.400	15	3.20
7	0.500	16	4.00
8	0.630	17	5.00
9	0.800	18	6.30

5.5.3.2. Basamak / çukur tipli IQI

Bunlar, herbiri bir veya iki delinmiş boşluğu içeren bir seri üniform kalınlıktaki metal plâkaları kapsamaktadır. Delik çapı, basamak kalınlığına eşittir. Basamak kenarları ve delik çapları Tablo 5.4 'de verilmektedir. 1 den 8 e kadar olan basamaklarda, her basamakta iki delik delinmiş olup, her delik basamak kenarından 3 mm içeride yerleştirilmiştir. Geride kalan 9 dan 18 e kadar olan basamaklar sadece basamağın ortasında kalan tek bir deliğe sahiptirler.

Kolaylık olması bakımından, IQI tek bir basamak kaması şeklinde imâl edilebilir (Şekil 5.34). Ekstra esneklik için, her plâka sırayla monte edilmiştir ancak iki plâstik veya lastik tampon arasında ayrı ayrı yerleştirilmişlerdir. 3 modül mevcut olup, her birisindeki basamak serileri Tablo 5.5'de verilmektedir.



Şekil 5.34 Basamak / çukur tip IQI.

Tablo 5.5 : Farklı IQI modellerindeki basamak ve çukurlar

Model	Basamak/Çukur boyutları
A	1-6 kapsayan
B	7-12 kapsayan
C	13-18 kapsayan

Bu modelde de bir seri harf ve sayılar IQI'nın uygun olduğu malzemeyi ve kalınlık sınırlarını belirlemektedir. Yüzde hassasiyet S aşağıda verilen formülden bulunabilir:

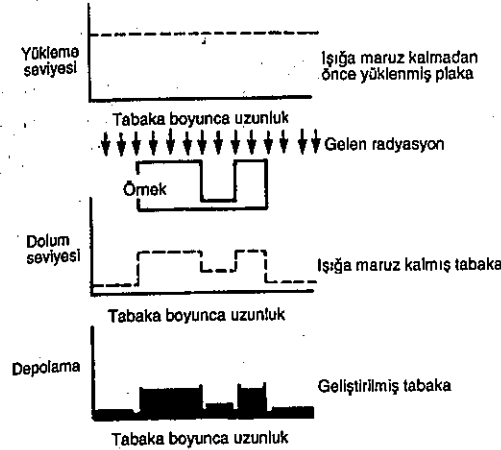
$$S = \frac{\text{Radyografıta görülebilen en küçük deliğin çapı} \times 100}{\text{Model kalınlığı (mm)}}$$

İki delikli daha ince basamaklarda, çapın hesaplamaya dahil edilebilmesi için, bütün deliklerin görünür olması önemlidir. Kullanımda, bir kaynak üzerine değil yakınına yerleştirilebilir.

5.5.4. Kserografi

Esasen, gümüşün yüksek fiyatından dolayı, fotoğraf filmlerinin kaydedici ortam şeklinde kullanımı için, denemeler yapılmıştır. Fluoroskopi böyle bir yöntem olup, hassasiyet eksikliğinden ve yoğun malzemelerdeki kalınlıklara karşı koyabilme kabiliyeti az olduğundan sınırlı uygulama sahasına sahiptir. Buna alternatif olarak geliştirilmiş bir teknik "Kserografi" olup, film radyografisi ile kıyaslanabilir hassasiyette, (100-250 kV) ortalama gerilim sınırlarında sonuçlar üretebilir. Bu işlemde, X-ışınları filminin yerini, bir yüzü 30 - 100 µm kalınlığında selenyum tabakasıyla kaplanmış bir alüminyum tabakası almıştır. Selenyum tabakasında, üniform pozitif elektrik yükü indüklenmektedir. Selenyumun yüksek direnci olmasından dolayı, plâka ışığa, iyonlayıcı radyasyona veya çok nemli havaya maruz bırakılmadıkça

yük uzun zaman periyotları için muhafaza edilebilir. X ışınlarına ya da gama ışınlarına tutulma durumunda, yükün selenyumdan topraklanması yapılmış alüminyum arkalama plâkasına bir kaçak yapması durumu söz konusu olur ve bu kaçak her noktaya düşen radyasyon dozu ile orantılıdır. Görüntü oluşturma işlemi Şekil 5.35 'de gösterilmektedir. Bu gizli görüntü, pozlanmış plâka üzerine çok ince beyaz bir toz üfleme suretiyle geliştirilip ortaya çıkarılabilir.



Şekil 5.35 Kserografi işleminin şematik gösterimi.

Sürtünme yoluyla toz yüklenir ve negatif olarak yüklenen parçacıklar çekilirler ve pozitif olarak yüklenmiş selenyuma yapışırlar; çekilen miktar gizli selenyum görüntüsü üzerinde, her noktadaki yük miktarına orantılı olmaktadır. Resim, şimdi görülebilecek mertebede hazırdır. Bu işlem, en iyi düşük açı ışıklandırma ile gerçekleştirilir ve görüntü titreşime dayanıklı olacaktır, ancak üzerine dokunulmaması lâzımdır. İşlem, çok yüksek mertebede, görüntü keskinliğine sahiptir; çünkü selenyum büyük ölçüde tanelerden arınmıştır ve görüntü keskinliği, tozun tane boyutundan etkilenmemektedir. Fark edilir bir dezavantaj görüntü içindeki düşük kontrast olmaktadır, fakat resim detaylarında kayda değer bir gelişme görülmektedir. Bu etki pek çok çeşit kaynak ve döküm akma hatalarının yüksek kontrastını sağlamak suretiyle ortaya çıkmasını sağlar. Sonuç olarak, hassasiyet, film ile elde edilen hassasiyete benzerdir.

5.5.5. Floroskopik ve Görüntü Sıklaştırma (Şiddetlendirme) Metodları

Floroskopide, kaynak hazırlaması, örnek ve kaydedici ortam radyogra-

fiye benzerdir. Ancak, film yerine özel olarak imâl edilmiş üzerine X-ışınları düştüğü zaman ışık yayınlayan şeffaf bir perde kullanılmaktadır. Bu pozitif bir görüntü elde edilmesini sağlamaktadır; çünkü büyük miktarlarda radyasyon, numunenin ince kesimlerinden geçerken, daha çok parlaklığa neden olmaktadır. Floroskopinin, radyografiye göre olan avantajları şunlardır:

- 1) Pahalı filme olan ihtiyaç ortadan kalkmaktadır
- 2) Floresan ekran örnek hareket ederken görülebilir, bu durum:
 - a - Kolay resim değerlendirmesi
 - b - Hızlı çıktı, alınmasına neden olur.

Ne yazık ki, floroskopi de mümkün olan hassasiyet, film radyografisinde elde edilenden daha azdır. % 5'den daha iyi bir hassasiyet üretmek zor olup, kritik çalışmalarda % 2 veya daha iyisi aranmaktadır. Dolayısıyla, bu metod tıp sahasında daha fazla kullanıldığı halde, endüstrideki esas kullanım sahası, ince detayların çözünürlüğünün aranmadığı yerleri kapsar.

Hassasiyet eksikliğinin üç nedeni vardır:

1) Floroskopik resimler (ya da görüntüler) genellikle çok sönük ve bulanıktır. İnsan gözünün özelliği öyledir ki, tamamen siyah kontrast uygulanırsa bile, düşük parlaklık seviyelerinde, yüksek-seviyelerde görebileceği ince detayları veya küçük kontrastları algılayamaz.

2) Görüntü parlaklığını arttırmak üzere, floresan ekranlar çoğunlukla çinko - sülfür, kadmiyum - sülfür karışımından imâl edilmiş olup, bu durum artan parlaklığa rağmen büyük hücreli yapıya ve dolayısıyla daha bulanık görüntüye neden olur.

3) Floroskopik ekranda meydana gelen resim, bir radyograf filmindeki resimden çok daha az kontrasta sahiptir.

5.5.5.1. Resim yoğunlaştırma sistemleri

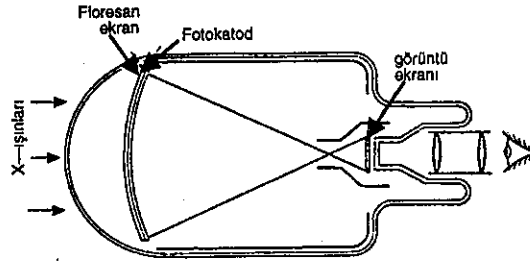
Floroskopideki başlıca problem olan düşük ekran parlaklığı temel olarak;

- 1) Düşük verim - sadece gelen X-ışınlarının bir kısmı ışığa dönüşmüştür.
- 2) Ekranda meydana gelen ışık bütün yönlerde saçılmaktadır, dolayısıyla üretilen ışığın sadece küçük bir kısmı gözleyiciye ulaşabilmektedir.

Bu sınırlamaları aşabilmek için bir dizi resim - şiddetlendirici ve resim-kuvvetlendirme sistemleri geliştirilmiştir. Elektron yoğunlaştırma tübü en yaygın olanıdır. Bu tip cihazlar Philips ve Westinghouse tarafından

çoğunlukla pazarlanmaktadır. Bu sistemde kullanım, fotoelektrik davranış üzerine oturtulmuştur, i.e. ışık sayesinde uyarılabilen bazı malzemelerin elektron ışıması özelliği.

Philips sisteminin ana hatları Şekil 5.36 'da gösterilmektedir. Bu sistem, temel olarak kalın cidarlı cam bir tüpten meydana gelmektedir. Bu cam tübün içten yüzeyi üzerindeki iletken tabaka, elektron odaklama mekanizmasının bir parçasını meydana getirmektedir.

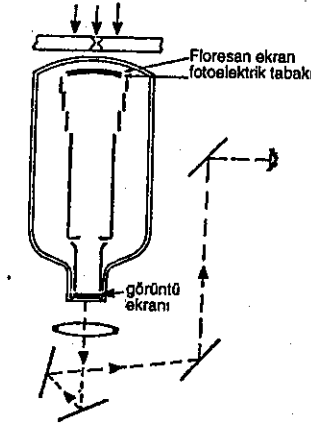


Şekil 5.36 5 inçlik Philips resim-yoğunlaştırıcı tübünün diyagramı.

Tübün bir ucunda, bir floresan ekranı kapsayan iki bileşenli bir ekran vardır ve bununla yakın temasta olan eğrisel, ince alüminyum levhası üzerinde taşınan bir fotoelektriksel tabaka bulunmaktadır. Tübün diğer ucunda ise, resim ekranı ve optik sistem yer alır. Cihaz şu şekilde çalışmaktadır: X-ışınları birincil floresan ekran üzerine düştükleri zaman, ışığa dönüştürülmektedirler. Bu ışık fotoelektriksel tabakayı uyarmakta ve elektron saçılmasına sebep olmaktadır: böylece ışık görüntüsü ya da resmi, elektron görüntüsü ya da resmine dönüşmektedir. Elektronlar, tüp boyunca 20-30kV luk bir d.c. potansiyele ile hızlandırılır ve görüntü ekranının küresel eğriselliğinden kaynaklanmaktadır. Ancak ince odaklama, cam zarfın iç yüzündeki iletken tabakasına uygulanan küçük pozitif potansiyel değişimleriyle sağlanmaktadır. Şekil 5.36 dan görüldüğü gibi, görüntü ekranında meydana gelen gelen elektron görüntüsü çok daha küçüktür ve dolayısıyla fotokatod da oluşan görüntüden çok daha parlaktır. Parlaklıkta daha fazla bir artış sağlanmaktadır, çünkü hızlandırıcı elektrik alanının elektronlara aktardığı enerji, çarpma esnasında açığa çıkar. Parlak olmasına rağmen, ekranda beliren son görüntü küçüktür ve boyutları optik büyüteçle arttırılır. Philips cihazında, sıra hatlı bir sistem, ya tek okülerli veya çift okülerli görüntü sağlamaktadır. Şekil 5.37 den görüldüğü gibi, Westinghouse cihazı Philips cihazına benzemektedir, fakat arada iki önemli fark vardır:

- 1) Westinghouse, yardımcı bir elektron merceğini takibeden son ana elektron merceğine sahiptir ve ince odaklama, zayıf mercekteki potansiyeli değiştirmek suretiyle sağlanmaktadır.
- 2) Westinghouse, son görüntüyü sağlamak için bir cam ve mercek sistemi kullanmaktadır.

Sistemin avantajları, görme işleminin ana X-ışınları hattı üzerinde kalmadan gerçekleşmesi ve resmin, aynı anda iki kişi tarafından izlenebilme imkânı olarak sıralanabilir.



Şekil 5.37 Westinghouse görüntü - yoğunlaştırıcı tüp ve optik sistemlerinin bir diyagramı.

5.6. Su Altı Tahribatsız Muayene

Açık sahillerde petrol ve doğalgaz arama ve çıkartma işlemleri, deniz yüzeyinde büyük işletme sahaları gerektirmekte olup, su altı ve su üstü tahribatsız muayene işlemlerinin uygulanmasını gerektirirler. Yüksek sermaye ve işletme maliyetlerinden ve kamunun yoğun dikkatinden dolayı, bunlar bütün bir yıl boyunca işletilir ve her beş senede bir idari otoriteler ve sigorta şirketleri tarafından kontrol edilip yeniden belgelenirler.

Senelik kontrol programının, sınırlı imkânlar dikkate alınarak plânlanması gerekir ve normal olarak

- 1) Bir önceki tamir sahalarını;
- 2) Yüksek gerilme sahalarını;
- 3) Beş senelik dönem olağan kontrolleri kapsamı gerekir.

Birikmiş kontrol kayıtlarının büyük önemi vardır. Kontrol işleminin:

- 1) Çalışmalar sırasında, çeşitli işlemlerin sebep olduğu kazalar ve deniz-yatağı koşullarındaki değişimler,
- 2) İskeleye hataları örten ve yapıya ekstra ağırlık kazandıran deniz canlılarının büyümesi,
- 3) Rüzgâr ve dalganın yolaştığı, tekrarlı yüklemeler sonunda ortaya çıkan yorulma çatlak ve kırılmalarını dikkate alması gerekir.

Başlıca ilgi alanı, suyun sıçrama, ıslatma sahası ve hemen altındaki bölgelerdir. Bu bölgelerde, gelen ışık miktarları, oksijen seviyeleri, tekrarlı ıslanma ve kuruma işlemleri ve sıcaklık farkları çok yüksek korozyon hızlarına neden olmaktadır. Çevre hem kullanana hem de tesise karşı son derece yıpratıcı olup, emniyet tedbirleri hem hassas çalışmayı, hem de durum ve olayları yüksek anlama ve değerlendirme kabiliyeti gerektirmektedir.

5.6.1. Dalarak Yapılan Çalışmalar ve Haberleşme

Genel olarak, tecrübeli balıkadamlar, tahribatsız muayene teknikleri için yetiştirilmiş olup, balıkadamlık için yetiştirilmiş tecrübeli muayene personeline göre sayıca daha fazladırlar. Çalışma yorucu olup, platformdaki kontrol mühendisiyle dalgıç arasındaki iletişimin zayıflığından dolayı, kontrol işlemi karmaşıklık arz etmektedir. Dolayısıyla, bu sınırlamalar, ya çok sağlam iletişim malzemelerin kullanılmasını ve balıkadam tarafından kolaylıkla algılanabilecek basit işaretler verebilmesini sağlaması ya da balıkadamın, değerlendirme için yüzeye karmaşık veri yollaması ve kendi rolünü sadece algılayıcı-kafası kullanma görevi şeklinde belirlemesini gerektirmektedir. Cihazın, balıkadam ile yüzey arasında yüksek derecede iletişimi olması, optimum performans için çok yoğun hazırlanmayı gerektirmektedir. Balıkadam ile iletişim, konuşma esaslıdır. Yüzeyde, jeneratörlerin, kompresörlerin v.s. çalıştığı ve balıkadamın mikrofonunun solunum cihazları ile girişim yaptığı yerde, ortamın gürültü seviyeleri çok yüksektir. Mikrofon sesi, balıkadamın şapkası içinde almaktadır. Daha fazla netlik, sesin karakteristik rezonansını bozan hava basıncının etkisi ile bozulmaktadır, bu durum, etkin olarak frekans bandını arttırmakta ve böylece, frekans öteleyiciler eşliğinde bile, anlaşılabilir bilgi kaybolmaktadır. Dolayısıyla, balıkadamla olan her haberleşme, tek heceli ve tekrarlı olmaktadır.

Başlangıç taramaları ve yüksek tehlike ortamlarında, uzaktan kumandalı araçlarda yapılan algılayıcı düzenlemeleri gittikçe artmaktadır.

Güçlü teknikler için ek şartlar, cihazların 24 saatlik çalışma ve sürekli personel değişimi sırasında ortaya konmaktadır. Cihazlar ortak mal olmak-

tadır ve bakımını, aynı zamanda kalibrasyonunu yapabilecek tek bir kişi tarafından çalıştırılmamaktadır. Gözlemlenenden hemen önceki yüzey hazırlama işlemi, artıkları, büyümüş deniz ürünlerini, korozyon ürünlerini ve gerekirse şayet, yüzey korunmasını ortadan kaldırmak için gerçekleştirilmektedir. Hazırlama genel olarak, kaynakların her yanında 15 cm mesafede ve çıplak metalin altın-da yapılmaktadır. Bu işlem, elle kazıma, su püskürtme, pnömatik / hidrolik iğneli tabaka-kaldırıcı tabancalar veya hidrolik fırçalayıcılar ile gerçekleştirilmektedir. Şirketlerin istek ve şartları yüzey kırıcı çatlakların durumuna bağlı olarak, yüzey temizleme metodlarının etkilerine göre değişebilir.

5.6.2. Göz ile Muayene

Başlangıç ve en önemli muayene gözle yapılanıdır; çünkü yapının, deniz canlılarının birikmesine bağlı olarak bütünsel ve genel bir değerlendirilmesini sağlamaktadır. En belirgin çatlaklar algılanacağı zaman, ek tahribatsız-muayene yapılacak bölgelerin de üzerinde durulacaktır. Muayene, kapalı devre televizyon sistemiyle (CCTV) ve kapalı fotoğraf teknikleriyle de desteklenebilir. CCTV normal olarak, 4 inç den sonsuza kadar odaklama yapabilen düşük-ışık seviyelerindeki silikon diyet kameralarını kullanmaktadır. Gözle muayeneye destek sağlamak amacıyla, göstergeler, yüz işaretleri ve çukur ölçerleri bilgi aktarımı için kullanılabilirler. Çok hasarın meydana geldiği bir bölge için, su yüzünde kontrol mühendisinin değerlendirme yapabilmesine olanak sağlayan bir model inşa edilebilir ve bu şekilde mühendis, bir onarım tekniği tasarlayabilir.

5.6.3. Fotoğraf Tekniği

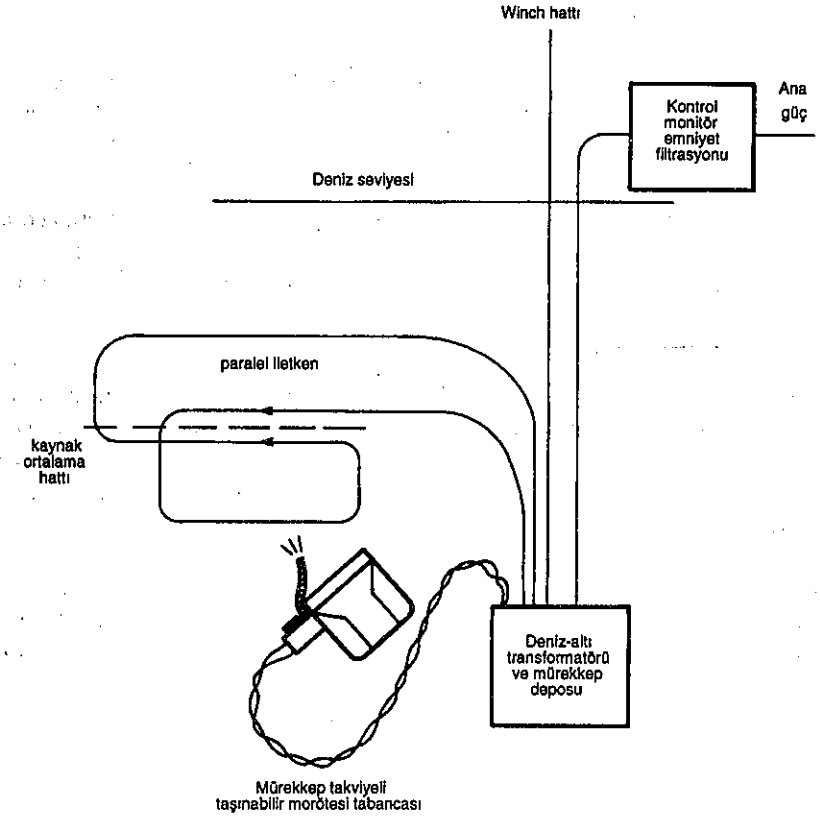
Işık, denizde saçılma, seçici emilme ve denizdeki süspansiyon halindeki artıklar tarafından zayıflatılır ve beyaz ışığın renk dengesi yeşile doğru kaçır. Düzeltme filtreleri, sönmüyemeyi arttırdıklarından normal koşullarda kullanılmazlar. Doğru denge ve ışıklandırma, flaş kullanmak suretiyle sağlanır. Fotoğrafçılık spektroskopik kayıt işlemi ile birlikte 35 ya da 70 mm lik formatlarda renkli film kullanarak gerçekleştirilir; daha sonraki analiz ve modelleme, onarım tekniklerine eşlik edecektir. Kameralar, su geçirmez olup, kara kameralarına esasen benzer cihazlardır. Su altı kullanımı için özel olarak tasarlandıkları zaman, filmin seyrek bir şekilde takılması ve güç paketleri, kendinden flaş, tek elle işlem veya uzaktan ateşleme ya da otomatik kontrol aranan özelliklerdir. CCTV yüzeye anında ve kaydedilebilir bilgi sağlamaktadır. Dezavantajları arasında, siyah beyaz fotoğrafta, renkliye göre daha az kontrast ve düşük çözünürlük bulunması sayılabilir.

5.6.4. Manyetik Parçacık İzlemesi (MPI)

MPI, su-altı tahribatsız muayene için en yaygın şekilde kabul edilen bir tekniktir. Sağlam bir sistem olarak, geniş operatör serbestliği ve balıkadamın hem yüzeyde ve denizaltında başarılı olarak kullanabileceği bu sistem, zor deniz koşulları için çok uygundur.

Geniş cihazların ulaşamadığı yerlerde, standart çekme kuvvetleri olan kalıcı mıknatıslar vasıtasıyla manyetikleme yapılır; ancak teknik düz malzemeler dışında uygulanabilir ve 6-inç aralıklarla işlemin tekrarlanması zorunludur.

Hava-su sınırına yakın yerlerde çalışılırken, manyetikleme, deniz üstü transformatörlerinden gelen esnek bobinlerden türetilmektedir ve çatlaklardaki kaçak akı, deniz üstünden beslenen floresan mürekkeple ortaya çıkar. A.C. (Alternatif Akım), yüzey çatlakları belirlemesini kolaylaştırmak için kullanılmaktadır. Manyetikleme akımını taşıyan esnek kablolar, bir çubuk etrafına sarılmışlardır ya da kaynak boyunca, paralel iletken taşıyıcı şeklinde uzatılmışlardır. Düşük seviyelerde, güç kayıplarını enaza indirmek için, ana enerji, denizaltı transformatörüne aktarılmaktadır. Transformatör, konsantre mürekkebi 1/10 oranında deniz suyu ile seyrelten bir mürekkep tankını taşımaktadır. Mürekkep aydınlatması, içinde yedek mürekkep bulunduran, elle taşınabilen mor-ötesi lambalar ile gerçekleştirilmektedir (Şekil 5.38). Derinlerde, düşük ortam ışığı, floresan kontrolü sağlar; sığ sularda ise, gece boyunca kontrol yapmak tercih edilmektedir. Sinyallerin hem yazı, hemde fotoğrafla kayıt edilmesi alışlagelmiş bir yöntem olup, herhangi bir CCTV kaydı kullanıma açıktır.



Şekil 5.38 Derin suda manyetik parçacık kontrolü.

5.6.5. Ultrason

Ültrasonik tahribatsız muayene, aşınma ve korozyonu algılamak için sadece basit kalınlık ölçümleriyle ilgilenmektedir. Özellikle imâl edilmiş problemler, arka-duvar ultiasonik yankılanmayı algırlar ve tekrar şarj edilebilen güç üniteleri ile birlikte tamamen elle taşınabilir özelliktedirler.

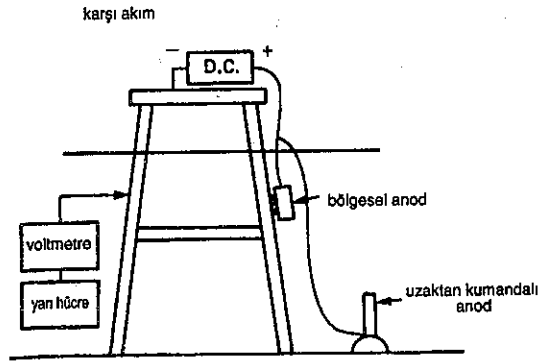
Üniteler, kendilerinden aktive edilebilirler ve yalnızca test malzemesi üzerine tutulunca çalışmaya başlamaktaadırlar; ünitelerin alternatif kalibrasyon yöntemleri mevcut olsa da, çelikler için kalibre edilmişlerdir. İdeal olarak, ünite için balıkadam kontrolüne gerek kalmaz ve 1 mm den 300 mm ye kadar çelik kalınlıklarını sayısal olarak okuyabilir. Bir kaynak bölgesi için detaylı bir

kontrol gerektiği zaman, ya su geçirmez bir tankta muhafaza edilen kontrol ünitesine bağlı geleneksel A-tarama seti kullanır, ya da balıkadam, tahribatsız muayene mühendisi idaresinde deniz-üstü-set problemleri kullanır.

Balıkadam, bir odio (audio) geri-beslemesi ile deniz üstünde yeralan bir sistemle desteklenir. Bu sistem, bir eşik geçitinin, hata sinyallerine açılması için tetikleme yapar. Balıkadamın el hareketleri, helmete monte edilmiş video tarafından denizüstü operatörünün gözetimini ve düzeltmesini sağlamak üzere kontrol edilecektir.

5.6.6. Korozyon Korunması

Denizsuyu elektrolitik akışkan olarak davrandığından, çelik yapıların korozyonu, ya eriyen çinko anodlar yerleştirmek veya elektrolitik reaksiyonu tersine çevirmek için, yapı üzerine sabit bir elektrik potansiyeli uygulamak suretiyle sağlanır. Karşı potansiyelin işlevini kontrol etmek veya denize batırılmış cismin korozyona olan davranışını incelemek amacıyla, yüzey gerilimi, gümüş / gümüş klorür hücresi referans elektrodu ile ölçülmektedir (Şekil 5.39). Bir referans hücresi, temas iğnesi ve güç besleyicisi ile beraber sayısal voltmetre taşıyan portatif potansiyel göstergeleri, deniz üstünden uzak-tan kumanda ile idare edilerek bir balıkadamın kontrolü tamamlamasına olanak tanır.



Şekil 5.39 Katodik koruma ölçülmesi.

5.6.7. Diğer Tahribatsız - Muayene Teknikleri

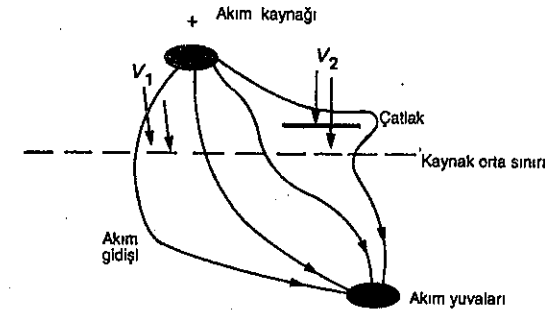
Daha henüz petrol endüstrisi içerisinde kabul edilmemiş fakat araştırma-ya ve kullanıma açık, diğer pekçok tahribatsız muayene teknikleri vardır.

5.6.7.1. Anafor akımı

Eddy akımı teknikleri, sayfa 276-279 arasında tarif edilmişlerdir. Metod, yüzey altı çatlaklarını algılamamasına karşın, hem kaynak üzerinde, hem de kenarlarında, yüzey temizleme derecesi kritik değildir; dolayısıyla hazırlamada önemli miktarda tasarruf ve tekrar koruma sağlanabilir.

5.6.7.2. A.C. potansiyel farkı (AC/PD)

Önceden bahsedildiği gibi, potansiyel farkında olan değişimler, yüzey hatalarını ortaya çıkartmak için kullanılabilirler. Bu imkân, özellikle sualtı uygulamalarında değer kazanmaktadır. A.C., yüzey etkisinden (skin effect) dolayı, sadece bir iletkenin yüzeyinin hemen altından akar. Çelik bir numune üzerindeki, iki temas noktası arasında meydana gelen akım geçişi yaklaşık olarak, bir köşegen üzerindeki temas noktalarıyla birlikte bir kareyi kaplayacaktır. Üniform bir malzemede, akım geçişini ortaya koyacak, temas noktaları arasında kararlı omik gerilim düşmesi olacaktır. Akım geçişine dik açı yapacak şekilde yönelmiş, bir yüzey çatlaklarının varlığında, potansiyelde bir basamak değişikliği olacaktır. Bu değişim, hassas voltmetreye bağlanmış, iki adet yanyana duran gerilim probu vasıtasıyla algılanabilir (Şekil 5.40). Durumuna bakılmaksızın, çatlak girişi, basamak gerilimini, çatlak yüzeyi boyunca etkileyecek ve derinlik ölçülmesine müsaade edecektir.



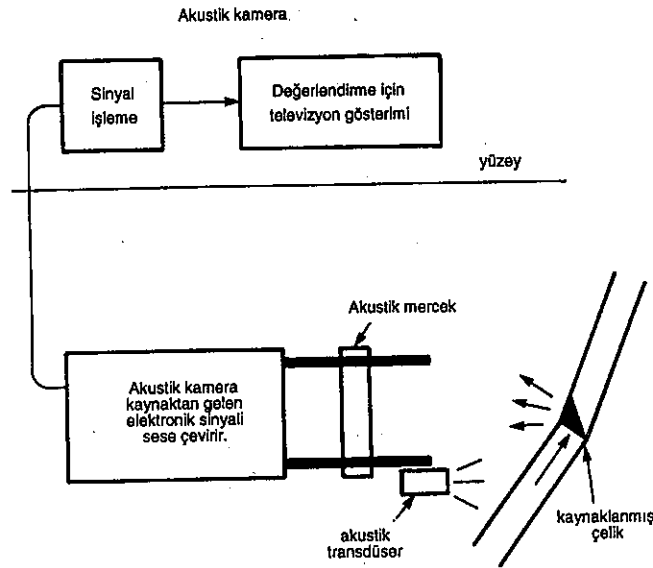
Şekil 5.40 A.C. potansiyel farkı (AC/PD).

Metod, akım taşıyıcı (current driver) ve gerilim probu uçlarının yapmış oldukları temasın etkinliğine dayanmaktadır ve sınırlamalar, gerekli sabit akımı üretebilen elektrik kaynakları üzerine konan gerilim emniyet limitlerinden kaynaklanmaktadır. Gerilimler yüzey bariyerlerini ortadan kaldıran gerekli

optimum değerlerin altında kalmaktadır. Buna rağmen teknik, MPI verilerini değerlendirmek, böylelikle yüzey özelliklerini (örneğin zımpara çizgileri gibi), çatlaklardan ayırdedebilmek için başvurulacak ilk belirgin seçimdir.

5.6.7.3. Hacimsel ultrason taraması

Yüzeysel tahribatsız muayene test metodlarına bir alternatif olarak, cismi çevreleyen suyu bir ara malzeme olarak kullanıp büyük miktarlardaki ultrasonik enerjiyi cisme aktarmak ve sonra geri dönen enerjiyi ya tek bir algılayıcı ile veya akustik enerjiyi bir görüntüye dönüştüren katod tübünün tepkimesi olarak algılamak mümkündür (Şekil 5.41). Böyle teknikler deneyseldirler, fakat başlangıç sonuçları göstermektedir ki, çok çabuk kontrol hızları, balıkadamın duyucuyu uygun yerleştirmesiyle elde edilebilir.



Şekil 5.41 Hacimsel ultrasonik tarama.

Geri dönen bilginin analizi başlangıçta mikrobilgisayarlarla yapılmaktadır. Bunlar, arkafor değişimlerini ayıklar ve duyucunun pozisyonunu ya da taramasını bozan sinyalleri belirlerler. Aygıtlar, genel olarak hataları detaylı olarak belirlemezler, bu işlem için başka teknikler gerekmektedir.

5.6.7.4. Akustik yayınma

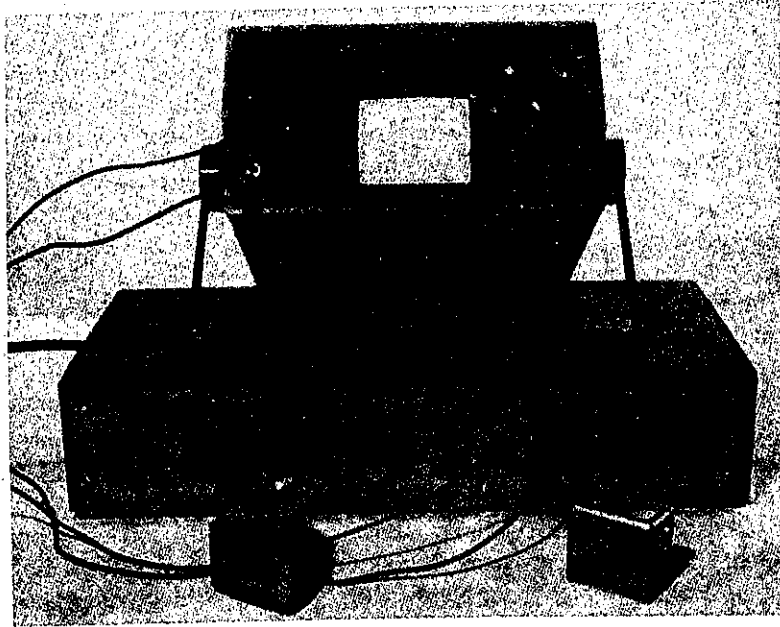
Bu şekildeki gelişmeler, her kontrol için balıkadam kullanma zorunluluğunu kaldırması bakımından ilgi çekicidir, fakat henüz, tam anlamıyla sınanmamışlardır. Akustik yayma, cisme takılmış problemlerin "dinlediği" dahili (içsel) gürültü şeklinde algılanmaktadır. Tarif edildiği biçimde, bu metod malzemede hatanın oluşumu yaklaştıkça meydana gelen gerilme konsantrasyonlarının ve yorulma çatlaklarının artan miktarlarda yayınlanan enerjisine ve bunun problemlerle algılanmasına dayanmaktadır.

5.7. Gelişmeler

Tahribatsız muayene test cihazlarındaki gelişmeler çok hızlı bir değişim göstermektedir. Bu gelişmeler hem mevcut teknikleri daha fazla güvenilir hale getirmek, hem de geleceğin ihtiyaçlarını karşılamak şeklinde sıralanabilir. Büyüyüp gelişen alanlardan bir tanesi olan akustik emisyonu daha önce değinilmişti. Farklı gelişen bir saha, otomatik üretim veya servis kontrolleri için, malzeme izleme teknikleridir. Diğer günlük gelişmelere göz atmaya yerimiz elvermemektedir. Ancak denilebilir ki, tahribatsız muayenenin kazandırdıkları, cihazın test koşullarının hafızalanmasını ve üretkenlik kontrolü ve benzer işlemlere yardımcı olabilecek makina hafızasıyla donatılması halinde, artacaktır. Buna benzer olarak, donanım, verilerin kayıtlanmasını ve bir çeşit elektronik hafızanın varlığını gerektirmektedir. Mikroboyut (aşağıya atfedilmiştir), teknisyene ekipman verileri ileriki analizler için kaydederken, deneyi yürütmesine olanak sağlamaktadır. Kalıcı bir arşiv, bütün tahribatsız muayene metodları için bir amaç olmaktadır.

Farley ve al. nın tarif ettiği "Work at Babcock Power" (1982), aşağıdaki ayrıntıları vermektedir:

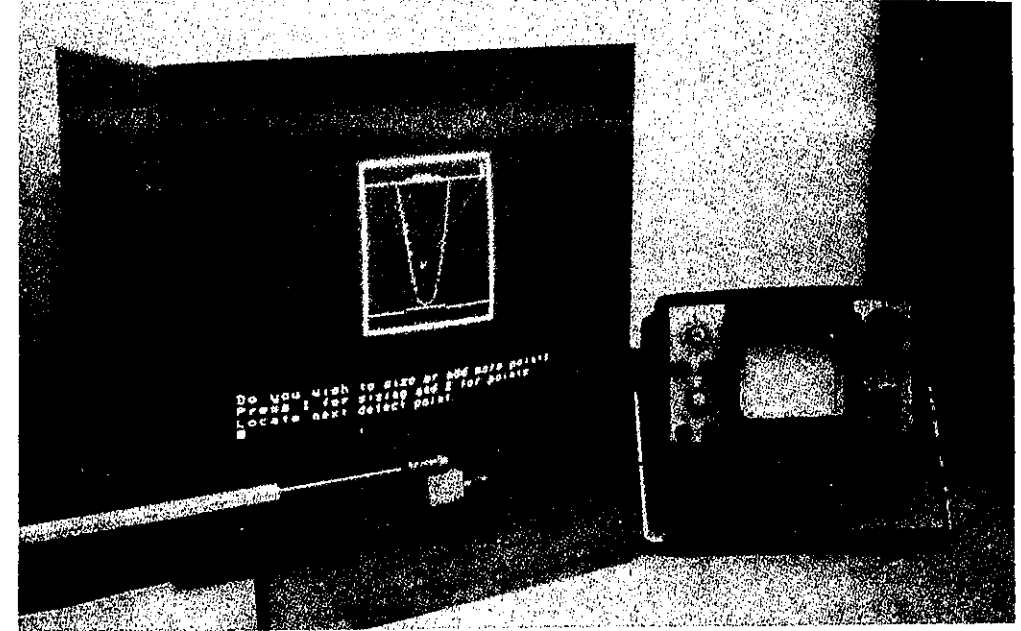
- 1) Elektronik olarak kontrol edilebilen, eğrisel - dizilimli, değişken açılı probu. Bu cihazın, normalden daha fazla demet açılarını daha az bir toplam sürede uygulanmasını sağlayacak kapasitesi vardır (Şekil 5.42).
- 2) Akmaları grafikleme ve ölçeklemek (mikro ölçek) için bir yardımcı mikro işlemci portatif bir cihaz olarak tasarlanmıştır. Bu cihaz, mevcut ultrason teknisyenlerinin tecrübe ve becerilerine "Gelecekte İngiliz Standart Akma Değerlendirmesi" uygulamak suretiyle katkıda bulunmaktadır (Şekil 5.43)
- 3) Programlanabilir, ultrasonik akma algılayıcı kullanan, otomatik ultrasonik inceleme sistemi (Mikro darbeleri). Bu sistem, yeni geometriler ve ultrason tekniklerine uygun çabuk programlanabilen çok esnek paket programlar vasıtasıyla, bilgisayar kontrollu olarak çalışmaktadır.



Şekil 5.42 Değişken - aç prob sistemi (Babcock Power'dan).

Buna paralel olarak, hata boyutlandırması için geliştirilmiş metodlarına, 'Harwell uçuş-süresi kırılma teknikleri' örnek olarak gösterilebilir (TOFD) (Carter, 1984); ultrasonik donanımlar ve kontrol yöntemleri, elektrik endüstriyel standartlarında (ESI) çok iyi bir şekilde arşivlenmişlerdir.

Anafor - akımı test cihazlarında yeni bir "jenerasyon" kabul görmeye başlamıştır. Faydaları, anafor-akımı testi esnasında meydana gelen, çok sayıda bozucu dalgalanmaları (variations) ayıklamaktır. Cihaz, düşey eksen boyunca hatalara bağlı olarak meydana gelen malzemedeki değişimleri gösterecek bir vektörel gösterim özelliğine sahiptir. Bu değişimler, yatay eksendeki yükselmelerle ilgili olan dalgalanmalara zıttırlar. Ferrit çeliklerin durumunda, daha uygun cihazlar ile, hatalar ve (lift-off) kaldırma kanalları arasında yüksek mertebede bir ayırımı elde etmek çoğu zaman zor olmaktadır: düşey eksen de, çoğu kez küçük miktarlarda (lift-off) kalkış görülebilir. Dolayısıyla, prob, pürüzlü malzeme yüzeyini tararken, sürekli kalkış değişimleri parazit hata işaretleri verecektir. Thornburn Technics tarafından üretilen bir dizi cihaz örneği Şekil 5.44 de verilmiş olup, bu cihazlarda problem çözülmüştür.

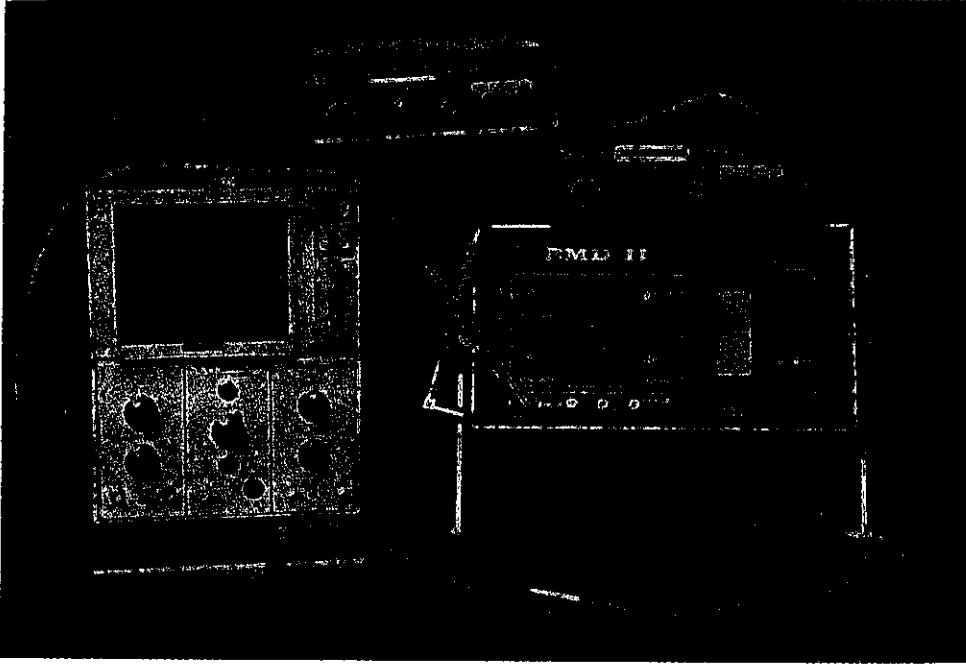


Şekil 5.43 Bir kaynak dikişinde simüle edilmiş mikroboyut-gösterimi (Babcock Power).

5.8. Personelin Yetkilendirilmesi

Tahribatsız muayene hakkında hiçbir yazı, yeryüzünde aktif olarak kullanılan operatör-yetkilendirme şemalarına değinmeden tamamlanmış olmaz. Ürünlerin, bahsedilen metodların uygulandığı işlemlerin ve malzemelerin sınırı kullananların kabiliyeti ve becerilerine, her geçen gün daha fazla istek ve ihtiyaç göstermektedir. Kalite garantisi sadece ürünlerin istenen amaçta uygunluğunu değil, uygun ve kaliteli personeli de şart koşmaktadır. Birçok ülkelerdeki tahribatsız-muayene-operatör-yetkilendirmesine ait bilgi Drury (1979) tarafından verilmiştir.

Birleşik Krallıkta (UK), günümüzde en yaygın olarak tanınmış yetki merkezi "Certification Scheme for Weldment Inspection Personnel (CSWIP)"dir. Bu taslak, "Kaynak Enstitüsü ve İngiliz Tahribatsız Muayene Enstitüsü" ajansı tarafından geliştirilmiş olup, ticaret odaları, sigorta şirketleri, sınıflama grupları, kontrol organizasyonları, millî endüstriler, hükümet kuruluşları ve diğer kurumları temsil eden bağımsız bir idari birim için işletil-



Şekil 5.44 Thorburn technic EMD cihazı
(Thorburn technics international ltd.).

mehtedir. Diğer tasdik almış İngiliz şirketleri: British Rail (İngiliz demiryolları), Central Electricity Generating Board (Merkezi elektrik idaresi), Gas Council (Gaz idaresi), Ministry of defense (Savunma bakanlığı), Steel Casting Research Association (Çelik döküm araştırma grubu), West Bromwich College kapsamaktadırlar.

Ekler 5.1: Ültrasonik Muayenede Temel Standartlar

İngiliz Standartları (BS)

BS 2704	(78)	Kalibrasyon blokları
BS 3683 (4. Kısım)	(77)	Terimler sözlüğü
BS 3889 (Kısım 1A)	(69)	Demir boruların ultrason muayenesi
BS 3923		Kaynak dikişlerinin ultrason muayene metodları
BS 3923 (1. Kısım)	(78)	Feritik Çeliklerde Füzyon Kaynak Yerlerinin Elle Muayenesi
BS 3923 (2. Kısım)	(72)	Feritik Çeliklerde, Füzyon Kaynaklı Conta Mafsalları
BS 3923 (3. Kısım)	(72)	Nozul Kaynaklarının Elle Muayenesi
BS 4080	(66)	Çelik Dökümlerin Tahratsız Muayene Metodları
BS 4124	(67)	Dövme Çeliklerin Tahratsız Muayenesi-Ültrasonik Akma Dedeksiyonu
BS 4331		Ültrasonik Akma Algılanmasının Verim özelliklerine ulaşım metodları ve cihaz
BS 4331 (1. Kısım)	(78)	Genel Performans - Yer metodları
BS 4331 (2. Kısım)	(72)	Elektriksel Performans
BS 4331 (3. Kısım)	(74)	Probların servis içi kontrollerinin yönetilmesi (Batırılma problemleri hariç)
BS 5996	(81)	Ültrasonik Metodlarla feritik çelik plâkaların kalitelerinin derecelenmesi ve test metodları
M 36	(78)	Batırma tekniğiyle özel dövmelerin ultrasonik muayenesi
M 42	(78)	İnce Gösterge Malzemelerinde, füzyon ve direnç kaynaklarının tahratsız muayenesi

Amerikan Standartları (ASTM)

E 114 (75)	Direk temas sonucu indüklenen, darbeli boyuna dalgaları kullanmak suretiyle yansıma metodu muayenesi
E 127 (75)	Alüminyum Alaşımı Ültrasonik Standart Referans Blokları
E 164 (74)	Ültrasonik Temas Kontrol Kaynakları
E 213 (68)	Metal borunun ultrasonik kontrolü ve uzunlamasına olan süreksizlikler için boru hattı döşemesi
E 214 (68)	Su içi ultrasonik muayene
E 273 (68)	Uzunlamasına ve Helezonik Boru ve Tüp kaynak dikişlerinin Ültrasonik kontrolü
E 317 (79)	Darbe Yankı Ültrasonik Muayene Sistemlerinin Performans Özellikleri
E 376 (69)	Yüksek Sıcaklık Merkez İstasyon Servisi için Dikişsiz Oosteritik (austenitic) Çelik boru
E 388 (71)	Ağır Çelik Dövmelerinin Ültrasonik Muayenesi
E 418 (64)	Türbin ve Jeneratör çelik rotor dövme malzemeleri için Ültrasonik Muayene
E 435 (74)	Basınç kazanları için çelik plâkaların ultrasonik muayenesi
E 50 (64)	Geniş dökme Krank Şaftlarının Ültrasonik Muayenesi
E 531 (65)	Türbin jeneratörü Çelik segmanlarının ultrasonik muayenesi
E 557 (73)	Çelik plâkaların, ultrasonik kayma dalgası kontrolü
E 578 (71)	Özel uygulamalar için, düz ve zırlı çelik plâkaların, boyuna dalgalı ultrasonik muayenesi
E 609 (78)	Karbon ve düşük alaşımlı çelik dökümlerinin boyuna dalgalı ultrasonik muayenesi

Batı Alman Standartları (DIN) - (Çeviriler Mevcuttur)

17175	Isıya dayanıklı çeliklerin dikişsiz tüpleri: teslimatın teknik koşulları
17245	Yüksek sıcaklıklarda, ferritik çelik dökümlerin sürünme dirençleri : teslimatın teknik koşulları.
54120	Tahribatsız Muayene : Kalibrasyon bloğu 1 ve ultrasonik yankı ekipmanının ayarı ve kontrolü için kullanımı.
54122	Tahribatsız Muayene : Kalibrasyon bloğu 2 ve ultrasonik yankı ekipmanının ayarı ve kontrolü için kullanımı.

6. GÜRÜLTÜ ÖLÇÜMLERİ

J. KUELİN

6.1. Ses ve Ses Alanları

6.1.1. Sesin Tabiatı

Herhangi elastik bir ortam, gaz olsun, sıvı olsun veya katı olsun bozulduğu zaman bozan etken, çıkış noktasından uzaklaşacaktır ve ortamda ilerleyecektir. Bozan etkinin yayılma şekli ve hızı ortamın doğasına, büyüklüğüne, elastikliğine ve yoğunluğuna bağlıdır.

Ortamın hava alması durumunda, bozucu etkiler hava yoğunluğundaki çok küçük dalgalanmalarla ve hava moleküllerinin hareketleriyle (ve dolayısıyla atmosfer basıncı) karakterize edilmektedir. Basıncıdaki bu dalgalanmalar, 20Hz ve 16 kHz (frekans) hızlarında sağlandığı sürece, insan kulağının duyabileceği mertebede bir salınım verebilir. Basıncı dalgalanmalarına kulağın yüksek hassasiyeti vardır. Bunu şöyle açıklayabiliriz: $1/10^9$ dan daha az atmosferik basınçlarda yaklaşık 3 kHz civarındaki frekanslarda ses işitilebilir. Bu frekans ve basınçlarda havanın moleküler salınım yapması, mili metrenin $\frac{1}{10^7}$ sinden daha azdır. Bir ses aları içinde her noktadaki ses basıncının genliği çoğu zaman, basınç dalgalanmalarının ortalama kare kökü olarak ifade edilmektedir. Bu değer

$$P_{ms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T P^2(k) dt} \quad (6.1)$$

şeklinde gösterilir. Burada $P(t)$, t zamanındaki anlık ses basıncı olup T ise seste mevcut en alçak frekansa karşılık gelen zamandan daha büyük olan bir zaman aralığıdır. Ses basıncı için SI (Sistem Enternasyonal) birimi Newton/m² (N/m²) dir. Pascal olarak bilinir; 1 Newton/m² = 1 Pascal. Atmosfer basıncı ise normalde bar ile ifade edilir (1 bar = 10⁵ Pascal).

Önceden belirtildiği gibi, insanın işitme mekanizmasının yüksek hassasiyeti, en hassas olduğu frekanslarda 2×10^{-5} Pascal basınçlarını işitebilmektedir. 20 veya 100 paskallık yüksek ses basınçlarını da algılayabilir. Bu şekilde çok geniş sınırlarda (10 milyondan, 1 milyona kadar), ses basıncını paskal olarak ifade etmek zorlaştığından, logaritmik ölçek kullanılır. Bu şekildeki ölçek desibel ölçeğidir. Desibel ölçeği, on bazlı iki üstel oranın logaritmasının onla çarpımı olarak tarif edilmektedir. Bu ölçeği, ses basıncının ölçülmesine uyguladığımız zaman, ses basıncının karesi ile ilişkili olduğu varsayılır, dolayısıyla,

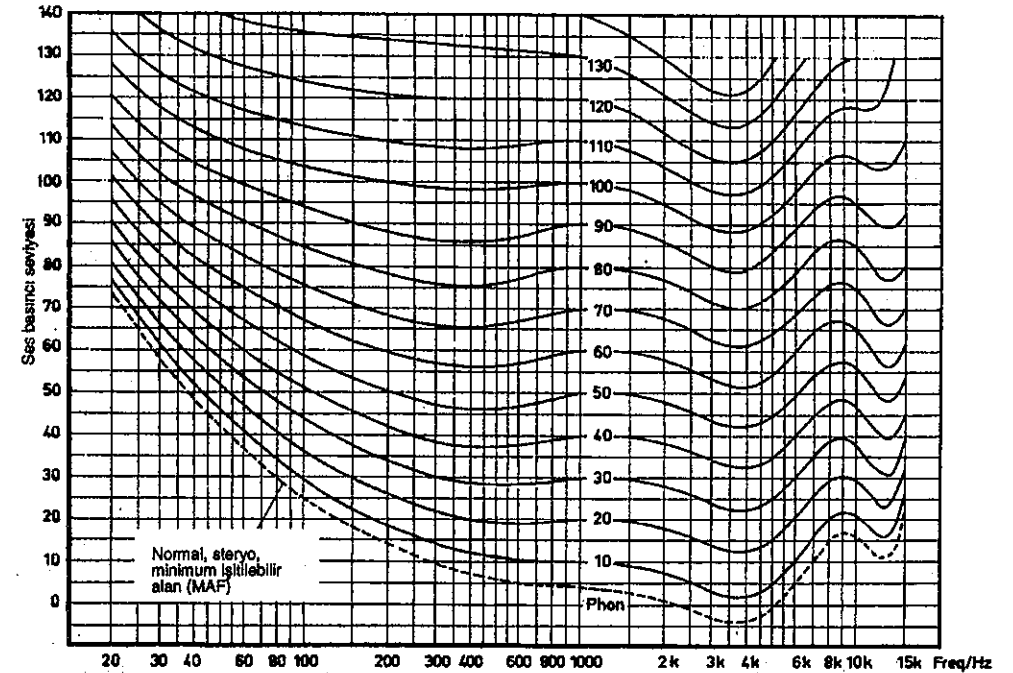
$$\text{Ses basınç seviyesi} = 10 \log_{10} \left(\frac{W_1}{W_0} \right)$$

$$= 10 \log_{10} \left(\frac{P^2}{P_0^2} \right)$$

$$= 20 \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right) \text{ dB} \quad (6.2)$$

şeklinde denklemler yazılabilir.

Burada, P ölçülen ses basıncı ve P_0 ise referans ses basıncı olup 2×10^{-5} paskal standart değerindedir. Şuna dikkat edilmelidir ki "ses-basıncı seviyesi" her zaman değerlerin desibel cinsinden ifade edildiğini söylemektedir. Referans basıncı sıfır (dB) değerinde olacaktır. Kulağın en hassas olduğu frekanslarda işitme sınırını gösteren basınca yakın olan referans basıncının kullanılması, kullanılan pekçok seviyenin pozitif olması anlamına gelmektedir. (Farklı bir



Şekil 6.1 Saf tonlar için normal eşit ses hatları (konturları).

(Bu bölümdeki pekçok şekiller, Bruel ve Kjaer (UK) Ltd nin müsadresiyle çoğaltılmıştır.)

referans basıncı, sualtı akustiği için uygulanır ve odiyogramlarda 0 dB seviyesi için kullanılmaktadır). Ses-basıncı seviyesinin desibel ölçeğinin kullanılması ve kulağın saf tonlara olan karmaşık tepkimesine güzel bir örnek şekil 6.1 de verilmektedir. Burada, saf tonlar için serbest-alan, stereo dinleme koşullarında, eşit konturları verilmektedir.

Şekil 6.1, eşit ses seviyesi hatları (Fon olarak isimlenir) 1 kHz deki ses-basıncı seviyelerine eşit olan, nümerik değerlerle tanımlanmaktadır. Referans frekansı olarak 1 kHz'in kullanılması, akustikte standart olmuştur. Bu frekans oktav-bandı genişliklerini veya oktav-band genişliğinin üçte birini seçerken, işitilebilir frekans menziline bölündüğü frekans olmaktadır. Dolayısıyla, 1 kHz de ortalanmış oktav bandı ve oktav-bandın üçte biri, akustik ölçümler için "standartlaşmış" frekans bantları kategorisine dahil edilmiştir.

Günlük hayatta, karşılaşılan pekçok ses (özellikle gürültü olarak ifade edilenler), atmosfer basıncındaki basit sinüsoid dalgalarının sonucu değildir; fakat zamanla hem frekans, hem de genliği değişen basınç dalga şekilleriyle ilgilidirler. Buna ilave olarak, bir ses kaynağına bağlı ses basıncının uzaysal değişimi (i.e. ses alanı), sesi yansıtan duvarların veya engellerin varlığıyla çoğu zaman karmaşık bir hal alır.

6.1.2. Bir Ses Kaynağını Veya Ses Alanını Belirleyen Büyüklükler

"İstenmeyen ses" olarak, gürültünün tanımı, işitilen sesin belirleyici ölçütünün fizyolojik çoğu zaman psikolojik yaklaşımlar gerektirdiği sonucunu ortaya çıkarır. Objektif ölçümler, önceden belirlenmiş ve çoğu zaman kabul edilmiş kriterlere karşı gürültünün değerlendirilmesi için kullanılabilir. Ekipman ve teçhizat kurulması planlanırken, çoğu zaman gürültü kaynağından belli bir uzaklıkta ses alanlarının tabiatını ve genliğini tahmin etmek zorunluluğu bulunmaktadır. Bu durum, gürültü verilerinin sadece gürültü kaynağı ile ilişkili olduğu ve ölçmelerin yapıldığı ortamdan bağımsız olmaları anlamına gelmektedir. Bir noktada ses-basıncı seviyesi, bir ses alanının en yaygın ölçme şekli olmasına karşın, tam kapsamlı bir ölçme olmaktan uzaktır ve skaler bir büyüklük olarak sesin yayılım yönü hakkında bir bilgi vermez ayrıca çok basit ses alanları hariç (örneğin, fiziksel olarak çok küçük bir "nokta" kaynağı veya düzlem dalgası-bakınız BS 4727), kaynak tarafından yayınlanan ses gücü (sound power) ile direkt olarak ilgili değildir.

Bazı hallerde, bir kaynağın ses gücü çıkışının ölçülmesi veya çıkartılması ve yönlendirilebilirliği son senelerde çok önem kazanmıştır ve gerekli donanım (araştırma cihazları ve alışılmış ölçümler için piyasada bulunanlar), ses alanındaki bir noktada parçacık hızı ölçülmesi veya sesin şiddetinin

ölçülmesi (W/m^2) için, günümüzde mevcuttur. Bir noktadaki genel ses basınç seviyesinin bazı ölçmelerine ilave olarak, frekans analizleri de yapmak genellikle gereklidir; böylece işitilebilir frekans mertebelerinde ses basıncı seviyelerinin nasıl dağıldığı bulunabilir.

6.1.3. Ses Dalgalarının Yayılma Hızı

Önceden bahsedildiği gibi, ses basıncı dalgalarının (atmosfer basıncına göre küçüktür) bir gaz içerisinde, gazın elastikliğine ve yoğunluğuna bağımlı olan bir hızla yayılmaktadırlar. Yayılma hızını veren uygun bir denklem

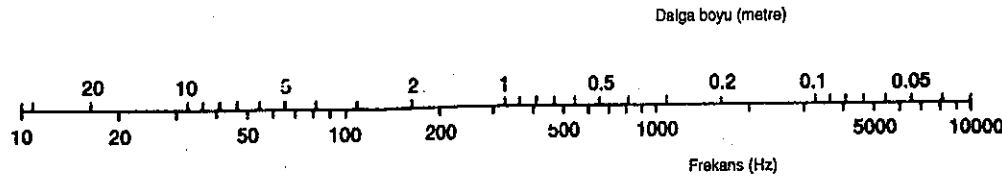
$$c = \sqrt{\frac{\gamma P_0}{\rho_0}} \text{ şeklinde verilir.} \quad (6.3)$$

Burada γ , gazın, sabit basınç altındaki özgül ısı katsayısının, sabit hacimdeki özgül ısı katsayısına olan oranıdır (hava için 1.402 dir). P_0 gaz basıncıdır ($Newton/m^2$) ve ρ_0 gazın yoğunluğudur (kg/m^3). Bu denklem, hava için $0^\circ C$ de ve 1.013×10^5 $Newton/m^2$ (1.013 bar)'lık standart barometre basıncında 331.6 m/s'lik bir hız değeri vermektedir. Genel gaz kanununun kullanılması, hızın direkt olarak mutlak sıcaklığın (K) karekökü ile orantılı olduğunu gösteren bir denkleme götürmektedir.

$$c = c_0 \sqrt{\frac{t + 273}{273}} \text{ m/s} \quad (6.4)$$

Burada c_0 , $0^\circ C$ ses hızıdır (331.6 m/s) ve t sıcaklıktır ($^\circ C$). Bir ortamda sesin yayılma hızı, o ortamın çok önemli fiziksel bir özelliğidir ve pekçok akustik denklemlerde geçmektedir. Eğer ses, sadece bir yönde ilerliyorsa, o zaman "cephesiz ilerleyen dalga" olarak ifade edilir ve her noktada $\rho_0 c$ olarak verilir.

Ses hızının bilinmesi rüzgâr etkisi belirlenmesinde ve ses dalgalarının eğimleri üzerindeki sıcaklık gradyanlarının (eğimlerinin) bilinmesinde önem taşımaktadır. Ses hızı, aynı zamanda verilen bir frekans değeri için, dalga boyunu da (λ) belirlemektedir ve kaynağın yayılım karakteristiklerini büyük ölçüde etkileyen şey, ses radyasyonu-dalgaboyu ile ilişkili olan kaynak büyüklüğüdür. Kaynağın boyutları aynı zamanda, kaynak civarının yakın alan bölgesini de belirlemektedir. Duvarların, yapıların ve engellerin perdeleme etkileri sesin dalgaboyu ile ilişkili olarak kendi boyutlarına bağlıdır. Dolayısıyla $0.3m^{\text{kare}}$ titreşimli bir panel veya 0,3 m çapındaki açık bir boru 50Hz de, zayıf bir ses yayıncısı (radiator) olacaktır [$\lambda = c/f \approx 6.6m$], fakat 1 kHz [$\lambda \approx 0.33m$] ve yukarıdaki frekanslarda, çok iyi verimli bir yayıncı haline gelecektir. Frekans ve dalgaboyu arasındaki ilişki şekil 6.2'de gösterilmektedir.



Şekil 6.2 Dalgaboyu ve frekans arasındaki ilişki.

6.1.4. İlgilenilen Büyüklüklerin Seçimi

Hiç gürültü ölçümü yapılmaksızın ses ölçümlerinden son hedefin belirlenmesi ve buna bağlı olarak yeterli tam ve yerinde ölçümlerin yapılabilmesi biraz zordur. Aşağıda verilen örnekler, gürültü ölçme hedefinin ölçülecek akustik büyüklükleri, kullanılacak teknikleri ve gereken destekleyici çevresel veya işlevsel ölçmeler/gözlemleri ne şekilde etkilediğini göstermektedir.

6.1.4.1. Gürültünün insanoğlu üzerindeki etkisini belirlemek için yapılan ölçümler

Son hedef, gürültüye maruz kalan kişideki geçici ya da kalıcı olan işitme kayıplarındaki risk faktörünü belirleyebilmek, belki de gürültünün iletişim perdeleme kabiliyetini ölçmek veya bir yerleşim bölgesinde gürültünün ne ölçüde kabul edildiğini araştırmak olabilir. Bu gibi hallerde, gürültünün frekans analizi gerekebilir (örneğin zamana bağlı olarak dalgalanmasının ölçülmesi ve gürültünün devamının ölçülmesi durumları). Diğer önemli faktörler günün ve gecenin başka saatlerinde, hava şartlarında ve haberleşmenin tabiatına ya da diğer aktivitelere bağlı olarak meydana gelebilecek diğer (arkafon) gürültü seviyeleridir. Sesin kabul edilebilir olduğu, aksi halde sesin gürültü sayılması durumları için ölçüt, aynı zamanda gürültü ölçümü için kullanılan bant genişliklerini de gösterecektir. Bazı hallerde oktav bandı ya da oktav bandının üçte birinin ölçümleri yeterli olabilmektedir; diğer hallerde, daha uzun örnekleme zamanları için, dar-bant analizleri şart koşulabilir.

6.1.4.2. Mühendislik tasarımı için ölçümler veya gürültü-kontrol kararları

Pek çok fabrika kuruluşu ve birçok makina elemanı birden fazla gürültü kaynağına sahiptir ve hedef, fabrika gürültü kontrolü ise, akustik ölçümlerin

- (1) Kabul edilemeyen gürültülü çalışmaya neden olan işlevsel ve makina yerleşim koşullarını belirlemeleri,
- (2) Değişik kaynaklardan gelen gürültüyü belirleyip miktarını tayin etmeleri
- (3) Farklı kaynakların gürültü kontrolü için, bir öncelik sırası tespit edilmesi,
- (4) Tasarımı destekleyen yeterli akustik veriyi temin etmek ve gürültü kontrolünün veriminin kontrol edilmesi gerekmektedir.

Bu şartlar detaylı gürültü analizlerinin her zaman gerekmede olduğunu göstermektedir. Akustik ölçümlerin, fabrika çalışması ve kurulması koşullarını belirlemek amacıyla diğer mühendislik ölçümleriyle tamamen desteklenmesi gerekmektedir ve mümkün olduğu yerde, bunları takiben gürültü-kontrol çalışmasının dizaynına yardımcı olunmalıdır. Böyle ölçmeler, sıcaklık, basınç, gaz akışı ölçümlerini ve titreşim seviyelerini kapsayabilmektedir. Çoğu zaman akustik ölçümlerin değeri bu tip destekleyici ölçmelerin yokluğundan, azalmaktadır.

6.1.4.3. Gürültü İşaretleme

Bazı hallerde, "gürültü sınıflandırma" makinaları hükümet kararnamesi olarak ve üretim makinaları, taşıtları ve inşaat alanlarında kullanılan imalat-hane, satın alanlar tarafından mecbur tutulabilir.

Talimatnameler ya da kurallar, ne olursa olsun, normal olarak ölçme yöntemini belirlemekte ve uygulamada İngiliz veya uluslararası standartlar bulunmaktadır (Appendix'e bakınız).

6.1.4.4. Teşhis amacı ile yapılan ölçmeler

Çoğu kez makinaların karmaşık gürültü kaynakları ve bunları azaltmak için düşünülen çareler, hem gürültünün, hem de titreşimlerin çok detaylı frekans analizlerinin yapılmasını gerektirmektedir ve bunlar için modern analiz ve bilgi işlem cihazlarının olması zorunludur. Son senelerde, makina aksamalarının önkademelerde, mekanik durumlarındaki değişimleri algulamak amacıyla, akustik ölçümlerin kullanılması aynı hedef için yapılan titreşim ölçümleriyle beraber daha ileri seviyede gelişmiştir. Bu ölçümler, aynı zaman-

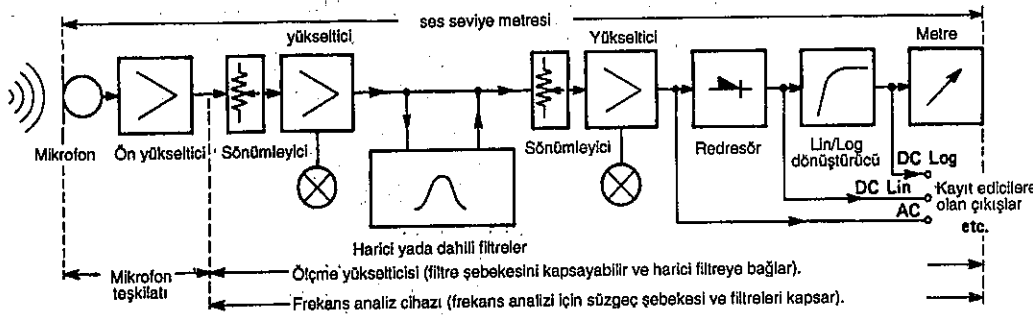
da detaylı frekans analizlerine dayanmaktadır.

6.2. Ses-Basınç Seviyesi Ölçümleri İçin Teçhizat

Temel teçhizat zinciri, bir mikrofon, sinyal-işleme elektroniği bazı süzme veya filtreleme ve bir analog ya da sayısal miktar göstericisinden meydana gelmektedir. Bu zincir şematik olarak şekil 6.3 te gösterilmiştir.

6.2.1. Mikrofonlar

Mikrofon, bu zincirdeki en önemli elemandır. Ses alanını bozmaması için mikrofon fiziksel olarak küçük olmalıdır, dolayısıyla ölçeceği ses basıncının bozulmamasını da sağlar.



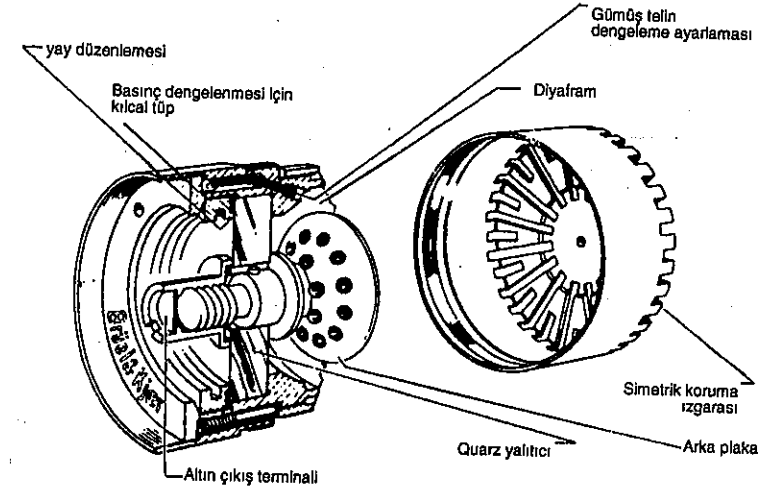
Şekil 6.3 Gürültü-ölçme sisteminin blok diyagramı.

Ölçme pozisyonunda ses alanı ile karşılaştırıldığı zaman mikrofonun yüksek akustik empedansa sahip olması istenmektedir; kalibrasyonun da kararlı olması, giriş frekans tepkimesine, genlik ya da faz bozulmasına neden olmadan, maruz kalacağı çok geniş dinamik ses-basıncı seviyelerini kaldırabilme özelliğine sahip olması istenmektedir.

Düşük ses basıncı seviyelerini ölçmek için cihazlarda kullanıldığı zaman, kendisinin ürettiği gürültü seviyesinin düşük olması gerekir. Kapalı boşluk kalibrasyon metodlarının kullanılmasına izin vermek için, mikrofonun iyi tanımlanmış diyafram düzleminin olması arzu edilir. Bütün bu şartlar, kondansatör ya da polarize mikrofonlar sayesinde en iyi şekilde sağlanmaktadır ve bu son derece yüksek elektrik empedanslı aygıtlar ile, mikrofon için giriş kademesinin (-0 dB kazanç empedans transformatör ünitesi şeklini alabilir-) direkt olarak mikrofonla bağlanması gerekir; böylelikle uzun uzatma kabloları, mikrofon ile ölçme cihazının geri kalan kısmı arasında kullanılabilir.

6.2.1.1. Kondansatör mikrofonu

Bir kondansatör (condenser) mikrofonunun ana elemanları bir ince metalik diyafram olup bu parça elektriksel olarak yalıtılmış arka metalik plak ızgarasına takılmıştır. Tipik bir cihazın, parçalanmış modeli şekil 6.4. te verilmiştir.



Şekil 6.4: Bir kondansatör mikrofonun açılmış görüntüsü.

Kararlı hale getirilmiş d.c. kutuplama gerilimi E_0 (genellikle 200V) diyafram ile arka plaka arasına uygulanmaktadır. Gerilim, $R(C_t + C_s)$ zaman sabiti veren yüksek bir direnç kaynağından beslenmektedir (şekil 6.5); zaman sabiti ölçülebilen en düşük ses-basıncı-değişim frekansının periodundan daha uzundur. Diafram üzerine etkiyen ses-basıncı C_t nin değerinde bir değişme meydana getirirse (diyaframın hareketinden aynı zamanda $\Delta C(t)$ dolayı), o zaman mikrofondan önyükselticiye beslenen çıkış voltajı V_0

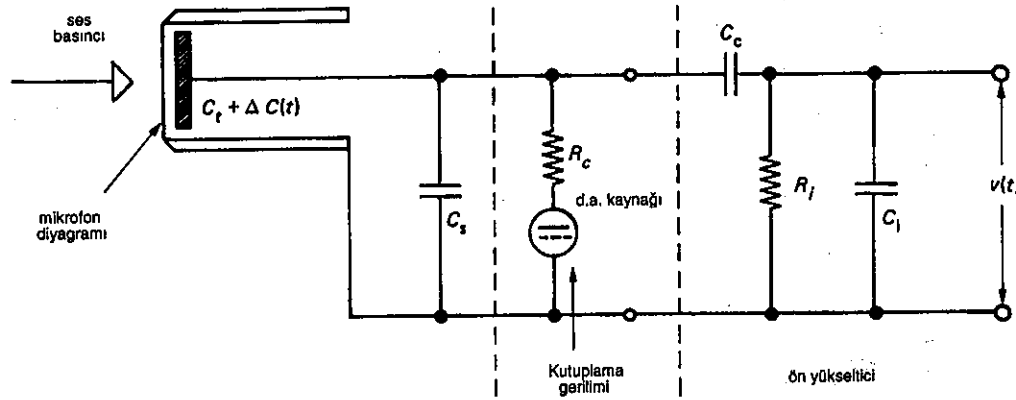
$$V_0(t) = \frac{\Delta C(t) \cdot E_0}{C_t + C_s}$$

olacaktır.

Çünkü $C_t \gg \Delta C(t)$. Mikrofonun hassasiyeti, kutuplama gerilimi ile orantılı olup, toplam kapasitans $C_t + C_s$ ile ters orantılıdır. Eğer mikrofonun frekans-tan bağımsız bir basınç hassasiyetine sahip olmasını istiyorsak, o zaman $\Delta C(t)$ nin değerinin (dolayısıyla diyaframın şekil değişimi), verilen bir ses basıncı

için, frekanstan bağımsız olması gerekir, bu demektir ki diyaframın sertlik (stiffness) kontrollü olması gerekmektedir. Bu durum ölçülecek seslerin frekanslarının üzerinde olan doğal bir frekans gerektirmektedir.

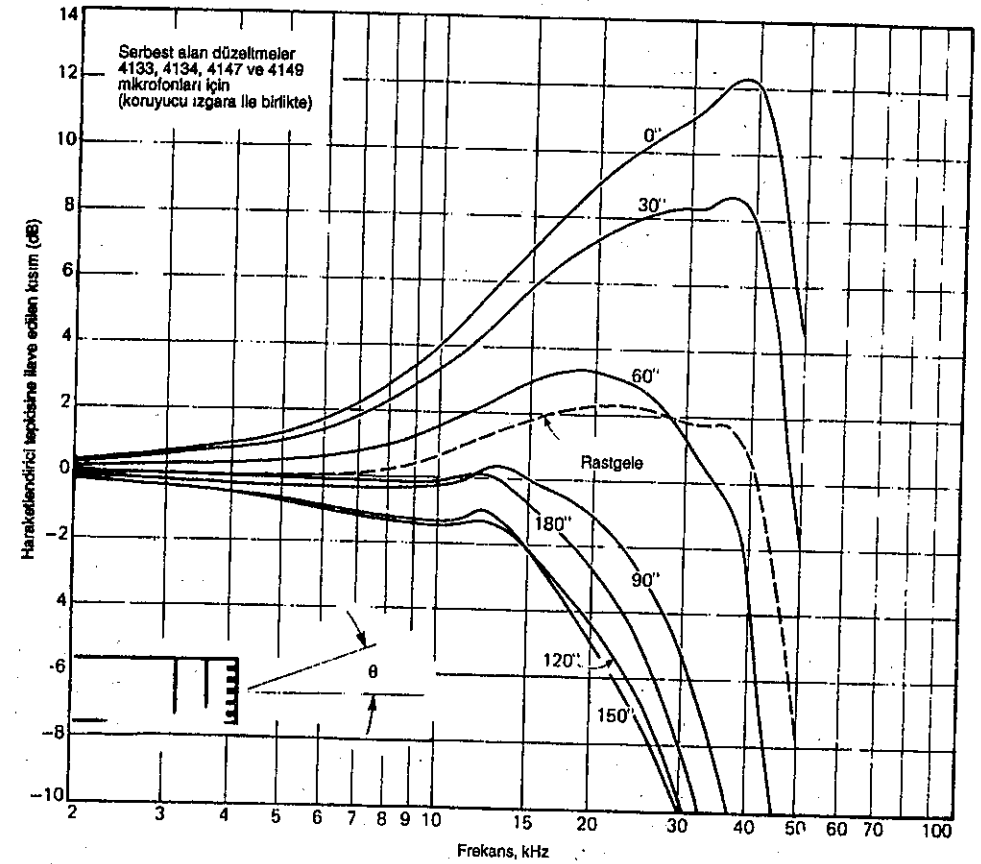
Çok yüksek kesinlikte cihazlar olan yoğunlaştırıcı mikrofonlar, kayda değer kalibrasyon kararlılığı ve 50mV/pascal mertebelerine kadar çıkabilen hassasiyete sahip olabilecek şekilde imal edilebilir. Özel bir uygulama için, bir kondansatör mikrofon seçimi, aranan frekans aralığına, ses-basıncı seviyelerinin dinamik konumuna ve sesin muhtemel gelişine göre yapılmaktadır. Kondansatör mikrofon elektrik çıkışının direkt olarak, diafram üzerine etki eden ses basıncı ile orantılı olduğu, basınçlı mikrofondur.



Şekil 6.5 Bir kondansatör mikrofonun eşdeğer devresi ve mikrofon önyükselticisi.

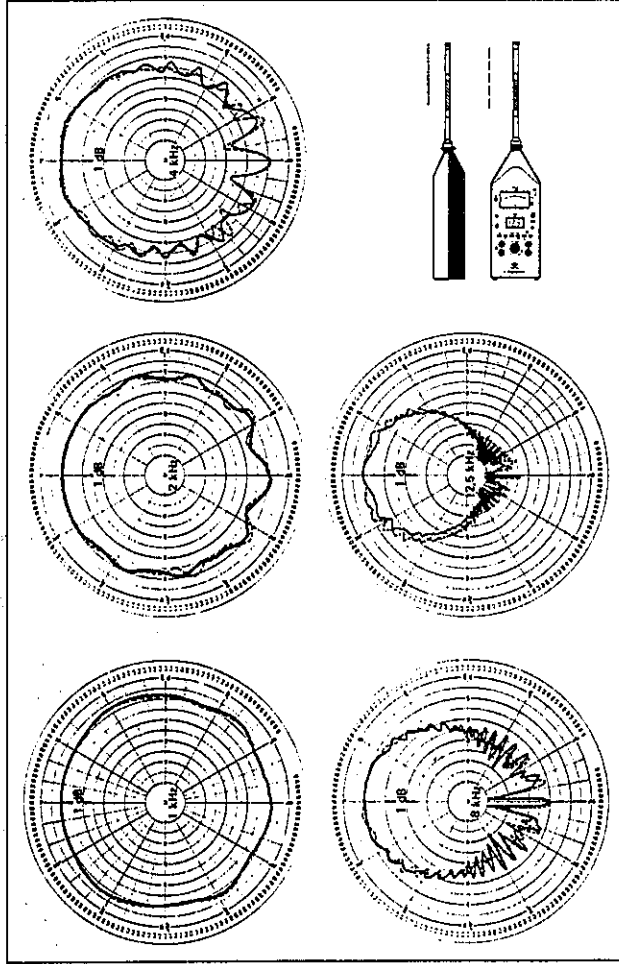
Yüksek frekanslarda, diyaframın boyutları dalgaboyunun önemli bir kesrini teşkil ettiği zaman, bir ses dalgasının yolu üzerindeki diyaframın varlığı, yüksek empedans engeli meydana getirir ve dalga yansıma yapar. Bu durum meydana geldiği zaman, mikrofon diyafram tarafından hissedilebilecek daha yüksek bir basınç meydana getirerek, ses alanını takviye eder. Basıncın düz bir tepki şeklinde ortaya çıktığı mikrofon yanlış bir okuma yapacaktır. Bu amaçla, açık alan mikrofonları (free field microphones) olarak bilinen özel kondansatör mikrofonlar imal edilmişlerdir. Bunlar serbest alan koşulları içinde diyaframa dik geliş dalgası ile kullanılmaktadır. Basınç frekans tepkimeleri öyle şekillendirilir ki, mikrofondan hiç etkilenmemiş ses dalgalarına düz tepkime gösterirler. Serbest-alan mikrofonları ses seviye ölçerlerle kullanılmaktadır.

Ses alanında mikrofondan dolayı meydana gelen etkili basınç artışları, Şekil 6.6'da serbest alan düzeltmeleri şeklinde gösterilmektedir. Bu düzeltmeler, mikrofonun basınç tepkisine ilave edilmektedir. Şekil 6.7, tipik 1/2 inçlik kondansatör mikrofonun yönlendirilmiş tepkisini vermektedir. Düz basınç tepkisine sahip olan mikrofonlar temelde bağdaştırıcı (kuplaj) malzeme olarak kullanılmak istenmişlerdir ve serbest alan koşullarında düşük geliş açıları kullanılmadıklarıdır.



Şekil 6.6 Bir ses seviye ölçerine takılmış yarım inçlik mikrofonun yönsel karakteristikleri.

Komple bir yoğunlaştırıcı mikrofon iki bölümden meydana gelmektedir bir kartuş veya muhafaza ve kartuşla aynı çapa sahip tüp şeklindeki bir önyükseltici. Önyükseltici, ses seviyesi ölçerinin gövdesine monte edilebilir. Genelde geniş mikrofon çapının yüksek hassasiyet anlamına geldiği düşünülür, fakat frekans-alanı kapsamı diyafram boyutları ile ters orantılı olmaktadır. kullanılan pek çok mikrofonlar 1 inç ve 1/2 inç, boyutlarında standartlaşmıştır, fakat 1/4 inç hatta 1/8 inç lik mikrofonlar da piyasada mevcuttur. Küçük-diyaframlı mikrofonlar, çok yüksek ses-basıncı seviyelerinin ölçülmesine uygundur.



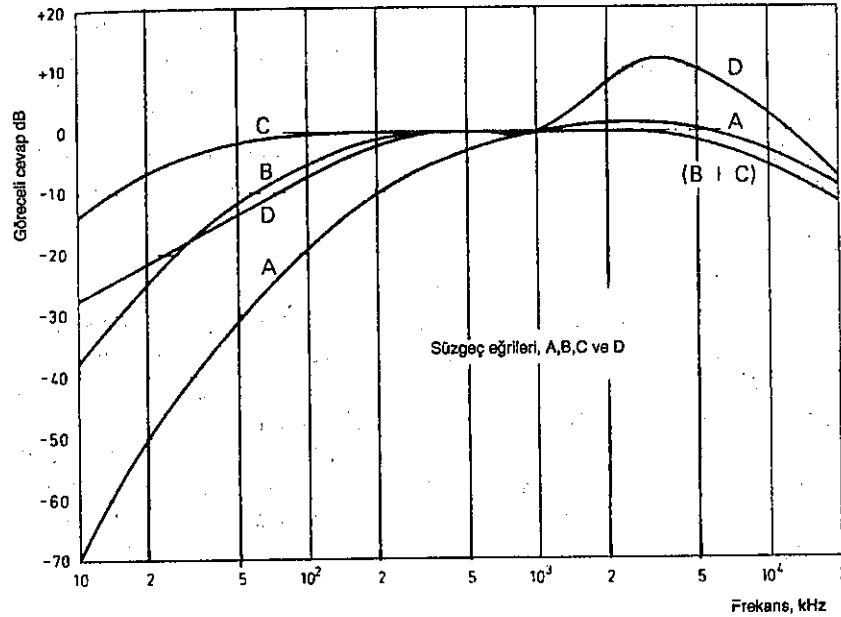
Şekil 6.7 B ve K yarım inçlik mikrofon serilerinin okuduğu değerler için serbest alan düzeltmeleri.

6.2.1.2. Elektret (Electret) mikrofonu

Kesin ölçme yapabilmek için şartlar en iyi kondansatör mikrofonlar ile sağlansa da, kutuplama için bir d.c. kaynağına olan gereksinim, içinde kendinden kutuplanmış bir eleman bulunduran mikrofonların araştırılmasına yol açmıştır. Bu elemanlara "Elektret" ismi verilmektedir. Son on sene boyunca, çok uzun süre dayanma kabiliyeti olan elektretler üretilmiş olup, bunlar ön kutuplanmış kondansatör mikrofonlarda kullanılmaktadırlar. Tasarım problemlerinin pek çoğunun, geleneksel kondansatör mikrofondaki sıkı diyaframı yerinde tutmak ve elektret-malzemesini arkaplanın yüzeyinde ince bir kaplama malzemesi olarak kullanmak suretiyle üstesinden gelinmiştir. Yük taşıyan elementin uzun-süreli kararlılığı (suni olarak yaşlandırılıp ve kararlı hale sokulduktan sonra), senede 0.2 dB den daha iyidir. Elektret kondansatör mikrofonun kullanım prensibi kesin olarak geleneksel kondansatör mikrofonun kullanımı ile aynıdır. Günümüzdeki koşullarda, maliyeti, aynı performansı veren klasik kondansatör mikrofondan biraz daha fazladır; fakat kullanılması esnasında daha az enerji harcaması yapar ve basitleştirilmiş elektronik aksamı birinci kalitededir.

6.2.1.3. Alçak frekans çalışması için mikrofonlar

Alçak frekanslarda kondansatör mikrofonların performansları statik basınç eşitlenmesine (equalization) ve mikrofon önyükselticinin giriş empedansının, mikrofon kartuşunun kapasitif empedansına olan oranına bağlıdır. Bir çok ölçümler için, 10Hz mertebesinde iyi tepkime istenir ve birçok mikrofon tarafından sağlanmaktadır. Hava akımlarına ve kapı, pencere açılıp kapanmalarında meydana gelen basınç değişikliklerine karşı, mikrofon hassasiyetini azaltmak için, 1 veya 2 Hz mertebesine yapılacak performans artırımı önlenmiştir. Alçak-frekans çalışmaları için mikrofonlar mevcuttur. Bunlar sonik patlama ölçmeleri için tasarlanmış özel sistemleri kapsamaktadırlar; bu özel sistemler 1 Hz in küçük bir kesirine kadar mükemmel tepki verebilir.



Şekil 6.8 A,B,C ve D süzgeç şebekeleri için Frekans tepki eğrileri

6.2.2. Frekans Süzücü Şebekeler ve Filtreler

Saf fonların yüksek ses şiddetlerinin algılanması bilinmektedir ve Şekil 6.1'de gösterilmiştir. Buradan görülür ki ses şiddeti, hem ton frekansının hem de ses basıncının bir fonksiyonudur. Tam seslerin şiddetinin algılanması birçok araştırmayı teşvik etmiştir ve böyle seslerin seviyelerini veya şiddetlerini hesaplayabilmek için metotlar geliştirilmiştir. Çok seneler evvel alçak, orta ve yüksek ses şiddetlerinde kulak hassasiyetine karşılık gelen frekans-süzme özelliklerine sahip olan bir cihazın geniş bir ses aralığında basit ve karmaşık seslerin şiddetini ölçebilen bir cihaz olacağı düşünülmüştür.

A,B,C olarak bilinen süzme şebekeleri ileri sürülmüştür, ancak tümünden A süzmesinin, mantıklı sonuçlar verdiğine hüküm kılınmıştır ve A süzmeli ses basıncının ölçülmesi kabul edilmiş olup dünya çapında standart hale gelmiştir. Tepki eğrileri Şekil 6.8'de verilmektedir. Çevresel gürültü ve işyerindeki gürültü A-ağırlığı ile ölçülürler ve birçok ses seviye ölçme cihazları artık A'dan başka süzgeçleri kapsamamaktadır. A- ağırlıklama işleminin sonuçlarının, bu şekilde filtre edilen her tip gürültünün şiddet ya da zarar faktörlerinin mükemmel bir ölçütü olduğu söylemektedir; ayrıca standartlaşmış ve kabul edilmiş bir yöntem olduğu belirtilebilir.

Uçak gürültüsü özel bir durumdur, burada gürültü üçüncü oktav bantlarında eşzamanlı olarak analiz edilir ve her bant seviyesi, her 0.5 saniyede örneklenir, her biri belli tablolara göre süzme işlemine tabi tutulur ve toplanır, böylece desibel cinsinden algılanabilir bir seviyeye indirgenir. Bu yöntemle bir yaklaşım, daha basit bir sistem olan, standartlaşmış D süzgeciyle birlikte ses seviye ölçerini kullanmak suretiyle elde edilebilir (şekil 6.8).

6.2.3. Ses Seviye Ölçerleri

Bunlar en geniş şekilde sesin ölçülmesinde kullanılırlar ve tek bir frekans süzgeç şebekesi ve tek bir mikrofonla donatılmış basit cihazlar şeklinde satın alınabilirler. Bu mikrofonun tüm mikrofon problemlerini kapsayan ve verileri sayısal olarak depolayabilen karmaşık sinyal işleme kapasitesine sahip çeşitleri bulunmaktadır. Dolayısıyla cihazın üzerinde önemle durulmaya değer. Diğer pekçok cihaz gibi, maliyeti ve karmaşıklığı kesinlik sınırlarına bağlıdır. IEC yayınları 651 ve BS 5969 ses seviye ölçerlerini kesinlik derecelerine göre sınıflandırmaktadır. Değişik sınıfları (veya tipleri) ve arzulan uygulama alanları Tablo 6.1 'de verilmektedir.

Tablo 6.1 Ses-seviye ölçerlerin sınıfları

Tip	Arzu edilen uygulama alanları	Referans ses-basınç seviyesindeki (dB), referans yönündeki mutlak doğruluk (referans frekansında)
0	Laboratuvar referans standartları	± 0.4
1	Akustik ortamın kontrol edilebildiği ya da belirlendiği laboratuvar veya saha kullanımları	± 0.7
2	Genel saha çalışması	± 1.0
3	Saha gürültü ölçümleri	± 1.5

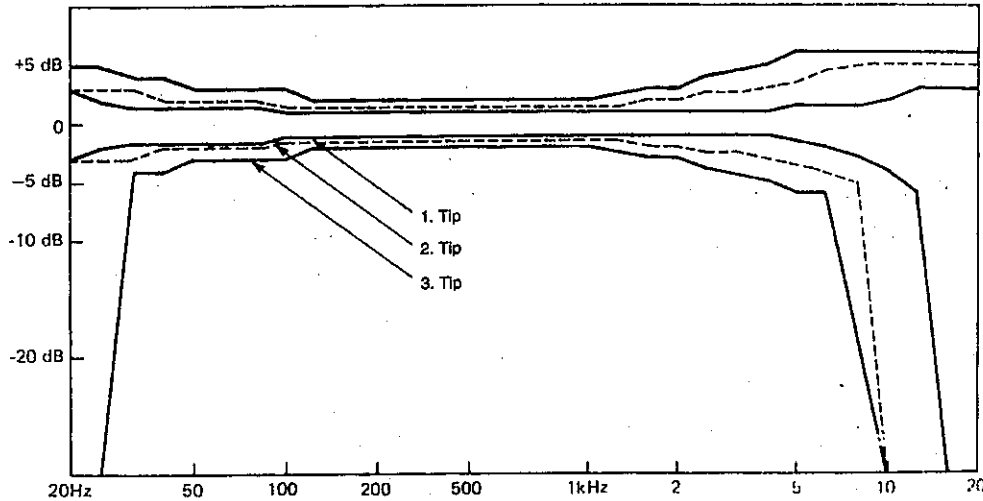
Tüm bu tiplerin performans özellikleri aynı "merkez değer" şartlarına sahiptir ve sadece izin verilen toleranslarda farklılık göstermektedir. Bu toleranslar aşağıdaki özellikleri dikkate almaktadırlar.

- (1) Sesin geliş açısı ile birlikte mikrofonun tepkisinin değişimleri
- (2) Frekans-süzgeç şebekelerindeki (tolerans müsaade edilmiştir) tasarım hedeflerinden uzaklaşmalar,
- (3) Yükselticilerin seviye lineerlikleri.

Verilen herhangi bir uygulama için, ölçümün kesinliğini ileri sürmek mümkün olmayabilir, çünkü topyekün doğruluk, ölçme tekniğiyle birlikte ölçme cihazının kalibrasyonunun ne derece dikkatli yapıldığına da bağlıdır ve cihazın mutlak doğruluğunu ses referans yönünden, referans ses-basınç seviyesinde (çoğunlukla 94 dB) geldiği zaman, 1 kHz referans frekansında söylemek mümkündür, bu değerler tablo 6.1 de verilmektedir.

Referans frekansında mutlak doğruluk dışında, performansdaki önemli farklılıklar aşağıda verilmiştir:

- (1) Güvenilir ölçmelerin yapılabildiği frekans menzili 2. ve 3. tipteki cihazların, işitilebilir frekans aralığının hem alçak hem de en yüksek sınırlarında çok daha geniş toleransları vardır (şekil 6.9).



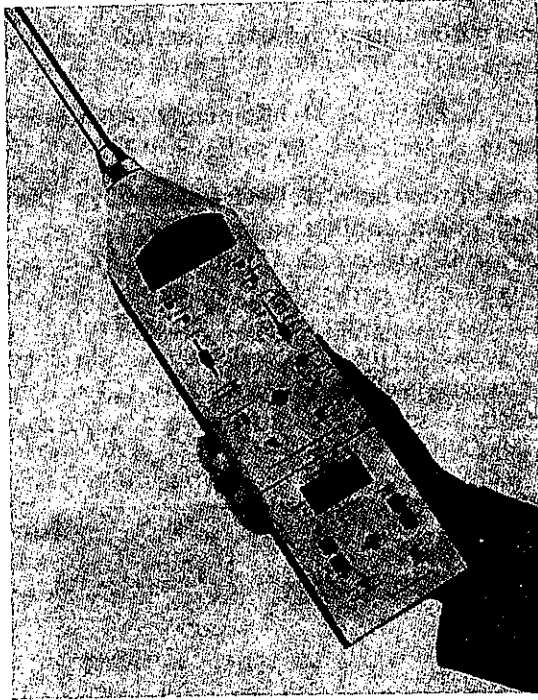
Şekil 6.9 Farklı frekanslarda ses-seviye ölçerlerin tepkime toleransları

- (2) Yüksek tepe faktörü olan sinyallerle ilgilenirken (örneğin motorsiklet ve dizel motorların egzozlarının darbe nitelikli sinyalleri gibi),
- (3) Kısa süreli gürültülerle ilgilenirken rms (ortalama karekök) değerinin geçerliliği,
- (4) Geniş bir dinamik aralıkta ve sınırlardan atlama (değişme) yapılırken okunan değerlerin doğrusallığı.

1981 senesine gelmeden önce, ses-seviye ölçerleri ya "kesinlik sınıfı" IEC Yayını 179 ve BS4197 veya "endüstriyel sınıf" (IEC 123 veya BS3489) olarak çok düşük tolerans paylarıyla anılırdı. Günümüzdeki 1. tip ses-seviye ölçeri, eski kesinlik sınıfına yaklaşık özdeş olup, 3. tip ölçerler eski endüstriyel sınıfa küçük ilaveler ile eşdeğerdir. Hiçbir zaman 1. sınıf doğruluğa erişmeyen basit bir ses-seviye ölçer örneği şekil 6.10 da verilmektedir. Bu cihazın aşağıda anlatılacağı şekilde tümleme özellikleri vardır. Şekil 6.11 ise, daha karmaşık bir cihazı göstermektedir. Bu son cihazın filtreleri vardır, aynı zamanda oldukça öz bir yapıya da sahiptir.



Şekil 6.10 Basit ses-seviye ölçeri (Lucas CEL Instruments Ltd)



Şekil 6.11 Daha karmaşık ses-seviye ölçeri

6.2.3.1. Tümüleyici ses-seviye ölçerleri

Standart ses-seviye ölçerler, hızlı veya yavaş üstel zaman ortalaması ile okuma yapmak için tasarlanmıştır. Sesin karakteri kararlı halde değil ya da kararlı karakterlerin farklı periyotlarının bir bileşkesi ise o zaman hiçbir ölçer "ortalama" değeri belirlemek için uygun değildir.

"Ortalayan" veya "bütünleyen" metrelerin özel bir kategorisi standartlaşmış halde mevcut olup, istenen bir periyot için ölçülen "enerji ortalamasını" sağlamaktadır. Ölçülen değer, kararlı gürültü seviyesi olan L_{eq} (eşdeğer seviye) olarak bilinmektedir. Bu değer bütün ölçme zamanı boyunca dalgalanan gürültü gibi, periyot süresince aynı toplam enerjiyi verecektir. Ses-seviye ölçerlerinde olduğu gibi. Tip 0 ve Tip 1 cihazları, gürültüleri en doğru olarak ölçebilme kapasitesine sahip olan cihazlardır ki, bu gürültülerin seviyeleri çok geniş dinamik sınırlarda değişmektedir veya çok kısa süreli darbeler şeklinde-

dir (örneğin tabanca sesi, çekiç vuruşu gibi). 3. Tip cihazlar, bu tip olayların doğru ölçülmesine uygun değildirler, fakat ses seviyesi değişimlerinin geniş ve ani olmadığı durumlarda kullanılabilir. Bir gürültü dalga şeklinin belli bir ölçme zamanı T boyunca olan L_{eq} değeri

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \frac{[P(t)]^2}{P_0^2} dt$$

olarak verilir.

Burada L_{eq} eşdeğer sürekli ses seviyesidir, T ölçme süresi, $p(t)$, ses basıncının (çoğunlukla A-süzgeçli) anlık değeridir ve P_0 , $20 \mu Pa$ 'lık referans rms ses basıncıdır. A süzgeçli L_{eq} nun ölçülmesi, özellikle normal gürültüye tabi olunan durumlardaki uzun süreli işitme kayıplarının ihtimali dikkate alındığı zaman çok önem kazanmaktadır (Bakınız Barns ve Robinson, 1970). Pek çok tümleyici ses-seviye ölçerleri aynı zamanda ses-enerji seviyesi veya SEL olarak bilinen bir değer sağlar; bu değer tek-olay seviyesi olarak da tanımlanabilir. Bu durum, üzerimizden uçak geçmesi ya da bir patlama gibi kısa süreli olaylardaki ses enerjisini göstermektedir, fakat olayın sadece 1 saniye içerisinde cereyan ettiği şeklinde anlatılmaktadır. Böylece

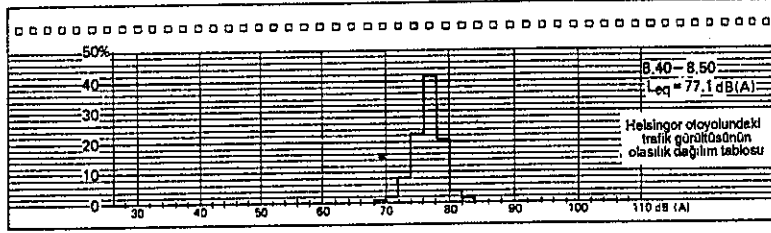
$$SEL = 10 \log \int \frac{[P(t)]^2}{P_0^2} dt$$

Şeklinde verilebilir.

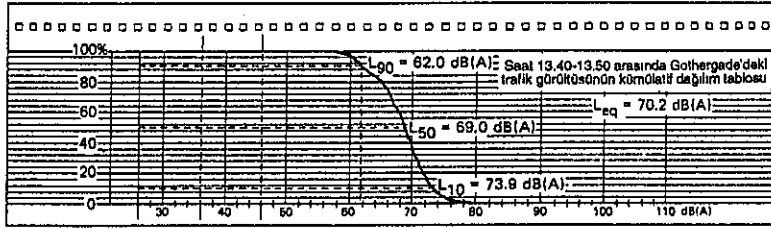
Birçok tümleyici ses-seviye ölçerleri, tümleme işleminin kesilmesine ya da ayrılmış periyotlarda enerjinin toplanmasına izin vermektedir.

6.2.3.2. İstatiksel ses-seviye ölçerleri

Çevresel gürültünün incelenmesi için (örneğin, şehirde meydana gelen gürültü veya araç gürültüsü) istatistiksel bilgilendirme çoğu zaman mecbur tutulmaktadır. Özel, ses-seviye ölçerleri mevcuttur. Bunlar olasılık ve kümülatif seviye dağılımlarını verirler ve yüzde seviyelerini verirler. Örneğin L_{10} , Şekil 6.12 ve 6.13'de gösterilen analiz süresinin %10'unu aşan seviyedir. Bazı cihazların içine yazıcılar da monte edilmiş olup belli zaman aralıklarında değişik değerleri basmak için programlanmışlardır.



Şekil 6.12 : Araç gürültüsü için olasılık dağılım grafiği



Şekil 6.13 : Yoğun trafikli bir caddede, trafik gürültüsü için kümülatif dağılım grafiği

6.2.4. Gürültü-Pozlama Metreleri/Gürültü Dozu Ölçerleri

Bir işçinin maruz kaldığı gürültünün belirlenmesi, şayet işçi bütün gün boyunca aynı yerde kalmaktaysa, bir tümleyici ses-seviye ölçer ile başarılı bir şekilde sağlanabilir. Şayet, kendisi gürültü sahasına girip çıkmak durumundaysa veya gürültü çıkaran çalışmalar yapmakta olup aynı zamanda hareket ediyorsa, o zaman cihazı üstünde taşıması gerekmektedir. BS 6402 böyle bir cihazın şartlarını vermektedir. Bir çanta içerisine yerleştirilebilir. Ancak mikrofonun ceket yakasına ya da şapkaya takılacak şekilde olması gerekir. Şekil 6.14, bir çalışan kişinin kulağındaki mikrofonu ve diğer aksamın göğüs cebinde yerleşmiş olduğunu göstermektedir. Cihaz, A süzmeli pozlanmayı

$$E = \int_0^T P_a^2(t) dt$$

ye göre ölçmektedir.



Şekil 6.14 Gürültü-ölçme metresi kullanım sırasında

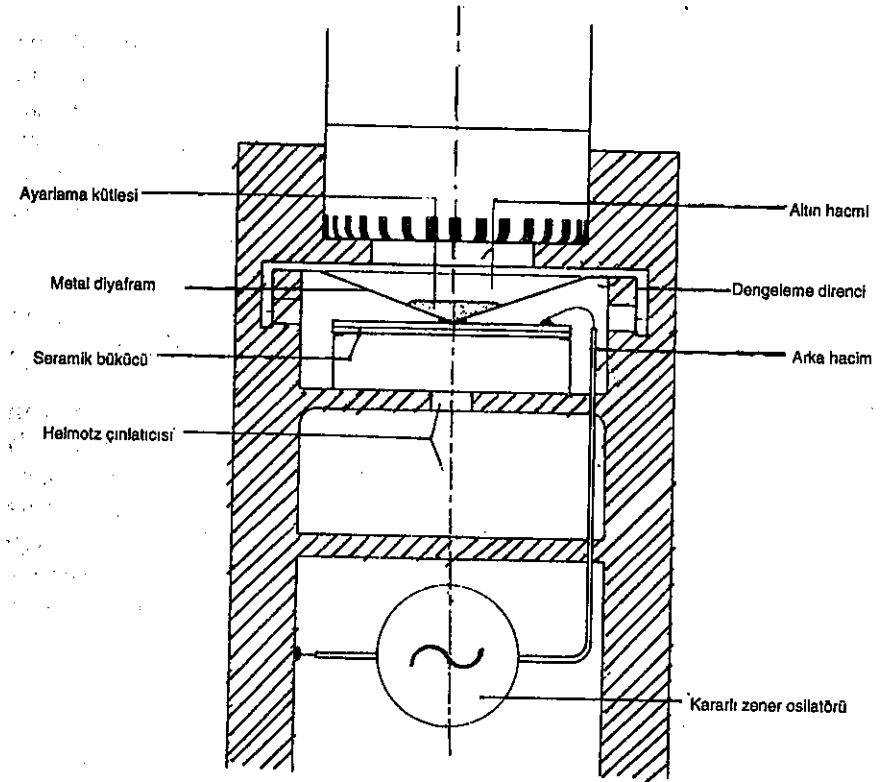
Burada E, pozlanma ($\text{Pa}^2 \cdot \text{h}$) ve T zamanı (saat) göstermektedir. Böyle bir cihaz, pozlanmayı paskal² saat cinsinden vermektedir ve $1\text{Pa}^2 \cdot \text{h}$, 8 saatlik 84.9 dB de pozlanmaya denk gelmektedir. Hükümet kararlarının müsaade ettiği ölçüde pozlanma yüzdesi cinsinden bir cevap vermektedir. Örneğin %100, 8 saat için 90 dB anlamına gelebilir; bu değer normal kanunlara göre, korunmayan kulaklar için maksimum müsaade edilen sınırdır. Güncel performans şartları, Tip 2 ses-seviye ölçerleri ve tümleyici ses-seviye ölçerlerinin benzeridir, ölçmenin doğruluğu, işçinin giydiği elbiseye şapkaya ve ses kaynağın göre mikrofon yönüne aletin hassasiyetinden göre çok daha fazla bağımlıdır.

6.2.5. Akustik Kalibrasyon Cihazları

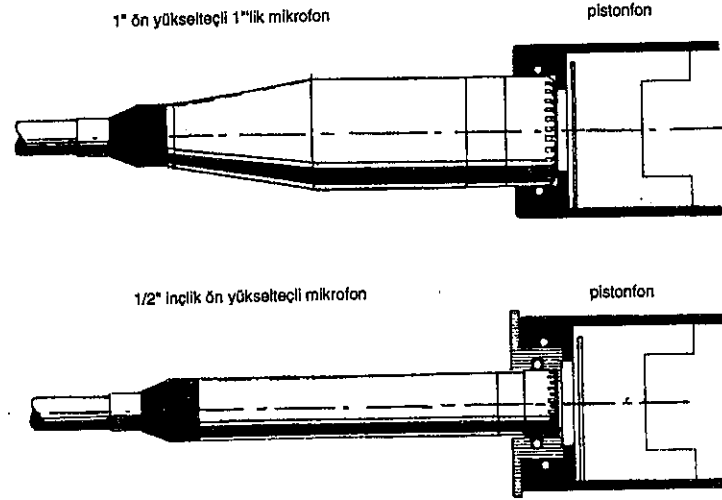
Zaman zaman, cihazların kalibrasyonunu kontrol etmek gereklidir ve bu işlem, mikrofona kesin olarak bilinen ve kararlı bir ses basıncı sağlayan, akustik kalibratörler sayesinde yapılmaktadır. Bu tip kalibratörlerin şartnamelerini kapsayan standartlar mevcut olup, 94dB (1Pa) veya daha yüksek seviyelerde işlemi, 250 ve 1000 Hz sınırları arasında işlem frekansını öngörmektedirler. Sonuncusu çoğunlukla kullanılır ve A-süzgeç şebekesi 0 dB lik giriş kaybına sebep olur. Bu şekilde kalibrasyon hem A-süzgeçli ya da süzülmemiş ölçme sistemleri için geçerli olmaktadır.

Pistonfon olarak bilinen bir tip kalibrasyon cihazı hem kısa hem de uzun dönem için, 0.1 dB tolerans sınırları içerisinde güvenilir kalibrasyonuyla çok yüksek kararlılık göstermektedir. Pistonfonlar içerisinde seviye, normalde 124 dB ve frekans ise 250 Hz olmaktadır. Kalibratörler tarafından sağlanan yüksek ses-basınç seviyelerinin sebebi, açık sahada yüksek gürültü ortamında sık olarak kalibrasyon yapma zorunluluğu olmasıdır. Çoğu kalibrasyon cihazları, bir tek özel mikrofon veya bir sıra mikrofon ile çalışma prensibine göre imal edilmiştir. Bazı kalibratörler, öyle dizayn edilmişlerdir ki belirtilen çaplardaki mikrofonlarla (çoğu zaman standartlaşmış) mükemmel bir şekilde çalışabilmektedirler; ancak bu mikrofonların farklı diyafram yapıları ve koruyucu ızgaraları vardır (şekil 6.15 ve 6.16).

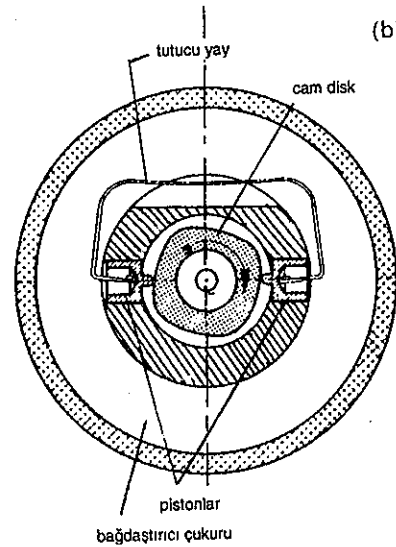
Bir pistononda üretilen ses-basıncı, toplam çukur hacminin bir fonksiyonu olup bu durum, diyafram yapısına bağımlı olmak demektir. Pistonfon tarafından sağlanan kalibrasyon doğruluğuna ulaşabilmek için özel tipteki mikrofonlar için gerekli olan düzeltmeleri gözönüne alarak kullanım kataloğu gözden geçirilmelidir. Pistonfonun ürettiği basınç da, çukur (ya da kavite)daki statik basıncın bir fonksiyonudur. Statik basınç kılcal bir tüp sayesinde atmosfer basıncı ile temastadır. En yüksek doğruluğa erişmek için, atmosfer basıncının ölçülmesi ve düzeltmelerin yapılması lazımdır. Bazı tip kalibratörler birden fazla seviye ve frekans vermektedirler. Kalibrasyon cihazları bilinen onaylanmış laboratuvarlarda periyodik kalibrasyonlara tabi tutulmaktadır. Kalibrasyon, bölüm 6.6.'da ele alınacaktır.



Şekil 6.15 Taşınabilir ses-seviye kalibrasyon cihazının çalışma prensibi



(a)



Şekil 6.16 Pistonfon. (a) Bir pistonfona takılı mikrofonlar, (b) İşleme prensibini gösteren kesitten bakış.

6.3. Frekans Analiz Cihazları

Sık olarak A-ağırlık seviyesi, ya ani, zaman ağırlıklı ya da bir zaman periyodu boyunca sık olarak tümlenmiş halde, hatta değişimlerinin istatistiksel verileri bile, sesin belirlenmesinde yetersiz kalmaktadır. Seslerin frekans içerikleri hakkında bilgi de şart koşulabilir. Bu bilgi standartlaşmış frekans bantları, oktav veya 3. oktav bant genişlikleri cinsinden olabilir. Bu bantlardaki gürültü verilerinin gösterimini anlatan pek çok standart mevcuttur. Teşhis amacıyla nerede bilgi gerekliyse çok detaylı, yüksek çözünürlüklü analizler yapmak gerekmektedir. Ayarlı filtre tekniklerini kullanan bazı analog cihazları hâlâ kullanımdadır; ancak modern cihazlar analiz işlevini sayısal olarak gerçekleştirmektedirler.

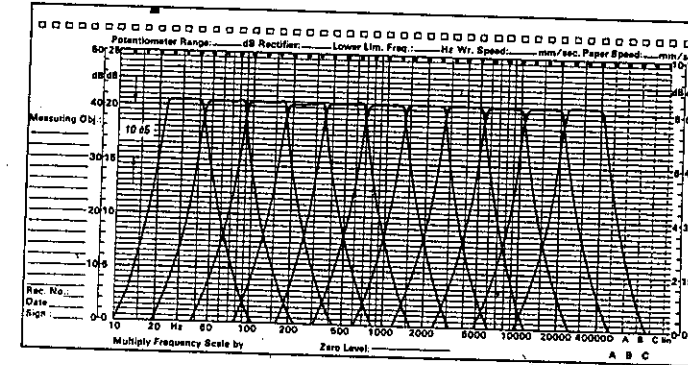
6.3.1. Oktav Bandı Analiz Cihazları

Bu cihazlar normalde hassaslık ses-seviye ölçerleri olup içlerinde filtre setlerini, bulundurmaktadırlar veya filtre setlerinin birbirleriyle bağlantılı olmasını sağlamaktadırlar; böylece oktav bantlarında direkt ölçmeleri gerçekleştirilebilir. Bu filtreler bant geçiren filtreler olup, geçiren bant bir oktav kapsamaktadır, örneğin üst bant sınırı frekansı, alt bant sınırının iki misline eşittir. Filtrelerin geçirim bandında yumuşak tepkimelerin tercihli olarak 0 dB girişim (insertion) kaybı verecek şekilde olması istenir. Orta frekans f_m , geometrik ortalama olup;

$$f_m = \sqrt{f_2 \cdot f_1}$$

şeklinde ifade edilir.

Bu formülde f_2 , üst bant frekansı ve f_1 de alt bant frekansıdır. Filtreler nominal merkez frekanslarıyla tanımlanmaktadır. Geçiş bandının dışındaki sönümlemelerin çok yüksek olması gerekir. ISO standartları 225 ve BS 3593



Şekil 6.17 Tipik bir analiz cihazındaki, oktav filtrelerinin frekans karakteristikleri.

"tercihli" frekansları sıralamakta olup, IEC 266 ve BS 2475 oktav filtreleri için kesin performans şartlarını vermektedir. Tipik karakteristikleri şekil 6.17'de verilmektedir.

Eğer bir filtre seti, bir ses-seviye ölçeri ile kullanıldığı zaman, böyle bir ölçerin "doğrusal" cevap işlevi olması gerekmektedir; bu şekilde süzme veya filtrasyon işlemi sadece filtreler tarafından gerçekleştirilmiş olacaktır. Bu şekildeki analizlerden elde edilen cevaplar "oktav band seviyeleri" olarak desibel ve 20µPa cinsinden bilinmektedir. Zaman zaman, oktav analizi, özel bant seviyelerinin, topyekün A-ağırlığı seviyesine olan katkılarının önemini anlamak amacıyla yapılmaktadır. Daha sonra oktav bant seviyeleri, A-ağırlık sönümlemesini, merkez frekanslarda ileri sürmek suretiyle düzeltebilmektedirler. Bazı ses-seviye ölçerleri A-ağırlığı dahil olmak koşulu ile filtrelerin kullanılmasına izin verir ve bu şekilde A-ağırlıklı oktav bant seviyelerinde cevap verilir. Taşınabilir basit bir cihaz, tüm işitilebilir frekanslara uzanabilen filtreleri kapsayabilir. Analiz cihazı, sistemde sırası ile filtreleri değiştirmek ve her bireysel bant için sonuçları göstermek suretiyle çalışmaktadır. Eğer gürültüler dalgalanma eğilimindeyseler, ses-seviye ölçerin' yavaş' tepkisi kullanılır, fakat bu koşul anlamlı bir "ortalama okuma" elde etmek için çok hızlı olabilir. Özel kayıt cihazları, seviye kaydedici olarak bilinir ve sahada, kalıcı bir kayıt eldesine izin veren oktav bant filtreleri/ses-seviye ölçerleri ile beraber kullanılabilir. Bütün filtrelerin bir sette paralel kullanımları özel cihazlar sayesinde mümkün olabilir. Bu cihazlarda cevaplar grafik ya da sayısal olarak kayıt edilebilirler ve oktav spektrumu da bir CRT (Catod ışınları tübü) de gösterilebilir.

6.3.2. Üçüncü Oktav Analiz Cihazları

Oktav bant analizi, pekçok amaç için yetersiz çözünürlük sağlamaktadır. Bir sonraki adım ISO 266, IEC 225 ve BS 2475 standartlarını kapsayan filtreler yoluyla olan üçüncü oktav analizidir. Bu filtreler ses seviye ölçerleriyle birlikte direkt olarak kullanılabilirler. Aynı toplam frekansı kapsayan, 3 misli daha fazla filtre mevcuttur ve bant genişlikleri daha dar olup, dalgalı gürültü durumlarında, doğru cevap eldesi için daha uzun ortalama işlemi gerektirir ve kayıt cihazlarının kullanımı mecburi olmaktadır. Tipik özellikleri şekil 6.18 de verilmektedir. Yukarıda bahsedilen saha cihazları haricinde yüksek kaliteli, otomatik geçişli filtre setleri ve kayıt cihazları mevcuttur, fakat modern anlamda eğilim paralel filtre setlerinin, CRT üzerinde 3 oktav spektranın grafik gösterimi ile beraber eşzamanlı olarak kullanımı şeklinde gelişmektedir.

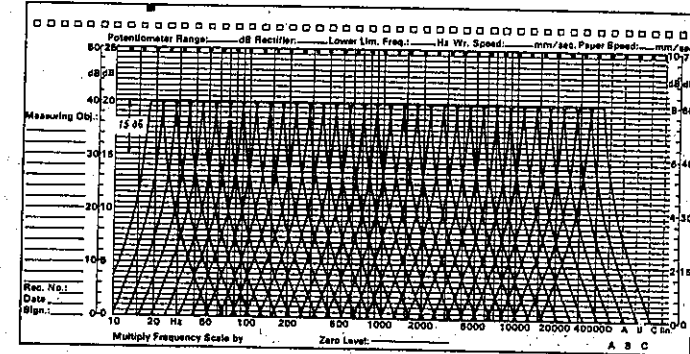
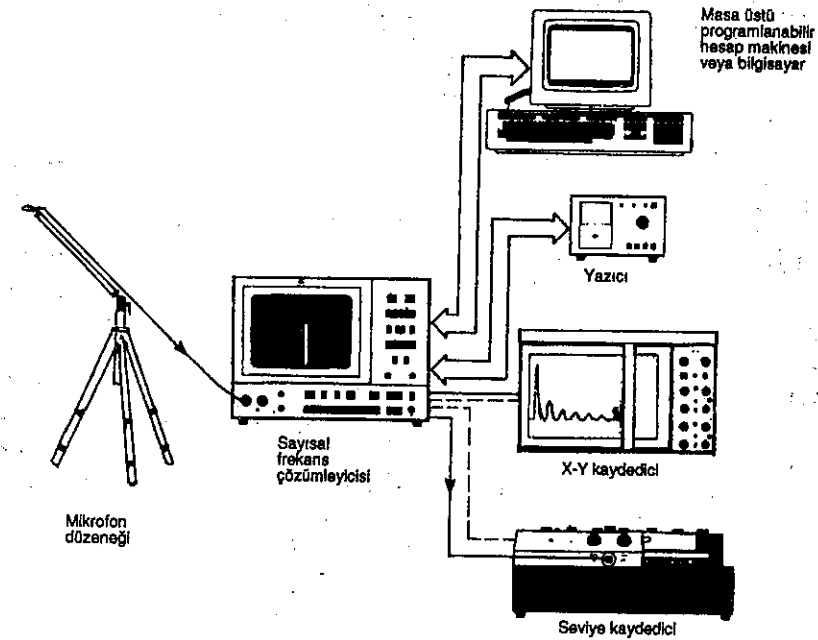


Figure 6.18 of third-octave analyser.

Şekil 6.18 Tipik bir analiz cihazındaki, üçüncü oktav filtrelerinin frekans karakteristikleri.

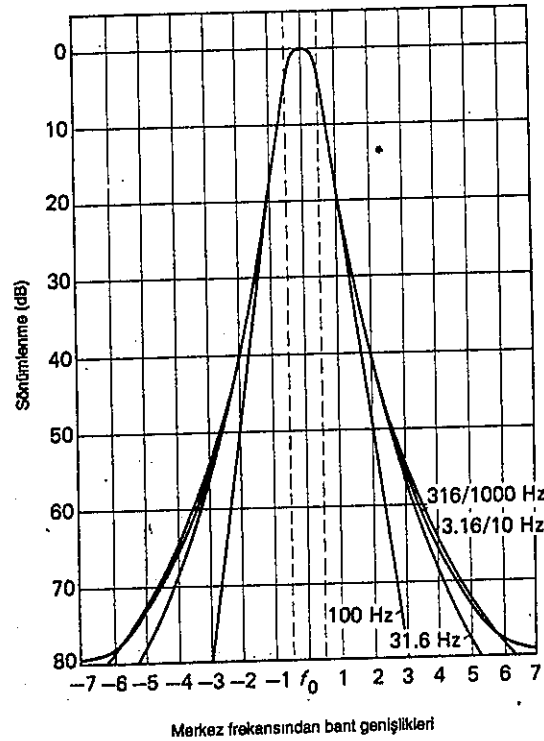
Dijital (sayısal) filtre cihazları da mevcut olup, bunlarda geleneksel analog filtre tekniklerinin kesin eşdeğeri işlenmektedir. Böyle cihazlar, çakışma zaman analizi, her bantta üstel ortalama veya zamanla doğru tümlenme, spektrumun CRT üzerinde gösterilmesi ve çoğunlukla XY kayıt cihaz çıkışı artı sayısal bilgisayarlara bağlantı işlemlerini yapabilir (Şekil 6.19).



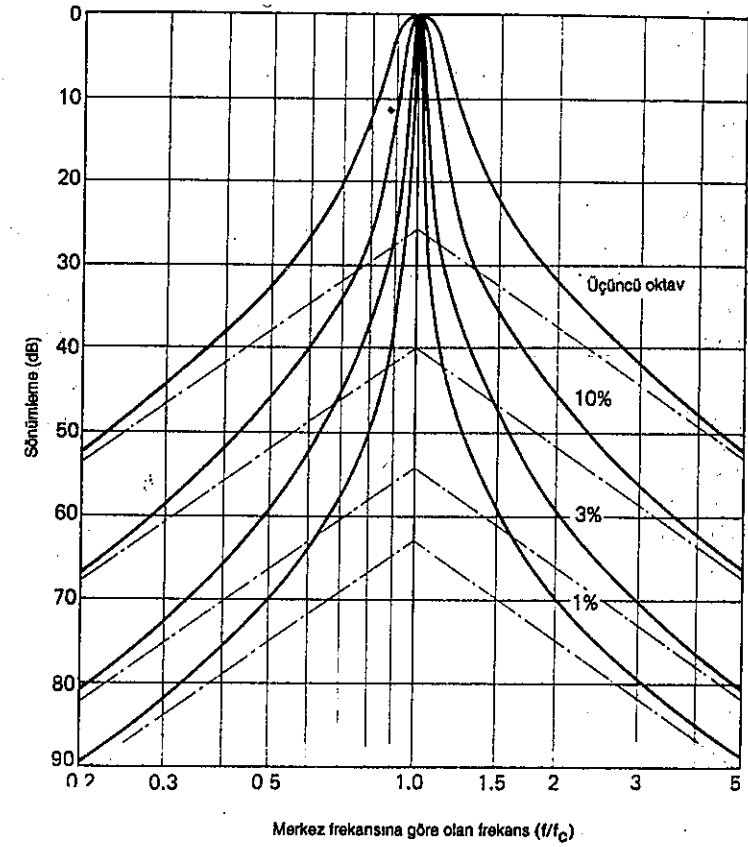
Şekil 6.19 Tipik sayısal frekans analiz cihazı ile çıkış seçenekleri

6.3.3. Dar-Bant Analiz-Cihazları

Geleneksel analog cihazlar, ayarlanabilir bir filtre sayesinde analizi gerçekleştirir; bu filtre sabit bant genişliği tipinde (şekil 6.20) ya da sabit yüzde tipinde olabilir (Şekil 6.21). Sabit yüzde analiz cihazları logaritmik frekans süpürme kapasitelerine sahip olabilir, buna mukabil sabit bant genişliği çoğunlukla doğrusal tarama sağlar. Bazı sabit bant cihazları, üreteçlerle eş zamanlı olarak bağlanabilirler ve bu şekilde harmoniklerin çok karmaşık analizlerini yapabilmek mümkün olabilir. Ayarlama elle veya mekanik ya da kayıt cihazına bağlı olarak ve gerilim rampası yoluyla elektronik aksamı bağlı olarak da yapılabilir. Soni koşulda sayısal/analog dönüşüm sayesinde bilgisayar kontrolü gerçekleştirilebilir. Rastgele sinyallerin dar-bant filtrasyonu yoluyla, analizi çok zaman harcayan bir işlem haline sokan, çok uzun ortalama zaman alma işlemleri mecbur tutulabilir. Bazı darbant analiz cihazları, dar-bant analizinden oktav ve üç oktav bantlarını hesaplamaya teşebbüs eder, fakat şimdiye kadar bu teknikler sadece kalıcı (stationary) sinyallerin analizlerinde geçerli olmuştur.



Şekil 6.20 Tipik bir sabit geniş bant filtresinin karakteristikleri.



Şekil 6.21 Dört sabit bant genişliği yüzdesi için, bantgeçirim filtresinin seçme eğrileri.

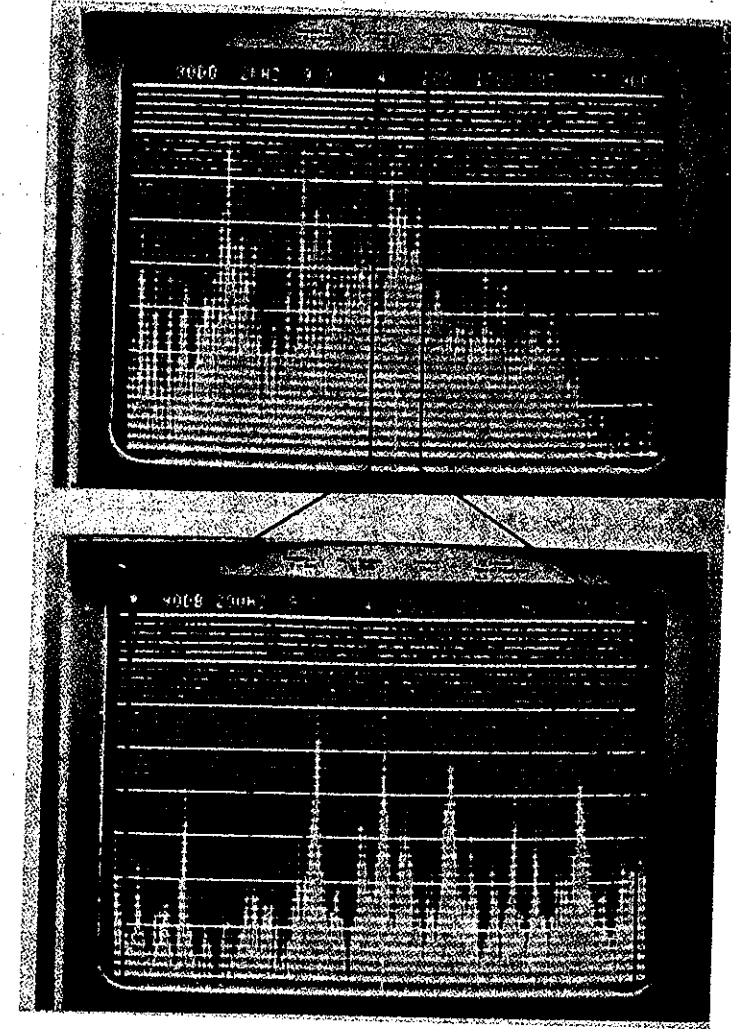
6.3.4. Hızlı Fourier Transformasyonu Analiz Cihazları

Bu cihazlar giriş sinyallerinin sayılara dönüştürüldüğü cihazlar olup hızlı fourier dönüşümü (FFT) hesaplamaları gerçekleştirmektedirler. Sonuçlar bir CRT üzerinde gösterilir ve çıkış, XY grafik çizirleri, seviye kaydedicileri için analog şekilde alınabilir; ayrıca sayısal olarak hesaplama ve hafıza aygıtları için verilebilir.

Tek kanal analiz cihazları sinyal analizi, iki kanal analiz cihazları sistem analizi için kullanılmaktadır. Bu cihazlarda sinyalleri uzayda iki nokta arasında direkt olarak analiz etmek ve çok çeşitli hesaplamalar gerçekleştirmek mümkün olmaktadır. Bunlarda gerçek zaman analizi, bütün gelen sinyallerin örneklendiği, sayısallaştırılıp işleme konduğu bir çeşit analiz şekli olmaktadır. Bazı cihazlar "Gerçek-zaman" analizini sınırlı bir frekans alanı içerisinde

yapmaktadırlar (örneğin, 2 kHz e kadar). Bu frekanslar üzerindeki analiz sırasında, veri blokları arasındaki bazı veriler kaybolmaktadır. Böyle bir durumda kalıcı sinyal analizleri gerçekleştirilebilir, fakat geçici sinyaller kaçırılabilirler. Özel geçiş analiz özellikleri (örneğin sonik patlama), çoğu zaman asimile edilmiş olup bir dahili veya harici tetik ile çalışmaktadır; veri bloğunun yakalanmasına ve analizine izin verir. Normal işlem için, doğrusal tımlama veya üstel ortalama verilmiştir. Tıpe bağı olarak analiz sonuçları 250-800 spektral çizgilerde verilmektedir. 400-hatlı analiz cihazında, analiz 0-20 Hz, 0-200 Hz, 0-2000 Hz ve 0-20000 Hz aralıklarında yapılacaktır. Spektral çözünürlük, üst frekansın spektral çizgilerin sayısıyla bölünmesi sonucu elde edilir, örneğin 2000/400, 5Hz çözünürlük verir. Bazı cihazlar (Zoom) yakınlaştırma moduna sahip olup, analiz cihazının çözünürlük sonuçlarını, frekans aralığının bir parçası olarak görmesine izin verirler; bu işlem için çözümleyici, menzil içinde seçilen frekansa odaklanır ve böylece çok daha iyi çözünürlük sağlar (Şekil 6.22).

Farklı kursorler şekilleri, farklı çözümleyiciler tarafından sağlanmaktadır; bu kursorler, görüntü ekranının üzerinde hareket ederek belli bir noktada seviyenin sayısal gösterimini ve o noktadaki frekansı gösterir. Analizin spektral çözünürlüğü ve frekans aralığı dahili örnekleme hızı üretici tarafından kontrol edilir; ayrıca örnekleme hızı, harici bir darbe kaynağına da bağımlı olabilir. Böyle bir kaynak bir makinanın dönme hızına orantılı olan darbelerde olabilir, bu şekilde temel ve bazı harmonik frekanslar incelenebilir. Harmonik frekansların incelenmesi sırasında, ısındırma testleri esnasındaki dönme değişimlerine rağmen, frekans bölgesinde kararlı spektral patern görülebilir.



Şekil 6.22 Spektrumda data gösterimleri sırasındaki ölçek genişmesi

FFT tipindeki analiz cihazlarının çoğunun masa üstü bilgisayar kullanımına olanak verecek paralel ya da seri sayısal interfazları vardır. İki kanal çözümleyicilerde, yukarıda bahsedilen özelliklerden başka transfer fonksiyonu (frekans cevaplı) korelasyon fonksiyonları koherens fonksiyonları, cepstrum, faz cevapları, olasılık dağılımı ve ses şiddeti gibi daha ileri işlemler gerçekleştirilebilir.

6.4. Kayıt Cihazları

6.4.1. Seviye Kayıt Edicileri

Seviye kaydediciler, kayıt edici voltmetreler olup, bir d.c. kaydı veya doğrusal ya da logaritmik skalada, a.c. sinyalinin rms (root mean square) ortalama kare kök değerini vermektedir; bazı kaydediciler oktav ve üçüncü-oktav analiz cihazları için senkronizasyon sağlamaktadırlar, dolayısıyla filtre değiştirme, frekans kalibrasyonlu kayıt kağıdı için zamanlanmaktadır veya frekans-cevap gösterimi için üreteçler ile senkronizasyonu gerçekleştirmektedir. Bu tip kayıt cihazları zamana karşı gürültü seviyesini kaydetmek için gereklidir.

6.4.2. XY Çizicileri

Bu çizicilerde, Y planı d.c. girişi ve X planı ise, frekans orantılı d.c. sinyalini simgelemektedir. Çoğunlukla FFT ve hafızaya alınmış CRT göstericisinin kaydedilme işlemi için diğer analiz cihazları ile birlikte kullanılmaktadırlar.

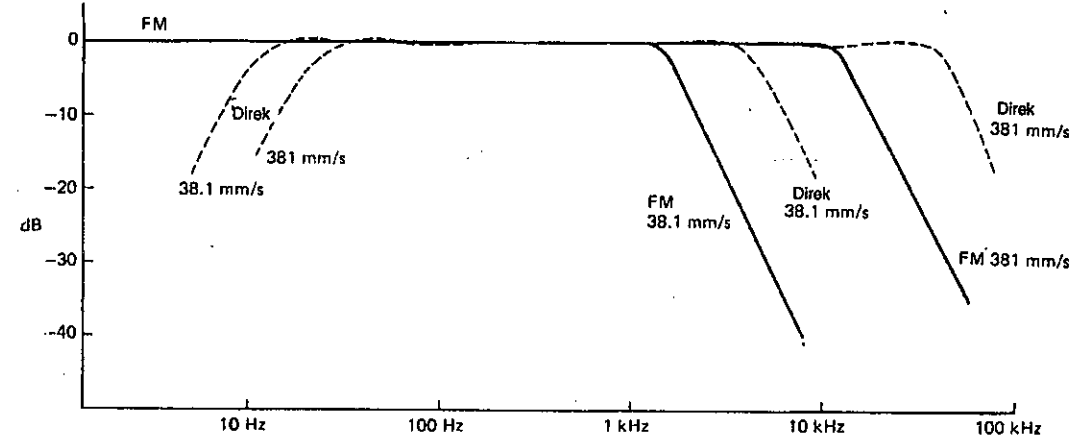
6.4.3. Sayısal Geçiş Kayıt Cihazları

Bunlar, özellikle tabanca patlaması, sonik patlama şebeke geçişleri gibi ani sesleri yakalamak için tasarlanmış özgün cihazlardır. Gelen sinyaller önceden tespit edilmiş hızlarda sayısal hale dönüştürülürler ve sonuçlar bir içten ya da dıştan tetik sistemi ile idare edildikleri zaman hafızaya alınmaktadır; bu tetik sistemi önce veya sonra tetik kayıt işlemini sağlamaktadır. Hafızaya alınmış veriler sayısal olarak veya D/A dönüştürücüsü yoluyla tekrar çağrılabilir. Bu işlem çoğunlukla, kayıt hızından yüzlerce hatta binlerce kez daha yavaş şekilde gerçekleşir; böylelikle, hızlı geçişlerin analog kayıtları yapılabilir.

6.4.4. Teyp Kayıt Cihazları

Bu cihazlar verileri alanda toplamak geyesiyle kullanılmaktadır. Enstrümantasyon teyp kayıt cihazları, yerli (domestik) tiplerden, çok daha pahalıdır, çünkü özelliklerinin kararlılığı için katı şartları kapsamaktadırlar. Di-

rekt teyp kayıt cihazları, AF sınırında kayıt işlemleri için uygundur, fakat ne zaman infrasonik sinyaller ile ilgilenilirse, FM teyp kayıt cihazları kullanılmaktadır. Menzildeki farklılık şekil 6.23 de gösterilmektedir, bu aynı zamanda teyp hızındaki değişim etkisini de göstermektedir.



Şekil 6.23 AM ve FM kaydı için tipik frekans tepki karakteristikleri.

Direkt bir teyp kayıt cihazının daha iyi sinyal/gürültü oranına sahip olması beklenebilir, fakat daha düz bir frekans ve faz tepkisi FM tipi tarafından sağlanacaktır. IRIG standartları çoğunlukla takip edilmektedir, bu durum farklı kayıt cihazlarında kayıt edilme ve tekrar gösterme işlemlerinin yapılmasına olanak tanır. Önemli standartlaşma parametreleri kafa geometrisi ve iz tasarımı bant (şerit) hızları, merkez frekansları ve frekans modülasyonunun yüzdesi olmaktadır. Şerit bobinleri, teyp kasetleri gibi kullanılmaktadır ve sonuncusunun daha iyi performans verdiği söylenebilir. Saha-enstrümantasyonuna uygun sayısal teyp kayıt edicilerdeki son gelişmeler, dinamik sınırlarda performansı önemli ölçüde arttırmaktadır. Kaydediciler 4.ciltte belli bir uzunlukta ele alınıp tartışılmaktadır.

6.5. Ses-Şiddet Analiz Cihazları

Ses-şiddeti analizi, iki-kanal analiz cihazları ile gerçekleştirilebilir. Oktav ve üç-oktav bantlarına dayanan ses-şiddeti analiz cihazları mevcut olup esasen ses-gücü ölçmeleri ve kaynaklardan ses-enerjisi akışının incelenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Ses-şiddet vektörü birim alanda ve verilen pozisyonda ses-enerjisinin net akışı olmaktadır ve ses basıncı ile o noktadaki parçacık hızının çarpımını teşkil etmektedir. Verilen bir r yönünde, şiddet vektör

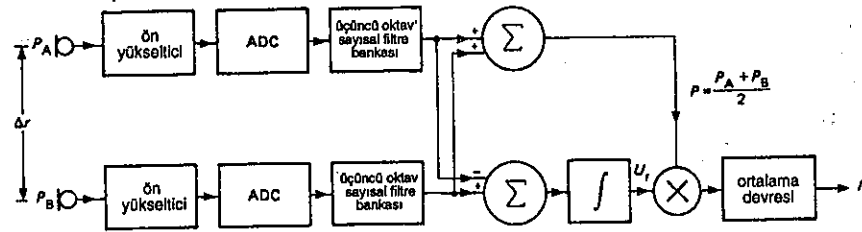
bileşeni

$$I_r = p \times \bar{u}_r$$

olarak verilir. Yatay çizgi, zaman ortalamasını göstermektedir. Parçacık hızını ölçmek için, aralarında ΔR mesafesi olan iki A ve B noktası arasındaki ses basınç farkının, zamana göre integrasyonunu almak suretiyle sonlu fark yaklaşım teknikleri kullanılmaktadır. Bu integral

$$u_r = -p_0 \int \frac{(P_B - P_A)}{\Delta R} dt$$

olarak verilir.



Şekil 6.24 İki kanal kullanmak suretiyle ses-şiddeti analizi.

Bu denklem P_A ve P_B , A ve B noktasındaki basınçlardır ve p_0 da havanın yoğunluğudur. Sistemin bir akım Şeması şekil 6.24'de verilmektedir.

Bu iki mikrofon tekniği çok yakından bağdaşmış faz ve genlik karakteristiklerine sahip olabilmek için iki transdüser ve ilgili sinyal yollarını gerektirmektedir. Sadece faz farkındaki derecenin küçük bir kesri kadarı göz ardı edilebilir. Alçak frekanslar, geniş mikrofon ayırımı (yaklaşık 50mm) gerektirmekte olup yüksek frekanslarda ise, sadece birkaç milimetrenin kullanılması lazımdır. Bu alanda hızlı gelişmeler söz konusu olmaktadır.

6.6. Ölçme Cihazlarının Kalibrasyonları

6.6.1. Resmi Kalibrasyon

Bu işlem normal olarak, cihazların ve teçhizatın periyodik olarak kalibrasyonunun yapıldığı, birincil standartların takip edildiği tasdik edilmiş laboratuvarlarda gerçekleştirilmektedir; buralarda personel, kalibrasyon teknikleri üzerine eğitilmiştir ve sıcaklık kontrol edilip atmosfer basıncı ve nem oranı doğru olarak ölçülmüştür. Resmi ölçmeler için kullanılan cihazlar, örneğin danışmanlar, çevre müfettişleri veya test laboratuvarları tarafından kullanılan aletlerin, bir veya iki sene aralarla kalibre edilip belgelendirilmesi gerekir. Ka-

librasyonda iki saha vardır: transdüserler ve ölçme, analiz, bilgi işleme cihazları. Transdüserlerin kalibrasyonu i.e. mikrofonlar, böyle bir iş için, tüm donanımları gerektirirler. Standart boyuttaki kondansatör mikrofonların mutlak karşıtlık metoduna göre basınç kalibrasyonu yapılabilir. Özel tip kondansatör mikrofon için bilinen, serbest-saha düzeltmeleri halinde, bunların basınç kalibrasyonuna eklenmesi söz konusudur. Kondansatör mikrofonların serbest saha karşıt kalibrasyonunun (IEC 486 ve BS 5679) yapılması çok zor olup, birinci sınıf 'yankısız oda' gerektirmektedir. Kondansatör tipinde olmayan (standart büyüklükte olmayan) başka olan mikrofonlar, mutlak olarak kalibre edilmiş standart yoğunlaştırıcı mikrofonlarla mukayese edilmek suretiyle kalibre edilebilirler. Bu durum tekrar bir (anechoic) yankısız odanın varlığını gerektirmektedir.

Kondansatör mikrofonların basınç kalibrasyonları elektrostatik (aktüatör) işletici parça sayesinde gerçekleştirilir. Bu yöntem standart bir metod olmasa da, karşıtlık metodu ile mukayese edildiği zaman çok iyi sonuçlar vermektedir. Uygulaması çok daha ucuzdur ve mükemmel tekrar edilebilirliğine sahiptir. 50 Hz den daha alçak frekanslar için uygun bir metot değildir. İki mikrofon şiddet grupları kalibrasyon metodları standartlaşma ve gelişme devresindedirler. Ses seviye ölçeri kalibrasyonu, komple ünite testlerinin uygulanması tavsiye edilerek standart hale getirilmiştir. Bu durum şayet mikrofon ses-seviye ölçerin gövdesine bağlanmışsa geçerli bir şart olmaktadır. Mikrofonun normalde bir uzatma kablosu boyunca kullanıldığı yerlerde mikrofonu elektronikten ayrı olarak kalibre etmek mümkün olabilir. Filtreler ve analiz cihazları saf olarak elektronik kalibrasyon gerektirirler, ancak bu işlem bilgisayar kullanılmadıkça zaman harcayan bir yöntemdir. Mikrofon kalibrasyon cihazları (Bölüm 6.25'e bakınız) çoğunlukla resmi olarak kalibre edilen aygıtlardır. Bu çalışma normal koşullarda işaretli kalibre edilmiş mikrofonlar yoluyla veya aynı cinsten, işaretli kalibratörlerin direkt karşılaştırılması yoluyla yapılmaktadır. Karmaşık analiz cihazları, özellikle sayısal interfaza sahip olanlar bütün karmaşık fonksiyonlar için bilgisayar kontrollu muayeneler ve kalibrasyonlara tabi olmaktadır. Bu işlemin elle yapılmasının maliyeti karşılamaz.

6.6.2. Saha Kalibrasyonu

Bu normal olarak kalibre edilmiş, işaretli mikrofon kalibratörünün kullanımını öngörmektedir (örneğin, bir pistonfon). Bu kalibrasyon mikrofonu bilinen bir frekansta kararlı, hassas olarak bilinen bir ses basıncını saha cihazı üzerinde (örneğin ses seviye-metresi) kullanılan bir mikrofona sağlamaktadır. Böyle "kalibrasyon", frekans bölgesinde sadece bir noktada ve seviyede olsa da, birçok standart ölçümleri için mecbur tutulan mükemmel bir testtir. Normal çalışma sırasındaki sayımları göstererek teçhizatın bakımını ve tekrar kalibrasyon ihtiyacını belirtmesi, cihazın iyi yönü olmaktadır.

6.6.3. Sistem Kalibrasyonu

Komple cihaz sistemleri (örneğin bir analiz cihazı ile veya ses-seviye ölçerli bir mikrofon ve bir teyp kayıt cihazı ile birlikte) iyi kaliteli saha kalibratörü ile kalibre edilmektedir. Kalibrasyon tek bir frekansta ve tek bir seviyede olacaktır, fakat tüm cihaz sonuçları, dar bir tolerans sınırı içerisinde sıralanır, tüm sistemde yüksek güvenilirlik derecesine ulaşılabilir.

6.6.4. Saha Sistem Kalibrasyonu

Bazı kondansatör mikrofon önyükselticileri "geçme gerilim kalibrasyon" imkânı ile donatılmışlardır. Bu metod temel olarak çoklu-mikrofon dizimleri ile kullanılır, çünkü kalibratör kullanımının gerçekleştirilmesi zaman harcayan zor bir yöntem olmaktadır. Kalıcı olarak yerleştirilmiş harici mikrofonlar içten takmalı, elektrostatik hareketlendirici bulundurabilir. Hareketlendirici düzgün (örneğin günlük) mikrofon ve sistem kontrollerine izin vermektedir.

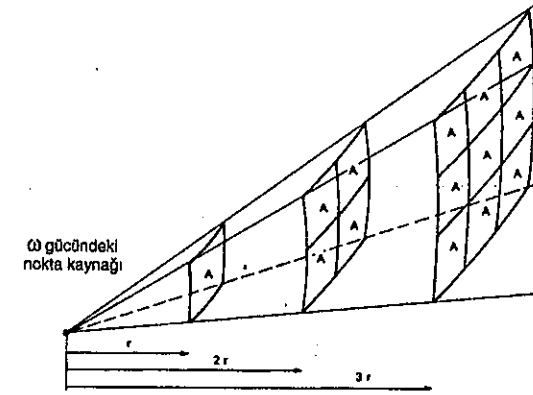
6.7. Ses-Basınç Seviyesi ve Ses Seviyesi Ölçümleri

Ses-basınç ölçülmesi (spl), hiçbir frekans süzmesi yapılmadan ölçmeyi göstermektedir, buna karşılık ses-seviyesi spl frekans süzmesine tabi olmaktadır. Bütün ölçme sistemleri frekans bölgesinde sınırlamalara tabidirler ve hatta pekçok cihazın doğrusallık imkanları olsa da, bu sınırlamaların hatırd tutulması lâzımdır.

Mikrofonların alçak frekans sınırlamaları vardır, aynı zamanda yüksek frekans sınırında karmaşık tepkime göstermektedirler ve ölçme sistemin toplam tepkisi transdüserin ve bağlı elektroniğin bileşik tepkisini meydana getirmektedir. Geniş bantlı bir sinyal ölçüldüğü zaman ve spl durumunda, işlem her zaman "Lineerlik" sınırlarının limitlerini belirleyen bir açıklama ve limitlerin dışındaki tepkime ile birlikte olmalıdır. Bu durum, özellikle yüksek seviyede infrasyon ve/veya ultrason olduğu zaman doğrudur.

Ses seviyesinin ölçülmesinde düşük frekans performansı, ağırlık filtresinin şekliyle belirlenmektedir. Ağırlık şebekelerinin toleransları bu bölgede çok genişler ve mikrofonlar yüksek derecede yönlenme göstermektedirler (Bölüm 6.2.1'e bakınız) ve mikrofonun tepkisinin doğrusallığından sapmalar da olabilir. Ses-basınç seviyesi veya ses seviyesi uzayda bir noktaya uygulanabilen bir değerdir. Bu nokta, mikrofon diyaframının yerleşmiş olduğu noktadır. Ses kaynağı veya kaynaklarının yerleri ve emme ve yansıtma yüzeylerinin de sabit olduğu bu özel noktada, yansıtıcı seviyesine de uygulanmaktadır. Boş serbest uzayda yansıtıcı yüzeylerinin olmadığı hallerde, bir kaynaktan

yayınlanan sesler Şekil 6.25'de gösterildiği gibi ilerleyecektir. Buna karşılık pekçok pratik ses kaynağı karmaşık frekanslara ve radyasyon paternlerine sahiptir. Bu halde mikrofonun pozisyonu, kaynaktan uzaklığı ve radyasyon paterni önem arz etmektedir. Serbest uzayda, ses dalgaları düz dalgalara yaklaşırlar.



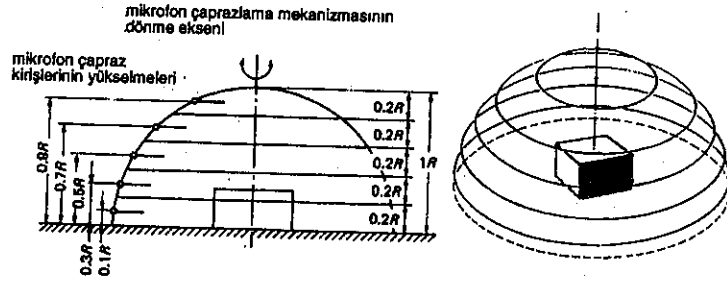
Şekil 6.25: Bir kaynaktan çıkan ses yayılımı

6.7.1 Zaman Ortalaması.

Ses basınç-seviyesi veya ses seviyesi ölçülmesi (süzülmüş ses-basınç seviyesi), başka şekilde söylenmediği müddetçe, rms değerinin ölçüsü ve standart referans basıncına göre ($20 \mu P_a$) desibel olarak sonuçların bir gösterimi olmaktadır. rms değeri üstel ortalama ile ölçülmektedir, yani bu işlem ses-seviye metreleri için standartlaşmış geçici ağırlıklar veya zaman sabiti olmaktadır. Bunlar F ve S olarak bilinmektedirler (önceleri hızlı ve yavaş anlamına gelmektedir). Modern cihazlarda, rms değeri geniş-sınırlı log. ortalama kare algılayıcıları ile sağlanmaktadır. Sonuçlar desibel olarak kalibre edilmiş bir analog metre üzerinde sayısal gösterici veya logaritmik bir biçimde sunulmaktadır. Bazı cihazlar "ani" veya "tepe" değerini sağlamaktadırlar.

Özel algılayıcılar bu amaçla kullanılmakta olup, mikrosaniyeler boyunca süren doğru sinyal değerini verebilecek kapasitededirler. Tepe okumaları çoğunlukla "doğrusal" frekans ayıklanma işlemi ile birlikte ele alınırlar. Yukarıda bahsedilenlere ilave olarak, darbe-ölçme kolaylıkları bazı ses-seviye ölçüm cihazlarına ilave edilmişlerdir. Bunlar özel algılayıcılarıdır ve kısa süreli geçici seslere çok çabuk cevap veren ortalayıcı devreler kullanılmaktadır; fakat bu algılayıcılar ulaşılan maksimum değerden çok yavaş sönümler vermektedir. Bu eserin yazılması sırasında hiçbir İngiliz ölçü standardı veya nizamnamesi darbe değerinin kullanılmasına izin vermemekte idi, şu istisna ile ki hedef ya da amaç sesin darbeleri karakter niteliği taşıyıp taşımadığını araştırmak

olsun... Maksimum "Hızlı" seviye için bir özel şart, BS 3425 ve ISO 362'ye göre araç kullanım testi idi. "Yavaş" tepki, hızlı moddan biraz daha az dalgalanmalı okuma vermekteydi ve temel kullanımı dalgalanmayı gidermek amacını taşımaktaydı.



Şekil 6.26 Mikrofon çapraz kirişleri aynı eksenli dairesel yollar.

"İmpuls" zaman süzgeci (veya ağırlıklandırması) IEC 651 ve BS 5969 a göre bazı ses-seviye ölçerlerinde bulunabilmektedir. Bu şekildeki zaman süzgeci (veya ağırlığı alınması) ortaya çıktığı Batı Almanya'da kullanılmaktadır. Bu özelliği taşıyan ölçerlerin değerleri hızlı veya yavaş modda kullanıldıklarında mükemmel rms algılama kabiliyetlerine dayanmaktadır. Arasına ağırlıklandırılmamış maksimum ani basıncın ölçülmesi için gerekli bir şart vardır. Bu ölçme lineer tepkimeli ses-seviye ölçeri veya bir mikrofon ve yükseltici ile gerçekleştirilebilir. Maksimum ani değer, aynı zamanda tepe değeri olarak da bilinir, a. akım çıkışını bir osiloskop üzerinde göstermek suretiyle veya çok kısa yükselme zamanlarına (sinyalin) tepki verebilen ve darbenin tepe noktasını "dondurma" yeteneğine sahip olan bir cihaz tarafından gerçekleştirilebilir. Bu tutma devrelerinin sınırlamaları vardır ve özelliklerinin dikkatlice incelenmesi gerekmektedir. Tepe değeri toplam frekans ve sistemin faz tepkisi tarafından etkilenebilir.

6.7.2. Uzun zaman ortalaması

Çevre nizamnamesinin şart koştuğu belli bir zaman periyodu boyunca bir noktadaki toplam ses enerjisinin ölçülmesi (belkide birgün boyunca) için özel kurallar uygulanmaktadır. Çevresel kurallar inşaat yapımı veya yıkımı sırasında meydana gelen gürültüler vs. ile ilgili olabilmektedir. İstenen sonuç L_{eq} veya eşdeğer ses seviyesi cinsinden olabilir. Eşdeğer ses seviyesi, söz konusu olan gürültü ile aynı ses enerjisini göstermektedir, ancak zamanla dalgalanma yapmaktadır. Doğru değer elde edilmesinde en başarılı yöntem, bir

tümleyici/ortalayıcı ses-seviye ölçeri, (doğru tipteki IEC 804) kullanmaktır. Dalgalanmaların çok şiddetli olmadığı koşullarda, Tip 2 yeterli olabilecektir.

SEL olarak bilinen (ses-pozlanma seviyesi), normal olarak tümleyici ses-seviye ölçerlerinde mevcuttur ve örneğin uçak sesini ya da bir patlama gibi, kısa süreli olayları belirlemek amacıyla, bazen kullanılmaktadır. Burada ölçülen toplam enerji, 1s içinde meydana gelmiş gibi gösterilmektedir. Günümüzde İngiltere'de SEL'in özel kullanımı için standartlar yoktur.

6.7.3. İstatiksel Dağılım ve Yüzdeleler

Trafik gürültüsü ve çevre gürültüsü, istatiksel olarak gösterilebilir. Mikrofonların toprağa göre veya binaların konumuna göre olan yerleri, ilgili yönetmeliklerde belirtilmiştir. Yüzde değerleri mecburi parametrelerdir. L_{10} , ölçme zamanının %10'u ya da yukarısında olan bir seviyedir ve L_{50} zamanın %50 sini aştığı seviyedir. Değerler bölüm 6.2.3.2'de tartışıldığı gibi, gürültünün kümülatif dağılımından türetilmiştir.

6.7.4. Uzay Ortalaması

Odalar arasında ses izolasyon miktarını tespit etmek için, ses bir odada oluşturulur ve ölçülür ve aynı zamanda komşu oda içinde de ölçülür. Frekansla ilgili olan izolasyon kalitesi hakkında bilgi alabilmek ve bu bilgiyi ISO ve BS standartlarına göre toparlamak için, ölçmeler oktav ve üç-oktav bantlarında gerçekleştirilmiştir. Ses normal olarak açık bant (beyaz) gürültü veya gürültü bantları şeklinde üretilmektedir. Mecbur tutulan değer, bir odadan diğerine akustik enerji transferini göstermesi gerektiğinden ve her odadaki ses dağılımı karmaşık bir yapıda olabileceği için, uzaysal ortalama'nın her odada yapılması gerekir. Bant-basınç seviyeleri her mikrofon yeri için not edilmeli ve ortalama değerin bulunması gerekmektedir. Her frekans bandı için uzay ortalaması

$$L_p = 10 \log \left\{ \frac{1}{N} \left[\sum_{i=1}^N 10^{0.1 L_{pi}} \right] \right\}$$

L_p = Uzaysal ortalama seviyesi

Burada L_{pi} , i inci ölçme noktasındaki ses-basınç seviyesidir ve N ölçme noktalarının toplam sayısıdır. Her bantta, mikrofon yerleşim noktaları üzerinde büyük farklar bulunursa, çok sayıda ölçme noktasının kullanılması gerekir. Sadece küçük düzeyde oynamalar meydana gelirse, o zaman aritmetik ortalama değerin kullanılması yasal olmaktadır. Bu tip bir ölçüm özel noktalara

yerleştirilmiş bir mikrofonla gerçekleştirilebilir ve her noktada uygun zaman ortalaması yapıldığından emin olunarak seviyeler kaydedilirler.

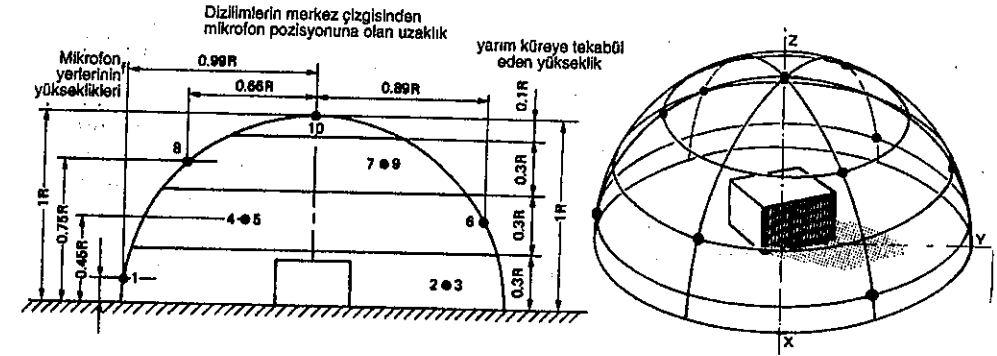
Çıkışları, ortalama alabilen bir analiz cihazına besleyebilen bir dizi mikrofon ve tarama düzenlemesi kullanmak mümkündür. Uzaysal ortalama değer, dönen kılavuz üzerinde mikrofon kullanarak ve çıkışı ortalama yapma imkânı olan bir çözümleyiciye beslemek suretiyle elde edilebilir. Ortalama alma işlemi, kılavuzun bir sıra tamamlanmış dönüşlerini kapsaması gerekir. Tümleme/ortalama alma işlemlerinde bir ses-seviye ölçeri hiçbir hesaplama ya gerek kalmaksızın uzaysal ortalama değeri elde etmek için kullanılabilir. Bu işlemler önceden belirlenmiş her yerde ve eşit zaman aralıklarında ortalama fonksiyonun aktivasyonunu gerektirmektedir ve cihaza, değerlerin toplam L_{eq} şeklinde ortalama alınmasına izin vermektedir. Her ölçü noktasına karşılık gelen eşit zamanda, L_{eq} = uzay ortalaması olmaktadır.

6.7.5. Ses Gücünün Belirlenmesi

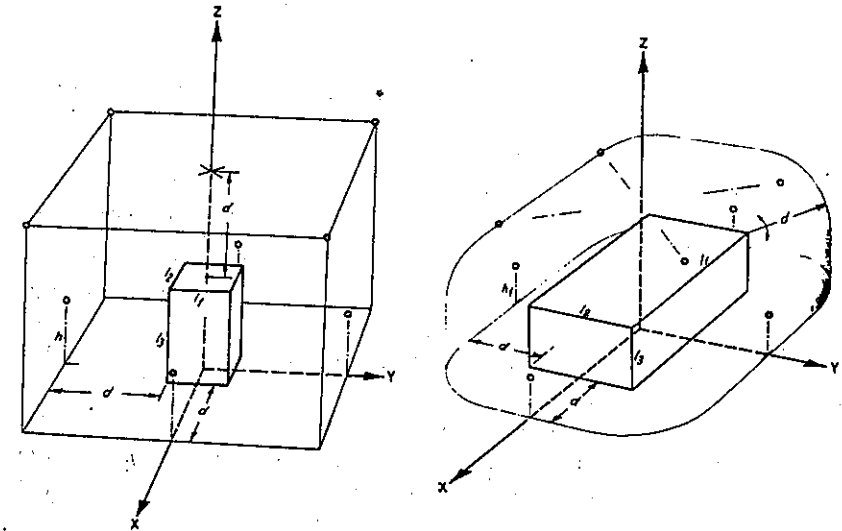
Kaynaklardan çıkan seslerin çok karmaşık şekilleri ya da modelleri olabilir ve bir kaynağın civarındaki ses de çevresinin bir fonksiyonu olabilir. Ses yayının karakteristiklerinin belirlenmesi, belli bir uzaklıkta bir ya da iki ölçme yapmak suretiyle ve hatta böyle pekçok ölçüm yaparak belirlenemez. Bu işlem için tek çözüm kaynağın yayındığı toplam ses gücünü ölçmektir. Bu işlemin özel akustik koşullarda gerçekleştirilmesi gerekir. ISO 3740-3746 ve BS4196 bu tip denemeler için uygun akustik koşulları vermekte olup farklı şartlardaki belirsizlikleri tanımlamaktadır. Bu standartlar ses kaynağını içeren teorik bir küre, ya da yarım daire veya "kutu" üzerinden basınç ölçmelerini, uzaysal ortalama hesabını ve son olarak ses basınç seviyesi ölçmelerini $1\mu W$ 'a göre veya ses gücünün wat değerine göre gerçekleştirmektedir. Sonuçlar çoğu kez oktav veya üç-oktav bantları olarak verilir veya A-ağırlık ortalaması alınmıştır. Şekil 6.27 ve 6.28, bir mikrofon için uygun pozisyonları göstermektedir.

Ses gücünü, ses basıncı ölçmesinden elde etmenin en büyük dezavantajı, çok özel iyi tanımlanmış akustik koşullara gereksinim olduğudur ve ölçümlerdeki düşük belirsizlikler için böyle koşullara ulaşmak pahalıdır ve çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Büyük ve ağır makinalar, çok geniş boş alan ya da büyük odalar gerektirmektedir; ayrıca cihazların da bu tip yerlerde kullanılabilir olması gerekir (yakıt stokları, egzost gazlarının atımı, yüklerle bağdaşım, vites kutusuna bağlantı vs. gibi...)

Küçük ses kaynakları ile ölçmeleri yerinde "yanına koyma" veya "yerine koyma" metodlarıyla yapmak mümkündür. Bu metodlar, kaynak gürültüsünün, kapalı bir yerde bir noktada ölçülmesine dayanmaktadır ve sonuçları kaydettikten sonra gürültü kaynağını kaldırıp onun yerine kalibre



Şekil 6.27 Bir yarım küre yüzeyinde, eşit alanlarda mikrofon durumları



Şekil 6.28 Bir paralelepiped ve konformal yüzey üzerindeki mikrofon pozisyonları.

edilmiş bir ses kaynağı yerleştirmek ve okunan ses basınç değerlerini karşılaştırma esasına dayanmaktadır. Eğer bilinen ses kaynağı bir noktada XdB okuması sağlarsa ve kalibre edilmiş kaynaktaki X + N dB yi veremekteyse, o zaman bilinmeyen kaynağın ses-gücü seviyesi NdB olup kalibre edilmiş kaynağa göre daha az olmaktadır. Kalibrasyonu yayılmış kaynak değişken, ancak kalibre edilmiş çıkışa sahip olabilir.

Bilinmeyen gürültü kaynağını durdurmanın mümkün olmadığı durumlarda, çıkış ayarlanabilir ve böylece iki kaynak beraberce, aynı yerde ya da birbirlerine yakın olarak 3dB mertebesinde bilinmeyen kaynaktan daha yüksek bir değer verebilirler. Bu durum meydana geldiği zaman bütün kaynakların güç çıkışları aynı olmaktadır. Yukarıda bahsedilen iki metod kullanımı açısından basittir ve sadece yaklaşım metodu olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

6.7.6. Ses-Şiddeti Yoluyla Ses-Gücünün Ölçülmesi

Basınç yoluyla doğru ve güvenilir ses-gücü ölçülmesinin ya açık bir alanda veya yankısız bir odada serbest alan koşulları ya da çok yansıtımlı bir oda içinde iyi diffüze olmuş bir alan gerektirmektedir. Bu durum en büyük dezavantajını teşkil etmektedir. Açık alanlarda, yağmur ve rüzgar olmayan yerler bulmak zordur. Yankısız odalara sahip olmak pahalı olmaktadır ve alçak frekanslarda iyi derecede yankısız koşullara sahip olmak zordur ve makina aksamını da alıp odaya yerleştirmek pratik olmamaktadır. Çok ve sürekli yansıtımlı odaların inşaatı da pahalı bir işlem olup, içlerinde yayma alan koşulları elde etmeyi başarmak kolay bir iş değildir.

Bütün bu verilen koşullar ışığında, taşıma, güç üretimi, dişli çarklar, yükler vs, makinaların ihtiyaç duyduğu şeyler olup bu durum diğer kaynakların veya gürültünün ölçme işlemini etkileyebileceğini göstermektedir.

Bölüm 6.5.'de tartışıldığı gibi ses şiddetini ölçme tekniği, kaynak tarafından yayınlanan ses gücünün ölçülmesine bazı koşullarda olanak sağlamaktadır. Bu koşullar basınç-ölçme tekniklerine karşıt olarak düşünülebilir. Herhangi uygun bir yerde örneğin yapıp monte edildiği veya normal çalıştığı fabrika zemininde, geniş veya dar kapalı yerlerde, yansıtıcı yüzeylerin yakınlarında ve en önemlisi, basınç metodunu imkânsız hale sokaçak diğer gürültü kaynaklarının yakınlarında, kaynağın kullanılmasına olanak tanır. Bir zincirdeki, bir elemanın ses gücü çıkışının tahmin edilmesine izin verir.

Günümüzde ses gücü ile ilgili bu tekniğin kullanımı için standartlar hazırlanmıştır fakat pekçok avantajlarından dolayı, teknik geniş çapta kabul görmektedir. Bunlara ilave olarak, karmaşık bir makina içerisinde kaynakların

doğru yerleştirilmelerine müsaade etmek suretiyle enerji akışına yön vermesinden dolayı çok büyük öneme haizdir.

6.8. Çevresel Koşulların Ölçmelere Olan Etkisi

6.8.1. Sıcaklık

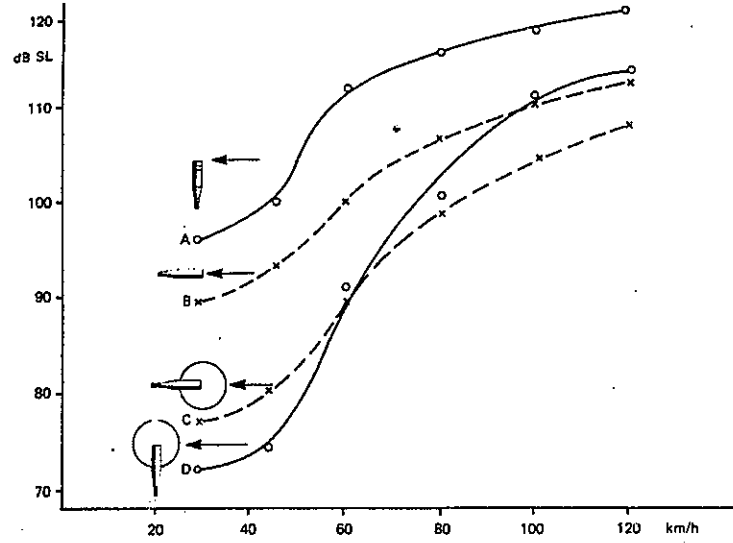
En fazla üzerinde durulan çevre koşulu sıcaklık olmaktadır. Verilen cihaz özelliklerinin öğrenilmesi sırasında, cihazın rahat bir şekilde çalışabileceği sıcaklık sınır değerlerine bakılır ve bazı hallerde de verimine olan etkisi (çoğunlukla küçük olur) araştırılır. Saklama sıcaklıkları da, kataloglarda verilebilir. Her zaman hava sıcaklığına bakmak yeterli olmayabilir; metal cihazlar kalibratörler, mikrofonlar vs. güneş ışığı ile çok yüksek sıcaklıklara kadar ısınabilirler. Çok düşük sıcaklıklarda saklanan cihazlar (örneğin kış ortasında arabının bagajında taşınanlar) sıcak veya nemli ortamlara getirildikleri zaman yoğunlaşmadan dolayı nemlenebilir ve bu yüzden de verimleri etkilenebilir. Bunlara ilave olarak, düşük sıcaklıklarda batarya ömrü önemli ölçüde kısalmaktadır.

6.8.2. Nem ve Yağmur

Cihazların dizaynında dikkate alınan göreceli nemlilik sınırı, teknik özelliklerde normal olarak verilmektedir. Korunmasız cihazlara direk olarak gelen yağmurdan kaçınmak gerekmektedir. Mikrofonlar, üreticilerin şart koştuğu koruma önlemlerini gerektirir.

6.8.3. Rüzgar

Rüzgâr herhalde en zararlı etkidir. Bir mikrofonun diaframına esen rüzgâr, çıkışın, esasen spektrumun alt kenarında yer almasına sebep olmaktadır (Şekil 6.29).



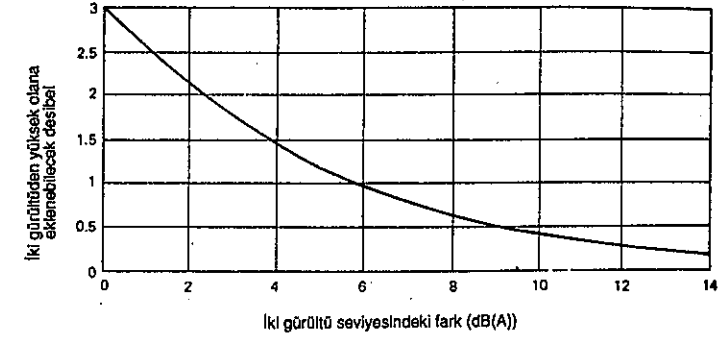
Şekil 6.29 Bir koni içerisinde yerleştirilmiş yarım-inç serbest-alan mikrofonunda indüklenen gürültü seviyeleri. A: Standart koruyucu ızgara ile, rüzgar diyaframa paraleldir. B: A şeklinde, yalnız, rüzgar diyaframa dikey ile gelmektedir. C: Rüzgar perdesi eşliğinde B gibidir. D: Rüzgar perdesi eşliğinde A gibidir.

Çok rüzgarlı koşullarda, ciddi ölçmeler yapabilmek pratik olarak imkânsızdır; hatta düşük seviyeli gürültüleri hafif rüzgar koşullarında bile ölçebilmek mümkün değildir.

Kalıcı gürültü ölçme sistemlerine bir rüzgar ölçeri ilave etmek alışılmış uygulama olmaktadır ve bu sayede yüksek rüzgar koşulları belirlenebilir ve buna göre ölçümler elimine edilebilir ya da şüphe ile yaklaşılabilir. Mikrofonlar üzerindeki rüzgâr perdelerinin bazı katkıları olmasına rağmen, problemleri ortadan kaldırmamaktadır. Perdelerin diyaframı tozdan ve kimyasal kirlenmeden ve hatta yağmurdan korumasından dolayı faydaları da vardır. Bütün rüzgâr perdelerinin, mikrofonların frekans teknikleri üzerine bazı etkileri vardır.

6.8.4. Diğer Gürültüler

Bir gürültünün ölçülmesi, diğer bir gürültünün olması durumunda, ölçülen gürültü, diğerinden en az 10 dB'den daha fazla değilse, bazı problemler meydana getirebilir. Anlatılan iki gürültü kaynağının eşit veya benzer spektrumları olmaması durumunda ve iki kaynak da zamana göre kararlı işler düzeltmeler şekil 6.30'da gösterildiği gibi yapılabilir.



Şekil 6.30 Gürültü-seviyesi ekleme grafiği

Ses şiddeti ölçme teknikleri ölçülecek gürültü şiddeti mertebesinde veya daha yüksek değerlerdeki gürültülerin olması durumunda da başarılı bir şekilde kullanılmaktadır.

Ek 6.1.

Standartlar gürültü aygıt düzenlerinde önemli bir rol oynamaktadırlar. Dolayısıyla biz, uluslararası ve İngiliz dökümanlarının önemli olanlarını veriyoruz.

BS 4727, 3. kısım, Grup 08 (1985), "İngiliz Standartları, Akustik ve Elektroakustik Terminoloji Sözlüğü" özellikle yardımcı olmaktadır. Bu standart genel terimleri geniş ölçüde kapsamakta olup, çok değişik seviyeleri tanımlamaktadır. Ayrıca aktarım ve yayılım, salınımlar, dönüştürücüler ve aparatlarla beraber psikolojik ve mimari akustik konularla da ilgilenmektedir.

Uluslararası Standartlar	İngiliz Standartları	İsim
IEC 225	BS 2475	Ses ve Titreşim Analizi Üzerine Oktav ve Üç-oktav Filtreleri.
IEC 327	BS 5677	Karşıtlık Yöntemiyle, Bir İnçlik Standart Kondansatör Mikrofonların Kesin Basınç Kalibrasyon Metotları.
IEC 402	BS 5678	Karşıtlık Yöntemiyle Bir İnçlik Kondansatör Mikrofonla, Basitleştirilmiş Basınç Kalibrasyon Metodu.

IEC 486	BS 5679	Bir İnç Standart Kondansatör Mikrofonların Serbest Alan Kalibrasyonu Kesin Metodu.
IEC 537	BS 5721	Uçak Gürültü Ölçümü İçin Frekans Süzmesi
IEC 651	BS 5969	Ses Seviye Ölçerleri.
IEC 655	BS 5941	Serbest Alan ve Basınç Hassasiyet Seviyeleri Arasındaki Fark İçin Değerler (Bir İnç Standart Yoğunlaştırıcı Mikrofonlar İçin).
IEC 704		Evle İlgili ve Benzer Elektrik Cihazlarının yayımlandığı Havadaki Akustik Gürültü Belirlenmesinde Test Kodları.
IEC 804	BS 6698	Tümleyen/Ortalayan Ses-Seviye Ölçerleri.
ISO 140	BS 2750	Binalardaki Havadar ve Çarpma Ses Geçiriminin Saha ve Laboratuvar Ölçümleri.
ISO 226	BS 3383	Sat Tonlar ve Serbest Alan Dinleme Koşullarında Normal İşitme Sınırı İçin Normal Eşdeğer Ses Eğrileri.
ISO 226	BS 3593	Akustik Ölçümlerde Tercihli Frekanslar.
ISO 362	BS 3425	Motorlu Taşıt Araçlarından çıkan gürültüyü Ölçme Metodları.
ISO 717	BS 5821	Yapılarda ve Yapı Elemanlarında Ses İzolasyonu Değerlendirmesi.
ISO 532	BS 4198	Yüksek Gürlük Hesaplama Metodları.
ISO R. 1996	BS 4142	Karışık Yerleşim ve Endüstriyel Bölgeleri Etkileyen Endüstriyel Gürültü Değerlendirme Yöntemleri.
ISO 1999	BS 5330	Akustik-İşitme Koruması Amacı İçin Gürültüye maruz Kalmanın Değerlendirilmesi.
ISO 2204		Akustik-Atmosferde Gürültü Ölçümü ve İnsan Üzerine Etkilerinin Ölçüm Kılavuzu.
ISO 3352		Akustik-Konuşmanın Anlaşılması Üzerine Gürültü Etkisinin Değerlendirilmesi.
ISO 3740-3746	BS4196	Makinaların Yayıdığı Gürültü Ölçme metodu (1-6 kısımlar) du Seçme Kılavuzu.

ISO 3891	BS 5727	Akustik-Yerde İşitilen Uçak Gürültüsü Tanımlama Yöntemi.
ISO 4871		Akustik-Makinaların Gürültü Markalanması.
ISO 4872		Akustik-Harici İşlerde Kullanılan, İnşaat Ekipmanının Yayınladığı Gürültüyü Ölçme Metodu-Gürültü Limitlerine Uyumu Belirleme Yöntemleri.
ISO 5130		Akustik-Duran Araç Gürültüsü Ölçümü-Kontrol Metodu.
ISO 6393		Akustik-Yürüyen Cihazların Çıkardığı Gürültüyü Ölçme; Uyma Durumunu Dış gürültü Sınırları ile Beraber Belirleme Metodu-Kalıcı Test Koşulları.
	BS 5228	İnşaat ve Yıkım Sahalarında Gürültü Kontrolü.
	BS 6402	Personel Ses-Pozlama Ölçerlerinin Özellikleri.

1.10 KAYNAKÇA

- Analog Devices, *Data Acquisition Databook*, Analog Devices, Norwood, Mass. pp. 10, 123-125 (1984).
- Arbel, A.F. *Analog Signal Processing and Instrumentation*, Cambridge University, Press, Cambridge (1980).
- Bailey, A.E. Units and standards of measurement, *J. Phys. E: Sci Instrum*, 15, 849-856 (1982).
- Bishop, J. and Cohen, E. "Hall effect devices in power measurement", *Electronic Engineering* (GB), 45, No. 548, 57-61 (1973).
- British Standards Institution, BS 3938: 1973: *Specification for Current Transformers*, BSI, London (1973).
- British Standards Institution. BS 3941X1974: *Specification for Voltage Transformers*, BSI, London (1974).
- British Standards Institution, BS 89:1977: *Specification for Direct Acting Electrical Measuring Instruments and their Accessories*, BSI, London (1977).
- Brodie, B. "A 160 ppm digital voltmeter for use in ac calibration", *Electronic Engineering* (GB), 56, No. 693, 53-59 (1984).
- Clarke, F.J.J. and Stockton, J.R. "Principles and theory of wattmeter operating on the basis of regularly spaced sample pairs", *J. Phys. E: Sci. Instrum*, 15, 645-652 (1982).
- Dix, C.H. "Calculated performance of a digital sampling wattmeter using systematic sampling", *Proc. I.E.E.*, 129, Part A, No.3, 172-175 (1982).
- Dix, C.H. and Bailey, A.E. "Electrical Standards of Measurement-Part 1 D.C. and low frequency standards; *Proc. I.E.E.*, 122, 1018-1036 (1975)
- Fantom, A.E. *Microwave Power Measurement*, Peter Peregrinus for the I.E.E. Hitchin (1985).
- Froelich, M. "The influence of the pH value of the electrolyte on the e.m.f. stability of the international Weston cell", *Metrologia*, 10, 35-39 (1974).
- Goldman, D.T. and Bell, R.J. *SI: The International System of Units*, HMSO, London (1982).
- Golding, E.W. and Widdis, F.C. *Electrical Measurements and Measuring Instruments*, 5th edn, Pitman, London (1963)
- Gregory, B.A. *Electrical Instrumentation*, Macmillan, London (1973).
- Gumbrecht, A.J. *Principles of Interference Rejection*, Solartron DVM Monog-

raph No.3, Solartron, Farnborough (1972).

- Hague, B. and Foord, T.R. *Alternating Current Bridge Methods*, Pitman, London (1971).
- Harris, F.K. *Electrical Measurements*, John Wiley, New York (1966).
- Hewlett Packard. *Fundamentals of Time and Frequency Standards*, Application Note 52-1, Hewlett Packard, Palo Alto, CA (1974).
- Hewlett Packard. *Fundamentals of Microwave Frequency Counters*, Application Note 200-1 Hewlett Packard, Palo Alto, CA (1977a).
- Hewlett Packard. *Understanding Frequency Counter Specifications*, Application Note 200-4, Hewlett Packard, Palo Alto, CA (1977b).
- Hewlett Packard. *Fundamentals of RF and Microwave Power Measurements*, Application Note 64-1, Hewlett Packard, Palo Alto, CA (1978).
- Hugill, A.L. "Displacement transducers based on reactive sensors in transformer ratio bridge circuits", in *Instrument Science and Technology*, Volume 2, ed. B.E. Jones, Adam Hilger, Bristol (1983).
- Josephson, B.D. "Supercurrents through barriers", *Phys. Letters*, 1, 251 (1962).
- Kibble, B.P., Smith, R.C. and Robinson, I.A. "The NPL moving coil-ampere determination", *I.E.E.E. Trans.*, IM-32, 141-143 (1983).
- Matouka, M.F. "A wide-range digital power/energy meter for systems with non-sinusoidal waveforms", *I.E.E.E. Trans.*, IE-29, 18-31 (1982).
- Miljanic, P.N., Stojanovic, B. and Petrovic, V. "On the electronic three-phase active and reactive power measurement", *I.E.E.E. Trans.*, IM-27, 452-455 (1978).
- NBS: NBS Monograph 84: *Standard Cells-Their Construction, Maintenance, and Characteristics*, NBS, Washington, DC (1965).
- Neubert, H.P.K. *Instrument transducers*, 2nd edn, Oxford University Press, London (1975).
- Oliver, B.M. and Cage, J.M. *Electronic Measurements and Instrumentation*, McGraw-Hill, New York (1971).
- Owens, A.R. "Digital signal conditioning and conversion"; in *Instrument Science and Technology*, Volume 2, ed. B.E. Jones, Adam Hilger, Bristol (1983).
- Pearce, J.R. "Scanning, A-to-D conversion and interference", *Solartron Tech-*

nical Report Number 012/83, Solartron Instruments, Farnborough (1983).

Pitman, J.C. "Digital voltmeters: a new analogue to digital conversion technique" *Electronic Technology* (GB), 12, No.6, 123-125 (1978).

Rathore, T.S. "Theorems on power, mean and RMS values of uniformly sampled periodic signals", *Proc. I.E.E.*, 131, Part A, No.8, 598-600 (1984).

Rayner, G.H. "An absolute determination of resistance by Campbell's method", *Metrologia*, 3, 8-11 (1967).

Simeon, A. O. and McKay, C.D. "Electronic wattmeter with differential inputs" *Electronic Engineering* (GB), 53, No. 648, 75-85 (1981).

Sheingold, D.H. *Analog/digital Conversion Notes*, Analog Devices, Norwood, Mass. (1977).

Somlo, P.I. and Hunter, J.D. *Microwave Impedance Measurement*, Peter Peregrinus for I.E.E., Hitchin (1985).

Spreadbury, P.J. "Electronic voltage standards", *Electronics and Power*, 27, 140-142 (1981).

Steele, J.A., Ditchfield, C.R. and Bailey, A.E. "Electrical standards of measurement Part 2: r.f. and microwave standards", *Proc. I.E.E.*, 122., 1037-1053 (1975).

Stone, N.W.B. et al. "Electrical standards of measurements Part 3: submillimetre wave measurements and standards", *Proc. I.E.E.* 122, 1053-1070 (1975).

Tagg, G.F. *Electrical Indicating Instruments*, Butterworths London (1974).

Thompson, A.M. and Lampard, D.G. "A new theorem in electrostatics with applications to calculable standards of capacitance", *Nature* (GB), 177, 888 (1956).

Vigoureux, P. "A determination of the ampere", *Metrologia*, 1, 3-7 (1965).

Vigoureux, P. *Units and Standards for Electromagnetism*, Wykenham Publications, London (1971).

2.9 Kaynakça

American National Standards Institute, Standards for the Safe Use of Lasers
Beynon, J.D. E. *Charge Coupled Devices and their Applications*, McGraw-Hill, New York (1979)

BS 4727, *Glossary of Terms Particular to Light and Colour* (1970)

BS 4803, *Guide on Protection of Personnel against Hazards from Laser radiation* (1983)

Brown, S. and Tarrant, A. W. S. *A Sensitive Spectroradiometer using a Boxcar Detector*, Association International de la Couleur (1981)

Chamberlin, G.J. and Chamberlin, D.G. *Colour: its Measurement, Computation and Application*, Heyden, London (1979)

Commission Internationale de l'Eclairage, *The Spectroradiometric Measurement of Light Sources*, CIE Pub. No. 63 (1984)

Dudley, W. W. *Carbon dioxide Lasers, Effects and Applications*, Academic Press, London (1976)

Dresler, A. and Frühling, H. S. 'Über ein Photoelektrische Dreifarben Messgerät', *Das Licht*, 11, 238 (1938)

Forsythe, W. E. *The Measurement of Radiant Energy*, McGraw-Hill, New York (1941)

Fry, P. W. 'Silicon photodiode arrays', *J. Sci. Inst.*, 8, 337 (1975)

Geutler, G. *Die Farbe*, 23, 191 (1974)

Heavens, O. S. *Lasers*, Duckworth, London (1971)

Henderson, S. T. *J. Phys. D.*, 3, 255 (1970)

Henderson, S. T. and Marsden, A. M. *Lamps and Lighting*, Edward Arnold, London (1972)

IEC - CIE, *International Lighting Vocabulary*

Judd, D. B. and Wysecki, G. *Color in Business, Science and Industry*, Wiley, New York (1975)

Koechner, W. *Solid State Laser Engineering*, Springer, New York (1976)

Lawson, W. D. 'Thermal imaging', in *Electronic Imaging* (eds T. P. Mclean and P. Schagen), Academic Press, London (1979)

Longhurst, R. S. *Geometrical and Physical Optics*, Longman, London (1974)

- Mooradian, A., Jaeger, T. and Stokseth, P. *Tuneable Lasers and Applications*, Springer, New York (1976)
- Moore, J. 'Sources of error in spectro-radiometry', *Lighting Research and Technology*, 12, 213 (1984)
- Nichols, L. W. and Laner, J. *Applied Optics*, 7, 1757 (1968)
- Pivovonsky, M. and Nagel, M. *Tables of Blackbody Radiation Functions*, Macmillan, London (1961)
- Safety in Universities-Notes for Guidance, Part 2:1, Lasers, Association of Commonwealth Universities (1978)
- Steck, B. 'Effects of optical radiation on man', *Lighting Research and Technology*, 14, 130 (1982)
- Tarrant, A. W. S. *Some Work on the SPD of Daylight*, PhD thesis, University of Surrey (1967)
- Tarrant, A. W. S. 'The nature of colour-the physicist's viewpoint', in *Natural Colours for Food and other Uses* (ed. Counsell, J. N.), Applied Science, London (1981)
- Thewlis, J. (ed.) *Encyclopaedic Dictionary of Physics*, Vol. I, p. 553, Pergamon, Oxford (1961)
- Walsh, J. W. T. *Photometry*, Dover, London (1958)
- Wright, W. D. *The Measurement of Colour*, Hilger, Bristol (1969)
- Young, A. R., Magnus, I. A. and Gibbs, N. K. 'Ultraviolet radiation radiometry of solar simulation', *Proc. Conf. on Light Measurement*, SPIE, Vol. 262 (1980)

3.4 Kaynakça

- Birks, J.B. *The Theory and Practice of Scintillation Counting*, Pergamon Press, Oxford (1964).
- Dearnaley, G. and Northrup, D.C. *Semiconductor Counters for Nuclear Radiations*, Spon, London (1966).
- Eichholz, G.G. and Poston, J.W. *Principles of Nuclear Radiation Detection*, Wiley, Chichester (1979).
- Fremelin, J.H. *Applications of Nuclear Physics*, English Universities Press, London (1964).
- Heath, R.L. *Scintillation Spectrometry Gamma-Ray Spectrum Catalogue*,

- Vols I and II: USAEC Report IDO-16880. Washington (1964).
- Hoffer, P.B., Beck, R.N. and Gottschalk, A (eds) *Semiconductor Detectors in the Future of Nuclear Medicine*, Society of Nuclear Medicine, New York (1971).
- Knoll, G.F., *Radiation Detection and Measurement*, Wiley, Chichester (1979).
- McDowell, W.J., in *Liquid Scintillation Counting, Recent Applications and Developments* (ed. Peng, C.T.), Academic Press, London (1980).
- Overman, R.T. and Clark, H.M. *Radioisotope Techniques*, McGraw-Hill, New York (1960).
- Price, W.J. *Nuclear Radiation Detection*, McGraw-Hill, New York (1964).
- Segré, E., *Experimental Nuclear Physics*, Vol. III, Wiley, Chichester (1959).
- Sharpe, J. *Nuclear Radiation Detection*, Methuen, London (1955).
- Snell, A.H. (ed) *Nuclear Instruments and their Uses*, Vol. I. Ionization Detectors, Wiley, Chichester (1962) (Vol. II was not published).
- Taylor, D. *The Measurement of Radio Isotopes*, Methuen, London (1951).
- Turner, J.C. *Sample Preparation for Liquid Scintillation Counting*, The Radiochemical Centre, Amersham (1971, revised).
- Watt, D.E. and Ramsden, D., *High Sensitivity Counting Techniques*, Pergamon Press, Oxford (1964).
- Wilkinson, D.H. *Ionization Chambers and Counters*, Cambridge University Press, Cambridge (1950).
- Zumwalt, L. R. *Absolute Beta Counting using End-Window Geiger-Muller Counters and Experimental Data on Beta-Particle Scattering Effects*. USAEC Report. AECU-567 (1950).

4.5. Kaynakça

- Clayton, C.G. and Cameron, J.F. *Radioisotope Instruments*, Vol. 1. Pergamon Press, Oxford (1971). (Vol. 2 was not published). This has a very extensive bibliography for further study.
- Gardner, R.P. and Ely, R.L. Jr. *Radioisotope Measurement Applications in Engineering*, Van Nostrand, New York (1967).
- Hubbell, J.H. *Photon Cross-sections, Attenuation Coefficients, and Energy Absorption Co-efficients from 10 keV to 100 GeV*, NS RDS NBS 29 (1969).

- Libby, W.F. *Radiocarbon Dating*, University of Chicago Press (1955).
- Ottaway, B.S. (ed.), "Archaeology, Dendrochronology and the Radiocarbon Calibration Curve", *Edinburgh University Occasional Paper No. 9* (1983).
- Shumilovskii, N.N. and Mel'tser, L.V. *Radioactive Isotopes in Instrumentation and Control*, Pergamon Press, Oxford (1964).
- Sim, D.F. *Summary of the Law Relating to Atomic Energy and Radioactive Substances*, UK Atomic Energy Authority (yearly). Includes (a) *Radioactive Substances Act 1960*; (b) *Factories Act - The Ionizing Radiations (Sealed Sources) Regulations 1969*. (HMSO Stat. Inst. 1969. No. 808); (c) *Factories Act - The Ionizing Radiations Regulations*, HMSO (1985).
- Watt, D.E. and Ramsden, D. *High Sensitivity Counting Techniques*, Pergamon Press, Oxford (1964).

5.9. Kaynakça

- BS 3683, *Glossary of Terms used in Non-destructive Testing-Part 3 Radiological Flaw Detection* (1964)
- BS 3971, *Image Quality Indications* (1966)
- BS 4094, *Recommendation for Data on Shielding from Ionising Radiation* (1966).
- Blitz, J. *Ultrasonic Methods and Applications*. Butterworths. London (1971).
- Carter, P. "Experience with the time-of-flight diffraction technique and accompanying portable and versatile ultrasonic digital recording system", *Brit. J.NDT*, 26, 354 (1984).
- Drury, J. "Developments in various countries in operator certification for non-destructive testing", in *Developments in Pressure Vessel Technology*. Vol. 2, Applied Science, London (1979).
- Electricity Supply Industry, Standards published by Central Electricity Generating Board.
- Ensminger, D. *Ultrasonics*, Dekker, New York (1973).
- Erf, R.K. *Holographic Non-destructive Testing*, Academic Press, London (1974).
- Farley, J.M. et al. "Developments in the ultrasonic instrumentation to improve the reliability of NDT of pressurised components", *Conf. on In-service Inspection*, Institution of Mechanical Engineers (1982).

- Filipczynski, L. et al. *Ultrasonic Methods of Testing Materials*, Butterworths, London (1966).
- Greguss, P. *Ultrasonic Imaging*, Focal Press, London (1980).
- Halmshaw, R. *Industrial Radiology: Theory and Practice*, Applied Science, London (1982).
- HMSO, *The Ionising Radiations (Sealed Sources) Regulations* (1969).
- Institute of Welding, *Handbook on Radiographic Apparatus and Techniques*.
- Krautkramer, J. and Krautkramer, H. *Ultrasonic Testing of Materials*, 3rd edn, Springer-Verlag, New York (1983).
- Marsh, D.M. Means of visualizing ultrasonics. Chapter 10 in *Research Techniques in Non-destructive Testing*. Vol. 2 (ed. R.S. Sharpe). Academic Press, London (1973).
- Martin, A. and Harbison, S. *An Introduction to Radiation Protection*. Chapman and Hall. London (1972).
- McGonnigle, W. J. *Non-destructive Testing*, Gordon and Breach, London (1961).
- Sharpe, R. S. (ed). *Research Techniques in Non-destructive Testing*, Vols 1-5, Academic Press, London (1970-1982).
- Sharpe, R. S. *Quality Technology Handbook*, Butterworths, London (1984).

6.9 KAYNAKÇA

- Burns, W. and Robinson, D.W. *Hearing and Noise in Industry*, HMSO, London (1970).
- Hassall, J. R. and Zaveri, Z. *Acoustic Noise Measurements*, Bruel and Kjaer, Copenhagen (1979).
- ISO Standards Handbook 4. *Acoustics, Vibration and Shock* (1985).
- Randall, R.B. *Frequency Analysis*, Bruel and Kjaer, Copenhagen (1977).

(İNDEKS)	Sayfa
A	
A.C. akım ve voltaj cihazları	13-34
A.C. Aralık genişlemesi	29
A.C. dört-kol köprüsü	89-90-91
A.C. köprüleri: kaçak empedans	90-91-92
A.C. Potansiyel farkı	319
Abbé refraktometresi	163-164-165
Absorpsiyon (emme) katsayısı	233
Ağırlık ses basıncı	338
Akı kaçağı belirlenmesi	275
Akım transformatörleri	29
Akış hücreleri	196
Akış ölçümü	256
Akkor lambaları	129
Aktivasyon analizi	239
Akustik holografi	298
Akustik kalibrasyonlar (ayarlamalar)	348-349-350
Akustik yayılma	299-321
Alfa parçacıkları algılaması	203
Algılayıcı	
Uygulamaları	200
Sınıflandırılması	180
Soğutması	145
Teknikleri	143
Algılayıcılar	134-185
Amper	1
Amper akım kanun	274-276
Anafor akımı (Eddy current) teknik donanımı	278
Anafor akımı testleri	277-319
Ara uçlu transformatör sargısı	94

	Sayfa
Artma çarpanı B.	233
Atmosfer basıncı	328-349
Ayarlanabilir renk lazerleri	134
Aydınlanma (Illuminance)	151
Ayırıcı X-ışınları flaresan analizi	240-241
Azot	145
B	
Bant geçiren filtreler	351
Bant genişliği	354
Barn	213
Bekerel	180
Berilyum, Beta geri saçılma ölçeri	259
Beta parçacık algılaması	194-206
Beta yayınım ölçeri	99
Bizmut germanat	193
Blondel teoremi	64
Bonner küresi	217
Bor	195
Bor trifloortür sayaçları	214-215
Borhol nötron nem ölçeri	245
Brag-grey odaları	209-210
C	
Campbell Modu	212
Campbell yöndeş indüktörü	10
Campbell-Freeth Devresi	139
CIE	160
Compton dağılım sepektrumu	195
Curie	180

	Sayfa
Ç	
Çakışma devresi	228-229-230
Çerenkov algılayıcıları	181
Çevresel koşulların ölçmelere olan etkisi	369
Çift sarımlı transformatör oran köprüsü	98
Çinko sülfür	205
Çok kanal analiz cihazları	223
Çok onlu oran transformatörleri	97
D	
D.C. Akım ve voltaj : cihazlar	30-31-32-33-34
D.C. Köprü ölçümleri	78-81-82
Dalarak yapılan çalışmalar	314-315-316-317
Dar-bant analiz cihazları	354
Darbe frekansı modülasyon spektroskopisi	293-294
Darbe yankı spektroskopisi	293-297
Darbe yüksekliği analiz cihazları	223
Daynod Direnç Zincirleri	226
Denge birimleri	228
Denkleştirilmiş termal wattmetre	60
Desibel ölçeği	328-330
Deşarj lambaları	131
Diferansiyel beta geçirim ölçeri	258
Dinamometre	33-34-58-59-76
Dört-kol A.C. köprüleri	89
Döteryum lambaları	131
Dresler filitresi	151
E	
Elektret mikrofonu	339
Elektrik güç faktörü	74-76-77

	Sayfa
Elektromanyetik sepektrum	302
Elektron volts	175
Elektronik ışık kaynakları	132
Elektronik multimetreler	24-26
Elektronik ve nükleer instrümantasyon	218-231
Elektronik wattmetreler	67
Elektrostatik cihazlar	35
Enternasyonal standartlar organizasyonu	306
F	
Farad	1
Faraday etkisi polarimetresi	170
Faz-hassasiyetli algılama	145
Fiberskop	272
Fluoraskopi	310-311
Fosil yakıt etkisi	268
Foto yayınım etkisi	135
Foto-diyot dizimleri	142
Fotoçoğaltıcılar	135
Fotodiyodlar	137-140
Fotoelastik görüntüleme	296
Fotogerilim (photovoltaic) algılayıcılar	137
Fotoiletken algılayıcılar	140
Fotometreler	150
Foton sayımı	149
Frekans analiz cihazları	351-358
Frekans modülasyon spektroskopu	292
Frekans sayaçları	111
Frekans süzücü şebekeler ve filtreler	340
Frekans ve dalgaboyu	331-332

	Sayfa
G	
Gadalinium galyum arsenid	197-198
Gama ışınlarının algılanması	209
Kontrolü	183-184
Spektrometresi	262-263
Gaz Algılayıcıları	181-186
Gaz orantılı sayaçlar	204-209
Geiger-Müller algılayıcıları	187
Geri saçılma	202
Gerilim çiftleme devreleri	305
Germanyum	198
Germanyum algılayıcıları	242
Girici-boya	273
Gray	180
Greinacher devresi	306
Güneş hücresi	137
Gürültü pozlama metreleri	347
Gürültü pozlama metreleri	333
Gürültü ve insanoğlu	332
Gürültü-analizi	333
Gürültü: siyah akım	144
H	
Hacimsel ultrasonik tarama	320
Hagner fotometresi	152
Hall etkisi	70
Hareketli demir cihazları	25
Harwell uçuş-süresi kırılma teknikleri	322
Hata geometrisi analizi	295
Hazlı Fourier transformasyonu analiz cihazları	355
Helyum dolu orantılı sayaçlar	214-215
Helyum-neon lazeri	134

	Sayfa
Henry	1
Heterodin dönüştürücü sayacı	121
Hilger-Chance refraktometresi	165
Hızlı nötron	213-214-215
Holografi	298
I-İ-J	
İndüktans	77
İndüktif bağlantılı köprüler	101
İndüktörler	85
İngiliz standartları enstitüsü	306
Inorganik ışıltı malzemeleri	190
IQI (Resim gösterici)	305-306
Isısal görüntüleme teknikleri	171-172
Işık algılayıcıları	133-145
Işık birimi	128
Işık kaynakları	127-133
Işık yayan diyetler	55-132
Işık-şiddeti ölçümü	149-150
Işıltılı iyon-değişim reçineleri	196
Işın kesicisi	143-146
İkili dedektör seviye göstergesi	254
İkili-rampa ADC leri	40-41
Jeolojik numunelerin yaş belirlenmesi	264
Josephson etkisi	8
K	
Kaçak algılaması	252
Kadmiyum sülfat elektroliti	7
Kadmiyum sülfat fotoiletken hücreleri	150
Kadmiyum tellürit	198
Kadmiyum tungstat	193

	Sayfa
Kalıcı mıknatıs-hareketli bobin cihazları	13-19
Kalorimetre	72
Kalsiyum florür	183-193
Kalsiyum miktarı	250-251
Kalsiyum tungstat	193
Kapasitans	78
Kaplama floresan ölçeri	260-261
Kaplama kalınlığı	258
Karacisim ışınumu	172
Karbon yaşı belirlenmesi (Radyo karbon yaşına bkz.)	
Katı-hal algılayıcıları	181
Katkıcılar/karıştırıcılar	227
Kayma problemleri	283
Kelvin çift köprüsü	83
Kesici disk	143-145
Kimyasal lüminesans	194
Kızıl-ötesi ışıma	171
Kondansatör mikrofonları	335-336
Kondansatörler	85-88
Koordineli üniversal zaman	108-109
Köprü düzenlemeleri	97
Köprü ölçümleri	78
Köprü redresörü	19-20-21
Kripton lazeri	134
Kritik açı etkisi	162-163
Kulomb	1-2
Kuvarz kristal salıngaçları	108
L	
Langmuir kanunu	145
Lissajous şekilleri	124
Laurent polarimetresi	169

	Sayfa
Lazer güvenliği	134
Lazerler	133
Lityum	200
Lityum cam parıltıcı	216
Lityum florür	182
Lityum iyodür	193-217
Lumen	128
Lüminans	128
M	
Malzeme analizi	238-240
Manyetik akı	274
Manyetik parçacık izlemesi	317
Manyetikleme (tahribatsız muayenede)	274
Kütle	256
Mega bekerel	180
Mekanik ölçmeler	251-261
Mikrodalga frekans ölçümü	121
Mikrofonlar	334
Düşük frekans için	339
Milli radyoloji koruma bürosu	182
Multimetreler	37
Müller köprüsü	82
N	
Nem	269
Histeresis	112
Nötron algılanması	212-217
Nötron kaynakları	178
Nötron monitörleri	185
Nötron nem ölçerlerin kalibrasyonu	248
Nötron-proton reaksiyonları	216

	Sayfa
Nötronlarla nem tayini	244
Nükleer cihazlar için güç kaynakları	218-220
Nükleer teknikler: sayım istatistiği	175-235
Nükleonik kemer tartısı	256
O - Ö	
Ohm	1-11
Ohm kanunu	198
Oktav bandı analiz cihazları	351
Onlu sayaç ölçek devreleri	222-223
Optik aktivite	168
Optik özellikler ve ölçümü	160-174
Optik yoğunluk	155
Optik-çok-kanal analiz cihazları	158
Organik ışıltıcılar	194
Ortak mod sinyali	47-50
Ölçümlerde kesinlik	236
Örnekleme algılayıcıları	147
Öyropyum	217
P	
Pascal	328
Peltier etkili soğutma cihazları	145
Personelin yetkilendirilmesi	323
Philips resim yoğunlaştırıcısı	311-312
Fosforesans	194
Phoswich kavramı	193
Piroelektrik algılayıcılar	141
Piroelektrik vidicon tüpü	173
Pistonfon	350
Planck karacisim ışıması	172
Planck yayılım kanunu	171

	Sayfa
Plastik film algılayıcıları	98
Plastik ışıltıcılar	195
Polarimetreler	167
Polystyren	195
Potansiyel düşme teknikleri	276
Prob yapımı	289
Proton tepki sayaçları	215
R	
Rad	180
Radyasyon dozu	180
Radyasyonda geometri faktörü	200-201
Radyo karbon sayma sistemleri	265
İstatistiği	266
Yaş belirlenmesi	264
Zaman ölçeğinin kalibrasyonu	267
Radyometreler	151-153
Refraktometreler	162
Kırılma indisi	162
Radyoaktif bozunma	179
Radyoaktif sayım istatistiği	175
Radyoaktif tehlikeler	184
Renk Sıcaklık ölçerler	155-157
Resim yoğunlaştırma sistemleri	311
S	
Saf tonlar için ses konturları	329
Saha tarama cihazları	262
Salıngaçlar (oscillator)	113
Sayısal frekans	108
Sayısal frekans analiz cihazı	353
Sayısal geçiş kayıt cihazları	358

	Sayfa
Sayısal multimetreler	37-54
Sayısal voltmetreler	37-55
Seçici absorpsiyon ölçeri	261
Serbest alan mikrofoni	338-339
Ses basıncı	328-329
Ses basıncı seviyesi	334
Ses ölçme aletlerin kalibrasyonu	347-360
Seviye kayıt edicileri	358
Seviye ölçerler	253
Seviye ölçümlerinde nötronların kullanımı	255
Sezyum	196
Sezyum florür	193
Sezyum ışınlı atomik saat	108
Sezyum iyodür	192-193
Sıkıştırma problemleri	283
Sinyal osiloskobu	124
Sis odaları	181
Sıvı ısıtıcı sayımı	193-194
Sıvı kristal görüntülemesi	55
Siyah akım	143
Statik eleme	268
Sualtı fotoğraf tekniği	315
Sualtı Krozyon korunması	318
Süper iletken, kuantum interferometrik algılayıcı (sqvid)	9
Ş	
Şekil değişimi göstergesi	80
Şekil faktörleri	20-21
T	
Termistör	72-73
Termokupl cihazı	35

	Sayfa
Tetikleyici devre	223
Thompson-Lampard hesaplanabilir kapasitans metodu:	11
Transdüser malzemeleri: Akustik yayının	299-301
Tungsten halojen lambaları	131
Tümleyici ses-seviye ölçerleri	344
U-Ü	
Uçak gürültüsü	341
Ultrasonik görüntüleme	296
Ultrasonik spektroskopi	291
Ultrasonik zayıflama spektrumu	295
Ulusal birincil standartlar	3
Ulusal fizik laboratuvarları	3
Uluslararası ağırlık ve ölçü birimleri enstitüsü	3
Uluslararası saat bürosu	109
Ultrasonik görüntüleme	298
V-W-X	
Villard devresi	305
Voltaj transformatörleri	29
Wagner topraklama düzenlemesi	85
Weston Hücresi	7
X-ışınları floresan analizi (dağılmayan)	242
Y	
Yoğun kaynak lambaları	132
Yük enjeksiyon aygıtları	143
Yük eşli aygıtlar	142
Yüklü organik ısıtıcılar	198
Yüksek direnç	84
Yüksek frekans empedansı	100-101
Yüksek frekans güç ölçümü	72
Yüzey-analizi için tahribatsız muayene metodları	270

TÜRKİYE HARİTASI

