

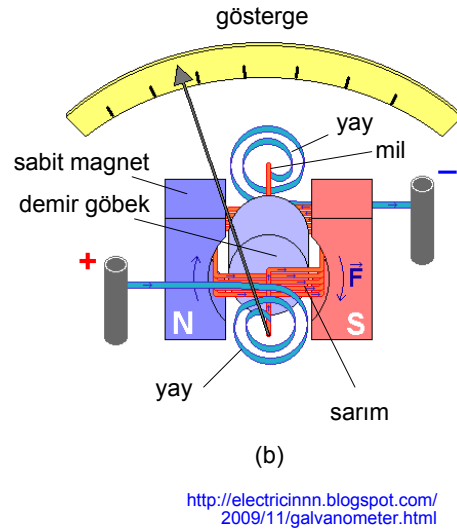
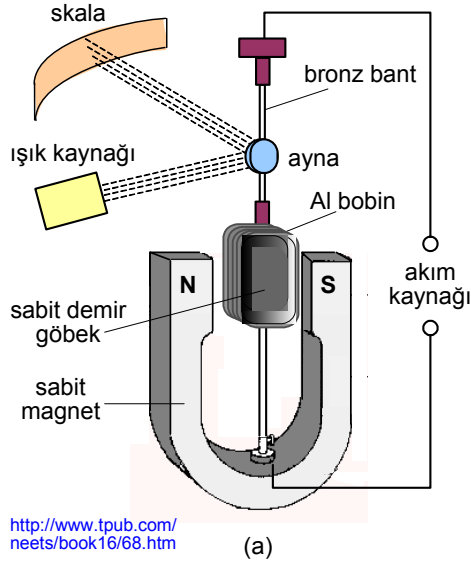
OKUMA ALETLERİ

Ref. Enstrümantal Analiz

Galvanometreler

Doğru akım, voltaj, ve direnç ölçmeleri için klasik yöntemlerde, bir galvanometre kullanılır. Bu alet, bulunması yüzyılı geçmiş olmasına rağmen, hala laboratuvarlarda çok kullanılmaktadır. Çalışma ilkesi sabit bir magnetik alanda bir sarımın akım-etkisiyle hareketine dayanır. Böyle bir düzeneğe "D'Arsonval hareketi" veya "sarımı" denir.

Aşağıdaki şekilde iki farklı galvanometre tipi görülmektedir; Şekil(a)'da, hareketli sarım metal bantlar arasında yerleştirilmiş, (b)'de ise hareketli sarımı şaft ve yatağa yerleştirilmiş galvanometre tiplerine bir örnek verilmiştir.



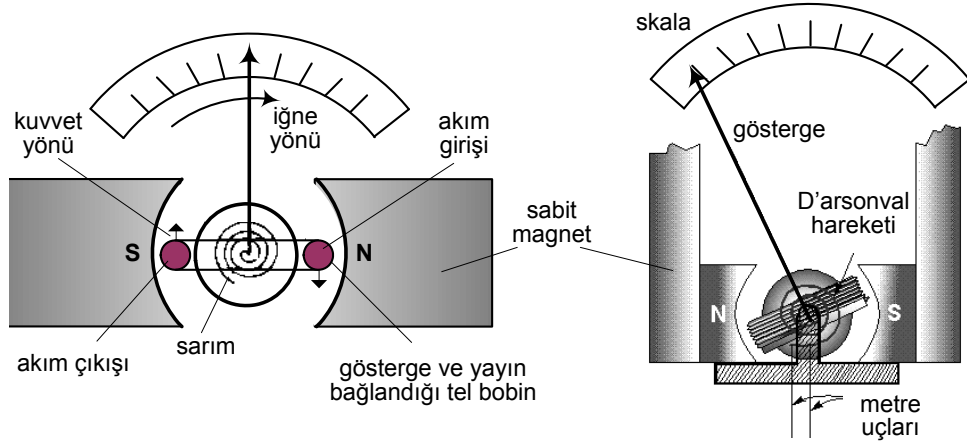
Farklı dizayn edilmiş iki galvanometrenin şematik diyagramı

Şekil-(a)'daki galvanometrede sarımda, dönmeye karşı çok az direnç gösteren bir dik filamen kullanılmıştır. Filamene küçük bir ayna yerleştirilir; bir ışık demeti aynadan yansıtılarak skalaya düşürülür, böylece akım geçerken oluşan dönme hareketi algılanır ve ölçülür. Galvanometreler 10^{-10} A kadar küçük akımları ölçebilecek şekilde dizayn edilir.

Şekil-(b)'deki galvanometrede bir çift yatak arasında dönen silindirik bir yumuşak demir üzerinde dikdörtgen şeklinde bir tel sarım bulunur, ölçülen bu sarımdan geçen akımdır. Sarım sabit bir magnetin kutupları arasındaki hava boşluğuna yerleştirilmiştir. Sarımda oluşan akıma-bağımlı magnetik alanın sabit magnetik alanla etkileşmesiyle sarım dönmeye başlar; dönme derecesi, sarımdaki akımla doğru orantılıdır.

D'Arsonval Metre, veya, PMMC Galvanometre (PMMC: Permanent-Magnet Moving Coil)

D'Arsonval metreler hem doğru akım ve hem de alternatif akım değerlerini ölçmede kullanılabilir. Bunlarda iletkenin uzunluğu ve magnetin kutupları arasındaki alan kuvveti sabittir. Bu durumda akımda olabilecek herhangi bir değişiklik sarımdaki kuvvette orantılı bir farklaşma sağlar. Basit bir D'Arsonval hareketi aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



<http://www.tpub.com/neets/book16/68.htm>

http://benp2183.mazran.com/download/nota_kelass/chap2_AcDcmetre1%20over2.pdf

D'Arsonval metre hareketini gösteren diyagramlar

DC Ampermetre

Bir doğru akım ampermetrenin hareketi PMMC galvanometreyle sağlanır. Ampermetre devreye daima seri olarak bağlanır; iç direnci çok düşüktür. Büyük akımların ölçülebilmesi için çok küçük bir şönt direnciyle (R_s) ölçme aralığı genişletilebilir.

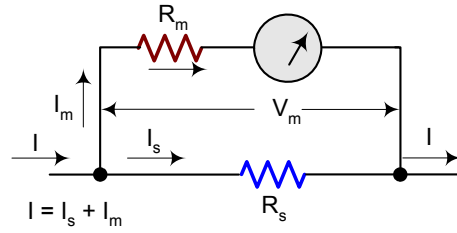
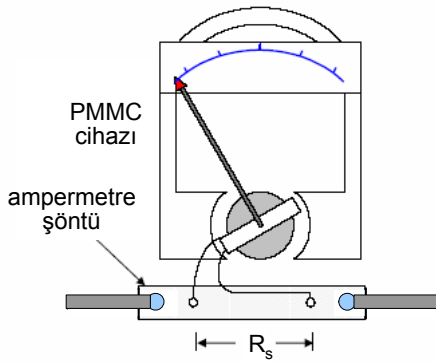
$$V_m = V_s$$

$$I_m R_m = I_s R_s$$

$$R_s = \frac{I_m R_m}{I_s} \quad R_s = \frac{I_m R_m}{I - I_m}$$

$$I = I_s + I_m$$

R_m = sarım direnci, R_s = şönt direncidir.



<http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~tarporn/2141375/HandOut/Analog1.pdf>

Bir doğru akım ampermetrenin şematik diyagramı

Doğru akım ampermetrelerin aralığı, uygun bir anahtar kullanılarak ve birkaç şönt bağlanarak genişletilebilir; bu tür bir düzeneğe çok dizili (multirange) ampermetre denilmektedir.

Akım Ölçmelerinde Metre Direncinin Etkisi

Bir metre veya galvanometre sarımı elektrik akışına direnç göstereceğinden ölçülen akımın büyüklüğünü azaltacaktır. Bu nedenle, ölçme yönteminden dolayı bir

hata meydana gelir. Bu durum akım ölçmelerine özgü bir durum değildir. Gerçekte, herhangi bir fiziksel ölçmede karşılaşılan genel bir sınırlamadır. Yani, ölçme yöntemi ölçmenin yapıldığı sistemi bozarak gerçek değerinden başka bir değer ölçülmesine neden olur. Bu tip bir hata asla tümüyle yok edilemez; ancak, önemsiz seviyelere düşürülebilir.

Şekil-a'daki devrede basit bir ölçme işleminin bir sistemi nasıl bozduğu ve elde edilen sonucu değiştirdiği görülebilir. Burada, anahtar 1 konumunda iken R_{AB} direncindeki I akımının ölçülmesi istenmektedir.

Ohm kanununa göre bu akım,

$$I = \frac{V_S}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{V_S}{R_T}$$

denklemlerle verilir. V_S kaynağın potansiyeli, R_S iç direnç, R_T devrenin toplam direncidir.

Akımı ölçmek için, anahtar 1 konumundan 2 konumuna getirilerek metre devreye alınır. Ölçülen I_M akımı I dan farklı olur ve aşağıdaki denklemle verilir.

$$I_M = \frac{V_S}{R_1 + R_2 + R_3 + R_M} = \frac{V_S}{R_T + R_M}$$

R_M = metre direncidir. Metrenin bulunduğu haldeki relatif hata,

$$\text{Relatif hata} = \frac{I_M - I}{I}$$

Tablo-1'de (değişik metre direnci)/(sistemdeki diğer dirençler toplamı) oranının ölçülen akıma etkisi gösterilmiştir.

Tablo-1: Akım Ölçümlerinde Metre Direncinin Etkisi

Metre direnci, R_M , k Ω	R_M / R_T	Ölçülen akım, I_M , mA	Relatif hata, %
Metre yok	0.00	0.100	0
1	0.01	0.098	-0.8
10	0.08	0.092	-7.6
50	0.42	0.01	-29
100	0.83	0.055	-45

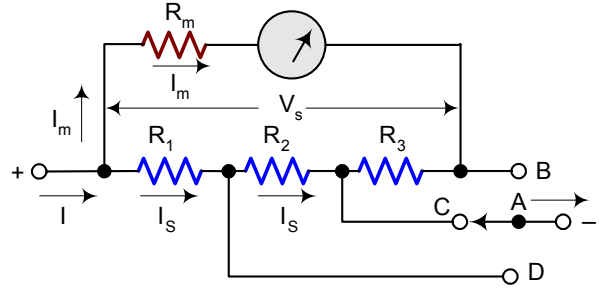
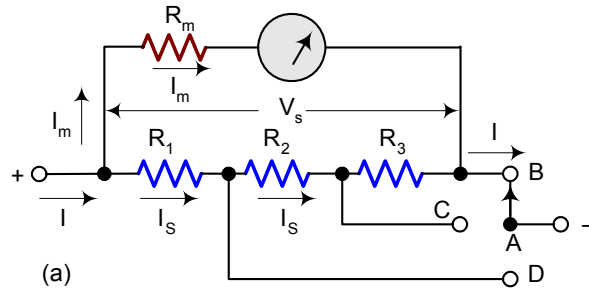
Bu ölçmedeki hata, metre direncinin çok düşük olması durumunda en aza indirilebilir. Veya, metre yerine küçük bir hassas direnç kullanılabilir; bu direncin uçları arasındaki potansiyel düşmesi yüksek dirençli bir metre ile ölçülerek, Ohm kanunundan akım hesaplanır.

Bir akım metre veya bir hassas direnç, çoğunlukla cihazın sabit bir parçasıdır; bu durumda, miktarı metreden doğrudan okunan oldukça küçük bir akım alınır.

Ayrton Şöntü (Shunt)

Ayrton şöntü bir galvanometrenin ölçüm aralığını değiştirmede kullanılır; aralık direnç bağlantıları arasındaki anahtarla sağlanır.

Bir ampermetreyle kullanılan Ayrton şöntünde birkaç tane seri bağlı direnç bulunur; bunlar PMMC aletine paralel bağlanır.

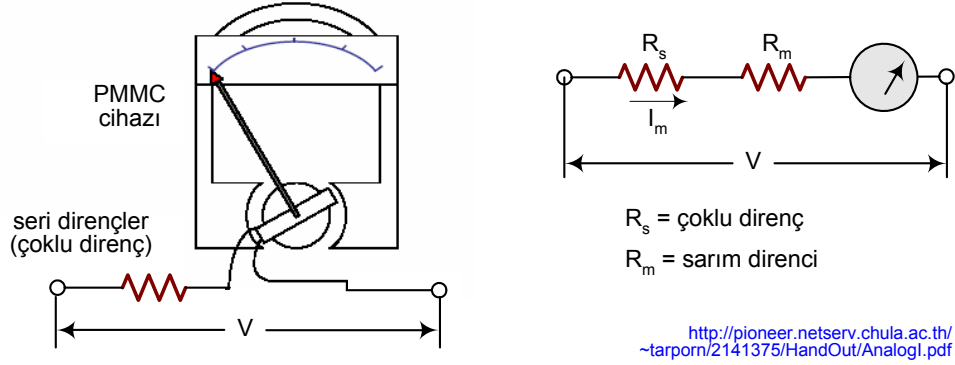


<http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~tarporn/2141375/HandOut/AnalogI.pdf>

Ayrton şöntü bulunan bir doğru akım metre: (a) $(R_1 + R_2 + R_3, R_m$ ile paralel, (b) $R_1 + R_2, R_m + R_3$ ile paralel bağlıdır.

DC Voltmetre

D'Arsonval metre, bir dizi direnç ilavesiyle bir doğru akım voltmetreye dönüştürülebilir. Bir voltmetre, bir devrede voltajı ölçülecek olan noktalar arasında daima paralel olarak bağlanır. İç direnç çok yüksek olmalıdır; böylece ölçüm yapılan devrede akım ve voltaj üzerindeki etkisi en aza indirilir.



Bir doğru akım voltmetrenin şematik diyagramı

$$V = I_m R_s + I_m R_m$$

$$R_s = \frac{V}{I_m}$$

$V = \text{aralık (tüm skala voltajı)}$

$$R_s = \frac{\text{aralık}}{I_m} - R_m$$

Tüm skala akımının tersi voltmetrenin hassasiyetidir.

$$\text{voltmetre hassasiyeti} = \frac{k\Omega}{V}$$

$$\text{voltmetre direnci (toplam)} = \text{hassasiyet} \times \text{aralık}$$

Voltaj Ölçmelerinde Metre Direncinin Etkisi

Tablo-2'de, bir potansiyel ölçmesine metre direncinin etkisi gösterilmiştir. Akım ölçmesinde karşılaşılan durumun tersine, metre direncinin artmasıyla ölçülen potansiyelin doğruluğu da artar. Potansiyel kaynağının direnci, verilen bir doğruluk derecesi için gerekli metre direncini belirlemede önemli bir rol oynar. Yani, doğruluğun aynı kalması için, kaynak direncinin artması halinde metre direncinin de artmasını gerektirir. Bu ilişki, özellikle, bir cam elektrotlu hücrenin potansiyel ölçümüne dayanan pH tayininde önemlidir.

Tablo-2: Potansiyel Ölçümlerinde Metre Direncinin Etkisi

Metre direnci, R_M , $k\Omega$	R_M / R_{AB}	Ölçülen voltaj, V_M , V	Relatif hata, %
10	0.5	0.75	-62
50	2.5	1.50	-25
500	25	1.935	-3.2
1×10^3	50	1.967	-1.6
1×10^4	500	1.97	-0.2

Bir doğru akım voltmetrenin aralığı, metrenin hareketine seri olarak birkaç direncin bağlanmasıyla genişletilebilir; bu tür bir düzeneğe çok dizili (multirange) voltmetre denilmektedir.

Direnç Ölçümleri

Şekilde bir D'Arsonval metre ile direnç ölçümünün yapıldığı bir devre görülmektedir. Kaynak, örneğin, 1.5 V luk bir kuru pildir. Devre kullanırken anahtar 1 konumuna getirilir ve metre değişken direnç R_V ile tüm skalaya ayarlanır. Ohm kanununa göre,

$$1.5 = I_1 (R_M + R_V)$$

yazılır. Anahtar iki konumuna alındığında, bilinmeyen R_x direncinin de devreye girmesiyle akım I_2 'ye düşer, böylece,

$$1.5 = I_2 (R_M + R_V + R_x)$$

olur. İki eşitlik birbirine bölünüp yeniden düzenlenerek R_x eşitliği çıkarılır.

$$R_x = \left(\frac{I_1}{I_2} - 1 \right) (R_M + R_V)$$

$(R_M + R_V)$ 'nin değerini metrenin ölçüm aralığı belirler. Örneğin, metrenin ölçüm aralığı 0-1 mA ise ve metre başlangıçta 1 mA'e ayarlanmışsa,

$$1.5 = I_1 (R_M + R_V) = 1.00 \times 10^{-3} (R_M + R_V)$$

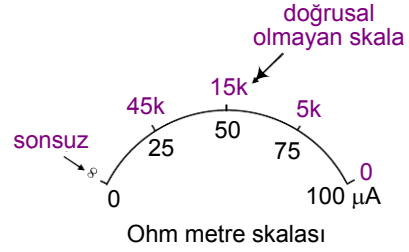
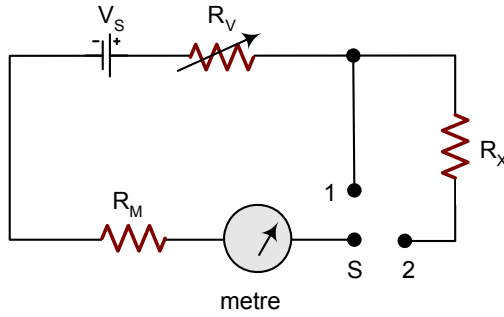
$$(R_M + R_V) = 1500 \Omega$$

Bundan sonra R_x bulunur.

$$R_x = \left(\frac{I_1}{I_2} - 1 \right) 1500$$

$$R_x = \left(\frac{1.00 \times 10^{-3}}{I_2} - 1 \right) 1500$$

Ölçülen akım ve direnç arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığı açıkça görülmektedir.



<http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~tarporn/2141375/HandOut/AnalogI.pdf>

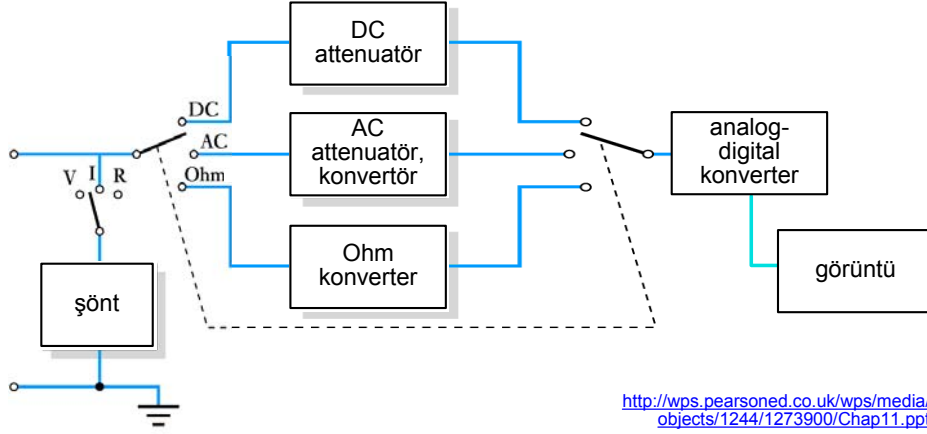
Bir direnç ölçme devresi

Digital Multimetre (DMM)

Multimetre: Bir ampermetre, voltmetre ve ohmetreden oluşan üçlü bir sistemdir. Sistemde bir fonksiyon anahtarı bulunur; bununla istenilen devre D'Arsonval'e bağlanır.

Digital multimetrenin kalbi analog/dijital konverterdir. Basit bir digital multimetrede, alternatif sinyaller ortalama değerleri verecek şekilde düzeltilir, (analog multimetrelerde de çalışma bu şekildedir.), sinüs dalgasının rms değeri görüntülenir.

Daha geliştirilmiş tiplerde bir rms (root mean square) konverteri bulunur; bununla bir giriş dalgasının rms değeriyle orantılı bir voltaj değeri üretilir.



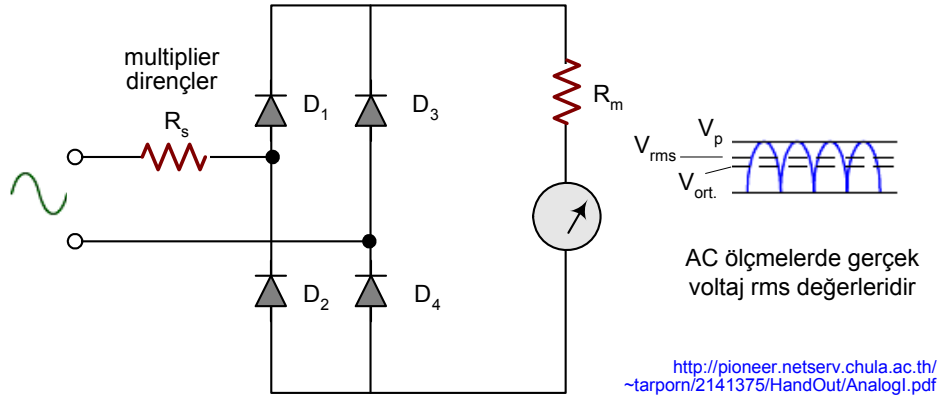
<http://wps.pearsoned.co.uk/wps/media/objects/1244/1273900/Chap11.ppt>

Bir digital multimetrenin basitleştirilmiş şematik görünümü

AC Voltmetre: PMMC Bazlı

PMMC cihazı polarize olduğundan uçlar + ve – işaretlerle gösterilir; cihaz 50 Hz ve daha yüksek değerlerde iyi sonuçlar vermez, bu nedenle gösterge, hareketli sarımdan geçen akımın ortalama değerine göre ayarlanmalıdır.

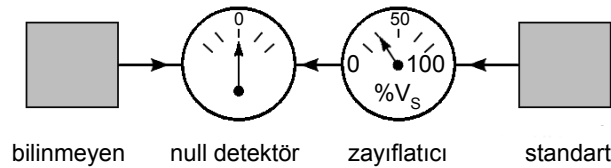
Şekilde görülen tam-dalga rektifiyer voltmetrede dört diyot kullanılmıştır; pozitif (+) çevrimde D_1 ve D_4 düz-bias, D_2 ve D_3 ters biastır. Negatif (-) çevrimde ise D_2 ve D_3 düz-bias iken D_1 ve D_4 ters biastır. Skala, faktörü $1.11 (A/\sqrt{2} / 2A/\pi)$ olan saf sinüs dalgası için kalibre edilmiştir (A = genlik).



Tam-dalga rektifiyer voltmetre

Kıyaslamalı veya Sıfırlamalı (Null) Ölçmeler

İlgilenilen sistemin standart bir sistemle kıyaslanmasına dayanan cihazlar daha çok kimyasal ölçmelerde kullanılır. Sıfırlamalı cihazlar, doğrudan-okumalı cihazlara göre daima daha doğru sonuç verirler, çünkü sıfırlamalı bir ölçümde sistem daha az bozulur. Bu tip sistemlerin okuma aletleri daha kaba ve çevre etkilerine karşı dayanıklıdır.

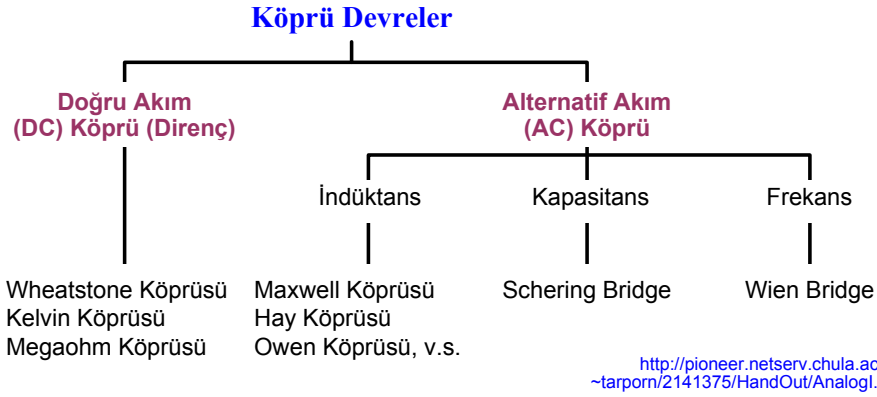


Kıyaslamalı ölçme sistemleri blok diyagramı

Tipik bir kıyaslamalı cihazda üç bileşen bulunur (Şekil). Biri, null (sıfırlama)-dedektörüdür, iki sinyalin eşit olduğunu veya eşit olmadığını gösterir. İkinci bileşen, bilinmeyen sinyalin kıyaslandığı, bir referans standart sinyalidir. Son bileşen ise, iki sinyalden birini, % zayıflama (attenuasyon) miktarı tam olarak bilinen bir sinyal verecek şekilde, sürekli olarak zayıflatan bir alettir. Şekil-22'de zayıflatma referans sinyalde yapılmaktadır; bu işlem, daha çok, bilinmeyen sinyalde yapılır. Zayıflatma elektriksel değil mekaniktir. Bir örnek, fotometrik analiz için kullanılan ışık demeti gücünü zayıflatan, değişken bir diyaframdır.

Köprü Devreler

Köprü devre bir null metottur; kıyaslama prensibine göre çalışır. Bilinen bir standart değer, bilinmeyen değere eşit oluncaya kadar ayarlanır.

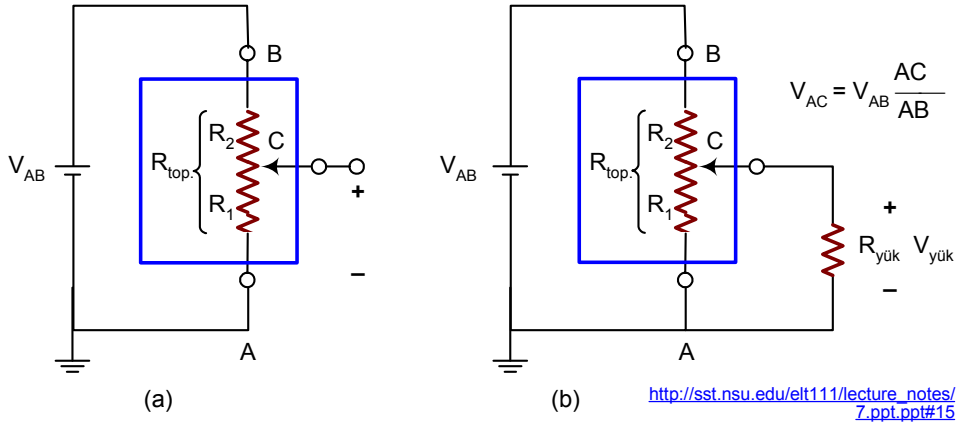


Potansiyometreler

Potansiyometre, kaynaktan en az akımın çekildiği durumda potansiyeli doğru olarak ölçebilen bir null cihazıdır. Tipik bir laboratuvar potansiyometresinde, referans bir voltajı bir null noktasına ulaşıncaya kadar zayıflatan doğrusal bir voltaj bölücü bulunur. En basit şekliyle bölücü, metre kadranına yerleştirilmiş homojen bir dirençtir. Çıkış voltajı bir kızak bağlantısıyla değiştirilebilir. Daha uygun bir bölücü helezon şeklinde bükülmüş hassas bir teldir. Helezonun bir ucundan diğer ucuna hareket ettirilen bir uçla değişken bir voltaj elde edilir.

Potansiyometrelerin çoğunda, şekilde görülen tipinde olduğu gibi, direnç doğrusaldır; yani, A ucu ile herhangi bir C noktası arasındaki direnç, direncin AC kısmı-

nın uzunluğu ile orantılıdır. Potansiyometre yüklenmemişse çıkış voltajı, voltaj bölücü göstergeyle saptanır (Şekil-a). Yük uygulandığında (Şekil-b) çıkış voltajı $V_{yük}$, uygulanan yükün fonksiyonudur.



Yüksüz ve yüklü bir potansiyometreye örnek şemalar

Bu tarife göre,

$$R_{AC} = k AC$$

dir. AC uygun bir uzunluk birimi ile verilir, k orantı sabitidir. Benzer şekilde,

$$R_{AB} = k AB \quad \text{yazılır.}$$

Bu bağıntılar aşağıdaki,

$$V_1 = \frac{V R_1}{R_1 + R_2 + R_3} = V \frac{R_1}{R}$$

Denklemlerle birleştirilerek V_{AC} eşitliği çıkarılır.

$$V_{AC} = V_{AB} \frac{R_{AC}}{R_{AB}} = V_{AB} \frac{AC}{AB}$$

Bir potansiyometrik ölçümün hassasiyeti, hücrenin elektrik direncinin artmasıyla azalır. Direnci 1 M Ω 'dan büyük olan hücrelerin potansiyelleri, akıma-hassas bir galvanometrenin bulunduğu bir potansiyometre ile doğru olarak ölçülemez.

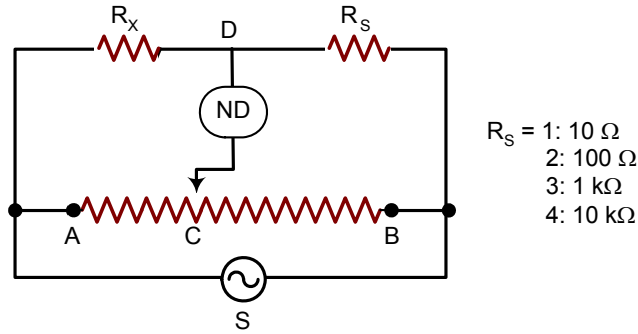
Bir Null Cihazı ile Akım Ölçme

Null yöntemi akım tayininde çok kullanılır. Devreye seri olarak küçük, hassas bir direnç bağlanır ve uçları arasındaki potansiyel düşmesi bir potansiyometre ile ölçülür.

Direnç ölçmeleri; Wheatstone Köprüsü

Wheatstone köprüsü, direnç ölçümünün yapıldığı, diğer bir null aletidir. Güç kaynağı S, 6-10 V aralığında bir AC akım verir. R_{AC} ve R_{BC} dirençleri, AB doğrusal voltaj bölücüsü ve C'nin konumundan saptanır. Köprü'nün sağ üst kolunda birkaç direnç aralığının seçimine olanak veren hassas dirençler bulunur. Bilinmeyen R_x direnci köprü'nün sol üst koluna yerleştirilir.

D ve C arasında akım bulunmadığı, bir BD null-dedektörle belirlenir. Dedektörde bir çift kulaklık vardır; insan kulağının algılayabileceği, 1000 Hz lık bir AC sinyali kullanılır. Veya, dedektör bir katot-ışını tüpü veya bir ac mikro ampermetre de olabilir.



Direnç ölçümü için bir Wheatstone köprüsü

R_x 'i ölçmek için, null dedektör kullanılarak C minimuma ayarlanır. ACB voltaj bölücüsüne Denklem(9) uygulanarak V_{AC} eşitliği yazılır.

$$V_{AC} = V_{AB} \frac{AC}{AB}$$

ABD devresi için,

$$V_{AD} = V_{AB} \frac{R_x}{R_x + R_s}$$

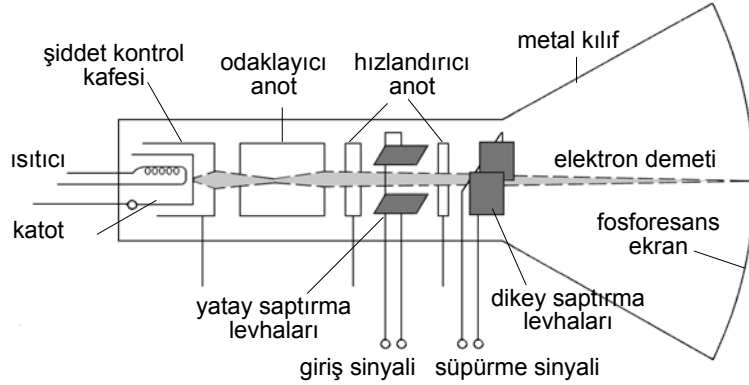
dir. Null noktasında $V_{AC} = V_{AD}$ 'dir. Buna göre iki denklem birleştirilip yeniden düzenlenerek R_x eşitliği bulunur.

$$R_x = \frac{R_s AC}{AB - AC} = R_s \frac{AC}{BC}$$

Katod - Işını Tüpü

Osiloskop, okuma aleti olarak bir katot-ışını tüpünün kullanıldığı çok kullanılan bir laboratuvar cihazıdır. Katot ışını tüpü bir vakum tüpüdür; sıcak katottan çıkan elektronlar hızlandırılır ve demet halinde yüksek voltajlı anoda gönderilir.

Şekilde tüpün ana bileşenleri şematik olarak gösterilmiştir. Burada görüntü, odaklanmış bir demetteki elektronların tüpün eğri iç yüzeyini kaplayan bir fosferesans madde ile etkileşimiyle oluşur. Isıtılan bir katotta elektronlar meydana gelir, bunlar toprak potansiyelindedir; potansiyeli kilovolt seviyesinde olan bir anot, elektronları bir kontrol kafesinden ikinci bir anoda doğru hızlandırır. Bu anot demeti ekran üzerine odaklar. Giriş sinyali yokken demet ekranın merkezinde küçük parlak bir nokta şeklinde görülür.



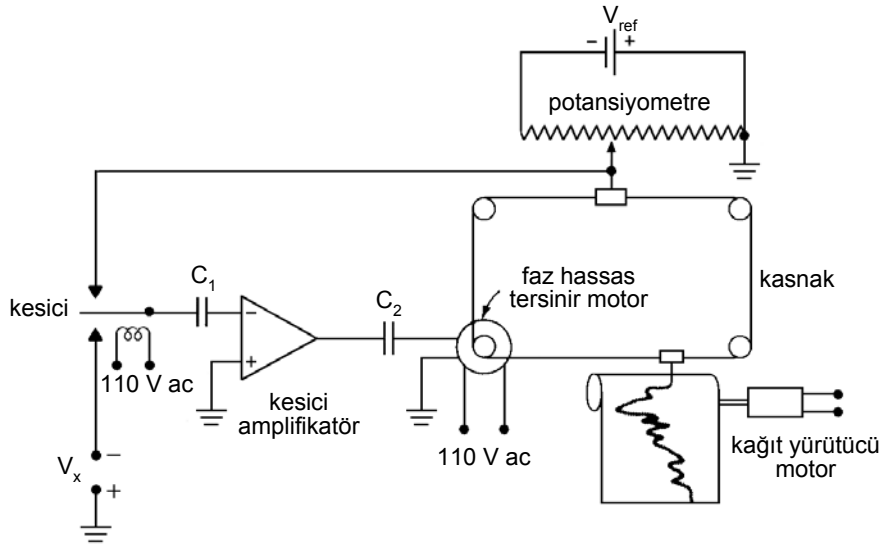
Bir katot ışını tüpünün şematik görünümü

Giriş sinyalleri iki takım levhaya gönderilir. Bunlardan bir takımı demeti yatay olarak, diğeri dikey olarak saptırır. Böylece birbiriyle ilişkili iki tip sinyal x-y grafiğine alınabilir. Ekran fosforesans özelliğinden dolayı nokta ışıklı bir iz şeklinde hareket eder ve kısa bir süre sonra kaybolur. Katod tüpü, nokta, tüpün yatay eksenini periyodik olarak tarayacak şekilde çalıştırılır. Bu amaçla, testere taramalı sinyal kullanılır. Ölçülecek sinyal sonra dik levhalara uygulanır. Sinyal DC ise, kolaylıkla yatay hattan merkez yatay eksenin üstüne veya altına geçer.

Bir sinus dalgasında olduğu gibi tekrarlanabilir bir sinyal alınabilmesi için her taramanın dalga üzerinde aynı yerde başlaması gerekir; örneğin, bir maksimumda, bir minimumda, veya bir sıfır geçiş noktasında başlamalıdır. Senkronizasyon, bir kısım test sinyalinin tarama sinyali ile bir voltaj engeli (her maksimum veya katları için) üretecek şekilde karıştırılmasıyla gerçekleştirilir. Bu engel taramayı başlatır. Böylece, ekranda sürekli dalga görüntüsü oluşur.

Kaydediciler

Tipik bir laboratuvar kaydedicisi bir "servo (yardımcı) sistem"e örnektir. Kaydedici, iki sinyali kıyaslayıp aradaki farkı sıfıra indirecek şekilde mekanik ayarlama yapabilen bir null (sıfır) aletidir.



Bir laboratuvar kaydedicisinin şematik diyagramı

Örnek olarak bir laboratuvar kaydedicisini inceleyelim. Kaydedilen sinyal (V_x), bir referans sinyal (V_{ref}) tarafından beslenen potansiyometre çıkışı ile sürekli olarak kıyaslanır. Referans sinyal bir veya daha fazla civa hücresi olabilir. Bu tür bir hücrenin potansiyeli bataryanın yaşam süresi boyunca sabit kalır. Veya bunun yerine referans olarak, düzeltilmiş ve bir Zener diodu ile kararlı hale getirilmiş bir AC sinyali de kullanılabilir. Potansiyometre çıkışı ve V_x arasındaki herhangi bir fark mekanik bir chopper ile 60 sayıklık bir AC akıma çevrilir; alınan sinyal sonra yeterli derecede kuvvetlendirilerek küçük bir faz-hassas elektrik motorunu döndürür. Motor mekanik olarak hem bir kaydedici kalemine hem de potansiyometre kızına bağlıdır. Motorun dönme yönü, potansiyometre ve V_x arasındaki farkın sıfıra doğru azaldığı yöndedir, sıfırda motor durur.

Motorun yön kontrolünü anlayabilmek için, dönüşümlü bir AC motorunun iki takım sarımı olduğunu belirtmek gerekir. Bunlar sabit (stator) ve döner (rotor) sarımlardır. Bunlardan birine, örneğin rotora, 110 V 'luk şehir cırcerkanı bağlanarak sürekli dalgalanan bir magnetik alan oluşturulur. AC amplifikatörünün çıkışı ise statorun sarımlarına beslenir. Burada oluşan magnetik alan rotordaki alanla etkileşerek rotoru döndürür. Dönme yönü stator akımının rotor akımına göre olan "faz"ına bağlıdır; stator akımının fazı, V_x in V_{ref} sinyalinden daha büyük veya küçük olmasına göre 180^0 değişir. Böylece kuvvetlendirilen fark sinyal servo mekanizmayı (her iki yönden de) null konumuna çevirir.

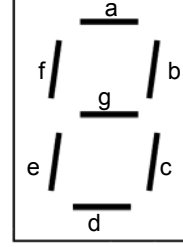
Laboratuvar kaydedicilerin çoğunda, kağıt sabit bir hızla hareket eder. Böylece, bir sinyalin zamanın fonksiyonu olarak değişimini gösteren grafik elde edilir.

İyi kaliteli bir laboratuvar kaydedicisi birkaç mikro volta kadar hassas bir kayıt yapabilir.

Alfasayısal Görüntüler

Digital cihazların çıkışı çoğu kez ondalık sayılar ve harflerle görüntülenir, buna "alfasayısal" şekil denir. Yedi- parçalı okuma aleti, şekilde görülen yedi parçadan uygun olanların ışıklanmasıyla herhangi bir sayı veya rakamın oluşması ilkesine göre çalışır. Örneğin a, f, g, c, ve d 'nin ışıklanmasıyla 5 rakamı oluşur; a, d, e, ve f 'nin ışıklanmasıyla da C sayısı gözlenir. Bir yedi-parçalı görüntü tablosundaki her parça ışık emitleyen bir diyottur (LED). Tipik bir LED, fosforla dopinglenmiş galyum arsenürden hazırlanmış bir pn bağlantısıdır. Yaklaşıtıcı-gerilim altında, pn bağlantısı, bağlantı bölgesindeki azınlık taşıyıcıların yeniden birleşmesiyle

kırmızı ışın yayar. Yedi parçanın her biri şifre çözücü lojik bir devreye bağlanarak gerekli zamanda aktiflenmesi sağlanmıştır. Yedi-parçalı sıvı kristalli görüntü birimleri (LCD) de vardır. Bunlarda, duvarları iletken bir film ile kaplanmış ince ve düz bir optik hücre içinde az miktarda bir sıvı kristal bulunur. Hücrenin bir bölgesine bir elektrik alanı uygulandığında sıvı kristaldeki moleküllerin dizilişi ve dolayısıyla kristalin optik görünüşü değişir.



Yararlanılan Kaynaklar

Principles of Instrumental Analysis, D.A.Skoog, D.M. West, II. Ed. 1981

<http://www.tpub.com/neets/book16/68.htm>

http://benp2183.mazran.com/download/nota_kelas/chap2_AcDcmeter1%20ver2.pdf

<http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~tarporn/2141375/HandOut/AnalogI.pdf>

http://sst.nsu.edu/elt111/lecture_notes/7.ppt.ppt#15

<http://electricinnn.blogspot.com/2009/11/galvanometer.html>

<http://wps.pearsoned.co.uk/wps/media/objects/1244/1273900/Chap11.ppt>