

Sensörler / Transduserler

Sensör/Transduser tipleri

- Sensör/Transduserler yapım şekline göre üçe ayrılır;
 - Fiziksel
 - Kimyasal
 - Biyoanalitik

Fiziksel sensör/Transduserler

- Strain gauge
- Accelerometer
- Load cell
- Basınç sensörü
- Velocimeter
- Termistör
- Metal resistance thermometer
- Akış sensörü

Kimyasal Sensör/transduserler

- Oxygen electrode
- pH electrode
- Ion-selective electrode
- CO₂ sensor

Ion-Selective electrode

The image contains two schematic diagrams and two photographs illustrating different types of ion-selective electrodes.

Left Diagram: A cross-section of a thin-film electrode. It consists of a thin layer of **Hydrogel Inner Solution** and an **Ion-Selective Membrane** on top of a **Substrate**.

Right Diagram: A cross-section of a thick-film electrode. It features a **Thick-film Wall** on a **Substrate**. Inside the wall is a **Hydrogel Inner Solution** chamber. The chamber is lined with an **Ion-Selective Membrane** and contains a **Reference Electrode**.

Bottom Left Photograph: A single thin-film basis ion-selective electrode, shown next to a ruler for scale.

Bottom Right Photograph: A multi-electrode array on a ceramic substrate, with the inner chamber defined by 100 μm thick glaze films. The array has five electrodes, each with a colored wire (orange, green, black, yellow, and red).

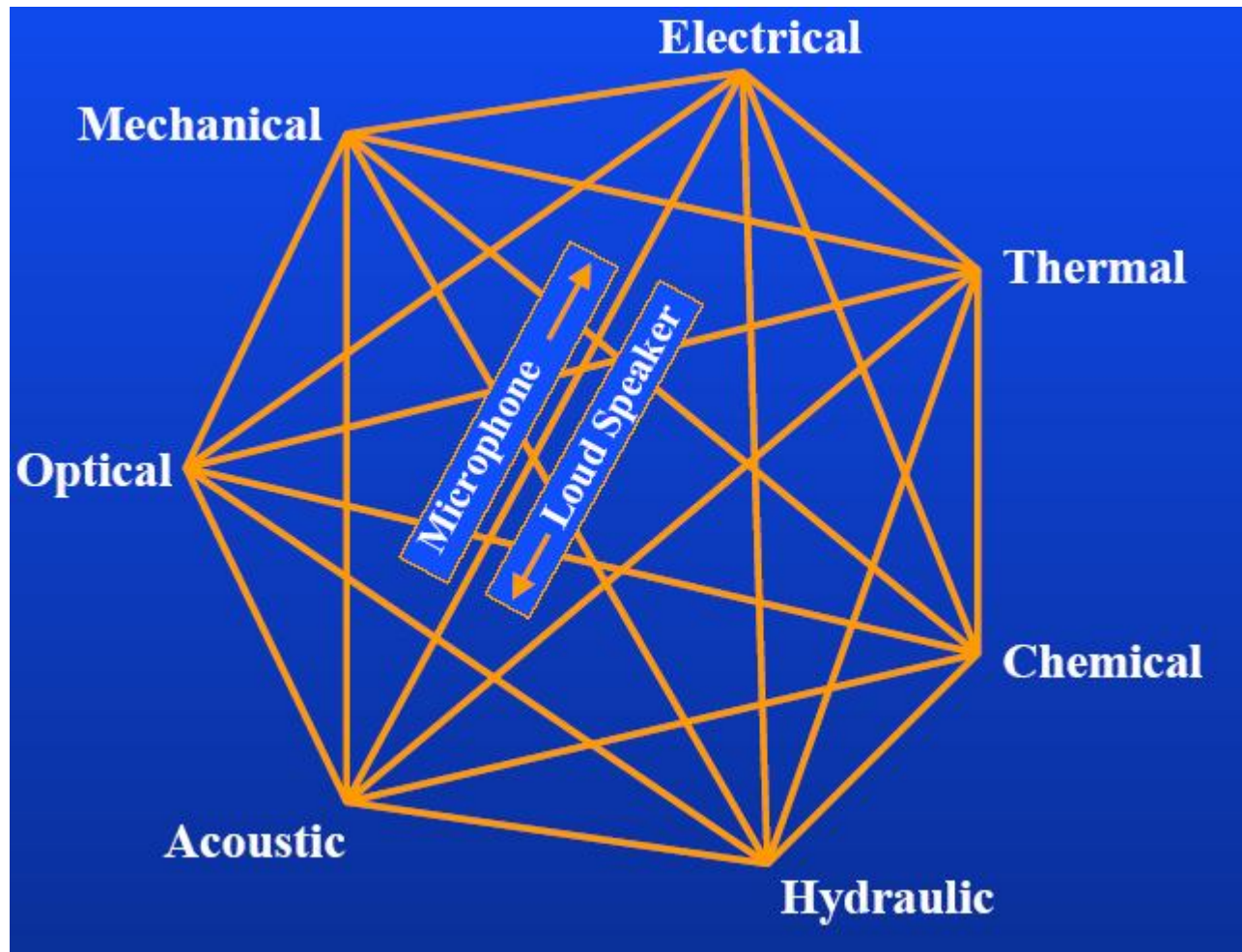
Caption for Left Photograph: Single thin-film basis ion-selective electrode

Caption for Right Photograph: Ion-selective electrodes on a ceramic substrate with the inner chamber defined by 100 μm thick glaze films.

Biyoanalitik sensör/Transduserler

- Glucose sensor
- Lactate sensor
- ...

Transdüser tipleri



Direnç tipi Sensör/transduserler

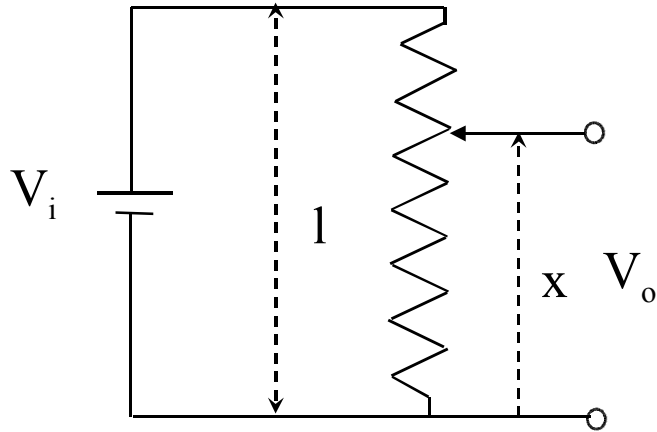
- Direnç tipi transduserler aşağıdaki gibi gruplandırılırlar;
 - Potansiyometrik elemanlar
 - Strain gauge
 - Isı iletken metre
 - Termistorler
 - Hygrometre

Potansiyometrik elemanlar I

- Potansiyometreler hareket edebilen bir kol yada sürgüsü olan dirençlerdir. Sürgünün pozisyonu direnç boyunca hareket ettirilerek değiştirilir. Sürgü ile direncin başlangıç noktası arasındaki direnç hareketle değişir. Potansiyometrelerin direnci sabittir (birim uzunluğunun direnci eşittir). Böylece sürgü hareket ettikçe harekete bağlı olarak sürgü ile referans noktası arasındaki direnç değeri lineer değişim gösterir. Ölçülen direnç gerilime çevrilerek elektronik devreye uygulanır.

Potansiyometrik elemanlar II

- Potansiyometre doğrusal veya açısal yer değiştirmeyi gerilim olarak ölçerler :



- Yer değiştirmesi ölçülecek obje hareket eden sürgüye bağlanır.
- Çıkış gerilimi yer değiştirmeye bağlı doğrusal olarak değişir, yer değiştirme x olarak gösterilirse:
$$V_o = \frac{x}{l} V_i$$

- DC güçle çalışır.
- Çalışma aralığı $\sim l$
- Mekanik bağlantı yapılıır

- Örnek uygulama: **Perfusor**

Potansiyometrik elemanlar III

Aşağıda doğrusal, açısız ve çok sarımlı potansiyometrik elemanlar gösterilmiştir.

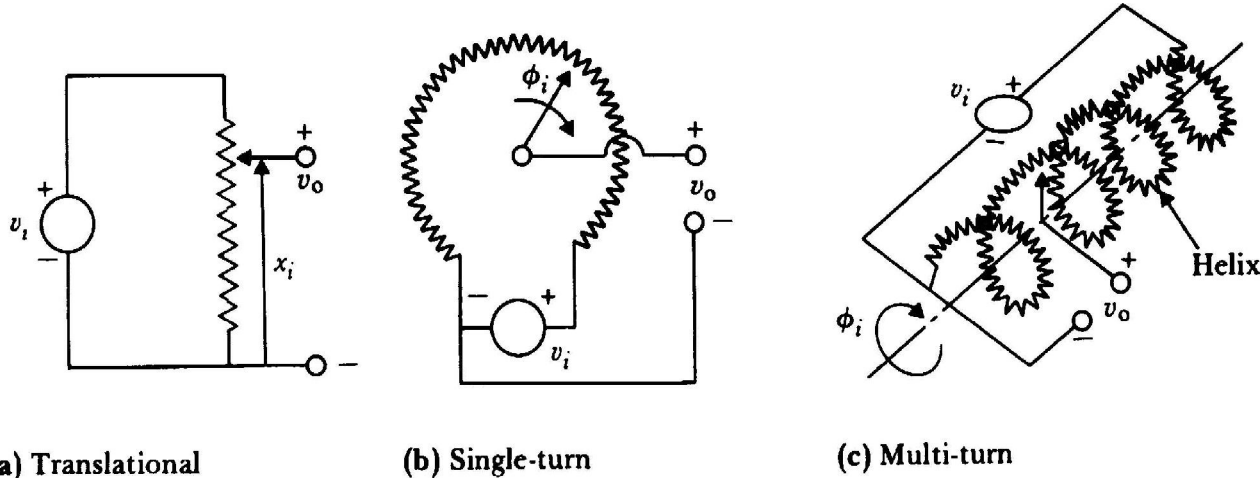


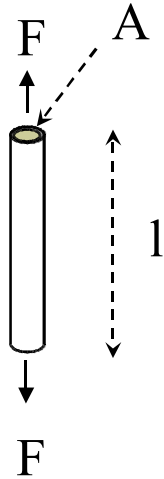
Figure 2.1 Three types of potentiometric devices for measuring displacements (a) Translational. (b) Single-turn. (c) Multi-turn. (From *Measurement Systems: Application and Design*, by E. O. Doebelin. Copyright © 1990 by McGraw-Hill, Inc. Used with permission of McGraw-Hill Book Co.)

Strain gauge I

- Strain gauge' ler ölçülecek yüzeyi germek veya sarmak için daha uygundur.
- Elastik limitleri içinde gerilerek kullanılır.
- Gerildiklerinde dirençleri daha önceden bilinen bir katsayı yada fonksiyona göre değişir.
- Eğer gerilme elastik limitleri aşarsa strain gauge hasar görür ve düzgün ölçüm yapmazlar.
- Elastik sınırları içinde kuvvet ortadan kalkarsa eski uzunluklarına ve direnç değerine dönerler.
- Strain gauge' ler uzayınca dirençleri artar.

Strain gauge II

- Strain gauge ler yerdeğiştirme ölçerler. Uzaması uygulanan güce göre lineer olarak artar.
- Uzunluğu l , kesit alanı A olan bir strain gauge;



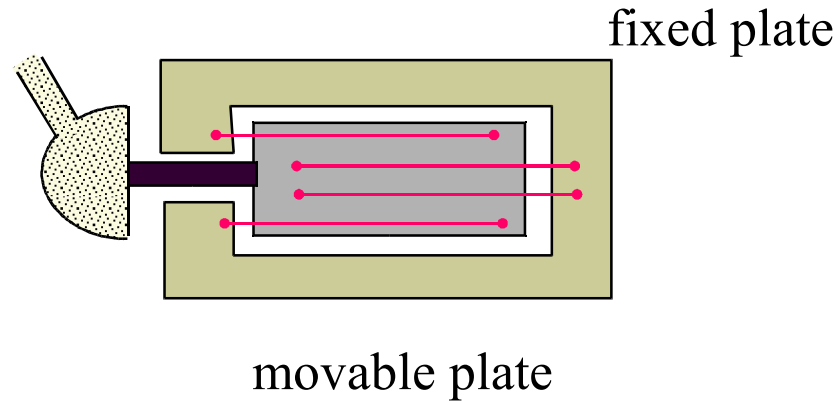
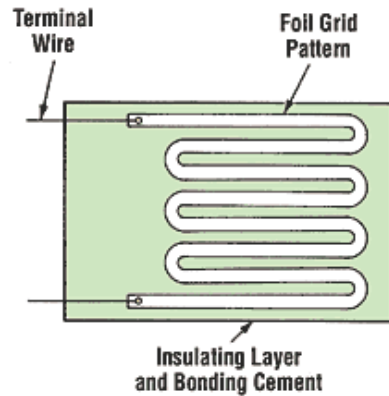
- Kuvvet yokken : $R = \rho \frac{l}{A}$
- Kuvvet uygulandığında, uzunluk artışı Δl .
- Materyalin hacmi sabit kalır. Alanındaki değişim miktarı: $lA = (l + \Delta l)A_{\Delta}$

ve direncindeki değişimi :

$$\Delta R = \rho \frac{(l + \Delta l)^2}{lA} - \rho \frac{l}{A} \cong \frac{2\Delta l}{l} R$$

Strain gauge III

- Strain Gauge katsayısı, G: $G = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l}$ sensörün hassasiyetini verir.
- Metal strain gauge için (constantan), $G \sim 2$, silikon yarıiletken strain gauge için $G \sim 200$ dir.
- Silikon yarıiletken strain gauge daha hassastır.
- Kıvrımlı strain gauge yarı esnek arka metale tutturulmuştur. Kıvrımsız strain gauge esnek bağlantıyla hareketli ve sabit yüzeylere tutturulmuştur.



- Örnek uygulama : kan basıncı ölçme.

Strain gauge III

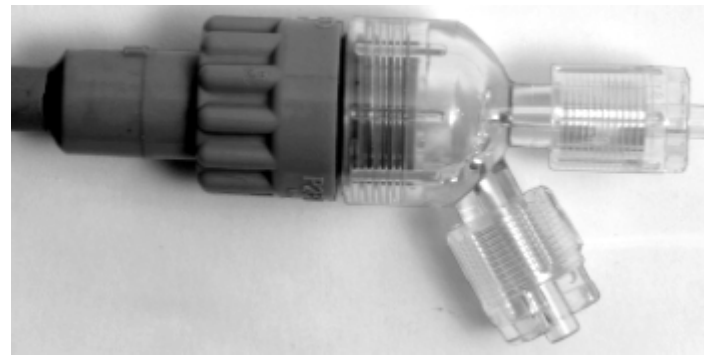
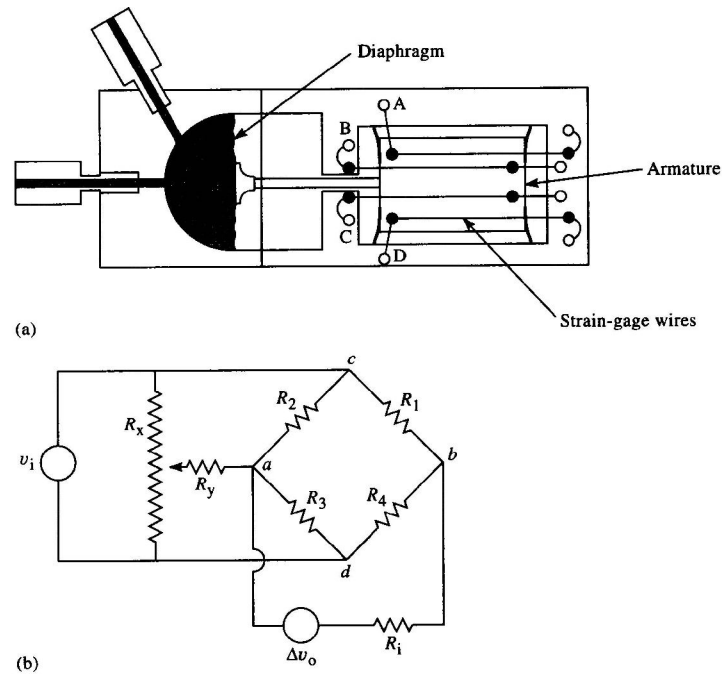
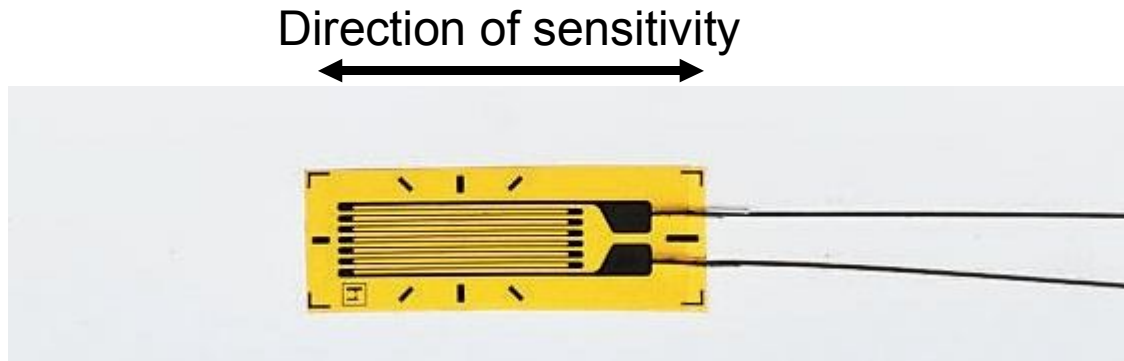


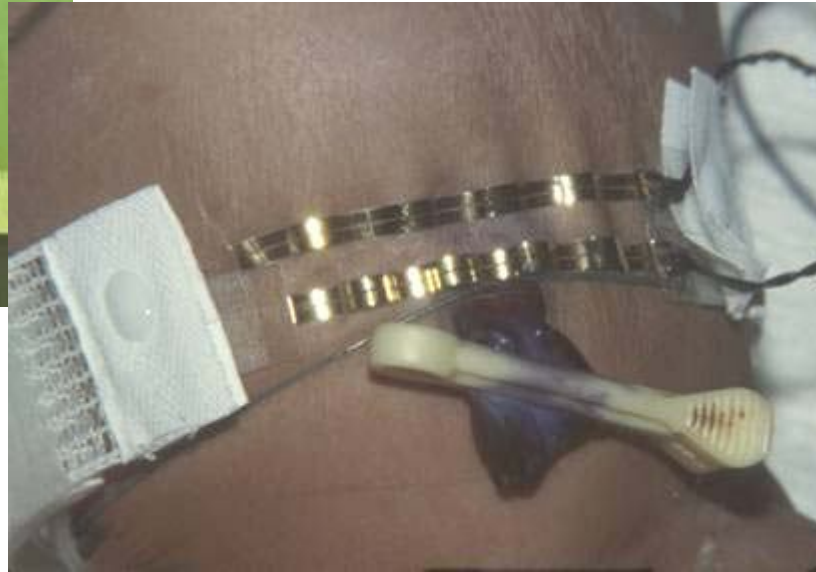
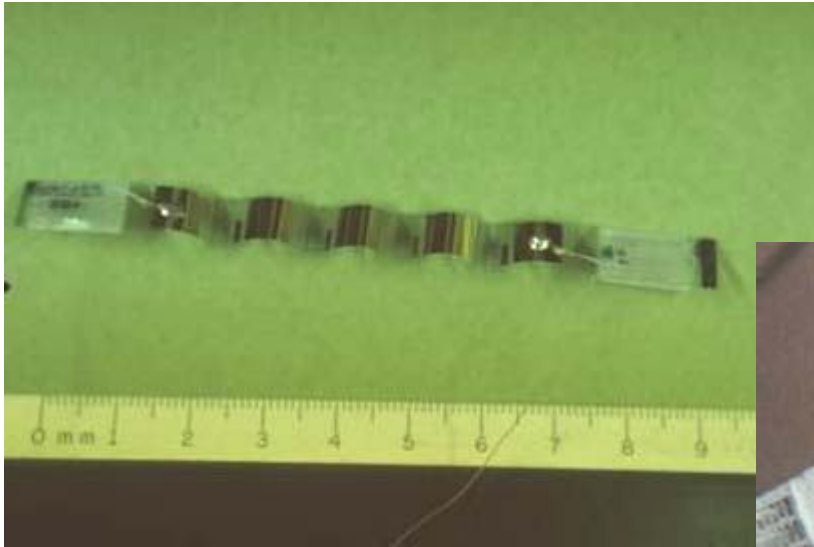
Figure 2.2 (a) Unbonded strain-gauge pressure sensor. The diaphragm is directly coupled by an armature to an unbonded strain-gauge system. With increasing pressure, the strain on gage pair B and C is increased, while that on gage pair A and D is decreased. (b) Wheatstone bridge with four active elements. $R_1 = B$, $R_2 = A$, $R_3 = D$, and $R_4 = C$ when the unbonded strain gage is connected for translational motion. Resistor R_y and potentiometer R_x are used to initially balance the bridge. v_i is the applied voltage and Δv_o is the output voltage on a voltmeter or similar device with an internal resistance of R_i .

Strain gauge V

-Direnci bir yöne doğru gerilince artar. Diğer yöne doğru gerilince çok az bir değişiklik görülür. Bu yüzden strain gauge'nin hareket yönü önemlidir. Tek yöne çalışır.

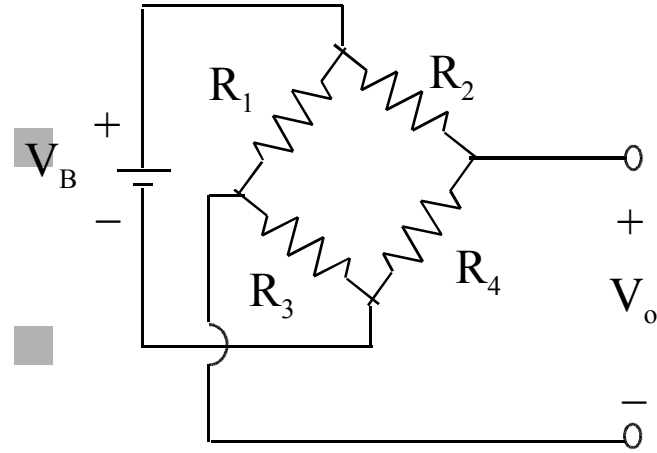


Strain gauge uygulaması



Isı İletken metre (Wheatstone köprüsü)

- En genel Wheatstone köprüsü bağlantısı :



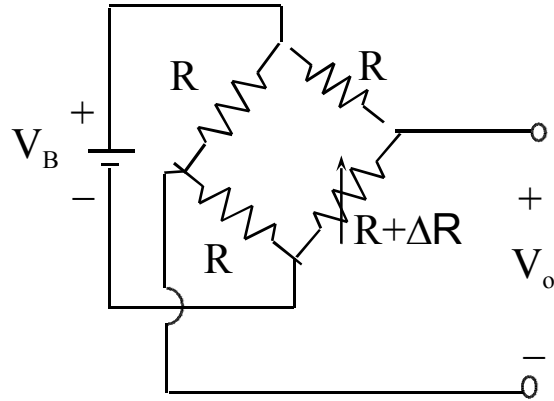
- Çıkış gerilimi:

$$V_o = \left(\frac{R_4}{R_2 + R_4} - \frac{R_3}{R_1 + R_3} \right) V_B$$

- Köprü iki şekilde kullanılır.
 - “null detector” olarak.
 - Gerilim farkını ölçmek için.

Wheatstone köprüsü II

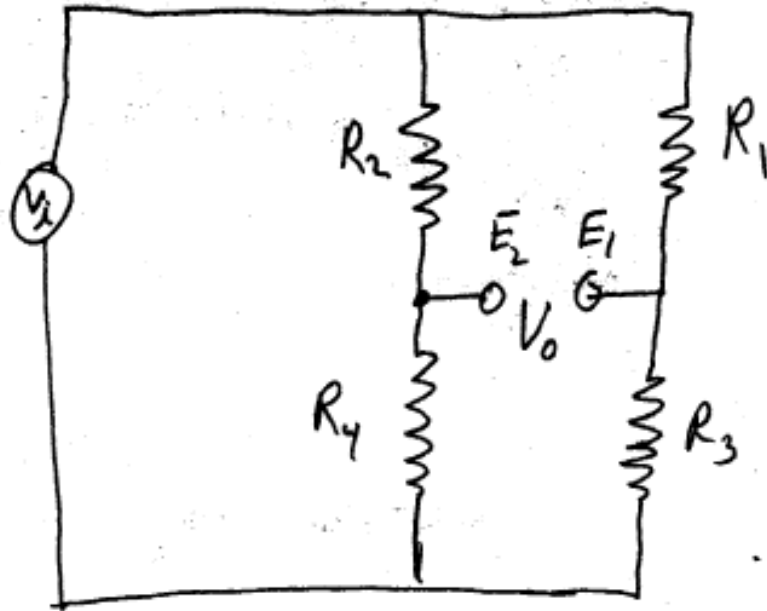
- Sensör köprüsü normalde 4 bağımsız sensörden oluşur. Bunlardan sadece birisi ölçüm için kullanılır. Diğerleri referans sensörüdür :



$$V_o = \left(\frac{R + \Delta R}{2R + \Delta R} - \frac{R}{2R} \right) V_B$$
$$= \frac{\Delta R}{2(2R + \Delta R)} V_B \cong \frac{\Delta R}{4R} V_B$$

- Örneğin, dirençteki max %1 değişim, çıkış geriliminde ~0.0025V tur; i.e. 10V besleme için 2.5 mV.

Wheatstone köprüsü III



$$V_0 = E_2 - E_1$$

$$E_2 = \frac{R_4}{R_4 + R_2} V_i \quad E_1 = \frac{R_3}{R_1 + R_3} V_i$$

$$\therefore V_0 = V_i \left[\frac{R_4}{R_4 + R_2} - \frac{R_3}{R_1 + R_3} \right]$$

If the bridge is balanced, then $V_0 = 0$

$$\therefore \frac{R_4}{R_4 + R_2} = \frac{R_3}{R_1 + R_3} \rightarrow$$

$$R_4 R_1 + \cancel{R_3 R_4} = \cancel{R_3 R_4} + R_3 R_2$$

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

Wheatstone köprüsü IV

For the pressure sensor of Figure 2.2, all resistances are nominally equal under no load ($R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_0$). As

the gage is loaded, R_1 and $R_3 \rightarrow R_0 + \Delta R$
 R_2 and $R_4 \rightarrow R_0 - \Delta R$

\therefore the output voltage V_o becomes

$$V_o = V_i \left[\frac{R_0 + \Delta R}{R_0 + \Delta R + R_0 - \Delta R} - \frac{R_0 - \Delta R}{R_0 + \Delta R + R_0 - \Delta R} \right] = V_i \left[\frac{R_0 + \Delta R - R_0 + \Delta R}{2R_0} \right]$$

$$V_o = \left[\frac{2\Delta R}{2R_0} \right] V_i$$

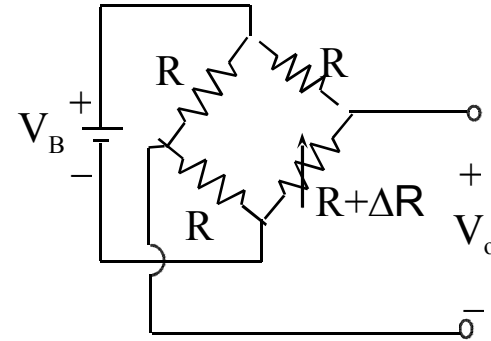
$$V_o = V_i \left[\frac{\Delta R}{R_0} \right]$$

$\therefore V_o$ proportional to $\frac{\Delta R}{R_0} \rightarrow \frac{\Delta R}{R_0} = G \frac{\Delta L}{L_0}$
 \uparrow Gage factor

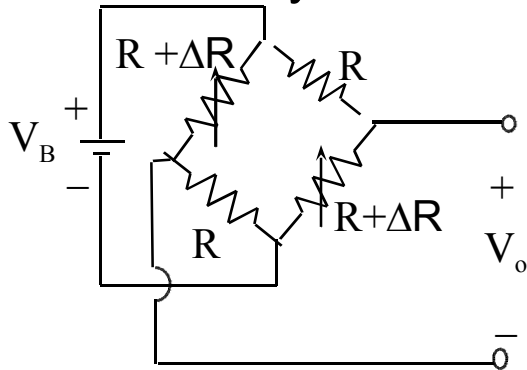
$$\therefore V_o = [V_i \cdot G] \left[\frac{\Delta L}{L_0} \right] \rightarrow \underline{\text{Strain Gage}}$$

Wheatstone köprüsünün avantajları

- Ölçüm hassasiyetini artırır.
- Sensör çıkışındaki gürültüyü yok eder; i.e. Sensörler hem sıcaklık değişimi hem de gerilme etkisinde kalırsa 4 bağımsız sensör de sıcaklıktan etkilenir ancak sadece birisi gerilme etkisinde kalır, sıcaklık etkisi yok edilir.



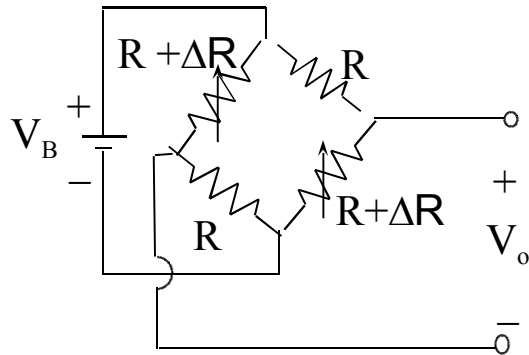
- Hassasiyeti artırma yöntemi:



$$V_o = \left(\frac{R + \Delta R - R}{2R + \Delta R} \right) V_B \cong \frac{\Delta R}{2R} V_B$$

Wheatstone köprüsü dezavantajı

- Linearity error :



$$V_o = \left(\frac{R + \Delta R - R}{2R + \Delta R} \right) V_B \cong \frac{\Delta R}{2R} V_B$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\text{bridge}} &= \left(\frac{\Delta R}{2R} - \frac{\Delta R}{2R + \Delta R} \right) V_B \\ &= \frac{(\Delta R/R)^2}{4(1 + \Delta R/2R)} V_B \\ &= \frac{\Delta R/R}{2(1 + \Delta R/2R)} \times 100\% \end{aligned}$$

- E.g. For maximum $\Delta R/R = 1\%$, a linearity error of 0.5% of the FSD output voltage range is calculated.

Termistörler I

- Termistörler dirençleri sıcaklıkla değişen direnç tipi sensörlerdir.
- Çinko, bakır, nikel katılan metal oksit maddelerden elde edilir.
- Sıcaklı katsayısı negatif olan termistöre NTC, pozitif olan termistöre PTC adı verilir.
- Negatif katsayılı termistörler (NTC) için direncinin sıcaklıkla değişimi :

$$R_T = R_0 e^{\beta(T-T_0)/T_0}$$

- R_0 mutlak sıcaklık T_0 daki direnci, β malzemenin sabiti.
- Değişim katsayısı lineer değildir fakat küçük değişim aralığında lineer olarak kabul edilir PTC içinde aynı durum geçerlidir.
- Termistörlerin tipik çalışma aralığı $-40 \sim 150 \pm 0.35 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($-40 \sim 302 \pm 0.63 \text{ } ^\circ\text{F}$) dir.
- Örnek uygulama : direk temasla vücut sıcaklığı ölçümü

Termistörler II

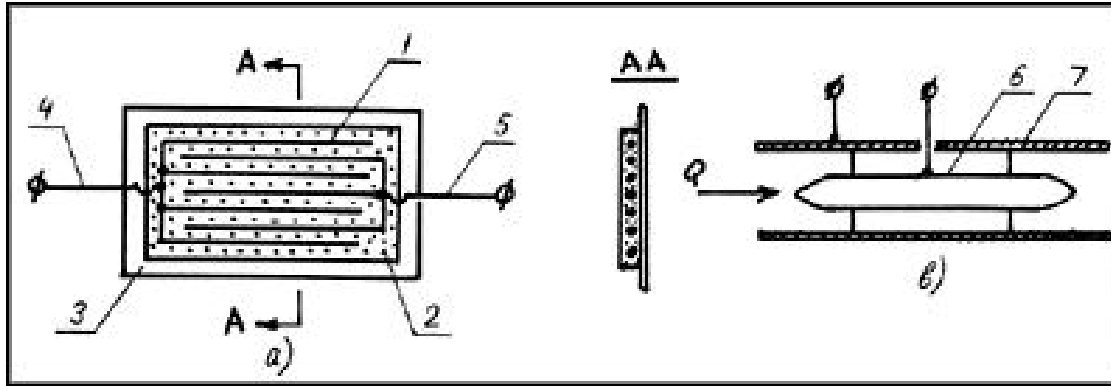
- Termistörler resimdeki gibi boncuk, pul, disk veya çubuk şeklinde olabilirler.
- Tipik kullanımda çalışma dirençleri $k\Omega$ mertebesinde ancak gerçek çalışma aralığı birkaç $M\Omega$ la birkaç Ω arası olabilir. Ancak bu aralıkta lineer kabul edilmezler.
- Termistörlerin duyarlılığı yüksek frekanslarda düşüktür.
- Termistörler boyut olarak küçük olduklarından ısı transferini zor yaparlar fakat iletkenlik transferini kolay yaparlar.
- Bütün termistörler elektronik devreye gerilim bölücü direnç gibi bağlanır.
- Her iki yüzeyi de kullanılır.



Hygrometre

- Direnç ve/veya kapasitif hygrometrelerin nemi emen yada bırakan duyarlı elemanları vardır. Bunlar ortamdaki sulu bir yüzeydeki nem oranı çevre ortamdaki su buharı basıncına eşit olana kadar işlem yaparlar..iki elektrod yüzeylerle(kapasitansı yada direnci nemle değişen) temas halindedir. bir çok çeşitli materyal örnek olarak polimer filimler, lithium chloride, çözülmüş tuz solüsyonu, cellulose, aluminum oksit, bazı deneysel materyaller lead iodide, polyelectrolyte bileşikleri gibi.

Kapasitif hygrometrelere yapılan bir değişiklik eş merkezli iki elektrodla yapılmasıdır. ölçülen gaz onların arasından akar. Dielectric sabiti gazın içindeki su buharı oranına bağlıdır. Hygrometer with hygroscopic layer (a) and capacitive-type hygrometer (b). Q = gaz akışı, 1 = electrode, 2 = hygroscopic yüzey, 3 = substrate, 4 and 5 = leads(kurşun), 6 and 7 = internal(iç) and outer (dış) eşmerkezli elektrodlar.



Kapasitif tipi Sensör/transduserler

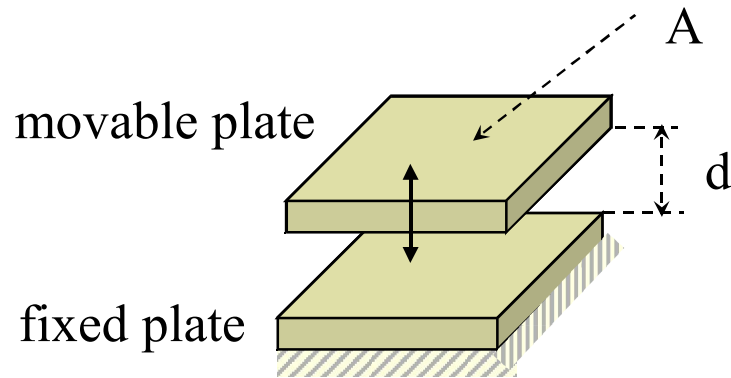
- Pasif devre elemanlarıdır.
- Uyarma gerilimleri DC dir.
- Yerdeğişimini kapasite değişimine çevirirler.
- Hareket eden plakaların çok hafif yapılabilmesi sebebiyle ölçme düzeneğine çok az etki eder.
- Kapasitif tipi transduserlerin duyarlılıkları ve doğrulukları yüksektir. Bu sebepten yaygın kullanılırlar.

Kapasitif tipi transduser çeşitleri

- Kapasitif yerdeğiştirme.
- Kapasitif basınç
- Dielektrik faktörü.

Capasitif yerdeğiştirme I

- Kapasitif bir yerdeğiştirme sensörü sabit ve hareketli bir levhanın arasındaki uzaklığın yer değiştirmesiyle oluşan kapasitansındaki değişlikle bir çıkış sinyali üretir.



$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

$$\Delta C = \epsilon_0 \epsilon_r \left(\frac{A}{d} - \frac{A}{d + \Delta d} \right)$$

- Örnek uygulama :hasta respirasyon oranı ölçümü ya da hasta yatağının altına yerleştirilmiş birkaç sensörle hasta hareketinin ölçülmesi

Kapasitif yerdeğiştirme II

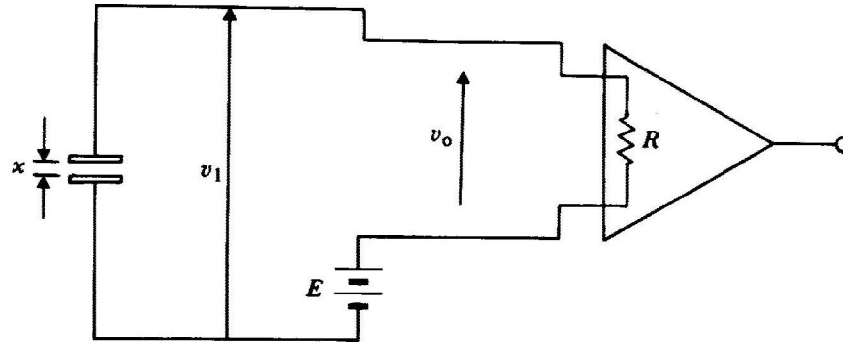
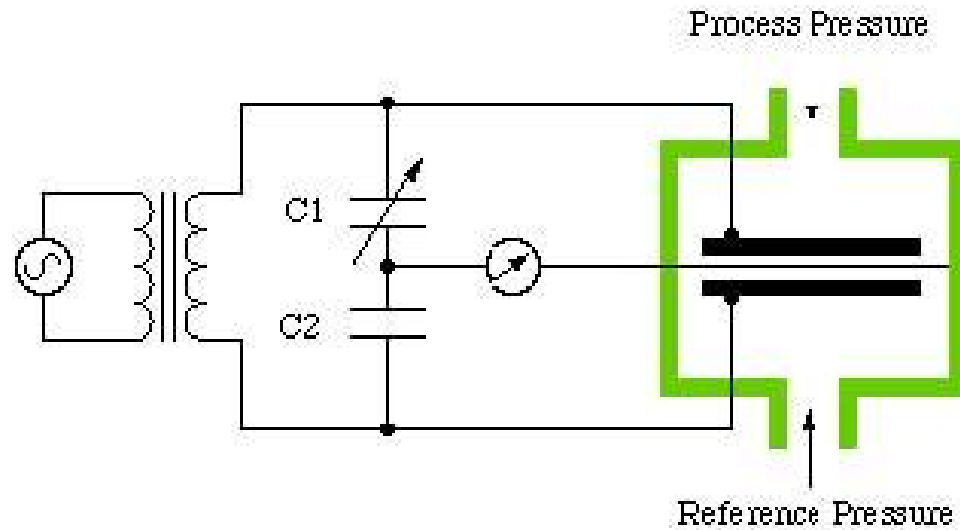


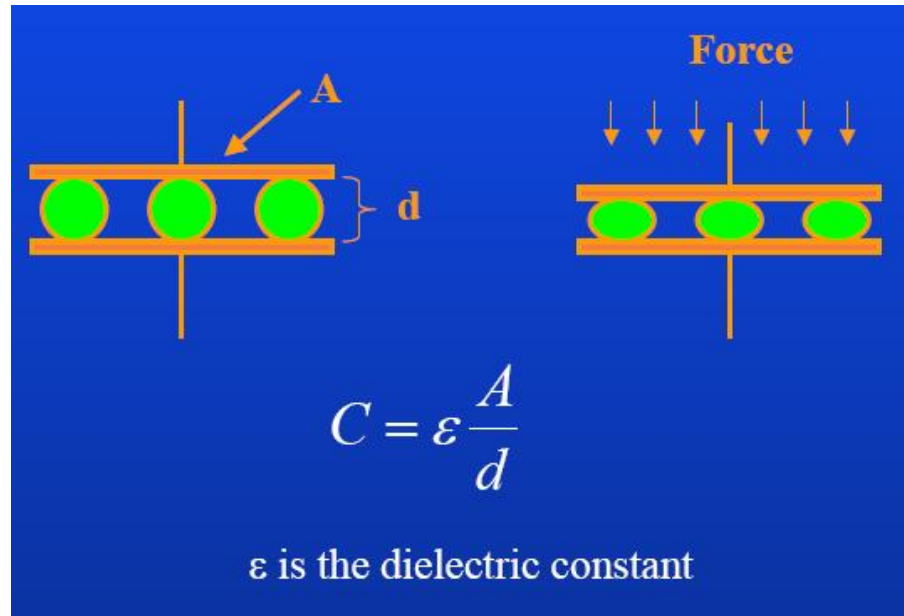
Figure 2.8 Capacitance sensor for measuring dynamic displacement changes



Circuit 6. Schematic capacitive pressure sensor

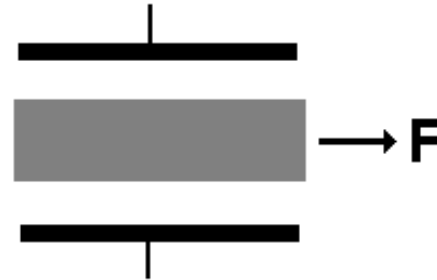
Kapasitif basınç

- İki metal plaka arasında dielektrik vardır.
- Dielektrik esnek bir malzemedendir. Kuvvet etkisiyle esner.
- Esneyen dielektrik kapasitenin değişmesine sebep olur.
- Kapasitenin değişmesi, yerdeğiştirmeye orantılıdır.



Dielektrik Faktörü

- İki metal plaka arasında dielektrik vardır.
- Dielektrik her iki tarafa hareket edebilir. Uygulanan bir kuvvetle dielektriğin bir tarafa doğru hareketi sağlanır. Hareket eden dielektrik Kapasitenin değişmesine sebep olur.
- Kapasitenin değişmesi, yerdeğiştirmeyeyle orantılıdır.



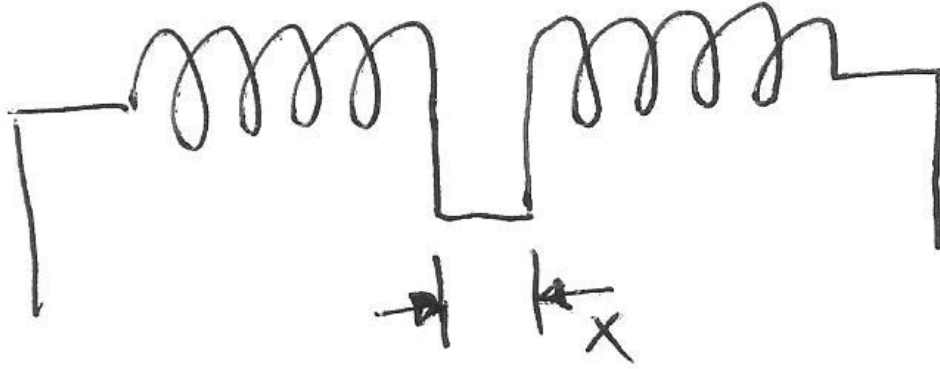
Endüktif tip Sensör/transduserler

- Pasif devre elemanlarıdır.
- Uyarma gerilimleri AC dir.
- Yerdeğişimini indüktans değişimine çevirirler.
- Uyarma gerilimleri AC olduğundan frekansı, genliği yada fazı fiziksel değişimle orantılı olarak değişen sinyal elde edilir.
- Endüktif tipi transduserlerin duyarlılıkları ve doğrulukları yüksektir. Bu sebepten yaygın kullanılırlar.

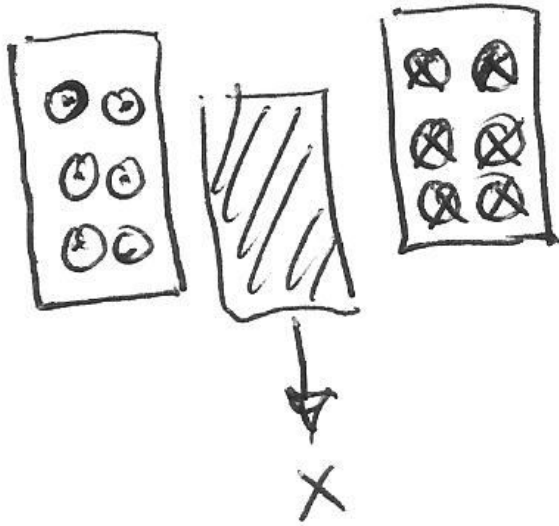
Endüktif tipi transduser çeşitleri

- Tek bobinli,
- Çok bobinli
 - Bobinler arası kuplaj olmayanlar
 - Transformatörler

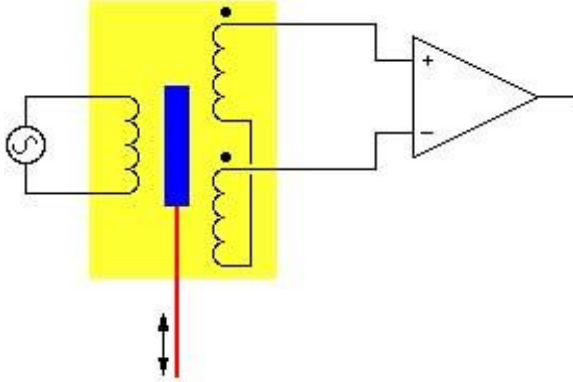
Tek bobinli Endüktif yerdeğiştirme



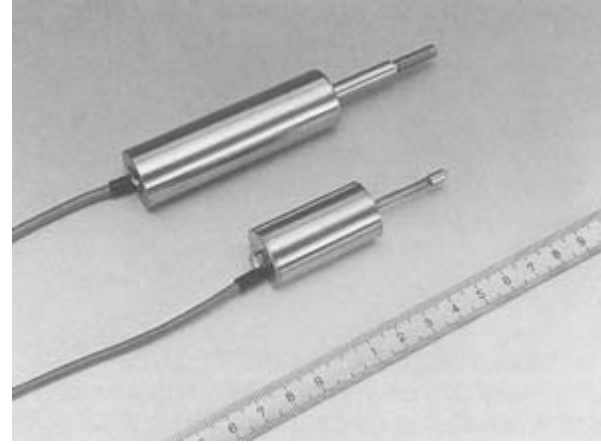
- Hassastır.
- Yerdeğiştirmenin miktarını bulur ancak yönünü bulamaz.
- Değişim aralığı azdır. Aralığı arttırmak için çift bobinli endüktanslar kullanılır.



Endüktif yerdeğiştirme (LVDT) I



Circuit 7. Schematic inductive position sensor



İndüktör denklemi: $L = n^2 G \mu$

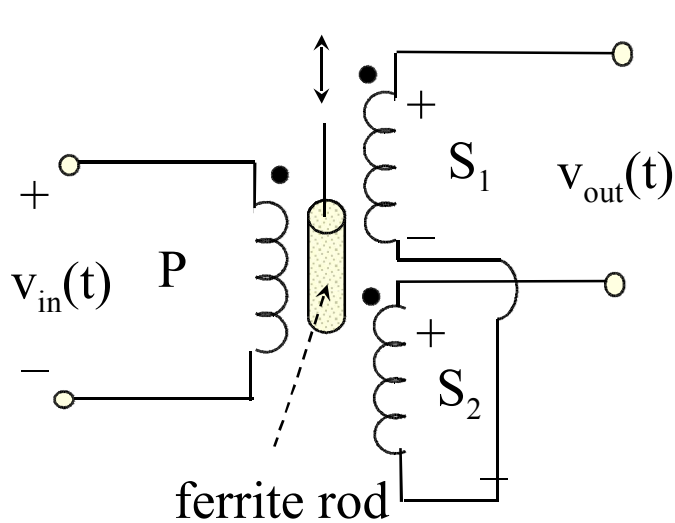
n bobinin sarım sayısı, G geometrik form çarpanı ve μ de ortamın etkin geçirgenliği.

Denklemin sağ tarafındaki herhangi bir terim endüktans değerini değiştirir.

Endüktif sensörler sıklıkla iç organların boyutlarındaki değişimlerin ölçülmesinde kullanılır.

Endüktif yerdeğiştirme (LVDT) II

- Linear variable displacement transformer (LVDT) 3 bobinli endüktif transduserdir.
- Bobin etrafındaki ortak endüktans bobinin hareketiyle değişir.

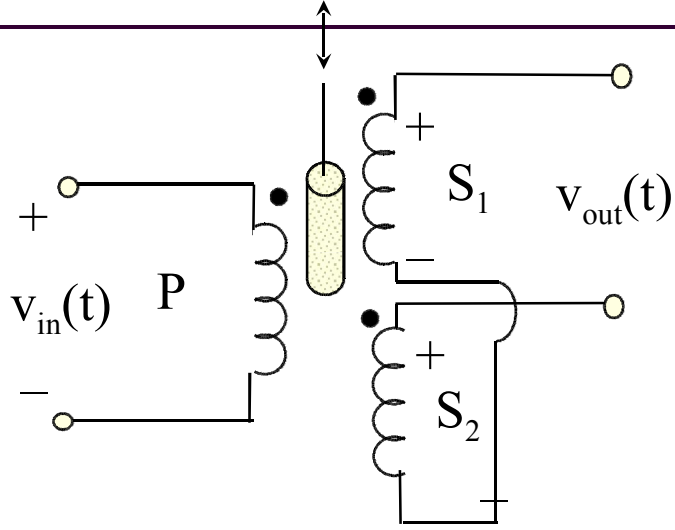


$$v_{S_1}(t) = k_1 v_{in}(t),$$

$$v_{S_2}(t) = k_2 v_{in}(t) \quad \therefore \quad v_{out}(t) = v_{S_1}(t) - v_{S_2}(t)$$

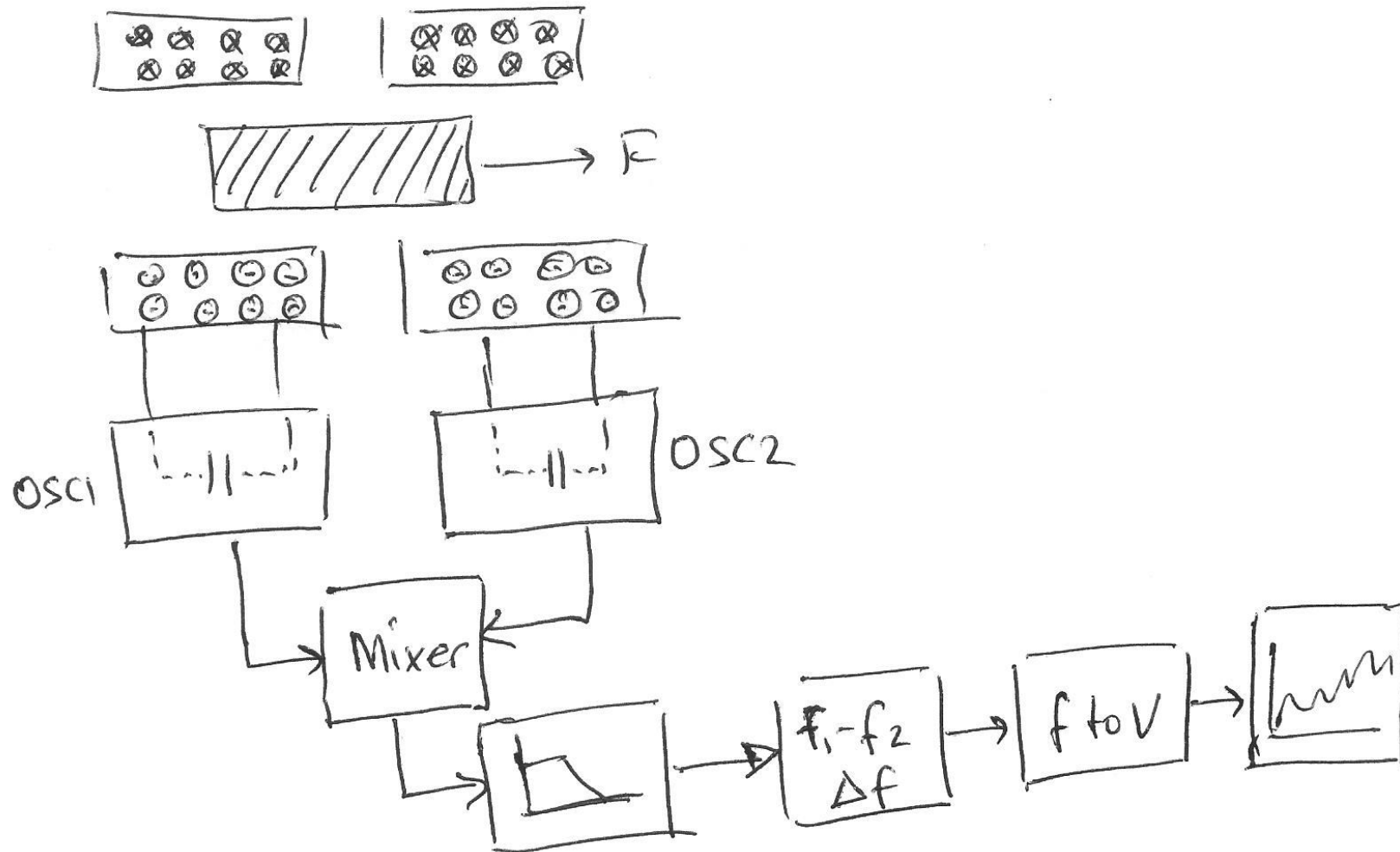
- İkinci sarımlar birbirine ters olarak bağlanır.
- Nüve tam ortadayken ikinci sarımlardaki gerilimlerin toplamı “0” dir yani çıkış voltajı sıfırdır.

Endüktif yerdeğiştirme (LVDT) III

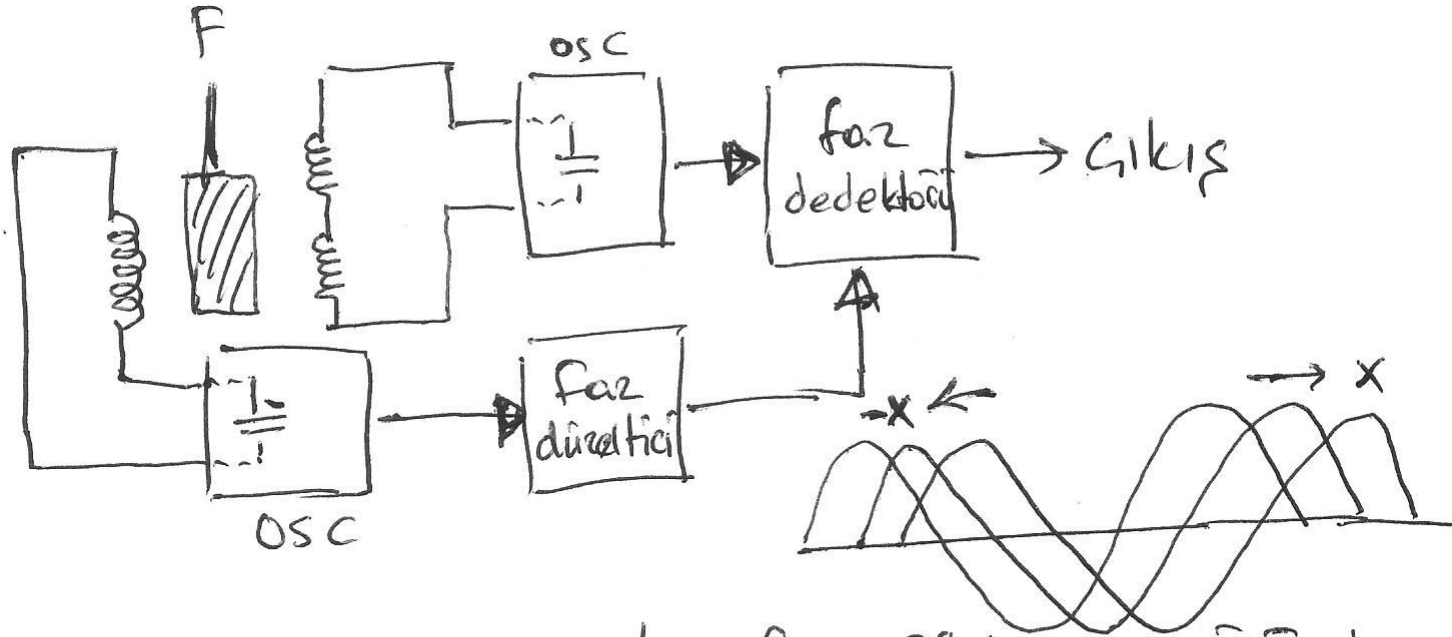


- AC gerilim kaynağı ile uyarılır.
- ölçüm aralığı bobinin büyüklüğüne göre sınırlanır.
- Hareketli parça yoktur.
- Örnek uygulama: Sürekli yerdeğişimleri ölçme ve izleme.

Endüktif yerdeğiştirme (LVDT) IV



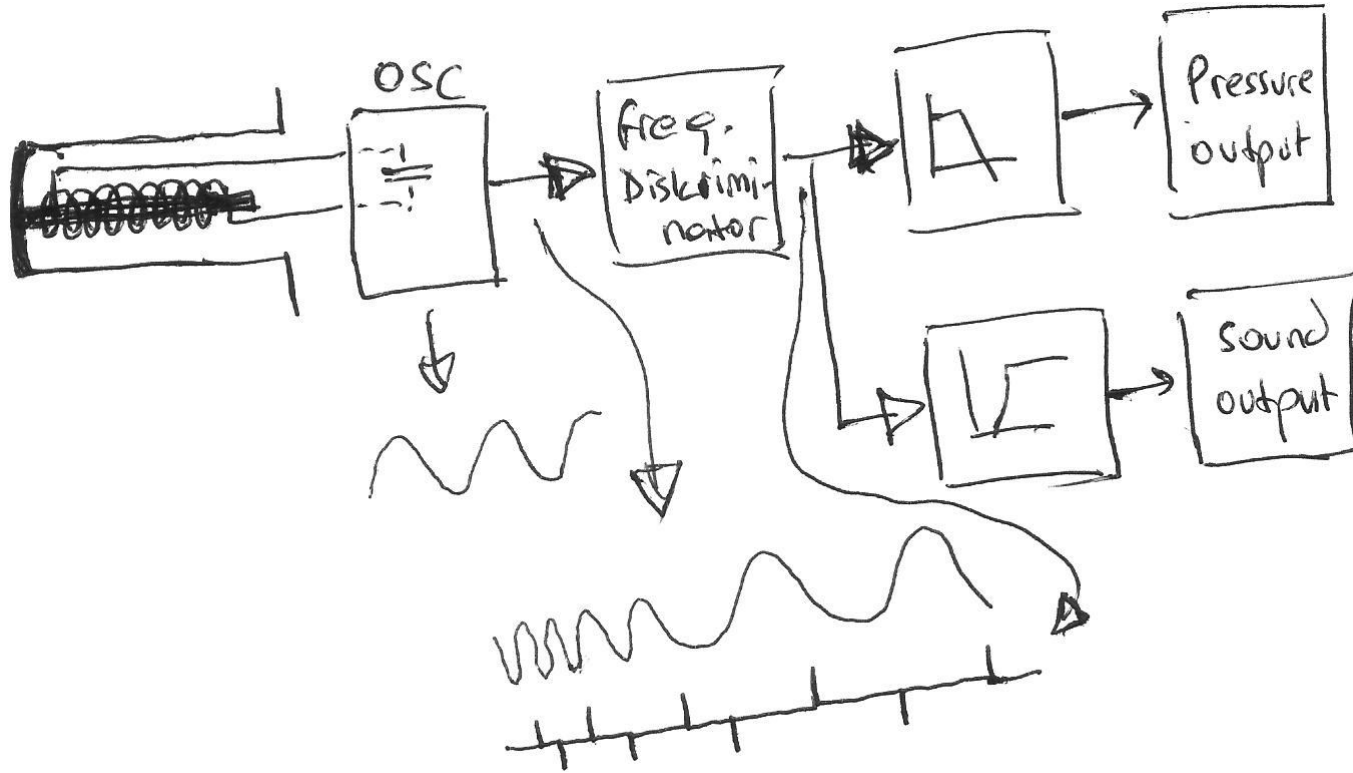
Endüktif yerdeğiştirme (LVDT) V



çıkış fazı 0° ise x yönünde
çıkış fazı 180° ise $-x$ yönünde

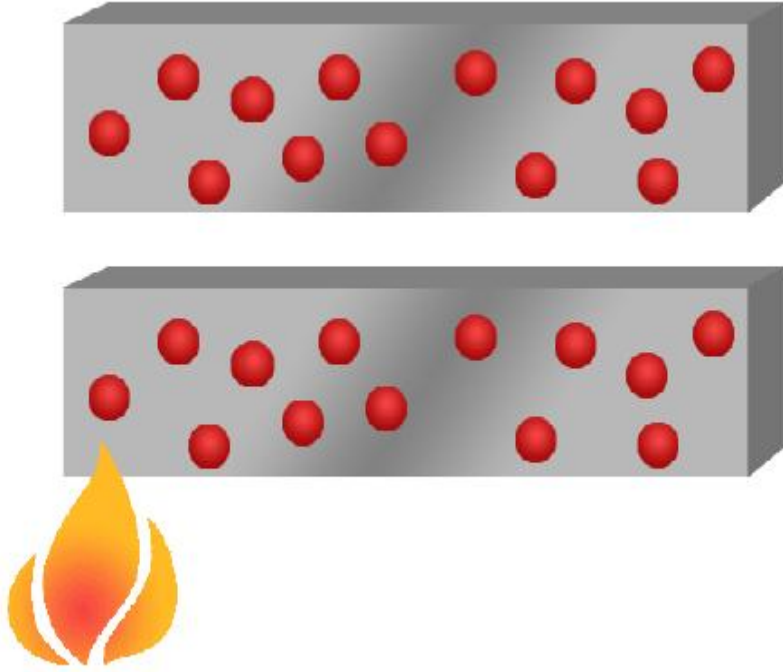
- Hassasiyeti ve Duyarlılığı yüksek bir devredir.
- Dielektriğin hareket alanı büyüktür.
- Hareket yönü bellidir.

Endüktif yerdeğiştirme (LVDT) VI



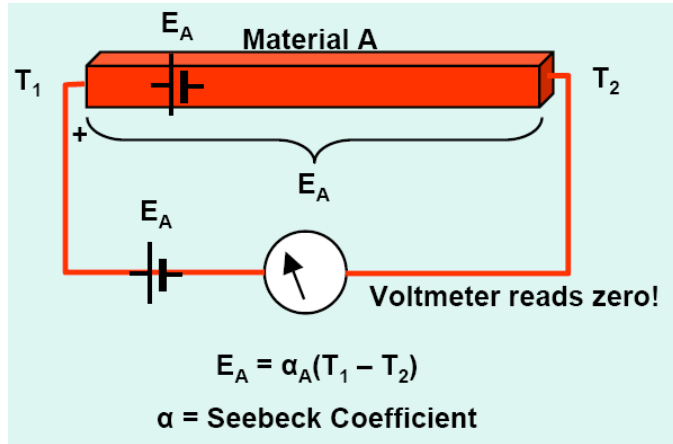
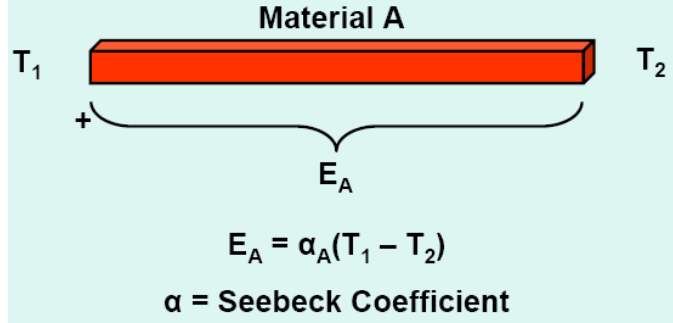
Örnek uygulama: IBP

Termo çift I



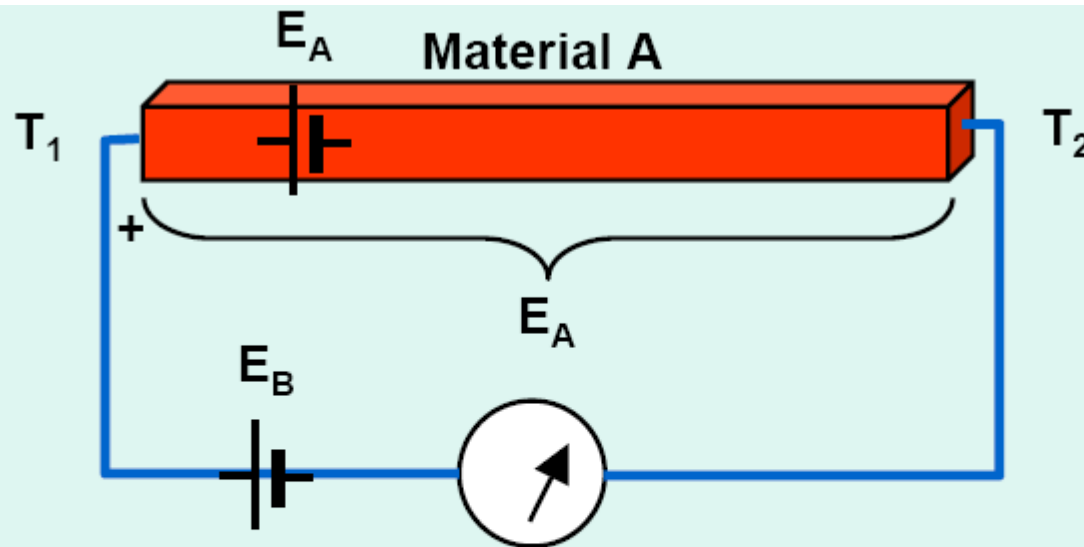
- Isıtılan metal EMK üretir.
- Metal Soğuk uçtaki yüke göre adlandırılır. (Ör:Fe +EMK'lıdır).
- Termo çift farklı EMK'lı 2 metal iletkenen oluşan bir sıcaklık sensörüdür.
- Metaller iki ucundan ısıtılırsa EMK oluşmaz.

Termo çift II



- Bu iki tel iki farklı noktadan birbirine bağlanır. Birisi sıcaklık ölçümü için diğeri ise referans olarak kullanılır.
- iki noktanın arasındaki sıcaklık farkı, metallerin temas ettikleri ölçüm yerlerinde oluşan gerilim değişiminden (EMK farkından) ölçülür.
- Termo çiftin hassasiyeti yüksektir.
- Lineer olarak çalışan bir devre elemanıdır.

Termo çift III

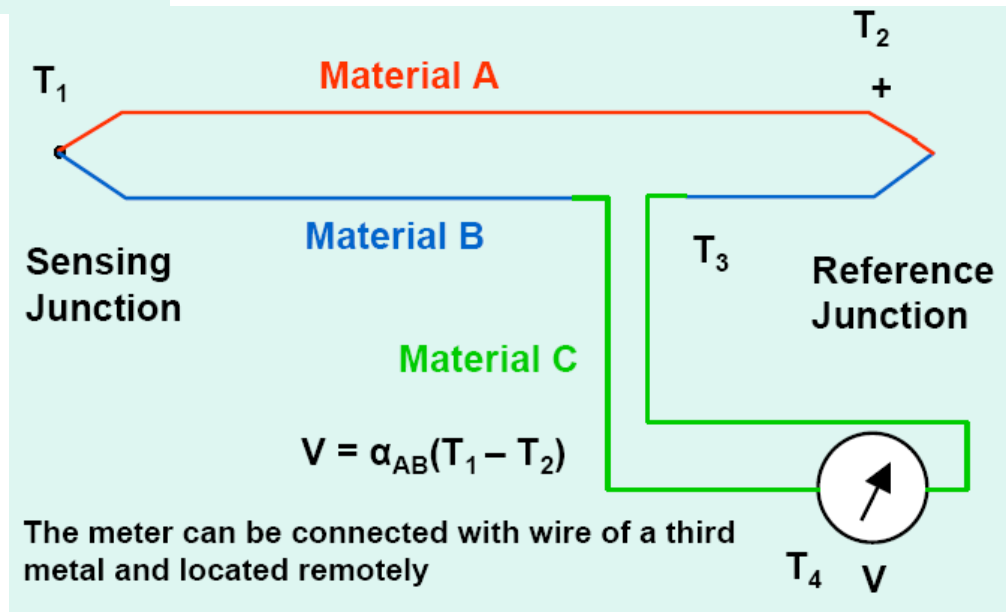
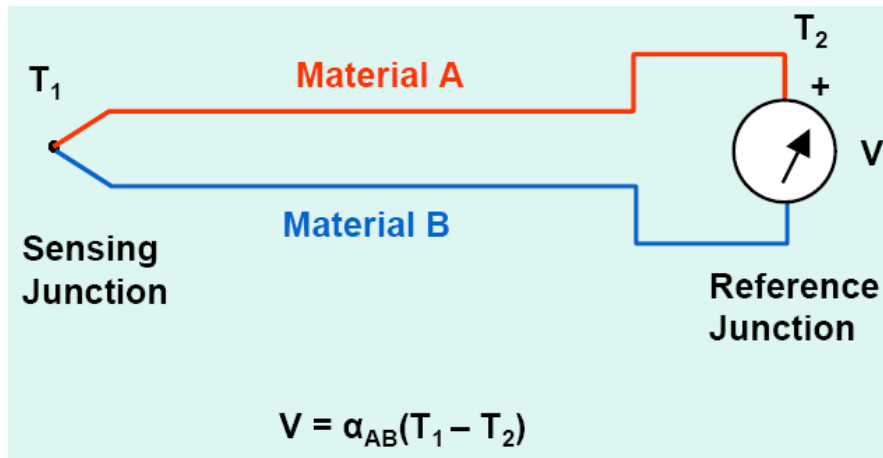


$$E_A - E_B = \alpha_A(T_1 - T_2) - \alpha_B(T_1 - T_2) = (\alpha_A - \alpha_B)(T_1 - T_2)$$

α = Seebeck Coefficient

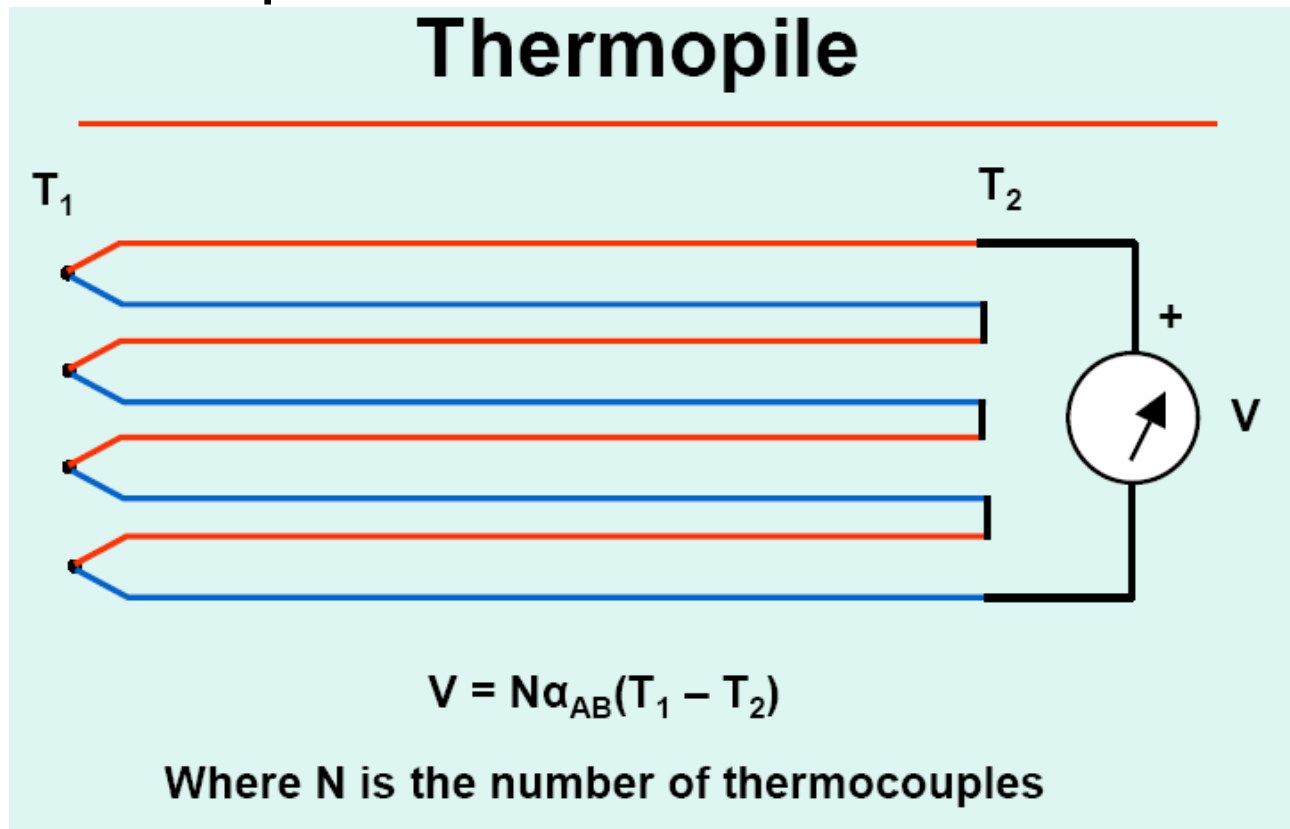
$\alpha_{AB} = \alpha_A - \alpha_B =$ Seebeck Coefficient for Materials A & B

Termo çift IV



Termo çift V

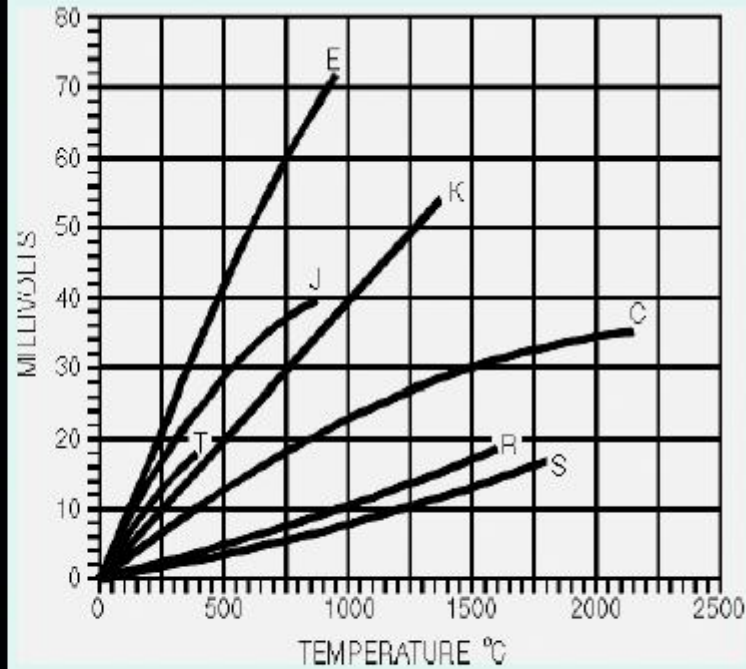
- Birden fazla termo çift seri bağlanarak termopil elde edilir.



Termo çift VI

- En sık kullanılan termocuiftler:Demir-Konstantan, Bakır-Konstantan, Kromel-Alumel

ANSI Type	Materials	Temp. Range	Voltage (mV)
T	Copper Constantan	-200 to 350°C	-5.60 to 17.82
J	Iron Constantan	0 to 750°C	0 to 42.28
E	Chromel Constantan	-200 to 900°C	-8.82 to 68.78
K	Chromel Alumel	-200 to 1250°C	-5.97 to 50.63
R	Platinum-13% Rhodium Platinum	0 to 1450°C	0 to 16.74



$$V = \alpha(T - T_0) + \beta(T - T_0)^2$$

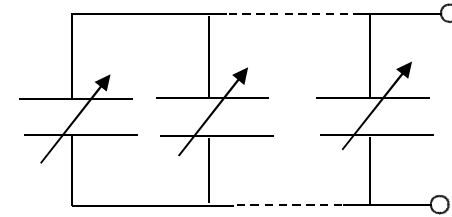
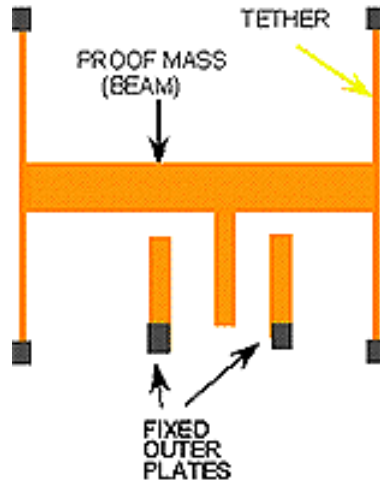
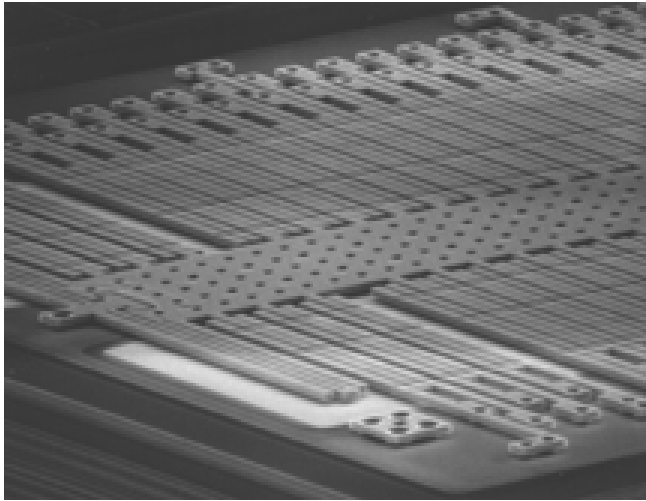
Termostat



- Her metal sıcaklıkla fiziksel özelliklerini değiştirir.
- Genleşme katsayısı büyük olan metal daha fazla uzar.
- Genleşme katsayısı farklı iki metalden yapılan elemanlara BİMETAL denir.
- Termostat bimetale malzemelerden yapılmıştır.

Hareket sensörü (Accelerometer)

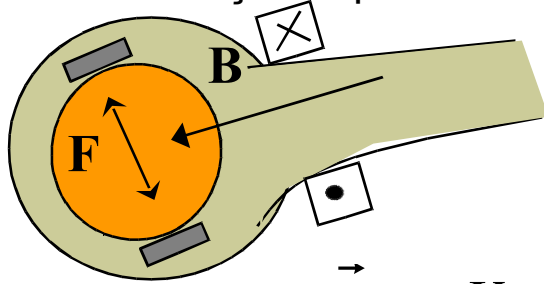
- Birkaç çift hareket edebilen kapasitör levhaları birbirinden ayrılmış sabit levha çiftlerinden oluşur.



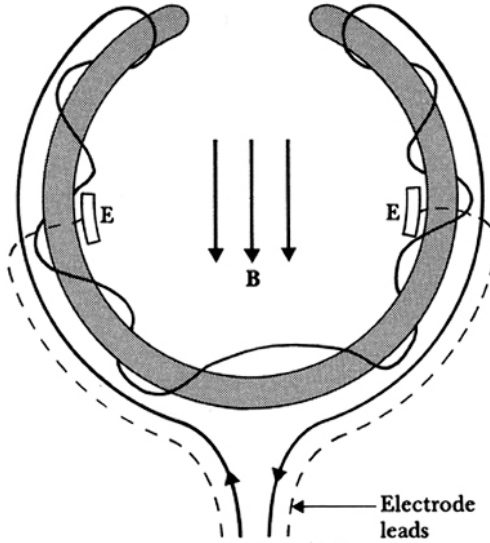
- Küçük boyutlarına bağlı olarak çok düşük seviyedeki kuvvetlere karşı yüksek hassasiyet gösterir (Ör: gram).
- Örnek uygulamalar: rehabilitasyondaki hareket hissetme ya da yürüme eksersizleri sistemlerinde

Electromanyetik akış transduseri

- Bu transduser, manyetik bir alanın etkisi altındaki hareketli bir yükün üzerinde bir kuvvet oluşması prensibine dayanır.

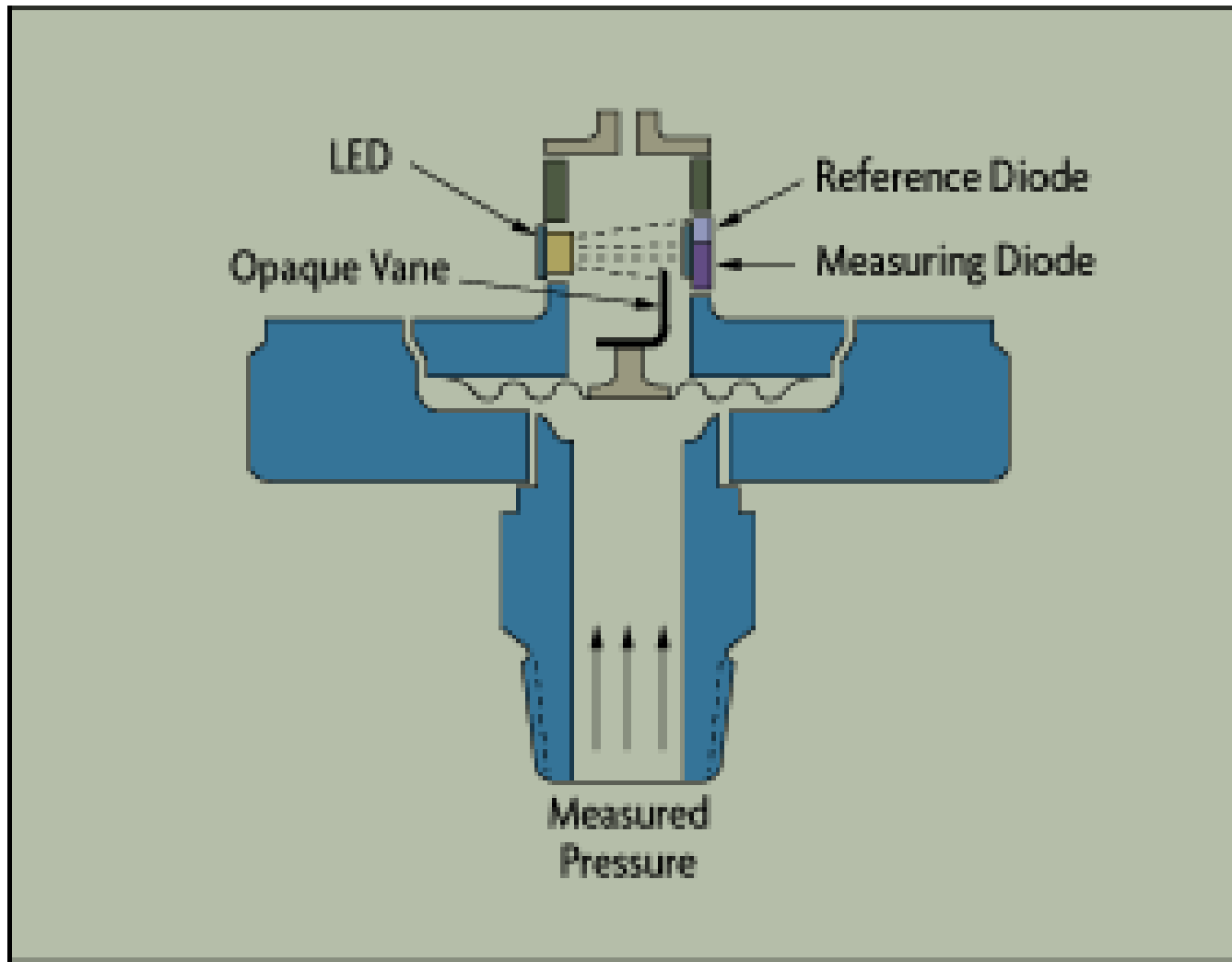


$$F = q(u \times B) \quad F = q \frac{V}{l}$$



- Kan, negatif anyonlar ve pozitif kanyonlar içerir.
- Alet, B manyetik alanına yerleştiğinde kuvvet damarların kenarlarına doğru yükü saptırır.
- Sonuç olarak karşı bir elektrik kuvveti oluşur.
- Denge durumunda, gerilim kanın damardaki akış hızıyla orantılı olur.
- Örnek uygulama: kan akış oranı (cerrahi işlemler sırasında)

Optical Sensor

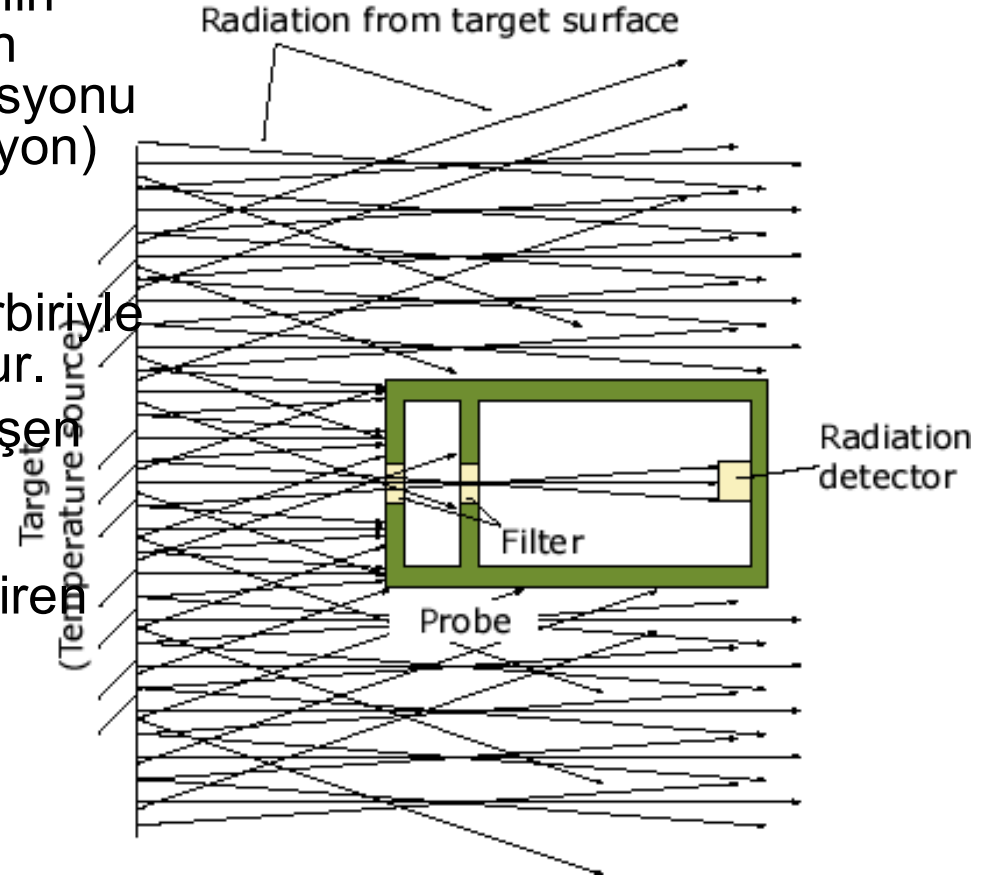


Optical Sensor

- Vananın hareketi LED ışığının önünü keser.
- Referans diyodu ile; kullanıldıkça değişen ışığın ve optik yüzeyde meydana gelen kirliliğin oluşturacağı kayma kompanze edilir
- sıcaklık etkisine karşı duyarsızdır.
- Zero hysteresis & repeatability error(kendini tekrarlama hatası)
- bakıma çok az ihtiyaç duyar.
- uzun ölçümlerde tutarlı çalışma
- Good repeatability ,absolute accuracy(kesin doğruluk,tekrarlanabilirlik)
- Geniş çalışma aralığında lineerdir ve hysteresis'i düşüktür.
- Ambient & process temperature variation in
- low pressure & small differential pressures : temperature compensation
- Power supply variations : $V_o = S V_s [P_m/P_r]$
Output voltage = sensitivity × supply voltage × measured pressure × rated pressure(constant)
- Total error = root-sum-square method
- Range : 5 – 60,000 psig
- Accuracy : 0.1% FSO

Pyrometer

- Pyrometer, başka bir deyişle radyasyon termometresi kontaklız bir enstrümandır.
- Üzerine doğrultulan malzemenin yüzey sıcaklığını, malzemedan yayılan elektromanyetik radyasyonu (infrared yada görünür radyasyon) ölçerek hesaplar.
- Proba dik eksende yayılan radyasyonu yakalamak için birbirleriyle aynı eksende iki delikten oluşur.
- Deliklerin kesiti birim alana düşen sıcaklığı ölçecek şekilde hesaplanmıştır.
- Porbun en arkasında içeriye giren radyasyon miktarını ölçen radyasyon dedektörü bulunur.



Electrolitik Tilt sensörü

- Yandaki görüntü 5 pinli tilt sensörün iki boyutlu şeklidir. Normalde dik olarak durur. Sensör yavaşca hareket ettirilirse içerisindeki sıvı sensör eksenine bir açı oluşturur. Açıya bağlı olarak pinlerden geçecek akım değişir. 5 pin olduğundan her yöne hareket kontrol edilebilir.

