

# EGE ÜNİVERSİTESİ

## EGE MYO

---

MEKATRONİK PROGRAMI

# SENSÖRLER VE DÖNÜŐTÜRÜCÜLER

---

AKIŞKAN BASINCININ ÖLÇÜLMESİ

# AKIŞKAN BASINCI ÖLÇÜMÜ

- **Basıncın Tanımı**

- ▶ Basınç bir yüzeye uygulanan veya yüzeye yayılan kuvvet olarak tanımlanır.
- ▶ Basınç, kuvvet ve alan arasındaki ilişki şöyledir:

$$P = F / A$$

P = basınç; F = kuvvet; A = alan

# Basınç Birimleri

- İngiliz veya "foot-pounds-second" (fps) sisteminde standart basınç birimi inç<sup>2</sup>'ye etki eden pound olarak kuvvet olup, pound/in<sup>2</sup> (psi)'dir. International System of Units (SI)'de ise, basınç newton/m<sup>2</sup> veya Pascal (Pa) biriminde ölçülür.

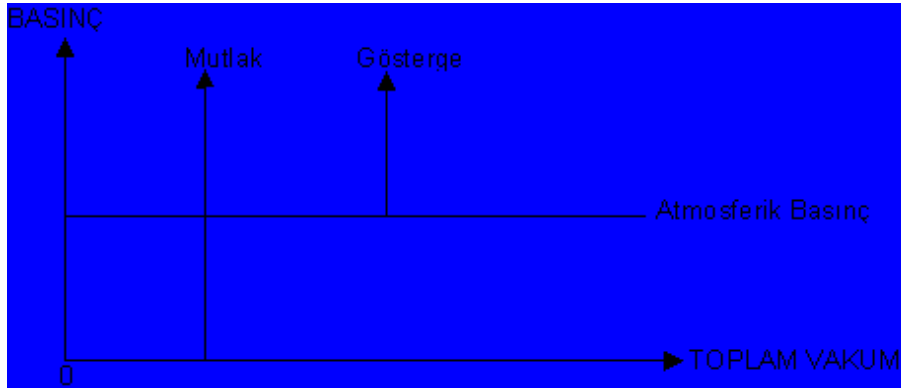
Değeri bu birimden elde etmek için

Bu katsayıyla çarpın.

	Atmos	Bar	Kg / m <sup>2</sup>	Lb/ In <sup>2</sup> (psi)	Pascal
Atmos	1	9.86923×10 <sup>-1</sup>	9.678 × 10 <sup>-5</sup>	0.068046	9.869×10 <sup>-6</sup>
Bar	1.01325	1	9.8067×10 <sup>-5</sup>	6.8948×10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-5</sup>
Kg / m <sup>2</sup>	1.033227×10 <sup>4</sup>	1.0197×10 <sup>4</sup>	1	7.0306×10 <sup>2</sup>	1.019×10 <sup>-1</sup>
Lb/in <sup>2</sup> (psi)	14.695595	14.504	1.423×10 <sup>-3</sup>	1	1.450×10 <sup>-4</sup>
Pascal	1.01325 × 10 <sup>5</sup>	1 × 10 <sup>5</sup>	9.8067	6.8948×10 <sup>3</sup>	1

# Gösterge ve Mutlak Basınç

- Mutlak basınç toplam vakum veya mutlak sıfırın üzerinde ölçülen basınçtır. Mutlak sıfır basıncın yokluğunu belirtir.
- Gösterge basıncı atmosferik veya barometrik basıncın üzerinde ölçülen basınçtır; ölçülen basınç ile var olan atmosferik basınç arasındaki pozitif farkı belirtir.



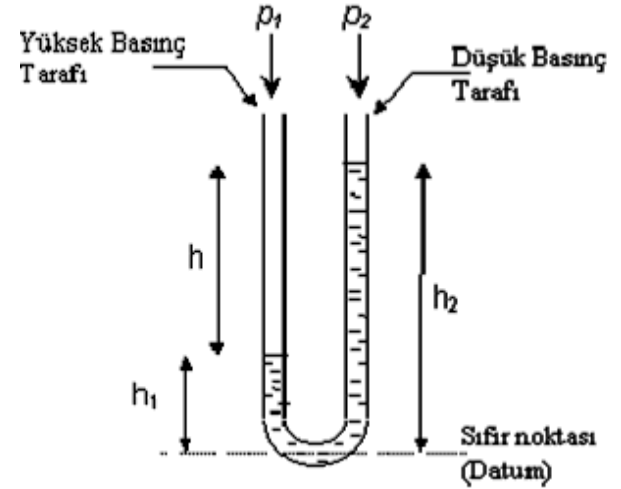
# BASINÇ ÖLÇME ELEMANLARI

- **Manometreler**

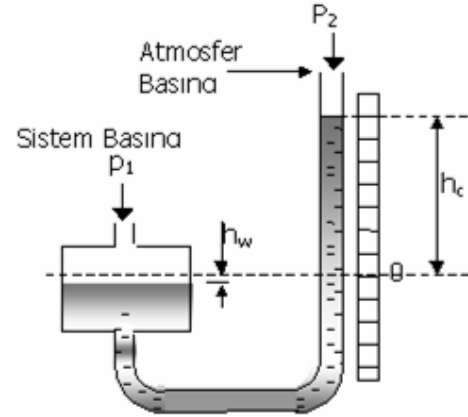
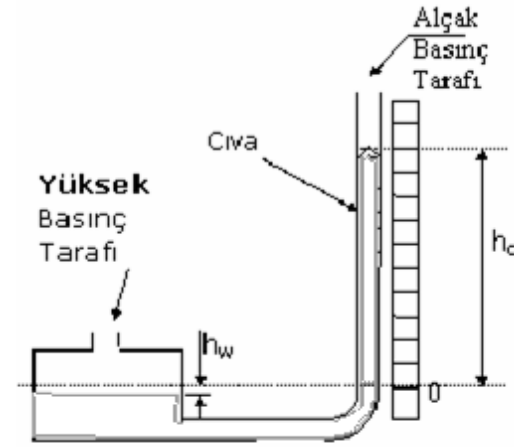
- Manometreler yer çekimi ile dengelenen basınç elemanlarıdır. Sıvının basma yüksekliği yer çekimi kuvvetine karşı dengelenerek bilinmeyen bir basınç ölçülebilir.
- Düşük vakumdan 1000 mm cıva yüksekliğine kadar basınç ölçümlerinde standart olarak kabul edilirler.
- Manometrelerde, özgül ağırlığı 1.0'in biraz altında sıvılardan özgül ağırlığı 13.5707 olan cıvaya kadar değişik sıvılar kullanılır. Sıvı için istenen ana özellik korozif ve zehirli olmaması, dengeli olması, dış sıcaklığın donmaya neden olacağı yerler için donma sıcaklığının düşük olması ve ölçme yapılan süreç akışkanı ile manometre sıvısının teması gereken yerlerde bu akışkan ile çalışmaya uygun olmasıdır.
- **Üstünlükleri:** basitlik, yüksek doğruluk, iyi yinelenebilirlik, geniş sıvı çeşidi, hem standart aygıt hem de çalışma aygıtı olarak kullanılması.
- **Sakıncaları:** portatif olmamak, dikey tutulma zorunluluğu ve küçük çaplı tüplerde kullanılan cıvanın dışbükey bir yüzey vermesi dolayısıyla meydana gelen okuma hataları.

# Sıvı Manometreler

- **U-tüplü manometreler**
- U-tüplü manometre fark basıncını ölçmek için kullanılan en basit manometredir; çalışma sınırları 380 cm su sütununa kadar olabilir.
- Şekildeki U-tüplü manometrede Datum noktasındaki denge için, her sütundaki basınç aynı olmalıdır:
- $p_1 + \rho_1 g h + \rho g h_1 = p_2 + \rho g h_2$
- Burada  $\rho$  U-tüpünün içindeki akışkanın yoğunluğu ve  $\rho_1$  basıncı ölçülecek akışkanın yoğunluğudur.
- Buradan  $p_1 - p_2 = (h_2 - h_1) \rho g - \rho_1 g h$  elde edilir.
- $p_1 - p_2 = \rho g h - \rho_1 g h = (\rho - \rho_1) g h$

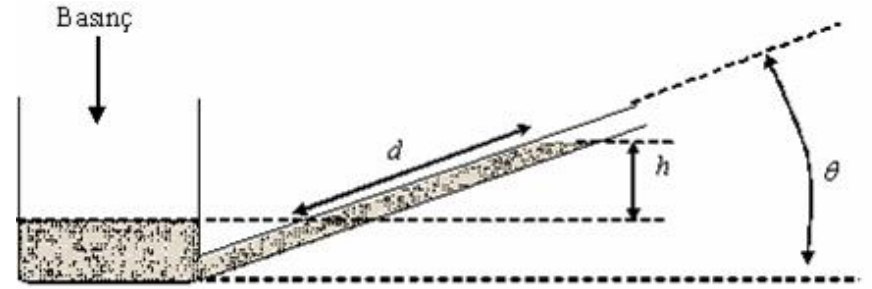


- **Hazneli manometreler**
- Şekildeki hazneli manometre gösterge basıncının ölçülmesinde kullanılır. Yüksek basınç tarafında hazne bulunur. Doğrudan ölçme sütunu tarafındaki seviye okunur. Aslında hazne tarafındaki seviyede de bir miktar değişim kaçınılmazdır. Fakat kesit alanları arasındaki fark o kadar büyüktür ki bu değişim ihmal edilebilecek orandadır. Ancak bu nedenle oluşacak ölçme hatasının giderilebilmesi için okuma ayağındaki bölümlendirmenin bu durumun göz önüne alınarak yapılması gerekir.
- Vakum basıncını da ölçebilmek için haznesi yükseltilmiş manometre kullanılmaktadır.





- **Meyilli manometreler**
- Meyilli manometreler daha büyük bir okuma doğruluğu sağlarlar. Düşey yükseklikte meydana gelen küçük bir değişikliğin bölümlendirmenin yerleştirildiği sıvı dolu ayakta çok büyütülmüş bir sıvı hareketine neden olmaktadır. Meyilli manometreler 0-12.7 mm su sütunu çalışma sınırlarından 101.7 mm su sütunu çalışma sınırına kadar cıva sıvılı olarak üretilmektedir.
- $\theta$  manometrenin eğim açısı,  $h$  dikey basınç yüksekliğindeki artış,  $d$  sütunun sütun boyunca hareketi olsun.
- $d = \frac{h}{\sin\theta}$  'dır.



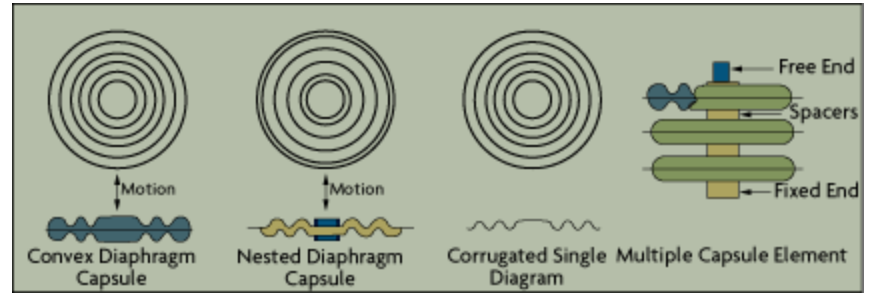
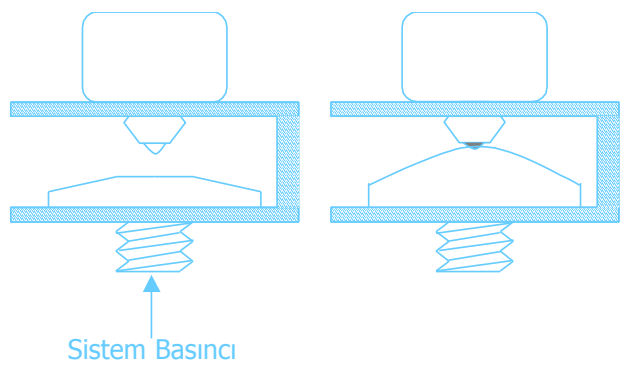
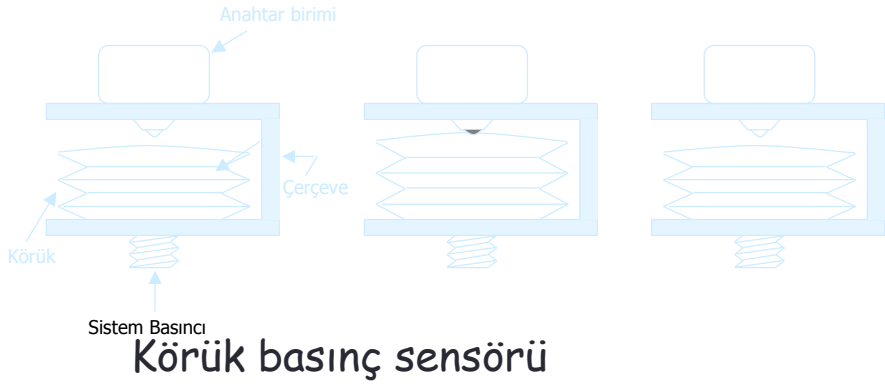
# Basınç Sensörleri

- Basınç sensörleri iki ana gruba ayrılır: basınç anahtarları ve basınç transdüserleri. Basınç anahtarı önceden ayarlanmış basınç seviyesinde harekete geçen anahtardır. Basınç anahtarlarının pek çoğu iki ana kısımdan oluşmaktadır: bunlardan biri hareket ederek veya genişleyerek basınca tepki gösteren basınç sezici eleman, diğeri ise basınç sezici eleman anahtara bastığında harekete geçen bir anahtardır. Basınç anahtarları artan yada azalan basınca yanıt verecek şekilde önceden ayarlanabilir.
- Basınç transdüseri ise, sistem basıncını her zaman doğrudan bildirir. Sistem denetleyicisi bir kontağın kapatılıp kapatılmayacağına, kapatılacaksa ne zaman kapatılacağına veya diğeri ayarlamaların yapılıp yapılmayacağına karar verir.
- Her iki tip basınç sezici aygıt optimum kullanıma sahiptir. Basınç anahtarları tasarım açısından daha basittir ve pek çok gereksinimi çok iyi karşılar. Basınç transdüserleri tıp, uzay ve basıncın yakından, doğru ve devamlı olarak gözlenmesinin önemli olduğu uygulamalarda kullanılır.

# *Elastik Basınç Transdüserleri*

## *Körük basınç transdüserleri*

- Körük basınç sensörü esnek malzemeden yuvarlak bir körük şeklinde yapılmıştır. Poliüretan malzemeden yapılan yeni körükler yaklaşık 10 bar'a kadar olan basınçlarda etkilidir. Daha yüksek basınçlarda metal malzemeden yapılan körükler kullanılmaktadır.
- Şekilde körük basınç sensörünün çalışması görülmektedir. Körüğün bir ucu sistem basıncına bir düzenek aracılığıyla bağlıyken diğer ucu kapalıdır. Basınç arttıkça körük genişleyerek sınır anahtarının basınç anahtarı olarak çalışmasına veya konum algılayıcısının basınç transdüseri gibi davranmasına neden olur.
- Körük ikinci bir basınç kaynağına bağlı kapalı bir hücrede çalıştırıldığında da fark basınç sensörü gibi güvenilir olarak çalışır.
- Körük basınç sensörü senelerce endüstride standart olarak kullanılmış güvenilir, uzun ömürlü bir aygıttır.



- ***Diyafram basınç sensörü***

- Diyafram metal, silikon kauçuk veya poliüretandan yapılmış ince bir diskdir. Disk sistem basıncına bağlanmış kapalı bir gövdede korunmaktadır. Basınç arttıkça diyaframın merkezi yukarı doğru genişler. Bu hareket bir anahtarı veya mutlak konum kodlayıcısını harekete geçirmede kullanılabilir.
- Diyaframlar körük basınç sensörlerinden daha az duyarlı olmalarına rağmen genellikle daha yüksek basınçlara dayanabilmektedirler (150 PSI 10.5 kg/cm<sup>2</sup>'ye kadar). Bu duyarlılık diyaframı "dalgalandırarak" arttırabilir. Diğer bir yaklaşım, iki diyaframın sırt sırta bağlanarak bir kapsül oluşturmasıdır. Diyafram ve kapsül sensörleri aynı zamanda vakum ölçebilme üstünlüğüne sahiptir.

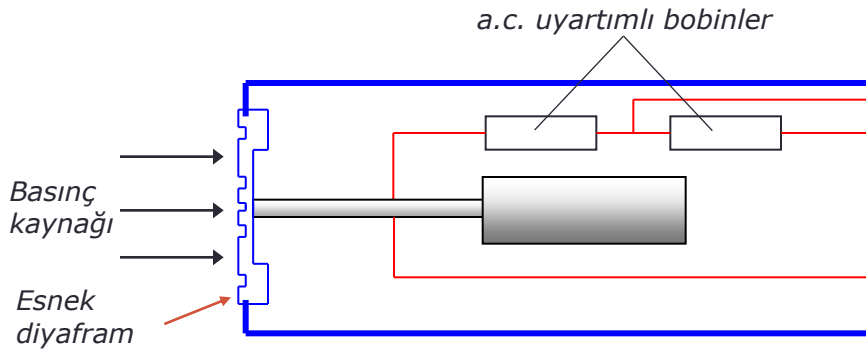
- ***Diyafram Basınç Transdüserleri***

- Basınç transdüserlerinde düz diyaframlar ya diyaframın ortasındaki sapmayı yada diyaframda endüklenen gerinmeyi yaygın olarak kullanan birincil algılama elemanlarıdır. Düz diyaframlar silme-monte (flush-mounted) algılama elemanları olarak üretilebilmekte, temiz, pürüzsüz bir yüzey sağlamakta olup kirli ortamlarda ve yüzey basıncının algılanmasında kullanılmak üzere idealdir.

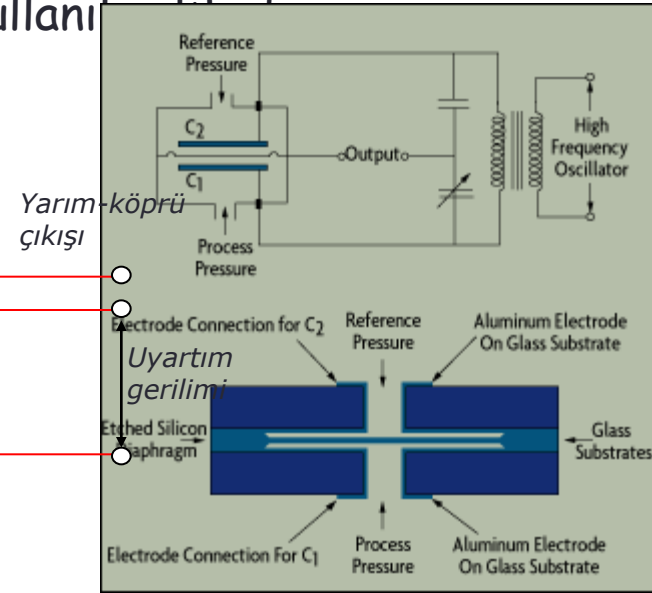
- Yüksek basınç transdüserleri için merkezdeki sapmayı diyafram kalınlığının üçte birine sınırlandırmak için çok sert diyaframların kullanılması gerekir, aksi takdirde doğrusallıktan sapmalar olur. Birkaç bara kadar düşük basınç aralıkları için, berilyum-bakırdan imal edilen oluklu diyaframlar ve körükler gereken daha yüksek duyarlığı sağlamak için kullanılır.

### a) Yerdeğiştirmenin algılanması

- Diyaframın yerdeğiştirmesini algılamak için potansiyometrik, endüktif ve kapasitif yerdeğiştirme transdüserleri kullanılır.



Endüktif basınç transdüseri



Kapasitif basınç transdüseri

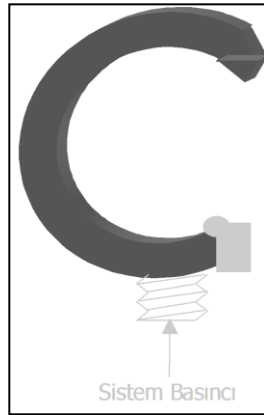
- *Sinyal uygunlaştırma*
- Kullanılan transdüser tipine göre değişmektedir.
- *Çalışma aralığı*
- I.v.d.t. yerdeğiştirme ölçümleri için basınç ölçüm aralığı 200 bardır. Dinamik basınç ölçümü 0.1bar çalışma aralığına sahip düşük basınç transdüserleri için 0.5kHz'e kadar, yada 200barlık transdüserler için en fazla 15kHz'e kadar frekanslarda yapılabilir.

- **b) Gerinmenin algılanması**
- Diyafram, diyafram malzemesinde gerinmeye neden olan basıncı kuvvete dönüştüren bir kuvvet toplama aygıtı olarak çalışır. Kullanılan dört ana gerinme ölçüm konfigürasyonu şunlardır:
- **Çıplak tel gerilme göstergesi**
- **Diyaframa gömülü yaprak tipi gerilme göstergeleri.** Artan sıcaklıkla göstergenin diyaframın yüzeyine yapışma özelliği değişeceğinden ve dolayısıyla konumun değişmesi sonucu hatalar oluşabileceğinden, bu tip gerilme göstergeleri  $85^{\circ}\text{C}$ ' nin üzerindeki sıcaklıklar için uygun değildir.
- **Püskürtmeli yada buhar-biriktirmeli göstergeler.** Yapışma özelliklerinin yüksek sıcaklıklarda değişmesi ile oluşan sorunları giderir. Bu tür bir transdüserde, göstergelerin diyafram üzerine sağlamca yapışmaları, buhar-biriktirmeli yöntemle sağlanır. Püskürtmeli-gösterge basınç transdüseri,  $-40^{\circ}\text{C}$ ' den  $120^{\circ}\text{C}$ ' ye kadar geniş bir sıcaklık aralığında kararlıdır.
- **Yarıiletken gerilme göstergeleri.** Tek-kristal silisyum diyafram kullanırlar. Gerilme göstergeleri doğrudan kristale yayınmıştır. Bu aygıtlarda gerilme düzeyleri daha düşüktür ve diğer gerilme göstergelerinden daha duyarlıdırlar. Şok ve titreşime karşı dayanıklı olan bu transdüserler özel p.t.f.e. (poli tetra flor etilen) kablosu kullanılarak  $40^{\circ}\text{C}$ 'den  $+150^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar geniş bir sıcaklık aralığında kullanılabilirler.

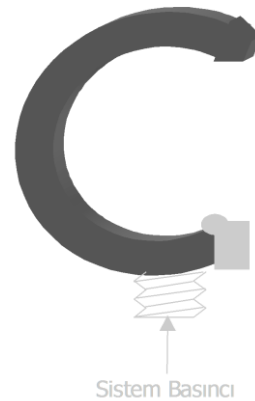


## • Bourdon-tüpü basınç sensörü

- Büyük bir olasılıkla bütün mekanik basınç sensörleri içinde en çok kullanılanı olan Bourdon tüpü yüksek basınçlarda güvenilir olarak çalışır. Fosfor bronz, çelik, berilyum-bakır gibi metal malzemelerden yapılan Bourdon tüpü bir ucu kapatılmış ve diğer ucu sistem basıncına bağlanmış düz veya oval bir tüp şeklindedir. Tüp genellikle C şeklinde kıvrılır. Basınç arttığında tüpün ucu düzleşir. Tüpün hareketi bir sınır anahtarını veya mutlak konum kodlayıcısını çalıştırarak basıncı denetim aygıtına bildirir. Doğrudan okunan basınç göstergelerinin çoğu Bourdon tüpleridir.
- Bourdon tüpler yüksek basınçta iyi çalışır ve %0.5'ten daha iyi doğruluk sağlar. Genellikle basınç değişim sıklığı yüksek olan sistemler için önerilmemektedir, çünkü sık esneme sonucu metalin eskimesi nedeniyle tüpler zamanla kırılabilir. Bu nedenle Bourdon tüpler büyük sistem basınç değişmelerine sıkça maruz kalmayan sistemlerde kullanılır.

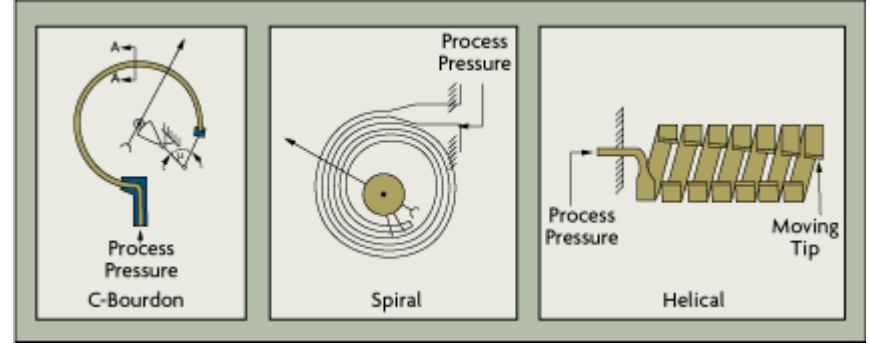


(a) Basınç uygulanmamış



(b) Basınç uygulanmış

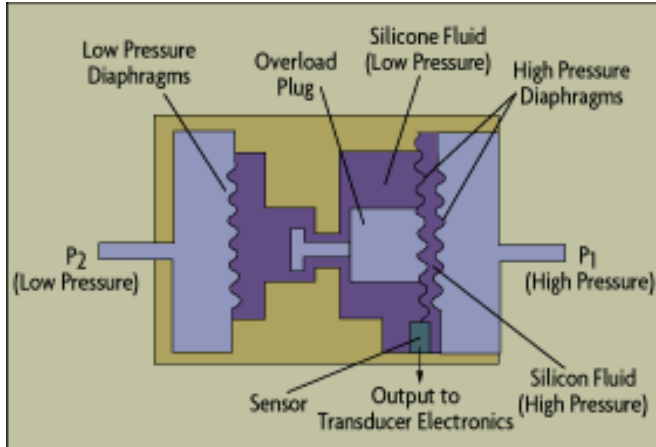
- *Sinyal uygunlaştırma*
- Mekanik basınç göstergesinin en basit şeklinde, yerdeğiştirme bir dişli-kol sistemiyle bir kadran üzerindeki ibrenin dairesel hareketine dönüştürülür. Basıncın uzaktan gözlenmesi için yerdeğiştirme transdüserleri, örneğin potansiyometreler ve doğrusal değişken fark transformatörleri (LVDT) kullanılabilir.
- *Çalışma aralığı*
- Statik ve düşük frekanslı basınçlar için  $500\text{MN/m}^2$ 'dir. Elektriksel yerdeğiştirme transdüserleri kullanıldığında frekans aralığı Bourdon tüpünün eylemsizliği ile sınırlıdır.



## • *Piezo-dirençsel (Elektronik) Basınç Transdüserleri*

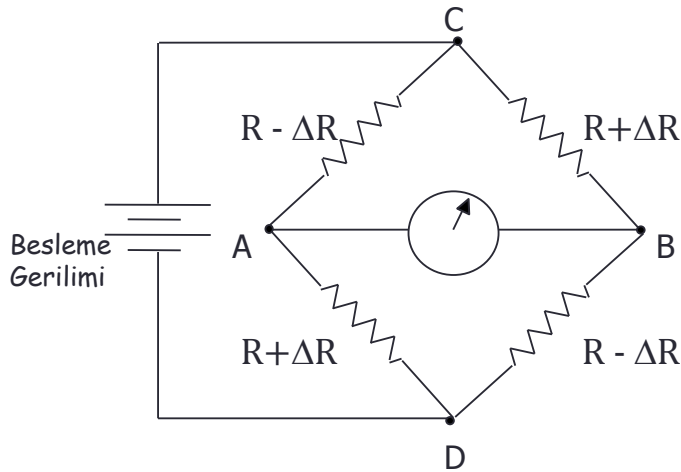
- Bahsettiğimiz bütün basınç sensörleri temelde mekanik basınç sezici aygıtlardır ve bunlar bir kadranı, bir anahtarı veya herhangi bir mutlak konum kodlayıcıyı çalıştırmak için kullanılırlar. Silisyum sensör yongalarını kullanan basınç transdüserleri ve transmitterleri ise, sistem basıncını oransal gerilim yada akım olarak çıkışına aktaran elektronik sensörlerdir.
- Bu elektronik basınç transdüser ve transmitterleri, kan basıncı ölçen hassas birimlerden kötü atmosfer basınçlarında ve aşırı sıcaklık altında 10,000 PSI'a kadar çalışan çeşitli donanımlarda bulunabilir.
- Elektronik basınç transdüserlerinin pek çoğu piezodirenç olayından yararlanır, bu yüzden piezo-dirençsel basınç transdüserleri olarak da adlandırılır. Yarıiletkenin piezodirenci, yarıiletken malzemeye uygulanan gerilmenin malzeme meydana getirdiği direnç değişimidir. Bu da zaten yarıiletken gerilme göstergesinin çalışma prensibidir.
- Elektronik basınç transdüserinin sezici elemanı ince silisyum diskin yüzeyine yayılmış dört tane özdeş piezodirençten oluşmuştur. Silisyum yongadaki bu algılama dirençleri elektriksel olarak yalıtılmış ve 250°C sıcaklıkta çalışabilen basınç transdüserleri üretilmiştir. Elektriksel bağlantılar silisyum diskin yüzeyine gömülmüş altın ayaklar ile yapılır. Disk üzerinde dirençlerin bulunduğu yüzün ters tarafı diyafram oluşturacak şekilde oyulur.

Paslanmaz çelik  
yuva



- Çoğu basınç ölçüm uygulamalarında iletken veya aşındırıcı (korozif) akışkanlar kullanıldığından silisyum sensör basınç ortamından yalıtılmalıdır. Bu da ince paslanmaz çelik yalıtım diyaframı kullanılarak yapılmaktadır. Basınç bu diyaframdan silisyum yonga üzerindeki diyaframa silikon yağ aracılığı ile iletilir. Algılayıcı hücrenin üzerindeki ısıl etkenlerin en aza indirilmesi için yağ hacminin mümkün olduğu kadar az tutulması (tipik olarak  $< 0.1\text{cc}$ ) gerekir. İstenen sıcaklık çalışma aralığına uygun farklı yağlar seçilir. Çoğu durumda, basınç sensörünün sıcaklık sınırlarını belirleyen silisyum yonganın değil, yağın sıcaklık çalışma aralığıdır.

- Elektronik basınç sensöründeki algılayıcı elemanlar bir dirençsel köprü olarak düzenlenmiştir. Diyaframa uygulanan bir basınç olmadığı zaman köprü dengede olduğundan çıkış gerilimi 0 V'tur. Gerilme altında, direnç değerleri değişir.



$$V_A = \frac{V_{BES.}}{(R + \Delta R) + (R - \Delta R)} \times (R + \Delta R)$$

$$V_B = \frac{V_{BES.}}{(R + \Delta R) + (R - \Delta R)} \times (R - \Delta R)$$

$$V_{\zeta} = V_A - V_B = \frac{\Delta R}{R} \times V_{BES.} = G.F. \times \varepsilon \times V_{BES.}$$

Tüm dirençler sıfır basınçta eşittir.  
 $\Delta R$  basınçtaki değişimden kaynaklanan direnç değişimidir.

- Sıcaklık değişimleri dirençsel bir devrenin çıkış gerilimini etkiler. Pek çok basınç transdüseri, sıcaklık kompanzasyonuna sahiptir ve geniş çalışma aralıklarında doğru ölçüm yaparlar.

- Daha yüksek basınçlarda ve silisyum diyaframın çürümesine neden olabilecek koşullar altında çalışmak için elektronik gerilme göstergeleri paslanmaz çelik diyaframlara yapıştırılır. Yüksek sıcaklıktaki çalışmalar için paslanmaz çelik diyaframa yapıştırılmış ince yaprak tipi gerilme göstergeleri kullanılabilir. Yaprak tipi gerilme göstergeleri sıcaklık değişimlerine daha az duyarlıdırlar, ancak 3 mV/V' luk uyarma geriliminde düşük çıkış gerilimi sağlarlar.
- Ticari elektronik basınç sensörleri geniş duyarlılık sınırları, %0.5' lik doğruluk, onlarca milyon devir boyunca güvenilir çalışma ve mükemmel titreşim dayanımı sunmaktadır.
- ***Piezo-elektrik Basınç Transdüserleri***
- Piezo-elektrik etkisini kullanan basınç transdüserleri, ölçülen basınçla doğrudan temas halindeki bir diyafram tarafından sıkıştırılan quartz disklerden oluşan yük hücrelerine benzer bir tasarıma sahiptir. Quartz-kristal modüllerin yüksek duyarlılığı olması transdüserlerin çok küçük boyutlarda üretilebilmesini sağlar.
- Quartz transdüserlerin çarpıcı bir özelliği yüksek duyarlılığıdır; örneğin, 250bar maksimum basınç için tasarlanmış bu tip bir transdüser 0.1bar'lık basınç değişiminde 7.5pC verebilir ve uygun bir sinyal işleme devresi ile 750mV' luk çıkış sinyali elde edilebilir.

- Piezo-elektrik basınç transdüserleri. 240°C'ye kadar sıcaklıklarda çalıştırılabilir, ancak sıcaklıktan dolayı oluşan sıfır kaymasının kompanse edilmesi gerekir. Bu amaçla özel su soğutmalı transdüserler kullanılabilir ve bunlar yüksek sıcaklıklarda çalışmak için uygun bir seçimdir.
- *Sinyal uygunlaştırma*
- Tüm piezo-elektrik aygıtlarda olduğu gibi, özel bir yüksek giriş empedanslı yük yükselteci gereklidir.
- *Çalışma aralığı*
- Kısa süreli statik basınçlar ölçülebilir, fakat piezo-elektrik transdüserler 150kHz'e kadar çok yüksek frekans aralığında çalışmak için uygundur. 5000 bara kadar olan basınçlar ölçülebilir.

