

STRAIN ÖLÇME

(Gerinim, uzama)

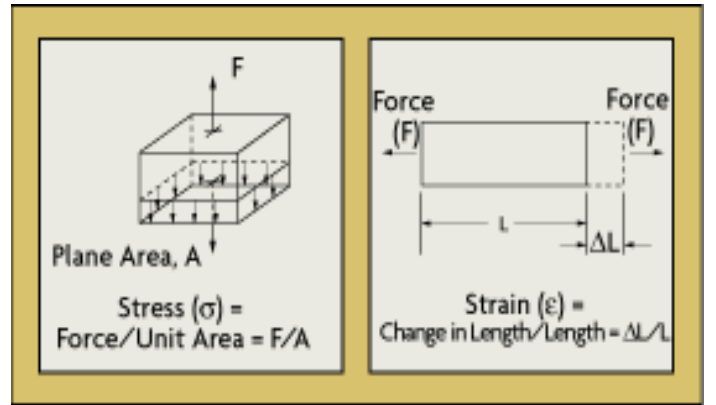
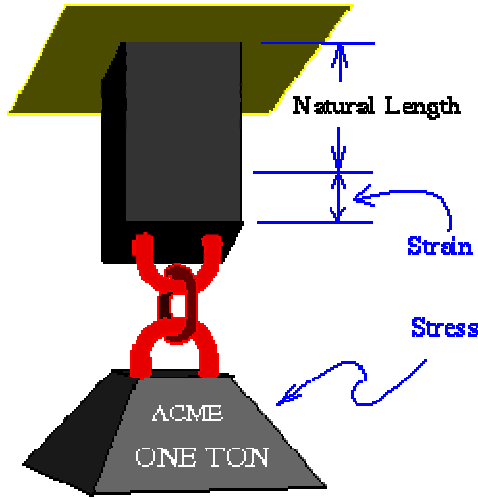
GENEL BİLGİ:

Yakın zamanlara kadar, ölçme aletini direkt kullanarak, bir parça üzerinde ortaya çıkan gerilmelerin ölçülmesi en büyük mühendislik problemlerinden birisi idi. Elektrik dirençli strain-gauge'lerin bulunuşundan önce bu amaç için mekanik - extensometre'ler kullanılmıştı. Bunların bazı dezavantajları vardı. Gerekli gauge uzunluğu 12 mm den az değildi. Hacimleri, sınırlı yer şartları için elverişli değildi. Bu yüzden pek çok gerilme problemi emniyet faktörleri esas alınarak çözülmüştür.

1866 da Lord KELVIN, metal bir tel üzerine gerilim uygulandığı zaman, tel uzunluğu ve çap değiştiğinde elektrik direncinde değiştiğini buldu. Böylece strain ölçümünün temel prensibi ortaya konmuş oldu.

STRAIN (GERİNİM,UZAMA) TANIMI

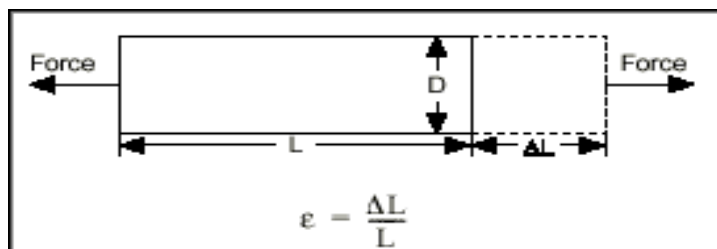
Dış kuvvete maruz kalma bir parça, gerilim ve strain altındadır. Gerilim direkt ölçümez. Fakat etkisi ölçülebilir. Ve de gerilim ile strain arasındaki ilişki bilinirse gerilme hesaplanabilir.

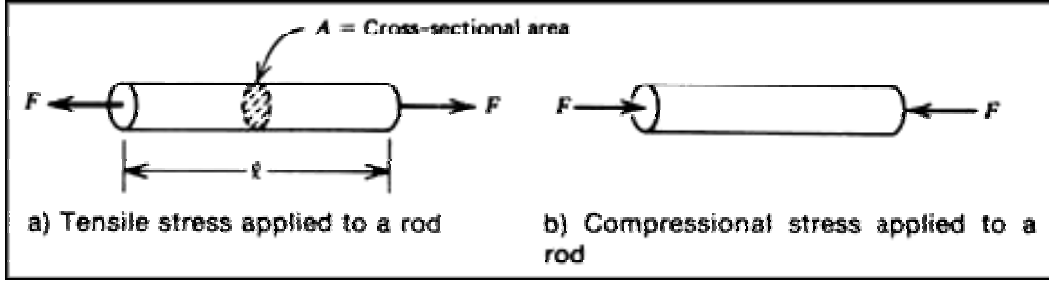


Strain' in tanımını iyice anlamak için şekildeki gibi homojen bir çubuk (**L**) boyunda olsun ve bir (**P**) kuvvetiyle çekilsin ya da basma etkisinde kalsın. Çubuk eksen boyunca uzar veya kısalır. Bu uzunluk değişimi (**δL**) doğrusal yayılımlıdır. Ve verilen **P** yükü için (**δL**) yayılımı çubuk uzunluğu (**L**) na bağlıdır. İşte strain her iki halde, birim uzunluk başına yayılmadır.

Yani her durumda

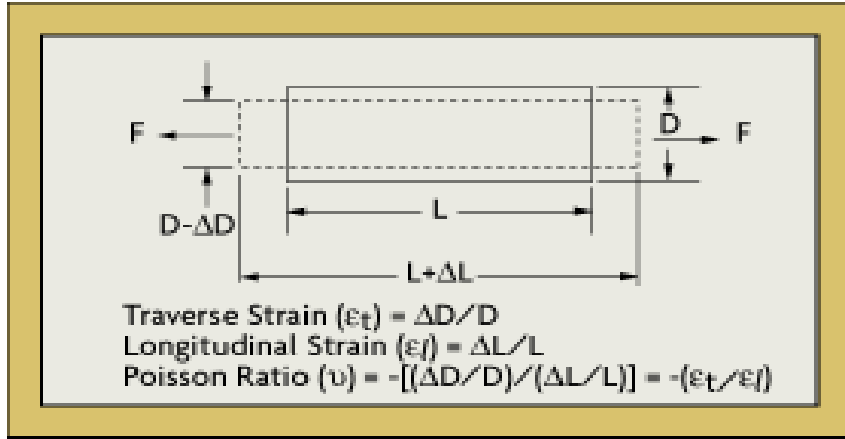
Strain: $\delta L/L$ dir.





ÇAPRAZ-YANAL STRAIN (POISSON ORANI) :

Çapraz strain, yükün uygulandığı eksen dik yönde meydana gelen azalma veya artıştır. Aynı tarzda hesaplanır. Çapraz strain'in direkt strain'e oranı **POISSON oranı** olarak bilinir. Pozitif bir değerdir. Bu (ν) değer her metal ve alaşım için farklı farklıdır. En düşük değeri $\nu=0,21$ ile (Zn) da, en büyük değeri $\nu=0,35$ ile pirinç'te görülür. Çelik için $\nu=0,29$ dur.

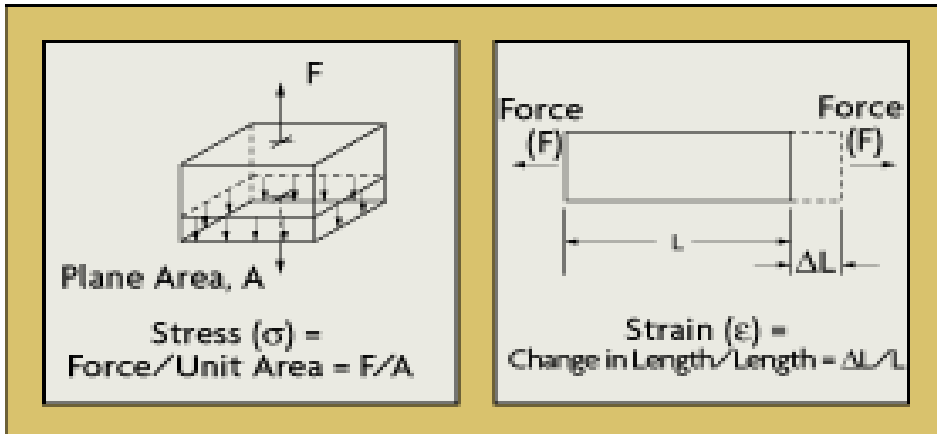


Doğrudan gerilme altındaki elastik malzemelerde E elastisite modülü;

E = Gerilme (σ) / Strain (ϵ) dür.

değerinde ve gerilim/strain eğrisinin eğimidir.

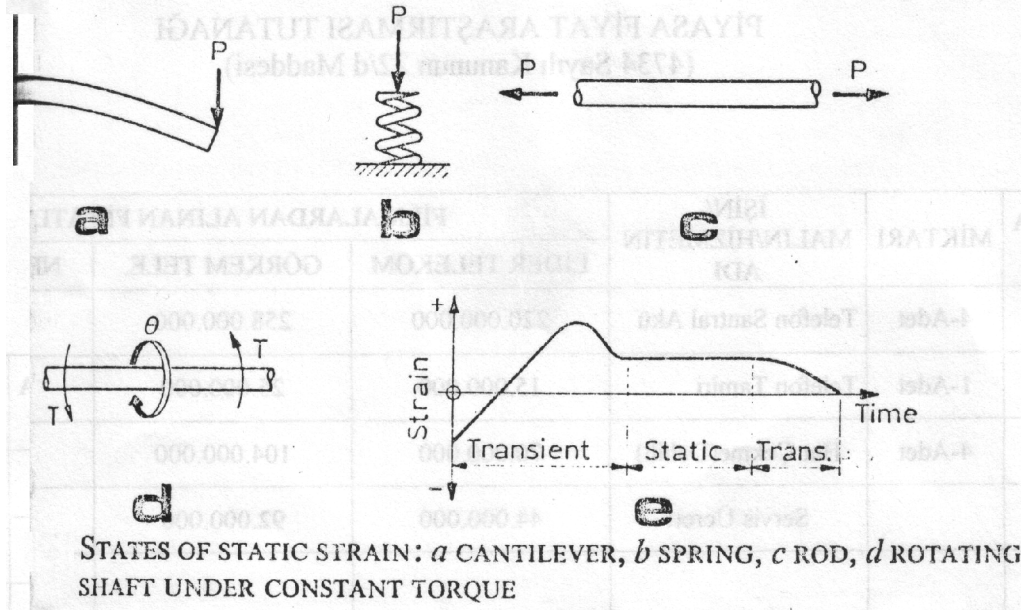
$\sigma = E \cdot \epsilon$ dur.



STATİK,STATİK-DİNAMİK ARASI,DİNAMİK STRAIN

Statik Strain

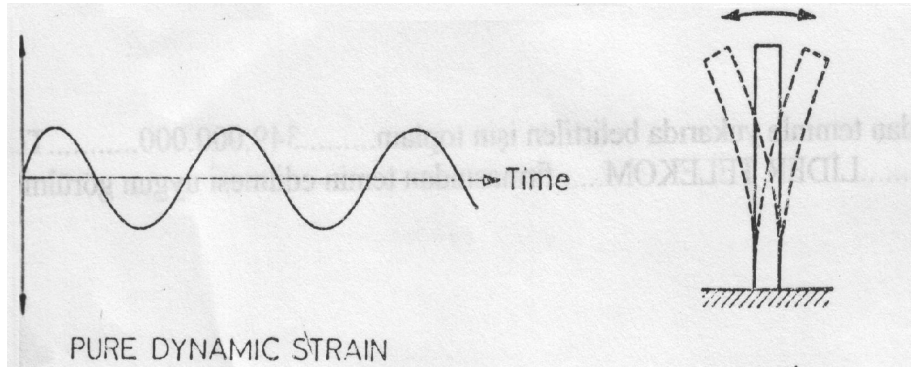
Belli bir zaman içinde sabit kalan straine, **statik strain** denir. Hareketli veya sabit parçalarda oluşabilir. Sabit tork altında dönen bir makine şaftı çok yavaş değişen, hemen hemen sabit bir strain'e maruz kalır.



Dinamik Strain

Zamanla değişen straine, **dinamik strain** denir. Strain'in değişme hızı, strainlerin kaydedilmesinde problem yaratabilir.

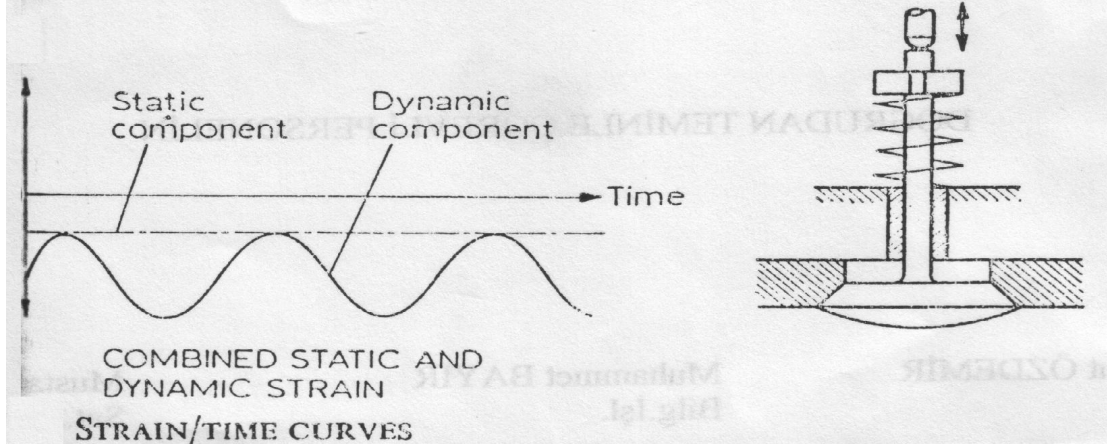
Ayrıca bir parça hem statik hem de dinamik strain'e aynı anda maruz kalabilir.



Statik-dinamik arası Strain

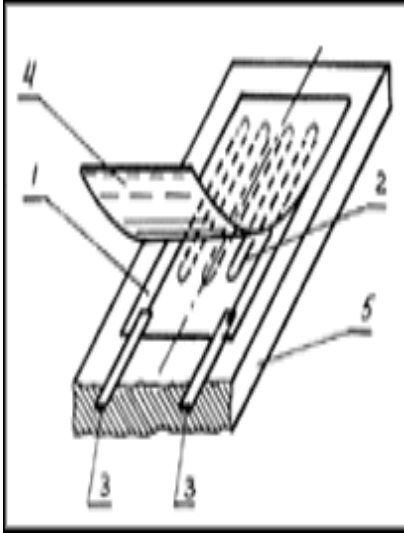
Zamanla strain'ın değişmesi söz konusu olduğundan dinamik strain'ın özel halidir.

şekilde bir motor sübop yayı'nın çalışmazken statik bası strain'ine, çalışırken de dinamik basınç strainine maruz kaldığı gösterilmiştir.



STRİN GAUGE'İN YAPISI VE KULLANILIřI

Özel bir teknikle imali hazırlanan çok ince bir tel, şekilde görüldüğü gibi ince plastik yaprakcık üzerine yerleştirilir. Aynı plastik malzeme ile örtülür. Gerekli yerlerdeki sağlamlaştırma bandları ve bağlantı kolları yapıştırılarak bir strain gauge yapılmış olur.



Metal Tel Bağlı Strain gauge Yapısı:

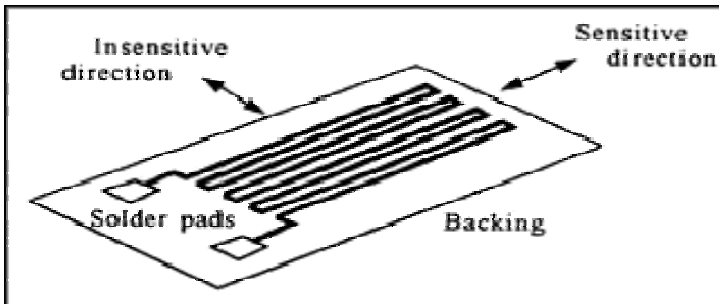
1 = substrate

2 = strain-sensitive wire

3 = leads

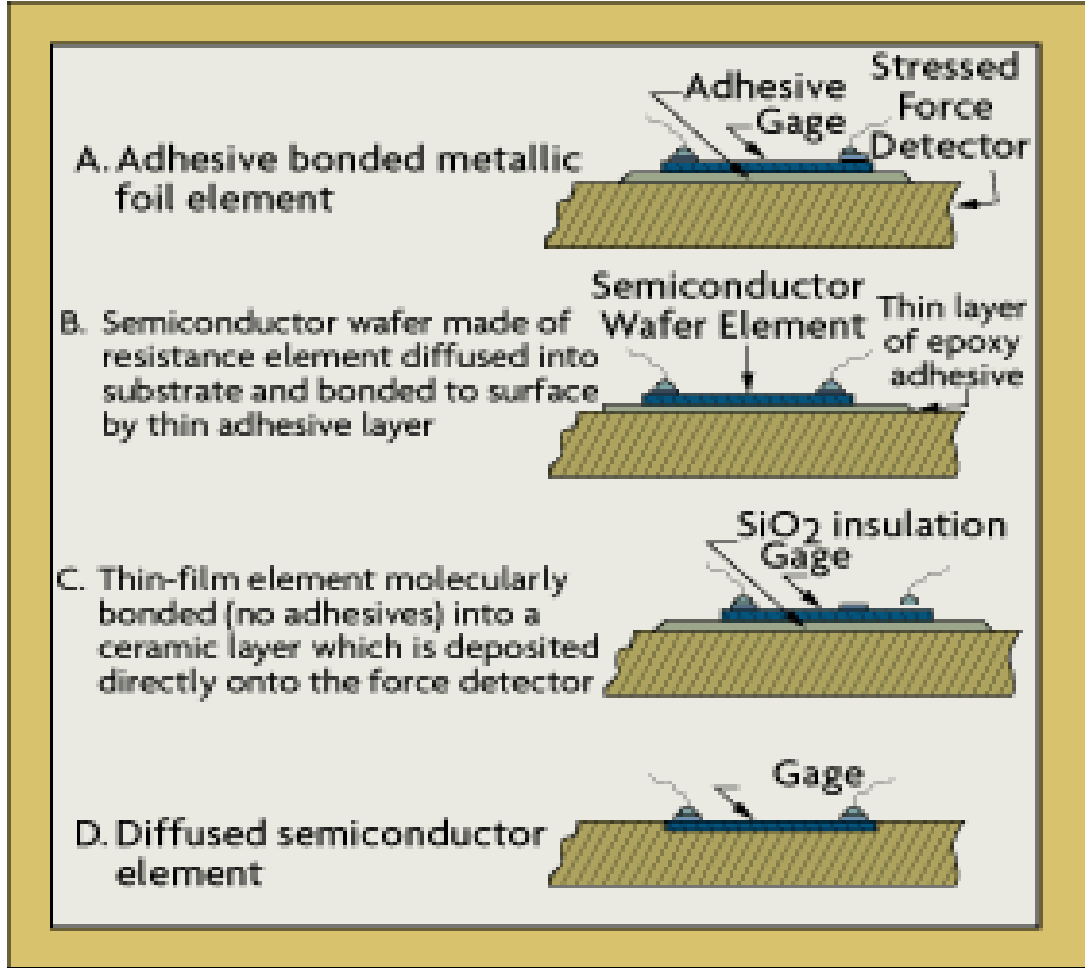
4 = protective film

5 = measured surface



Straingauge'in Yapıştırılması ve Yerleştirilmesi:

Böyle bir straingauge kullanılacağı yer eğer metalik bir yüzey ise, o yüzey önce taşlanır, zımparalanır sonra aseton, eter gibi eriticilerle yüzey yağından temizlenir. Straingauge'ler için genellikle iki komponentli yapıştırıcılar kullanılır. Bu yapıştırıcılar ölçüm yapılacak yere sürülür. Straingauge buraya istenen yönde konur. Özel plastik folye ile örtülür. Baş parmakla birkaç dakika hafifçe bastırılır. Bu konu da imalatçı firmaların verdikleri kullanma talimatına dikkat edilmelidir.

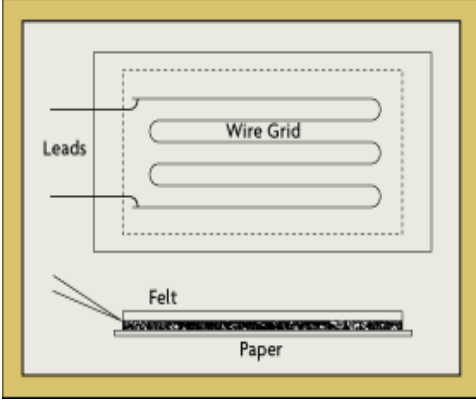


TRAIINGAUGE ÇEŞİTLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Yapılış ve kullanıldığı yerler bakımından straingauge'ler çok çeşitlidirler. Düz yüzeylere yapıştırılacak straingauge'lerin yanında küresel yüzeylerdeki genişmeleri (şişmeleri) ölçülebilecek tipte olanları da vardır.

TEL HALİNDEKİ STRAİNGAUGELER

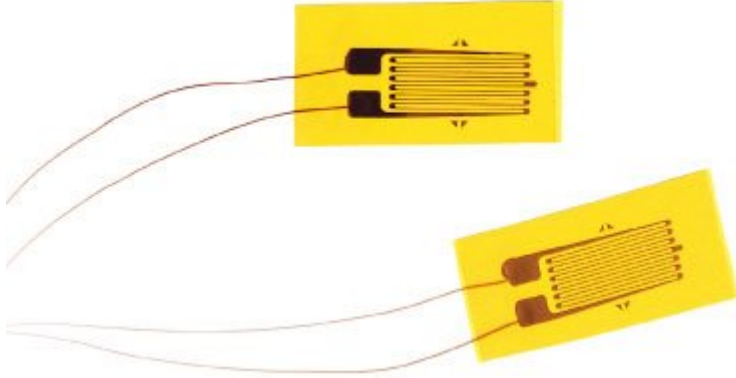
Bu tip straingauge'lerin bir düzlemde sağa sola kıvrılarak yerleştirilmişleri olduğu gibi, ince bir spiral şeklinde yapıлып sonradan yassılaştırılmış olan tipleri de mevcuttur.

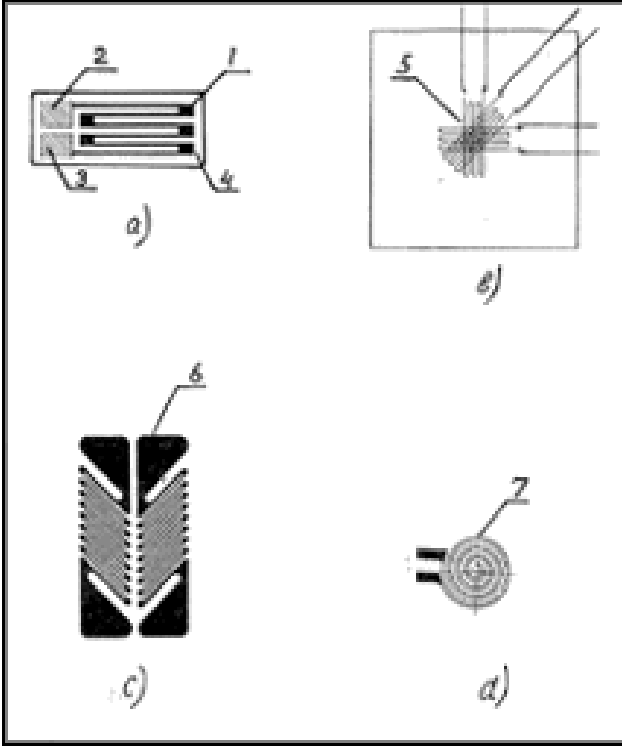


Bu tip straingauge'lerin bağlantı bandları kalın ve mukavim yapılarak dayanıklılık süreleri artırılır. Strangauge telinin bu banda bağlantısı çok özel bir kaynak işlemi ile gerçekleşir. Lehim yapmak doğru değildir.

FOLYE HALİNDEKİ STRAİNGAUGE'LER

Bu tip gauge'ler, 2-10 μm kadar valslenerek inceltilmiş metal bandın, bir tarafını bir plastik reçine ile diğer tarafını ışığa hassas cila tabakası ile kaplayarak elde edilirler. Daha sonra ciladan açık kalan yerler uygun bir ışığa tutularak kimyasal yolla eritilir. Böylece hassas straingauge'ler elde edilmiş olur. Bunlar tel straingauge'lere göre daha uzun ömürlüdürler. Hassasiyetleri fazladır. Bağlantı uçları bazen var bazen yoktur. Olmadığı zaman uçların straingauge teline bağlanması gerekir. Bu işlem çok dikkatli yapılmalıdır. Straingauge' nin ömrü etkilenir.





metal folyo tipi.

a) through d) different configurations of metal-foil strain gages;

1 strain-sensitive foil,

2 and 3 = leads,

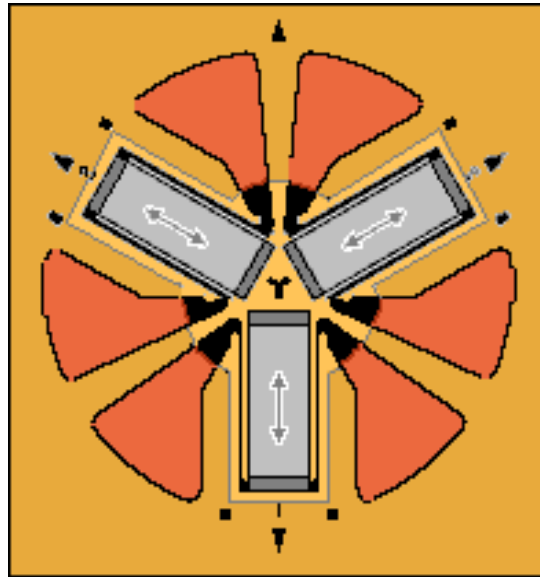
4 = substrate,

5 = three-element, 45° stacked rosette,

6 = 90° two-element plan

ROZET HALDEKİ STRAİNGAUGELER

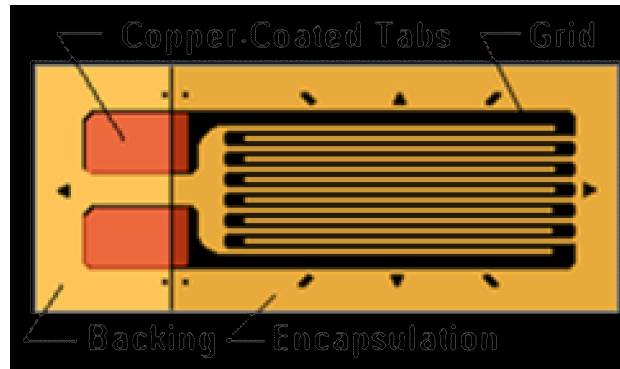
Bu tip gaugelerde birden fazla, genellikle 3 tane strain gauge belli açılarla biraraya getirilmiştir. Biri diğerine göre 120° derece olanına ve 3 lü tipe delta rozet, 135° olanına 135°'lik, 90° olanına da 90°'lik rozet denir. Bu tip rozetlerle farklı yönlerdeki uzama ve gerilmeler aynı anda saptanır.



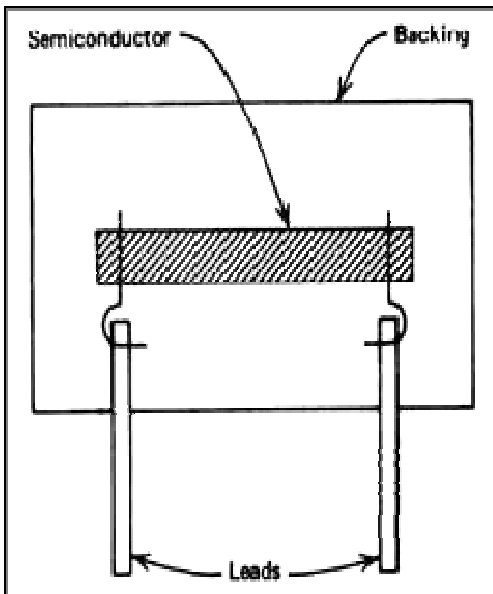
Yüksek Sıcaklıklara Uygun Straingaugeler

Genellikle bilinen straingaugeler en fazla 200°C sıcaklığa kadar kullanılabilirler. Daha yüksek sıcaklıklarda yanıp kömürleştikleri için özelliklerini kaybederler. Böyle sıcak yerlerde yapılacak ölçümler için keramik yüzey üzerine yerleştirilmiş straingaugeler kullanılır. Bazı hallerde çok ince metal boru içine saf metaloksit tozları ile beraber yerleştirilmiş ince straingauge teli kullanılmaktadır.

Statik deneylerde 300°C, dinamik deneylerde 600°C nin üstünde doğru sonuçlar elde edilemeyeceğinden yüksek sıcaklıklarda straingauge imalat eden firmaların talimatlarına uyulmalıdır.



YARI İLETKEN STRAINGAUGELER



Bu tip gauge'ler genişlemeye karşı duyarlı silisyum'dan yapılmış ince bir bantı içerirler. Diğer straingaugelere göre 50-80 defa daha hassastırlar. Yakın zamana kadar imalatı zor olan (Si) bantı bugün 30 cm uzunluğunda 2,5 cm çaplı tek (Si) kristalinden kesilip çapı dağlanarak 15 μ m kadar düşürülür.

Bu straingauge'lerin diğer önemli özelliği (k) faktörlerinin çok yüksek oluşudur. Bu tip gaugelerin sinyalleri, kuvvetlendirici olmadan da kaydedicilere bağlanabilmektedir.

Straingauge'leri Seçerken Şu Noktalara Dikkat Edilmelidir.

- Gauge'in **k-faktörü** ve tipi
- Ölçüm yapılacak yerin **sıcaklığı** ve gauge'nin bu sıcaklığa dayanımı
- Ölçüm yerindeki **yükler** ve bu yerin bu yüklere dayanıklılığı
- Straingauge'nin enine **genleşme ve süneklilik** sınırı
- Straingauge'in birlikte kullanılacak **ölçü aletleri** ve bunların birbirine **uygunluğu**

GAUGE FAKTÖRÜ VEYA STRAIN DUYARLILIĞI

Bir metal iletkenin direnci $R = \rho \cdot L/A$ formülü gereğince metalin öz direnci ve uzunluğuyla doğru kesitiyle ters orantılıdır. Çekmeye çalışılan bir straingauge'nin kesidi azalıp uzunluğu arttığı zaman, iletkenin metalik kafesinde çarpılmaya izin verilerek direncinde kısmen artış görülür. Fakat yalnız başına bu olay dirençteki değişimi tamamen izah edemez. İletken metal kafesindeki diğer değişimler de öz dirençde değişme meydana getirdiği ortaya konmalıdır. Zira sıcaklık'da öz direnci değiştirdiği bilinmelidir.

Gauge faktörü k

$$k = (\delta R/R) / (\delta L/L) \text{ dir.}$$

Burada (R)straingauge'nin normal direncidir.

Gauge faktörü (k), imalatçı firmalar tarafından belirlenir. Genellikle tel ve folye gaugelerin yaklaşık gauge faktörü **2** olmasına karşılık gauge'nin uzunluğuna ve büyüklüğüne bağlı olarak **1,7-4** arasında değişir.

Gauge faktörü (k) yı matematiksel göstermek istersek; bir metal iletken, kuvvetle yüklenmeden önceki direnci,

$$A = \rho \cdot L/A \text{ şeklindedir. Bu formülde;}$$

ρ : Özgül direnç

L: Tel boyu

A: Tel kesidi

Yüklemeden dolayı oluşan değişimi incelemek için yukarıdaki denklemin **kısmi türevi** alınır. Her terim kendi ana büyüklüğüne oranlanırsa

$$\Delta R/R = \Delta \rho/\rho + \Delta l/l - \Delta A/A \text{ elde edilir. Telin kesiti}$$

$$A = \pi \cdot D^2/4 \text{ olduğundan;}$$

$\Delta A/A = 2 \cdot \Delta D/D$ yazılabilir. Ayrıca bu ifade enine uzama oranı için

$$\Delta D/D = \epsilon \cdot \rho = -\nu \cdot \epsilon \cdot l = -\nu \cdot \Delta l/l$$

eşitliği kullanılabilir. (ν = Poisson oranı ve $\nu \cong 0,33$)

$$\Delta R/R = [1 + 2\nu + (\Delta \rho/\rho) \cdot (l/\Delta l)] \cdot (\Delta l/l)$$

ifadesi yazılabilir. Parantez içindeki kısım “**k**” ile gösterilirse;

$$\Delta R/R = k \cdot \epsilon \text{ denklemini elde edilir.}$$

Örnek:

(k) gauge faktörü 2 olan bir strain gauge, çekme gerilimine maruz kalmış bir şaft (mil) yüzeyi üzerindeki strain’i ölçmektedir. Gauge’nin normal direnci $R=120\Omega$ ve direnç değişimi $\delta R=0,012\Omega$ dur.

Strain $\epsilon=\delta L/L$ ve $\sigma=?$ nedir?

Çözüm;

$$\Delta R/R = k \cdot \epsilon \Rightarrow \epsilon = (\Delta R)/(R \cdot k) = 0,12/(120 \cdot 2) = 0,00005$$

Çelik için $E=21.103 \text{ daN/mm}^2$

$$\sigma = E \cdot \epsilon \Rightarrow \sigma = 21.103 \cdot 0,00005 \Rightarrow \sigma = 1,05 \text{ daN/mm}^2$$

Buradanda görülüyor ki (δR) çok küçüktür. Bunu ölçmek için Wheatstone köprü devresi bir galvanometre ile birlikte kullanılır. Gauge faktörü (**k**) arttıkça duyarlılık artar.

STRAİNGAUGE ALAŞIMLARI

Statik strain ölçümü için kullanılan gaugelerin strain alaşımı %55 Cu %45 Ni dir.
Dinamik strain için kullanılan gaugelerin alaşımı %52 Fe, %36 Ni, %8 Cr, %5Mo dir. (Cu-Ni) alaşımlarının gauge faktörü $k=2$ dir. Dirençlerinin sıcaklık katsayısı $\alpha = \pm 2 \mu\Omega \text{ } ^\circ\text{C}/\Omega$, korozyon direnci bu alaşımda 400 °C üzerine kadar çıkar ve gayet iyidir.

(Fe-Ni) alaşımlarında ise;

$$\alpha = + 175 \mu\Omega \text{ } ^\circ\text{C}/\Omega$$

k=3,5 Bu alaşımla yalnızca dinamik strain ölçümleri yapılır. Bu olayda strain hızlı değiştiğinden sıcaklık etkisi önemsiz kalır.

WHEATSTONE KÖPRÜSÜ

Bu köprü, strain gauge direncindeki değişimleri ortaya çıkarmak için kullanılır.

Bu devrede R_1, R_2, R_3, R_4

farklı 4 ayrı dirençtir.

U_B : Besleme gerilimi

$U_ö$: Ölçme gerilimi' dir.

$R_1/R_2 = R_3/R_4$ oranı sağlanırsa;

$U_ö = 0$ olur.

Bu durumda köprü dengelenmiş demektir.

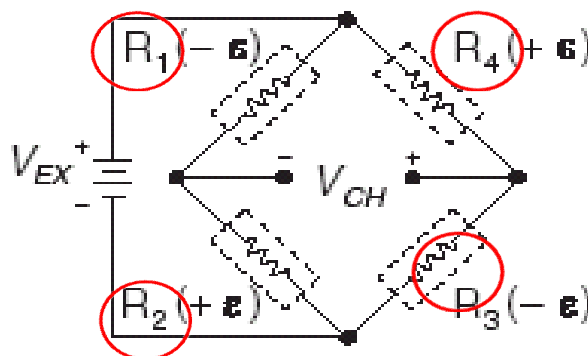
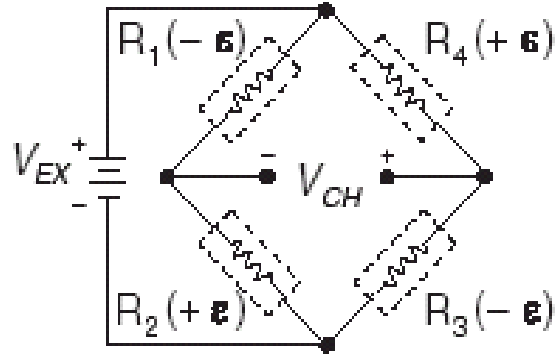
Şayet bu dört direnç' de bir dış kuvvetin etkisi ile ΔR_i ($i=1,2,3,4$) kadar değişecek olursa denge bozulur. Ve

$$U_ö = U_B/4. [\Delta R_1/R_1 + \Delta R_3/R_3 - \Delta R_2/R_2 - \Delta R_4/R_4] \text{ olur.}$$

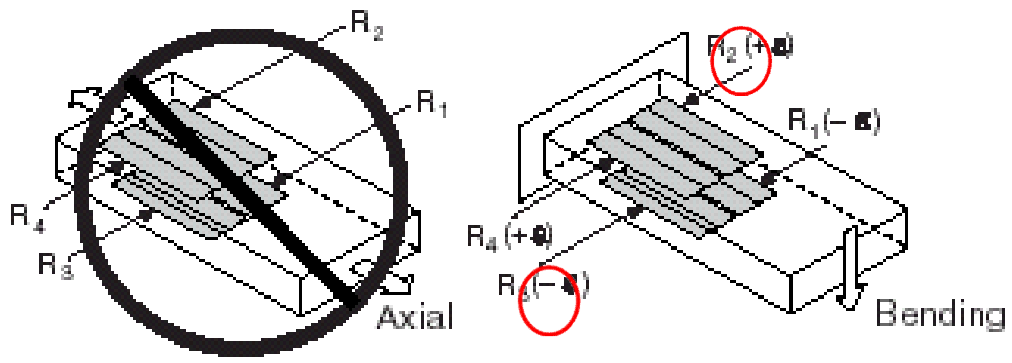
Bu dört direnç aynı büyüklükte olursa

$$U_ö = U_B/4. [(\epsilon_1 + \epsilon_3 - \epsilon_2 - \epsilon_4).k] \text{ yazılabilir.}$$

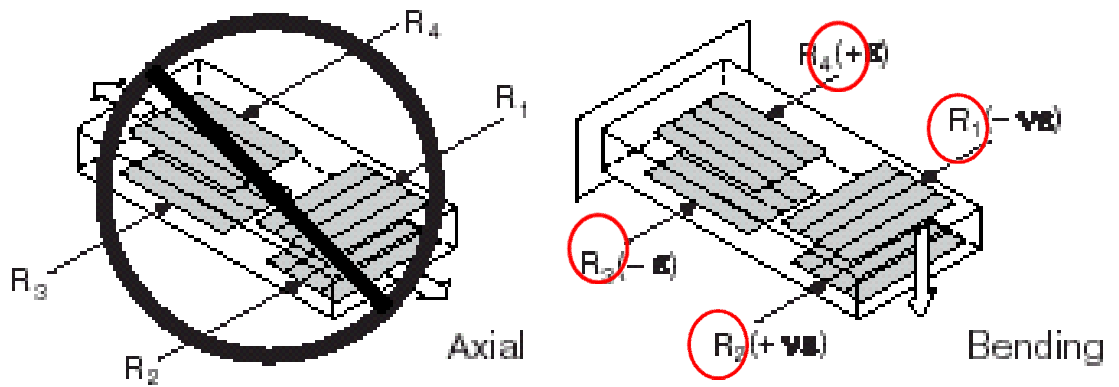
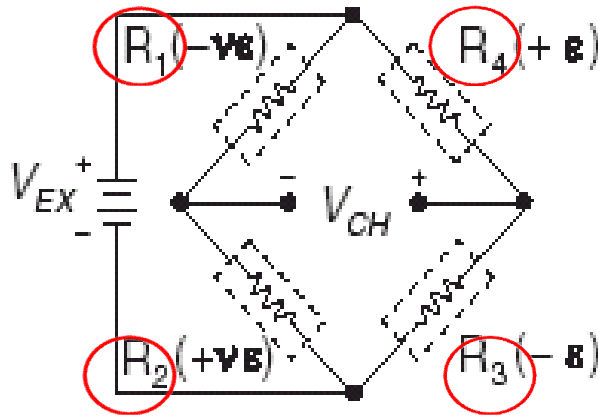
Wheatstone köprü devresindeki dirençlerin hepsi veya bir kısmı strain gauge olabilir. Çeşitli bağlantı şekillerine göre **tam, yarım ve çeyrek köprü** isimlerini alırlar.



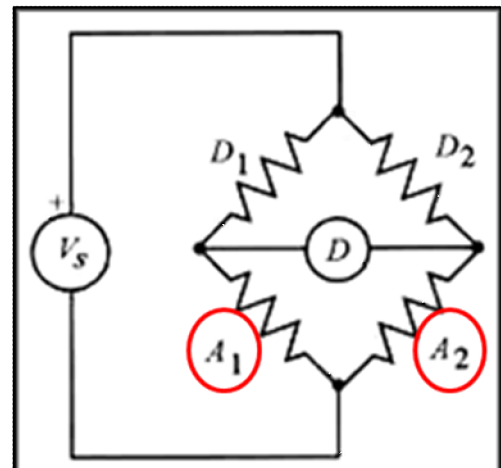
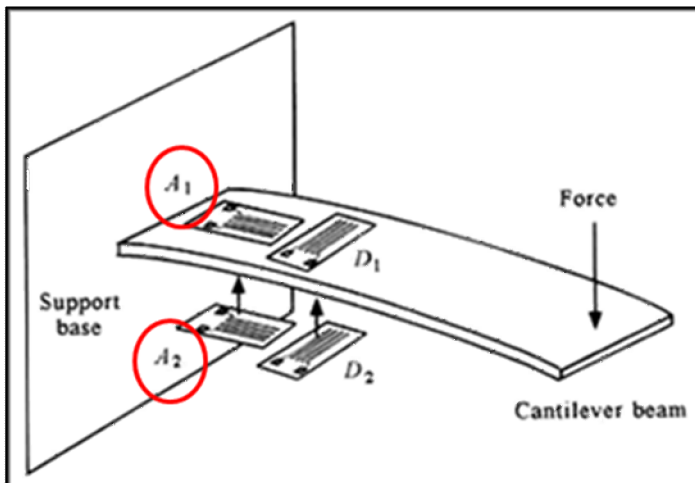
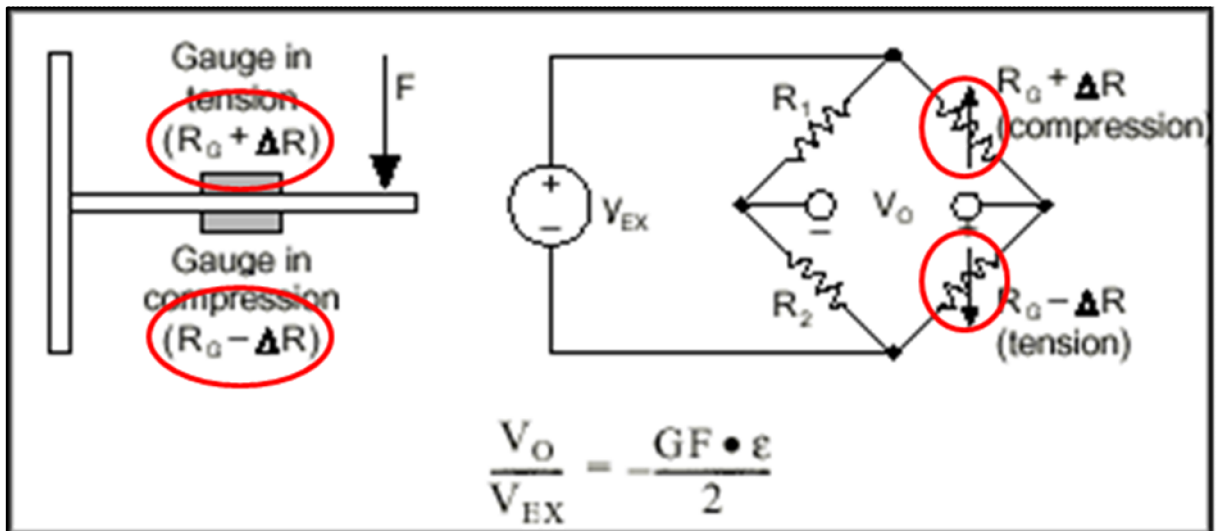
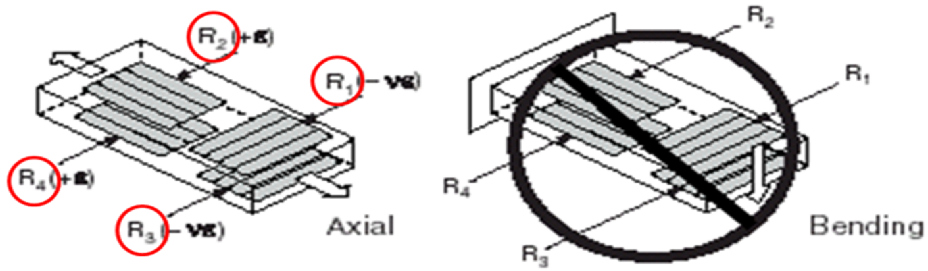
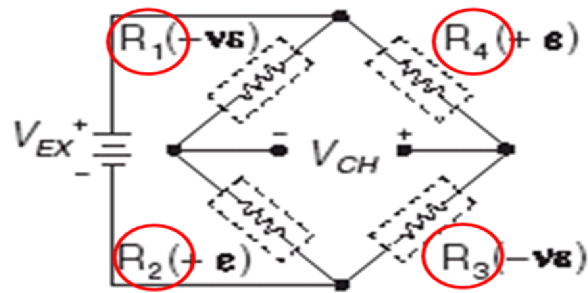
Tam Köprü
1. Tip



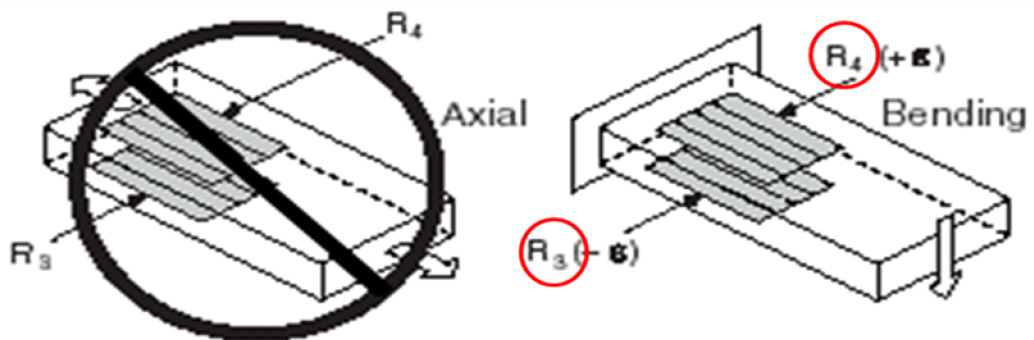
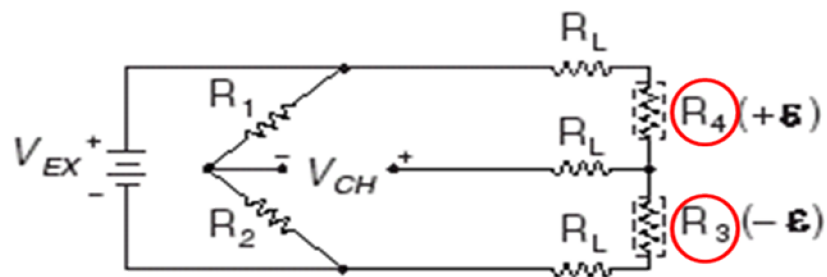
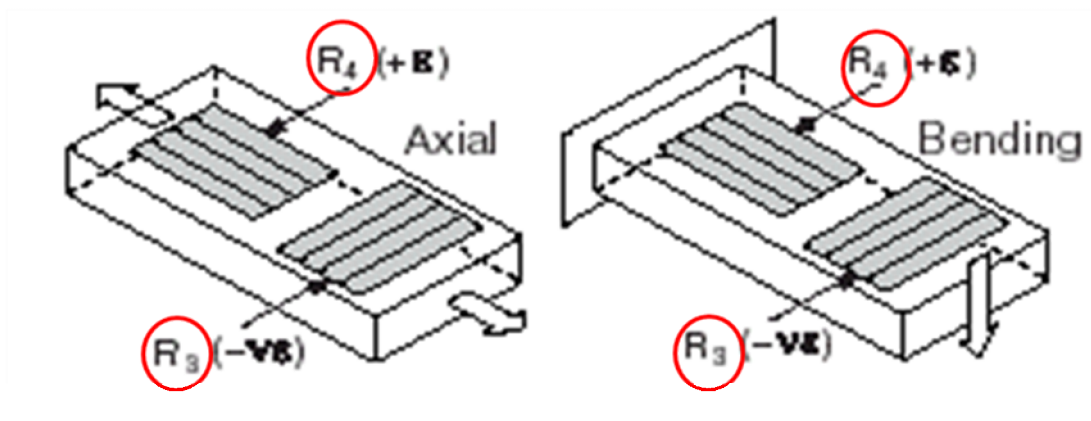
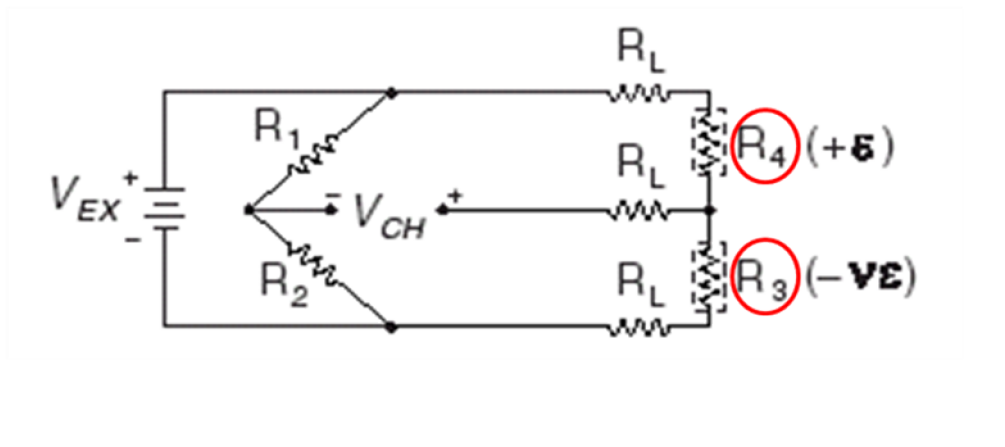
Tam köprü 2.tip



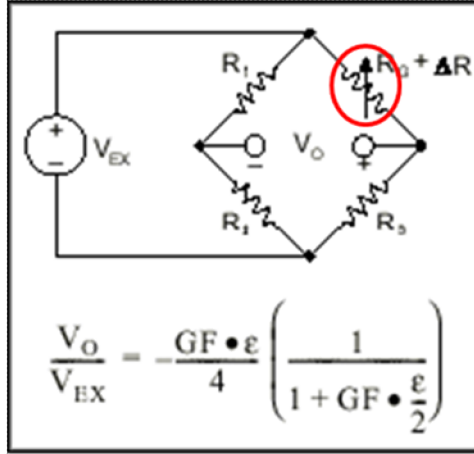
Tam Köprü 3.Tip



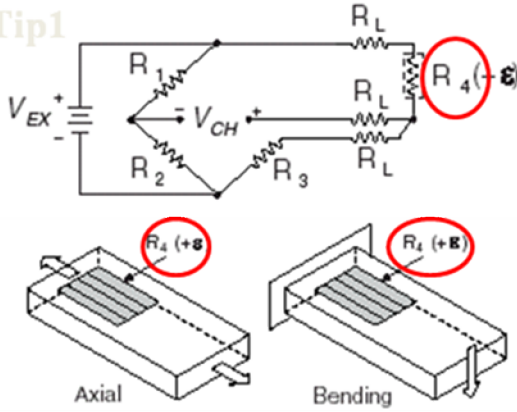
Yarım Köprü



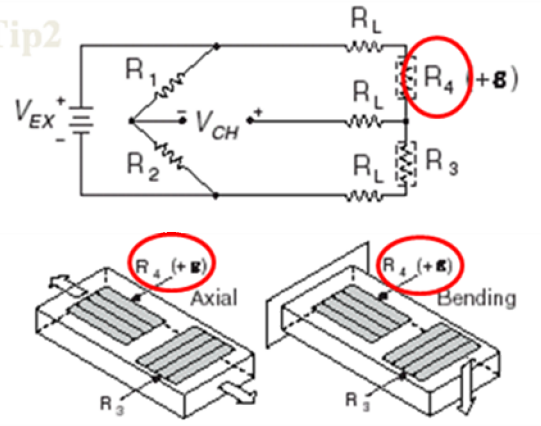
Çeyrek Köprü



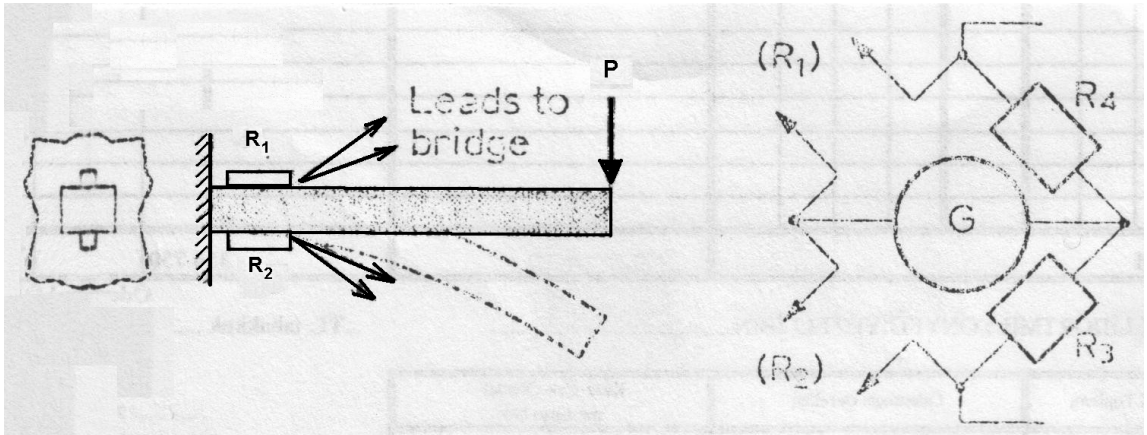
Tip1



Tip2



Örnek Uygulama 1



$$(\delta R_1 \pm \delta R_t) - (-\delta R_2 \pm \delta R_t) + (\pm \delta R_t) - (\pm \delta R_t) \Rightarrow$$

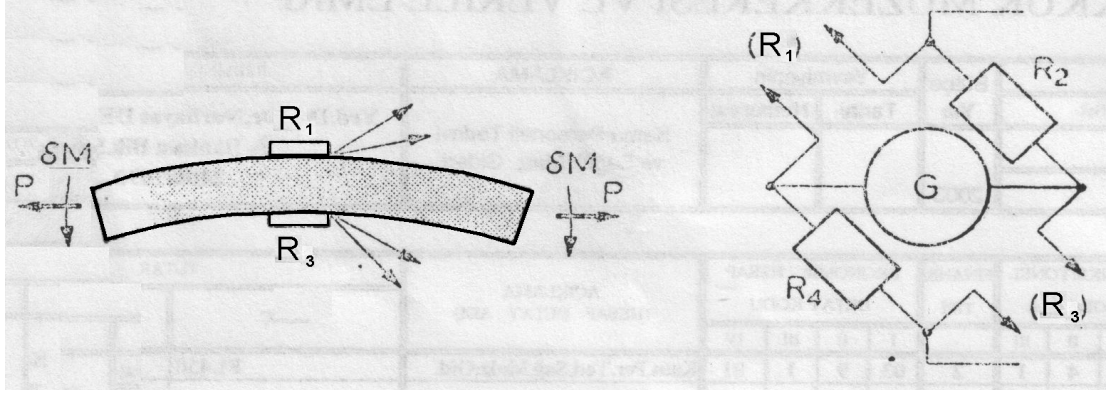
$$= 2\delta R \pm \delta R_t \mp \delta R_t = 2\delta R + 0$$

$R_1=R_2=R_3=R_4$ ise değişimler δR olur.

Burada $\pm \delta R_t$ sıcaklıktan dolayı direnç değişmeleridir.

$\pm \delta R$ zorlama sonucu direnç değişmeleridir.

Örnek Uygulama 2



$$(\delta R_1 + \delta R_{eg} \pm \delta R_t) + (\delta R_3 - \delta R_{eg} \pm \delta R_t) - (\pm \delta R_t) - (\pm \delta R_t) \Rightarrow$$

$R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ ise değişimler δR olur.

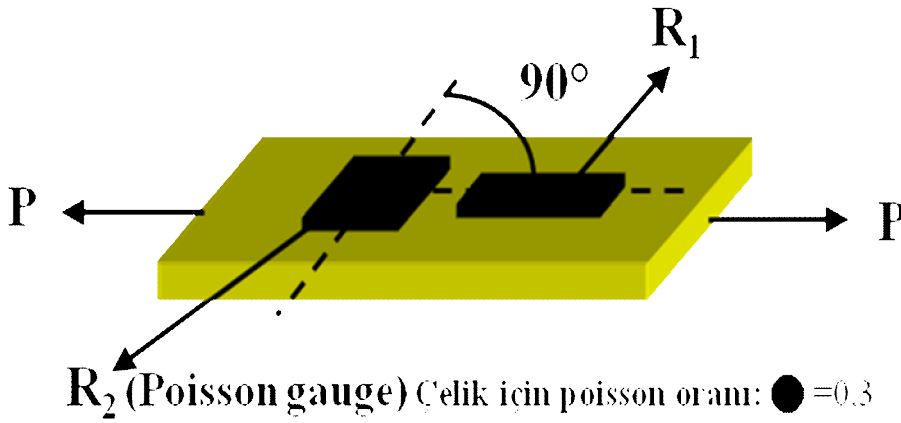
$$= 2\delta R \pm 2\delta R_t \mp 2\delta R_t = 2\delta R + 0$$

Burada $\pm \delta R_t$ sıcaklıktan dolayı direnç değişmeleridir.

$\pm \delta R$ zorlama sonucu direnç değişmeleridir.

δR_{eg} eğilme zorlamsı sonucu direnç değişimi

Örnek Uygulama 3 – (Poisson Metodu)



R_2 (Poisson gauge) Çelik için poisson oranı: $\nu = 0.3$

$$(\delta R_1 \pm \delta R_t \pm \delta R_{eg}) - (-0.3\delta R_2 \pm \delta R_t) + (\pm \delta R_t) - (\pm \delta R_t) \Rightarrow$$

$R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ ise değişimler δR olur.

$$= 1.3\delta R \pm \delta R_{eg} \pm 2\delta R_t \mp 2\delta R_t = 1.3\delta R \pm \delta R_{eg} + 0$$

Burada $\pm \delta R_t$ sıcaklıktan dolayı direnç değişmeleridir.

$\pm \delta R$ zorlama sonucu direnç değişmeleridir.

δR_{eg} eğilme zorlamsı sonucu direnç değişimi