



جامعة المنارة

كلية الهندسة

هندسة الميكاترونك

مقرر التجهيزات والقياسات الكهربائية

Lecture 8

قياسات القوة والعزم

Force & Torque measurements

مدرس المقرر
أ.د. بسام عطية

Force & Torque measurements

قياسات القوة والعزم

1. حساسات الحمل: Load sensors

تصنف هذه الحساسات حسب قيمة القوة المراد قياسها إلى حساسات لقياس القوى المرتفعة (قياس القوى الناجمة عن وزن الأجسام الثقيلة) والمنخفضة أو المتوسطة (قياس القوى الناشئة عن السوائل والغازات المضغوطة).

يتم تصميم حساس الحمل (Load sensor) لقياس القوة **وفق قيمة تشوه مادة الحساس** عند تطبيق قوى خارجية مؤثرة بناء على قانون

$$F = KX$$

هوك (Hooke's law):

حيث:

K: ثابت مرونة المادة: spring constant of material

F: القوة المطبقة: applied force

X: التمدد أو الانضغاط الناشئ عن تأثير القوة المطبقة: extension or compression as result of force

فعلى سبيل المثال ، يكون ثابت المرونة (spring constant) لمادة لا على التعيين مساوياً (1000 lb/in) في

حال طبق عليها قوة ضغط (500 lb) وكان تشوه الانضغاط (التقلص = 0.5 in compression).

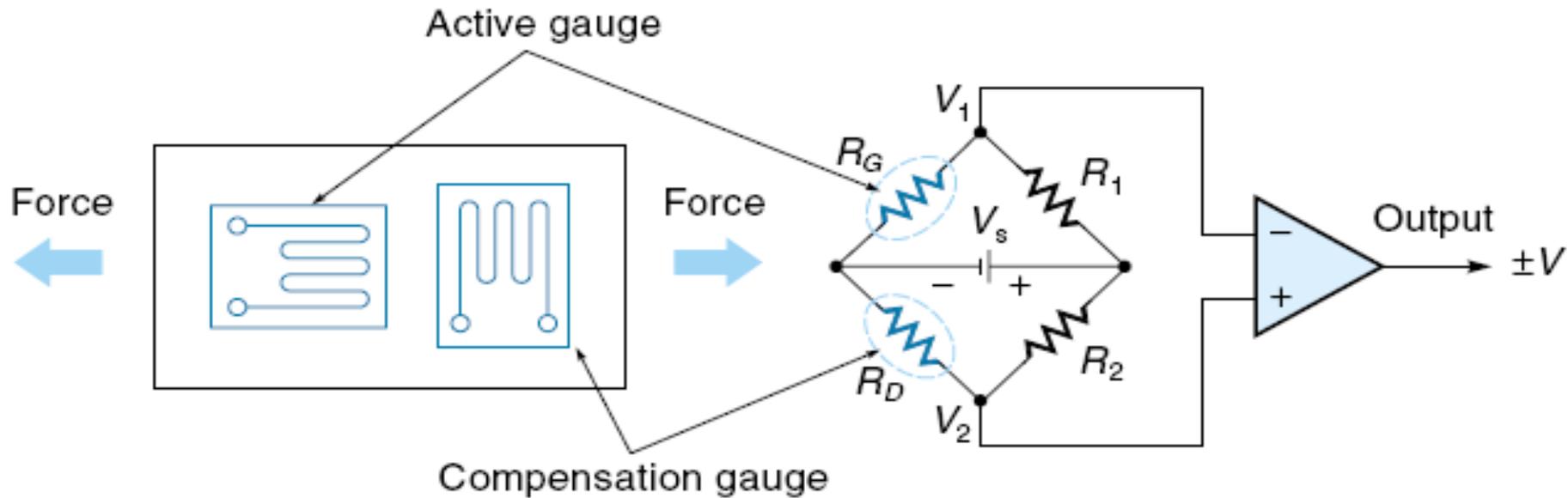
Bonded -Wire Strain Gauges

مقاييس إجهاد السلك

تستخدم هذه المقاييس لقياس القوى في مجالات كبيرة من 10 lb إلى عدة أطنان.

تتشكل هذه المقاييس من أسلاك رفيعة بقطر (0.001 in) ملفوفة وملتصقة مع صفيحة استنادية

أصبحت تصنع حديثا بدارة مطبوعة (printed circuit).



(a) Placement of gauges

(b) Interface circuit using a bridge

where
 R = resistance of a length of wire (at 20°C)
 ρ = resistivity (a constant dependent on the material)
 L = length of wire
 A = cross-sectional area of wire



تتكون الدارة المطبوعة من مقاومتين أو مقياسين، مقياس فعال gauge Active ومقياس تعويضي Compensation gauge، كيف المقياس الفعال بحيث يتم توضع أسلاكه بنفس اتجاه القوة المؤثرة، بينما كيف المقياس التعويضي بحيث يتم توضع أسلاكه بشكل عمودي على اتجاه القوة المؤثرة .

يتلخص مبدأ عمل المقياس إذا تعرض الجسم إلى حالة شد فان ذلك سوف يؤدي إلى استطالة أسلاك المقياس الفعال ونقص في مقطع أسلاكه، مما يؤدي إلى زيادة المقاومة الكلية للسلك والتي يمكن تحديدها من العلاقة التالية: $R = \frac{\rho L}{A}$

where

R = resistance of a length of wire (at 20°C)
 ρ = resistivity (a constant dependent on the material)
 L = length of wire
 A = cross-sectional area of wire

حيث:

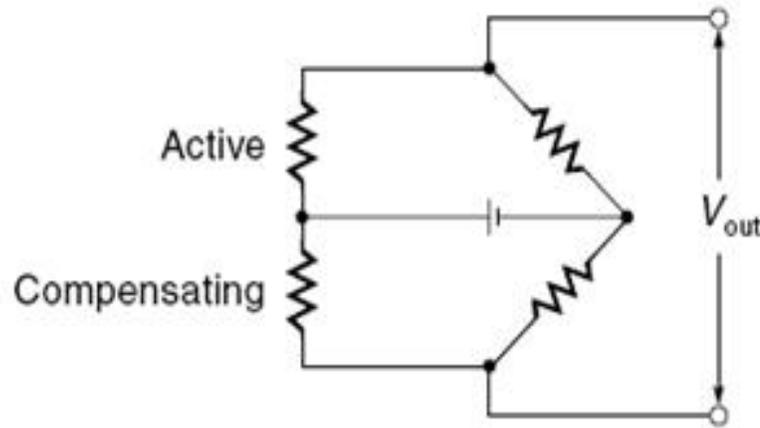
- مقاومة السلك عند (20°C).
- المقاومة النوعية لمادة السلك.
- طول السلك.
- مساحة مقطع السلك.

يمكننا تحديد استطالة الجسم من تغير قيمة المقاومة، ومعرفة **spring constant** لتحديد القوة وفق قانون هوك.

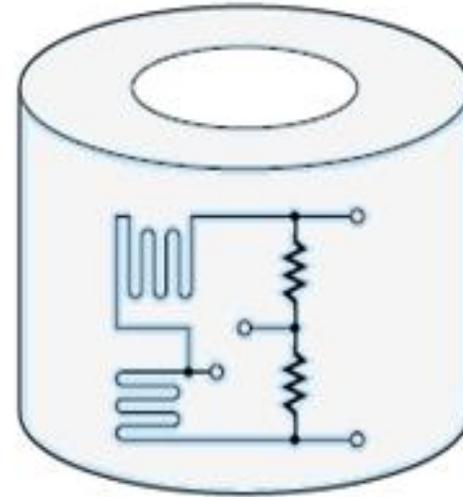
نظرا لان التغير الحاصل في مقاومة المقياس سوف يكون ضئيلا ومن أجزاء الاوم، فان ذلك يستدعي استخدام جسر

من أربع مقاومات (الشكل b)، نظرا لان أي تغير بسيط في إحدى مقاومات الجسر سترافق مع تغير نسبي عالي لجهد

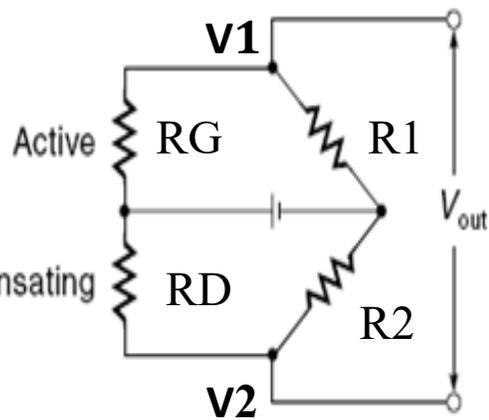
الخرج على أطراف الجسر.



(a) Active and compensating gauges are placed together so that they will be at the same temperature



(b) Load cell with strain gauge and bridge



- يكون الجسر في الحالة العامة متوازن $V1 = V2$ باختيار دقيق لقيم المقاومات المشكلة له.
- سوف يختل اتزان الجسر عند أي تغير في مقاوماته.

- يمكن إلغاء اثر درجة الحرارة على قيمة المقاومة عن طريق توصيل مقاومة تعويضية (resistor

compensating) والمعروفة (Dummy gauge) والتي تشكل إحدى مقاومات الجسر. لاحظ ترتيب وتوضع كل من المقاومتين في الجسر.

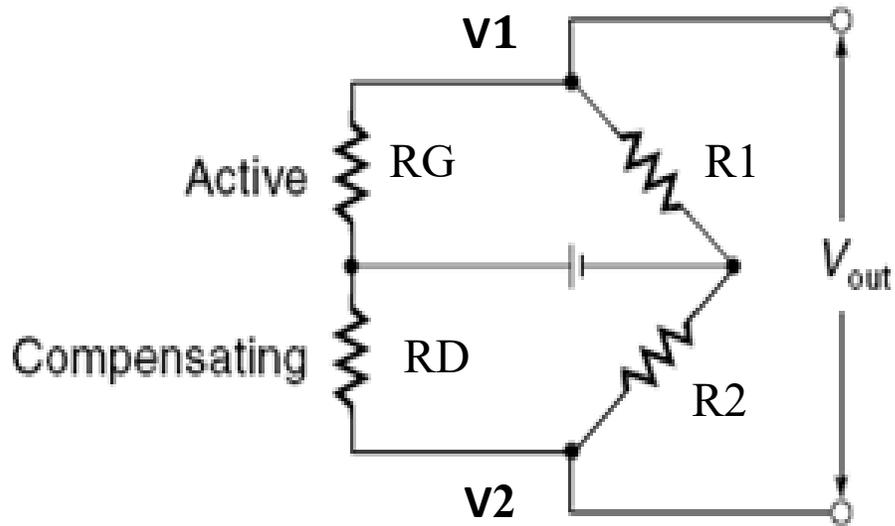
- تثبت المقاومة التعويضية بالقرب من المقاومة الفعالة حتى تكونان في درجة حرارة واحدة.

- تكون المقاومة التعويضية متعامدة مع المقاومة الفعالة حتى لا تتأثر مقاومتها بالقوة المؤثرة نظرا لعدم إمكانية تغير أبعاد أسلاكها (حامل القوة متعامدا مع محور السلك).

لقد درسنا سابقا دارات الجسور وسوف نستذكر المعادلات الأساسية التي تحدد جهد الخرج على أطراف الجسر:



جامعة
المنارة



$$V_1 = \frac{V_S R_G}{R_1 + R_G}$$

$$V_2 = \frac{V_S R_D}{R_2 + R_D}$$

$$V_1 - V_2 = \Delta V = V_S \left(\frac{R_G}{R_1 + R_G} - \frac{R_D}{R_2 + R_D} \right) \quad \Delta V = V_S \frac{(R_G R_2 - R_D R_1)}{(R_1 + R_G)(R_2 + R_D)}$$

بفرض زيادة المقاومة الفعالة R_G بالمقدار ΔR بسبب الاستطالة والتضييق الناتج عن القوة

المؤثرة، وبفرض تساوي جميع مقاومات الجسر و $(R_G = R + \Delta R)$ نجد:

$$\Delta V = V_S \frac{\Delta R}{4R + 2\Delta R}$$

(when all resistors in bridge = R at null)

$$\Delta R \approx \frac{4R \Delta V}{V_S}$$

where

ΔR = change in the strain-gauge resistance

R = nominal value of all bridge resistors

ΔV = voltage detected across the bridge

V_s = source voltage applied to the bridge



حيث:

- التغير الحاصل في المقاومة الفعالة.
- المقاومة الاسمية لجميع مقاومات الجسر.
- الجهد الناتج على خرج الجسر.
- جهد التغذية للجسر.

where

ΔR = change in the strain-gauge resistance

R = nominal value of all bridge resistors

ΔV = voltage detected across the bridge

V_s = source voltage applied to the bridge

يمكن كتابة علاقة تغير المقاومة بدلالة تغير طولها بدلالة ما يسمى عامل القياس **gauge**

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta R/R}{GF}$$

factor (GF) الذي يتحدد حسب طريقة التصنيع:

where

ε = elongation of the object per unit of length ($\Delta L/L$), called *strain*

R = strain-gauge resistance

ΔR = change in strain-gauge resistance due to force

GF = gauge factor, a constant supplied by the manufacturer (GF is the ratio $(\Delta R/R)/(\Delta L/L)$)

يمثل الثابت (E) لجميع المواد نسبة الضغط الناشئ من القوة المؤثرة (P) إلى الاستطالة النسبية (ε):

$$E = \frac{P}{\varepsilon} = P / \left(\frac{\Delta L}{L} \right) = P / \left(\frac{\Delta R / R}{GF} \right)$$

Where:

- **E** :Young's modulus (a constant for each material) ثابت يونغ للمواد
- **P** : stress (force per cross-sectional area) الضغط
- **ε** : strain (elongation per unit length) الاجهاد (الاستطالة النسبية)

والجدول التالي يبين قيم ثابت يونغ لبعض المواد (E) بالوحدات الدولية والبريطانية:

Young's Modulus (E) for Common Materials

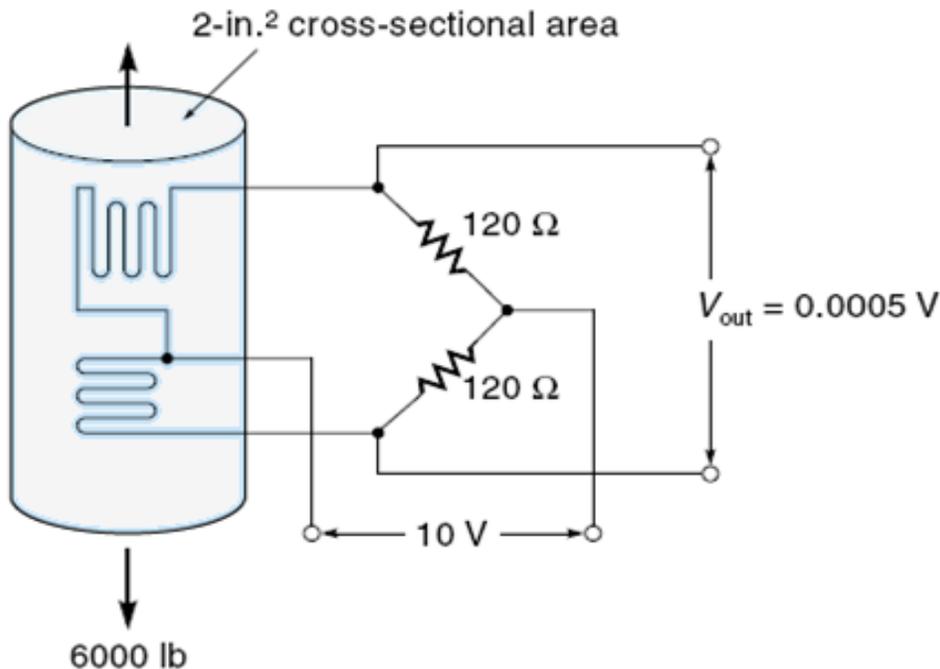
Substance	lb/in	N/cm ²
Steel	30×10^6	2.07×10^7
Copper	15×10^6	1.07×10^7
Aluminum	10×10^6	6.9×10^6
Rock	7.3×10^6	5.0×10^6
Hard wood	1.5×10^6	1.0×10^6

جدول بقيم ثابت يونغ لبعض المواد

مثال:

تستخدم خلية حمل بمقاومة 120Ω و gauge factor ($GF=2$) مع دائرة جسر بجهد 10 V لقياس قوة شد (tension force) مطبقة على قضيب من الفولاذ بمقطع 2 in^2 والمطلوب إيجاد قيمة قوة الشد المطبقة على القضيب عندما يكون جهد خرج الجسر معادلاً 0.0005 V .

الحل: يمثل الشكل طريقة ربط الجسر مع خلية الحمل المثبتة على النموذج المختبر (قضيب الفولاذ).



- نحدد تغير مقاومة خلية الحمل وفق العلاقة التالية:

$$\Delta R \approx \frac{4R\Delta V}{V_S} = \frac{4 \times 120\ \Omega \times 0.0005\ \text{V}}{10\ \text{V}} = 0.024\ \Omega$$

- بتعويض ($GF=2$) في معادلة الإجهاد ϵ :

$$\epsilon = \frac{\Delta R/R}{GF} = \frac{0.024/120}{2} = 0.0001\ \text{in./in.}$$

- وبذلك يكون الضغط المؤثر نتيجة قوة الشد:

$$\rho = E\varepsilon = 30,000,000 \text{ lb/in}^2 \times 0.0001 \text{ in./in.} = 3000 \text{ lb/in}^2$$

- وبذلك تكون قوة الشد

$$F = P \cdot A = 3000 \text{ (lb/in}^2\text{)} * 2 \text{ (in}^2\text{)} = 6000 \text{ lb.}$$

اعد المثال السابق مستخدما الوحدات الدولية:

$$1 \text{ N} = 0.2248089 \text{ lbf} \quad ; \quad 1 \text{ cm} = 0.3937008 \text{ in} \quad ;$$

$$E = 2.07 \times 10^7 \text{ N/cm}^2 \quad \text{قيمة ثابت يونغ لل فولاذ بالوحدات الدولية}$$