حساسات ومجسات

المحاضرة السادسة

د.م. خولة حموي
khawla.hamwi@gmail.com

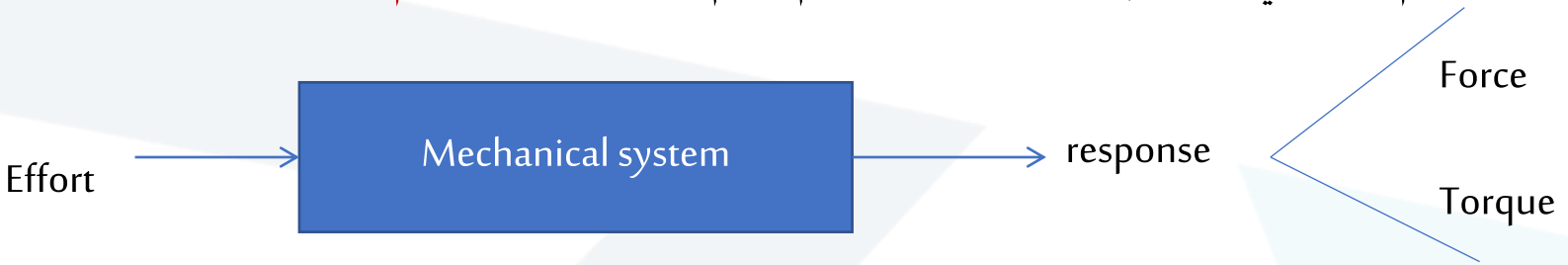
العام الدراسي: ٢٠٢٣-٢٠٢٤

عناوين المحاضرة

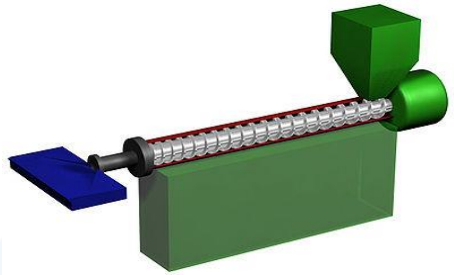
- حساسات الجهد Effort sensors
- سببية القوة والحركة Force-Motion Causality
- مشاكل التحكم بالقوة Force control problems
- موقع حساس القوة Force sensor location
- قياس الالتواء Strain gauge
- تطبيقات قياس الالتواء Strain gauges applications
- معادلات قياس الالتواء Equations for Strain-gauge Measurements

حساسات الجهد Effort sensors

- تعتمد استجابة النظام الميكانيكي على الجهود المطبقة على النظام بكلام آخر على القوة والعزم



- هناك العديد من التطبيقات التي تعتمد على تحسس القوة والعزم نذكر منها:**عمليات الآلة**: الطحن، القطع، الدرفلة....



عمليات المعالجة: الإمساك بالأجسام، التجميع، النقش، المعالجة الآلية الدقيقة....

سببية القوة والحركة

- نظرًا لأن القوى متغيرات في الأنظمة الميكانيكية ، يمكن أن يؤدي قياسها إلى تحكم فعال
- هناك تطبيقات يكون فيها التحكم بالقوة مهماً جداً حيث يمكن أن يؤدي خطأ بسيط في الحركة إلى توليد قوى كبيرة ، على سبيل المثال، عمليات تجميع الأجزاء....
- في التجميع:

اختلال بسيط في الحركة ← تشويش وتوليد قوى مدمرة

- في آلات القص الدقيقة:

خطأ بسيط في الحركة ← توليد قوى قطع كبيرة ، مما قد يؤدي إلى جودة غير مقبولة للمنتج

- في مثل هذه الحالات ، يبدو أن قياس القوى والتحكم فيها طريقة فعالة لتحسين أداء النظام

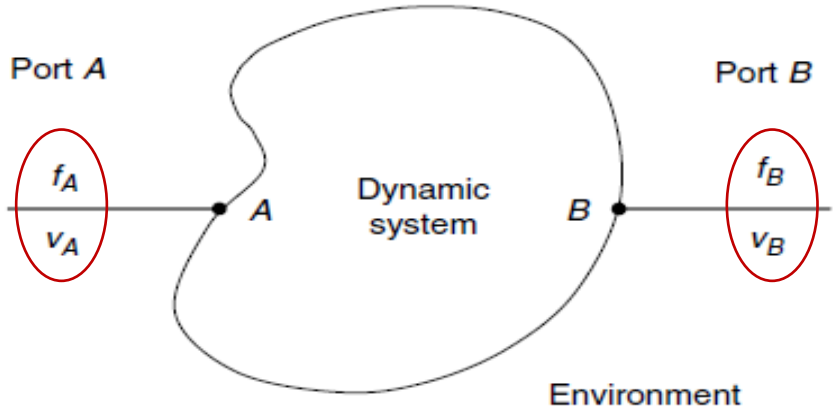
سببية القوة والحركة

- خرج الأنظمة الميكانيكية يمكن أن يكون:

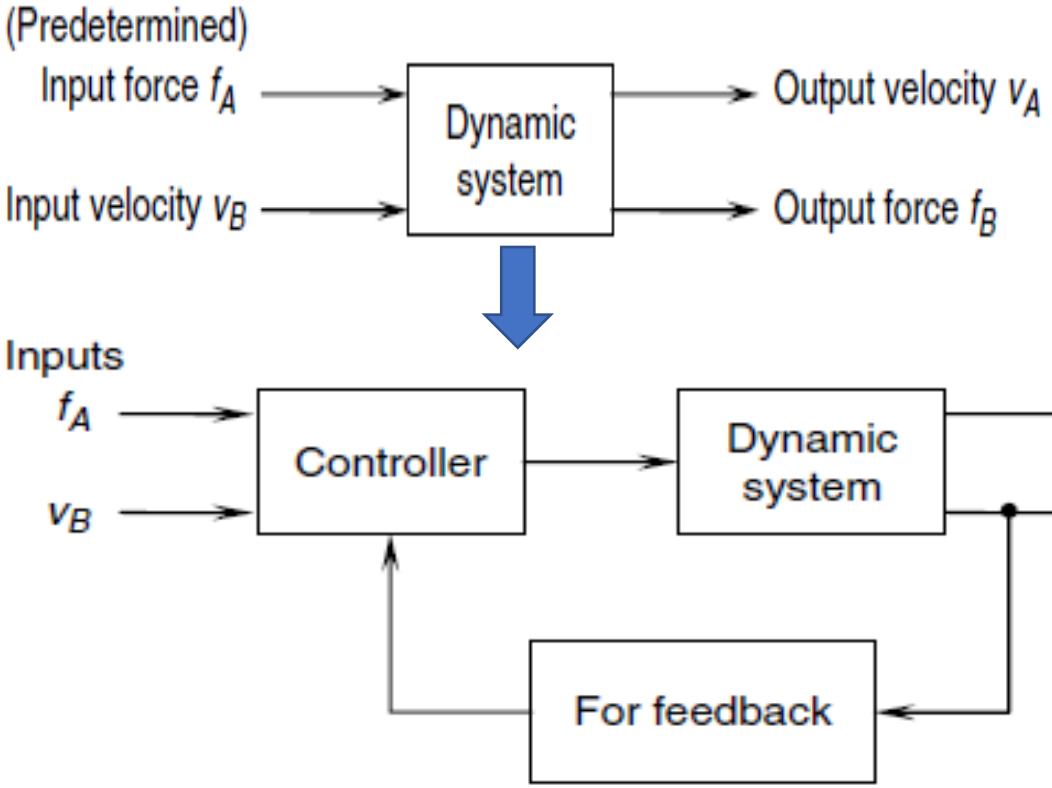
حركة: استجابة روبوت الطلاء بالرش الذي من المتوقع أن يتبع مساراً محدداً

قوة: بعض مهام التصنيع مثل التجميع، الحفر، الإمساك....

مشاكل التحكم بالقوة



- بفرض FA هو دخل النظام و FB خرج النظام. هذا يؤدي إلى أن VBهو دخل للنظام في حين أن VA هو خرج للنظام.

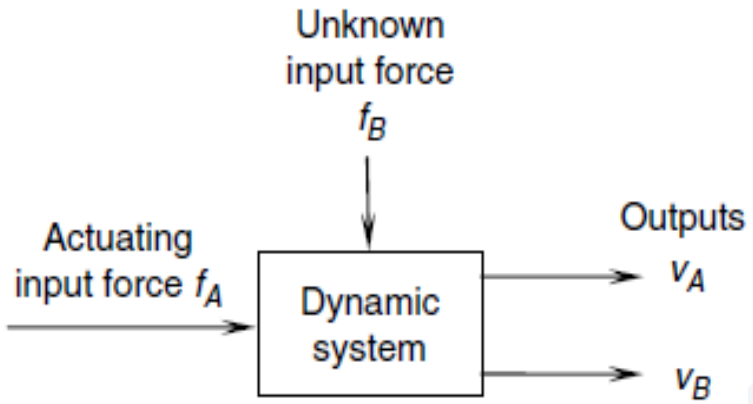


- من المستحيل عملياً تحقيق أداء دقيق للنظام باستخدام حلقة التحكم المفتوحة المبينة في الشكل

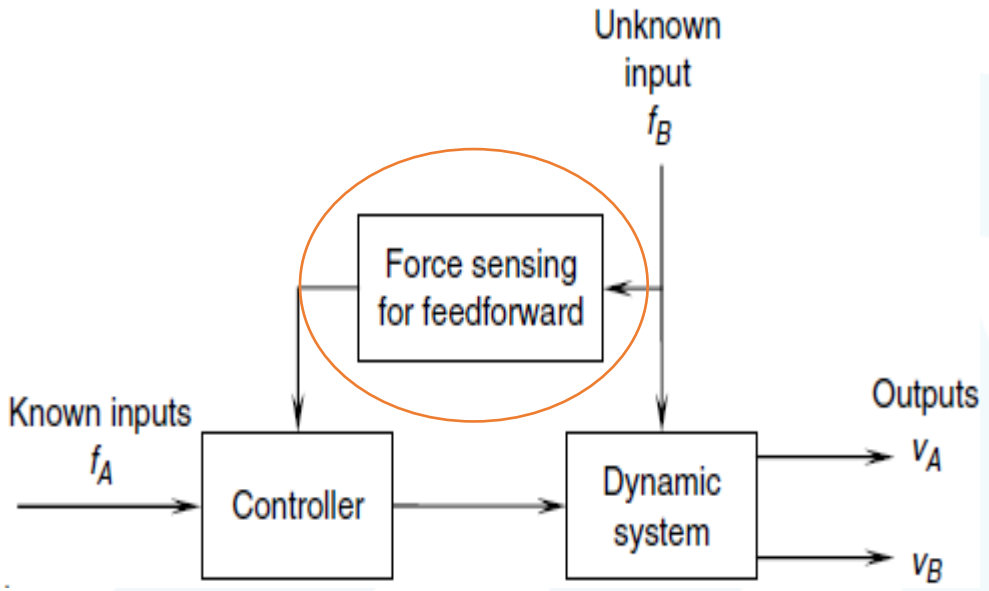
لذلك لا بد من استخدام حلقة التغذية العكسية وإدخال قيمة قوة الخرج في حلقة التحكم

مشاكل التحكم بالقوة

- بفرض النظام المذكور سابقاً بمدخل A ومخرج B
- بفرض FA قوة التشغيل تعتبر كدخل معلوم في حين أن FB هي قوة غير معروفة تؤثر على عمل النظام الديناميكي



A system with an unknown input force



Feedforward force control

- نستخدم حلقة تغذية أمامية باستخدام حساس قوة وذلك لمعرفة قيمة هذه القوة وإدخالها ضمن حلقة التحكم

موقع حساس القوة

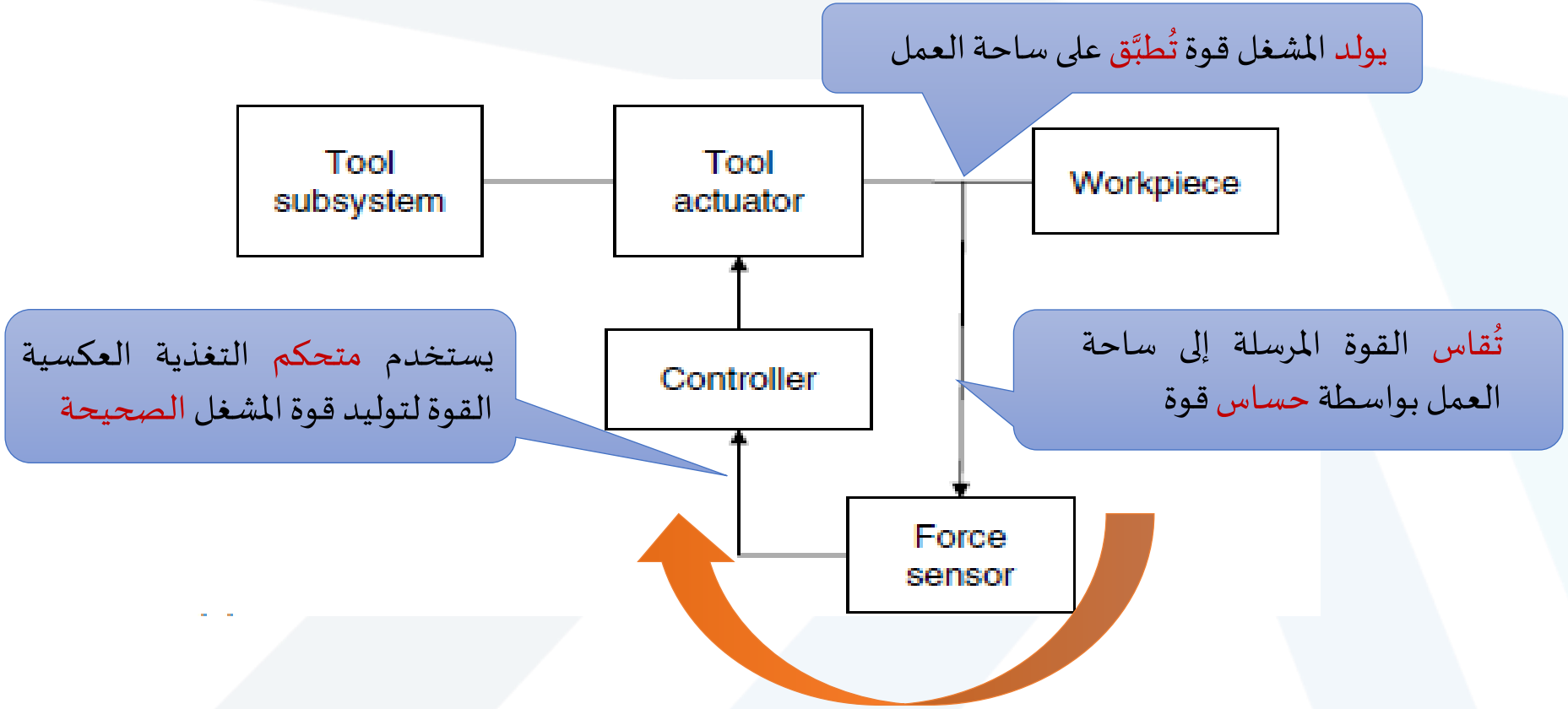
- في أنظمة التحكم بالقوة ذات التغذية العكسية، يمكن أن يمتلك موقع حساس القوة بالنسبة لموقع المشغل تأثيراً كبيراً على أداء هذه الأنظمة (خاصة الاستقرارية)

- عندما تتوضع حساسات القوة عادة بعيداً عن المشغل في النظام الميكانيكي، فإن هذا النظام يعاني من عدم الاستقرارية عند تطبيق تحكم بالتغذية الخلفية

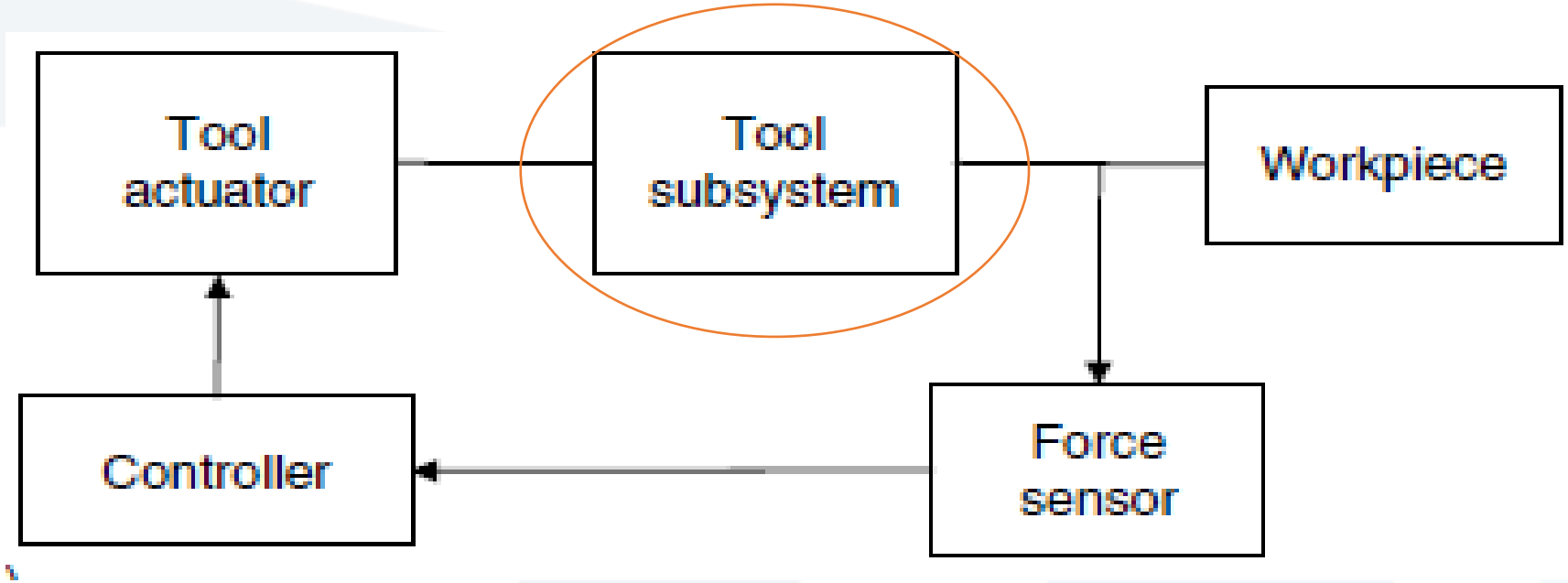
من الأفضل قياس القوة (باستخدام الحساسات) بشكل قريب جداً من موقع المشغل وذلك في الأنظمة التي تستخدم التغذية الخلفية للتحكم بالقوة

موقع حساس القوة

- بفرض نظام ميكانيكي مكون من عدة أجزاء ديناميكية (نظام جزئي، مشغل، ساحة عمل)



موقع حساس القوة



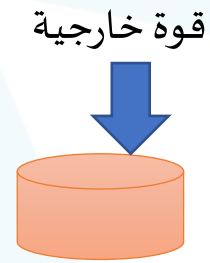
- نلاحظ في هذا الترتيب أن المشغل فُصِل عن حساس القوة بواسطة نظام ديناميكي جزئي
- في هذه الحالة يعتبر النظام أقل استقراراً من النظام السابق وذلك لأن هذا الترتيب يولد تأخيراً ديناميكياً أكبر من الترتيب السابق ضمن حلقة التغذية العكسية
- من المعروف أن التأخير الزمني يمتلك تأثيراً غير مستقراً على أنظمة التحكم التي تستخدم التغذية العكسية

قياس الالتواء

- معظم حساسات القوة والعزم تعتمد على قياسات الالتواء (strain gauge)

يمكن أن يستخدم بطريقة غير مباشرة لقياس الانتقال، التسارع، الضغط و درجة الحرارة

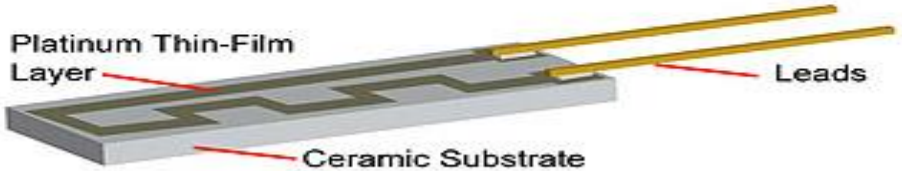
بالرغم من أن الـ strain gauge يقيس الالتواء ولكنه أيضاً يتعلق بشكل مباشر بقياس القوة والإجهاد



- **الالتواء:** هو التغير النسبي في الشكل أو الحجم لجسم ما الناتج عن تطبيق قوى خارجية
- **الإجهاد :** هو القوة الداخلية (في واحدة المساحة) المرتبطة مع الالتواء

تطبيقات قياس الالتواء

Wire-Wound RTD Element



Thin-Film RTD Element

- يمكن استخدام قياس الالتواء في تحديد العديد من المتغيرات مثل: الانتقال، التسارع، الضغط، الحرارة، مستوى السوائل، القوة، العزم...

- يمكن أن تقاس درجة الحرارة من خلال قياس التمدد الحراري أو التغير الذي يصيب عنصر **ثنائي المعدن**

- الثيرمستور هوحساس حرارة مصنوع من مادة نصف ناقلة تمتلك مقاومة تتغير مع تغير درجة الحرارة

- تعمل المقاومة الحرارية بنفس مبدأ الثيرمستور باستثناء أنها مصنوعة من **معدن** وليست من مادة نصف ناقلة

معادلات قياس الالتواء

- تتغير المقاومة الكهربائية في مادة ما عندما يتغير شكل هذه المادة

$$R = \rho \frac{\ell}{A}, \quad \rightarrow \quad \log R = \log \rho + \log(\ell/A) \quad \rightarrow \quad \frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{d(\ell/A)}{\ell/A}$$

R – Resistance; ρ Resistivity ; ℓ Length ; A Cross sectional area

- من أجل تغيرات خطية، الحدين في الطرف الأيمن للمعادلة السابقة تمثل توابع خطية للالتواء ε

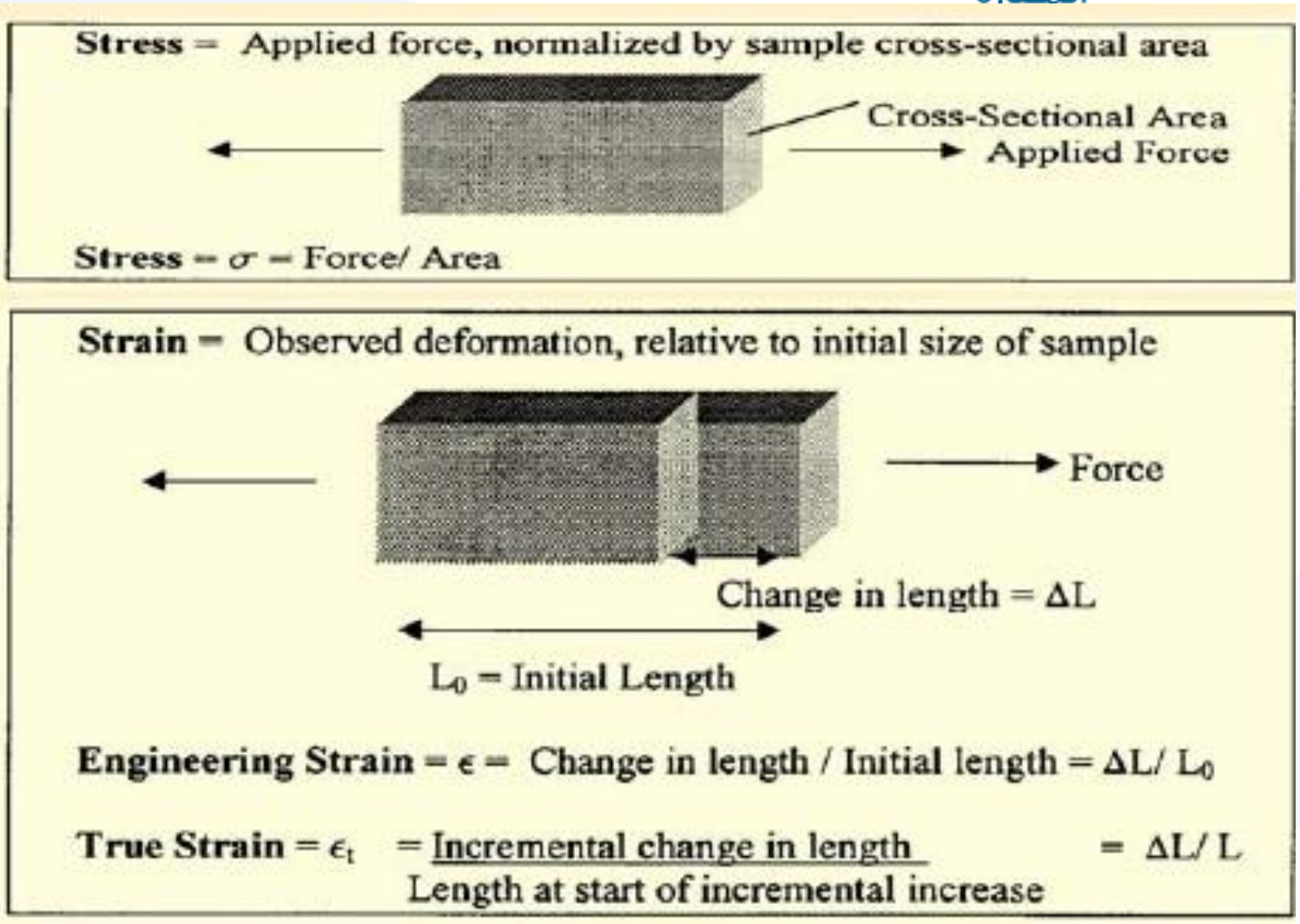
$$\frac{\delta R}{R} = S_s \varepsilon.$$

حيث Ss يمثل معامل القياس أو الحساسية (٢-٦ من أجل المعادن ، ٤٠-٢٠٠ من أجل أنصاف النواقل)

و ε يمثل الالتواء

- يُقاس التغير في مقاومة العنصر المعرض للالتواء والذي يحدد الالتواء المرافق باستخدام دارة كهربائية ملائمة

معادلات قياس الالتواء

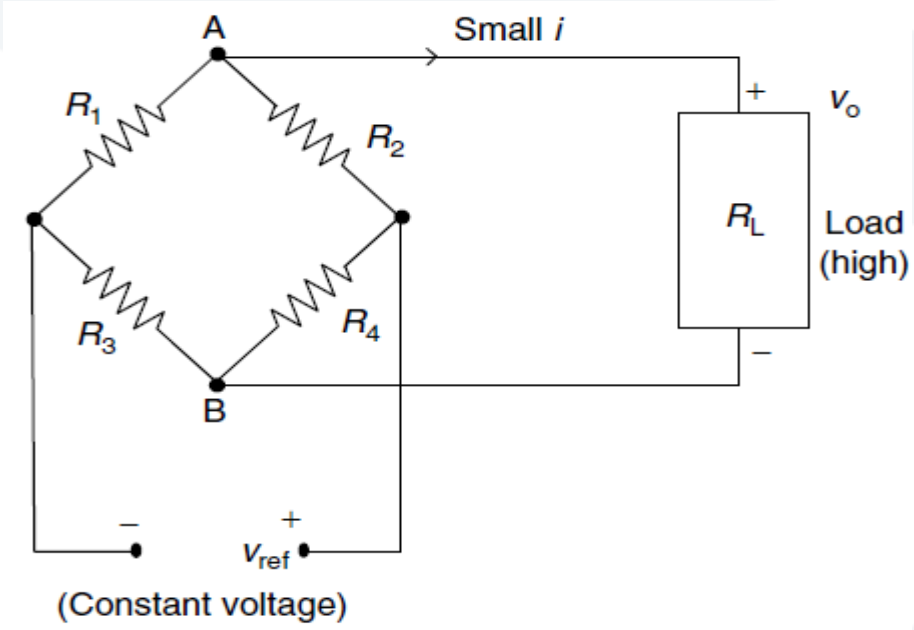


بالاعتماد على تعريف نسبة بواسون (V)

Transverse strain= (-V) X longitudinal strain

الالتواء العرضاني= (-V) X الالتواء الطولاني

معادلات قياس الالتواء



Wheatstone bridge circuit

يعتبر جسر واتستون من أكثر الدارت المستخدمة لقياس الالتواء من خلال اعتبار واحدة من مقاومات الجسر الأربعة (R1,R2,R3,R4) تمثل مقدار الالتواء

$$v_o = \frac{R_1 v_{ref}}{(R_1 + R_2)} - \frac{R_3 v_{ref}}{(R_3 + R_4)}$$

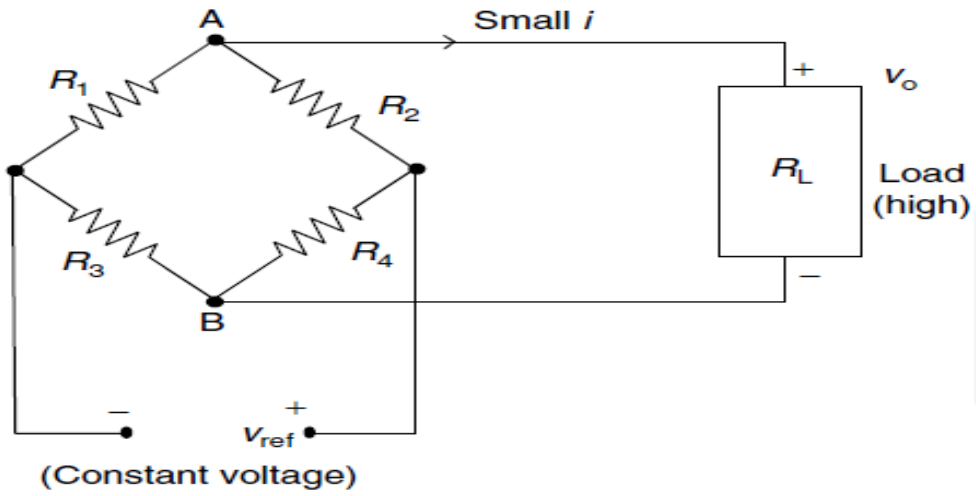
$$= \frac{(R_1 R_4 - R_2 R_3)}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} v_{ref}.$$

يكون الجسر متوازناً عندما يكون جهد الخرج يساوي الصفر وبالتالي يمكن أن نكتب:

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

تعتبر هذه المعادلة صحيحة من أجل أي قيمة لمقاومة الحمل وذلك لأن التيار المار في الحمل عند توازن الجسر معدوم حتى ولو كانت RL صغيرة

معادلات قياس الالتواء



لحساب ثابت المعايرة نبدأ من الحساسية التي تعطى بالعلاقة

$$\frac{\delta v_0}{v_{\text{ref}}} = \frac{(R_2\delta R_1 - R_1\delta R_2)}{(R_1+R_2)^2} - \frac{(R_4\delta R_3 - R_3\delta R_4)}{(R_3+R_4)^2}.$$

ممكن أن تكون أكثر من مقاومة فعالة.إذا كانت المقاومات الأربعة فعالة فإن الحساسية ستزداد

$$\frac{\delta v_o}{v_{\text{ref}}} = k\frac{\delta R}{4R},$$

إذا كانت المقاومات الأربعة متساوية ومتعاكسة بالتأثير سنحصل على حساسية عظمى تعطى بالعلاقة

حيث k ثابت الجسر ويعطى بالعلاقة

$$k = \frac{\text{bridge output in the general case}}{\text{bridge output if only one strain gage is active}}.$$

يرتبط ثابت **المعايرة** بالالتواء ويعطى بالعلاقة التالية:

$$\frac{\delta v_o}{v_{\text{ref}}} = k\frac{\delta R}{4R}, \qquad \frac{\delta R}{R} = S_s\varepsilon.$$

$$\Rightarrow \frac{\delta v_o}{v_{\text{ref}}} = \frac{k}{4}S_s\varepsilon.$$

ولكن $C = \frac{k}{4}S_s,$

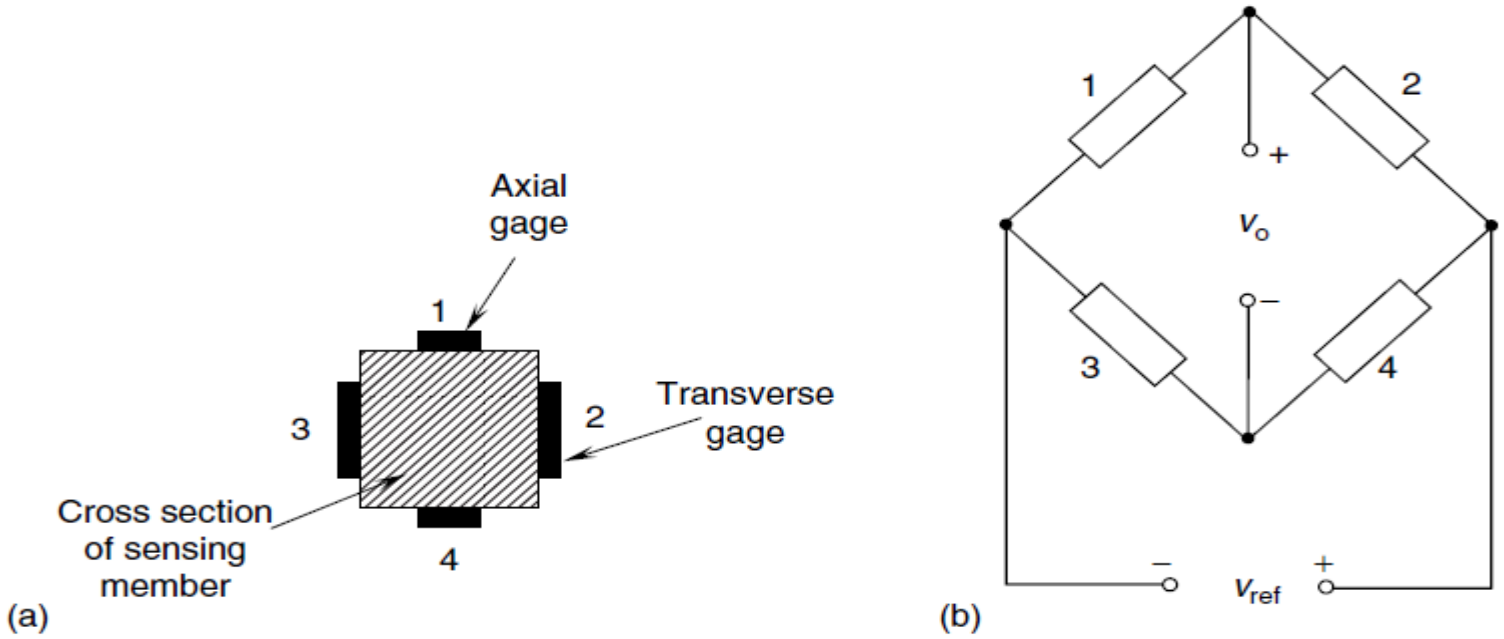
$$\Rightarrow \boxed{\frac{\delta v_o}{v_{\text{ref}}} = C\varepsilon.}$$

معادلات قياس الالتواء

مثال:

لدينا حساس قوة ممثل بأربعة قياسات للالتواء مبينة في الشكل بالإضافة إلى دارة جسر واتستون المعبرة عن توضع هذه القياسات. القياسين ١ و٤ متوضعين بشكل طولاني في حين ٢ و٣ متوضعين بشكل عرضاني .

المطلوب: حدد ربح الجسر بدلالة نسبة بواسون
إذا علمت أن الحساسية أعظمية



An example of four active strain gauges. (a) Mounting configuration on the load cell. (b) Bridge circuit.

معادلات قياس الالتواء

Poisson's ratio –
Transverse strain= (-ν)X longitudinal strain

مثال:

بفرض أن $\delta R_1 = \delta R.$ وبالتالي حسب نسبة بواسون

$$\delta R_2 = -\nu\delta R$$
$$\delta R_3 = -\nu\delta R\,.$$
$$\delta R_4 = \delta R$$

تعطى الحساسية بالعلاقة:

$$\frac{\delta v_0}{v_{\text{ref}}} = \frac{(R_2\delta R_1 - R_1\delta R_2)}{(R_1+R_2)^2} - \frac{(R_4\delta R_3 - R_3\delta R_4)}{(R_3+R_4)^2}.$$

بالتعويض نحصل على:

$$\frac{\delta v_o}{v_{\text{ref}}} = 2(1+\nu)\frac{\delta R}{4R}$$

$$k = 2(1+\nu).$$

بالمقارنة مع العلاقة:

$$\frac{\delta v_o}{v_{\text{ref}}} = k\frac{\delta R}{4R},$$