

الحساسات و المبدلات

الأهداف العامة للمحاضرة :

- تعريف و كيفية تصنيف الحساسات و المبدلات.
- كيفية اختيار الحساسات و المبدلات وفقاً للتطبيقات المختلفة.
- معرفة الأنواع الأساسية للحساسات و المبدلات.



المحتويات

الموضوع

١- مقدمة

٢- مفاهيم عامة

٢- ١- تعريف الحساسات والمبدلات

٢- ٢- تصنيف الحساسات والمبدلات

٢- ٣- اختيار الحساسات والمبدلات

٢- الأنواع الأساسية للحساسات والمبدلات

٢- ١- حساس ومبدل الإزاحة الأومي

٢- ٢- حساس ومبدل مقياس الإجهاد

٢- ٣- الحساس والمبدل الحثي

٢- ٣- ١- مقياس السرعة الدوارة

٢- ٣- ٢- المقياس الكهرومغناطيسي لقياس سرعة تدفق الموائع

٢- ٣- ٤- الحساس والمبدل السعوي

٢- ٤- ١- مقياس الإزاحة الدورانية

٢- ٤- ٢- مقياس الإزاحة الخطية

٢- ٤- ٣- مقياس الضغط

٢- ٥- مبدل بلورة بيزو الكهربية (مبدل الكهربية الإجهادية)

٢- ٦- حساسات ومبدلات الحرارة

٢- ٦- ١- مقياس حرارة المقاومة الكهربية

٢- ٦- ٢- المزدوج الحراري

٢- ٦- ٣- المجس الحراري

٢- ٧- حساسات ومبدلات كهروضوئية

٢- ٧- ١- الحساسات والمبدلات ذات انبعاث ضوئي

٢- ٧- ٢- الحساسات والمبدلات ذات موصلية ضوئية

٢- ٧- ٣- الحساسات والمبدلات ذات فولطية ضوئية

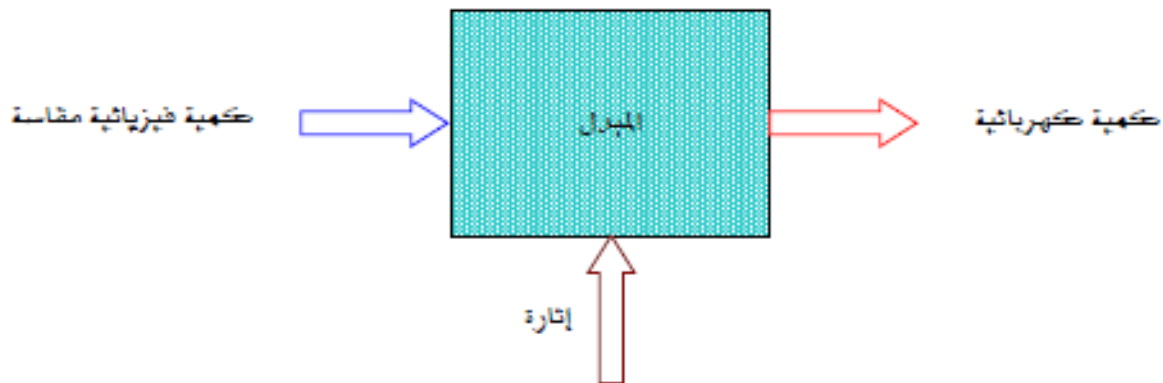
٦- ١ مقدمة Introduction

أحدى الوظائف المهمة للإلكترونيات علمياً وعملياً وصناعياً هي عملية قياس الكميات الفيزيائية مثل الوضع ودرجات الحرارة والقوة والضغط ومعدل تدفق مائع....إلخ.
وللحساسات والمبدلات وظائف مهمة في أنظمة التحكم المختلفة، فهي الأجهزة التي تأخذ على عاتقها مسؤولية تحويل الكميات الفيزيائية المختلفة إلى كميات كهربائية قابلة للقياس والتكبير والنقل بالإضافة إلى إمكانية دخولها في أنظمة التحكم. كما أنه يسهل تسجيل هذه الكميات الكهربائية كتساعده هامة للبيانات والمعلومات ويسهل أيضاً التعامل معها عن طريق أجهزة التحكم والكمبيوتر.

٦- ٢ مفاهيم عامة General concepts

٦- ٢- ١ تعريف الحساسات والمبدلات

الحساس على وجه العموم هو أي جهاز يمكنه أن يحول الطاقة من صورة ما إلى صورة أخرى، إلا أن المبدل يعني الوظائف التالية :
(١) الإحساس بالكميات المقاسة
(٢) إخراج إشارة كهربائية مقاسة مع الكمية المقاسة يمكن قياسها بواسطة جهاز قياس خارجي.
أي أن المبدل يمكن أن يعتبر مترجماً من لغة الكميات الفيزيائية الموضوعة تحت المراقبة إلى لغة الكميات الكهربائية، كما هو موضح في شكل رقم (٦- ١).



شكل رقم (٦- ١) رسم تخطيطي للمبدل.

٦- ٢- تصنيف الحساسات والمبدلات Classification of sensors and transducers

يمكن تصنيف الحساسات والمبدلات حسب تطبيقاتها، أو طبقاً للكميات الفيزيائية المحولة، أو طبقاً لخواصها، أو طبقاً لحالات القياس، كما سيأتي فيما بعد.

٦- ٢- ٣ اختيار الحساسات والمبدلات Selection of sensors and transducers

يجب مبدئياً اختيار الحساس أو المبدل بحيث يناسب التطبيق أو الوظيفة المنوط به القيام بها ويجب مراعاة الآتي:

- (١) مدى القياس: يجب على المبدل أن يعمل في حدود مدى القياس المطلوب.
- (٢) الحساسية: يجب على الحساس أو المبدل أن يحظى بدرجة معقولة من الحساسية بحيث يعطى خرجاً كهربائياً كافياً.
- (٣) التفاعل مع التردد: يجب على المبدل أن يتفاعل بطريقة مناسبة مع التردد وكذلك بالنسبة للإثارة تجاه الرنين.
- (٤) التناسب مع الظروف المحيطة: يجب على الحساس أو المبدل أن يناسب الظروف المحيطة به من حرارة وضغط جوي ومجالات مغناطيسية وكهربائية وخلافه.
- (٥) أقل حساسية: يجب أن يحظى الحساس أو المبدل بقدر أدنى من الحساسية للشعور بالكمية المقاسة.
- (٦) دقة القياس قد يتعرض الحساس أو المبدل إلى أخطاء في القياس نتيجة تكرارية عمليات القياس وأخطاء المعايرة وأيضاً بالإضافة إلى أخطاء الحساسية للمؤثرات الأخرى غير الكميات المقاسة.
- (٧) التناسب مع ظروف الاستخدام: بالنسبة للكميات المقاسة كهربائياً وميكانيكياً يجب أن يؤخذ في الاعتبار وزن وأبعاد الحساس أو المبدل.
- (٨) أبعاد أطراف التوصيل: يجب أن يؤخذ في الاعتبار أبعاد كابلات التوصيل بالنسبة للحساس أو للمبدل من حيث الطول ومساحة المقطع وخلافه، كذلك نسبة التشويش على إشارة القياس خاصة في حالة استخدام مكبر الإشارة وكذلك حدود التفاعل مع التردد.

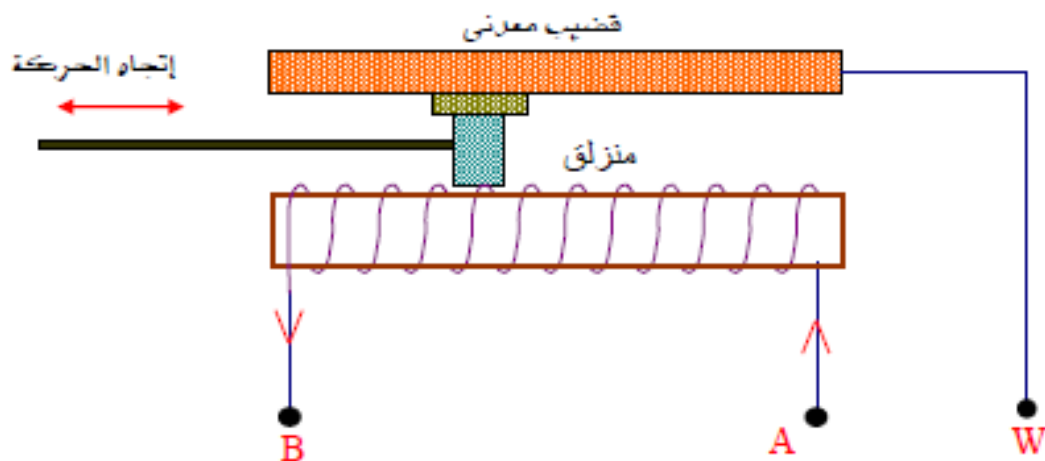
وسنوجز هنا بعض أنواع الحساسات والمبدلات وهي أكثر الأنواع شيوعاً وشهرة من حيث نظرية عملها وأين يمكن استخدامها والكميات المحولة والمقاسة بواسطتها.

٦- ٣ الأنواع الأساسية للحساسات والمبدلات Basic types of sensors and transducers

٦- ٣- ١ حساس ومبدل الإزاحة الأومي Resistive position transducer

الفكرة الأساسية لحساس أو مبدل الإزاحة الأومي هو أن الكمية المقاسة المتغيرة تحدث تغيراً في مقاومة الجزء الحساس من المبدل. فمن المتطلبات الأساسية في القياسات الصناعية وعمليات التحكم هو أن نستطيع أن نستشعر موضع شيء ما أو المسافة التي تحركها هذا الشيء.

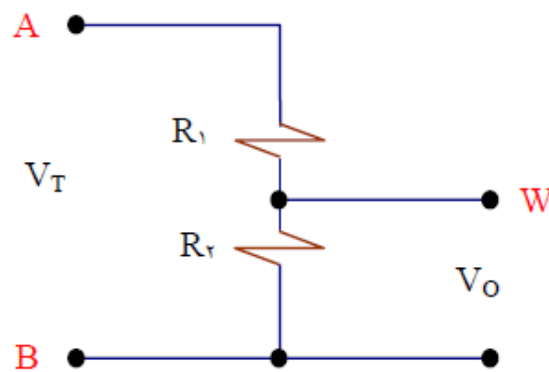
ويعتبر حساس أو مبدل الإزاحة الأومي أحد حساسات أو مبدلات بيان الإزاحة حيث يمكنه استشعار موضع كائن ما باستخدام عنصر مقاومة أومية ملفوفة بانتظام على قضيب عازل للكهرباء ومنزلق متصل بالكائن المراد تبيان موضعه وقابل للانزلاق ملامساً لعنصر المقاومة وملامساً في نفس الوقت لقضيب معدني ذي مقاومة صغيرة نسبياً بالنسبة لعنصر المقاومة الأومية، كما هو مبين بشكل رقم (٦- ٢).



شكل رقم (٦- ٢) حساس الإزاحة الأومي.

وبهذا فإن المقاومة ما بين المنزلق وأحد أطراف عنصر المقاومة الأومية يعتمد على وضع الكائن المراد قياس وضعه أو إزاحته كما هو مبين بالشكل رقم (٦- ٣). وعلى ذلك فإن النقطة W تدل على وضع الكائن المراد قياسه ما بين وضعين قياسيين: وضع A ووضع B.





شكل رقم (٦- ٣) الدائرة المكافئة لحساس الإزاحة الأومي

وعلى هذا يمكن كتابة المعادلات الرياضية كما يأتي:

$$I = \frac{V_T}{R_1 + R_2} \quad (٦- ١)$$

$$V_O = I R_2 \quad (٦- ٢)$$

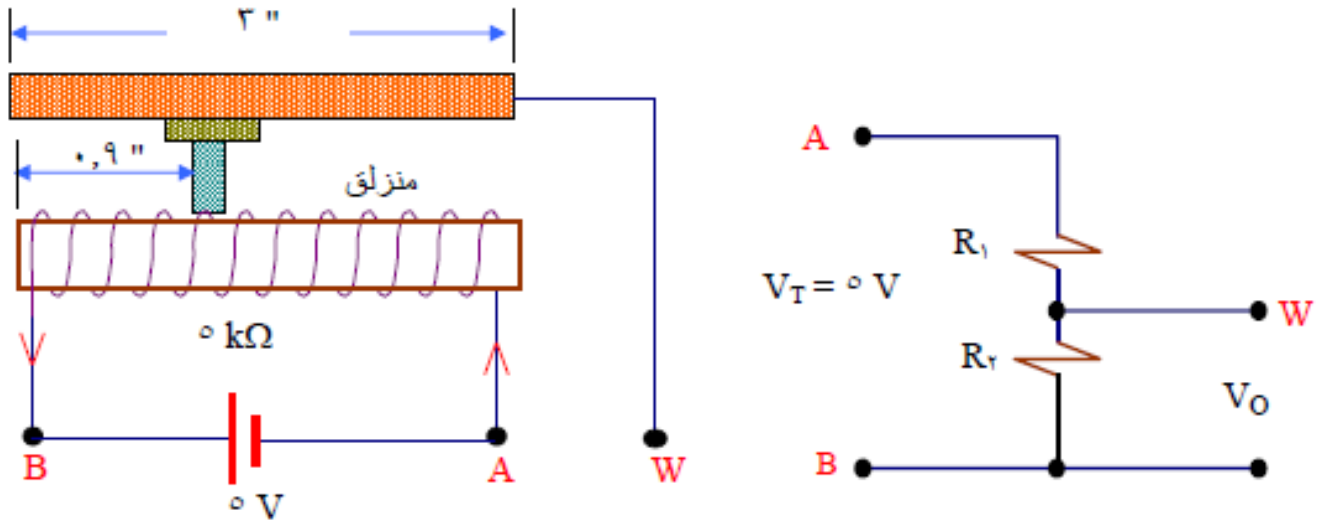
$$\frac{V_O}{V_T} = \frac{I R_2}{I(R_1 + R_2)} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (٦- ٣)$$

ويتضح من هذا أن مبدل الوضع الأومي يوضح أن جهد الخرج V_O يتناسب تناسباً طردياً مع وضع المنزلق إذا كانت المقاومة موزعة بانتظام على المسافة AB .



مثال رقم (٦- ١)

شكل رقم (٦- ٤) يبين مبدل إزاحة أومي بطول مسافة قضيبية ٢ inches ، وبمقاومة كلية لمقسم الجهد تساوي ٥ k Ω ، فإذا كان الجهد المطبق $V_T = 5\text{ V}$ وكان وضع المنزلق على بعد ٠.٩" من نقطة B. احسب جهد الخرج V_O .



شكل رقم (٦- ٤) مبدل الإزاحة الأومي للمثال رقم (٦- ١).

الحل: من المعادلة رقم (٦- ٣):

$$\frac{V_O}{V_T} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_2 = \frac{0.9}{2} \times 5000 = 2250\ \Omega$$

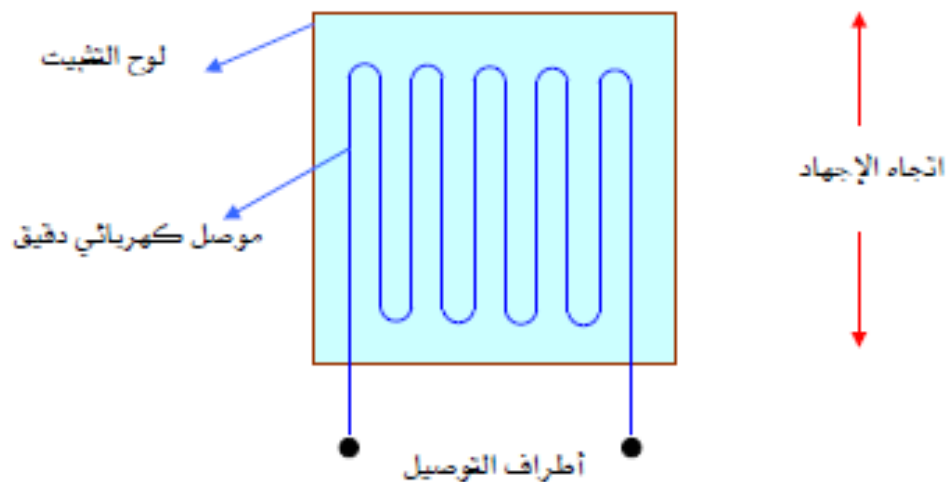
$$\frac{V_O}{V_T} = \frac{2250}{5000}$$

$$V_O = V_T \times \frac{2250}{5000} = 5 \times \frac{2250}{5000} = 2.25\text{ volts}$$

٦- ٢- ٢ حساس ومبدل مقياس الإجهاد Strain guage transducer

حساس مقياس الإجهاد يعتمد في تشغيله على نظرية تغير المقاومة الكهربائية في الموصلات الكهربائية نتيجة الإجهاد الواقع على هذه الموصلات نتيجة تعرضها لقوة ما. وهو بذلك يستخدم لقياس الوزن أو الضغط أو القوة الميكانيكية أو الإزاحة.

ويعتمد تركيب حساس مقياس الإجهاد كما هو مبين بشكل رقم (٦- ٥) على تثبيت موصل كهربائي دقيق بطريقة تموجية إلى الأمام وإلى الخلف على لوح تثبيت محكم اللصق على الجزء المراد قياس الإجهاد به.



شكل رقم (٦- ٥) حساس مقياس الإجهاد.

ويؤدي إجهاد الشد إلى استطالة اللوح وبالتالي استطالة الموصل الكهربائي (زيادة في طول الموصل)، وبما أن كمية المادة الموجودة في الموصل لا تتغير أي أن كتلته ثابتة وحجمه أيضاً، فإن زيادة طوله يؤدي إلى نقص في مساحة مقطعه، وبالتالي تزداد مقاومة الموصل تبعاً لقانون المقاومة:

$$R = \rho L / a \quad (٦- ٤)$$

حيث:

R: المقاومة الكهربائية

ρ : المقاومة النوعية للمادة المصنوع منها الموصل

L: طول الموصل

a: مساحة مقطع الموصل

ويؤدي الإجهاد بالتالي إلى:

(١) تزايد طول الموصل (وبالتالي نقص في مساحة مقطعه).

(٢) تزايد مقاومة الموصل.

والعلاقة بين الزيادة في طول الموصل ΔL والطول الابتدائي للموصل L تسمى مقياس الإجهاد G ، حيث:

$$G = \frac{\Delta L}{L} \quad (٦-٥)$$

وهي مجرد نسبة ليس لها أبعاد تدل على مقدار الإجهاد الواقع على الموصل.

وحيث إن التغير في المقاومة الكهربائية للموصل تعتمد على التغير في مساحة مقطع الموصل بالإضافة إلى التغير في طول الموصل، فإن نسبة التغير في المقاومة تكون أكبر من نسبة التغير في الطول، وبذلك يمكن تعريف ثابت المقياس K كما يلي:

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} \quad (٦-٦)$$

وهذا الثابت يكون دائماً أكبر من ١.

ومن المعروف أن هناك علاقة تناسبية قياسية تربط ما بين الضغط الداخلي (Stress) و الإجهاد (Strain) تسمى بمعامل اللدونة ((Modulus of Elasticity (E)، حيث يمكن تمثيل هذه العلاقة رياضياً من العلاقات الآتية:

$$E = \frac{S}{G} \quad (٦-٧)$$

حيث:

E : معامل اللدونة

S : الضغط الداخلي

G : الإجهاد

ويمكن تمثيل الضغط الداخلي S بالعلاقة الآتية:

$$S = \frac{F}{A} \quad (٦-٨)$$

حيث:

F : القوة وتقاس بوحدة kg

A : مساحة المقطع وتقاس بوحدة m^2

وبذلك يقاس الضغط الداخلي بوحدة kg/m^2 ، وبما أن الإجهاد G ليس له أبعاد لأنه مجرد نسبة، تكون بالتالي أبعاد معامل اللدونة E هي نفس أبعاد الضغط الداخلي S أي: kg/m^2 .
وبالنسبة لمقياس الإجهاد فإنه من المطلوب أن يكون على درجة عالية من الحساسية وهذا يعني قيمة كبيرة لثابت المقياس K ، وبالعودة إلى معادلة ثابت المقياس K ، فإن القيمة العالية له تعني تغير كبير للمقاومة (لسهولة قياسها) بالنسبة للتغير في الطول.

مثال رقم (٦- ٢)

ثبت حساس مقياس إجهاد ذو ثابت مقياس $K = 2$ على لوح من الصلب ثم عرض لإجهاد قدره $G = 1 \times 10^{-6}$ ، فإذا كانت المقاومة الابتدائية $R_0 = 130 \Omega$ ، احسب التغير في المقاومة ΔR .

الحل

من المعادلة رقم (٦- ٦) لثابت المقياس:

$$K = 2 = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R_0}{G} = \frac{\Delta R/130 \Omega}{1 \times 10^{-6}}$$

$$\Delta R = 2 \times 130 \times 1 \times 10^{-6} = 260 \mu\Omega$$

مثال رقم (٦- ٣)

قضيب من الصلب ذو مقطع دائري قطره 0.02 m وطوله 0.4 m ، عرض لقوة شد مقدارها 33000 kg ، حيث معامل اللدونة $E = 2 \times 10^{10} \text{ kg/m}^2$ ، احسب الاستطالة ΔL .

الحل

نبدأ بحساب مساحة مقطع القضيب A كما يلي:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi}{4} \times (0.02)^2 = 3.14 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

ومن المعادلة رقم (٦- ٧) لمعامل اللدونة E :

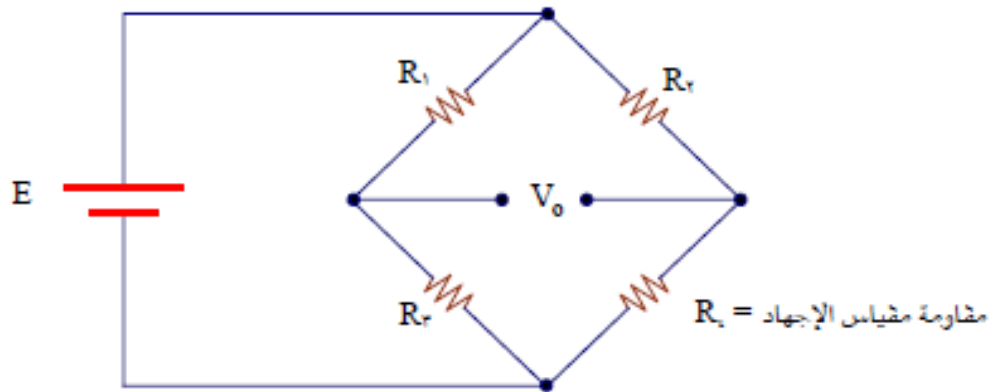
$$E = \frac{S}{G} = \frac{F/A}{\Delta L/L} = \frac{F \times L}{A \times \Delta L}$$

$$\therefore \Delta L = \frac{F \times L}{A \times E} = \frac{33000 \text{ kg} \times 0.4 \text{ m}}{3.14 \times 10^{-4} \times 2 \times 10^{10}} = 2.1 \times 10^{-3} \text{ m} = 2.1 \text{ mm}$$

إلى هنا ويعتبر مقياس الإجهاد نوع من أنواع الحساسات حيث إنه يستطيع ترجمة الإجهاد إلى تغير في المقاومة، ولكن لكي يعمل مقياس الإجهاد كمبدل (Transducer)، يجب أن يكون خرج الجهاز على صورة إشارة كهربائية.

إضافة الإشارة الكهربائية إلى حساس مقياس الإجهاد

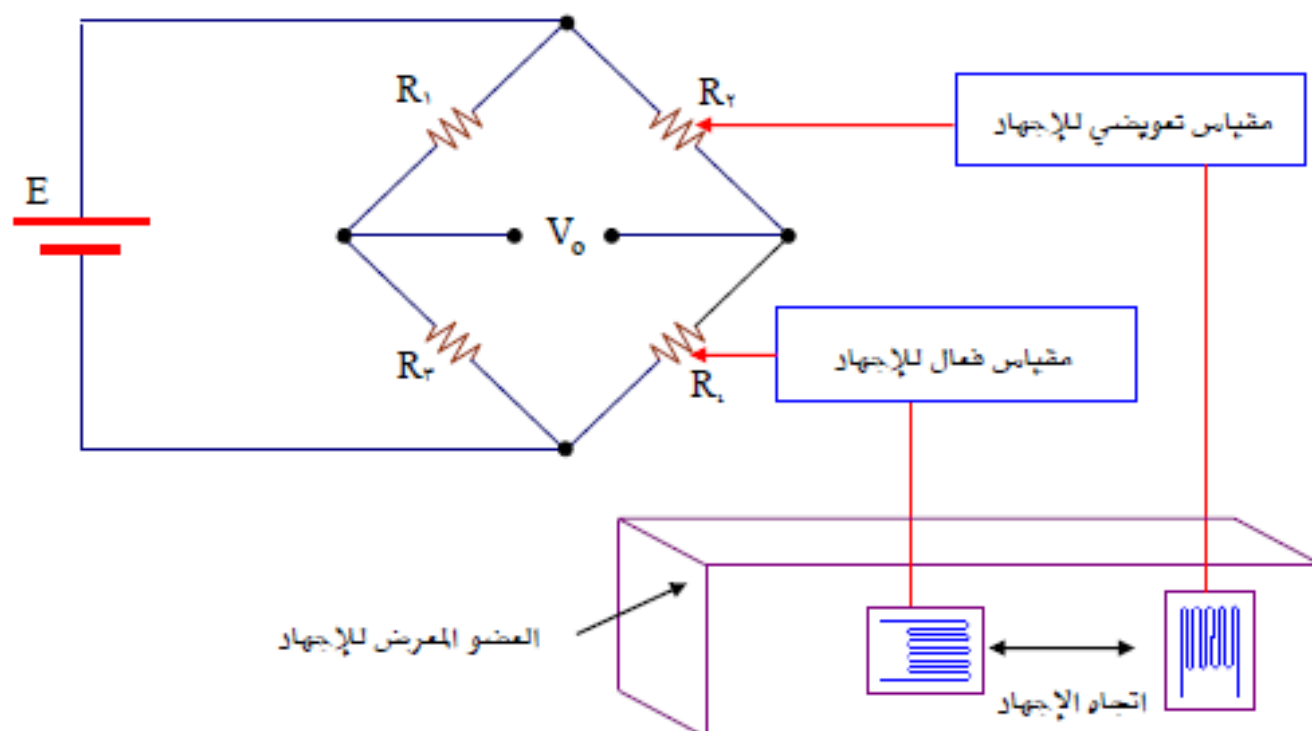
في العادة يستخدم مقياس الإجهاد كذراع رابع في قنطرة ويتستون (المقزنة في حالة عدم وجود أي إجهاد)، وبالتالي يمكن تحويل الإجهاد إلى تغير في مقاومة الذراع الرابع، وبالتالي إلى قيمة للجهد V_o الذي يمكن قياسها، كما هو مبين بالشكل رقم (٦-٦).



شكل رقم (٦-٦) تحويل حساس مقياس الإجهاد إلى مبدل.

ويمكن استخدام هذه الطريقة عندما يكون التغير في درجة حرارة التشغيل ليس بالدرجة التي تؤثر على دقة القياس، أو في الحالات التي لا تتطلب دقة عالية في القياس. أما في حالات التغير الكبير في درجة حرارة التشغيل، فإن المقاومة تتأثر بهذا التغير في درجة الحرارة وتغير قيمتها تبعاً لذلك، وعلى هذا فإن المقاومة تتغير نتيجة للإجهاد، بالإضافة إلى تغيرها نتيجة للتغير في درجة الحرارة. وهذا يؤدي إلى نتيجة خاطئة بالطبع، ولهذا يجب إلغاء تأثير المقاومة بدرجة الحرارة.

ولإلغاء تأثير تغير المقاومة نتيجة تغير درجة الحرارة يمكن استخدام النظام التعويضي التالي والموضح بالشكل رقم (٦-٧). حيث يمكن استخدام مقياس الإجهاد في الذراع الرابع لقنطرة ويتستون كمقياس فعال (تأثير إجهاد + تأثير حرارة)، وفي الذراع الثاني (ذراع تناسب الاتزان) يمكن استخدام مقياس إجهاد آخر كمقياس تعويضي، وهذا المقياس يمكن تثبيته في اتجاه متعاكس على اتجاه الإجهاد بحيث لا يتأثر بالإجهاد ولكنه يتأثر فقط بالحرارة، وبالتالي فإن الذراعين المتعكسين يكون أحدهما متأثراً بالإجهاد والحرارة أما الآخر فيكون متأثراً بالإجهاد فقط، وبالتالي يمكن إلغاء تأثير الحرارة.



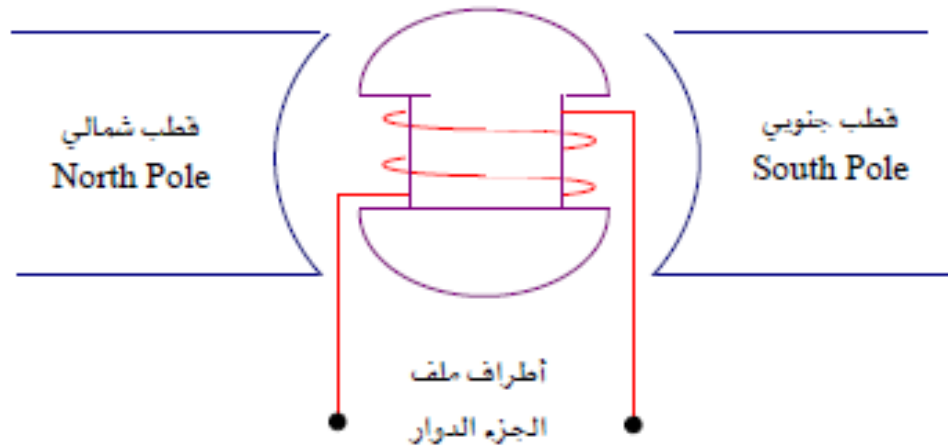
شكل رقم (٦-٧) النظام التعويضي لمبدل مقياس الإجهاد لإلغاء تأثير درجة الحرارة.

٦- ٣- ٣- الحساس والمبدل الحثي Inductive transducer

يستخدم الحساس والمبدل الحثي نظرية عمل المولد الكهريائي في توليد جهد كهريائي بين أطراف الموصل في حالة وجود حركة نسبية بين الموصل والمجال المغناطيسي. هذه الحركة النسبية تكون هي في الغالب الكمية المراد قياسها. وفيما يلي سنتعرض لنوعين من أنواع المبدلات الحثية.

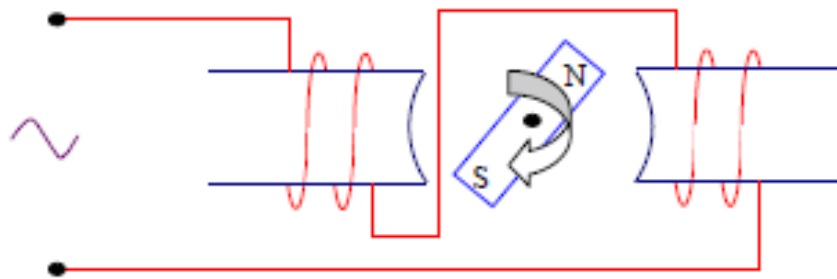
٦- ٣- ٣- ١ مقياس السرعة الدوارة (Tachometer)

شكل رقم (٦- ٨) يبين مقياس السرعة الدوارة وهو مبدل حثي يمكنه تحويل السرعة الدوارة مباشرة إلى إشارة كهربائية فهو عبارة عن مولد تيار مستمر ذي أقطاب دائمة المغناطيسية يمكنه توليد جهد مستمر بقيمة ثابتة مقدارها (١٠ mV/r.p.m)، وبذلك يمكنه تغذية مقياس جهد (Voltmeter) معاير لقياس السرعة مباشرة، حيث يتم ربط العضو الدوار لمقياس السرعة بالجزم الدوار المطلوب قياس سرعته.



شكل رقم (٦- ٨) مقياس السرعة الدوارة مولد تيار مستمر.

وللخروج من مشاكل ماكينات التيار المتردد ، يمكن أيضاً تصميم مقياس السرعة على هيئة مولد تيار متردد بأن يكون العضو الدوار هو الأقطاب المغناطيسية ويتم توليد جهد كهربائي بطريق الحث في ملف موجود في العضو الثابت كما هو موضح بشكل رقم (٦- ٩) .



شكل رقم (٦- ٩) مقياس السرعة الدوارة مولد تيار متردد.

وعن طريق هذه التركيبة يمكن لإشارة الجهد (المتردد) أن تتفق بواسطة فلتر كهربائية ويمكن أيضاً تكبير هذه الإشارات بالإضافة إلى الميزة الهامة لماكينات التيار المتردد من هدوء الصوت قياساً بأجهزة التيار المستمر.

وأحد التطبيقات المهمة لهذا المبدل هو قياس التردد ، حيث إن هناك علاقة مباشرة بين التردد وسرعة الدوران تربطهما العلاقة الرياضية التالية :

$$n = \frac{120 f}{P} \quad (٦- ٩)$$



حيث:

n: سرعة الدوران وتقاس بوحدة لفة لكل دقيقة (r.p.m.)

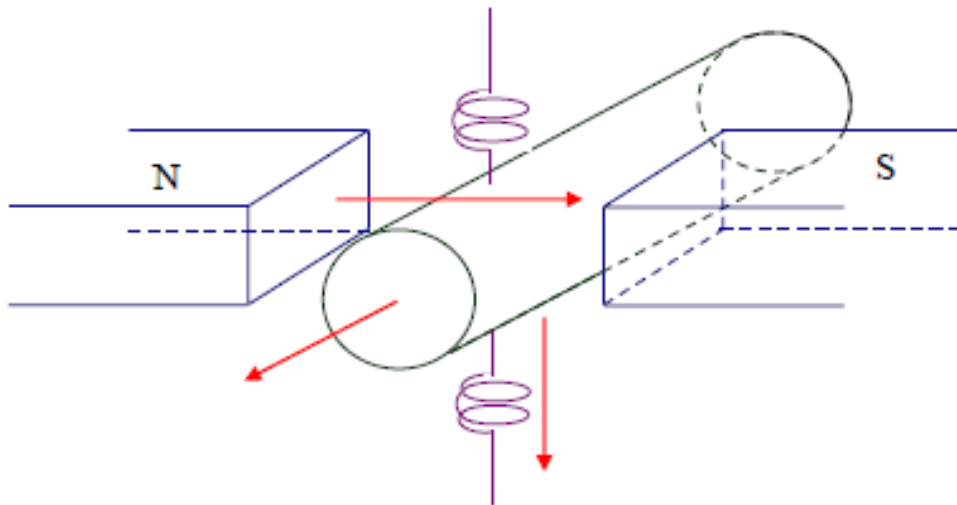
f: التردد ويقاس بوحدة cycle/sec = Hertz

P: عدد الأقطاب المغناطيسية الموجودة بالمقياس

٦- ٢- ٢- المقياس الكهرومغناطيسي لقياس سرعة تدفق الموائع

Electro-magnetic transducer

تطبيق آخر للمبدل الحثي هو مقياس سرعة تدفق الموائع الجيدة التوصيل للكهرباء حيث يمكن اعتبار المبدل جزء من مقطع أنبوب يتدفق فيه المائع الموصل للكهرباء والمحاط بأنبوب رديء التوصيل للكهرباء أو عازل للكهرباء، وعن طريق أقطاب جيدة التوصيل للكهرباء مثبتة داخل الأنبوب على امتداد قطره وعمودية على كل من اتجاه سريان المائع واتجاه المجال المغناطيسي، كما في شكل رقم (٦- ١٠) وموصلة بإثنين من الملفات الموصلة كهربائياً عكس بعضهما، يمكن الحصول على جهد يتناسب مع سرعة سريان المائع داخل الأنبوب، حيث يعتبر المائع في هذه الحالة موصل يقطع خطوط المجال المغناطيسي بسرعة V تساوي.



شكل رقم (٦- ١٠) المقياس الكهرومغناطيسي لقياس سرعة تدفق الموائع

ويمكن حساب الجهد الناتج من العلاقة الرياضية الآتية:

$$E = B L v \quad (٦- ١٠)$$

حيث:

E: الجهد الناتج أو القوة الدافعة الكهربائية المتولدة ويقاس بوحدة الفولت (volts)

B: كثافة المجال المغناطيسي مقاسة بوحدة التسلا (Tesla = Weber/m²)

v: سرعة سريان المائع وتقاس بوحدة متر/ثانية (m/sec)

يسمى مقياس التدفق بالمقياس الكهرومغناطيسي لتدفق الموائع، الذي من مميزات عدم التأثير على الضغط داخل الأنبوب كما أنه يصلح لقياس سرعات عالية جداً ولكن في المقابل لا يصلح هذا المقياس للسرعات البطيئة (أقل من ١ foot/sec) إلا إذا تجاوزت موصلية السائل ٠.٥ siemens/m. ومن عيوب هذا النظام أيضاً أن الأقطاب لابد أن تكون دائماً نظيفة وجيدة التوصيل للكهرباء، وفي كثير من الأحيان في الأغراض الصناعية يمكن أن تتكون كثير من الترسبات على هذه الأقطاب حيث تؤدي إلى أخطاء في عملية القياس.

مثال رقم (٦- ٤)

جهاز كهرومغناطيسي لقياس سرعات التدفق، ذو قطر أنبوب = ١.٢٥ cm، إذا كانت كثافة المجال المغناطيسي = ٠.٢ Tesla، وكان جهد المقياس قدره = ٢٥ mV، احسب سرعة تدفق المائع.

الحل

بتطبيق معادلة رقم (٦- ١٠) للجهد:

$$E = B L v$$

يمكن حساب السرعة v:

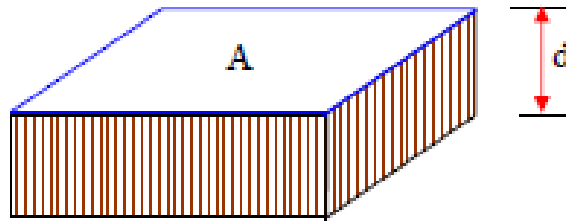
$$v = \frac{E}{B L} = \frac{25 \times 10^{-3}}{0.2 \times 1.25 \times 10^{-2}} = 10 \text{ m/sec}$$

٦- ٢- ٤ الحساس والمبدل السعوي Capacitive transducer

من المعروف أن السعة الكهربائية C للمكثف ذي اللوحين المتوازيين والموضح في شكل رقم

(٦- ١١) تعطى من العلاقة:

$$C = \frac{k A \epsilon_0}{d} \quad (\text{Farads}) \quad (٦- ١١)$$



شكل رقم (٦- ١١) المكثف ذو اللوحين المتوازيين.

حيث :

C : السعة الكهربائية وتقاس بوحدة الفاراد (Farad)

k : ثابت العازل المستخدم بين اللوحين وهو بدون أبعاد

A : مساحة اللوح وتقاس بوحدة المتر المربع (m²)

d : المسافة بين اللوحين وتقاس بوحدة المتر (m)

ε : سماحية الهواء أو الفراغ Permittivity وتقاس بوحدة الفاراد /متر، وهي قيمة معروفة

$$(\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ Farad / m})$$

ويعتمد الحساس أو المبدل السعوي على المعادلة الرياضية السابقة حيث التغير في المسافة بين

اللوحين أو التغير في المساحة المشتركة بين اللوحين يؤدي بالتالي إلى تغير في قيمة سعة المكثف.

وفيما يلي بعض الأمثلة للحساسات السعوية بأشكال وتطبيقات مختلفة.

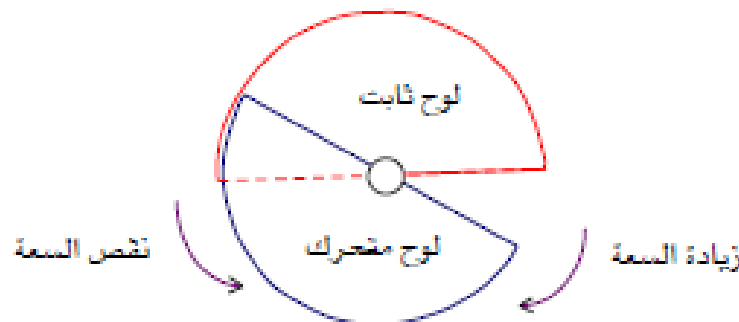
٦- ٣- ٤- ١ مقياس الإزاحة الدورانية Rotational movement transducer

وهو عبارة عن مكثف ذي لوحين على شكل أنصاف دوائر مشتركتين في المحور أحدهما ثابت

والآخر قابل للحركة حول المحور المشترك كما هو مبين بشكل رقم (٦- ١٢). وتؤدي حركة اللوح إلى

زيادة المساحة المشتركة بين اللوحين أو نقصها على حسب اتجاه الحركة ويؤدي بالتالي إلى تغير سعة

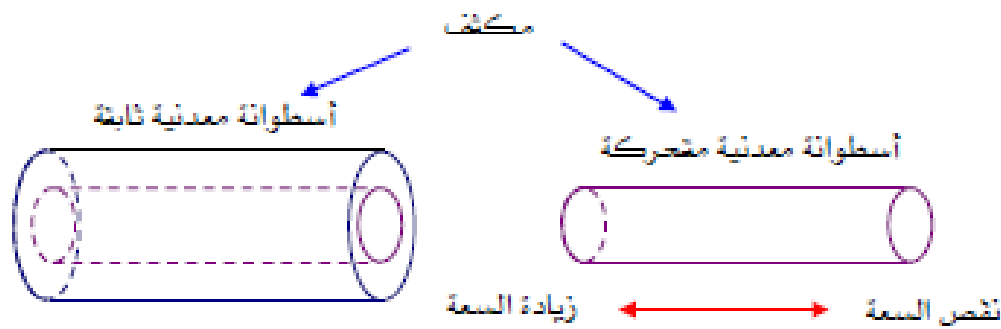
المكثف.



شكل رقم (٦- ١٢) مقياس الإزاحة الدورانية.

٦- ٣- ٤- ٢- مقياس الإزاحة الخطية Linear movement transducer

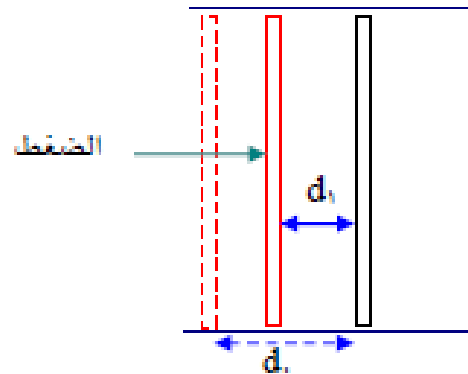
وهو عبارة عن مكشف ذي قطبين على شكل أسطوانتين مشتركتين في المحور أحدهما ثابتة والأخرى قابلة للحركة على امتداد المحور المشترك كما هو مبين بالشكل رقم (٦- ١٢). وتؤدي حركة الأسطوانة إلى زيادة المساحة المشتركة بين الأسطوانتين أو نقصها على حسب اتجاه الحركة ويؤدي بالتالي إلى تغير سعة المكشف.



شكل رقم (٦- ١٢) مقياس الإزاحة الخطية.

٦- ٣- ٤- ٢- مقياس الضغط Pressure transducer

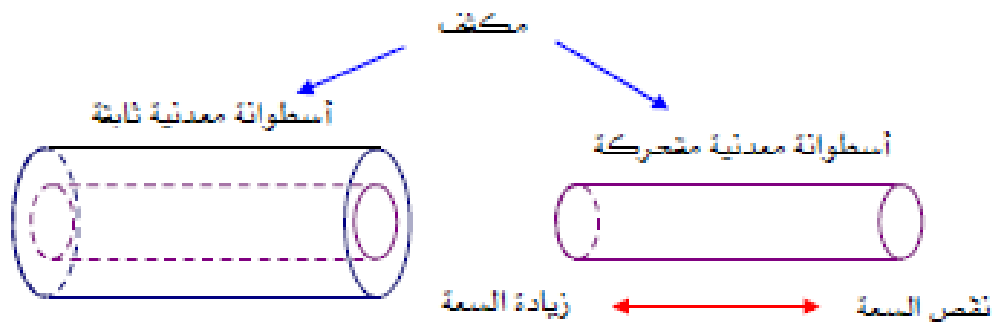
وهو عبارة عن مكشف ذي لوحين متوازيين أحدهما ثابت والأخر على شكل غشاء رقيق قابل للحركة في اتجاه المسافة بين اللوحين كما هو مبين بالشكل رقم (٦- ١٤). وتؤدي حركة اللوح إلى زيادة المسافة بين اللوحين أو نقصها على حسب اتجاه الحركة ويؤدي بالتالي إلى تغير سعة المكشف. ويستخدم هذا الحساس في قياس الضغط حيث يؤثر الضغط على الغشاء الرقيق ويحركه فيغير المسافة بين اللوحين من المسافة الابتدائية d إلى المسافة الجديدة d_1 ، وعن طريق قياس السعة يمكن قياس قيمة الضغط.



شكل رقم (٦- ١٤) مقياس الضغط.

٦- ٢- ٤- ٢- مقياس الإزاحة الخطية Linear movement transducer

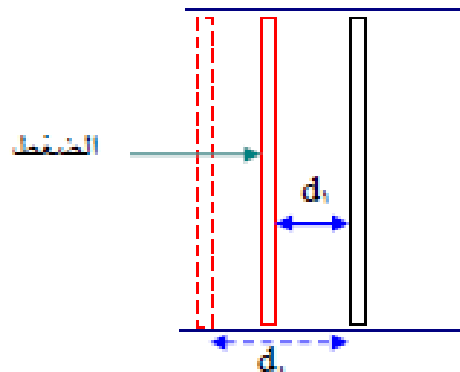
وهو عبارة عن مكشف ذي قطبين على شكل أسطوانتين مشتركتين في المحور أحدهما ثابتة والأخرى قابلة للحركة على امتداد المحور المشترك كما هو مبين بالشكل رقم (٦- ١٢). وتؤدي حركة الأسطوانة إلى زيادة المساحة المشتركة بين الأسطوانتين أو نقصها على حسب اتجاه الحركة ويؤدي بالتالي إلى تغير سعة المكشف.



شكل رقم (٦- ١٢) مقياس الإزاحة الخطية.

٦- ٢- ٤- ٢- مقياس الضغط Pressure transducer

وهو عبارة عن مكشف ذي لوحين متوازيين أحدهما ثابت والأخر على شكل غشاء رقيق قابل للحركة في اتجاه المسافة بين اللوحين كما هو مبين بالشكل رقم (٦- ١٤). وتؤدي حركة اللوح إلى زيادة المسافة بين اللوحين أو نقصها على حسب اتجاه الحركة ويؤدي بالتالي إلى تغير سعة المكشف. يستخدم هذا الحساس في قياس الضغط حيث يؤثر الضغط على الغشاء الرقيق ويحركه فيغير المسافة بين اللوحين من المسافة الابتدائية d_0 إلى المسافة الجديدة d_1 ، وعن طريق قياس السعة يمكن قياس قيمة الضغط.



شكل رقم (٦- ١٤) مقياس الضغط.

تدخل القوة الخارجية إلى المبدل من خلال فتحة الضغط والتي تسلط قوة أعلى البلورة وتسبب توليد جهد كهربائي بين سطحين من أسطحها يتناسب مع مقدار الضغط المؤثر.

٦- ٣- ٦ حساسات ومبدلات الحرارة

يمكن تقسيم حساسات ومبدلات الحرارة إلى الأنواع التالية:

(i) مقياس حرارة المقاومة الكهربائية Resistance thermometer.

(ب) المزدوج الحراري Thermo Couple.

(ت) المجس الحراري Thermistor.

وسوف نتعرض بإيجاز لكل من الأنواع الثلاثة.

٦- ٣- ١ مقياس حرارة المقاومة الكهربائية

يصنع مقياس حرارة المقاومة من عناصر حساسة ونقية من البلاتين أو النحاس أو النيكل والتي تتأثر مقاومتها الكهربائية بطريقة ملحوظة بدرجة الحرارة طبقاً للمعادلة الآتية:

$$R = R_0 [1 + \alpha \Delta t] \quad (٦- ١٢)$$

حيث:

R : مقاومة الموصل عند درجة حرارة t مقاسة بالدرجات المئوية

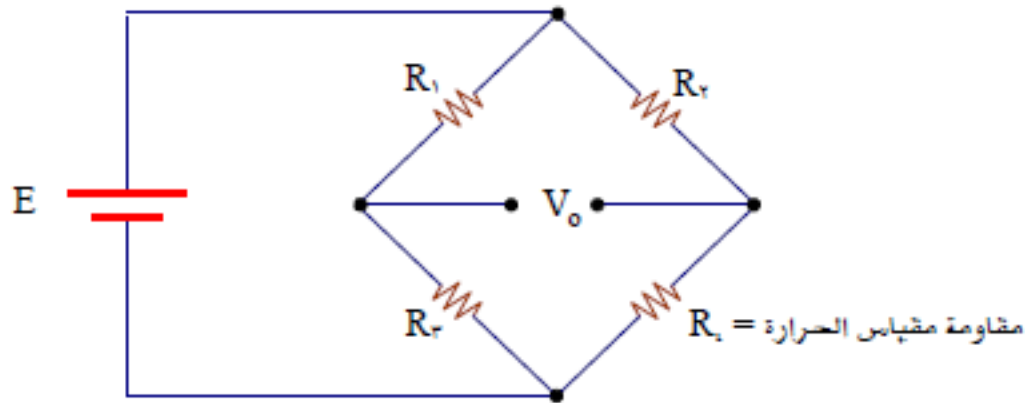
R_0 : مقاومة الموصل عند درجة حرارة مرجعية (عادة عند 20°C)

Δt : الفرق بين درجة حرارة التشغيل ودرجة الحرارة المرجعية

α : المعامل الحراري للمقاومة

والمواد السابقة تتميز بأن معاملها الحراري α كبير ولذلك فالتغير في المقاومة ملحوظ نتيجة التغير الصغير في درجة الحرارة. والتغير في المقاومة ΔR يمكن قياسه باستخدام قنطرة ويتستون التي يمكن معايرتها لبيان درجة الحرارة المتسببة في تغير المقاومة كما هو مبين بشكل رقم (٦- ١٦).



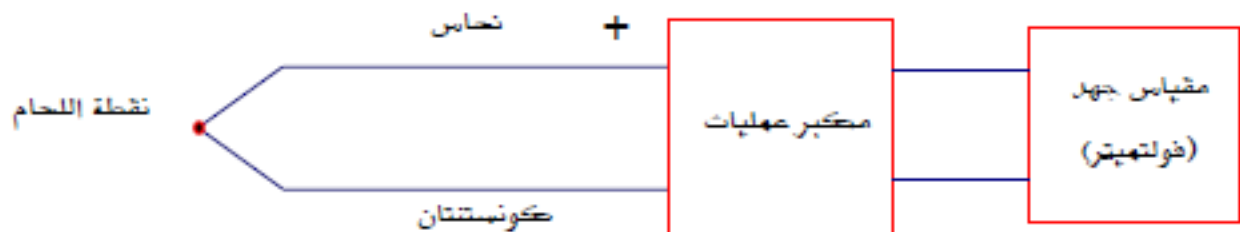


شكل رقم (٦- ١٦) مبدل مقياس حرارة المقاومة الكهربائية.

٦- ٣- ٦- ٢ المزدوج الحراري Thermo-couple

من الخواص الفيزيائية المهمة أنه عند توصيل طرفي سلكين مصنعين من معدنين مختلفين مع بعضهما، يتولد جهد كهربائي بين طرفيهما الآخرين. وهذا الجهد يتناسب مع فرق درجات الحرارة ما بين درجة حرارة الطرفين المتصلين معا و درجة حرارة الطرفين الآخرين. كمثال على ذلك عند توصيل طرف سلك مصنع من مادة النحاس الأحمر Copper مع طرف سلك مصنع من مادة الكونستانتان Constantan، يمكن الحصول على جهد يقاس بوحدة الملي فولت (mV) بين الطرفين الآخرين، ويعتبر النحاس هو القطب الموجب، ويزداد هذا الجهد بزيادة درجة حرارة الوصلة.

ويتم تكبير هذا الجهد بواسطة مكبر عمليات Operational Amplifier ثم قراءته على مقياس الجهد الذي يعاير ليقرأ الحرارة مباشرة، كما هو مبين بالشكل رقم (٦- ١٧).



شكل رقم (٦- ١٧) مبدل المزدوج الحراري.

والعلاقة الرياضية الآتية تصف العلاقة بين الجهد الكهربائي الناتج ودرجات الحرارة:

$$E = c (T_1 - T_2) + k (T_1^2 - T_2^2) \quad \text{mV} \quad (٦- ١٣)$$

حيث:

E : الجهد الكهربائي الناتج ويقاس بوحدة الميلي فولت.

c و k : ثوابت تعتمد على مادة المزدوج الحراري

T_1 : درجة حرارة الطرفين الموصلين معاً (الوصلة الساخنة) وتقاس بالدرجات السليزيوس (المئوية)

T_2 : درجة حرارة الطرفين غير الموصلين معاً (الأطراف الباردة) وتقاس بالدرجات السليزيوس (المئوية)

مثال رقم (٦- ٦)

احسب الجهد الكهربائي الناتج من مزدوج حراري مصنع من مادتي النحاس و الكونستانتان، إذا كان الثابت $c = 3.75 \times 10^{-2}$ و الثابت $k = 4.5 \times 10^{-5}$ حيث وضعت الوصلة الساخنة في درجة غليان الماء ووضعت الوصلة الباردة في الثلج.

الحل

من المعروف أن درجة حرارة غليان الماء هي: $T_1 = 100^\circ\text{C}$ و درجة حرارة الثلج هي: $T_2 = 0^\circ\text{C}$. ويتطبيق المعادلة رقم (٦- ١٣) التي تصف العلاقة بين الجهد الكهربائي الناتج ودرجات الحرارة:

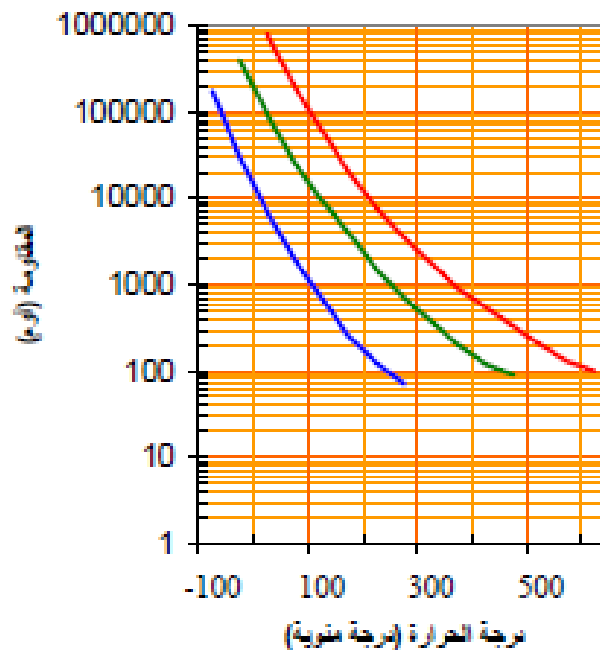
$$E = c (T_1 - T_2) + k (T_1^2 - T_2^2) \quad \text{mV}$$

$$E = 3.75 \times 10^{-2} (100 - 0) + 4.5 \times 10^{-5} (100^2 - 0^2) = 4.2 \text{ mV}$$

٦- ٣- ٦- ٢ المجس الحراري Thermistor

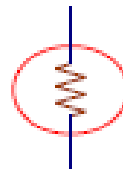
من المعروف أن المقاومة الكهربائية لمعظم المواد تتغير مع درجة الحرارة. ومن الخواص المهمة لمواد أشباه الموصلات أن معاملها الحراري سالب أي أن مقاومتها تقل بارتفاع درجة الحرارة. والقيمة العددية لهذا المعامل الحراري السالب تكون عادة كبيرة. ويوضح شكل رقم (٦- ١٨) العلاقة بين المقاومة ودرجة الحرارة لمجموعة من المجسات الحرارية.





شكل رقم (٦- ١٨) العلاقة بين المقاومة ودرجة الحرارة لمجموعة من المجسات الحرارية.

ويتركب المجس الحراري من خليط يتكون من أكثر من نوع من المواد السابقة الذكر مثل أكاسيد المعادن مثل المنجنيز والنيكل و الكوبالت والنحاس واليورانيوم وغيرها وتتراوح قيمة المقاومة من 0.5Ω إلى $75 M\Omega$. شكل رقم (٦- ١٩) يوضح رمز المجس الحراري.



شكل رقم (٦- ١٩) رمز المجس الحراري

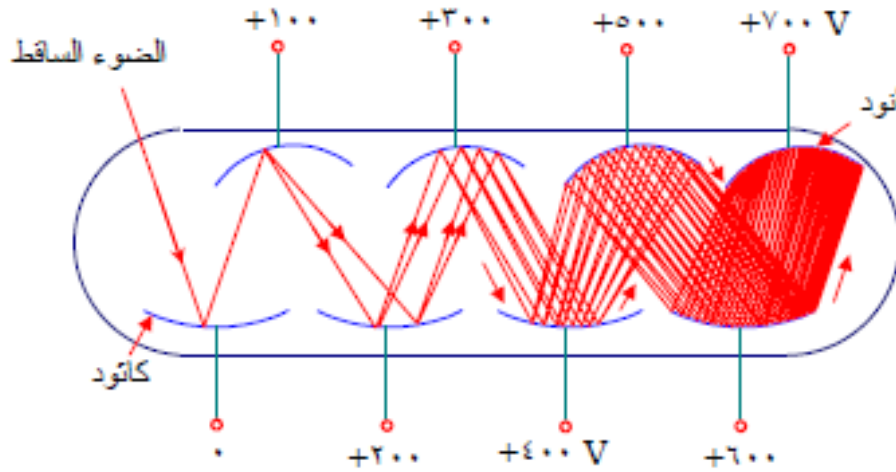
٦- ٢- ٧ حساسات ومبدلات كهروضوئية Photo – Electric Transducers

الحساسات والمبدلات الكهروضوئية يمكن تقسيمها إلى ثلاثة أنواع:

٦- ٢- ٧- ١ الحساسات والمبدلات ذات انبعاث ضوئي

هناك بعض المواد التي تقسم بخاصية انبعاث للإلكترونات تحت تأثير الضوء، حيث يتسبب سقوط الأشعة الضوئية على المهبط (Cathode) في انبعاث الإلكترونات من سطحه. وكمثال لأجهزة الانبعاث الضوئي هو الأنبوب الضوئي المضاعف الذي يتكون من أنبوب زجاجي مفرغ يحتوي على مهبط

ضوئي (Photo Cathode) ومصعد (Anode) بالإضافة إلى عدة أقطاب كهربائية (Electrodes) تسمى دينودز (Dynodes) كل منها متصل بجهد كهربائي يتدرج في الارتفاع من جهة المهبط إلى جهة المصعد، كما هو مبين بالشكل رقم (٦ - ٢٠).

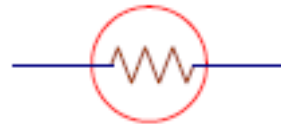


شكل رقم (٦ - ٢٠) الأنابيب الضوئية المضاعف.

نتيجة لسقوط الضوء على المهبط تنبعث الإلكترونات منه وتنجذب إلى الأنود الأول بسرعة عالية (حيث جهده أعلى) وتصطدم به مسببة انبعاث عدد أكبر من الإلكترونات بها يسمى بظاهرة الانبعاث الثانوي، ويتكرر نفس الشيء بين الأنود الأول و الأنود الثاني (ذي الجهد الأعلى) وهكذا يمكن تحويل الضوء إلى تيار كهربائي ذي قيمة محسوسة (من $100\mu A$ إلى $1mA$).

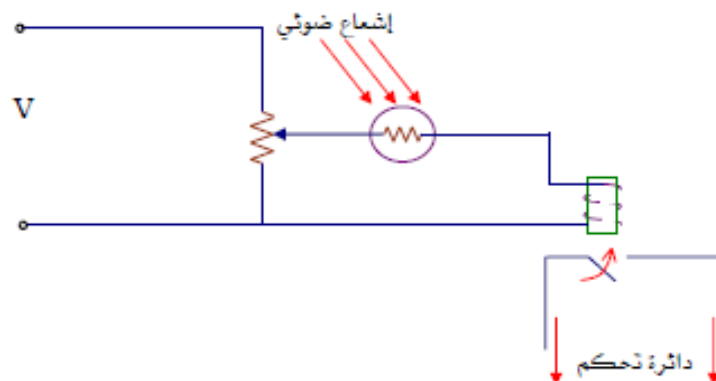
٦- ٢- ٧- الحساسات والمبدلات ذات موصلية ضوئية

وهي نوعية أخرى من الحساسات الضوئية، حيث تتأثر أنواع معينة من المواد بالضوء ويظهر هذا التأثير على صورة نقص في مقاومتها النوعية وزيادة بالتالي في قيمة موصليتها. والتركيب الفعلي لهذا النوع من الحساسات يكون على شكل خلايا (موضح أحدها في شكل رقم (٦ - ٢١))، حيث توضع المقاومة المصنوعة من المادة المعنية (مثل كبريتيد الكادميوم) على صورة تموجية بين قطبين معدنيين على قاعدة من السيراميك داخل غلاف معدني ذو نافذة زجاجية (لرور الضوء من خلالها)، ويتسبب سقوط الضوء في نقص مقاومة المادة بين القطبين.



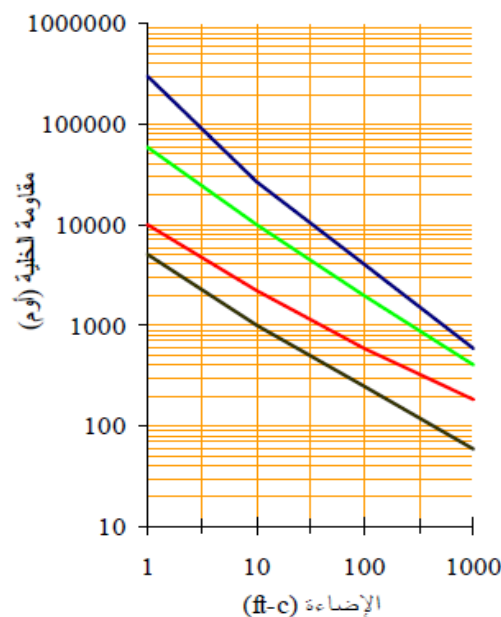
شكل رقم (٦ - ٢١) الرمز الكهربائي للخلية الضوئية و تركيب الخلية الضوئية.

ويتم توصيل الخلية في الدائرة الكهريائية المبينة بالشكل رقم (٦- ٢٢)، حيث يسقط الضوء من خلال النافذة الزجاجية على المقاومة الضوئية فتقل قيمتها، فتسمح بمرور تيار في الملف المغناطيس، فيجذب مفتاح التشغيل في دائرة التحكم في نظام ما.



شكل رقم (٦- ٢٢) استخدام الخلية الضوئية في دائرة تحكم.

وشكل رقم (٦- ٢٢) يبين علاقة تغير المقاومة مع شدة الضوء الساقط لبعض المواد التي تصنع منها الخلايا.



شكل رقم (٦- ٢٣) علاقة تغير المقاومة مع شدة الضوء الساقط لبعض المواد

٦- ٣- ٧- ٣ الحساسات والمبدلات ذات فولتية ضوئية

الخلايا الفولتية الضوئية أو الخلايا الشمسية (كما يطلق عليها غالباً) تنتج جهداً كهربائياً بين طرفيها عند تعرضها للضوء وبالتالي تنتج تياراً عند توصيلها بحمل ما. وتصنع هذه الخلايا من مواد أشباه موصلات (أهمها السليكون أو السيليونيوم).

المراجع (References)

"The Measurements, Instrumentation and Sensors Handbook."

J. G. Webster

Spring - Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. KG

Hardcover- December ١٩٩٨.

"Sensors for Measurement and Control."

Peter Elgar

Longman

Paperback – ١٩ January ١٩٩٨.

