المبدلات والحساسات

٦ -١ مقدمة Introduction

أحدى الوظائف المهمة للإلكترونيات علمياً وعملياً وصناعياً هي عملية قياس الكميات الفيزيائية مثل الموضع 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 كقاعدة هامة للبيانات والمعلومات ويسهل أيضاً التعامل معها عن طريق أجهزة التحكم والكومبيوتر.

٦ -٢ مفاهيم عامة General concepts

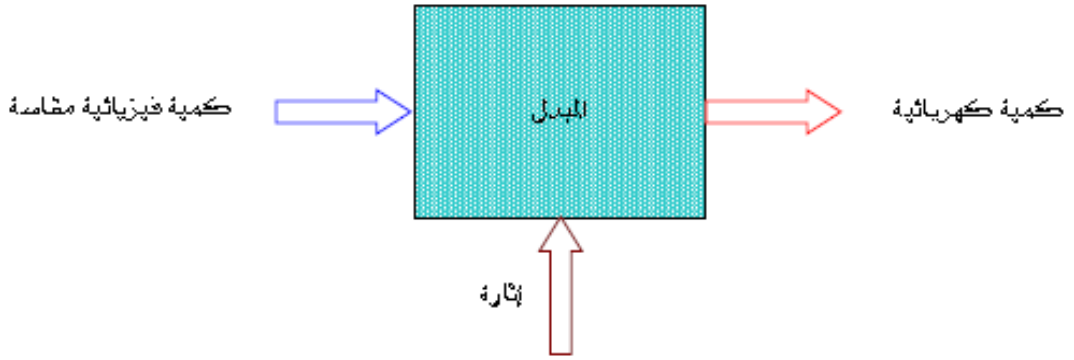
٦ -٢ -١ تعريف الحساسات والمبدلات

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 متناسبة 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).



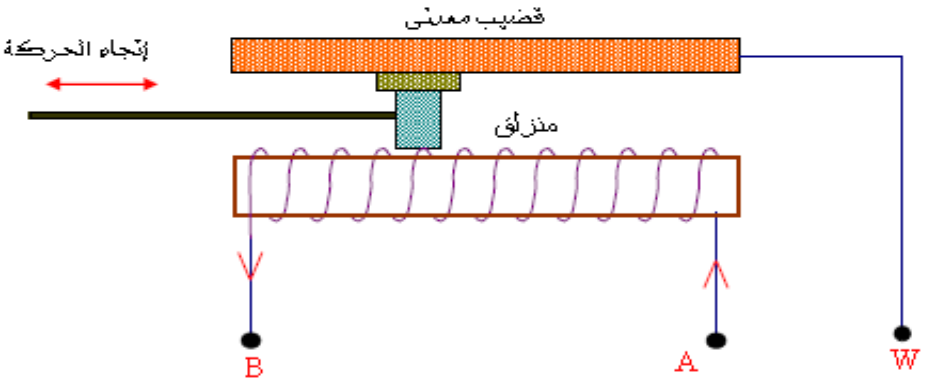
شكل رقم (٦ -١) رسم تخطيطي للمبدل.

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

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

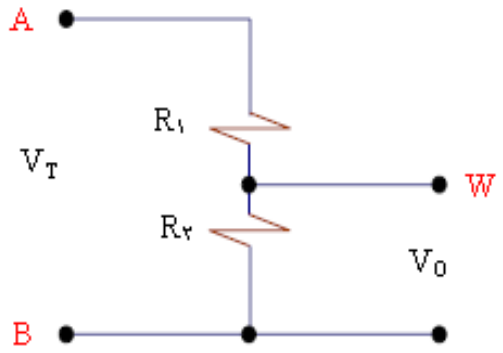
الفكرة الأساسية لحساس أو مبدل الإزاحة الأومي هو أن الكمية المقاسة المتغيرة تحدث تغيراً في مقاومة الجزء الحساس من المبدل. فمن المتطلبات الأساسية في القياسات الصناعية وعمليات التحكم هو أن تستطيع أن تستشعر موضع شيء ما أو المسافة التي تحركها هذا الشيء.

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 مابين 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 وضعيين قياسيين: وضع A ووضع B.



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

وعلى هذا يمكن كتابة المعادلات الرياضية كما يأتي:

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

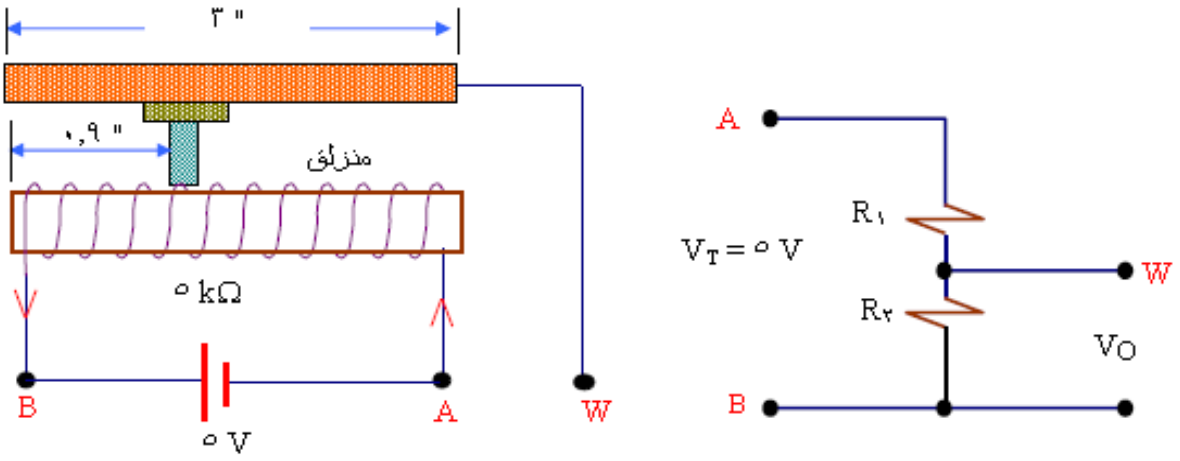
$$V_O = I\,R_2 \qquad (٦ - ٢)$$

$$\frac{V_O}{V_T} = \frac{IR_2}{I(R_1 + R_2)} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \qquad (٦ - ٣)$$

و يتضح 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 ٣ inches ، وبمقاومة كلية لمقسم الجهد تساوي ٥ kΩ ، فإذا كان الجهد المطبق V_T = ٥ 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):

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

$$R_2 = \frac{0.9}{3} \times 5000 = 1500\ \Omega$$

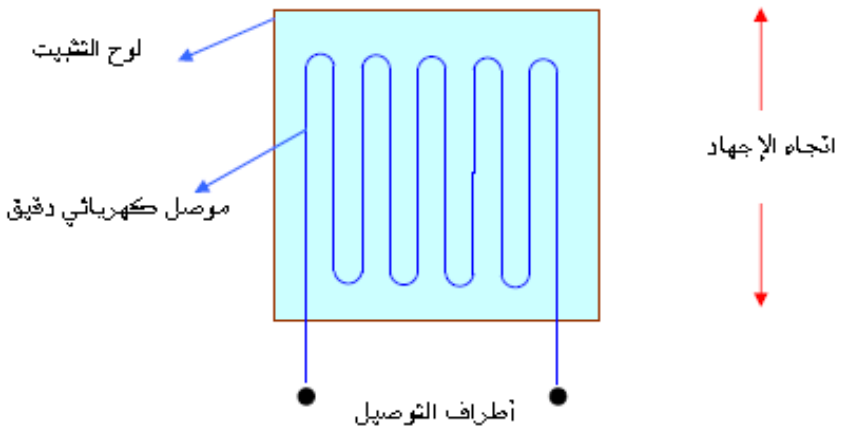
$$\frac{V_O}{V_T} = \frac{1500}{5000}$$

$$V_O = V_T \times \frac{1500}{5000} = 5 \times \frac{1500}{5000} = 1.5\ \text{volts}$$

٦ -٣ -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 تتزايد مقاومة الموصل تبعاً لقانون المقاومة:

$$R = \rho L/a \qquad (٦ -٤)$$

حيث:

R: المقاومة الكهربائية

ρ: المقاومة النوعية للمادة المصنع 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:

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

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:

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

وهذا الثابت يكون دائما 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:

$$E = \frac{S}{G} \qquad (٦-٧)$$

حيث:

E: معامل اللدونة

S: الضغط الداخلي

G: الإجهاد

ويمكن تمثيل الضغط الداخلي S بالعلاقة الآتية:

$$S = \frac{F}{A} \qquad (٦-٨)$$

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 $G = 1\times10^{-6}$، فإذا كانت المقاومة الابتدائية $R_0 = 130\ \Omega$، احسب التغير في المقاومة ΔR.

الحل

من المعادلة رقم (٦ -٦) لثابت المقياس:

$$K = 2 = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R_0}{G} = \frac{\Delta R/130\ \Omega}{1\times10^{-6}}$$

$$\Delta R = 2\times130\times1\times10^{-6} = 260\ \mu\Omega$$

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 $E = 2\times10^{10}\ kg/m^2$، احسب الاستطالة ΔL.

الحل

نبدأ بحساب مساحة مقطع القضيب A كما يلي:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi}{4}\times(0.02)^2 = 3.14\times10^{-4}\ m^2$$

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

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

$$\therefore\ \Delta L = \frac{F\times L}{A\times E} = \frac{33000\ kg\times0.4\ m}{3.14\times10^{-4}\times2\times10^{10}} = 2.1\times10^{-3}\ m = 2.1\ mm$$

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 $E = 2\times10^{10}\ kg/m^2$ ، احسب الاستطالة ΔL .

الحل

نبدأ بحساب مساحة مقطع القضيب A كما يلي:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi}{4}\times(0.02)^2 = 3.14\times10^{-4}\ m^2$$

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

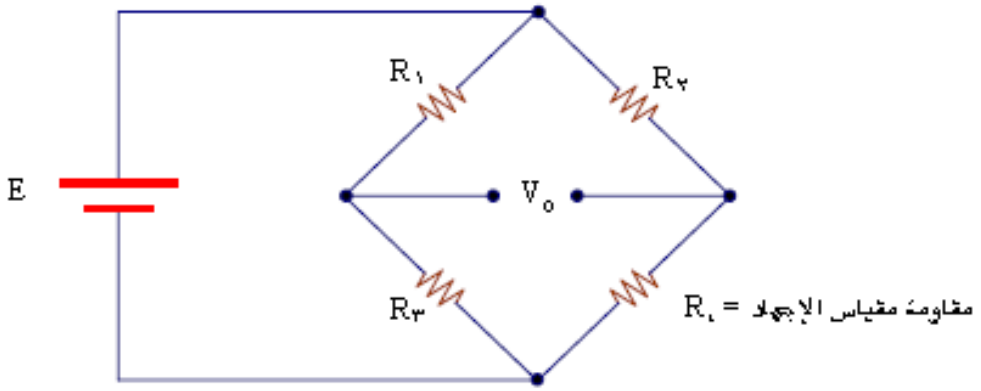
$$E = \frac{S}{G} = \frac{F/A}{\Delta L/L} = \frac{F\times L}{A\times\Delta L}$$

$$\therefore\ \Delta L = \frac{F\times L}{A\times E} = \frac{33000\ kg\times0.4\ m}{3.14\times10^{-4}\times2\times10^{10}} = 2.1\times10^{-3}\ m = 2.1\ mm$$

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

إضافة الإشارة الكهربائية إلى حساس مقياس الإجهاد

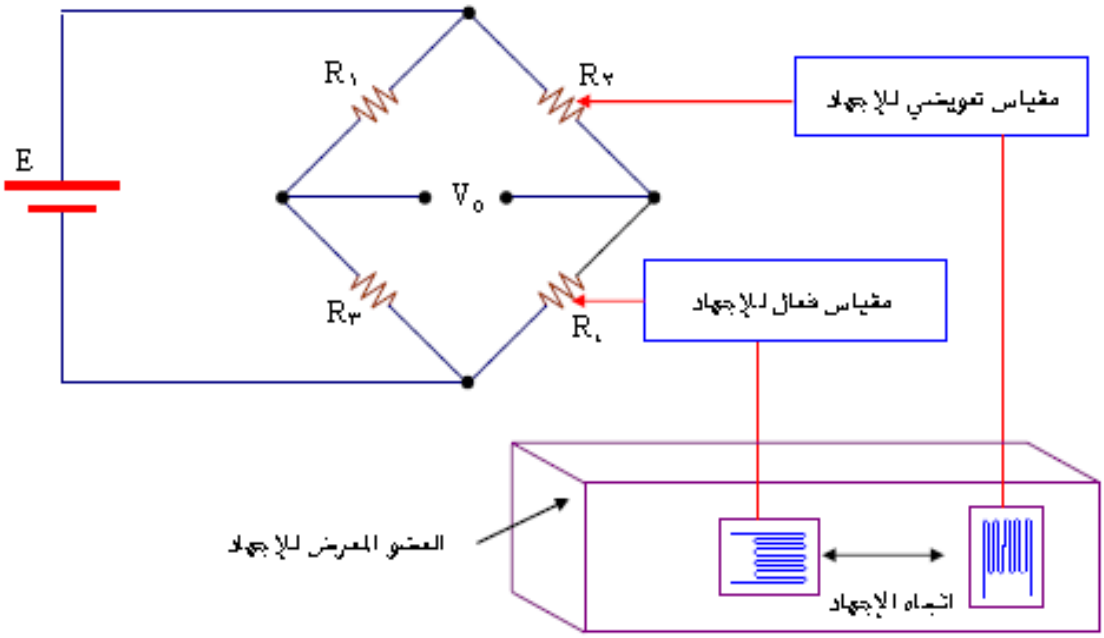
في العادة يستخدم مقياس الإجهاد كذراع رابع في قنطرة ويتستون (المتزنة في حالة عدم وجود أ
إجهاد) ، وبالتالي يمكن تحويل الإجهاد إلى تغير في مقاومة الذراع الرابع ، وبالتالي إلى قيمة للجهد و
الذي يمكن قياسها ، كما هو مبين بالشكل رقم (٦ -٦).



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 وتتغير 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 تأثر 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 ويشتغل 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 متعامد على اتجاه الإجهاد بحيث لا يتأثر بالإجهاد ولكنه يتأثر فقط بالحرارة ، وبالتالي فإن الذراعين المتناسبين يكون أحدهما متأثراً بالإجهاد والحرارة أما الآخر يكون متأثراً بالإجهاد فقط ، وبالتالي يمكن إلغاء تأثير الحرارة.



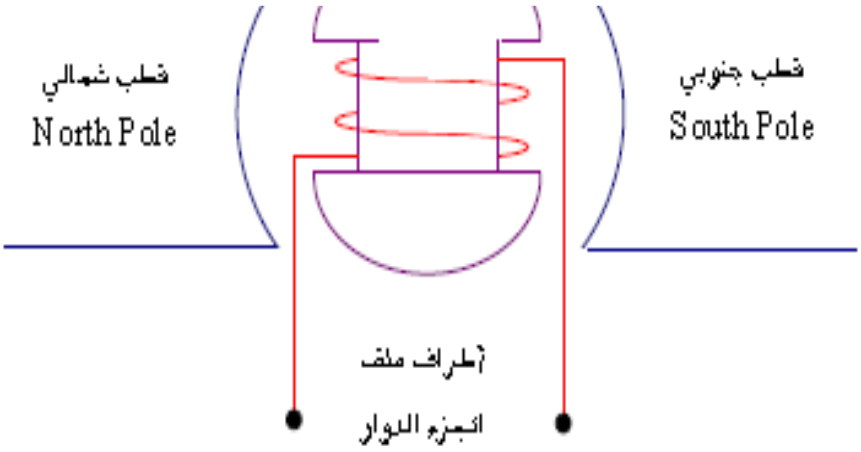
شكل رقم (٦ -٧) النظام التعويضي لمبدل مقياس الإجهاد لإلغاء تأثير درجة الحرارة.

٦ -٢ -٢ الحساس والمبدل الحثي Inductive transducer

يستخدم الحساس والمبدل الحثي نظرية عمل المولد الكهربائي في توليد جهد كهربائي 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.

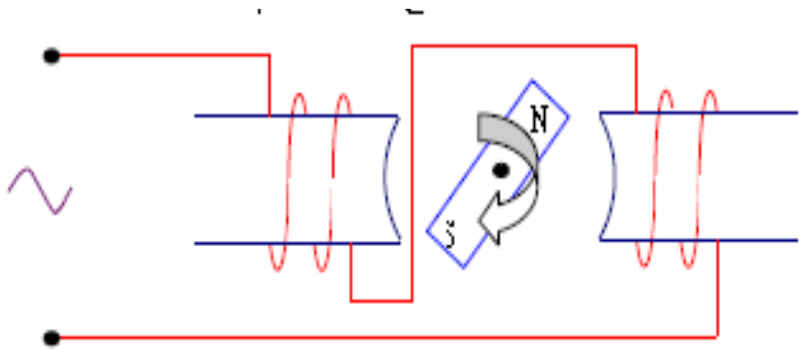
٦ -٢ -٢ -١ مقياس السرعة الدوارة (Tachometer)

شكل رقم (٦ -٨) يبين مقياس السرعة الدوارة وهو مبدل حثي يمكنه تحويل السرعة الدوارة مباشرةً 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)، و بذلك يمكنه تغذية مقياس جهد (Voltmeter) معاير لقياس السرعة مباشرة، حيث يتم ربط العضو الدوار لمقياس السرعة بالجزء 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 تنقى بواسطة فلاتر 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:

$$n = \frac{120\,f}{P} \qquad (٦ -٩)$$

حيث:

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

f: التردد ويقاس بوحدة cycle/sec = Hertz

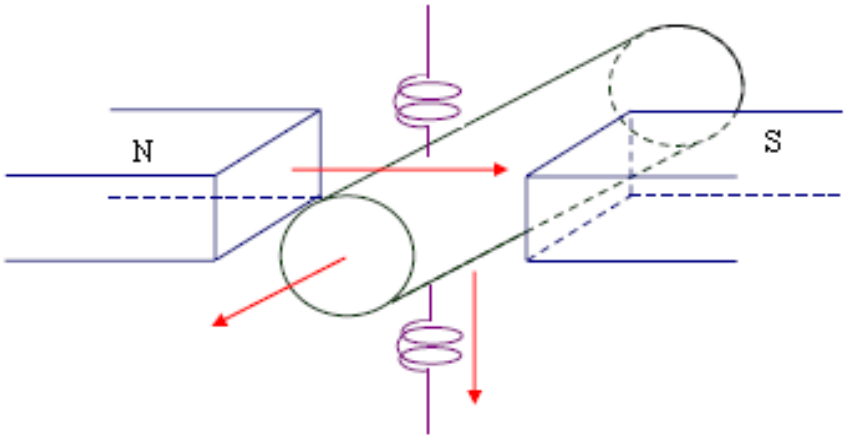
P: عدد الأقطاب المغناطيسية الموجودة بالمقياس

٦ -٣ -٣ -٢ المقياس الكهرومغناطيسي لقياس سرعة تدفق المواقع

Electro-magnetic transducer

تطبيق آخر للمبدل الحثي هو مقياس سرعة تدفق المواقع 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 باثنين 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:

$$E = B L v \qquad (٦ - ١٠)$$

حيث:

E: الجهد الناتج أو القوة الدافعة الكهربائية المتولدة وتقاس 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 مميزاته 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 ٠.٠٥ 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:

$$v = \frac{E}{B\,L} = \frac{25\times10^{-3}}{0.2\times1.25\times10^{-2}} = 10\ m/sec$$

٦ -٢ -٤ الحساس والمبدل السعري Capacitive transducer

من المعروف أن السعة الكهربائية C للمكثف ذي اللوحين المتوازيين والموضح في شكل رقم (٦ -١١) تعطى من العلاقة:

$$C = \frac{kA\varepsilon_0}{d} \quad (Farads) \qquad (٦ -١١)$$