قياسات وأجهزة قياس
Measurement & Instruments

Dr.-Eng. Samer Sulaiman

2022-2023

الحساسات والمبدلات

- تصنيف الحساسات والمبدلات
- اختيار الحساسات والمبدلات وفقاً للتطبيقات المختلفة
- التعرف على الأنواع الأساسية للحساسات والمبدلات

الحساسات والمبدلات

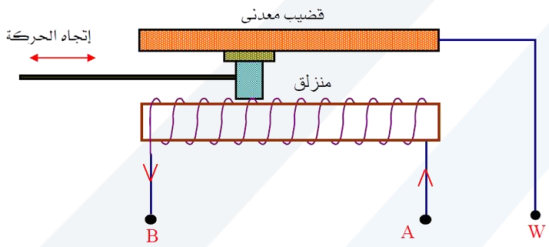
- مقدمة:
  - تمتلك الحساسات والمبدلات وظائف مهمة في أنظمة التحكم المختلفة
    - حيث تأخذ على عاتقها مسؤولية تحويل الكميات الفيزيائية المختلفة إلى كميات كهربائية قابلة للقياس والتكبير والنقل
    - يمكن استخدام الكميات الكهربائية الناتجة عن الحساسات والمبدلات لتكوين قاعدة بيانات ومعلومات يتم التعامل معها عن طريق أجهزة التحكم والكمبيوترات
  - تعريف الحساسات:
    - هو أي جهاز يمكنه أن يحول الطاقة من صورة إلى صورة أخرى
  - تعريف المبدل:
    - هو أي جهاز يستطيع الإحساس بالكميات المقاسة وإخراج إشارة كهربائية متناسبة مع الكمية المقاسة حيث يمكن قياسها بواسطة جهاز قياس خارجي
    - بعبارة أخرى: يمكن للمبدل أن يعتبر مترجماً من لغة الكميات الفيزيائية الموضوعة تحت المراقبة إلى لغة الكميات الكهربائية
  - يمكن تصنيف الحساسات والمبدلات حسب تطبيقاتها أو طبقاً للكميات الفيزيائية المحولة، أو لخواصها أو لحالات القياس

الحساسات والمبدلات

- اختيار الحساسات والمبدلات
  - من أجل الحصول على النتيجة المثلى، يجب اختيار الحساس أو المبدل بحيث يتناسب مع التطبيق أو الوظيفة المنوط به القيام بها
  - الأمور التي يجب مراعاتها عند اختيار الحساسات أو المبدلات:
    - مدى القياس:
      - يجب على المبدل أن يعمل في حدود مدى القياس المطلوب
    - الحساسية:
      - يجب على الحساس أو المبدل أن يحظى بدرجة مقبولة من الحساسية بحيث يعطي خرجاً كهربائياً كافياً
    - التفاعل مع التردد:
      - يجب على المبدل أن يتفاعل بطريقة مناسبة مع التردد وكذلك بالنسبة للإثارة تجاه الرنين
    - التناسب مع الظروف المحيطية:
      - يجب على الحساس أو المبدل أن يناسب الظروف المحيطة به من حرارة وضغط جوي ومجالات مغناطيسية وكهربائية وغيرها
    - أقل حساسية:
      - يجب أن يحظى الحساس أو المبدل بقدر أدنى من الحساسية للشعور بالكمية المقاسة
    - دقة القياس:
      - قد يتعرض الحساس أو المبدل إلى أخطاء في القياس نيجة تكرارية عمليات القياس وأخطاء المعايرة وأيضاً بالإضافة إلى أخطاء الحساسية للمؤثرات الأخرى غير الكميات المقاسة
    - التناسب مع ظروف الاستخدام:
      - بالنسبة للكميات المقاسة كهربائياً وميكانيكياً يجب أن يؤخذ بالاعتبار وزن وأبعاد الحساس أو المبدل
    - أبعاد وأطراف التوصيل:
      - يجب أن يؤخذ بالاعتبار أبعاد كابلات التوصيل من حيث الطول ومساحة المقطع وغيرها وكذلك نسبة التشويش على إشارة القياس خاصة في حالة استخدام مكبر الإشارة وكذلك حدود التفاعل مع التردد

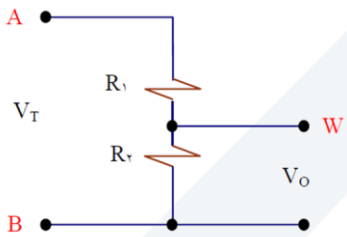
الحساسات والمبدلات

- الأنواع الأساسية للحساسات والمبدلات
  - حساس ومبدل الازاحة الأومي Resistive Position Transducer:
    - الفكرة الأساسي هو أن الكمية المقاسة المتغيرة تحدث تغيراً في مقاومة الجزء الحساس من المبدل
    - من أهم المتطلبات الأساسية في القياسات الصناعية وعمليات التحكم، أن تستطيع أن تستشعر موضع شيء ما أو المسافة التي تحركها هذا الشيء
    - يمكن تصنيف حساس أو مبدل الإزاحة الأومي كأحد 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



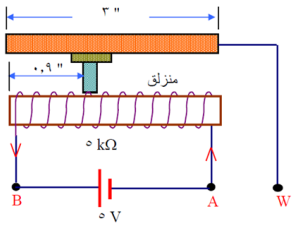
الحساسات والمبدلات

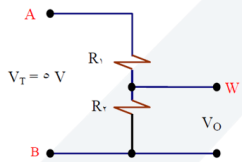
- الأنواع الأساسية للحساسات والمبدلات
  - حساس ومبدل الازاحة الأومي Resistive Position Transducer:
    - مبدأ العمل:
      - لتحديد مقدار الازاحة سيتم حساب المقاومة ما بين المنزلق وأحد أطراف عنصر المقاومة الأومية، حيث تعتمد هذه المقاومة على وضع الكائن المراد قياس إزاحته
      - وعليه فإن النقطة W تدل على وضع الكائن المراد قياس ازاحته ما بين وضعين قياسيين هما A و B وبالتالي يمكن تمثيل الحساس كما هو موضح بالشكل
      - بناءً على ذلك يمكن كتابة المعادلات الرياضية كما يلي:
        - $\frac{V_O}{V_T} = \frac{R_2}{R_1+R_2}$ ، $V_O = IR_2$ ، $I = \frac{V_T}{R_1+R_2}$
        - من العلاقات السابقة يتضح أن جهد خرج مبدل الإزاحة الأومي V_O يتناسب طرداً مع وضع المنزلق بشرط أن تكون المقاومة موزعة بانتظام على المسافة AB



الحساسات والمبدلات

- الأنواع الأساسية للحساسات والمبدلات
  - حساس ومبدل الازاحة الأومي Resistive Position Transducer:
    - مثال:
      - ليكن لدينا مبدل الازاحة الأومي الموضح بالشكل والمطلوب حساب جهد الخرج V_O:

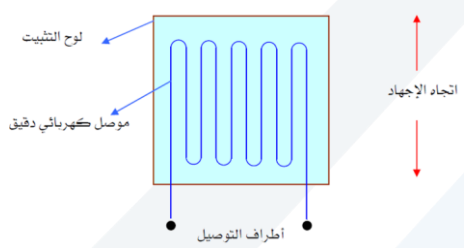




- الحل:
  - $R_2 = \frac{0.9}{3} \times 5000 = 1.5K\Omega$
  - $\frac{V_O}{V_T} = \frac{R_2}{R_1+R_2} = \frac{1.5}{5}$
  - $V_O = V_T \times \frac{1.5K}{5K} = 5 \times \frac{1.5}{5} = 1.5V$
  - بفرض أن المطلوب حساب مسافة الإزاحة

الحساسات والمبدلات

- الأنواع الأساسية للحساسات والمبدلات
  - حساس ومبدل مقياس الإجهاد Strain Gauge Transducer:
    - يعتمد في تشغيله على نظرية تغير المقاومة الكهربائية في الموصلات الكهربائية نتيجة الإجهاد الواقع على هذه الموصلات نتيجة تعرضها لقوة ما
    - يستخدم لقياس الوزن أو الضغط أو القوة الميكانيكية أو الإزاحة
    - يعتمد تركيبه كما هو موضح بالشكل على تثبيت موصل كهربائي دقيق بطريقة تموجيه إلى الأمام وإلى الخلف على لوح تثبيت محكم اللصق على الجزء المراد قياس الإجهاد به



https://manara.edu.sy/

الحساسات والمبدلات

- الأنواع الأساسية للحساسات والمبدلات
  - حساس ومبدل مقياس الإجهاد Strain Gauge Transducer:
    - مبدأ العمل:
      - يؤدي إجهاد الشد إلى استطالة اللوح وبالتالي استطالة الموصل الكهربائي (زيادة في طول الموصل)،
      - بما أن كمية المادة الموجودة في الموصل لا تتغير أي كتلته وحجمه ثابتين، فإن زيادة كوله يؤدي إلى نقص في مساحة مقطعه
      - وعليه تتزايد مقاومة الموصل تبعاً لقانون المقاومة:
        - $R = \frac{\rho L}{a}$
      - وبالتالي يؤدي الإجهاد إلى:
        - تزايد طول الموصل (وبالتالي نقص في مساحة مقطعه)
        - تزايد مقاومة الموصل
      - العلاقة بين الزيادة في طول الموصل ΔL والطول الابتدائي للموصل L تسمى مقياس الإجهاد G وتعطى بالعلاقة، والتي تعتبر مجرد نسبة ليس لها أبعاد تدل على مقدار الإجهاد الواقع على الموصل
        - $G = \frac{\Delta L}{L}$
      - بما أن 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 وعليه يمكن تعريف ثابت المقياس K كما يلي:
        - $K = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L}$
        - وهذا الثابت يكون دائماً أكبر من الواحد

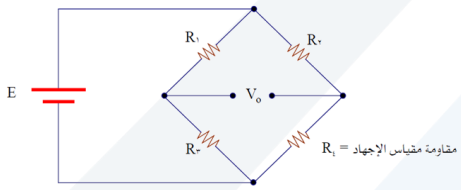
الحساسات والمبدلات

- الأنواع الأساسية للحساسات والمبدلات
  - حساس ومبدل مقياس الإجهاد Strain Gauge Transducer:
    - من المعروف أن هناك علاقة تناسبية قياسية تربط ما بين الضغط الداخلي (Stress) والإجهاد (Strain) تسمى بمعامل اللدونة والتي تمثل بالعلاقة التالية:
      - $E = \frac{S}{G}$ ، حيث E: معامل اللدونة، S: الضغط الداخلي، G: الاجهاد
      - يمكن تمثيل الضغط الداخلي S بالعلاقة التالية:
        - $S = \frac{F}{A}$ ، حيث F: القوة وتقاس بـ kg، A: مساحة المقطع وتقاس بـ m^2
        - وعليه يقاس الضغط الداخلي بـ kg/m^2
        - وبما أن الإجهاد ليس له أبعاد فيقاس معامل اللدونة بنفس وحدة الضغط الداخلي
    - يجب أن يكون مقياس الإجهاد على درجة عالية من الحساسية وهذا يعني قيمة كبيرة لثابت المقياس K
      - وعليه يجب أن يكون تغير كبير للمقاومة (لسهولة قياسها) بالنسبة للتغير في الطول

https://manara.edu.sy/

الحساسات والمبدلات

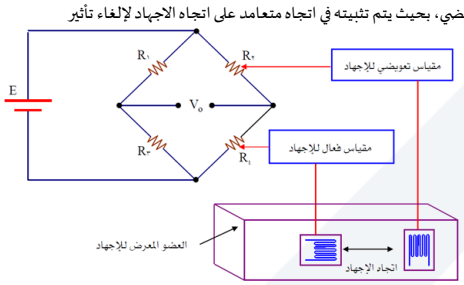
- الأنواع الأساسية للحساسات والمبدلات
  - حساس ومبدل مقياس الإجهاد Strain Gauge Transducer:
    - حتى الآن تم شرح مبدأ عمل مقياس الاجهاد على أنه ترجمة الاجهاد إلى تغير في المقاومة (هذا المفهوم يمثل مبدأ الحساسات)
    - حتى يعمل مقياس الاجهاد كمبدل، يجب أن يكون خرج الجهاز على صورة إشارة كهربائية
    - إضافة الإشارة الكهربائية إلى حساس مقياس الاجهاد:
      - لإضافة الإشارة الكهربائية إلى مقياس الاجهاد يتم استخدامه كذراع رابع في جسر ويتستون، بحيث يكون الجسر متزن في حالة عدم وجود أي إجهاد
      - وعليه يمكن تحويل الاجهاد إلى تغير في مقاومة الذراع الرابع وبالتالي إلى ضهور قيمة للجهد VO والذي يمكن قياسها



- مثال

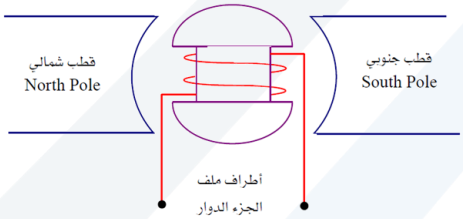
الحساسات والمبدلات

- الأنواع الأساسية للحساسات والمبدلات
  - حساس ومبدل مقياس الإجهاد Strain Gauge Transducer:
    - إضافة الإشارة الكهربائية إلى حساس مقياس الاجهاد:
      - يمكن استخدام هذه الطريق عندما يكون تأثير تغيير درجة الحرارة المحيطية ليس كبيراً
      - في حالة التغير الكبير في درجة حرارة التشغيل، فإن المقاومة تتأثر بهذا التغير في درجة الحرارة وتتغير قيمتها تبعاً لذلك
        - وعليه فإن المقاومة تتغير قيمتها نتيجة للإجهاد بالإضافة إلى تغير درجة الحرارة، مما يؤدي إلى قراءة خاطئة لمقاومة الاجهاد
      - لإلغاء تأثير تغير المقاومة نتيجة تغير درجة الحرارة يمكن استخدام النظام التعويضي التالي:
        - هنا سيتم استخدام مقياس الاجهاد في الذراع الرابع كمقياس فعال (تأثير اجهاد + تأثير حرارة)
        - في الذراع الثاني (ذراع تناسب الاتزان) يمكن استخدام مقياس اجهاد آخر كمقياس تعويضي، بحيث يتم تثبيته في اتجاه متعامد على اتجاه الاجهاد لإلغاء تأثير الاجهاد وبقاء تأثير الحرارة فقط
          - وعليه فإن الذراعان المتناسبان ضمن جسر ويتستون يكون احداهما متأثراً بالإجهاد والحرارة والأخر متأثراً بالحرارة فقط



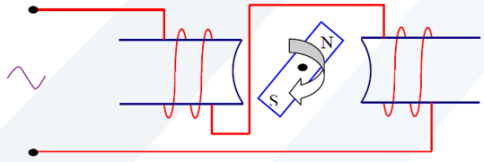
الحساسات والمبدلات

- الأنواع الأساسية للحساسات والمبدلات
  - الحساس والمبدل الحثي Inductive Transductor:
    - يعتمد على نظرية عمل المولد الكهربائي في توليد جهد كهربائي بين أطراف الموصل في حال وجود حركة نسبية بين الموصل والمجال المغناطيسي
      - تعتبر هذه الحركة في الغالب الكمية المراد قياسها
    - أنواع المبدلات الحثية:
      - مقياس السرعة الدوارة Tachometer:
        - يمكن استخدام المبدل الحثي كمقياس للسرعة الدوارة والذي يقوم بتحويل السرعة الدوارة مباشرة إلى إشارة كهربائية، حيث يمكنه توليد جهد مستمر بقيمة ثابتة مقدارها (10 mV/r.p.m)
        - وعليه يمكنه تغذية مقياس جهد معاير لقياس السرعة مباشرة، بحيث يتم ربط العضو الدوار لمقياس السرعة بالجزء الدوار المطلوب قياس سرعته



الحساسات والمبدلات

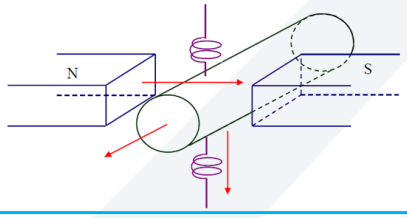
- الأنواع الأساسية للحساسات والمبدلات
  - الحساس والمبدل الحثي Inductive Transductor:
    - أنواع المبدلات الحثية:
      - مقياس السرعة الدوارة Tachometer:
        - يمكن تصميم مقياس السرعة أيضاً على هيئة مولد تيار متناوب وذلك بأن يكون العضو الدوار هو الأقطاب المغناطيسية بحيث يتم توليد جهد كهربائي بطريقة الحث في ملف موجود في العضو الثابت كما هو موضح بالشكل
        - يمكن تنقية إشارة الجهد المتناوب عن طريق استخدام فلاتر كهربائية كما ويمكن تكبير هذه الإشارة بالإضافة إلى الميزة الهامة لمولدات التيار المتناوب وهي انخفاض الضجيج قياساً بأجهزة التيار المستمر
        - أحد أهم التطبيقات لهذا المبدل هو قياس التردد باستخدام العلاقة المباشرة بين التردد وسرعة الدوران:
          - $n = \frac{120f}{P}$
          - حيث n: تمثل سرعة الدوران وتقاس بـ r.p.m، f: التردد ويقاس بـ Cycle/sec=Hertz، P: عدد الأقطاب المغناطيسية الموجودة بالمقياس



https://manara.edu.sy/

الحساسات والمبدلات

- الأنواع الأساسية للحساسات والمبدلات
  - الحساس والمبدل الحثي Inductive Transductor:
    - أنواع المبدلات الحثية:
      - المقياس الكهرومغناطيسي لقياس سرعة تدفق الموائع Electro-Magnetic Transducer
      - يمكن استخدام المبدل الحثي كمقياس لسرعة تدفق الموائع الجيدة التوصيل للكهرباء حيث يمكن اعتبار المبدل جزء من مقطع أنبوب يتدفق فيه المائع الموصل للكهرباء والمحاط بأنبوب رديء التوصيل أو عازل للكهرباء
      - باستخدام أقطاب جيدة التوصيل للكهرباء مثبتة داخل الأنبوب على امتداد قطره وعمودية على كل من اتجاه سريان المائع واتجاه المجال المغناطيسي وموصولة باثنين من الملفات الموصولة كهربائياً عكس بعضهما
      - يمكن الحصول على جهد يتناسب مع سرعة سريان المائع داخل الانبوب، حيث يعتبر المائع في هذه الحالة موصل يقطع خطوط المجال المغناطيسي بسرعة v تتناسب مع الجهد الناتج:
        - $E = BLv$
        - حيث E: الجهد الناتج أو القوة الدافعة الكهربائية المتولدة ويقاس بـVolts، B: كثافة المجال المغناطيسي مقاسة بـTesla=Weber/m2، v: سرعة سريان المائع وتقاس بـ m/sec

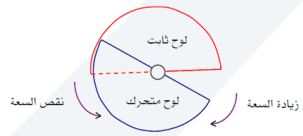


الحساسات والمبدلات

- الأنواع الأساسية للحساسات والمبدلات
  - الحساس والمبدل الحثي Inductive Transductor:
    - أنواع المبدلات الحثية:
      - المقياس الكهرومغناطيسي لقياس سرعة تدفق الموائع Electro-Magnetic Transducer
      - ميزاته:
        - عدم التأثير على الضغط داخل الأنبوب
        - يصلح لقياس سرعة التدفق العالية جداً
      - سيئاته:
        - لا يصلح لقياس السرعات البطيئة (أقل من 1 foot/sec) إلا إذا تجاوزت موصلية السائل 0.5 siemens/m
        - يجب أن تكون الأقطاب دائماً نظيفة وجيدة التوصيل للكهرباء
      - مثال:
        - جهاز كهرومغناطيسي لقياس سرعات التدفق، ذو قطر أنبوب 1.25cm، فإذا كانت كثافة المجال المغناطيسي 0.2Tesla وكان جهد المقياس لحظة القياس 25mV والمطلوب ما هي سرعة تدفق المائع؟
      - الحل:
        - $v = \frac{E}{BL} = \frac{25\times10^{-3}}{0.2\times1.25\times10^{-2}} = 10\ m/sec$

https://manara.edu.sy/

الحساسات والمبدلات

- الأنواع الأساسية للحساسات والمبدلات
  - الحساس والمبدل السعوي Capacitive Transducer:
    - يعتمد الحساس أو المبدل السعوي على المعادلة الرياضية التي تصف السعة الكهربائية للمكثف ذي اللوحين المتوازيين
    - $C = \frac{kA\varepsilon_0}{d}$
    - حيث C تمثل السعة الكهربائية وتقاس بـFarad، k ثابت العازل النسبي المستخدم بين اللوحين، A مساحة اللوح وتقاس بـm^2، أي المسافة بين اللوحين وتقاس بـm، ε سماحية الهواء أو الفراغ وتقاس بـFarad/m وهي قيمة معروفة وتساوي $\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} Farad/m$
    - حيث التغير في المسافة بين اللوحين أو التغير في المساحة المشتركة بين اللوحين يؤدي إلى تغير في قيمة سعة المكثف
    - تطبيقات الحساس السعوي:
      - مقياس الازاحة الدورانية Rotational Movement Transducer:
        - يعتمد على مكثف ذي لوحين على شكل أنصاف دوائر مشتركين في المحور أحدهما ثابت والأخر قابل للحركة حول المحور المشترك
        - تؤدي حركة اللوح إلى زيادة المساحة المشتركة بين اللوحين أو نقصها بناءً على اتجاه الحركة وعليه ستتغير سعة المكثف
        - 

الحساسات والمبدلات

- الأنواع الأساسية للحساسات والمبدلات
  - الحساس والمبدل السعوي Capacitive Transducer:
    - جدول ببعض العوازل المستخدمة في المكثفات:
      - يعطى ثابت العزل النسبي لمادة ما
      - $k = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$

بعض قيم ثابت العازل عند حرارة الغرفة و1 kHz	
المادة	معامل السماحية النسبي {\displaystyle \epsilon _{r}\,}
الألمنيوم (kHz 1)	−1300a (−1300+j1.3×10^14)a
فضة (kHz 1)	−85b (−85+j8×10^12)b
فراغ	1 (من التعريف)
هواء	1.00054
تيفلون	2.1
بولئيثلين	2.25
بوليسترين	2.4–2.7
دايسلفيد الكربون	2.6
ورق	3.5
بوليمرات كهروشطة	2–12
أكسيد السيليكون	4.5
خرسانة	4.5
(زجاج)	4.7 (3.7–10)
مطاط	7
ماس	5.5–10
ملح	3–15
جرافيت	10–15
سيليكون	11.68
أمونيا	26–22–20–17 (−80—40–0–20 °C)
ميثانول	30
فيرفورال	42.0
جليسرول	41.2–47–42.5 (0–20–25 °C)
ماء	88–80.1–55.3–34.5 (0–20–100–200 °C)