قياسات وأجهزة قياس
Measurement & Instruments

Dr.-Eng. Samer Sulaiman

2022-2023

جسور القياس

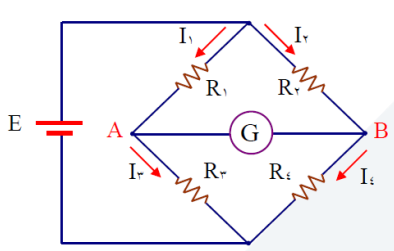
- التعرف على أنواع الجسور المختلفة المستخدمة في دوائر التيار المستمر
- التعرف على أنواع التطبيقات المختلفة للجسور المستخدمة في دوائر التيار المستمر
- التعرف على أنواع الجسور المختلفة في دوائر التيار المتناوب
- التعرف على أنواع التطبيقات المختلفة للجسور المستخدمة في دوائر التيار المتناوب

جسور القياس

- مقدمة Introduction
  - تعتبر تقنية القياسات الكهربائية التي تستخدم جسور القياس من أدق أساليب القياس
  - مبدأ عملها: يعتمد في الأساس على مقارنة القيمة الكهربائية المقاسة بمجموعة أخرى من القيم الموجودة في دائرة الجسور
  - وعليه لا تعتمد هذه التقنية على معايرة جهاز القياس المستخدم أو خواصه الفيزيائية
  - استخدامات جسور القياس:
    - تستخدم على نطاق واسع لقياس المقاومات والمكثفات والملفات والممانعات
    - تستخدم أيضاً في دوائر التحكم المختلفة، حيث يحتوي أحد أذرع الجسر على عنصر كهربائي له خاصية التأثير بإحدى الكميات الفيزيائية المطلوب التحكم بها (مثل: درجة الحرارة، الضغط الجوي، ....)

جسور القياس

- الجسور المستخدمة في دوائر التيار المستمر Direct Current Bridges:
  - جسر ويتستون Wheatstone Bridge:
    - يتكون من فرعين متوازيين
      - يختوي كل فرع على مقاومتين متصلتين على التسلسل
      - يغذي هذين الفرعين مصدر جهد مستمر E والذي يسبب مرور التيار الكهربائي فيهما
      - يوصل جهاز لقياس الجهد (في الغالب غلفانوميتر) بين الفرعين المتوازيين من أجل ضبط حالة اتزان الدسر
    - استخدام جسر ويتستون لقياس مقاومة مجهولة
      - توضع المقاومة المراد قياس قيمتها كأحد مقاومات إحدى أذرع الجسر وغالباً توضع بدلاً عن المقاومة R4
      - يتم تغيير قيمة مقاومة أحد مقاومات الزراع الأخر وغالباً المقاومة R2 حتى يتم التوازن (أي قياس القيمة صفر)، والذي يعني في هذه الحالة عدم وجود فرق في الجهد بين طرفي المقياس وبالتالي عدم مرور تيار فيه

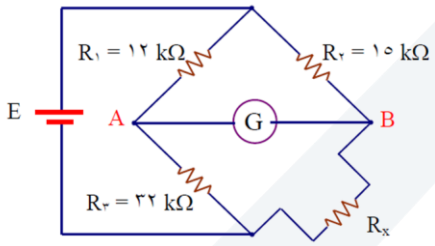


جسور القياس

- الجسور المستخدمة في دوائر التيار المستمر Direct Current Bridges:
  - جسر ويتستون Wheatstone Bridge:
    - استخدام جسر ويتستون لقياس مقاومة مجهولة
    - شرط اتزان جسر ويتستون Condition of Balance
    - يجب أن يكون فرق الجهد بين النقطتين A و B حتى نقول أن الجسر أصبح متزناً، وبالتالي فإن فرق الجهد على المقاومة R1 سيساوي فرق الجهد على المقاومة R2
    - $I_1R_1 = I_2R_2$
    - وبالمثل فإن فرق الجهد على المقاومة R3 سيساوي فرق الجهد على المقاومة R4
    - $I_3R_3 = I_4R_4$
    - وبما أن تيار المقياس يساوي الصفر فهذا يعني $I_1 = I_3, I_2 = I_4$
    - وعليه فإن شرط اتزان جسر ويتستون يعطى بالعلاقة
    - $\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$ أو $R_1R_4 = R_2R_3$

جسور القياس

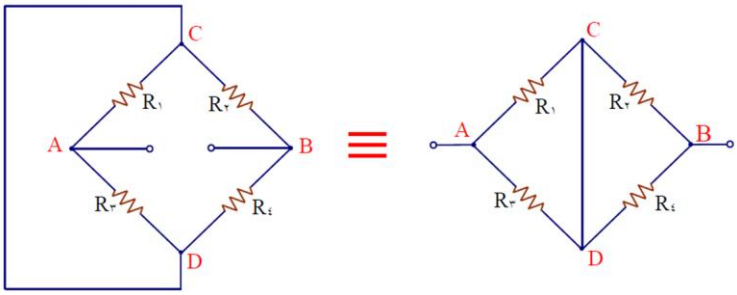
- الجسور المستخدمة في دوائر التيار المستمر Direct Current Bridges:
  - جسر ويتستون Wheatstone Bridge:
    - استخدام جسر ويتستون لقياس مقاومة مجهولة
    - مثال:
    - المطلوب حساب قيمة المقاومة المجهولة Rx في الدائرة الموضحة بالشكل بفرض أن دائرة الجسر في حالة اتزان



- الحل:
  - $R_1R_x = R_2R_3$
  - $R_x = \frac{R_2R_3}{R_1} = 40K\Omega$

جسور القياس

- الجسور المستخدمة في دوائر التيار المستمر Direct Current Bridges:
  - جسر ويتستون Wheatstone Bridge:
    - الحل العام لجسر ويتستون General Solution
      - باستخدام نظريات الهندسة الكهربائية ولعل اشهرها نظرية ثفنن يمكننا إيجاد الحل العام لجسر ويتستون
      - يمكن حساب التيار المار في جهاز القياس باعتبار الدائرة الكهربائية التي تغذي المقياس عبارة عن مصدر للجهد Vth ومقاومة مكافئة متصلة على التسلسل Rth والتي تغذي مقاومة المقياس الداخلية RG وعليه:
      - $I_G = \frac{V_{th}}{R_{th}+R_G}$



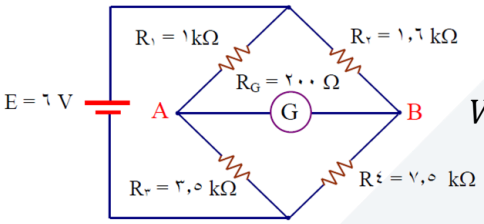
- حساب Vth:
  - يتم حساب Vth بع
  والذي ينص على أ

$-\frac{R_2}{R_2+R_4})$

- حساب Rth
  - يتم حساب Rth بع

جسور القياس

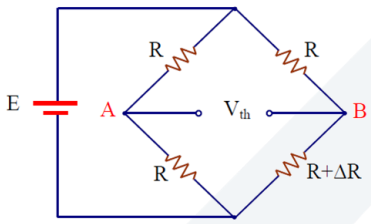
- الجسور المستخدمة في دوائر التيار المستمر Direct Current Bridges:
  - جسر ويتستون Wheatstone Bridge:
    - الحل العام لجسر ويتستون General Solution
      - مثال:
        - المطلوب حساب التيار المار في جهاز القياس الموضح بالشكل:



- الحل:
  - $V_{th} = E\left(\frac{R_1}{R_1+R_3} - \frac{R_2}{R_2+R_4}\right) = 0.278V$
  - $R_{th} = \frac{R_1R_3}{R_1+R_3} + \frac{R_2R_4}{R_2+R_4} = 2.096K\Omega$
  - $I_G = \frac{V_{th}}{R_{th}+R_G} = 121.4\mu A$

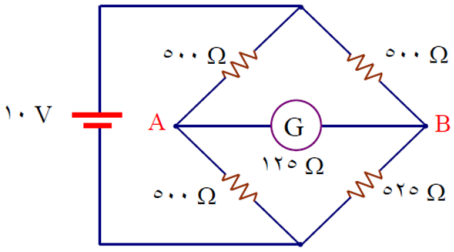
جسور القياس

- الجسور المستخدمة في دوائر التيار المستمر Direct Current Bridges:
  - جسر ويتستون Wheatstone Bridge:
    - الحل العام لجسر ويتستون General Solution
      - التقريب الرياضي لجسر ويتستون الغير متزن Slightly Unbalanced Wheatstone Bridge
        - يمكن استنتاج تعبير رياضي تقريبي ولكنه دقيق لحل دائرة جسر ويتستون عند اختلاف احدى المقاومات بما لا يتجاوز الـ5% باستخدام طريقة ثفنن
        - حساب Vth
          - $V_{th} = E\left(\frac{R_1}{R_1+R_3} - \frac{R_2}{R_2+R_4}\right) = E\left(\frac{R}{2R} - \frac{R}{2R+\Delta R}\right)$
          - $V_{th} = E\left(\frac{1}{2} - \frac{R}{2R+\Delta R}\right) = E\left(\frac{\Delta R}{2(2R+\Delta R}\right)$
          - وبما أن الأختلاف ΔR صغيرة فيمكن اهمالها مقارنة مع القيمة 2R وعليه:
          - $V_{th} = E\left(\frac{\Delta R}{4R}\right)$
        - حساب Rth
          - $R_{th} = \frac{R_1R_3}{R_1+R_3} + \frac{R_2R_4}{R_2+R_4} = \frac{RxR}{R+R} + \frac{R(R+\Delta R)}{R+R+\Delta R}$
          - $R_{th} = \frac{R}{2} + \frac{R(R+\Delta R)}{2R+\Delta R}$
          - ولنفس السبب يمكن اهمال القيمة ΔRT
          - $R_{th} = R$



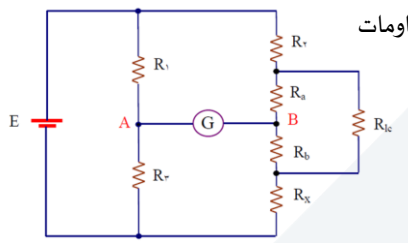
جسور القياس

- الجسور المستخدمة في دوائر التيار المستمر Direct Current Bridges:
  - جسر ويتستون Wheatstone Bridge:
    - الحل العام لجسر ويتستون General Solution
      - التقريب الرياضي لجسر ويتستون الغير متزن Slightly Unbalanced Wheatstone Bridge
        - مثال:
          - المطلوب حساب قيمة التيار المار في جهاز القياس المبين بالشكل:
        - الحل:
          - الطريقة الدقيقة:
            - $V_{th} = E\left(\frac{R_1}{R_1+R_3} - \frac{R_2}{R_2+R_4}\right) = 0.122V$
            - $R_{th} = \frac{R_1R_3}{R_1+R_3} + \frac{R_2R_4}{R_2+R_4} = 506.1\Omega$
            - $I_G = \frac{V_{th}}{R_{th}+R_G} = 193.3\mu A$
          - الطريقة التقريبية:
            - $V_{th} = E\left(\frac{\Delta R}{4RT}\right) = 0.125V$
            - $R_{th} = R = 500\Omega$
            - $I_G = \frac{V_{th}}{R_{th}+R_G} = 200\mu A$



جسور القياس

- الجسور المستخدمة في دوائر التيار المستمر Direct Current Bridges:
  - جسر كلفن Kelvin Bridge
    - يعتبر جسر كلفن نموذج معدل من جسر ويتستون
    - الغرض من هذا التعديل هو إلغاء تأثير مقاومات التلامس مع أطراف الجهاز في حالة توصيل مقاومة مجهولة في دائرة الجسر بهدف قياس قيمتها
    - تسبب مقاومات التلامس ومقاومات أطراف التوصيل وخاصة في حالة قياس مقاومة صغيرة إلى أخطاء في القيمة المقاسة
    - تعتبر تقنية جسر كلفن من أدق طرق القياسات حيث يتم إلغاء التأثير مقاومات التلامس
    - تسمى في بعض الأحيان بالجسر المزدوج للقياس
    - تمثل المقاومة Rlc مقاومات التلامس وأطراف التوصيل
    - يمكن استخدام جسر كلفن لقياس مقاومات تتراوح بين 1μΩ و 1Ω بدرجة عالية من الدقة

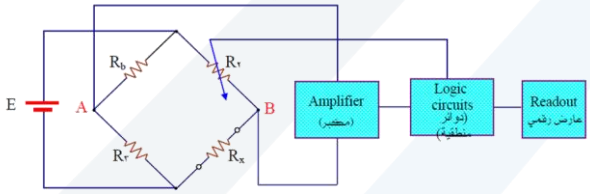


جسور القياس

- الجسور المستخدمة في دوائر التيار المستمر Direct Current Bridges:
  - جسر كلفن Kelvin Bridge
    - اتزان جسر كلفن Balance of Kelvin Bridge
      - في حال اتزان الجسر تنطبق العلاقة التالية
        - $\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} = \frac{R_a}{R_b}$
      - وعليه فإذا كانت المقاومة المقاسة متوضعة مكان المقاومة R4
        - $R_x = \frac{R_2 x R_3}{R_1} = \frac{R_2 x R_b}{R_a}$
      - مثال:
        - المطلوب حساب قيمة الـRx لجسر كلفن فيما إذا كانت النسبة بين Ra و Rb تساوي 1000 وكانت قيمة R1=5Ω وقيمة R1=0.5R2
      - الحل:
        - بما أن قيمة R1=5Ω فتكون قيمة R2=10Ω
        - $R_x = \frac{R_2 x R_b}{R_a} = 0.01\Omega$

جسور القياس

- الجسور المستخدمة في دوائر التيار المستمر Direct Current Bridges:
  - الجسور ذات القراءة الرقمية Digital Readout Bridges
    - مع التطور الطبيعي لأجهزة القياس وظهور أجهزة القياس الرقمية وتطورها، تم استخدام التقنيات الرقمية في تطوير جسور القياس، وعليه ظهرت الجسور الرقمية
      - تمثل جسر تماثلي مع استخدام التقنية الرقمية لإظهار القيمة المقاسة (على سبيل المثال قيمة المقاومة المجهولة أو المراد قياسها)
      - وعليه تم التغلب على أخطاء القياس البصرية
      - مثال:
        - جسر ويتستون ذو القراءة الرقمية::
          - هنا سيتم تكبير جهد الاتزان عن طريق مكبر Amplifier ليتم إدخاله إلى دائرة تحكم منطقية تتحكم في مقاومة الاتزان المتغيرة عن طريق إشارة تحكم رقمية من أجل ضبط اتزان الجسر
          - وعليه يتم حساب المقاومة المجهولة وعرض قيمتها على جهاز عرض رقمي

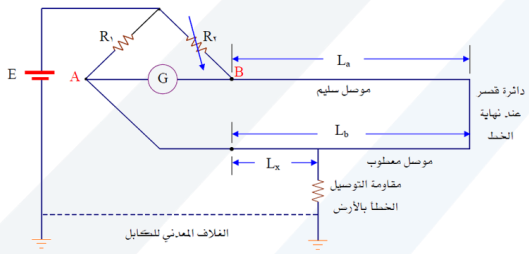


جسور القياس

- الجسور المستخدمة في دوائر التيار المستمر Direct Current Bridges:
  - التحكم بالجسور عن طريق المعالجات الدقيقة
    - أدى ظهور المعالجات الدقيقة إلى تطور حقيقي في مجال القياسات، حيث تم تطوير طرق القياس التي أدت إلى ما يسمى أجهزة القياس الذكية حيث أصبح المعالج الدقيق جزء من جهاز القياس يمكن برمجته للقيام بالقياس
      - بالإضافة إلى قيامه بالحسابات المطلوبة لاستنتاج معامل القياس
    - هذا التطور أدى إلى الاستغناء عن بعض الأجهزة الإضافية المساعدة والتي كانت ضرورية في حالة طرق القياس المعتادة
      - حيث تم استبدالها بالوحدات الوظيفية والبرمجة المتاحة في المعالجات الدقيقة
      - كما تم استبدال وحدات التحكم المنطقية ببرامج التحكم المختزنة في المعالجات الدقيقة
  - تطبيقات على جسور التيار المستمر
    - دائرة موراي Murray Loop
      - من أهم الأعطال التي يمكن أن تظهر في شبكات الهاتف هي حدوث دائرة قصر ما بين خطين من الخطوط أو ما بين أحد الخطوط والارضي
      - تستخدم جسور القياس بشكل فعال في تحديد موقع هذا العطل
      - تعتبر دائرة موراي أحد أهم الدوائر المشهورة في هذا المجال

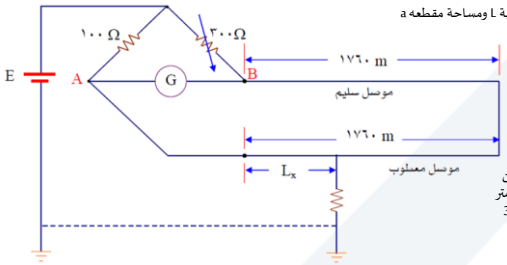
جسور القياس

- الجسور المستخدمة في دوائر التيار المستمر Direct Current Bridges:
  - تطبيقات على جسور التيار المستمر
    - دائرة موراي Murray Loop
      - مبدأ العمل:
        - بعد تحديد الموصل المعطوب يتم قصره من نهاية الخط مع أحدى الموصلات السليمة
        - يتم توصيل بداية كل من الموصلين بجسر ويتستون، حيث يتم وضعهما بدلاً من مقاومتي الذراعين الثالث والرابع
          - هنا تم الاستعاضة عن الموصل المعطوب من بداية الخط حتى مكان لعطل بطوله الذي يساوي Lx وبمقاومته التي تساوي Rx
          - وبشكل مشابه يستعاض عن الذراع الرابع بمقاومة الموصل السليم بطوله الذي يساوي La وبمقاومته Ra
          - يضاف إلى ذلك مقاومة الجزء المتبقي من الموصل المعطوب بطول Lb-Lx وبمقاومة Rb-Rx
          - يمكن تحديد مكان العطل عن طريق ضبط المقاومة المتغير R2 من أجل الحصول على حالة الاتزان



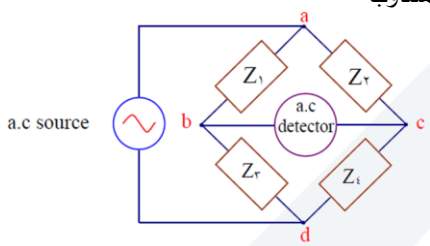
جسور القياس

- الجسور المستخدمة في دوائر التيار المستمر Direct Current Bridges:
  - تطبيقات على جسور التيار المستمر
    - دائرة موراي Murray Loop
      - مبدأ العمل:
        - البرهان الرياضي لدارة موراي
        - بتطبيق شرط اتزان الدسر
          - $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_a+(R_b-R_x)}{R_x}$
          - $R_x = \frac{R_1(R_a+R_b)}{R_1+R_2}$
        - باستخدام القانون العام لحساب المقاومات اعتماداً على طول الموصل ρ ومقاومته النوعية L ومساحة مقطعه a
          - $R = \frac{\rho L}{a}$
          - $\frac{\rho_x L_x}{a_x} = \frac{R_1}{R_1+R_2}\left(\frac{\rho_a L_a}{a_a} + \frac{\rho_b L_b}{a_b}\right)$
          - في حال كان الموصلان من نفس المادة ولهما نفس الطول ونفس مساحة المقطع
          - $L_x = \frac{2R_1 LL}{R_1+R_2}$
        - مثال:
          - المطلوب رسم دارة موراي وتحديد المسافة بين العطل وجسر القياس في حال كان الموصلان متطابقين في الطول ومساحة المقطع ومصنعين من نفس المادة، علماً أن طول الموصل حتى نهاية الخط 1760 متر وتشير مقاومة الذراع الأول لدسر ويتستون في حالة الاتزان إلى 100Ω ومقاومة الذراع الثانية 300Ω
        - الحل:
          - $L_x = \frac{2R_1 LL}{R_1+R_2} = 880m$



جسور القياس

- الجسور المستخدمة في دوائر التيار المتناوب Alternating Current Bridges:
  - تستخدم جسور القياس في دوائر التيار المتناوب من أجل إيجاد قيمة سعة المكثف أو المعاوقة السعوية ومعامل الحث الذاتي (المعاوقة الحثية) بالإضافة إلى الممانعة المكونة من عناصر مختلفة
  - يوجد الكثير من الجسور اعتماداً على العنصر المراد قياسه، إلا أنها تعتمد في بنائها على جسر ويتستون
    - تستبدل المقاومات الأربعة لجسر ويتستون بأربعة معاوقات أو ممانعات ويستبدل مصدر الجهد المستمر بمصدر جهد متناوب بالإضافة إلى استبدال جهاز القياس المستمر بأخرى خاص بالمتناوب
  - بعض الاستخدامات الأخرى لجسور القياس:
    - دوائر رواسم الإشارة Oscillators دوائر المكبرات Amplifiers ودوائر المرشحات Filters

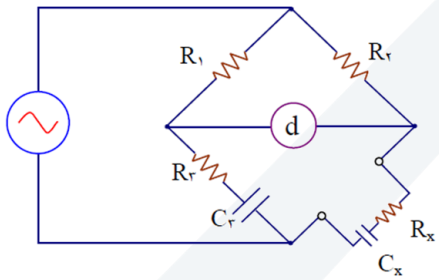


جسور القياس

- الجسور المستخدمة في دوائر التيار المتناوب Alternating Current Bridges:
  - اتزان جسر ويتستون للتيار المتناوب Balance of A.C. Wheatstone Bridge
    - بشكل مشابه لجسور التيار المستمر يجب أن يكون التيار المار في جهاز قياس التيار المتناوب مساوياً الصفر
      - وعليه فإن الجهد ما بين النقطتين b و C تساوي أيضاً الصفر
      - يمكن تمثيل الدائرة المكافئة لجسر ويتستون المتزن للتيار المتناوب كما يلي
      - حيث يمكن اعتبار النقطتين b و c نقطة واحدة لعدم وجود فرق في الجهد أو سريان تيار بينهما
        - وعليه يتساوى فرق الجهد بين النقطتين a و b مع فرق الجهد بين النقطتين a و c
          - $I_1Z_1 = I_2Z_2$
        - وبشكل متشابه
          - $I_3Z_3 = I_4Z_4$
        - وبما أن التيار المار في المسار bc يساوي الصفر
          - $I_1 = I_3, I_2 = I_4$
        - بقسمة المعادلتين السابقتين
          - $\frac{I_1Z_1}{I_3Z_3} = \frac{I_2Z_2}{I_4Z_4}$
          - $Z_1Z_4 = Z_2Z_3$ أو بالشكل المركب $Z_1\angle\theta_1 Z_4\angle\theta_4 = Z_2\angle\theta_2 Z_3\angle\theta_3$
        - وعليه يمكن كتابة شرطي الاتزان في دوائر التيار المتناوب على الشكل التالي:
          - $Z_1Z_4 = Z_2Z_3$ و $\angle\theta_1 + \angle\theta_4 = \angle\theta_2 + \angle\theta_3$

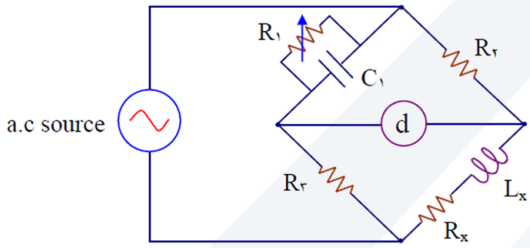
جسور القياس

- الجسور المستخدمة في دوائر التيار المتناوب Alternating Current Bridges:
  - جسر الزوايا المتماثلة Similar Angle Bridge
    - يستخدم هذا الجسر لقياس الممانعات السعوية المجهولة
    - تسمى في بعض الأحيان بجائرة جسر مقارن المكثفات أو جسر توالي المقاومة والمكثفة
    - تعتمد على تحويل أي ممانعة سعوية مراد قياسها إلى مقاومة ومكثف متصلين على التسلسل
      - وعليه يمكن كتابة المعادلات الرياضية
        - $Z_1 = R_1$
        - $Z_2 = R_2$
        - $Z_3 = R_3 - jX_{C3}$
        - $Z_4 = R_x - jX_{Cx}$
      - وبالتعويض في معادلة اتزان الجسر
        - $R_1(R_x - jX_{Cx}) = R_2(R_3 - jX_{C3})$
      - وبمساواة القيم الحقيقية والتخيلية في الطرفين كل على حدى
        - $R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1}$
        - $X_{Cx} = \frac{R_2 X_{C3}}{R_1}$ وعليه $C_x = \frac{R_1 C_3}{R_2}$



جسور القياس

- الجسور المستخدمة في دوائر التيار المتناوب Alternating Current Bridges:
  - جسر ماكسويل Maxwell Bridge
    - تستخدم لقياس الممانعات الحثية المجهولة
    - تعتمد على تحويل أي ممانعة حثية مراد قياسها إلى مقاومة وملف متصلين على التسلسل
      - وعليه يمكن كتابة المعادلات الرياضية
        - $Z_1 = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + jwC_1} = \frac{R_1}{1 + jwR_1C_1}$
        - $Z_2 = R_2$
        - $Z_3 = R_3 - jX_{C3}$
        - $Z_4 = R_x - jX_{Lx}$
      - بالتعويض في معادلة اتزان الجسر نحصل:
        - $R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1}$
        - $L_x = R_2 R_3 C_1$



المتحكمات الصغرية

- التعرف على بنية المتحكمات وأهم وظائفها
- التعرف على برمجة المتحكمات باستخدام لغة الـ C
- أمثلة وتطبيقات على المتحكمات الصغرية

راسم الاشارة

- التعرف على مبدأ عمل راسم الإشارة
- التعرف على طريقة استخدام راسم الإشارة لقياس قيمة الجهد لموجة جيبية
- التعرف على طريقة استخدام راسم الإشارة لقياس التردد لموجة جيبية
- التعرف على طريقة استخدام راسم الإشارة لقياس زاوية الطور لموجة جيبية