قياسات وأجهزة قياس
Measurement & Instruments

Dr.-Eng. Samer Sulaiman

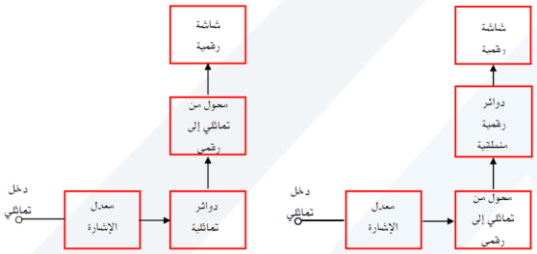
2022-2023

أجهزة القياس الرقمية

- الفرق بين أجهزة القياس الرقمية والتماثلية
- التعرف على نظرية عمل وتطبيقات أجهزة قياس الجهد ذات الميل الواحد
- التعرف على نظرية عمل وتطبيقات أجهزة قياس الجهد ذات الميل المزدوج
- التعرف على عمل أجهزة القياس الرقمية متعددة القياسات

أجهزة القياس الرقمية

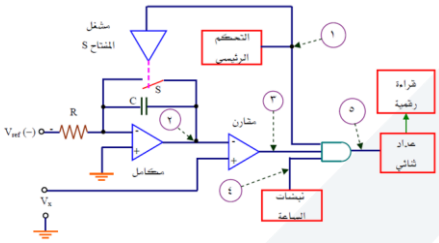
- مزايا أجهزة القياس الرقمية مقارنة مع الأجهزة التماثلية
  - سرعة أكبر والدقة العالية وانخفاض الأخطاء الناتجة عن مستخدم الجهاز وقابلية توفير القياسات الآلية في تطبيقات الأنظمة المختلفة
- المبدأ العام لأجهزة القياس الرقمية هي تحويل القيم التماثلية المراد قياسها أولاً إلى الشكل الرقمي
- الفرق بين أجهزة القياس الرقمية وأجهزة القياس ذات القراءة الرقمية:
  - كما هو موضح بالشكل



- جهاز القياس ذات القراءة الرقمية لا يعطي دقة أكبر من جهاز القياس التماثلي بل إمكانية سرعة وسهولة القراءة لنتيجة القياس

أجهزة القياس الرقمية

- أجهزة قياس الجهد الرقمية Digital Voltmeters (DVM)
  - تتكون من ثلاثة أجزاء رئيسية: محول تماثلي/رقمي (A/D Converter)، وحدات العد العشري (Decade Counting Units) و الجزء الخاص بالعرض الرقمي (Display Unit)
  - أصناف أجهزة قياس الجهد الرقمية اعتماداً على التصميم الداخلي:
    - أجهزة قياس الجهد الرقمية ذات الميل الواحد (Single-Slope DVM's)
    - أجهزة قياس الجهد الرقمية ذات الميل المزدوج (Dual-Slope DVM's)
    - محولات الجهد إلى تردد (Voltage-to-Frequency Converter)
    - أجهزة قياس الجهد الرقمية ذات التقارب المتتالي (Successive-Approximation DVM's)
  - أجهزة قياس الجهد الرقمية ذات الميل الواحد (Single-Slope DVM's)
    - يعتبر من أجهزة القياس الرقمية الرخيصة الثمن
    - مبدأ العمل: يعتمد على فكرة تحويل قيمة الجهد التماثلي إلى زمن يتناسب خطياً مع قيمة هذا الجهد، وعليه يمكن استخدام دوائر العد العشرية لبيان الزمن في شكله الرقمي
      - تمتلك دائرة جهاز القياس دخلان: احدهما هو الجهد المقارن ($-V_{ref}$)وهو سالب الإشارة والثاني جهد الدخل المراد قياسه والذي سيتم تحويله (Vx) وهو موجب الاشارة
      - دائرة المكامل Integrator
      - مقارن للجهد Comparator
      - بوابة AND
      - دائرة عداد Counter
      - دائرة اظهار رقمية Digital Readout

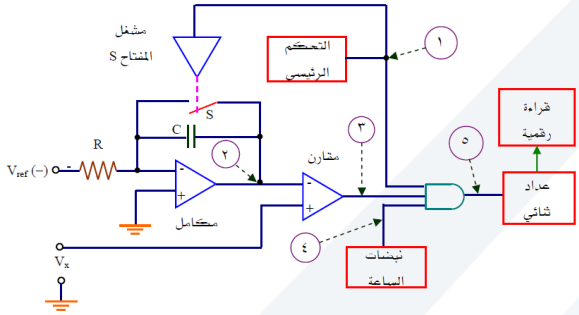


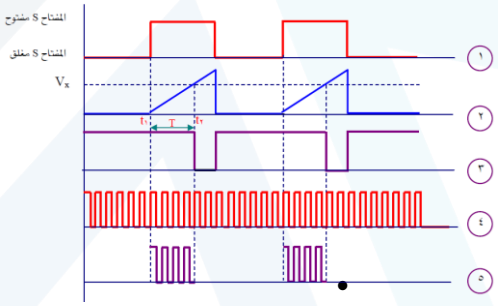
أجهزة القياس الرقمية

- أجهزة قياس الجهد الرقمية Digital Voltmeters (DVM)
  - أجهزة قياس الجهد الرقمية ذات الميل الواحد (Single-Slope DVM's)
    - طريقة قياس الجهد:
      - يوصل الجهد الموجب المراد قياسه على الطرف غير العاكس لمقارن الجهد
      - تقوم البوابة الرئيسية للتحكم (Main Gate Control) بتوليد نبضة موجبة والتي تستخدم للتحكم بفتح واغلاق المفتاح S وعليه سيصبح الدخل العلوي للبوابة AND مساوياً للواحد عند الحافة الصاعدة للبوابة
      - في حالة المفتاح S مفتوحاً، يبدأ المكثف C بالشحن خطياً من الصفر إلى الاتجاه الموجب والتي تمثل الجهد على الطرف العاكس لمقارن الجهد
      - خرج مقارن الجهد يكون High طالما الجهد المراد قياسه V_x أكبر من خرج دائرة المكامل، مما يجعل الطرف الأوسط للبوابة AND ايضاً High
      - يتم التحكم بالدخل الثالث للبوابة AND عن طريق نبضات ساعة Clock مولدة من مولد النبضات، وبما أن دخلي بوابة الـ AND الأول والثاني High يكون خرج البوابة هو عبارة عن مجموعة النبضات المولدة من مولد النبضات والتي يمكن عدها عن طريق العداد الثنائي Binary Counter
      - عندما تصل شحنة المكثف إلى مستوى أعلى بقليل من الجهد المراد قياسه V_x يتحول خرج مقارن الجهد إلى الصفر Low، وهذا يعني أن كرد البوابة AND في هذه اللحظة سيساوي الصفر، الأمر الذي سيمنع نبضات الساعة Clock من المرور إلى العداد الثنائي
      - قيمة العداد الثنائي ستتناسب مع قيمة الجهد المراد قياسه Vx والذي سيظهر على شاشة العرض الرقمية
      - بعد مدة زمنية والتي تحدد عن طريق بوابة التحكم الرئيسية (Main Gate Control) يهبط الجهد من بوابة التحكم الرئيسية إلى الصفر، الأمر الذي سيسبب في إغلاق المفتاح S والذي سيسبب تفريغ المكثف C، مما يمنع مرور أي نبضات حتى بداية الدورة القادمة

أجهزة القياس الرقمية

- أجهزة قياس الجهد الرقمية Digital Voltmeters (DVM)
  - أجهزة قياس الجهد الرقمية ذات الميل الواحد (Single-Slope DVM's)
    - طريقة قياس الجهد:





https://manara.edu.sy/

أجهزة القياس الرقمية

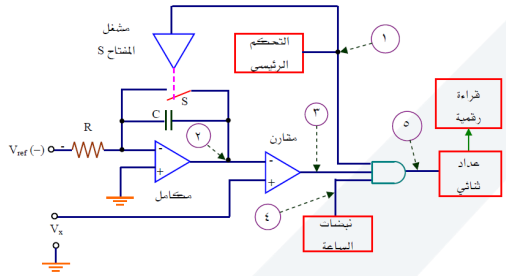
- أجهزة قياس الجهد الرقمية Digital Voltmeters (DVM)
  - أجهزة قياس الجهد الرقمية ذات الميل الواحد (Single-Slope DVM's)
    - البرهان الرياضي لتناسب قيمة الجهد المراد قياسه مع مجموعة النبضات التي تم عدها ضمن العداد الثنائي:
      - يمكن كتابة معادلة خرج دائرة التكامل $V_{io}(t)$ كما يلي:
        - $V_{io}(t) = - -\frac{1}{RC}\int_{t1}^{t} -V_{ref}dt$
        - $V_{io}(t) = \frac{1}{RC}V_{ref}(t - t1)$
      - حيث t1 تعبر عن اللحظة الزمنية التي يبدأ المكثف عندها في الشحن، فإذا كانت t2 تمثل اللحظة التي يتساوى عندها خرد دائرة المكامل مع الجهد المراد قياسه
        - $if\ t = t2 \Rightarrow V_{io}(t2) = V_x = \frac{1}{RC}V_{ref}(t2 - t1)$
      - وبالتالي تكون الفترة الزمنية من t1 إلى t2 هي الزمن T المراد حسابه، وعليه:
        - $V_x = \frac{1}{RC}V_{ref}T\ OR\ T = RC\frac{V_x}{V_{ref}}$
      - واعتماداً على المعادلة السابقة نجد أن الفترة الزمنية T تتناسب مباشرة مع الجهد المراد قياسه Vx

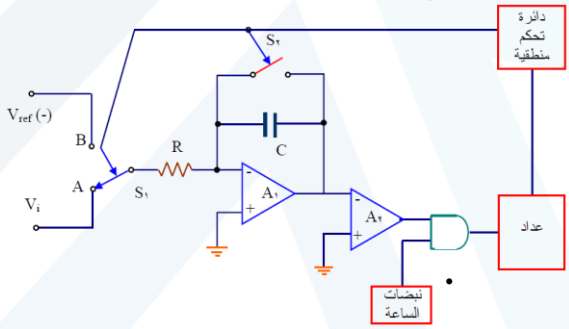
أجهزة القياس الرقمية

- أجهزة قياس الجهد الرقمية Digital Voltmeters (DVM)
  - أجهزة قياس الجهد الرقمية ذات الميل الواحد (Single-Slope DVM's)
    - عيوب هذا النوع من الأجهزة
      - تتميز هذه الأجهزة بعدم استقرار الجهد بما فيه الكفاية
        - السبب هو تأثير عملية تحويل الجهد إلى زمن بدرجة الحرارة (درجة الحرارة تؤثر على قيمة C و R بالمعادلة الأخيرة
        - بالإضافة إلى ضرورة ثبات قيمة الجهد خلال فترة التحويل
    - مثال:
      - احسب الفترة الزمنية T لجهاز قياس الجهد الرقمي ذي الميل الواحد، إذا كانت قيمة المقاومة 10KΩ وقيمة سعة المكثف 0.1μF، علماً بأن قيمة الجهد المراد قياسه 5V وقيمة جهد المقارن (المرجعي) 10V-
      - بفرض تردد مولد النبضات 1MHz المطلوب: حساب قيمة العدد الذي سيشير إليه العداد الثنائي والعلاقة (معامل التحويل) بين العداد الثنائي وقيمة الجهد المقاسة بالإضافة إلى حساب قيمة أقل جهد يمكن حسابه
    - الحل:
      - $T = RC\frac{V_x}{V_{ref}} = 5\ \text{mSec}$
      - أولاً يجب حساب زمن النبضة الواحدة والتي تساوي مقلوب التردد أي 1μSec أي أن العداد الثنائي سيعد 5000 نبضة ضمن الفترة T وعليه تكون العلاقة بين الجهد وعدد نبضات الساعة المعدود هو 10^{-3} وقيمة أقل جهد يمكن قياسه هو عندما يعد العداد الثنائي نبضة واحدة والذي يقابل قيمة تساوي 1 mV

أجهزة القياس الرقمية

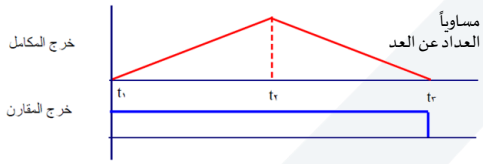
- أجهزة قياس الجهد الرقمية Digital Voltmeters (DVM)
  - أجهزة قياس الجهد الرقمية ذات الميل المزدوج (Dual-Slope DVM's)
    - تتميز هذه الأنواع من الأجهزة بدرجة عالية من المناعة ضد التشويش
    - يعتبر المكامل A1 الجزء الأساسي لدارة أجهزة قياس الجهد ذو الميل المزدوج والذي يتكون من مكبر عمليات مع مقاومة ومكثف
    - يعطي مقارن الجهد A2 خرجاً منخفضاً Low عندما يكون خرج المكامل سالباً، بينما يعطي خرجاً عالياً High عندما يكون خرج المكامل موجباً





أجهزة القياس الرقمية

- أجهزة قياس الجهد الرقمية Digital Voltmeters (DVM)
  - أجهزة قياس الجهد الرقمية ذات الميل المزدوج (Dual-Slope DVM's)
    - مبدأ عمل جهاز القياس:
      - في البداية تقوم دائرة التحكم المنطقي بعمل الآتي:
        - غلق المفتاح S2 لفترة وجيزة لتفريغ أي شحنة بالمكثف C
        - تحويل المفتاح S1 إلى الوضع A
        - تصفير العداد
      - في حالة المفتاح S2 مفتوحاً يبدأ مكثف المكامل في الشحن وبالتالي يبدأ خرج المكامل بالزيادة في الاتجاه السالب (الشكل مرسوم بطريقة عكسية للسهولة)
      - بمجرد أن يصبح خرج المكامل أقل من الصفر يؤدي ذلك إلى جعل خرج مقارن الجهد مرتفعاً High، وعليه ستسمح البوابة AND بمرور نبضات الساعة إلى العداد
      - يبدأ العداد بالعد إلى أن يصل للوضع الذي يزيد فيه عن مدى العداد وبفرض عند الزمن t2 فتتولد نبضة تسمى بـ Overflow Pulse والتي تجعل دائرة التحكم المنطقية تعمل على تحويل المفتاح S1 إلى الوضع B وبذلك يوصل الجهد المقارن Vref إلى دخل المكامل وفي نفس الوقت يكون العداد في حالة تصفير
      - يبدأ المكثف C في تفريغ شحنته (الشحن بالاتجاه الموجب) بمعدل ثابت خلال الفترة بين t2 و t3 وفي نفس الوقت يقوم العداد بالعد من جديد، حيث يستمر بالعد إلى أن تصل الشحة على المكثف صفر عند الزمن t3، الأمر الذي سيؤدي إلى جعل خرج مقارن الجهد مساوياً للصفر Low، وبالتالي تمنع البوابة AND نبضات الساعة Clock من المرور إلى العداد فيتوقف العداد عن العد
        - يمثل العدد الذي تم عده خلال الفترة من t2 إلى t3 قيمة الجهد المراد قياسه
      - عند الزمن t3 تقوم دائرة التحكم المنطقية بإرسال نبضة لجهاز العرض الرقمي لكي يظهر القيمة الرقمية للجهد المراد قياسه



أجهزة القياس الرقمية

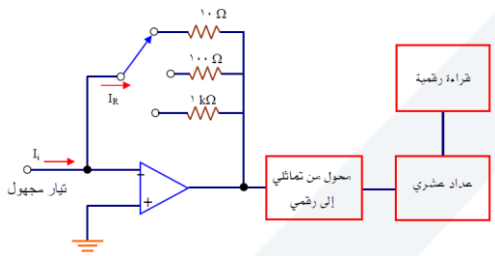
- أجهزة قياس الجهد الرقمية Digital Voltmeters (DVM)
  - أجهزة قياس الجهد الرقمية ذات الميل المزدوج (Dual-Slope DVM's)
    - البرهان الرياضي:
      - معادلة خرج المكامل عندما يكون المفتاح S1 على الوضع A تعطى بالعلاقة التالية
      - $V_1(t) = -\frac{1}{RC}\int_{t1}^{t} V_{in}dt\,, where\ t1 \le t \le t2$
      - $V_1(t) = -\frac{V_{in}}{RC}(t - t1)$
      - $when\ t = t2 \implies V_1(t) = V_1(t2) = -\frac{V_{in}}{RC}(t2 - t1)$
      - $if\ T1 = t2 - t1 \implies V_1(t2) = -\frac{V_{in}T1}{RC}$
      - بينما وبشكل مشابه تكون معادلة خرج المكامل عند الوضعية B بالشكل التالي
      - $V_2(t) = V_1(t2) + \frac{1}{RC}\int_{t2}^{t} V_{ref}dt\,, where\ t2 \le t \le t3$
      - $V_2(t) = V_1(t2) + \frac{V_{in}}{RC}(t - t2)$
      - $when\ t = t3 \implies V_2(t3) = 0$
      - $\frac{1}{RC}V_{ref}(t3 - t2) = \frac{1}{RC}V_{in}T1$
      - $if\ T2 = t3 - t2 \implies V_{ref}T2 = V_{in}T1$
      - $\frac{T2}{T1} = \frac{V_{in}}{V_{ref}} \implies V_{in} = V_{ref}\frac{T2}{T1}$
      - وعليه يمكن القول أن القيمة الرقمية للعداد تتناسب مع الجهد المراد قياسه والتي تتناسب مع الفترة الزمنية T2

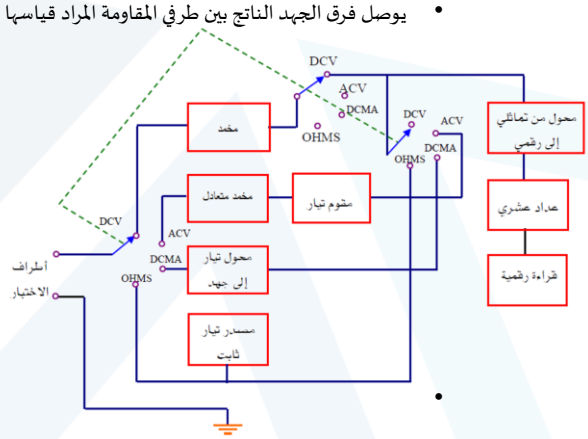
أجهزة القياس الرقمية

- أجهزة القياس الرقمية متعددة القياسات Digital Multimeter (DMM)
  - يتكون هذا النوع من الأجهزة من أجد الأنواع المختلفة للمحولات التماثلية/الرقمية بالإضافة إلى دائرة عداد عشري Decade Counter بالإضافة إلى مخمد (موهن) عادي Attenuator في حالة قياس الجهد المستمر ومخمد متعادل Compensated Attenuator في حالة قياس الجهد المتناوب
  - يستخدم هذا الجهاز لقياس الجهد المستمر والمتناوب والتيار المستمر والمقاومة
  - في حال استخدامه لقياس الجهد المستمر يوصل الجهد عن طريق المخمد إلى دخل المحول التماثلي/الرقمي ومنه إلى العداد ثم جهاز العرض الرقمي
  - في حالة قياس الجهد المتناوب فيوصل الجهد عن طريق المخمد المتعادل ثم الموحد Rectifier فدخل المحول التماثلي/الرقمي ومنه إلى العداد ثم جهاز العرض الرقمي
  - في حالة قياس التيار المستمر يتم استخدام محول تيار إلى جهد Current-to-Voltage Converter، حيث التيار المراد قياسه يوصل بوصلة التجميع Summing Junction عند دخل مكبر العمليات
    - بما أن مقاومة الدخل لمكبر العمليات عالية جداً، فإن تيار الدخل للمكبر يساوي الصفر تقريباً
    - وبالتالي فإن التيار I_R يساوي تقريباً التيار I_i
    - التيار I_R يسبب فرق جهد Voltage Drop على طرفي إحدى المقاومات الموضحة والذي يتناسب مع قيمة التيار المراد قياسه
    - يتم تحويل هذا الجهد إلى قيمة رقمية بواسطة المحول التماثلي/الرقمي ومنه إلى العداد ثم جهاز العرض الرقمي

أجهزة القياس الرقمية

- أجهزة القياس الرقمية متعددة القياسات Digital Multimeter (DMM)
- في حال قياس قيمة مقاومة مجهولة فإنه يتم تمرير تيار معلوم القيمة من مصدر تيار ثابت خلال المقاومة المجهولة
- يوصل فرق الجهد الناتج بين طرفي المقاومة المراد قياسها إلى المحول التماثلي/الرقمي ومنه إلى العداد ثم جهاز العرض الرقمي





جسور القياس

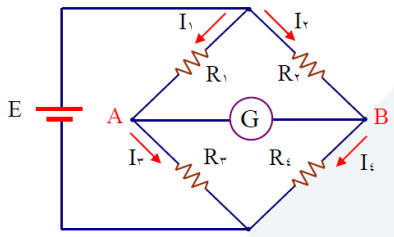
- التعرف على أنواع الجسور المختلفة المستخدمة في دوائر التيار المستمر
- التعرف على أنواع التطبيقات المختلفة للجسور المستخدمة في دوائر التيار المستمر
- التعرف على أنواع الجسور المختلفة في دوائر التيار المتناوب
- التعرف على أنواع التطبيقات المختلفة للجسور المستخدمة في دوائر التيار المتناوب

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

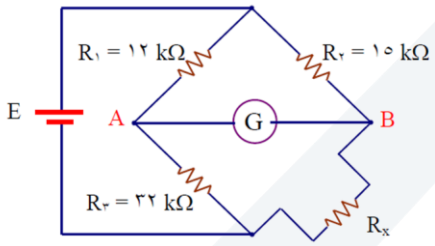


جسور القياس

- 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

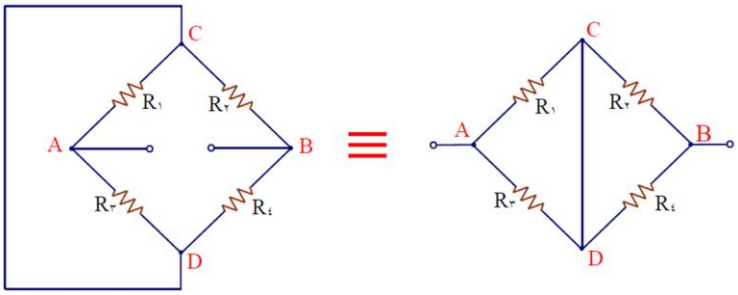
- الجسور المستخدمة في دوائر التيار المستمر Direct Current Bridges:
  - جسر ويتستون Wheatstone Bridge:
    - استخدام جسر ويتستون لقياس مقاومة مجهولة
    - مثال:
    - المطلوب حساب قيمة المقاومة المجهولة Rx في الدائرة الموضحة بالشكل بفرض أن دائرة الجسر في حالة اتزان



- 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:
      - $I_G = \frac{V_{th}}{R_{th}+R_G}$



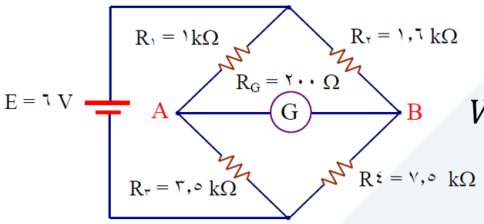
- حساب Vth:
  - يتم حساب Vth بع
  والذي ينص على أ

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

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