١ تأثير الحمل في حالة استخدام جهاز الملف المتحرك كجهاز قياس للجهد

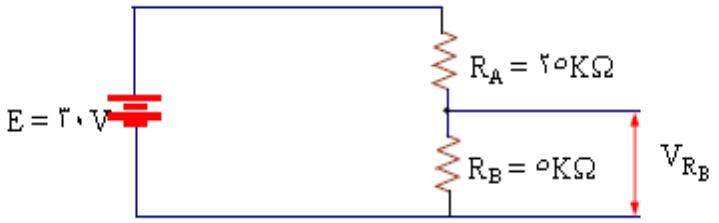
١

يجب أن تكون مقاومة جهاز قياس الجهد كبيرة جدا بالنسبة للحمل المراد قياس الجهد على طرفيه، حتى تمنع مرور التيار بالجهاز إلا بالقدر اللازم فقط لانحراف المؤشر، أما إذا صغرت قيمة المقاومة فإنه يمر بها جزء كبير من التيار مما يؤثر على دقة القراءة، وهو ما يسمى بتأثير الحمل.

يوضح شكل رقم (٣ -١٢) وضعا يؤدى إلى أخطاء في قراءة الجهد في بعض الحالات، والمطلوب قياس فرق الجهد على طرفي المقاومة R_B، وبتطبيق قاعدة مجزئ الجهد، يكون الجهد على طرفي المقاومة R_B بدون توصيل مقياس الجهد هو:

$$V_{R_B} = E \times \frac{R_B}{R_A + R_B} \qquad (٣ - ٣٩)$$

$$V_{R_B} = 30V \times \frac{5\,k\Omega}{25\,k\Omega + 5\,k\Omega} = 5\,V$$



شكل رقم (٣ -١٢) دائرة توضح تأثير الحمل في حالة الفولتميتر.

بقياس هذا الجهد بواسطة فولتميتر له مقاومة داخلية مقدارها ١٠kΩ، ففى هذه الحالة يقلل الفولتميتر من القيمة الفعلية لمقاومة الدائرة، لأنه موصل على التوازي مع المقاومة R_B، وبالتالي تكون محصلة المقاومتين على التوازي R_{eq} تساوي:

$$R_{eq} = R_B // R_V$$

$$= \frac{R_B \times R_V}{R_B + R_V}$$

$$= \frac{5\,k\Omega \times 10\,k\Omega}{5\,k\Omega + 10\,k\Omega} = 3.33\,k\Omega$$

وبناء على ذلك، تكون قراءة الجهد التي يشير إليها مقياس الجهد، وبتطبيق قاعدة مجزئ الجهد تساوي:

$$V_{R_B} = E \times \frac{R_{eq}}{R_{eq} + R_A} = 30\ V \times \frac{3.33\ k\Omega}{3.33\ k\Omega + 25\ k\Omega} = 3.53\ V$$

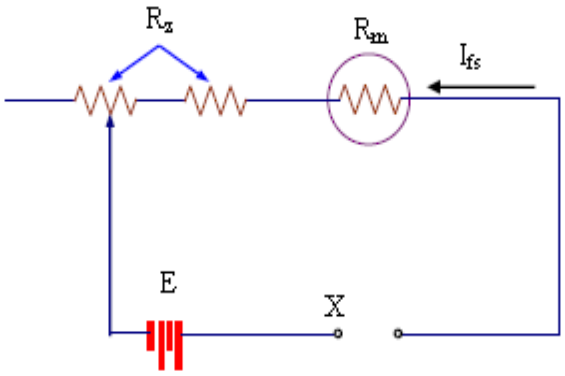
وهنا نجد أن نسبة الخطأ في قيمة الجهد نتيجة لتأثير الحمل تساوي ٢٩.٤ % ، وهذا التأثير كبير نظرا لأن مقاومة مقياس الجهد صغيرة جدا.

ولكي يعطى مقياس الجهد بيانا صحيحا لقيمة الجهد ، ينبغي ألا تزيد مقاومته الداخلية كثيراً جداً عن المقاومة التي يقاس الجهد بين طرفيها ، فمن الأفضل في الحالة الموضحة في شكل رقم (٣ -١٢) أن تزيد مقاومة مقياس الجهد الداخلية ، عن مئة ضعف قيمة مقاومة الحمل ، أي أن المقاومة الداخلية يتحتم أن تعادل ٥٠٠ kΩ أو أكثر.

٢ استخدام جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك كجهاز قياس للمقاومة

الأوميتر جهاز يستعمل لقياس المقاومة قياساً مباشراً بواسطة مؤشر يتحرك على مقياس مدرج بالأوم ، وفي هذه الحالة يكون القياس أكثر سهولة ويسراً من أساليب القياس غير المباشرة باستخدام الفولتميتر و الأميتر.

ويمكن استخدام جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك مع بطارية ومقاومة معلومة للحصول على دائرة أوميتر بسيطة كما هو موضح في شكل رقم (٣ -١٣)، وهو ما يطلق عليه بأوميتر التوالي.



شكل رقم (٣ -١٣) الدائرة الأساسية لجهاز الأوميتر

تتكون الدائرة الأساسية لجهاز الأوميتر كما هو مبين في شكل رقم (٣ -١٣)، من مقاومة معلومة (R_z) وميللي أميتر ذو ملف متحرك (R_m) وبطارية (E)، وتكمل المقاومة المجهولة (R_x) الدائرة عندما توصل بين طرفي دخل الأوميتر [النقطتين X, Y في شكل رقم (٣ -١٣)] وتكون جميع هذه العناصر متصلة على التوالي.

التيار المار في الدائرة عند توصيل المقاومة المجهولة (R_x) يكون:

$$I = \frac{E}{R_z + R_m + R_x} \qquad (٣٠ - ٢)$$

من الواضح أن قيمة التيار المار بالدائرة تعتمد على قيمة المقاومة المجهولة (R_x)، فإذا كانت: $R_x = \infty$ أي أن الدائرة مفتوحة فإن: $I = 0$ ، وإذا كانت $R_x = 0$ فإن:

$$I = \frac{E}{R_z + R_m} \qquad (٣١ - ٢)$$

وتختار قيم (E, R_z, R_m)، بحيث يسبب التيار المار في هذه الحالة أقصى انحراف للمؤشر(I_{FS}).

$$I_{f.s} = \frac{E}{R_z + R_m} \qquad (٣٢ - ٢)$$

وإذا كانت $R_x = R_z + R_m$ ، فإن:

$$I = \frac{E}{2(R_z + R_m)} = \frac{1}{2} I_{FS} \qquad (٣٣ - ٢)$$

ويكون الانحراف عندئذ نصف I_{fs} ، أي يكون المؤشر عند منتصف التدريج تماما. وإذا كانت $R_x = 2(R_z + R_m)$ ، فإن:

$$I = \frac{E}{3(R_z + R_m)} = \frac{1}{3} I_{FS} \qquad (٣٤ - ٢)$$

وإذا كانت $R_x = 3(R_z + R_m)$ ، فإن:

$$I = \frac{E}{4(R_z + R_m)} = \frac{1}{4} I_{FS} \qquad (٣٥ - ٢)$$

وهكذا، وحيث إن زاوية انحراف المؤشر تتناسب مع التيار فيمكن أن يعاير تدريج الجهاز بحيث يبين قيمة المقاومة المجهولة مباشرة، ويلاحظ أن تدريج هذا النوع من الأجهزة معكوس، أي يبدأ من (∞) حتى الصفر دائما، وأن قيمة المقاومة المجهولة (R_x) عند منتصف التدريج تساوي مقاومة دخل الأوميتر ($R_z + R_m$)، وهي قيمة هامة في دراسة خواصه، كما أن التدريج غير منتظم [غير خطي] حيث يزداد ازدحامه كلما كبرت قيمة المقاومة ($R_z + R_m$). وقبل القياس يجب قفل الطرفين X, Y في شكل رقم (٢ -١٣)، أي عمل دائرة قصر(short) وضبط مؤشر الجهاز على صفر التدريج. ويتم ضبط الصفر للجهاز بتغيير الجزء المتحرك من المقاومة (R_z).

استخدام القناطرفي القياس

مقدمة Introduction

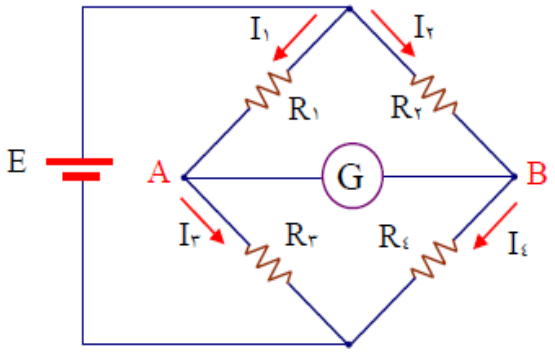
تعد تقنية القياسات الكهربائية بطريقة قنطرات القياس من أدق أساليب القياس التي تعتمد في أساس عملها على مقارنة العنصر الكهربائي المقاس بمجموعة أخرى من العناصر الموجودة في دائرة القنطرة. وبهذا فإنها لا تعتمد في تقنيتها على معايرة جهاز القياس المستخدم أو خواصه الفيزيائية. وتستخدم قنطرات القياسات على نطاق واسع لقياس المقاومات والمكثفات والملفات والممانعات. وتستخدم دوائر القنطرات أيضاً في دوائر التحكم المختلفة، حيث يحتوي أحد أذرع القنطرة على عنصر كهربائي له خاصية التأثر بأحد الكميات الفيزيائية المطلوب التحكم فيه (درجة حرارة، ضغط جوي، وغيرها).

في هذه الوحدة سوف نتعرض للمبادئ الأساسية للقنطرات المستخدمة في دوائر التيار المستمر بالإضافة للقنطرات المستخدمة في دوائر التيار المتردد وتطبيقاتها في القياسات و التحكم.

القنطرات المستخدمة في دوائر التيار المستمر Direct Current Bridges

قنطرة ويتستون Wheatstone Bridge

تتكون قنطرة ويتستون في أبسط صورها (كما هو مبين بشكل رقم (٥ -١)) من فرعين متوازيين يحتوي كل فرع على مقاومتين متصلتين على التوالي. ويغذي هذين الفرعين مصدر جهد مستمر (E) فيسبب مرور التيارات الكهربائية فيهما. ويوصل جهاز لقياس الجهد (غالباً جلفانوميتر) فيما بين الفرعين المتوازيين وذلك لضبط حالة اتزان القنطرة.



شكل (٥ -١) الدائرة الكهربائية لقنطرة ويتستون.

لاستخدام دائرة قنطرة ويتستون لتحديد مقاومة مجهولة، فإن هذه المقاومة المجهولة توضع كأحد أذرع القنطرة (غالباً R_1) ويتم تغيير مقاومة أحد الأذرع الأخرى (غالباً R_2) حتى يتم الاتزان، الذي يعني في هذه الحالة عدم وجود فرق في الجهد بين طرفي الجلفانوميتر وبالتالي عدم مرور تيار فيه.

شرط اتزان قنطرة ويتستون Condition of Balance of Wheatstone Bridge

ويعني هذا الاتزان أن فرق الجهد بين النقطتين A و B يساوي صفراً وبالتالي،فإن فرق الجهد على المقاومة R_1 يساوي فرق الجهد على المقاومة R_2، أي:

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \qquad (٥-١)$$

وبالمثل فإن فرق الجهد على المقاومة R_2 يساوي فرق الجهد على المقاومة R_1، أي:

$$I_3 R_3 = I_4 R_4 \qquad (٥-٢)$$

وبما أن تيار الجلفانوميتر يساوي صفراً، إذن:

$$I_1 = I_3 \ , \ I_2 = I_4 \qquad (٥-٣)$$

وبقسمة المعادلة (٥ -١) على المعادلة (٥ -٢):

$$\frac{I_1 R_1}{I_3 R_3} = \frac{I_2 R_2}{I_4 R_4} \qquad (٥-٤)$$

وبتطبيق المعادلة (٥ -٣) في المعادلة (٥ -٤) نحصل على:

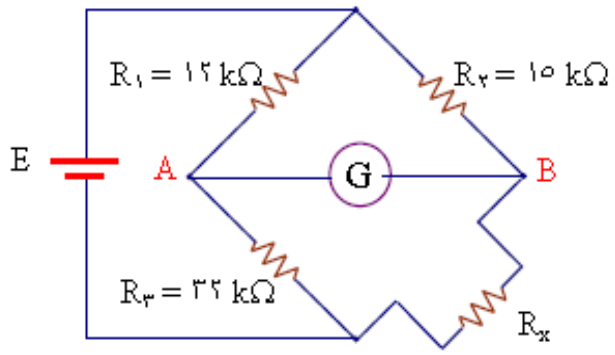
$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} \qquad (٥-٦)$$

والمعادلة (٥ -٦) تصف شرط اتزان القنطرة، وقد تكتب هذه المعادلة كالآتي:

$$R_1 R_4 = R_2 R_3 \qquad (٥-٧)$$

مثال (٥ -١)

احسب قيمة المقاومة المجهولة R_x في الدائرة المرسومة في شكل (٥ -٢) بفرض أن دائرة القنطرة في حالة اتزان.



شكل (٥ -٢) دائرة قنطرة ويتستون للمثال رقم (٥ -١).

الحل

بما أن القنطرة في حالة اتزان، إذن يمكن تطبيق شرط الاتزان (معادلة رقم (٥ -٧)) كما يلي:

$$R_1 R_x = R_2 R_3$$

إذن يمكن حساب قيمة المقاومة المجهولة R_x كما يلي:

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1} = \frac{15\,k\Omega \cdot 32\,k\Omega}{12\,k\Omega} = 40\,k\Omega$$

الحل العام لقنطرة ويتستون General solution of Wheatstone Bridge

يمكن استخدام نظريات الهندسة الكهربائية لإيجاد الحل العام لقنطرة ويتستون. وانسب هذه النظريات لإيجاد التيار المار في الجلفانوميتر هي نظرية ثفنن. في تلك النظرية يمكن حساب التيار في الجلفانوميتر باعتبار الدائرة الكهربائية التي تغذي الجلفانوميتر عبارة عن مصدر للجهد يسمى V_{th} ومقاومة مكافئة متوالية معه تسمى r_{th}، وتغذي هذه الدائرة مقاومة الجلفانوميتر R_G وهكذا يمكن حساب التيار في الجلفانوميتر كما يلي:

$$I_G = \frac{V_{th}}{r_{th} + R_G} \qquad (٥ -٨)$$

ويمكن حساب كل من V_{th} و r_{th} كما يلي:

أولاً: حساب V_{th}

يتم حساب فرق الجهد بين النقطتين A و B ويسمى V_{th} (بعد حذف مقاومة الجلفانوميتر R_G من الدائرة).

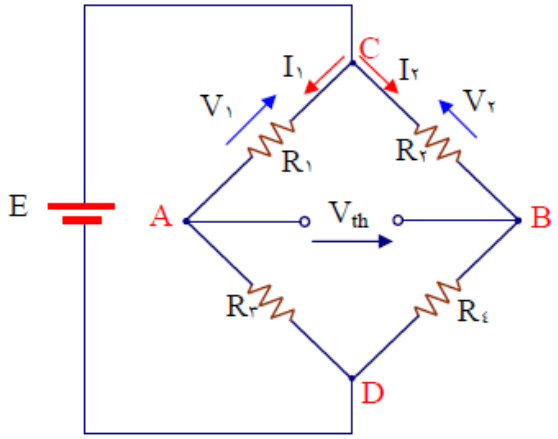
ويتم حساب V_{th} من قانون كيرشوف للجهود الذي ينص على أن مجموع الجهود في أي دائرة مغلقة يساوي صفراً. ومن شكل رقم (٥ -٣) يمكن حساب V_{th} كما يلي:

$$V_{th} = V_1 - V_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2 \qquad (٥ -٩)$$

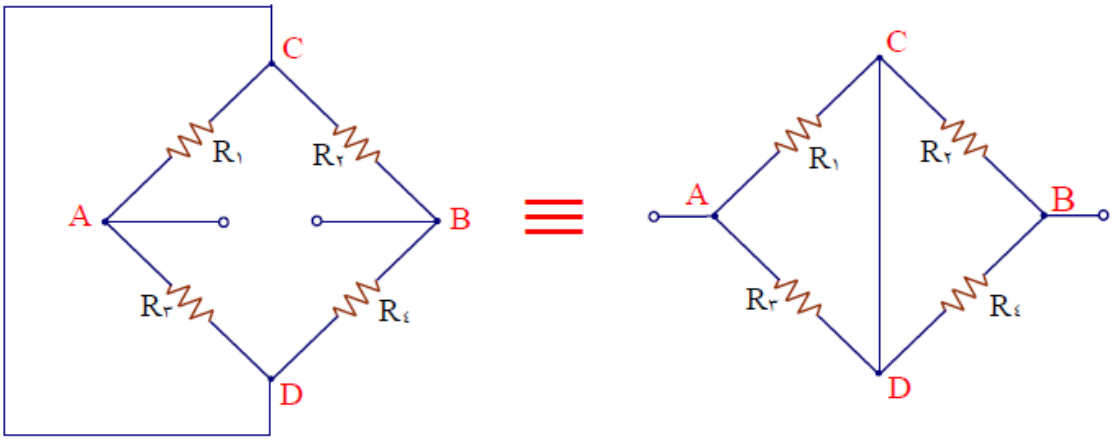
$$V_{th} = \frac{E}{R_1 + R_3} R_1 - \frac{E}{R_2 + R_4} R_2 = E\left(\frac{R_1}{R_1 + R_3} - \frac{R_2}{R_2 + R_4}\right) \qquad (٥ -١٠)$$

ثانياً: حساب r_{th}

لحساب r_{th} يتم حذف مصدر الجهد ويتم قصر الدائرة الكهربائية مكان طرفيه ثم يتم حساب المقاومة المكافئة بين النقطتين A و B وتسمى r_{th} كما في شكل (٥ -٤).



شكل (٥ -٣) دائرة حساب V_{th} لقنطرة ويتستون.



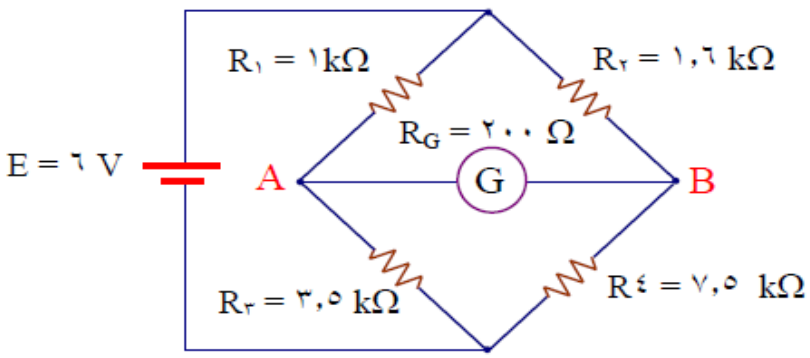
شكل (٥ -٤) دائرة حساب المقاومة المكافئة r_{th}.

وعلى ذلك يمكن حساب المقاومة المكافئة r_{th} على اعتبار المقاومتين R_1 و R_3 موصلتين على التوازي، وكذلك المقاومتين R_2 و R_4 موصلتين على التوازي، والمجموعتين موصلتين معاً على التوالي. ويمكن بالتالي التعبير عن المقاومة r_{th} رياضياً كما يلي:

$$r_{th} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4} \qquad (٥ - ١١)$$

مثال (٥ -٢)

احسب التيار المار في الجلفانوميتر الموضح في الشكل رقم (٥ -٥).



شكل رقم (٥ -٥) دائرة قنطرة ويتستون للمثال رقم (٥ -٢).

الحل

الطريقة المثلى لحساب التيار في الجلفانوميتر هي طريقة ثفنن:

نبدأ بحساب V_{th} من المعادلة رقم (٥ -١٠) كالآتي:

$$V_{th} = E\left(\frac{R_1}{R_1 + R_3} - \frac{R_2}{R_2 + R_4}\right)$$

$$V_{th} = 6 \times \left(\frac{1k\Omega}{1k\Omega + 3.5k\Omega} - \frac{1.6k\Omega}{1.6k\Omega + 7.5k\Omega}\right) = 0.278V$$

وثم نحسب r_{th} من المعادلة رقم (٥ -١١):

$$r_{th} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4}$$

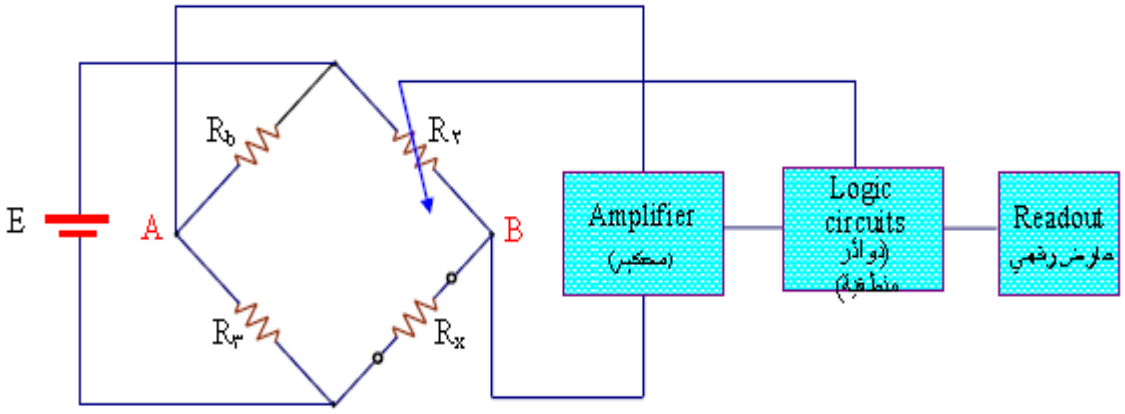
$$r_{th} = \frac{1\,k\Omega \times 3.5\,k\Omega}{1\,k\Omega + 3.5\,k\Omega} + \frac{1.6\,k\Omega \times 7.5\,k\Omega}{1.6\,k\Omega + 7.5\,k\Omega} = 2.096\,k\Omega$$

ثم نحسب التيار المار في الجلفانوميتر I_G من المعادلة رقم (٥ -٨):

$$I_G = \frac{V_{th}}{r_{th} + R_G} = \frac{0.278\,V}{2.096 \times 10^3\,\Omega + 200\,\Omega} = 121.4\,\mu A$$

القنطرات ذات القراءة الرقمية Digital readout Bridges

مع التطور الطبيعي لأجهزة القياس وظهور أجهزة القياس الرقمية وتطورها، كان لتقنية القياسات عن طريق قنطرات القياس نصيب من هذا التطور، فظهرت القنطرات الرقمية. و القنطرة الرقمية ما هي إلا قنطرة تماثلية تستخدم معها التقنية الرقمية لإظهار قيمة المقاومة المجهولة، وبهذا تم التغلب على أخطاء القياس البصرية. شكل رقم (٥ -٩) يبين أسلوب القنطرة الرقمية مطبق على قنطرة ويتستون حيث جهد الاتزان يتم تكبيره عن طريق مكبر Amplifier و يتم إدخاله إلى دائرة تحكم منطقية تتحكم في مقاومة الاتزان المتغيرة عن طريق إشارة تحكم رقمية لضبط اتزان القنطرة وتقوم بالتالي بحساب المقاومة المجهولة وعرض قيمتها على عارض رقمي.

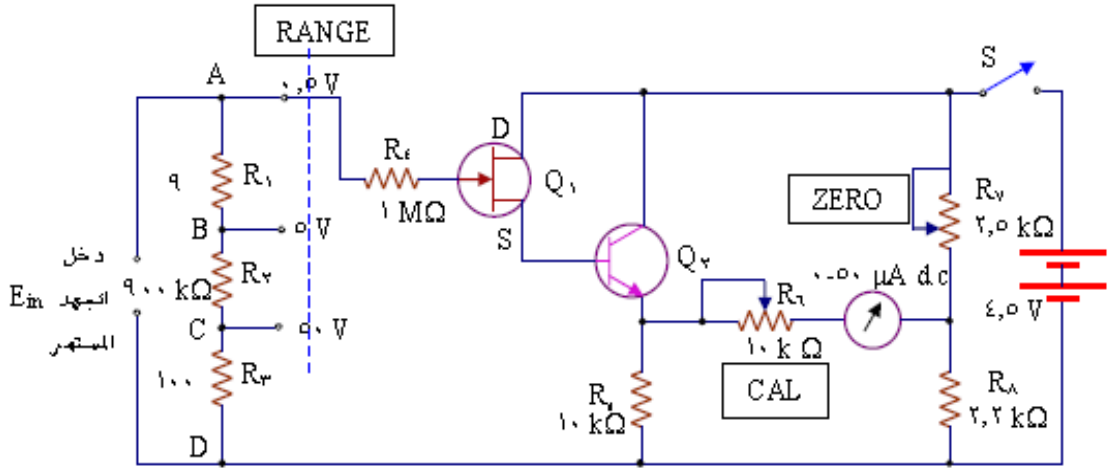


شكل رقم (٥ -٩) المخطط الصندوقي لقنطرة ويتستون ذات القراءة الرقمية.

الفولتميتر الالكتروني

في كثير من الأحيان يكون الجهد المستمر المطلوب قياسه صغيراً لدرجة أن جهاز قياس الجهد المستمر يكون غير قادرٍ على قياسه، لهذا وجب أولاً تكبير إشارة هذا الجهد لكي يتمكن الجهاز من استشعار هذه القيمة الصغيرة. من جهة أخرى، في معظم حالات قياس الجهد المستمر يكون لمقاومة جهاز

قياس الجهد تأثير على دقة القياس حيث تضاف قيمة هذه المقاومة إلى الدائرة الكهربائية مسببة تغيير في قيمة الجهد المراد قياسه. ولحل هذه المشكلة فمن الأفضل أن تكون قيمة مقاومة جهاز قياس الجهد كبيرة بالقدر الكافي لكي لا تتسبب في أخطاء القياس السابق ذكرها، ويا حبذا لو كانت قيمة مقاومة جهاز القياس لانهائية. وجهاز الفولتميتر الإلكتروني يفي بالغرض لحل المشكلتين السابق ذكرهما. ويتكون الفولتميتر الإلكتروني من مرحلة تكبير أو أكثر مع جهاز دارسونفال ذي الملف المتحرك. شكل (١٩) يبين الرسم التخطيطي للدائرة الأساسية للفولتميتر الإلكتروني ذي ارتباط مباشر بمكبر تأثير المجال. حيث الجهد المستمر الداخل إلى الدائرة يوزع مباشرة على مقسم جهد المكون من المقاومات R_1, R_2 & R_3. ويسمح بجهد أقصى قيمته ٠.٥ V بالتواجد على بوابة القناة n لترانزستور تأثير المجال (Q_1) بدون أي تشويش على شكل الموجة. وينقل ترانزستور تأثير المجال الإشارة بدوره إلى المرحلة الثانية وهي ترانزستور (Q_2) من النوع n-p-n. ويعمل الترانزستور (Q_2) كأحد أذرع دائرة قنطرة المكونة (بالإضافة للترانزستور من مقاومة ١٠ kΩ كباعث للترانزستور، مقاومة متغيرة ثلاثية الأطراف ٢.٥ kΩ بالإضافة إلى مقاومة ٢.٢ kΩ، ويحدث الاتزان للقنطرة بضبط المقاومة المتغيرة ثلاثية الأطراف ٢.٥ kΩ، وتتم المعايرة على أقصى انحراف لجهاز دارسونفال لقياس الجهد بضبط المقاومة المتغيرة ثلاثية الأطراف ١٠ kΩ الموصلة على التوالي مع جهاز دارسونفال لقياس الجهد. وبالتالي تكون ممانعة الدخل بالنسبة لجهاز الفولتميتر الإلكتروني ١٠ MΩ، التي هي في الواقع قيمة كبيرة بما فيه الكفاية بحيث لا تؤثر في قيمة الجهد المقاس.



شكل (١٩)