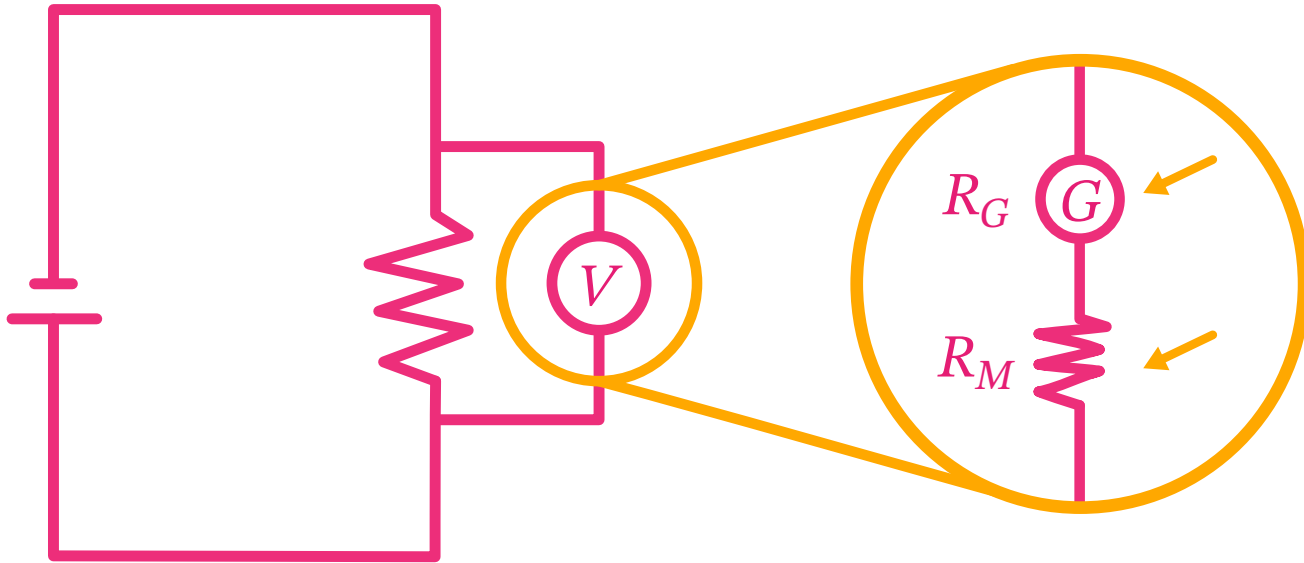


تصميم الفولتمتر



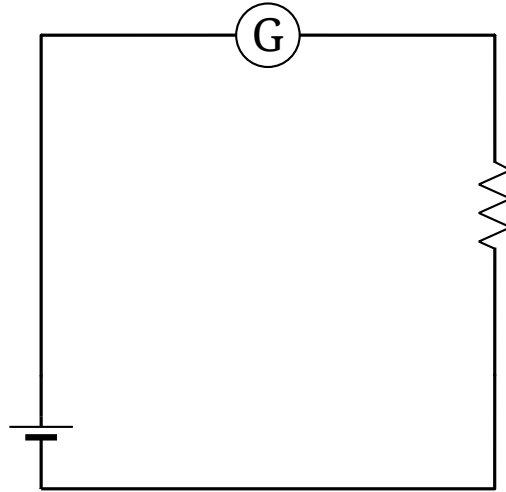
أهداف الدرس

ستتمكن من:

- ◀ وصف التوصيل الصحيح للجلفانومتر والمقاومة المضاعفة للجهد لتصميم فولتميتر
- ◀ وصف النسبة المطلوبة بين المقاومة المطلوبة للجلفانومتر والمقاومة المضاعفة للجهد
- ◀ حساب مدى قياسات الفولتميتر باستخدام التيار الكهربائي الذي يسبب الانحراف الكامل للجلفانومتر ونسبة مقاومة الجلفانومتر للمقاومة المضاعفة للجهد

ملخص: الجلفانومتر

يُستخدم الجلفانومتر لقياس شدة التيار في الدوائر الكهربائية عن طريق توصيله بها.

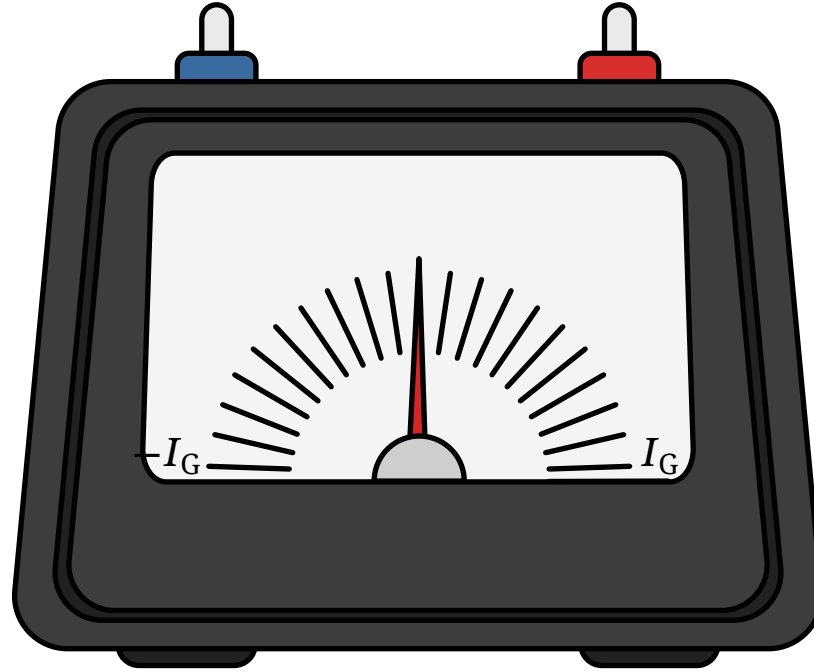


عند وجود تيار في الدائرة، يمر هذا التيار عبر الجلفانومتر الذي يقيسه. وللجلفانومتر مقاومة R_G . ترتبط هاتان القيمتان معًا بفرق الجهد من خلال قانون أوم:

$$V = IR.$$

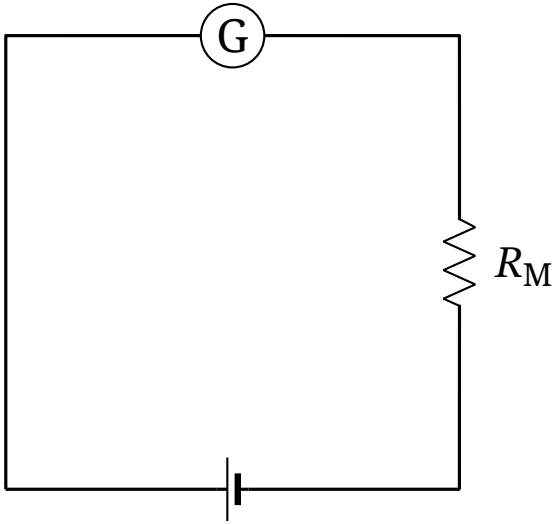
ملخص: الجلفانومتر (متابعة)

حيث R في هذه الحالة، مقاومة الجلفانومتر R_G . ومع ذلك لا يمكن استخدام هذه العلاقة مع معظم الجلفانومترات؛ لأنها عادةً ما تكون حساسة جدًا، وتقيس قيمًا صغيرة جدًا من شدة التيار في نطاق الميكرو والمللي أمبير. يمكننا القول إن القيمة القصوى لشدة التيار عند طرفي تدريج الجلفانومتر هي شدة تيار الجلفانومتر I_G .



تصميم الفولتميتر

يجعل هذا استخدام الجلفانومتر في حد ذاته غير عملي بوصفه فولتميترًا؛ حيث إنه سيُظهر فقط أقصى شدة تيار له I_G حتى إذا كانت شدة التيار الفعلية أكبر. لكن ثمة طريقة للتغلب على ذلك عن طريق توصيل مقاومة أخرى على التوالي مع الجلفانومتر تكون مقاومتها أكبر بكثير.



تتسبب المقاومة الإضافية في هذه الدائرة في انخفاض شدة التيار الكلية في الدائرة؛ لأن فرق الجهد يظل كما هو في $V = IR$. تُعرَف هذه المقاومة باسم المقاومة المضاعفة للجهد، وإذا كانت مقاومتها كبيرة بما يكفي، فإنها يمكن أن تسمح للتيار المار في الدائرة بأن ينخفض إلى النطاق الذي يمكن أن يقيسه الجلفانومتر، وهو ما يجعله أداة مناسبة لقياس الجهد.

مثال ١: قيمة المقاومة المضاعفة للجهد في الفولتميتر

يُستخدَم فولتميتر لقياس جهد مصدر تيار مستمر يُقدَّر جهده بعدّة وحدات من الفولت. مقاومة الجلفانومتر في الفولتميتر تساوي قيمةً صغيرةً بالملي أوم. أيُّ من الآتي يشرح بشكل صحيح لماذا يجب أن تكون قيمة المقاومة المضاعفة للجهد في فولتميتر مثل هذا أكبر بكثير من قيمة مقاومة الجلفانومتر الموصّلة بالمقاومة المضاعفة للجهد على التوالي؟

- أ. إذا كانت قيمة المقاومة المضاعفة للجهد مماثلة لقيمة مقاومة الجلفانومتر أو أقلّ منها، فسوف تصبح شدة التيار المار بالجلفانومتر أكبر من شدة التيار التي تجعل مؤشر الجلفانومتر ينحرف إلى أقصى التدريج.
- ب. إذا كانت قيمة المقاومة المضاعفة للجهد مماثلة لقيمة مقاومة الجلفانومتر أو أقلّ منها، فسوف تُنتج المقاومة مجالاً مغناطيسيّاً يُغيّر انحراف مؤشر الجلفانومتر بشكل ملحوظ.
- ج. إذا كانت قيمة المقاومة المضاعفة للجهد مماثلة لقيمة مقاومة الجلفانومتر أو أقلّ منها، فسوف يزداد جهد المصدر بشكل ملحوظ.
- د. إذا كانت قيمة المقاومة المضاعفة للجهد مماثلة لقيمة مقاومة الجلفانومتر أو أقلّ منها، فسوف ينعكس اتجاه انحراف مؤشر الجلفانومتر، ولن تظهر أيُّ قراءة على الفولتميتر.

مثال ١ (متابعة)

الحل

لن يتغيّر اتجاه مؤشر الجلفانومتر إذا كانت المقاومة المضاعفة للجهد صغيرة جدًا؛ لأن هذا يتطلب أن يكون التيار في الاتجاه المعاكس. ولذا فالخيار د ليس هو الإجابة الصحيحة.

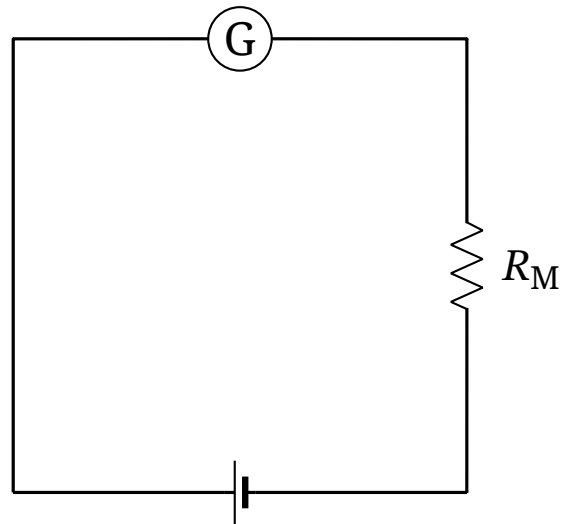
يعتمد عمل الجلفانومتر على المجال المغناطيسي الذي يؤدّي إلى انحراف مؤشره، لكن المقاومة لن تقوم بإنتاج مجال مغناطيسي؛ لذا فالإجابة ليست ب.

ولا يزداد جهد المصدر أو ينخفض اعتمادًا على المقاومات في الدائرة. ومن ثمّ فالإجابة ليست ج.

عمليًا تكون شدة التيار المار عبر المقاومة المضاعفة للجهد أعلى بكثير من شدة التيار المار عبر الجلفانومتر؛ ومن ثمّ فإن الإجابة الصحيحة هي أ.

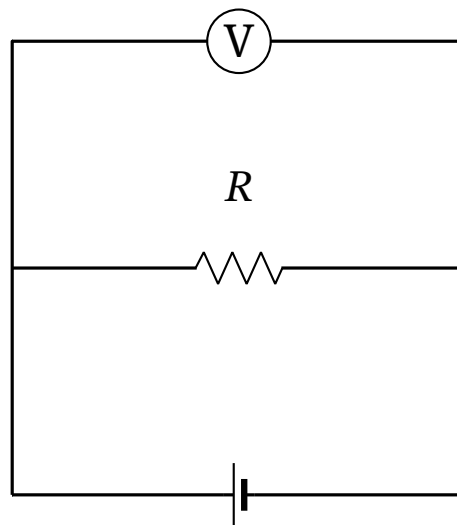
المقاومة المضاعفة للجهد

تُسمَّى هذه المقاومة المضافة المقاومة المضاعفة للجهد؛ لأنها تضاعف فعليًا مقدار الجهد الذي يمكن أن يقيسه الجلفانومتر بمفرده، وقيمتها أكبر بكثير من مقاومة الجلفانومتر. تكتب قيمة مقاومتها على الصورة R_M ، وتساعد هذه القيمة على تحديد مقدار فرق الجهد الذي يمكن قياسه. لا يحدث ذلك إلا عندما تكون المقاومة المضاعفة موصلة على التوالي مع الجلفانومتر، وليست على التوازي.



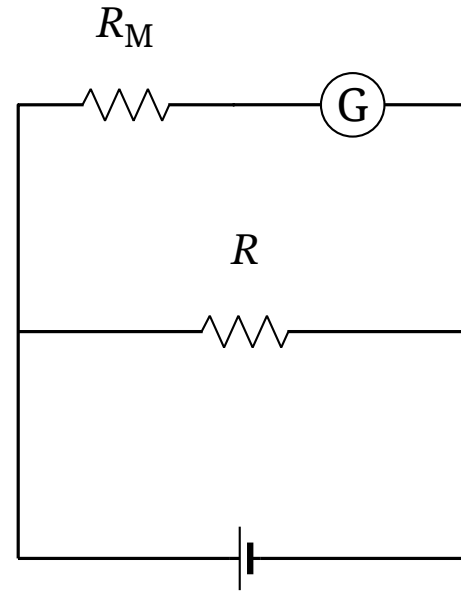
توصيل الفولتميتر

جدير بالملاحظة أن هذا يتم لإعداد الجلفانومتر والدائرة المضاعفة للجهد للاستخدام بوصفه فولتميترًا، وليس لتوصيل الفولتميتر بدائرة كهربية. ويوضح الشكل الآتي فولتميترًا موصلًا توصيلًا صحيحًا، ويقيس الجهد عبر المقاومة R .



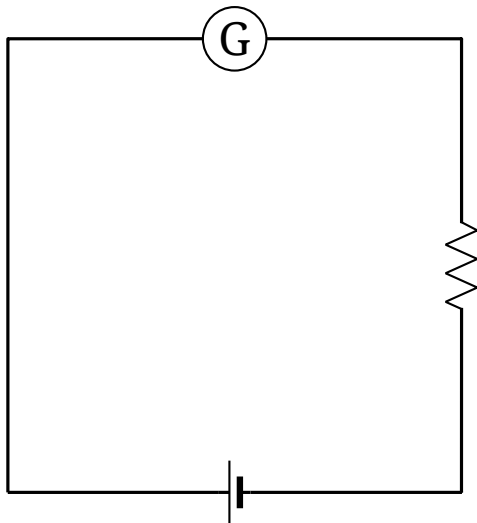
توصيل الفولتميتر (متابعة)

لكن فيما يخص صنع الفولتميتر، يجب أن تكون المقاومة المضاعفة للجهد موضّلة على التوالي مع الجلفانومتر. بتفكيك الفولتميتر في الشكل السابق إلى الجلفانومتر والمقاومة المضاعفة للجهد R_M ، يظهر الآتي:

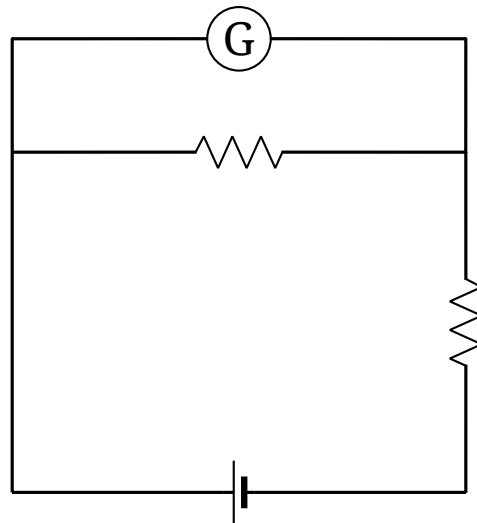


مثال ٢: توصيل المقاومة بشكل صحيح في فولتمتر قائم على جلفانومتر

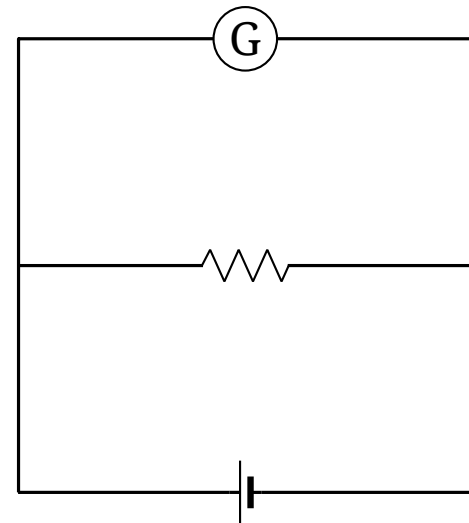
أيّ من الدوائر الآتية يمثّل بصورة صحيحة جلفانومترًا موصلًا بمقاومة مضاعفة للجهد لاستخدامه بوصفه فولتمترًا لقياس جهد مصدر تيار مستمر؟



(ج)



(ب)

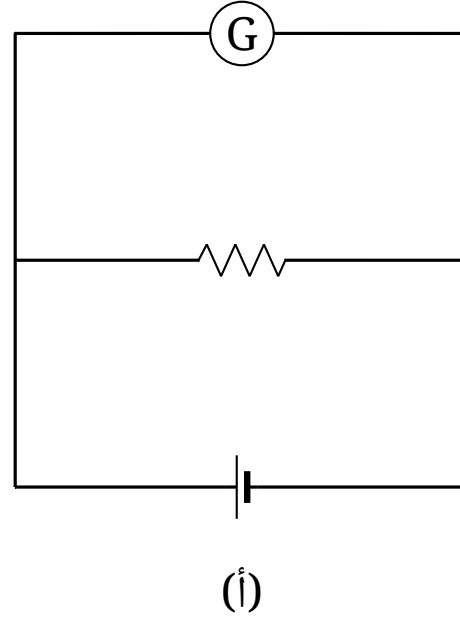


(أ)

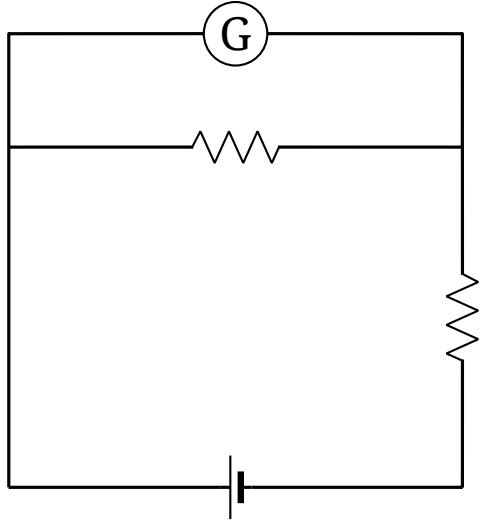
مثال ٢ (متابعة)

الحل

المقاومة في الدائرة أ موّصلة على التوازي وليس على التوالي. وهذا يؤدّي إلى انخفاض المقاومة الكلية الفعلية للدائرة، وهو ما لا نريده عند محاولة زيادة المدى الذي يمكننا قياسه. في حين يجب توصيل الفولتمتر على التوازي مع الدائرة الكهربائية لقياس فرق الجهد بشكل صحيح، فإنه عند صنع الفولتمتر باستخدام جلفانومتر موصلاً على التوالي مع الدائرة المضاعفة للجهد.

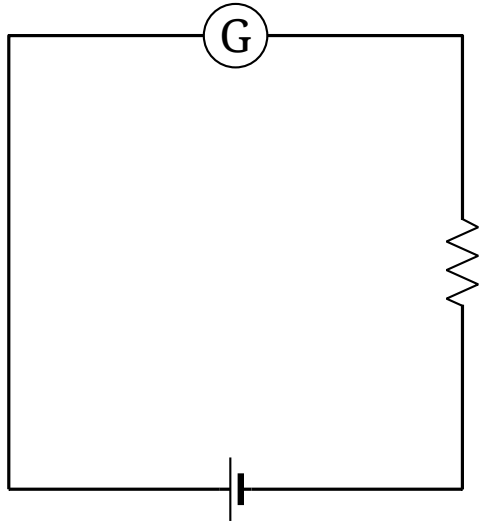


مثال ٢ (متابعة)



(ب)

في الدائرة ب هناك مقاومة موصّلة على التوالي، وأخرى موصّلة على التوازي مع الجلفانومتر. وكما هو الحال في الدائرة أ، فهذا سيؤدّي إلى انخفاض المقاومة الكلية، وهو ما يقلّل المدى الذي يمكن أن يقيسه الفولتمتر.



(ج)

في الدائرة ج هناك مقاومة موصّلة على التوالي مع الجلفانومتر ولا شيء غير ذلك. هذه هي الطريقة الصحيحة لتوصيل المقاومة مع الجلفانومتر لاستخدامه بوصفه فولتمترًا. إذن الإجابة الصحيحة هي الدائرة ج.

حساب أقصى فرق جهد

أقصى فرق جهد يمكن قياسه باستخدام الجلفانومتر يساوي حاصل ضرب أقصى شدة تيار يمكن للجلفانومتر قياسها والمقاومة الكلية للدائرة R_t . عند التعبير عن هذا باستخدام قانون أوم، يكون:

$$V_{\max} = I_G R_t.$$

المقاومة الكلية R_t لدائرة موصلة على التوالي تساوي مجموع المقاومات، إذن نحصل على:

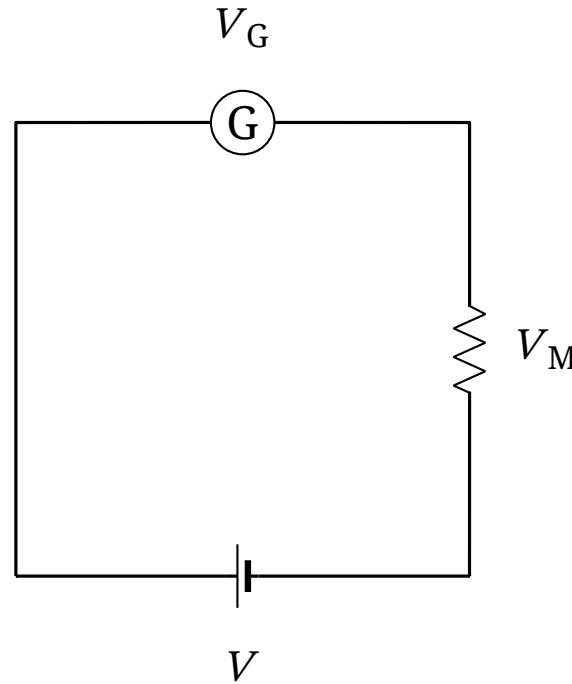
$$R_t = R_G + R_M.$$

وبذلك تكون معادلة أقصى جهد يمكن أن يقيسه الجلفانومتر:

$$V_{\max} = I_G (R_G + R_M).$$

مثال ٣: فرق الجهد عبر المقاومات المضاعفة للجهد ومقاومات الجلفانومتر

فرق الجهد V في الدائرة الكهربائية الموضحة مقداره 12 V ، وهو أكبر جهد يمكن قياسه باعتبار الدائرة فولتميترًا. مقاومة الجلفانومتر تساوي جزءًا واحدًا من مائة من المقاومة المضاعفة للجهد.



١. أوجد V_G ، التي تمثل فرق الجهد عبر الجلفانومتر. قرّب إجابتك لأقرب مللي فولت.
٢. أوجد V_M ، التي تمثل فرق الجهد عبر المقاومة المضاعفة للجهد. قرّب إجابتك لأقرب منزلة عشرية.

مثال ٣ (متابعة)

الحل

الجزء الأول

لدينا أقصى جهد يمكن قياسه 12 V ، ونسبة مقاومة الجلفانومتر إلى المقاومة المضاعفة للجهد:

$$\frac{R_M}{100} = R_G.$$

يمكن إيجاد فرق الجهد عبر الجلفانومتر V_G ، باستخدام قانون أوم:

$$V_G = I_G R_G.$$

لدينا نسبة المقاومة، لكن ليس لدينا I_G . يمكننا إيجاده عن طريق معادلة أقصى جهد للجلفانومتر:

$$V_{\max} = I_G (R_G + R_M).$$

بقسمة الطرفين على $(R_G + R_M)$ يمكننا عزل I_G :

$$\frac{V_{\max}}{(R_G + R_M)} = \frac{I_G (R_G + R_M)}{(R_G + R_M)}.$$

مثال ٣ (متابعة)

بما أن R_G يساوي جزءًا واحدًا من مائة من R_M أو $0.01R_M$ ، إذن يمكننا التعويض به في المعادلة؛ لنحصل على:

$$\frac{V_{\max}}{(0.01R_M + R_M)} = I_G$$
$$\frac{V_{\max}}{1.01R_M} = I_G.$$

يمكننا التعويض بهذه القيمة في العلاقة الخاصة بفرق الجهد عبر الجلفانومتر:

$$V_G = \left(\frac{V_{\max}}{1.01R_M} \right) R_G.$$

بما أن R_G تساوي $0.01R_M$ ، إذن يمكننا التعويض:

$$V_G = \left(\frac{V_{\max}}{1.01R_M} \right) 0.01R_M.$$

بحذف R_M نحصل على العلاقة:

$$V_G = 0.0099V_{\max}.$$

مثال ٣ (متابعة)

$V_{\max}$ تساوي 12 V ؛ ومن ثمّ فالجهد عبر الجلفانومتر V_G يساوي:

$$0.0099 (12\text{ V}) = 0.1188\text{ V}.$$

للحصول على هذه الإجابة بالمللي فولت، فإننا نضربه في $1\ 000$ ؛ حيث يوجد $1\ 000\text{ mV}$ في فولت واحد:

$$\frac{1\ 000\text{ mV}}{1\text{ V}} \times 0.1188\text{ V} = 118.8\text{ mV}.$$

بالتقريب لأقرب مللي فولت، فإن $V_{\max}$ تساوي 119 mV .

الجزء الثاني

والآن لإيجاد V_M يمكننا استخدام علاقة فرق الجهد الكلي في الدائرة الكهربية، مع العلم أن أقصى فرق جهد يساوي أيضًا الجهد الكلي في الدائرة:

$$V_{\max} = V_G + V_M.$$

مثال ٣ (متابعة)

إذن V_M يساوي:

$$V_{\max} - V_G = V_G + V_M - V_G$$

$$V_{\max} - V_G = V_M.$$

بالتعويض بالقيم، نحصل على:

$$(12 \text{ V}) - (0.1188 \text{ V}) = 11.8812 \text{ V}.$$

وبذلك يكون فرق الجهد عبر المقاومة المضاعفة للجهد، لأقرب منزلة عشرية، 11.9 V .

حساب R_M

أحيانًا يكون من المفيد تحديد قيمة المقاومة المضاعفة التي نحتاج إليها لقياس فرق جهد معيّن. يمكننا فعل ذلك من خلال حساب R_M في هذه المعادلة. في البداية نبدأ بتوزيع I_G :

$$V_{\max} = I_G R_G + I_G R_M.$$

يمكننا بعد ذلك طرح $I_G R_G$ من كلا الطرفين:

$$V_{\max} - I_G R_G = I_G R_G + I_G R_M - I_G R_G$$

$$V_{\max} - I_G R_G = I_G R_M.$$

والآن يمكننا قسمة الطرفين على I_G لعزل R_M :

$$\frac{V_{\max} - I_G R_G}{I_G} = \frac{I_G R_M}{I_G}.$$

يُحذف I_G من الطرف الأيمن، فنحصل على:

$$\frac{V_{\max} - I_G R_G}{I_G} = R_M.$$

حساب R_M (متابعة)

يمكن فصل الحدود الموجودة في الطرف الأيسر؛ لأنها تتشارك المقام نفسه:

$$\frac{V_{\max}}{I_G} - \frac{I_G R_G}{I_G} = R_M.$$

بحذف I_G والتبسيط:

$$R_M = \frac{V_{\max}}{I_G} - R_G.$$

مثال ٤: قيمة المقاومة المضاعفة للجهد المطلوبة لقياس مدى جهد محدد

جلفانومتر مقاومته $175\text{ m}\Omega$. يؤدي تيار شدته 20 mA إلى انحراف مؤشر الجلفانومتر إلى نهاية التدرج. أوجد قيمة المقاومة المضاعفة للجهد، التي عند توصيلها على التوالي مع الجلفانومتر، تسمَح باستخدامه فولتميترًا يُمكنه قياس جهد قيمته القصوى 15 V . قرّب إجابتك لأقرب أوم.

الحل

نتناول المعادلة التي استنتجناها لإيجاد المقاومة المضاعفة للجهد:

$$R_M = \frac{V_{\max}}{I_G} - R_G.$$

قيمة الجهد الأقصى معلومة لدينا 15 V ، ولكن علينا وضع القيم الأخرى بوحداتها الأساسية أولاً. نبدأ بالتيار الذي شدته 20 mA . يوجد 1 A في 1 000 mA :

$$\frac{1\text{ A}}{1\text{ 000 mA}}.$$

مثال ٤ (متابعة)

بضرب هذه العلاقة في 20 mA، نحصل على:

$$\frac{1 \text{ A}}{1\,000 \text{ mA}} \times 20 \text{ mA} = 0.02 \text{ A}.$$

وبالمثل بالنسبة إلى مقاومة الجلفانومتر، فإنه يوجد 1 000 مللي أوم في كل أوم واحد:

$$\frac{1 \, \Omega}{1\,000 \text{ m}\Omega}.$$

نضرب هذا في 175 mΩ، فنحصل على:

$$\frac{1 \, \Omega}{1\,000 \text{ m}\Omega} \times 175 \text{ m}\Omega = 0.175 \, \Omega.$$

يمكننا الآن التعويض بالقيم في معادلة المقاومة المضاعفة للجهد:

$$R_M = \frac{15 \text{ V}}{0.02 \text{ A}} - 0.175 \, \Omega.$$

بقسمة فولت على أمبير نحصل على أوم، ما يُعطينا المعادلة:

$$750 \, \Omega - 0.175 \, \Omega = 749.825 \, \Omega.$$

مثال ٤ (متابعة)

بالتقريب لأقرب أوم، يمكننا أن نلاحظ أن مقاومة الجلفانومتر صغيرة جدًا لدرجة لا تغيّر الناتج النهائي! إذن الإجابة النهائية هي 750 أوم.

النقاط الرئيسية

- ▶ يمكننا صنع فولتميتر عن طريق توصيل جلفانومتر على التوالي بمقاومة مضاعفة للجهد.
- ▶ تزيد قيمة المقاومة المضاعفة للجهد مدى الجهد الذي يمكن أن يقيسه الجلفانومتر.
- ▶ الجهد الأقصى $V_{\max}$ ، الذي يمكن للفولتميتر المصنوع من الجلفانومتر أن يقيسه يساوي:

$$V_{\max} = I_G (R_G + R_M),$$

- حيث I_G أقصى شدة تيار يمكن للجلفانومتر قياسها، و R_G مقاومة الجلفانومتر، و R_M قيمة المقاومة المضاعفة للجهد.
- ▶ معادلة إيجاد قيمة المقاومة المضاعفة للجهد R_M هي:

$$R_M = \frac{V_{\max}}{I_G} - R_G,$$

حيث $V_{\max}$ أقصى جهد يمكن للجلفانومتر قياسه، و I_G أقصى شدة تيار يمكن للجلفانومتر قياسها، و R_G مقاومة الجلفانومتر.