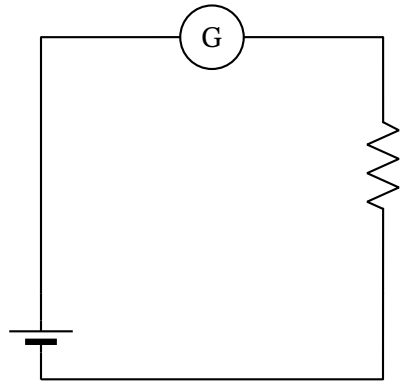
# شارح: تصميم الفولتميتر

في هذا الشارح، سوف نتعلَّم كيف نَصِف توصيل جلفانومتر بمقاومة مضاعفة للجهد لتصميم فولتميتر التيار المستمر.

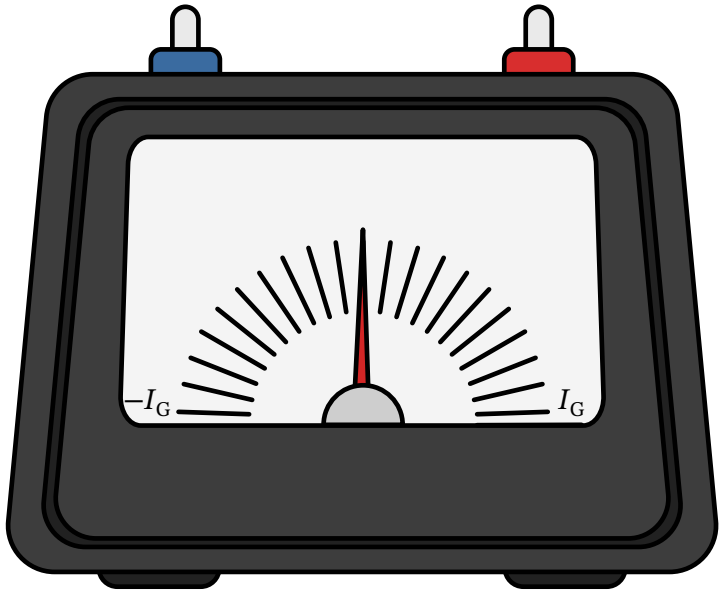
يُستخدَم الجلفانومتر لقياس شدة التيار في الدوائر الكهربية عن طريق توصيله بها.



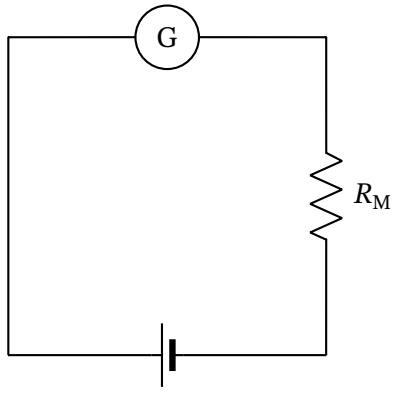

عند وجود تيار في الدائرة،
يمر هذا التيار عبر الجلفانومتر الذي يقيسه. وللجلفانومتر مقاومة $R_{\text{G}}$. ترتبط هاتان القيمتان معًا بفرق الجهد من خلال قانون أوم:

$$V = IR,$$

حيث $R$ في هذه الحالة، مقاومة الجلفانومتر، $R_{\text{G}}$. ومع ذلك، لا يمكن استخدام هذه العلاقة مع معظم الجلفانومترات؛ لأنها عادةً ما تكون حساسة جدًّا، وتقيس قيمًا صغيرة جدًّا من شدة التيار في نطاق الميكرو والمللي أمبير. يمكننا القول إن القيمة القصوى لشدة التيار عند طرفَي تدريج الجلفانومتر هي شدة تيار الجلفانومتر، $I_{\text{G}}$.




وهذا يجعل استخدامه في حد ذاته غير عملي باعتباره فولتميترًا؛ حيث إنه سيُظهِر فقط أقصى شدة تيار له $I_G$ حتى إذا كانت شدة التيار الفعلية أكبر. لكن ثمة طريقة للتغلُّب على ذلك عن طريق توصيل مقاومة أخرى على التوالي مع الجلفانومتر تكون مقاومتها أكبر بكثير.




تتسبَّب 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.

نُلقي نظرةً على مثال.

### مثال ١: قيمة المقاومة المضاعفة للجهد في الفولتميتر

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

أ. إذا كانت قيمة المقاومة المُضاعِفة للجهد مماثلة لقيمة مقاومة الجلفانومتر أو أقلَّ منها، فسوف تصبح شدة التيار المار بالجلفانومتر أكبر من شدة التيار التي تجعل مؤشر الجلفانومتر ينحرف إلى أقصى التدريج.

ب. إذا كانت قيمة المقاومة المُضاعِفة للجهد مماثلة لقيمة مقاومة الجلفانومتر أو أقلَّ منها، فسوف تُنتِج المقاومة مجالًا مغناطيسيًّا يُغيِّر انحراف مؤشر الجلفانومتر بشكل ملحوظ.

ج. إذا كانت قيمة المقاومة المُضاعِفة للجهد مماثلة لقيمة مقاومة الجلفانومتر أو أقلَّ منها، فسوف يزداد جهد المصدر بشكل ملحوظ.

د. إذا كانت قيمة المقاومة المُضاعِفة للجهد مماثلة لقيمة مقاومة الجلفانومتر أو أقلَّ منها، فسوف ينعكس اتجاه انحراف مؤشر الجلفانومتر، ولن تظهر أيُّ قراءة على الفولتميتر.

**الحل**

لن يتغيَّر اتجاه مؤشر الجلفانومتر إذا كانت المقاومة المضاعفة للجهد صغيرة جدًّا؛ لأن هذا يتطلَّب أن يكون التيار في الاتجاه المعاكس. ولذا، فالخيار (د) ليس هو الإجابة الصحيحة.

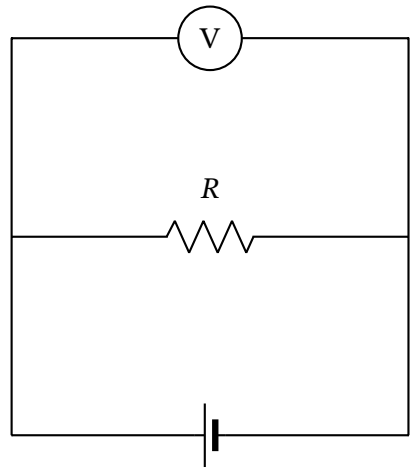
يعتمد عمل الجلفانومتر على المجال المغناطيسي الذي يؤدِّي إلى انحراف مؤشره، لكن المقاومة لن تقوم بإنتاج مجال مغناطيسي؛ لذا، فالإجابة ليست (ب).

ولا يزيد جهد المصدر أو ينخفض اعتمادًا على المقاومات في الدائرة. ومن ثمَّ، فالإجابة ليست (ج).

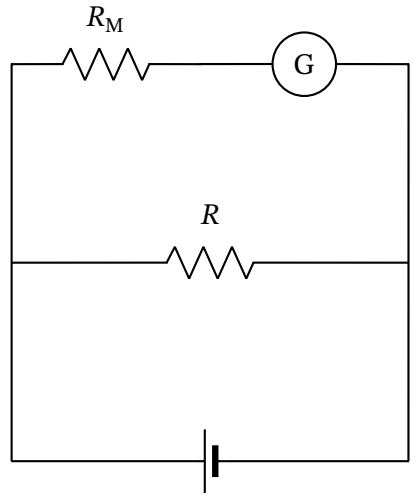
عمليًّا، تكون شدة التيار المار عبر المقاومة المضاعفة للجهد أعلى بكثير من شدة التيار المار عبر الجلفانومتر؛ ومن ثَمَّ، فإن الإجابة الصحيحة هي (أ).

تُسمَّى هذه المقاومة المضافة المقاومة المضاعفة للجهد؛ لأنها تضاعِف فعليًّا مقدار الجهد الذي يمكن أن يقيسه الجلفانومتر بمفرده، وقيمتها أكبر بكثير من مقاومة الجلفانومتر. تكتب قيمة مقاومتها على الصورة $R_{\text{M}}$، وتساعد هذه القيمة في تحديد مقدار فرق الجهد الذي يمكن قياسه. لا يحدث ذلك إلا عندما تكون المقاومة المضاعفة موصلة على التوالي مع الجلفانومتر، وليست على التوازي.

جدير بالملاحظة أن هذا يتم لإعداد الجلفانومتر للاستخدام كفولتميتر، وليس لتوصيل الفولتميتر بدائرة كهربائية. ويوضِّح الشكل التالي فولتميترًا موصلًا توصيلًا صحيحًا، ويقيس الجهد عبر المقاومة $R$.



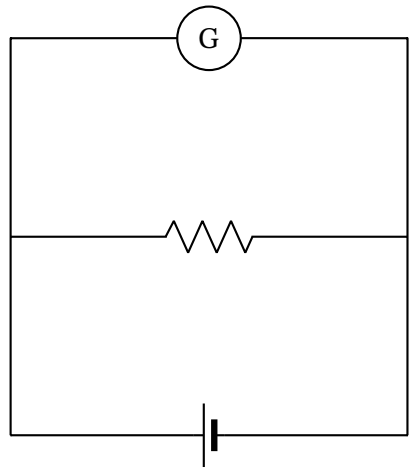

لكن فيما يخص صنع الفولتميتر، يجب أن تكون المقاومة المضاعفة للجهد موصَّلة على التوالي مع الجلفانومتر. بتفكيك الفولتميتر في الشكل السابق إلى الجلفانومتر والمقاومة المضاعفة للجهد، $R_{\text{M}}$، يظهر لنا ذلك:



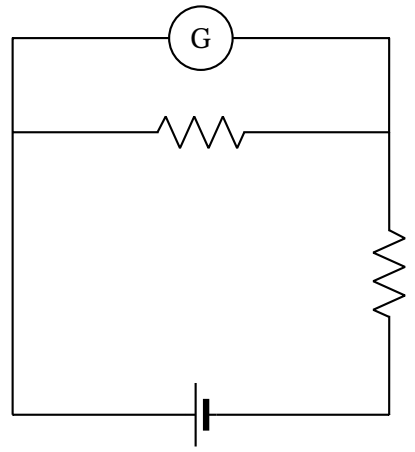

نُلقي نظرةً على مثال.

### مثال ٢: توصيل المقاومة بشكل صحيح في فولتميتر قائم على جلفانومتر

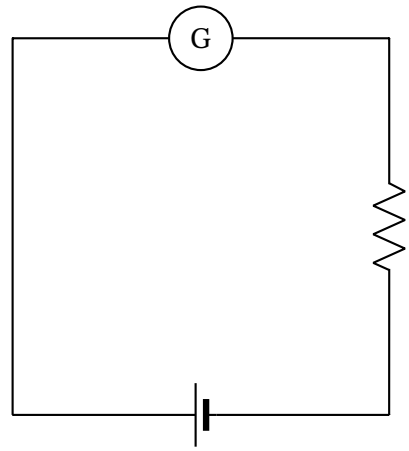
أيٌّ من الدوائر الآتية يمثِّل بصورة صحيحة جلفانومترًا موصلًا بمقاومة مضاعفة للجهد لاستخدامها فولتميترًا لقياس جهد مصدر تيار مستمر؟




(أ)




(ب)




(ج)

**الحل**

المقاومة في الدائرة (أ) موصَّلة على التوازي وليس على التوالي. وهذا يؤدِّي إلى انخفاض المقاومة الكلية الفعلية للدائرة، وهو ما لا نريده عند محاولة زيادة المدى الذي يمكننا قياسه! في حين يجب توصيل الفولتميتر على التوازي مع الدائرة الكهربية لقياس فرق الجهد بشكل صحيح، فإنه عند صنع الفولتميتر باستخدام جلفانومتر، يجب أن يكون الجلفانومتر موصلًا على التوازي مع الدائرة المضاعفة للجهد.

في الدائرة (ب) هناك مقاومة موصَّلة على التوالي، وأخرى موصَّلة على التوازي مع الجلفانومتر. وكما هو الحال في الدائرة (أ)، فهذا سيؤدِّي إلى انخفاض المقاومة الكلية، وهو ما يقلِّل المدى الذي يمكن أن يقيسه الفولتميتر.

في الدائرة (ج) هناك مقاومة موصَّلة على التوالي مع الجلفانومتر ولا شيء غير ذلك. هذه هي الطريقة الصحيحة لتوصيل المقاومة مع الجلفانومتر لاستخدامه فولتميترًا.

إذن الإجابة الصحيحة هي الدائرة (ج).

أقصى فرق جهد يمكن قياسه باستخدام الجلفانومتر يساوي حاصل ضرب أقصى شدة تيار يمكن للجلفانومتر قياسها والمقاومة الكلية للدائرة، $R_{\mathrm{t}}$. عند التعبير عن هذا باستخدام قانون أوم، يكون:

$$V_{\mathrm{max}} = I_{\mathrm{G}} R_{\mathrm{t}}.$$

المقاومة الكلية $R_{\mathrm{t}}$ لدائرة موصَّلة على التوالي تساوي مجموع المقاومات، إذن نحصل على:

$$R_{\mathrm{t}} = R_{\mathrm{G}} + R_{\mathrm{M}}.$$

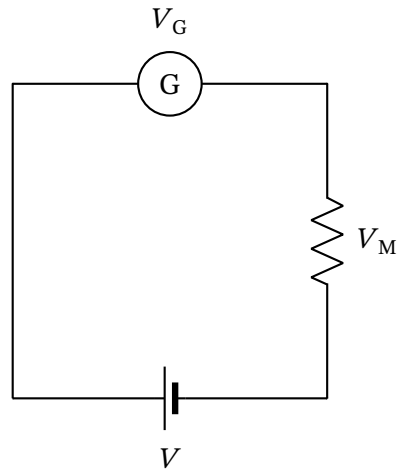
وبذلك، تكون معادلة أقصى جهد يمكن أن يقيسه الجلفانومتر:

$$V_{\mathrm{max}} = I_{\mathrm{G}} \left( R_{\mathrm{G}} + R_{\mathrm{M}} \right).$$

نُلقي نظرة على مثال نستخدم فيه هذه المعادلة.

### مثال ٣: فرق الجهد عبر المقاومات المضاعفة للجهد ومقاومات الجلفانومتر

فرق الجهد $V$ في الدائرة الكهربية الموضَّحة 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 تمثِّل فرق الجهد عبر الجلفانومتر. قرِّب إجابتك لأقرب مللي فولت.

٢. أوجد $V_M$، التي تمثِّل فرق الجهد عبر المقاومة المضاعفة للجهد. قرِّب إجابتك لأقرب منزلة عشرية.

**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 $I_G$:

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

تُحذَف القيمتان في الأقواس معًا في الطرف الأيمن، فنحصل على:

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

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:

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

$V_{max}$ تساوي 12 V؛ ومن ثمَّ، 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 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 $V_{\mathrm{M}}$ يمكننا استخدام علاقة فرق الجهد الكلي في الدائرة الكهربية، مع العلم أن أقصى فرق جهد يساوي أيضًا الجهد الكلي في الدائرة:

$$V_{\mathrm{max}} = V_{\mathrm{G}} + V_{\mathrm{M}}.$$

إذن $V_{\mathrm{M}}$ يساوي:

$$\begin{aligned} V_{\mathrm{max}} - V_{\mathrm{G}} &= V_{\mathrm{G}} + V_{\mathrm{M}} - V_{\mathrm{G}} \\ V_{\mathrm{max}} - V_{\mathrm{G}} &= V_{\mathrm{M}}. \end{aligned}$$

بالتعويض بالقيم، نحصل على:

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

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

أحيانًا يكون من المفيد تحديد قيمة المقاومة المضاعفة التي نحتاج إليها لقياس فرق جهد معيَّن. يمكننا فعل ذلك من خلال حساب $R_{\mathrm{M}}$ في هذه المعادلة. في البداية، نبدأ بتوزيع $I_{\mathrm{G}}$:

$$V_{\mathrm{max}} = I_{\mathrm{G}}R_{\mathrm{G}} + I_{\mathrm{G}}R_{\mathrm{M}}.$$

يمكننا بعد ذلك طرح $I_{\mathrm{G}}R_{\mathrm{G}}$ من كلا الطرفين:

$$\begin{aligned} V_{\mathrm{max}} - I_{\mathrm{G}}R_{\mathrm{G}} &= I_{\mathrm{G}}R_{\mathrm{G}} + I_{\mathrm{G}}R_{\mathrm{M}} - I_{\mathrm{G}}R_{\mathrm{G}} \\ V_{\mathrm{max}} - I_{\mathrm{G}}R_{\mathrm{G}} &= I_{\mathrm{G}}R_{\mathrm{M}}. \end{aligned}$$

والآن، يمكننا قسمة الطرفين على $I_{\mathrm{G}}$ لعزل $R_{\mathrm{M}}$:

$$\frac{V_{\mathrm{max}} - I_{\mathrm{G}}R_{\mathrm{G}}}{I_{\mathrm{G}}} = \frac{I_{\mathrm{G}}R_{\mathrm{M}}}{I_{\mathrm{G}}}.$$

يُحذَف $I_{\mathrm{G}}$ من الطرف الأيمن، فنحصل على:

$$\frac{V_{\mathrm{max}} - I_{\mathrm{G}}R_{\mathrm{G}}}{I_{\mathrm{G}}} = R_{\mathrm{M}}.$$

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

$$\frac{V_{\mathrm{max}}}{I_{\mathrm{G}}} - \frac{I_{\mathrm{G}}R_{\mathrm{G}}}{I_{\mathrm{G}}} = R_{\mathrm{M}}.$$

بحذف $I_G$ والتبسيط:

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

نُلقي نظرة على مثال نستخدم فيه هذه المعادلة.

### مثال ٤: قيمة المقاومة المضاعفة للجهد المطلوبة لقياس مدى جهد محدَّد

جلفانومتر مقاومته 175 mΩ. يؤدِّي تيار شدته 20 mA إلى انحراف مؤشر الجلفانومتر إلى نهاية التدريج. أوجد قيمة المقاومة المضاعفة للجهد، التي عند توصيلها على التوالي مع الجلفانومتر، تَسمَح باستخدامه فولتميترًا يُمكنه قياس جهد قيمته القصوى 15 V. قرِّب 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 أولًا. نبدأ بالتيار الذي شدته 20 mA.

يوجد 1 000 mA في 1 A:

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

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 ملي 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:

$$R_{\text{M}} = \frac{15\ \text{V}}{0.02\ \text{A}} - 0.175\ \Omega.$$

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

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

بالتقريب لأقرب أوم، يمكننا أن نلاحظ أن مقاومة الجلفانومتر صغيرة جدًّا لدرجة لا تغيِّر الناتج النهائي!

إذن الإجابة النهائية هي 750 أوم.

نلخِّص ما تعلَّمناه في هذا الشارح.

### 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، $V_{\text{max}}$، الذي يمكن للفولتميتر المصنوع من الجلفانومتر أن يقيسه يساوي:

$$V_{\text{max}} = I_{\text{G}}\left(R_{\text{G}} + R_{\text{M}}\right),$$

حيث $I_{\text{G}}$ أقصى شدة تيار يمكن للجلفانومتر قياسها، و$R_{\text{G}}$ مقاومة الجلفانومتر، و$R_{\text{M}}$ قيمة المقاومة المضاعفة للجهد.

- معادلة إيجاد قيمة المقاومة المضاعفة للجهد، $R_{\text{M}}$، هي:

$$R_{\text{M}} = \frac{V_{\text{max}}}{I_{\text{G}}} - R_{\text{G}},$$

حيث $V_{\text{max}}$ أقصى جهد يمكن للجلفانومتر قياسه، و$I_{\text{G}}$ أقصى شدة تيار يمكن للجلفانومتر قياسها، و$R_{\text{G}}$ مقاومة الجلفانومتر.