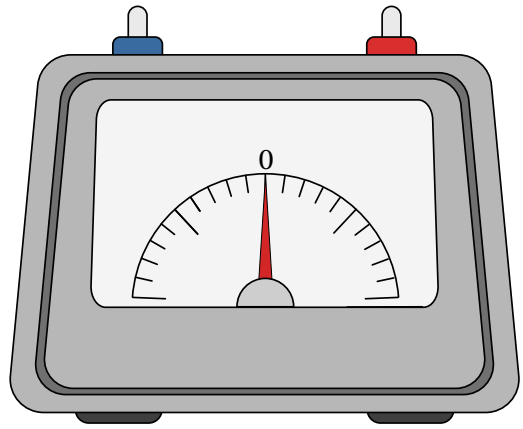
شارح: تصميم الأميتر

في هذا الشارح، سوف نتعلَّم كيف نَصِف توصيل جلفانومتر بمقاومة مجزِّئة للتيار لتصميم أميتر التيار المستمر.

الأميتر أداة يمكن استخدامها لقياس شدة التيار في الدائرة الكهربية. كما سنرى، يمكننا صُنع هذه الأداة باستخدام جلفانومتر مع مقاومة.

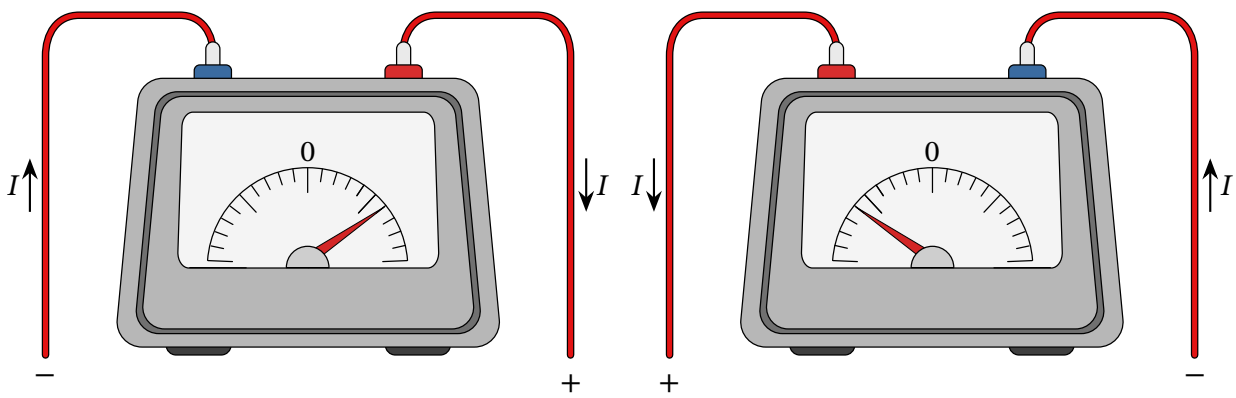
ونظرًا لأن تصميم الأميتر يتطلَّب استخدام الجلفانومتر، فهيا نبدأ بتذكير أنفسنا بكيفية عمل الجلفانومتر.

الجلفانومتر هو الجهاز الذي يستجيب لاتجاه وشدة التيار الكهربي. يوضِّح الشكل الآتي جلفانومترًا.



كما هو موضَّح في الرسم، يحتوي الجلفانومتر على إبرة يمكن أن تنحرف إلى أيٍّ من جانبَي الصفر. تنحرف هذه الإبرة عند مرور تيار عبر الجلفانومتر.

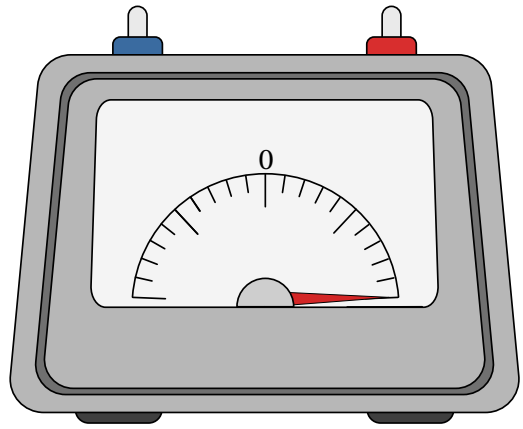
لذلك، إذا أثَّرنا بفرق الجهد عبر الجلفانومتر، وهو ما ينتج عنه مرور تيار عبره، فستنحرف الإبرة إلى أحد جانبَي الصفر. وهذا موضَّح في الرسم الآتي:



كما هو موضَّح في الرسم، إذا عكسنا قطبية فرق الجهد حتى يمر التيار في الاتجاه المعاكس عبر الجلفانومتر، فستنحرف الإبرة إلى الجانب الآخر من الصفر.

إذن نلاحظ أن الجلفانومتر يوفِّر طريقة لقياس شدة التيار المار عبره. وفي الواقع، يتضح أن انحراف إبرة الجلفانومتر بعيدًا عن الصفر المركزي يتناسب طرديًّا مع شدة التيار حتى النقطة التي تصل عندها الإبرة إلى نهاية التدريج.

يوضِّح الشكل التالي هذا الحد الذي تتوجَّه عنده الإبرة بالكامل إلى أحد طرفَي التدريج.



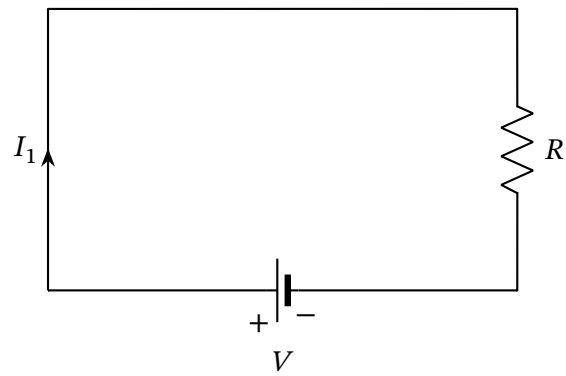
في هذه الحالة، نقول إن الإبرة لها انحراف أقصى. شدة التيار التي تجعل الإبرة تصل إلى الانحراف الأقصى هي شدة التيار القصوى التي يمكن قياسها باستخدام هذا الجلفانومتر. تختلف شدة التيار القصوى التي يمكن قياسها باستخدام الجلفانومتر وفقًا للجهاز، لكنها عادةً ما تساوي قيمًا بوحدة ميكروأمبير أو مللي أمبير.

على سبيل المثال، إذا كان لدينا جلفانومتر والانحراف الأقصى لتدريجه يساوي 500 μA، فإن هذا الجهاز تحديدًا يمكنه قياس شدة تيارٍ ما واتجاهه، إذا كانت شدة هذا التيار أقل من 500 μA.

أما إذا أردنا استخدام الجلفانومتر باعتباره أميترًا، فسنواجه مشكلتين.

المشكلة الأولى هي أنه من الواضح أن لدينا حدًّا لشدة التيارات التي يمكننا قياسها باستخدام الجلفانومتر. وبالتحديد، تقتصر قياساتنا على شدة التيارات الأقل من تيار الانحراف الأقصى لتدريج الجلفانومتر. وهذا يمثِّل مشكلة إذا أردنا قياس شدة التيارات التي تقع خارج هذا النطاق.

قد نعتقد أنه إذا تمكنَّا من زيادة مدى الجلفانومتر بطريقة ما، فسنحصل على طريقة دقيقة لقياس شدة التيارات الكبرى أيضًا. لكن هناك مشكلة أخرى، وهي أن الجلفانومتر له مقاومة داخلية خاصة. نرى لماذا يمثِّل ذلك مشكلة من خلال التفكير في دائرة كهربية بسيطة.



في هذه الدائرة الكهربية، توفِّر البطارية فرق جهد V عبر مقاومة R؛ ولهذا لدينا تيار شدته I_1.

يمكننا أن نتذكَّر أن قانون أوم يُشير إلى أن لدينا في مثل هذه الدائرة:

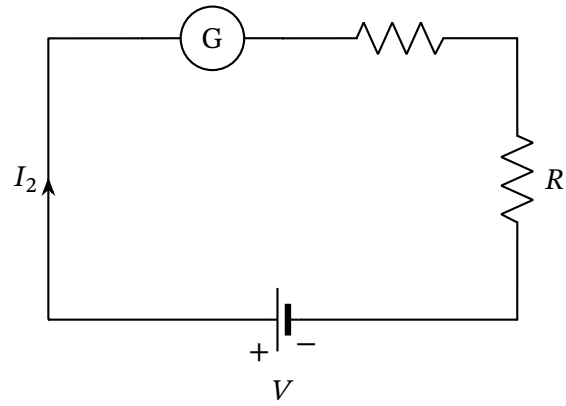
$$V = I_1 R.$$

يمكننا إعادة ترتيب هذه المعادلة بقسمة الطرفين على المقاومة R، لنحصل على تعبير عن شدة التيار في الدائرة بدلالة فرق الجهد والمقاومة:

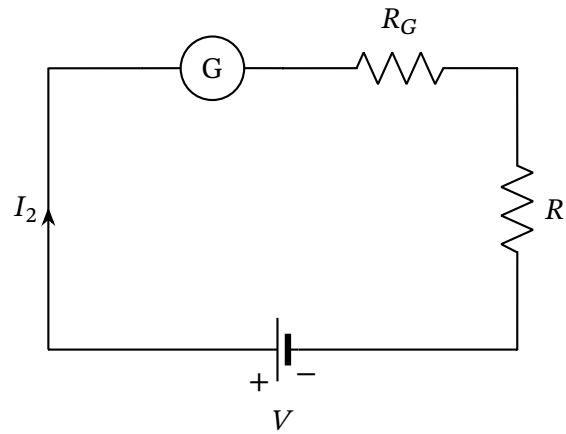
$$I_1 = \frac{V}{R}.$$

نرى الآن ما سيحدث عند محاولة استخدام الجلفانومتر لقياس قيمة I_1. تخيَّل أن مدى الجلفانومتر وقيمة V وقيمة R تؤدي إلى أن تكون I_1 أصغر من تيار الانحراف الأقصى لتدريج الجلفانومتر.

بتوصيل الجلفانومتر على التوالي مع المكوِّنات الأخرى، نحصل على الدائرة الآتية.



لكننا ذكرنا سابقًا أن الجلفانومتر له مقاومة خاصة به. هيا نوضِّح ذلك من خلال رسم هذه المقاومة بالتفصيل في الدائرة.



لقد رمزنا إلى مقاومة الجلفانومتر بالرمز R_G. ونلاحظ أن لدينا الآن مقاومتين متصلتين على التوالي.

ويمكننا أن نتذكَّر أنه عندما تكون لدينا مقاومتان متصلتان على التوالي، فإن المقاومة الكلية تساوي مجموع المقاومات الفردية. لذا، في هذه الحالة، إذا رمزنا إلى المقاومة الكلية بالرمز R_T، فإن:

$$R_T = R_G + R.$$

إذا طبَّقنا الآن قانون أوم على الدائرة بأكملها، فسنتمكَّن من معرفة سبب أن هذه مشكلة. هيا نستخدم صيغة المعادلة التي تكون فيها شدة التيار في طرف بمفردها. نُسمِّي شدة التيار I_2. المقاومة الكلية للدائرة الآن R_T، وليس R فقط. بالتعويض بهذا في قانون أوم، نحصل على:

$$I_2 = \frac{V}{R_T}.$$

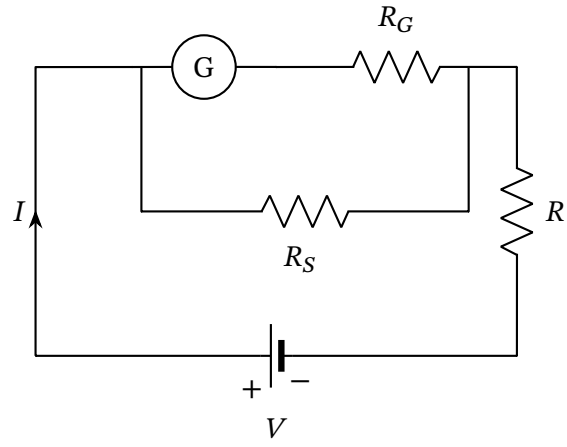
بعد ذلك، يمكننا التعويض في $R_T = R_G + R$، لنحصل على:

$$I_2 = \frac{V}{R_G + R}.$$

هيا نقارن هذه المعادلة بالمعادلة الأصلية التي لدينا بدون الجلفانومتر؛ حيث $I_1 = \frac{V}{R}$. وحقيقة أن المقاومة الكلية للدائرة الكهربية تغيَّرت تعني أن شدة التيار قد تغيَّرت أيضًا.

هذا يعني أن الجلفانومتر، وهو الجهاز الذي نحاول استخدامه لقياس شدة التيار، قد غيَّر بالفعل قيمة شدة التيار التي أردنا قياسها. وهذا يُشبه إلى حد ما وجود ميزان يغيِّر كتلة الجسم الذي وُضع عليه، أو مسطرة تغيِّر طول الجسم الذي كنت تحاول قياسه بها.

لحسن الحظ، يتضح أن هناك طريقة يمكننا استخدامها للتعامل مع مشكلة تغيير الجلفانومتر لشدة التيار في الدائرة الكهربية. يمكننا فعل ذلك عن طريق إضافة مقاومة على التوازي مع الجلفانومتر.



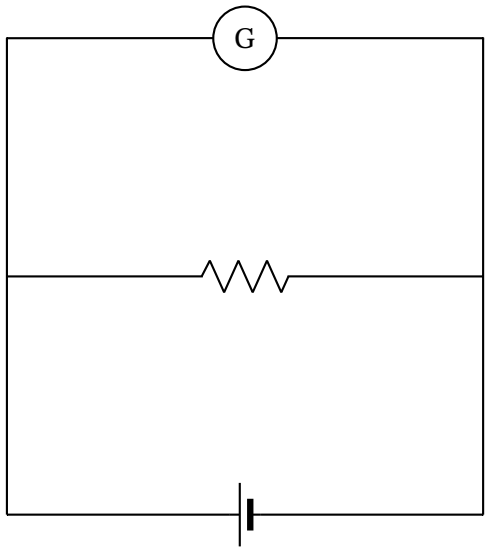
ويُشار إلى هذه المقاومة باسم المقاومة المجزِّئة للتيار، وقد رمزنا إليها بالرمز R_S.

يمكننا أن نتذكَّر أنه عند إضافة فرع على التوازي إلى دائرة، فإن فرق الجهد عبر كل فرع من الأفرع سيكون متشابهًا. في هذه الأثناء، ينقسم التيار حتى يكون هناك تيار في كلٍّ من الفرعين المتوازيين. إذن بدلًا من تدفُّق التيار بأكمله عبر الجلفانومتر، يتبع بعض التيار الآن المسار الآخر عبر المقاومة المجزِّئة للتيار.

نُلقي نظرة على مثال سريع.

مثال ١: إيجاد فرق الجهد عبر فرعين متوازيين في دائرة كهربية باستخدام الجلفانومتر

توضِّح الدائرة الكهربية جلفانومترًا موصَّلًا مع مقاومة مجزِّئة للتيار. القوة الدافعة الكهربية للمصدر الموصَّل بالجلفانومتر والمقاومة المجزِّئة للتيار هي 3.0 V. لا يمثِّل الشكل دائرة يعمل بها الجلفانومتر مع المقاومة المجزِّئة للتيار باعتبارهما أميترًا.



١. ما فرق الجهد عبر المقاومة المجزِّئة للتيار؟ أجب لأقرب منزلة عشرية.

٢. ما فرق الجهد عبر الجلفانومتر؟ أجب لأقرب منزلة عشرية.

الحل

الجزء الأول

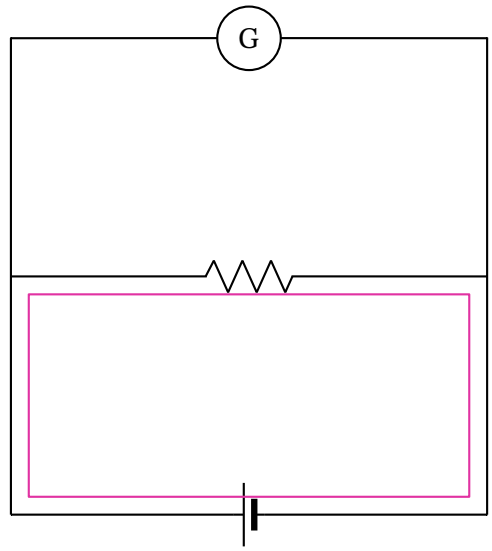
في الشكل الموضَّح في هذا السؤال، لدينا دائرة كهربية تحتوي على جلفانومتر موصَّل على التوازي مع مقاومة مجزِّئة للتيار. في هذه الحالة، لم تُضَف مقاومة الجلفانومتر بوضوح في صورة مقاومة في مخطط الدائرة الكهربية، لكننا نعلم أن للجلفانومتر بالفعل بعض المقاومة.

يطلب منا هذا الجزء الأول من السؤال إيجاد فرق الجهد عبر المقاومة المجزِّئة للتيار في هذا الشكل.

يمكننا أن نتذكَّر أن القوة الدافعة الكهربية لمصدر الجهد في دائرة كهربية تساوي فرق الجهد الكلي عبر المكوِّنات التي يمر عبرها التيار أثناء مروره في الدائرة.

في هذه الحالة، لدينا فرعان موصَّلان على التوازي، ما يعني أنه يوجد مساران محتملان للتيار. ويجب أن يساوي فرق الجهد الكلي في كل مسار من هذين المسارين القوة الدافعة الكهربية لمصدر الجهد.

المسار الذي يمر عبر المقاومة المجزِّئة للتيار محدَّد باللون الوردي في الشكل الآتي:



ونحن نعلم أن فرق الجهد الكلي عبر هذا المسار لا بد أن يساوي القوة الدافعة الكهربية للمصدر؛ أي 3.0 V.

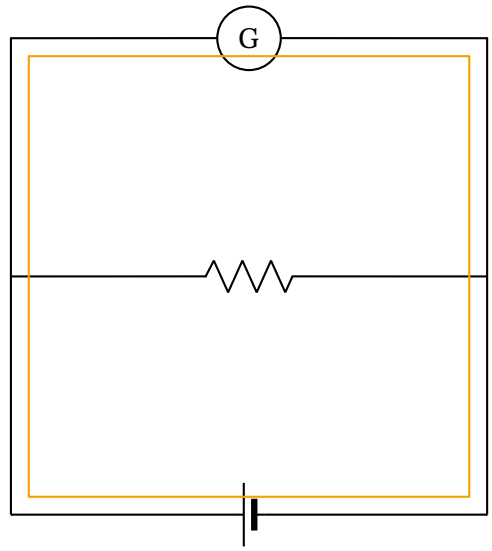
نفترض أن الأسلاك ليس لها مقاومة؛ ومن ثَمَّ، فإن كل المقاومة على طول المسار الموضَّح تُوجَد في المقاومة المجزِّئة للتيار.

وهذا يعني أن كل فرق الجهد الذي يبلغ مقداره 3.0 V عبر المسار الوردي يكون عبر المقاومة المجزِّئة للتيار. إذن نعلم أن فرق الجهد عبر المقاومة المجزِّئة للتيار يساوي 3.0 V.

الجزء الثاني

في الجزء الثاني من السؤال مطلوبٌ منا إيجاد فرق الجهد عبر الجلفانومتر.

المسار الثاني من المسارين الكاملين في الشكل، وهو المسار الذي يمر عبر الجلفانومتر، محدَّد باللون البرتقالي.



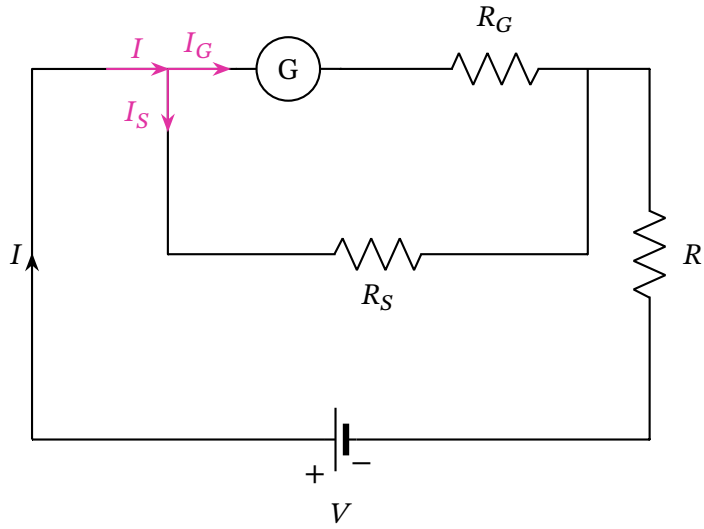
كما هو الحال في الجزء الأول من السؤال، نعلم أن فرق الجهد الكلي عبر المسار لا بد أن يساوي القوة الدافعة الكهربية للمصدر؛ أي 3.0 V.

مرةً أخرى، بافتراض أن الأسلاك ليس لها مقاومة، فهذا يعني أن كل المقاومة على طول المسار البرتقالي هي مقاومة الجلفانومتر.

ومن ثَمَّ، كل فرق الجهد الذي يبلغ مقداره 3.0 V عبر المسار البرتقالي يكون عبر الجلفانومتر. إذن نعلم أن فرق الجهد عبر الجلفانومتر يساوي 3.0 V.

كما هو موضَّح في هذا المثال، عند توصيل مقاومة مجزِّئة للتيار على التوازي مع الجلفانومتر، فإن فرق الجهد عبر المقاومة المجزِّئة للتيار يساوي فرق الجهد عبر الجلفانومتر.

ونعلم أيضًا أن التيار ينقسم إلى الفرعين المتوازيين. لإيجاد شدة التيار في كل فرع، يمكننا تطبيق قانون أوم على كل فرع على حدة.



نرمز إلى مقاومة الجلفانومتر وشدة التيار المار عبر الجلفانومتر وفرق الجهد عبره، بالحرف G، ونرمز إلى الكميات نفسها للمقاومة المجزِّئة للتيار بالحرف S.

بعد ذلك، يُعطينا قانون أوم لكل فرعٍ المعادلتين الآتيتين:

$$I_G = \frac{V_G}{R_G}, \quad I_S = \frac{V_S}{R_S}.$$

نحن نعلم أن كلا الفرعين لهما فرق الجهد نفسه. بعبارة أخرى، في هاتين المعادلتين نعلم أن $V_S = V_G$.

نفكّر فيما يحدث عندما نختار مقاومة مجزِّئة للتيار أقل كثيرًا من مقاومة الجلفانومتر؛ أي عندما نختار مقاومة مجزِّئة للتيار؛ حيث $R_S \ll R_G$.

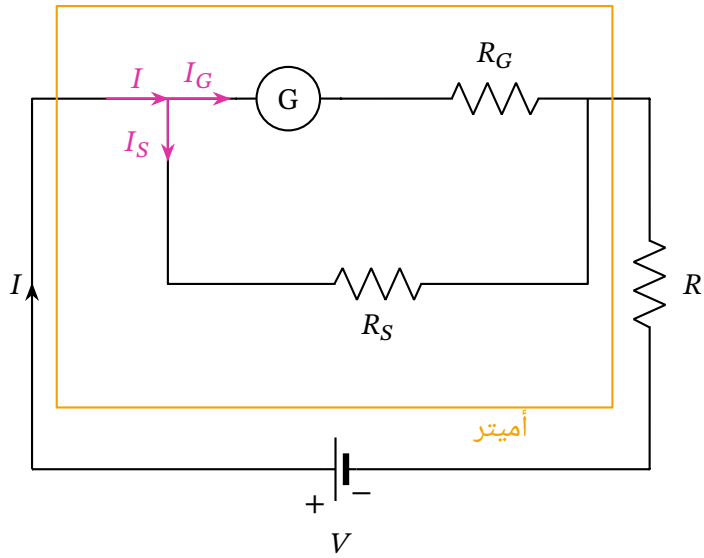
بالنسبة إلى المقاومتين الموصَّلتين على التوازي، تكون المقاومة الكلية أقل من أدنى مقاومة. إذن المقاومة الكلية للجلفانومتر والمقاومة المجزِّئة للتيار الموصَّلان على التوازي أصغر من R_S؛ ومن ثَمَّ، أصغر كثيرًا من R_G.

هذا يعني أن التأثير الكلي لتوصيل الجلفانومتر والمقاومة المجزِّئة للتيار على شدة التيار في الدائرة الكهربية صغير جدًّا. بعبارة أخرى، بإضافة مقاومة مجزِّئة للتيار على التوازي مع الجلفانومتر، تخطَّينا مشكلة تأثير مقاومة الجلفانومتر على شدة التيار المراد قياسها بالجلفانومتر في الدائرة الكهربية. وأيُّ تأثير على شدة التيار في الدائرة الكهربية يكون الآن أصغر كثيرًا.

يمكننا أيضًا أن نلاحظ من معادلتَي قانون أوم أن التعبيرين I_G وI_S لهما نفس القيم في البسط، ولكن المقام في المقدار I_G أكبر من المقام في المقدار I_S. وما يعنيه هذا هو أنه إذا كان $R_S \ll R_G$، فإن $I_S \gg I_G$.

بعبارة أخرى، يمر معظم التيار عبر المسار الذي يحتوي على المقاومة المجزِّئة للتيار. في هذه الأثناء، يمر جزء صغير ثابت من التيار عبر الجلفانومتر. هذا يعني أن انحراف إبرة الجلفانومتر يتناسب مع شدة التيار في الدائرة. ومن ثَمَّ، يمكن استخدام الجلفانومتر مع المقاومة المجزِّئة للتيار لقياس شدة التيار في الدائرة الكهربية.

لذا، فإن كل ما يقع داخل المربع البرتقالي في الشكل الآتي يعمل معًا باعتباره أميترًا.



عند تكوين الأميتر بهذه الطريقة، من المهم أن نختار المقاومة المجزِّئة للتيار R_S بعناية للحصول على أفضل النتائج. تذكَّر أن مقاومة الجلفانومتر R_G لها قيمة ثابتة. تغيير قيمة R_S يغيِّر جزء التيار الذي يمر عبر الجلفانومتر. نحن نريد قيمة R_S؛ بحيث تكون شدة التيار عبر الجلفانومتر عالية بما يكفي لتُظهِر الإبرة قراءة واضحة، لكننا نريدها منخفضة أيضًا بما يكفي لئلا تصل الإبرة إلى الانحراف الأقصى.

لإيجاد أفضل قيمة لـ R_S، يمكننا مرةً أخرى استخدام قانون أوم، الذي ينص على أنه، لفرق الجهد V والمقاومة R وشدة التيار I، يكون:

$$V = IR.$$

وبما أننا نحاول إيجاد المقاومة، إذن نريد جعل R في طرف بمفردها. بقسمة الطرفين على I، نحصل على:

$$R = \frac{V}{I}.$$

نحاول إيجاد القيمة التي يجب أن نستخدمها للمقاومة المجزِّئة للتيار R_S. هيا إذن نعوِّض عن R في قانون أوم، بهذه المقاومة المجزِّئة للتيار R_S. يجب أن نستخدم أيضًا فرق الجهد عبر المقاومة المجزِّئة للتيار، V_S، بدلًا من V، وشدة التيار عبر المقاومة المجزِّئة للتيار، I_S، بدلًا من I.

وبالقيام بعمليات التعويض هذه، نحصل على:

$$R_S = \frac{V_S}{I_S}.$$

يمكننا إجراء بعض عمليات التعويض في هذه المعادلة لجعلها أكثر فائدةً. بدايةً، سبق أن ذكرنا أن فرق الجهد عبر المقاومة المجزِّئة للتيار، V_S، يساوي فرق الجهد عبر الجلفانومتر، V_G. إذن يمكننا التعويض عن V_S بـ V_G في هذه المعادلة:

$$R_S = \frac{V_G}{I_S}.$$

ونعلم أيضًا أن التيار الكلي في الدائرة، I، ينقسم إلى تيارين I_G وI_S؛ حيث $I = I_G + I_S$. وبدلًا من ذلك، بطرح I_G من كلا طرفَي المعادلة، نحصل على المعادلة $I_S = I - I_G$.

وبالتعويض بهذا التعبير لـ I_S في معادلة قانون أوم، نحصل على:

$$R_S = \frac{V_G}{I - I_G}.$$

والآن، يمكننا استخدام قانون أوم مرةً أخرى للتعويض عن V_G؛ أي فرق الجهد عبر الجلفانومتر. ونحن نعلم أن شدة التيار المار عبر الجلفانومتر هي I_G، ومقاومة الجلفانومتر هي R_G. ويوضِّح لنا قانون أوم أن $V_G = I_G R_G$.

بالتعويض بذلك عن V_G في التعبير عن R_S، نحصل على:

$$R_S = \frac{I_G R_G}{I - I_G}.$$

إحدى طرق فهم هذه المعادلة هي التفكير في قيمة محدَّدة لشدة التيار في الجلفانومتر. على وجه التحديد، ستكون هناك قيمة لشدة التيار I_G تُعطي الانحراف الأقصى لإبرة الجلفانومتر. هذه القيمة هي شدة تيار الانحراف الأقصى.

ونحن نعرف أيضًا أن I_G هي نسبة صغيرة لكن ثابتة من شدة التيار الكلية I. إذن هذه القيمة العظمى لـ I_G، التي يمكن تسجيلها، تتوافق مع القيمة العظمى لشدة التيار I، التي يمكن قياسها بواسطة الأميتر.

بمراعاة ذلك، يمكننا التوصُّل إلى التفسير الآتي للمعادلة التي لدينا لـ R_S.

معادلة: المقاومة المجزِّئة للتيار في الأميتر

نفترض أن لدينا أميترًا يتكوَّن من جلفانومتر له تيار انحراف أقصى I_G ومقاومة R_G متصلة على التوازي مع مقاومة مجزِّئة للتيار.

لكي نتمكَّن من قياس شدة التيار القصوى I باستخدام هذا الأميتر، يجب أن نستخدم مقاومة مجزِّئة للتيار R_S مُعطاة بالمعادلة:

$$R_S = \frac{I_G R_G}{I - I_G}.$$

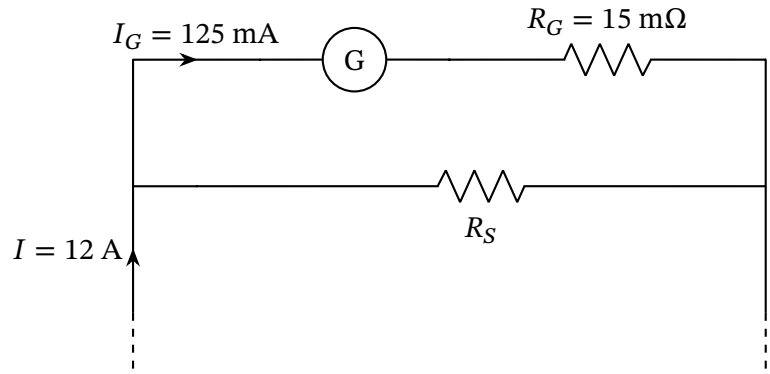
والآن، نُلقي نظرة على مثال.

مثال ٢: إيجاد المقاومة المجزِّئة للتيار المطلوبة في أميتر

جلفانومتر مقاومته 15 mΩ. يؤدي تيار شدته 125 mA إلى انحراف مؤشر الجلفانومتر إلى نهاية التدريج. أوجد مقاومة مجزِّئ التيار الذي عندما يوصَّل على التوازي مع الجلفانومتر، يسمح باستخدامه أميترًا يمكنه قياس تيار شدته القصوى 12 A. اكتب إجابتك لأقرب ميكروأوم.

الحل

نبدأ برسم مخطط للدائرة وتحديد القيم المُعطاة.



لقد رسمنا بالتفصيل مقاومة تمثِّل مقاومة الجلفانومتر. هذه المقاومة هي $R_G = 15\ \text{m}\Omega$. ونحن نعلم أن تيار الانحراف الأقصى للجلفانومتر هو $I_G = 125\ \text{mA}$، ونريد استخدام هذا الجهاز باعتباره أميترًا لقياس شدة التيار القصوى التي تبلغ $12\ \text{A}$.

والمطلوب هو إيجاد قيمة المقاومة المجزِّئة للتيار، التي رمزنا إليها بالرمز R_S، والتي تسمح بقياس شدة التيار القصوى.

نتذكَّر أننا نعلم معادلة المقاومة المجزِّئة للتيار المطلوبة R_S لكي نتمكَّن من قياس شدة التيار القصوى I، بوجود أميتر يستخدم جلفانومترًا له تيار انحراف أقصى I_G ومقاومة R_S:

$$R_S = \frac{I_G R_G}{I - I_G}.$$

قبل البدء بالتعويض بقيم الكميات التي لدينا في الطرف الأيمن، علينا تحويلها حتى يكون لجميعها وحدات متوافقة. إذا قسنا شدة التيارات بوحدة أمبير، ومقاومة الجلفانومتر بوحدة أوم، فسنحصل على المقاومة المجزِّئة للتيار بوحدة أوم.

قيمة $I = 12\ \text{A}$ مُعطاة بالفعل بوحدة أمبير؛ لذا، علينا فقط تحويل I_G وR_G.

لدينا $I_G = 125\ \text{mA} = 0.125\ \text{A}$ و$R_G = 15\ \text{m}\Omega = 1.5 \times 10^{-2}\ \Omega$.

نعوِّض بقيم I_G، R_G، I، لنحصل على:

$$R_S = \frac{(0.125\ \text{A}) \times \left(1.5 \times 10^{-2}\ \Omega\right)}{12\ \text{A} - 0.125\ \text{A}}.$$

بإيجاد قيمة الطرف الأيمن من هذا التعبير، نجد أن:

$$R_S = 1.5789\ldots \times 10^{-4}\ \Omega.$$

هنا، تُستخدم النقاط الثلاث للإشارة إلى وجود منازل عشرية أخرى.

وأخيرًا، نلاحظ أن السؤال يطلب منا الإجابة بوحدة ميكروأوم، لأقرب ميكروأوم. بتذكُّر أن $1\ \mu\Omega = 10^{-6}\ \Omega$، يمكننا كتابة الإجابة عن المقاومة المجزِّئة للتيار بالصورة:

$$R_S = 158\ \mu\Omega.$$

يمكننا أيضًا أخذ معادلة المقاومة المجزِّئة للتيار R_S والنظر إليها بطريقة أخرى.

إذا أعدنا ترتيب المعادلة لجعل شدة التيار I في طرف بمفردها، فسنحصل على معادلة تُشير إلى شدة التيار القصوى التي يمكننا قياسها بأميتر، بمعلومية خواص مكوِّناته.

هيا نرَ كيف يمكننا جعل I في طرف بمفردها. تذكَّر أننا نبدأ بالمعادلة الآتية:

$$R_S = \frac{I_G R_G}{I - I_G}.$$

نريد إخراج شدة التيار I من مقام الكسر؛ لذا، نبدأ بضرب طرفَي المعادلة في $I - I_G$:

$$R_S (I - I_G) = \frac{I_G R_G (I - I_G)}{I - I_G}$$
$$R_S (I - I_G) = I_G R_G.$$

في الخط الثاني، ألغينا الحد $I - I_G$ الذي يظهر في البسط والمقام في الطرف الأيمن.

بعد ذلك، نقسم طرفَي المعادلة على R_S:

$$I - I_G = \frac{I_G R_G}{R_S}.$$

وأخيرًا، نضيف I_G إلى كلا الطرفين:

$$I = \frac{I_G R_G}{R_S} + I_G.$$

معادلة: مدى قياس الأميتر

نفترض أن لدينا أميترًا يتكوَّن من جلفانومتر له تيار انحراف أقصى I_G ومقاومة R_G متصلة على التوازي مع مقاومة مجزِّئة للتيار R_S.

نحصل إذن على شدة التيار القصوى التي يمكن قياسها باستخدام هذا الأميتر، والتي تُعرَف أيضًا باسم مدى قياس الأميتر، عن طريق المعادلة:

$$I = \frac{I_G R_G}{R_S} + I_G.$$

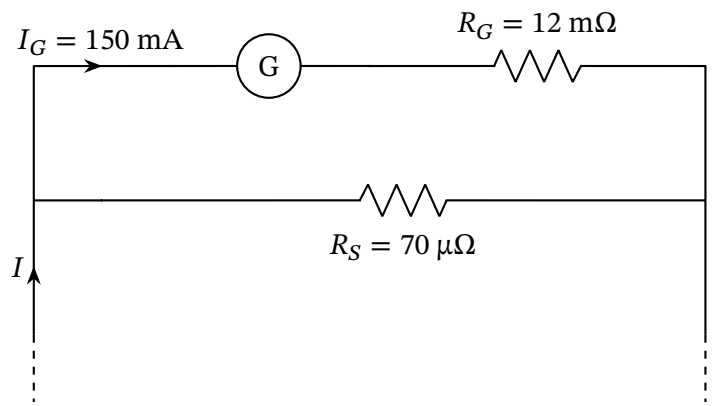
هيا ننتهِ من ذلك بإلقاء نظرة على مثالين آخرين.

مثال ٣: حساب مدى قياس أميتر

جلفانومتر مقاومته 12 mΩ. يؤدي تيار شدته 150 mA إلى انحراف مؤشر الجلفانومتر لنهاية التدريج. وصِّل مجزِّئ تيار على التوازي مع الجلفانومتر لتحويله إلى أميتر. تبلغ مقاومة مجزِّئ التيار 70 μΩ. ما شدة التيار القصوى التي يمكن قياسها بالأميتر؟ قرِّب إجابتك لأقرب منزلة عشرية.

الحل

نبدأ برسم مخطط للدائرة وتحديد القيم المُعطاة:



لقد رسمنا بالتفصيل مقاومة تمثِّل مقاومة الجلفانومتر. هذه المقاومة هي $R_G = 12$ mΩ. ونحن نعلم أن تيار الانحراف الأقصى هو $I_G = 150$ mA، وأن المقاومة المجزِّئة للتيار هي $R_S = 70$ μΩ.

والمطلوب منا إيجاد شدة التيار القصوى التي يمكن أن يقيسها هذا الأميتر.

نتذكَّر هنا أن لدينا معادلة لشدة التيار القصوى التي يمكن أن يقيسها أميتر بمعلومية خواص مكوِّناته:

$$I = \frac{I_G R_G}{R_S} + I_G.$$

ونحن نعرف قيم جميع الكميات في الطرف الأيمن من هذه المعادلة.

لكن قبل التعويض بالقيم التي لدينا، علينا أن نجعل الوحدات متوافقة. إذا استخدمنا وحدة القياس أمبير لـ I_G، ووحدة القياس أوم لكلتا المقاومتين R_S وR_G، فسنحصل على شدة تيار I بوحدة أمبير.

بتحويل القيم إلى هذه الوحدات، نحصل على $I_G = 150 \text{ mA} = 0.15 \text{ A}$ و$R_G = 12 \text{ mΩ} = 1.2 \times 10^{-2}$ Ω و$R_S = 70 \text{ μΩ} = 7 \times 10^{-5}$ Ω.

بالتعويض بهذه القيم في التعبير الذي لدينا لـ I، نحصل على:

$$I = \frac{(0.15\ \text{A}) \times (1.2 \times 10^{-2}\ \Omega)}{7 \times 10^{-5}\ \Omega} + 0.15\ \text{A}.$$

إيجاد قيمة الطرف الأيمن يُعطينا:

$$I = 25.864 \ldots\ \text{A},$$

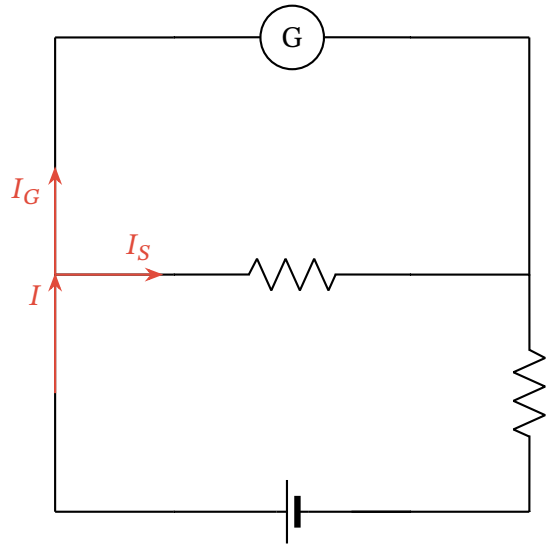
حيث تُشير النقاط الثلاث إلى أن للقيمة مزيدًا من المنازل العشرية.

وأخيرًا، نلاحظ أنه مطلوبٌ منا تقريب الناتج لأقرب منزلة عشرية. وللتقريب إلى أقرب منزلة عشرية، نصل إلى أن شدة التيار القصوى التي يمكن أن يقيسها الأميتر هي:

$$I = 25.9\ \text{A}.$$

مثال ٤: حساب شدة التيارات المارة في الجلفانومتر والمقاومة المجزِّئة للتيار في الأميتر

التيار I في الدائرة الكهربية الموضَّحة شدته $2.5\ \text{mA}$، وهي شدة التيار القصوى التي يمكن قياسها باستخدام الأميتر الموصَّل بالدائرة. مقاومة الجلفانومتر تساوي عشرة أمثال قيمة المقاومة المجزِّئة للتيار.



١. أوجد I_G، التي تمثِّل شدة التيار المار في الجلفانومتر. قرِّب إجابتك لأقرب ميكروأمبير.

٢. أوجد I_S، التي تمثِّل شدة التيار المار في المقاومة المجزِّئة للتيار. قرِّب إجابتك لأقرب منزلتين عشريتين.

الحل

الجزء الأول

لدينا دائرة كهربية تعمل باعتبارها أميترًا. طُلِب منا إيجاد شدة التيار I_G المار عبر الجلفانومتر، بمعلومية شدة التيار القصوى التي يمكن أن يقيسها هذا الأميتر، وهي $I = 2.5\ \text{mA}$.

ليس لدينا في المُعطيات القيم الفعلية لمقاومة الجلفانومتر والمقاومة المجزِّئة للتيار. ومع ذلك، نعلم من المُعطيات أن مقاومة الجلفانومتر، التي سنُسمِّيها R_G، تساوي عشرة أمثال قيمة المقاومة المجزِّئة للتيار، وهي ما سنُسمِّيها R_S. بعبارة أخرى لدينا:

$$R_G = 10R_S.$$

نتذكَّر أننا نعرِّف معادلة تربط بين شدة التيار I في دائرة كهربية، مثل الدائرة الموجودة في هذا السؤال، وشدة التيار I_G عبر الجلفانومتر:

$$I = \frac{I_G R_G}{R_S} + I_G.$$

وبالنسبة إلى هذا الأميتر، نعلم أيضًا أن $R_G = 10R_S$. إذن يمكننا التعويض عن R_G بـ $10R_S$ في التعبير الذي لدينا لـ I، لنحصل على:

$$I = \frac{I_G \times (10R_S)}{R_S} + I_G.$$

يمكننا الآن إلغاء R_S في بسط الكسر الموجود في الطرف الأيمن من المعادلة مع R_S في مقام هذا الكسر:

$$I = 10I_G + I_G = 11I_G.$$

ونظرًا لأننا في هذه الحالة نعرف شدة التيار I ونريد إيجاد قيمة I_G، يمكننا جعل I_G في طرف بمفردها عن طريق قسمة طرفَي المعادلة على 11:

$$I_G = \frac{I}{11}.$$

وأخيرًا، التعويض بـ $I = 2.5\ \text{mA}$ يُعطينا قيمة I_G؛ أي شدة التيار عبر الجلفانومتر:

$$I_G = \frac{2.5\ \text{mA}}{11} = 0.227\ldots\ \text{mA}$$
$$I_G = 227\ \mu\text{A}.$$

والآن، لدينا الإجابة بوحدة ميكروأمبير لأقرب ميكروأمبير، كما هو مطلوب في السؤال.

وبما أن I هي شدة التيار القصوى التي يمكن قياسها بهذا الأميتر، فإننا نعلم أن I_G هي تيار الانحراف الأقصى للجلفانومتر، وهو أمر جدير بالملاحظة.

الجزء الثاني

نعلم من مُعطيات السؤال أن شدة التيار في الدائرة هي $I = 2.5\ \text{mA}$. ولقد أوجدنا أيضًا أن شدة التيار في الجلفانومتر هي $I_G = 227\ \mu\text{A} = 0.227\ \text{mA}$.

الجزء الثاني من السؤال يطلب منا إيجاد شدة التيار I_S المار عبر المقاومة المجزِّئة للتيار.

يمكننا أن نتذكَّر أن إجمالي التيار المار عبر تقاطعٍ ما يجب أن يساوي شدة التيار الخارج منه.

وبالرجوع إلى الشكل، فسنرى أن لدينا تيارًا شدته I يمر إلى داخل التقاطع، وكذلك التياران I_G وI_S؛ حيث يخرج كلٌّ منهما من التقاطع على امتداد فرعين مختلفين. إذن تنفصل شدة التيار I عند التقاطع إلى شدتَي التيار I_G وI_S.

بعبارة أخرى، نعلم أنه لا بد أن يكون:

$$I = I_G + I_S.$$

ونحن نحاول إيجاد قيمة I_S؛ لذا، علينا إعادة ترتيب هذه المعادلة بطرح I_G من كلا الطرفين لجعل I_S في طرف بمفردها:

$$I_S = I - I_G.$$

عند التعويض بقيمتَي I وI_G نحتاج إلى التأكُّد من أننا نستخدم الوحدة نفسها في كلٍّ منهما. باستخدام وحدة مللي أمبير يصبح لدينا $I = 2.5\ \text{mA}$ و$I_G = 0.227\ \text{mA}$. وبالتعويض بهاتين القيمتين، نحصل على الناتج لشدة التيار I_S عبر المقاومة المجزِّئة للتيار:

$$I_S = 2.5\ \text{mA} - 0.227\ \text{mA}$$
$$I_S = 2.27\ \text{mA}.$$

وحصلنا على الإجابة لأقرب منزلتين عشريتين، كما هو مطلوب في السؤال.

أخيرًا، نلخِّص ما تعلَّمناه في هذا الشارح.

النقاط الرئيسية

- يمكن صنع أميتر من خلال توصيل جلفانومتر ومقاومة، تُعرَف باسم المقاومة المجزِّئة للتيار، على التوازي.
- لصُنع أميتر بهذه الطريقة، يجب أن تكون المقاومة المجزِّئة للتيار R_S أقل كثيرًا من مقاومة الجلفانومتر R_G: $R_S \ll R_G$.
- إذا كان لدينا أميتر يتكوَّن من جلفانومتر له تيار انحراف أقصى I_G ومقاومة R_G موصَّلة على التوازي بمقاومة مجزِّئة للتيار، فلكي نتمكَّن من قياس شدة التيار I، تُعطى القيمة المطلوبة للمقاومة المجزِّئة للتيار R_S من خلال

المعادلة:

$$R_S = \frac{I_G R_G}{I - I_G}.$$

- يمكننا إعادة ترتيب هذه المعادلة لنحصل على تعبير عن شدة التيار القصوى I، التي يمكننا قياسها بواسطة أميتر محدَّد، بمعلومية خواص مكوِّناته:

$$I = \frac{I_G R_G}{R_S} + I_G.$$