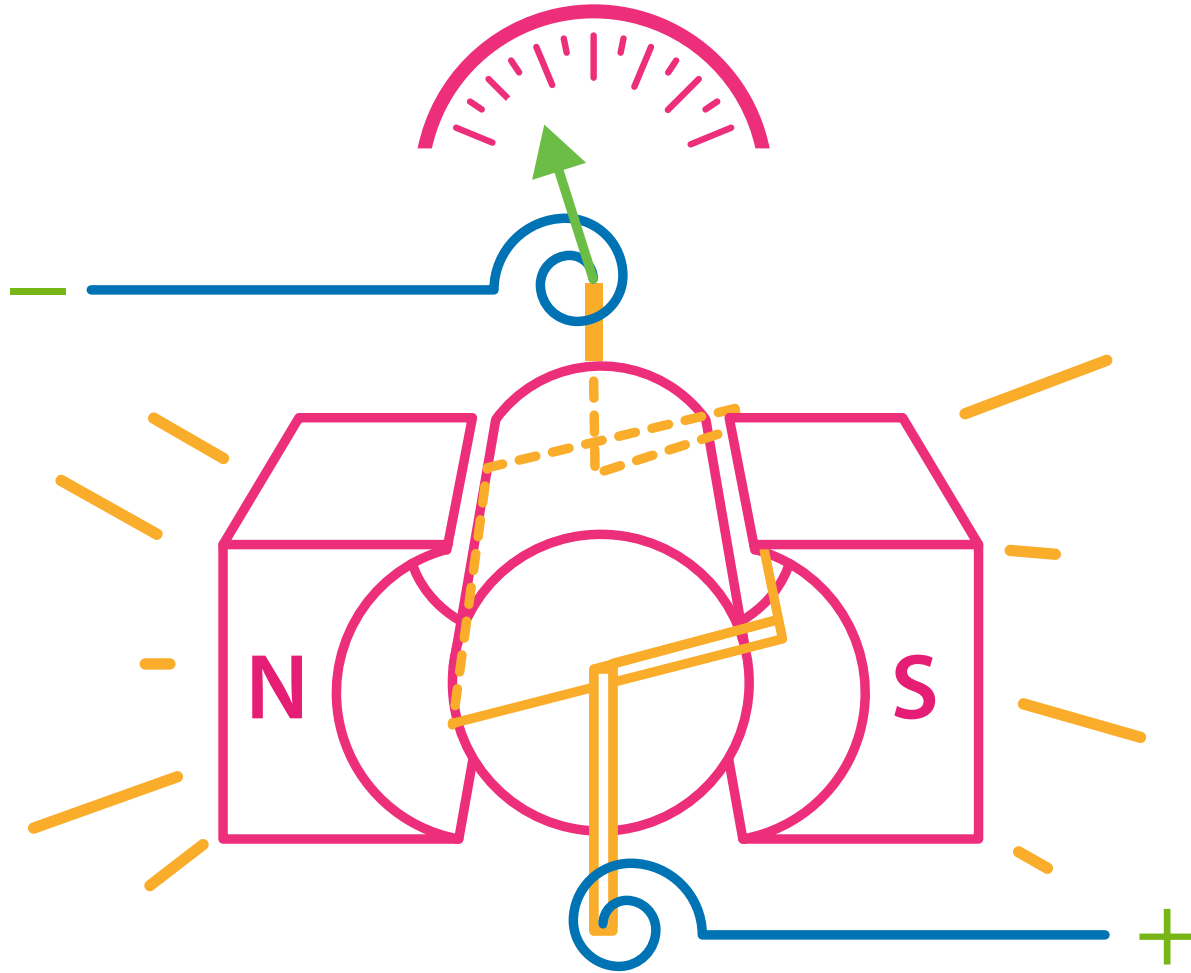




الجلفانومتر ذو الملف المتحرك

أهداف الدرس

ستتمكن من:

- ◀ وصف ترتيب ووظائف مكونات الجلفانومتر ذي الملف المتحرك
- ◀ وصف انحراف الجلفانومتر ذي الملف المتحرك استجابةً لوجود تيار كهربائي
- ◀ حساب حساسية الجلفانومتر ذي الملف المتحرك

تذكير: القوة المؤثرة على سلك يحمل تيارًا

عندما يمر تيار كهربى في سلك، يَنُتِجُ مجال مغناطيسى حول السلك.

عندما يُوضَعُ هذا السلك في مجال مغناطيسى خارجى، يتفاعل المجالان، وتنتج عن ذلك قوة تؤثر في السلك.

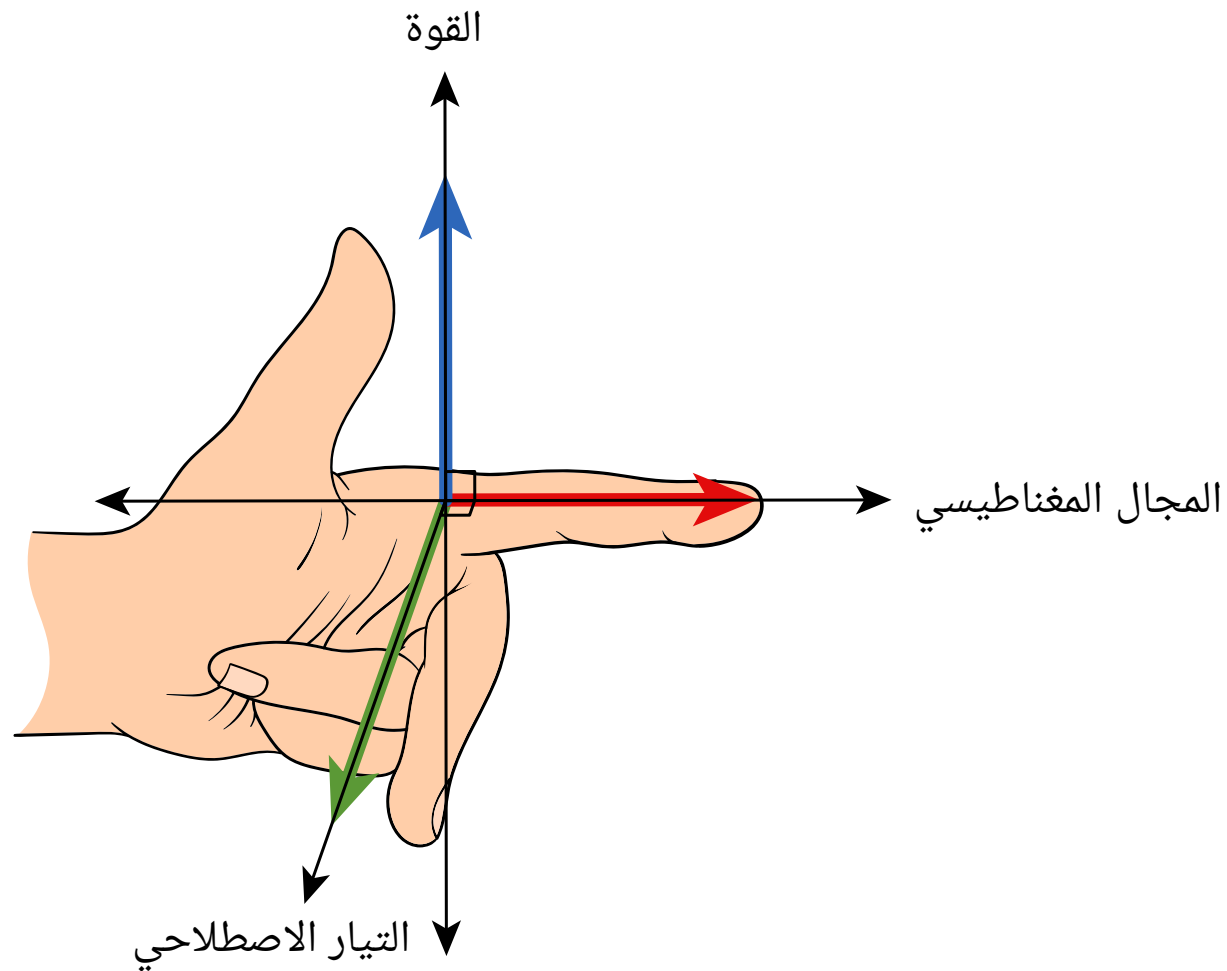
إذا كان المجال المغناطيسى والتيار المار في السلك متعامدين، يُعطى مقدار هذه القوة من خلال العلاقة:

$$F = BIL,$$

حيث B كثافة الفيض المغناطيسى للمجال الخارجى، و I شدة التيار المار في السلك، و L طول السلك الواقع في المجال المغناطيسى.

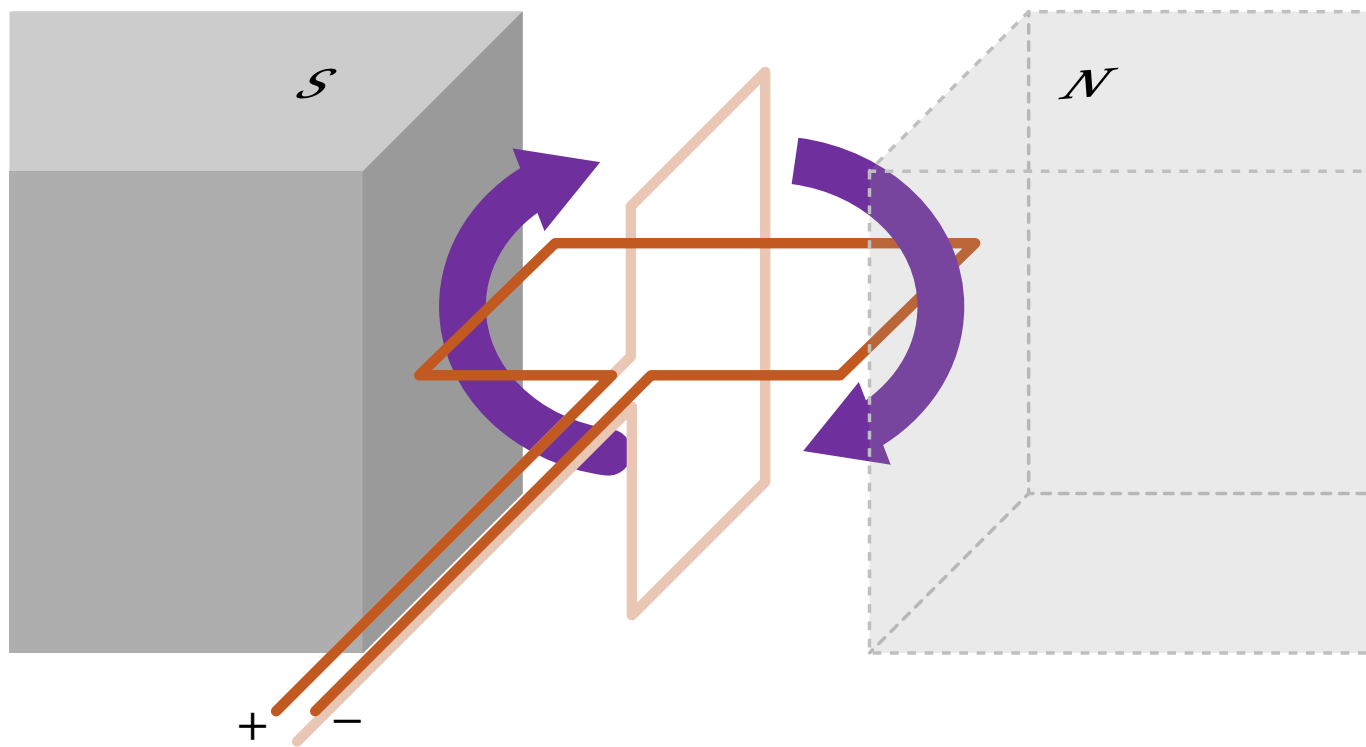
تذكير: قاعدة اليد اليسرى لفلمنج

يمكن تحديد اتجاه القوة المؤثرة في سلك يحمل تيارًا باستخدام قاعدة اليد اليسرى لفلمنج، كما هو موضح في الشكل الآتي:



تذكير: القوى المؤثرة على ملف مستطيل

إذا كان لدينا ملف مستطيل يمر به تيار موضوع في مجال مغناطيسي، فسيؤثر الملف بعزم دوران؛ مما يتسبب في دوران الملف. هذا لأن الشحنة تتدفق في اتجاهين متعاكسين على جانبيه. ومن ثمَّ يؤثر في طرفي الملف قوتان في اتجاهين متعاكسين. يُعرف دوران الملف في مجال مغناطيسي بتأثير المحرك الكهربائي، كما هو موضح في الشكل الآتي:



مكونات الجلفانومتر

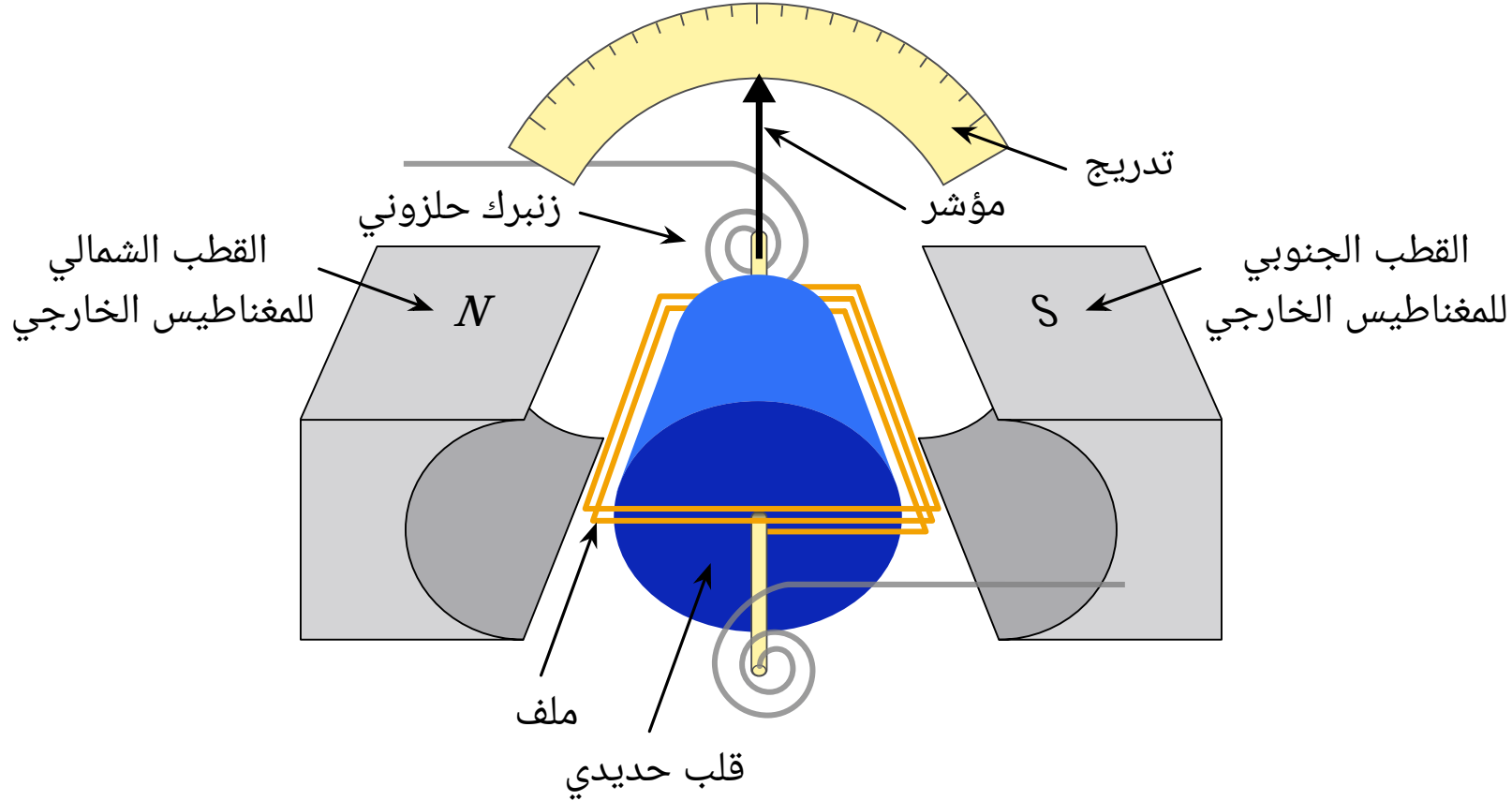
يستخدم الجلفانومتر تأثير المحرك الكهربائي لقياس شدة التيار في الدوائر الكهربائية.

يوضح الشكل الآتي تركيب الجلفانومتر.

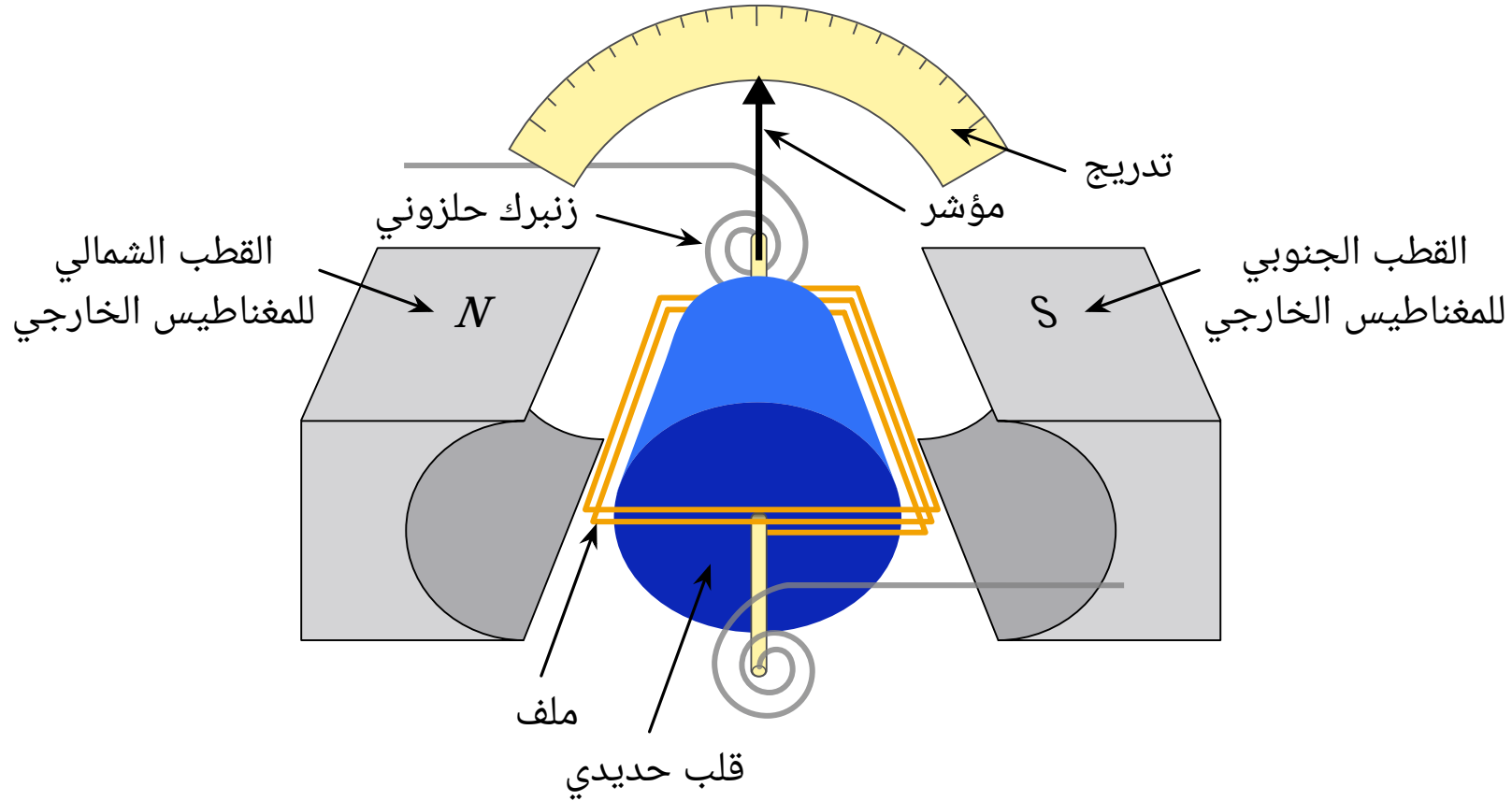
يتكون الجلفانومتر من قلب حديدي موضوع داخل ملف مستطيل.

هذا الملف والقلب الحديدي موضوع داخل مجال مغناطيسي دائم.

يمكن توليد المجال المغناطيسي بواسطة مغناطيس على شكل حدوة حصان. ويجب أن يتخذ القطبان شكلاً مقعرًا ونصف دائري.



مكونات الجلفانومتر (متابعة)



يتصل الملف بزنبركين حلزونيين عن طريق قضيبين موصلين.

يُصنع الزنبركان الحلزونيان كذلك من مادة موصلة. فهما بمنزلة «طرفي» الجلفانومتر؛ فمن خلالهما يتصل الملف بالدائرة الكهربائية الخارجية.

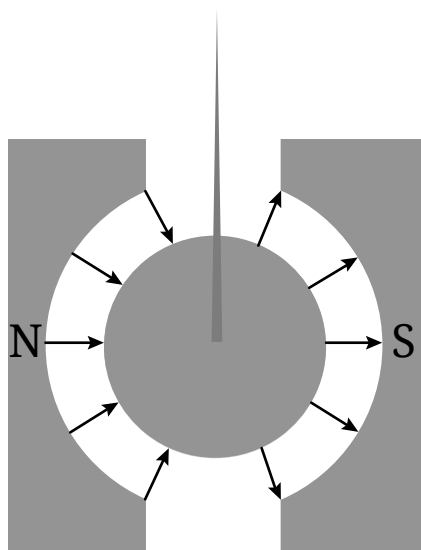
كما يتصل الملف بمؤشر يمكن أن يتحرك على امتداد تدريج.

المجال المغناطيسي للجلفانومتر

يحتوي الجلفانومتر على قلب حديدي. يُغيّر القلب الحديدي مجال المغناطيس الخارجي. يتمغنط الحديد بسهولة. لذلك فمن الأسهل لخطوط المجال المغناطيسي الخارجي أن تمر عبر القلب الحديدي، بدلاً من المرور في الهواء. وهذا يُكثّف خطوط المجال؛ مما يجعلها تمر عبر الملف.

يعمل هذا، بالإضافة إلى الشكل المقعر للأقطاب المغناطيسية، على توليد مجال مغناطيسي قُطري، كما هو موضح في الشكل المقابل.

وهذا يعني أن ضلعي الملف اللذين يشيران إلى داخل الشاشة وخارجها يكونان عموديين على المجال دائماً. ومن ثمّ يتأثران بقوة منتظمة تُعطى دائماً بالعلاقة $F = BIL$.



عزوم الدوران في ملف الجلفانومتر

عند مرور تيار في الملف يتأثر الملف بعزم دوران، وهو ما يتسبب في دوران الملف.

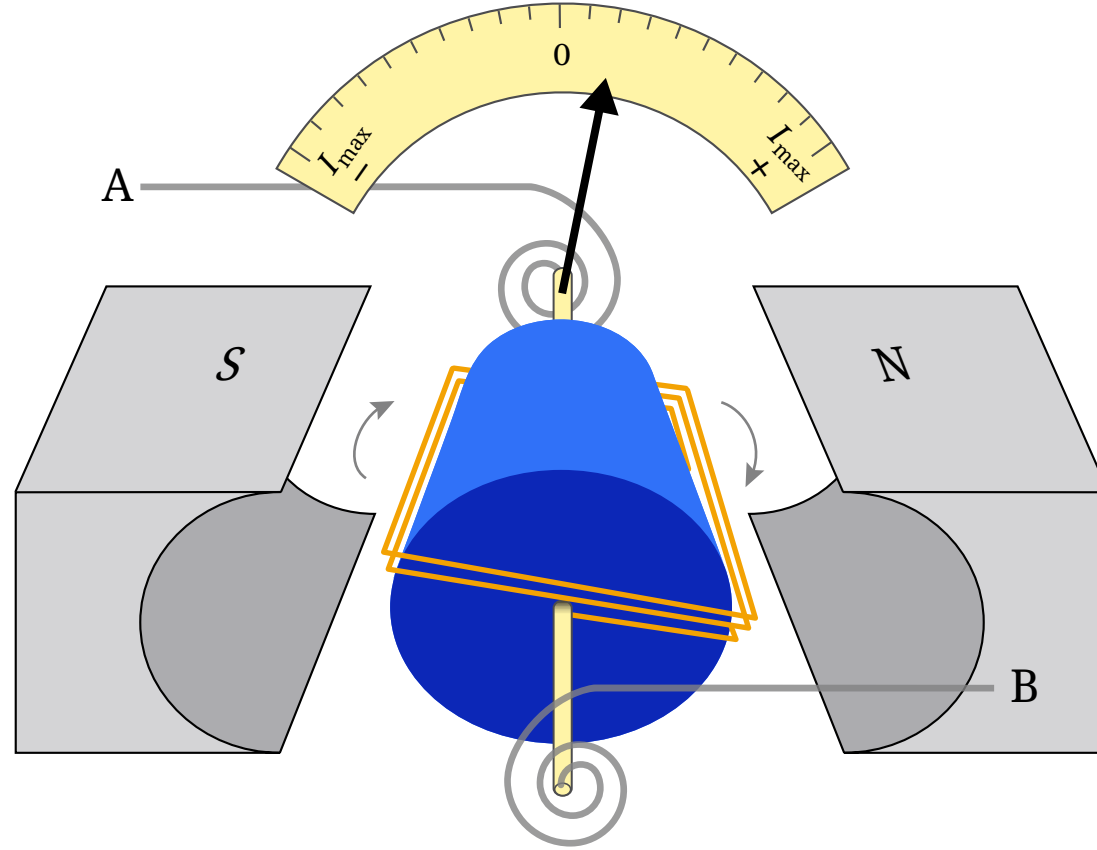
ومع ذلك لا يدور الملف بحرية. إذ يُقاوم الزنبركان الحلزونيان دورانه عن طريق التأثير بعزم دوران في الاتجاه المعاكس. كلما زادت زاوية دوران الملف، زاد عزم الدوران الناتج من الزنبركين الحلزוניين.

في نهاية المطاف يصبح مقدار عزم الدوران من الزنبركين الحلزוניين مساويًا لمقدار عزم الدوران الناتج عن المجال المغناطيسي على الملف بسبب تأثير المحرك الكهربائي وهو ثابت. وعندما يحدث ذلك، يصل الملف إلى وضع الاتزان، ويتوقف عن الدوران.

إذا زادت شدة التيار المار عبر الملف، فسيزداد أيضًا مقدار عزم الدوران الناتج عن المجال المغناطيسي. وهذا يعني أن الملف سيدور بدرجة أكبر قبل أن يوقف الزنبركان الحلزونيان حركته تمامًا.

مثال ١: تأثير المجال المغناطيسي في ملف الجلفانومتر

يوضح الشكل جلفانومتراً ذا ملف متحرك. يتصل طرفا الجلفانومتر بمصدر تيار مستمر. أي من الطرفين A, B يتصل بالخرج الموجب للمصدر؟



مثال ١ (متابعة)

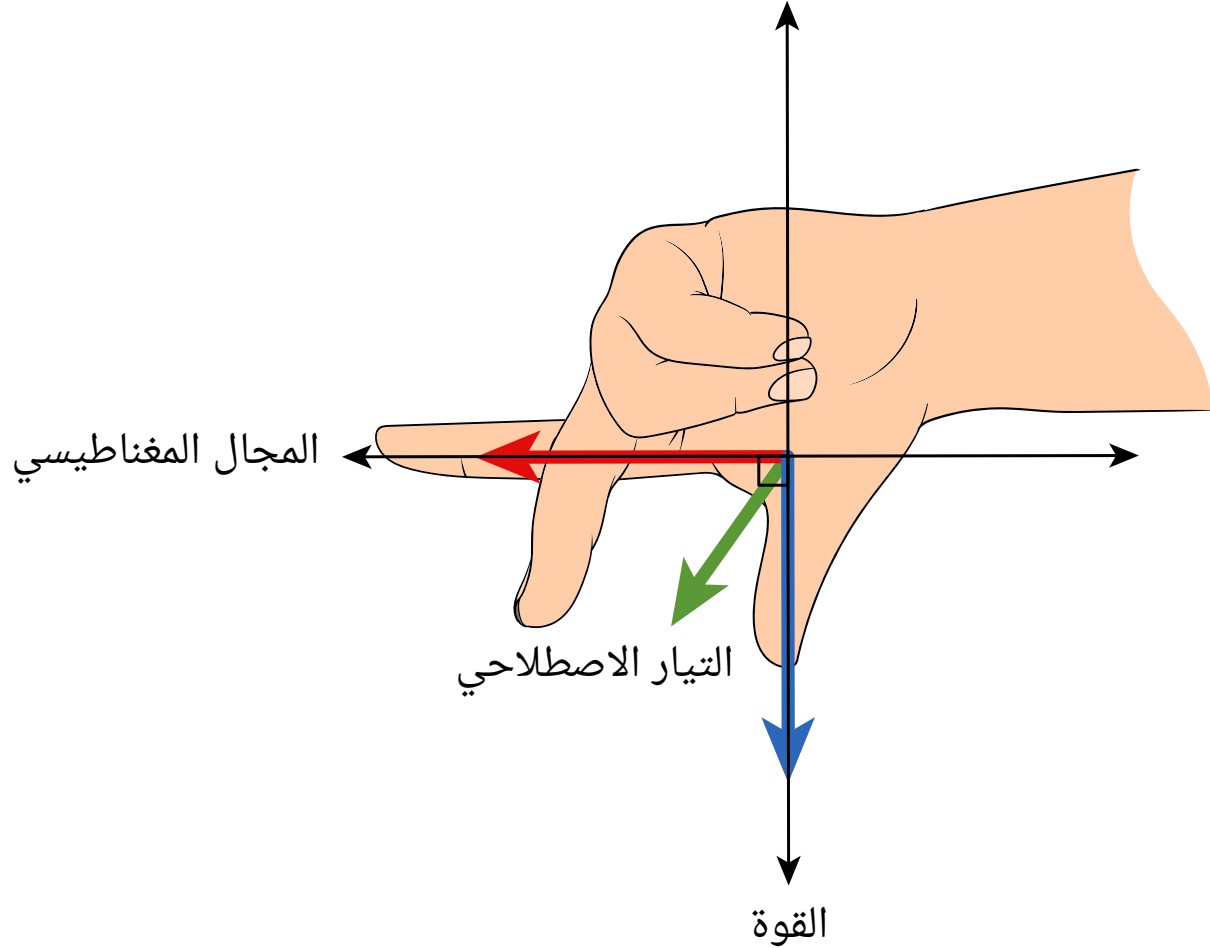
الحل

يمكننا إيجاد اتجاه التيار الاصطلاحي (اتجاه تدفق الشحنة الموجبة) باستخدام قاعدة اليد اليسرى لفلمنج.

يقع الملف داخل مجال مغناطيسي لقطبين مغناطسيين؛ الجنوبي على اليسار، والشمالى على اليمين. تتجه خطوط المجال المغناطيسي دائمًا من القطب الشمالى إلى القطب الجنوبى. وهذا يعني أنه عند استخدام قاعدة اليد اليسرى لفلمنج، يتجه المجال المغناطيسي الذي تمثله السبابة، من اليمين إلى اليسار عبر الشاشة.

لننظر إلى ضلع الملف الأيمن. يتأثر ضلع الملف هذا بقوة تتجه لأسفل. ووفقًا لقاعدة اليد اليسرى لفلمنج، تناظر القوة إصبع الإبهام. إذن يجب أن يُشير الإبهام لأسفل.

مثال ١ (متابعة)



إذا وضعنا اليد اليسرى بهذا الشكل؛ بحيث يشير إصبع السبابة من اليمين إلى اليسار ويشير الإبهام لأسفل، فسنجد أن الإصبع الوسطى تشير نحونا؛ أي خارج الشاشة. تمثل الإصبع الوسطى اتجاه تدفق الشحنة الموجبة.

وهذا موضح في الشكل المقابل.

هذا يوضح لنا أن الشحنة الموجبة تتدفق من الطرف A إلى الطرف B. إذن يجب أن يتصل الطرف A بالخرج الموجب للمصدر.

قياس التيار بالجلفانومتر ذي الملف المتحرك

في الجلفانومتر يتصل الملف بمؤشر يتحرك على امتداد تدريج أثناء دوران الملف. وهذا يتيح لنا قياس شدة التيار المار عبر الملف. في حالة عدم مرور تيار في الملف، فإن المؤشر يتخذ وضعًا رأسيًا، مشيرًا إلى أن شدة التيار تساوي A_0 . عند مرور تيار عبر الملف، فإنه يدور حتى يصل إلى حالة الاتزان مع الزنبركين الحلزוניين. وهذا يجعل المؤشر يتحرك بزاوية معينة θ .

نسمي هذه الحركة «انحرافًا».

إذا زادت شدة التيار المار في الملف، فسيدور الملف بدرجة أكبر قبل وصوله إلى الاتزان؛ الأمر الذي يتسبب في انحراف المؤشر بزاوية أكبر.

لذلك تناظر زيادة زاوية الانحراف زيادة شدة التيار.

قياس التيار بالجلفانومتر ذي الملف المتحرك (متابعة)

لا يمكن استخدام الجلفانومتر إلا لقياس التيارات الصغيرة جدًا التي تكون شدتها في نطاق الميكروأمبير أو المللي أمبير.

إذا مرَّ تيار ذو شدة كبيرة عبر الجلفانومتر، فسينحرف المؤشر بدرجة كبيرة للغاية. وسيؤدي هذا إلى تمثُّد الزنبركين الحلزونيين تمديدًا زائدًا؛ ما قد يؤدي إلى تشوُّههما وفقدان مرونتهما.

سيؤدي هذا إلى تلف الجلفانومتر ممَّا يجعله غير صالح لقياس شدة التيار بعد ذلك.

كما قد يؤدي مرور تيار ذي شدة كبيرة إلى أن تصبح الأسلاك في الجلفانومتر ساخنة للغاية. الأمر الذي قد يؤدي إلى تلف الجلفانومتر أيضًا.

انعكاس التيار بالجلفانومتر ذي الملف المتحرك

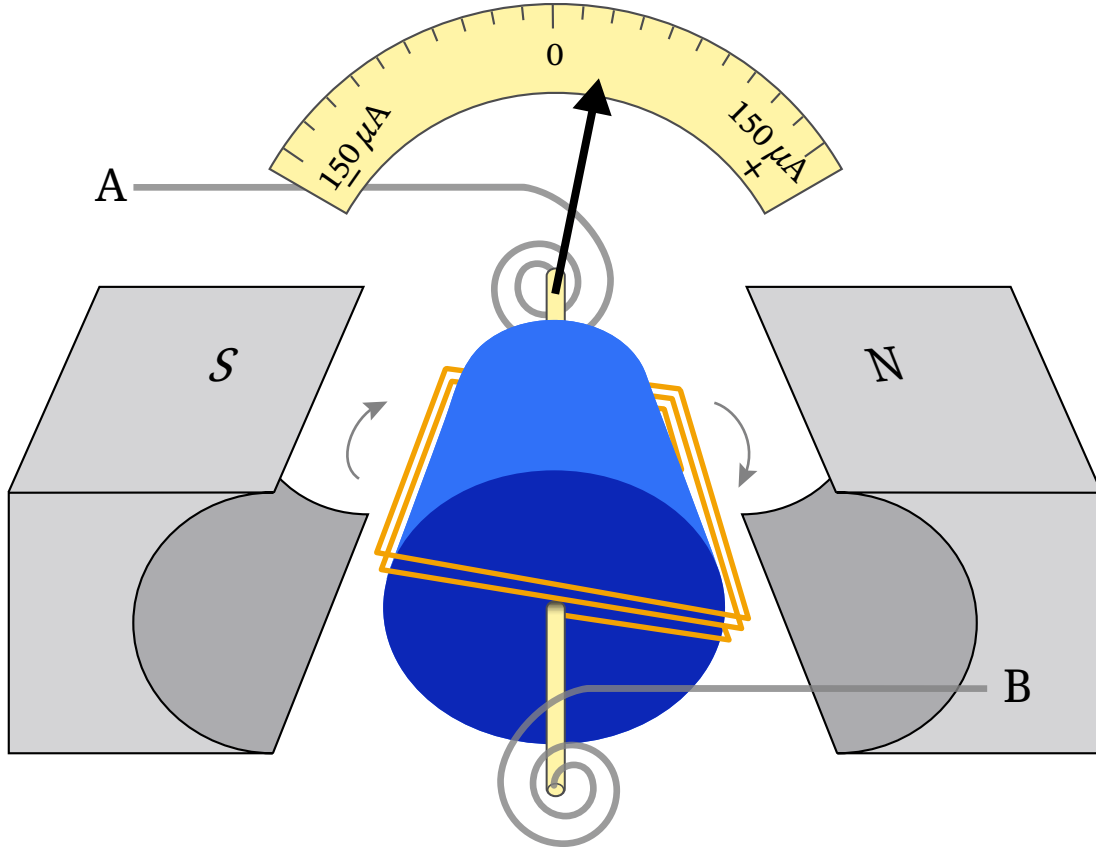
إذا انعكس اتجاه التيار، فسوف ينعكس اتجاه عزم الدوران الناتج عن المجال المغناطيسي أيضًا وفقًا لقاعدة اليد اليسرى لفلمنج. هذا يعني أن اتجاه دوران الملف سينعكس، وسيتحرف المؤشر في الاتجاه المعاكس.

وهكذا إذا كان المؤشر عند الزاوية θ جهة اليمين في البداية، وعكسنا اتجاه التيار، فسيتحرك المؤشر إلى الموضع عند الزاوية θ جهة اليسار.

هذا يعني أن الجلفانومتر يشير إلى كل من مقدار التيار واتجاهه.

يتعين علينا معايرة الجلفانومتر قبل استخدامه. ويتضمن ذلك تمرير تيار ذي مقدار واتجاه معلومين عبر الجلفانومتر وقياس انحرافه.

مثال ٢: شدة التيار في جلفانومتر ذي ملف متحرك



يوضح الشكل جلفانومتراً ذا ملف مُتحرِّك. ينحرف مؤشر الجلفانومتر لأقصى التدريج عندما يمر في ملف الجلفانومتر تيار شدته $150 \mu\text{A}$. أيُّ من الآتي يجب أن يكون صحيحاً عن التيار I المار من الطرف A إلى الطرف B؟

أ. $I = 0 \mu\text{A}$

ب. $(-150 < I < 0) \mu\text{A}$

ج. $I = -150 \mu\text{A}$

د. $(150 > I > 0) \mu\text{A}$

هـ. $I = 150 \mu\text{A}$

مثال ٢ (متابعة)

الحل

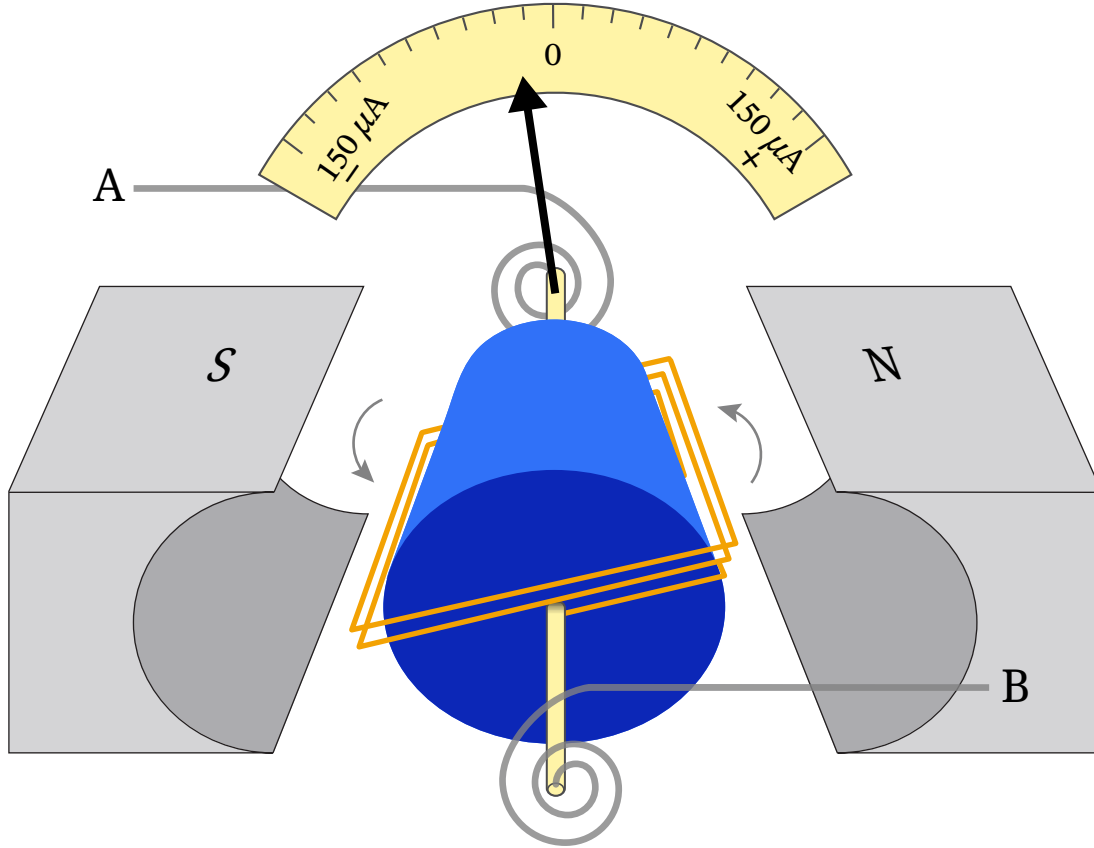
عندما تكون شدة التيار المار في الملف $0 \mu A$ ، يكون المؤشر عند منتصف التدريج مشيرًا رأسيًا لأعلى.

نعلم من المعطيات أن مؤشر الجلفانومتر ينحرف لأقصى التدريج عندما يمر في ملف الجلفانومتر تيار شدته $150 \mu A$. وهذا يعني أنه عندما يمر في ملف الجلفانومتر تيار شدته $150 \mu A$ ، سينحرف المؤشر إلى أقصى يمين التدريج. وبالمثل عندما يمر في ملف الجلفانومتر تيار شدته $-150 \mu A$ ، سينحرف المؤشر إلى أقصى يسار التدريج.

المؤشر في الشكل المُعطى منحرف إلى يمين نقطة الصفر قليلًا. وهذا يعني أن التيار المار في الملف لا بد أن يكون موجبًا وشدته أكبر من $0 \mu A$ ، لكن أصغر من $150 \mu A$.

إذن الإجابة هي د μA ($150 > I > 0$).

مثال ٣: شدة التيار في جلفانومتر ذي ملف متحرك



يوضح الشكل جلفانومتراً ذا ملف متحرك. ينحرف مؤشر الجلفانومتر لأقصى التدرج عندما يمر في ملفات الجلفانومتر تيار شدته $150 \mu A$. أي من الآتي يجب أن يكون صحيحاً عن التيار I المار من الطرف A إلى الطرف B؟

أ. $I = -150 \mu A$.

ب. $I \mu A$ ($-150 < I < 0$).

ج. $I = 0 \mu A$.

د. $I = 150 \mu A$.

هـ. $I \mu A$ ($150 > I > 0$).

مثال ٣ (متابعة)

الحل

عندما تكون شدة التيار المار في الملف $0 \mu A$ ، يكون المؤشر عند منتصف التدريج مشيرًا رأسياً لأعلى.

نعلم من المعطيات أن مؤشر الجلفانومتر ينحرف لأقصى التدريج عندما يمر في ملف الجلفانومتر تيار شدته $150 \mu A$. وهذا يعني أنه عندما يمر في ملف الجلفانومتر تيار شدته $150 \mu A$ ، سينحرف المؤشر إلى أقصى يمين التدريج. وبالمثل عندما يمر في ملف الجلفانومتر تيار شدته $-150 \mu A$ ، سينحرف المؤشر إلى أقصى يسار التدريج.

المؤشر في الشكل منحرف إلى يسار نقطة الصفر قليلاً. وهذا يعني أن التيار المار في الملف لا بد أن يكون سالباً، وشدته أكبر من $0 \mu A$ وأصغر من $150 \mu A$.

إن الإجابة هي ب، μA ($-150 < I < 0$).

حساسية الجلفانومتر ذي الملف المتحرك

تُصمَّم الجلفانومترات بحيث تتناسب زاوية انحراف المؤشر θ ، طرديًا مع شدة التيار I ، المار في الملف، يمكننا كتابة ذلك رياضيًا على الصورة:

$$\theta \propto I.$$

يمكننا كتابة ذلك على صورة معادلة عن طريق تقديم ثابت تناسب، سنسميه S ، ليمثِّل «الحساسية»:

$$\theta = SI.$$

يمكننا إعادة ترتيب هذه المعادلة لإيجاد تعبير عن حساسية الجلفانومتر:

$$S = \frac{\theta}{I}.$$

وحدة الحساسية هي درجة لكل أمبير ($^{\circ}/A$) أو راديان لكل أمبير (rad/A).

حساسية الجلفانومتر ذي الملف المتحرك (متابعة)

تُشير الحساسية إلى استجابة الجلفانومتر لمقادير شدة التيار المختلفة.

إذا كانت حساسية الجلفانومتر كبيرة، يمكن أن يحدث انحراف زاوي كبير للمؤشر عند مرور شدة تيار صغيرة نسبيًا.

إذا كانت الحساسية صغيرة، فحتى شدة التيار الكبيرة لن تُحدث إلا انحرافًا زاويًا صغيرًا للمؤشر.

مثال ٤: حساسية الجلفانومتر ذي الملف المتحرك

ينحرف مؤشر جلفانومتر ذي ملف متحرك بزاوية قياسها 33° عندما تكون شدة التيار المار في الجلفانومتر $180\ \mu\text{A}$.
ما حساسية الجلفانومتر؟ قرّب إجابتك لأقرب منزلتين عشريتين.

مثال ٤ (متابعة)

الحل

تُعرَّف حساسية الجلفانومتر ذي الملف المتحرّك من خلال المعادلة:

$$S = \frac{\theta}{I}.$$

لدينا هنا $\theta = 33^\circ$ و $I = 180 \mu\text{A}$. ومن ثَمَّ:

$$\begin{aligned} S &= \frac{33^\circ}{180 \mu\text{A}} \\ &= 0.18^\circ/\mu\text{A}. \end{aligned}$$

لاحظ الوحدات هنا: نظرًا لأن شدة التيار صغيرة للغاية، فقد اخترنا قياس الحساسية بوحدة درجة لكل ميكروأمبير ($^\circ/\mu\text{A}$) بدلًا من درجة لكل أمبير ($^\circ/\text{A}$).

مثال ٥: حساسية الجلفانومتر ذي الملف المتحرك

ينحرف مؤشر جلفانومتر ذي ملف متحرك بزاوية قياسها 22° عندما تكون شدة التيار المار في الجلفانومتر $360\ \mu\text{A}$.

تبلغ زاوية أقصى انحراف لمؤشر الجلفانومتر 45° .

ما أقصى قيمة لشدة التيار يمكن للجلفانومتر قياسها؟ اكتب إجابتك لأقرب ميكروأمبير.

مثال ٥ (متابعة)

الحل

لكي نحسب أقصى قيمة لشدة التيار يمكن للجلفانومتر قياسها، علينا أولاً حساب حساسية الجلفانومتر.

نعلم أن المؤشر ينحرف بزاوية قياسها 22° عندما تكون شدة التيار المار في الجلفانومتر $360 \mu A$ ، يمكننا إذن استخدام هذه القيم لحساب الحساسية:

$$\begin{aligned} S &= \frac{\theta}{I} \\ &= \frac{22^\circ}{360 \mu A} \\ &= 0.061^\circ/\mu A. \end{aligned}$$

وحيث إننا حسبنا حساسية الجلفانومتر، يمكننا حساب أقصى قيمة لشدة التيار يمكن للجلفانومتر قياسها.

مثال ٥ (متابعة)

نعلم أيضًا أن زاوية أقصى انحراف لمؤشر الجلفانومتر تبلغ 45° . ويمكننا استخدام الحساسية لحساب شدة التيار الذي يناظر انحراف هذه الزاوية. بإعادة ترتيب المعادلة:

$$S = \frac{\theta}{I},$$

نجد أن:

$$\begin{aligned} I &= \frac{\theta}{S} \\ &= \frac{(45^\circ)}{(0.061^\circ/\mu A)} \\ &= 736 \mu A. \end{aligned}$$

وعليه فإن أقصى شدة للتيار يمكن أن تمر عبر ملف الجلفانومتر، والتي تناظر أقصى انحراف للمؤشر، تساوي $736 \mu A$.

النقاط الرئيسية

- ▶ يُستخدم الجلفانومتر التأثير الناتج عن وجود ملف يمر به تيار في مجال مغناطيسي لرصد شدة التيار وقياسها في الدوائر الكهربائية.
- ▶ عندما يمر تيار عبر ملف موضوع في مجال مغناطيسي، يدور هذا الملف. وفي الجلفانومتر يؤدي هذا الدوران إلى انحراف المؤشر على التدريج.
- ▶ دوران الملف يعارضه عزم دوران ناتج عن زنبركين حلزוניين. وتشير النقطة التي يصل عندها النظام للاتزان إلى مقدار التيار المار في الملف واتجاهه.
- ▶ تُعرّف حساسية الجلفانومتر من خلال المعادلة $S = \frac{\theta}{I}$ ، ويُقاس بوحدة درجة لكل أمبير ($^\circ/A$).
- ▶ تشير حساسية الجلفانومتر إلى مدى شدة التيار اللازمة لإحداث تغير معين في الانحراف الزاوي للمؤشر.
- ▶ لا يمكن استخدام الجلفانومترات إلا لقياس التيارات الصغيرة للغاية. إذ يمكن أن يؤدي مرور تيار كبير إلى تلف الجلفانومتر.