شارح: أميتر التيار المتردِّد

في هذا الشارح، سوف نتعلَّم كيف نَصِف تكوين الأميتر الذي يستخدم التمدُّد الحراري للأسلاك الموصِّلة لقياس التيارات المتردِّدة.

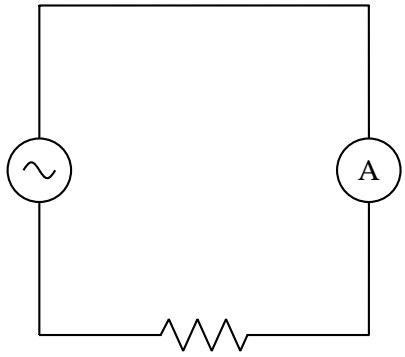
يُعدُّ الأميتر أحد مكوِّنات الدائرة الكهربية، ويُستخدَم لقياس التيار الكهربي.

عادةً ما يُستخدَم جلفانومتر لتكوين الأميتر المُستخدَم في دوائر التيار المستمرِّ. يستخدم هذا الجهاز مؤشِّرًا ينحرف بفعل عزم الدوران المغناطيسي ليشير إلى مقدار التيار واتجاهه.

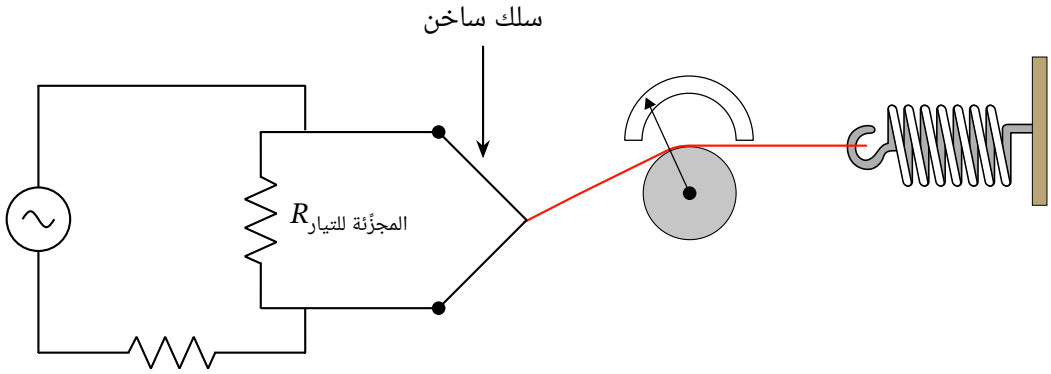
في دوائر التيار المتردِّد لا يكون الجلفانومتر مناسبًا للاستجابة للتغيُّرات المتكرِّرة والسريعة في اتجاه التيار. يتطلَّب هذا استخدام تصميم مختلف للأميتر.

الأميتر الحراري جهاز يقيس التيار الكهربي بناء على التمدُّد الحراري للسلك. لا يهمُّ في ذلك اتجاه التيار المارِّ في السلك؛ وهذا ما يجعله مناسبًا تمامًا لدوائر التيار المتردِّد.

افترض أن لدينا دائرة تيار متردِّد يتَّصل بها أميتر حراري على التوالي كما هو موضَّح في الشكل الآتي:



صُمِّم الأميتر بحيث يَقسِم التيار إلى فرعين متوازيين. يتكوَّن أحد الفرعين من مقاومة تُعرَف باسم «المقاومة المجزِّئة للتيار». أما الفرع الآخَر فيتكوَّن من سلك ساخن كما هو موضَّح:



تتدفَّق الشحنات التي تدخل الأميتر عبر المقاومة المجزَّئة للتيار أو عبر السلك الساخن.

عندما تتدفَّق الشحنة عبر السلك ترتفع درجة حرارة السلك؛ وهذا ما يؤدي إلى تمدُّده.

يمثِّل الخط الأحمر في الشكل خيطًا غير موصِّل مربوط بالسلك الساخن. يتأثَّر الخيط بقوة شدٍّ بفعل الزنبرك. عندما ترتفع درجة حرارة السلك يتمدَّد السلك ساحبًا الخيط ناحية اليمين.

تدور بكرة بفعل الخيط المتحرِّك ساحبةً مؤشِّرًا يمرُّ عَبْر تدريج قياس مُعايَر. يشير موضع المؤشِّر على التدريج إلى قراءة التيار على الأميتر.

مثال ١: شرح كيف يمكن أن تَنتُج عن التيار المتردِّد قراءةٌ ثابتة للتيار في أميتر حراري

يتمدَّد سلك مصنوع من سبيكة البلاتين والإيريديوم في أميتر حراري عندما تزداد درجة حرارته، وينكمش عندما تقلُّ درجة حرارته. تعتمد درجة حرارة السلك على شدَّة التيار المارِّ في السلك. سوف يعطي أميتر حراري يستخدم سلكًا مثل هذا قراءة ثابتة لتيار متردِّد له قيمة عظمى معينة. أيٌّ من الآتي يشرح بشكل صحيح كيف يمكن أن تَنْتُجَ عن تيار متردِّد تردده 50 Hz يمرُّ في سلك قراءة ثابتة على الأميتر الحراري؟

أ. التردُّد الذي يتعرَّض عنده السلك لدورات من التمدُّد والانكماش أصغر بكثير من تردُّد التيار المتردِّد؛ ولذلك تمدُّد السلك يناظر القيمة الفعَّالة للتيار.

ب. يتمدَّد السلك عندما تزداد درجة حرارته بسرعة أكبر من انكماشه عندما تقلُّ درجة حرارته؛ ولذلك لا تنخفض درجة حرارة السلك أبدًا لمدة كافية تجعل السلك ينكمش بشكل ملحوظ.

ج. يُسخَّن السلك المكوِّنات الميكانيكية الأخرى في الأميتر الحراري. تمدُّد هذه المكوِّنات وانكماشها يكونان مختلفين في الطور؛ ولذلك تظلُّ القراءة على الأميتر ثابتة.

الحل

يعتمد تمدُّد السلك المصنوع من البلاتين والإيريديوم على كمية الشحنة المتدفِّقة خلاله. كلما زادت شدَّة التيار ارتفعت درجة حرارة السلك نتيجةً لمقاومة الشحنة المتدفِّقة، وزاد تمدُّد السلك.

على الرغم من أن الطاقة الكهربية المبدَّدة ترفع درجة حرارة السلك باستمرار فإن السلك لا يتمدَّد دون نهاية.

كلما زادت درجة حرارة السلك عن درجة حرارة محيطه زاد المعدَّل الذي يُشعُّ به السلك حرارة إلى محيطه.

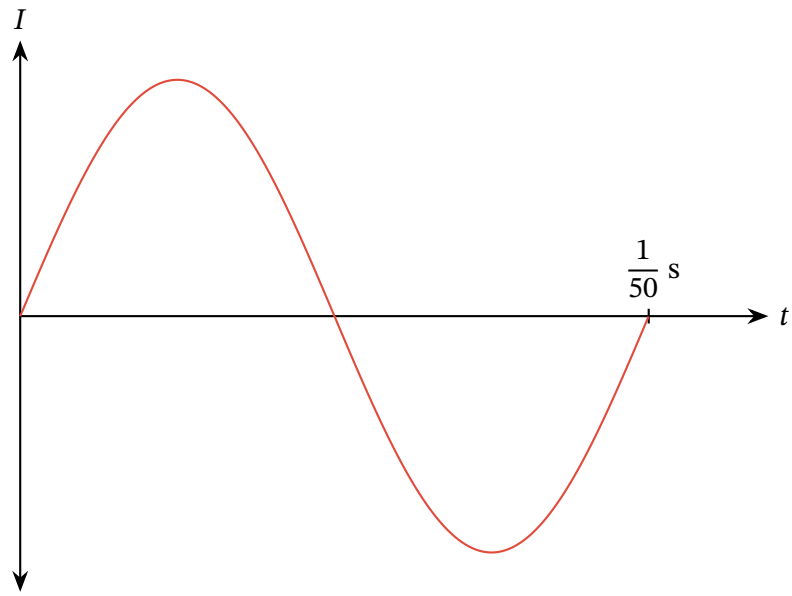
عند درجة حرارة معينة؛ يكون ارتفاع درجة حرارة السلك نتيجة تبدُّد الطاقة الكهربية، وانخفاض درجة حرارته نتيجة انتقال الحرارة من السلك إلى المحيط؛ متوازنين.

عند درجة الحرارة هذه تنتقل الطاقة من السلك وإليه بالمعدَّل نفسه. ومن ثَمَّ يحافظ السلك على درجة الحرارة هذه، وعند هذه النقطة يصبح السلك في حالة اتِّزان حراري.

يظلُّ طول السلك ثابتًا عند ثبوت درجة الحرارة؛ هذا يتيح قراءة ثابتة للتيار.

أخبرنا السؤال أن درجة حرارة السلك تعتمد على شدَّة التيار المارِّ فيه.

يتردَّد التيار بمعدَّل 50 Hz أو 50 دورة كل ثانية. إحدى هذه الدورات موضَّحة في التمثيل البياني الآتي:



بغض النظر عن كون شدَّة التيار موجبة أو سالبة، عند جميع النقاط التي لا تساوي شدَّة التيار عندها صفرًا ترفع الطاقة المبدَّدة درجة حرارة السلك؛ فيزداد طوله.

لاحظ أن طول السلك لن يقلَّ أبدًا. بل سيزداد حتى يصل إلى الطول الذي يصل إليه في حال مرور تيار مستمرٍّ شدَّته تساوي القيمة الفعَّالة للتيار المتردِّد. عندما يحدث ذلك تنتقل الطاقة من السلك وإليه بالمعدَّل نفسه.

وفقًا للخيار (ب)؛ بالإضافة إلى التمدُّد الناتج عن ارتفاع درجة الحرارة ينكمش السلك أيضًا إذا انخفضت درجة حرارته. لكننا ذكرنا أن درجة حرارة السلك لا تقلُّ أبدًا؛ لذا لا يمكن أن يكون الخيار (ب) صحيحًا.

يصف الخيار (ج) تسخين المكوِّنات الميكانيكية الأخرى في الأميتر؛ مثل: الخيط، والزنبرك، والبكرة.

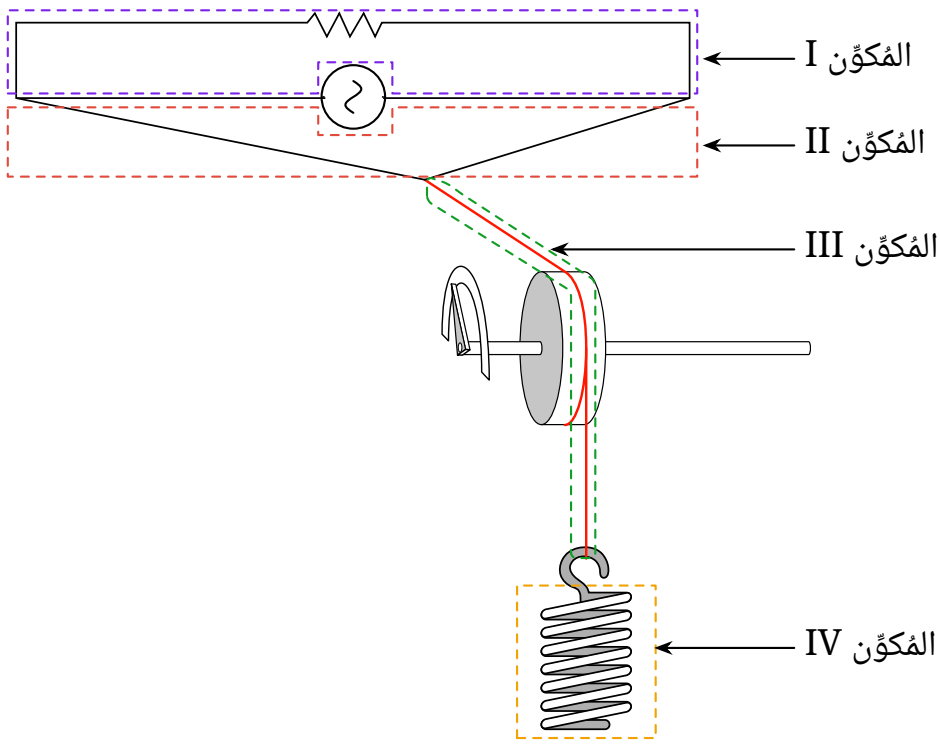
تحديدًا، ينصُّ على أن هذه المكوِّنات تتمدَّد وتنكمش بطريقة منتظمة بحيث يصل النظام كله إلى حالة اتِّزان.

ومع ذلك، لا يُصمَّم أميتر التيار المتردّد بهذه الطريقة. بديهيًا، من المتوقَّع أن يؤدي تسخين المكوِّنات الميكانيكية أو تبريدها إلى تمدُّدها أو انكماشها بطريقة منسجمة، وهذا يحول دون ثبوت القراءة.

وبذلك يكون الخيار (أ) هو التفسير الصحيح لقدرة الأميتر على إظهار قراءة ثابتة لتيار يتردَّد بتردُّد 50 Hz.

مثال ٢: التعرُّف على المكوِّنات غير الموصِّلة في الأميتر الحراري

يوضِّح الشكل أميترًا حراريًا. أيٌّ من المكوِّنات الموضَّحة يتَّصلُ مع مكوِّنات موصِّلة للكهرباء لكن **لا** يوصِّل الكهرباء بنفسه؟



الحل

المُكوِّن II في الشكل سلك مصنوع من البلاتين والإيريديوم يسخن ويتمدَّد عند تدفُّق الشحنة خلاله. إنه موصِّل لكنه متَّصل بخيط غير موصِّل موضَّح بالخط الأحمر على الشكل.

يؤثِّر الخيط بقوة شدٍّ على السلك دون أن يغيِّر من تدفُّق الشحنة خلاله. هذا المُكوِّن غير الموصِّل مشار إليه بالمُكوِّن III.

مثال ٣: تحديد الشرط الذي يجب تحقُّقه كي يعطي الأميتر الحراري قراءة ثابتة للتيار

أيٌّ من الشروط الآتية يجب أن يتحقَّق كي يُعطي الأميتر الحراري قراءة ثابتة للتيار المتردِّد؟

أ. يجب أن يُسخِّن السلك الأجسام المحيطة بنفس القدرة التي تُسخِّنه بها الأجسام المحيطة.

ب. يجب أن تساوي القدرة الكهربية المبدَّدة من السلك القدرة التي يُسخِّن بها السلك الأجسام المحيطة.

ج. يجب أن تكون القدرة الكهربية المبدَّدة في السلك أكبر من القدرة التي يُسخِّن بها السلك الأجسام المحيطة.

د. يجب أن تساوي القدرة الكهربية المبدَّدة في السلك صفرًا.

الحل

عندما يعطي الأميتر الحراري قراءة ثابتة فإننا نعلم أن المؤشِّر الذي يشير إلى هذه القراءة ثابت.

هذا يعني أن الخيط الملفوف على البكرة التي تُحدِّد اتجاه المؤشِّر لا يتحرَّك أيضًا.

يخبرنا ثبات الخيط بأن السلك المربوط به لا يتمدَّد ولا ينكمش. ومن ثَمَّ تكون درجة حرارته ثابتة؛ أي يكون السلك في حالة اتِّزان حراري.

بافتراض أن الأميتر يقيس شدَّة تيار لا تساوي صفرًا، فإن الاتِّزان الحراري للسلك يَنتُج عن زيادة درجة الحرارة وانخفاضها بالمعدَّل نفسه.

عندما يبدِّد السلك قدرة كهربية في الدائرة، ترتفع درجة حرارته. وعندما ينقل السلك طاقة إلى الأجسام المحيطة بنفس المعدَّل الذي تنتقل به الطاقة إليه عن طريق التبدُّد يصل السلك إلى حالة اتِّزان حراري، ويعطي الأميتر قراءة ثابتة للتيار.

يتوافق هذا الوصف مع الخيار (ب).

لاحظ أن الخيار (أ) ينصُّ على أن السلك يُسخِّن الأجسام المحيطة بنفس المعدَّل الذي تُسخِّنه بها الأجسام المحيطة. في الواقع، هذان المعدَّلان ليسا متساويين؛ فالطاقة المبدَّدة تنتقل من السلك إلى الأجسام المحيطة في المحصِّلة.

يخبرنا الخيار (ج) أن ثبات قراءة الأميتر يدلُّ على أن القدرة الكهربية المبدَّدة في السلك أكبر من القدرة التي يُسخِّن بها السلك الأجسام المحيطة. ولكن، هذا يعني زيادة درجة حرارة السلك؛ وهو ما يؤدي إلى زيادة طوله وزيادة القراءة بمرور الزمن.

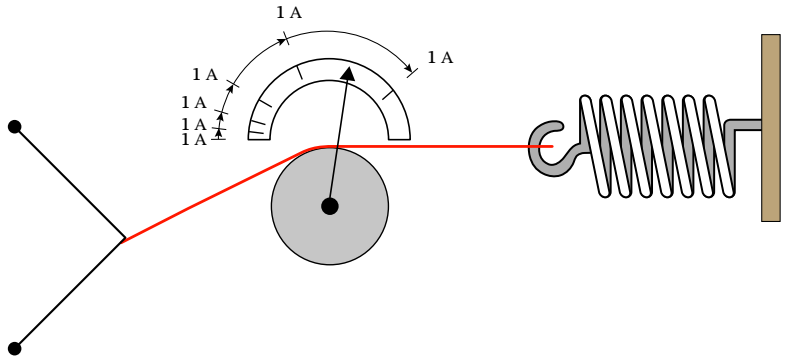
أما إذا كانت القدرة الكهربية التي يبدِّدها السلك تساوي صفرًا، كما ينصُّ عليه الخيار (د)؛ فلن تتدفَّق أيُّ شحنة خلاله. وتُعدُّ شدَّة التيار الصفرية قراءةً ثابتة قيمتها صفر أمبير.

لكن، هذا ليس شرطًا ضروريًّا لثبات القراءة؛ فبإمكان الأميتر قراءة تيار ثابت حتى وإن بدَّد السلك قدرة، كما ينصُّ عليه الخيار (ب). هذا الخيار هو الإجابة النهائية لهذا السؤال.

لاحظنا أن الطاقة المبدَّدة في الأميتر الحراري تعتمد على شدَّة التيار المارِّ في السلك. وتحديدًا، إذا كان Q هو الطاقة التي يبدِّدها السلك، وI هو شدَّة التيار؛ فإن:

$$Q \propto I^2.$$

يتناسب انحراف مؤشِّر الأميتر طرديًّا مع كمية الطاقة المبدَّدة Q، لكنه لا يتناسب طرديًّا مع شدَّة التيار I.

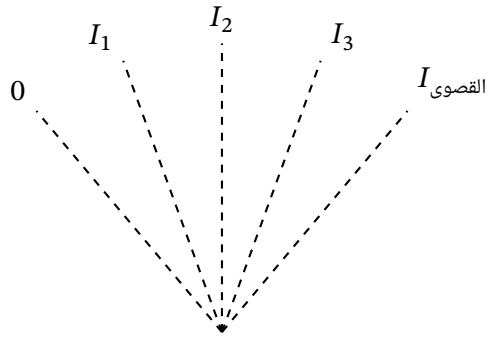


نفترض أن زيادة شدّة التيار في السلك من صفر أمبير إلى واحد أمبير يَنتُج عنها انحراف مؤشِّر الأميتر بزاوية سنسمِّيها θ_1. ونفترض أن زيادة شدّة التيار من واحد أمبير إلى اثنين أمبير يَنتُج عنها انحراف مؤشِّر الأميتر بزاوية مختلفة سنسمِّيها θ_2، ستكون θ_2 أكبر من θ_1.

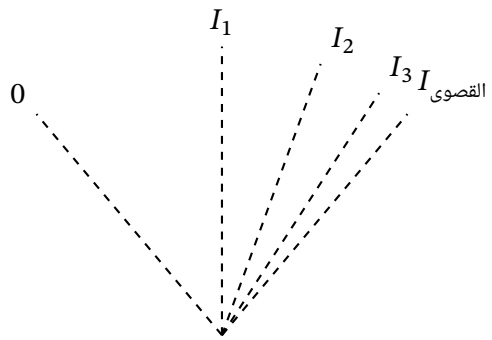
إذا زادت شدَّة التيار زيادات متتالية متساوية، فإن كل زيادة يصاحبها انحراف مؤشِّر الأميتر بزاوية أكبر من زاوية الزيادة السابقة.

مثال ٤: اختيار التقسيمات الصحيحة لتدريج الأميتر الحراري

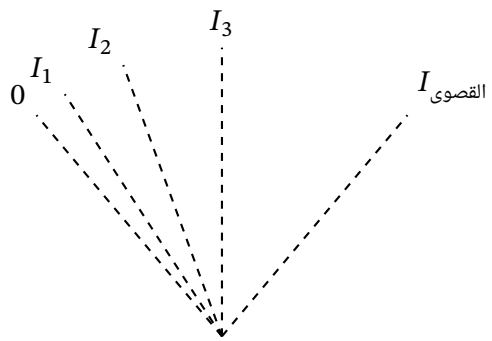
أيُّ الأشكال الآتية يوضِّح بشكل صحيح تقسيمات تدريج أميتر حراري مناظرة لتغيُّرات متساوية في شدَّة التيار؟



(أ)



(ب)



(ج)

الحل

في الأميتر الحراري تتناسب الطاقة التي يبدِّدها السلك طرديًّا مع مربع شدَّة التيار.

ومن ثَمَّ إذا زادت شدَّة التيار فستؤدي كل زيادة إضافية إلى تبديد طاقة أكثر من الزيادة السابقة. هذا ما توضِّحه علامات التدريج.

على سبيل المثال، العلامتان بين واحد أمبير واثنين أمبير تفصل بينهما مسافة أكبر من تلك التي تفصل بين صفر أمبير وواحد أمبير. وكذلك المسافة بين علامتَي اثنين أمبير وثلاثة أمبير، وهكذا.

ولذا، تفصل بين علامات التدريج الذي يشير إلى زيادات متساوية في شدَّة التيار مسافات متزايدة بتزايد التيار. إن الشكل الذي يوضِّح ذلك توضيحًا صحيحًا هو الشكل (ج).

أما الشكل (أ) فيوضِّح مسافات متساوية بين التغيُّرات المتساوية في شدَّة التيار، وهذا قد يكون صحيحًا إذا كانت الطاقة التي يبدِّدها السلك تتناسب طرديًّا مع شدَّة التيار فقط وليس مع مربع شدَّة التيار.

وأما الخيار (ب) فيشير إلى وجود علاقة عكسية بين تبدُّد الطاقة وشدَّة التيار؛ إذ يوضِّح علامات تفصل بينها مسافات متناقصة بزيادة شدَّة التيار.

ولأن الطاقة التي يبدِّدها السلك تتناسب طرديًّا مع مربع شدَّة التيار، فإننا نختار الشكل (ج) باعتباره الشكل الذي يوضِّح تقسيمات تدريج الأميتر الحراري توضيحًا صحيحًا.

النقاط الرئيسية

- يُستخدَم الأميتر الحراري في قياس التيارات المتردِّدة.
- يعمل الأميتر الحراري عن طريق ربط التمدُّد الحراري للسلك وشدَّة التيار المارِّ فيه.
- عندما يكون السلك في حالة اتِّزان حراري فإن الأميتر يقرأ شدَّة تيار ثابتة.
- تدريج الأميتر الحراري غير خطِّي لأن انحراف المؤشِّر الذي يقرأ شدَّة التيار يتزايد بشكل تصاعدي مع زيادة شدَّة التيار.