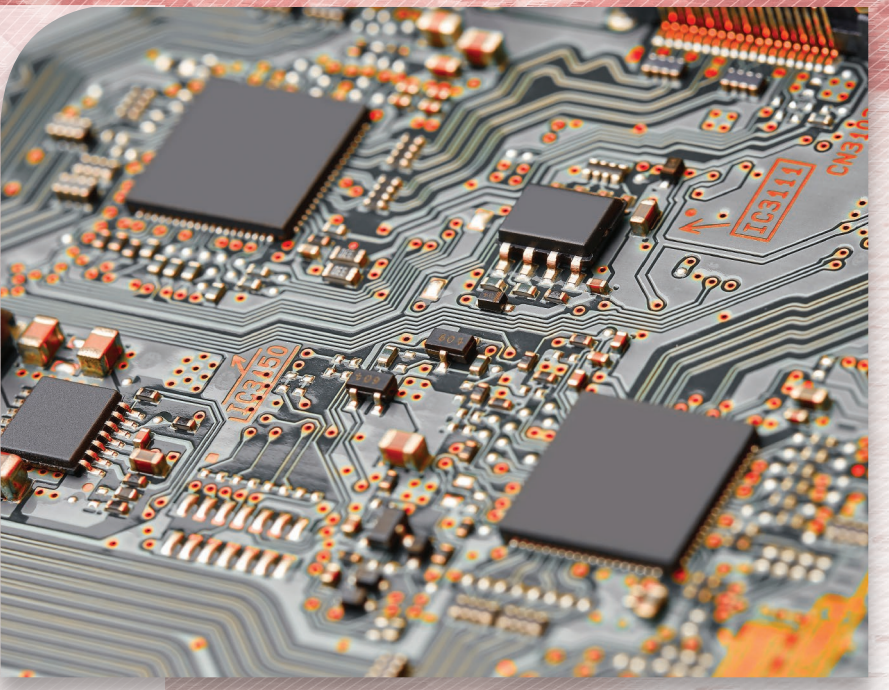
6 دوائر التيار المستمر
Direct Current Circuits

ما سنتعلمه 146
6.1 قانونا كيرشوف 146
قانون كيرشوف للتيار 146
قانون كيرشوف للجهد 147
6.2 دوائر كهربائية أحادية الحلقة 148
مسألة محلولة 6.1 شحن بطارية 149
6.3 دوائر متعددة الحلقات 150
مثال 6.1 دائرة متعددة الحلقات 150
مسألة محلولة 6.2 قنطرة ويتستون 151
ملاحظات عامة على شبكات الدوائر الكهربائية 152
6.4 أجهزة الأميتر والفولتميتر 153
مثال 6.2 فولتميتر في دائرة بسيطة 153
مسألة محلولة 6.3 زيادة نطاق قياس جهاز أميتر 154
6.5 دوائر كهربائية تحوي مقاومًا ومكثفًا (RC) 155
شحن مكثِف 155
تفريغ شحنة مكثِف 157
مثال 6.3 الزمن اللازم لشحن مكثِف 157
منظم ضربات القلب 158
مثال 6.4 عناصر دائرة منظم ضربات القلب 159
الخلية العصبية 160
مسألة محلولة 6.4 معدل تخزين الطاقة في مكثِف 161
ما تعلمناه/ دليل المذاكرة للاختبار 162
إرشادات حل المسائل 162
أسئلة الاختيار من متعدد 163
أسئلة مفاهيمية 164
تمارين 164
تمارين بمعطيات متعددة 168



الشكل 6.1 لوحة دائرة تحتوي على مئات من مكونات الدائرة الموصلة بمسارات توصيل فلزية.

غيرت الدائرة الكهربائية، كالدائرة المبينة في الشكل 6.1، العالم بلا شك. تواصل الإلكترونيات الحديثة تغيير المجتمع البشري بوتيرة أسرع وأسرع. لقد استغرق الأمر 38 عامًا حتى وصل الراديو إلى 50 مليون مستخدم في الولايات المتحدة. لكن، لم يستغرق الأمر سوى 13 عامًا حتى وصل التلفاز إلى هذا العدد من المستخدمين، و 10 أعوام حتى وصل التلفاز الكابلي، و 5 أعوام حتى وصل الإنترنت، و 3 أعوام حتى وصلت الهواتف الخلوية.

سندرس في هذه الوحدة الطرائق المستخدمة لتحليل الدوائر التي لا يمكن تقسيمها إلى توصيلات بسيطة على التوالي وعلى التوازي. يعتمد تصميم الإلكترونيات الحديثة على ملايين الدوائر المختلفة، ولكل منها غرضه الخاص وتكوينه. لكن، بغض النظر عن مدى تعقيد دائرة معينة، فإن القواعد الأساسية لتحليل هذه الدائرة هي القواعد المقدمة في هذه الوحدة.

تحتوي بعض الدوائر التي تم تحليلها في هذه الوحدة ليس فقط على مقاومات وأجهزة قوة دافعة كهربائية (emf) لكن أيضًا على مكثِفات. في هذه الدوائر، لا يكون التيار ثابتًا، لكنه يتغير مع الزمن. ستُناقش التيارات المتغيرة مع الزمن بصورة أدق في الوحدات اللاحقة التي تقدم مكونات إضافية للدائرة.

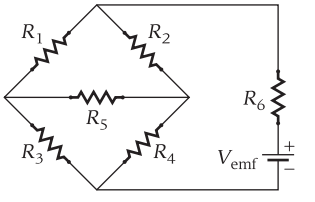
Chapter Sourced From: 6. Direct Current Circuits, Chapter 26, from University Physics with Modern Physics, 2e by Bauer and Westfall ©2014

ما سنتعلمه

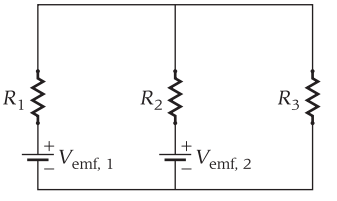
- لا يمكن اختزال بعض الدوائر إلى دوائر أحادية الحلقة؛ حيث يمكن تحليل الدوائر المركبة باستخدام قانونَي كيرشوف.
- ينص قانون كيرشوف للتيار (قاعدة الوصلة) على أن المجموع الجبري للتيارات عند وصلة في دائرة يجب أن يساوي صفرًا.
- ينص قانون كيرشوف للجهد (قاعدة الحلقة) على أن المجموع الجبري لتغيرات الجهد حول حلقة مغلقة في دائرة يجب أن يساوي صفرًا.
- يمكن تحليل الدوائر أحادية الحلقة باستخدام قانون كيرشوف للجهد.
- يجب تحليل الدوائر متعددة الحلقات باستخدام كل من قانون كيرشوف للتيار وقانون كيرشوف للجهد.
- يتغير التيار المار في دائرة تحتوي على مقاوم ومكثف أسيًّا مع الزمن؛ حيث يوجد ثابت زمني مميز يحدده ناتج ضرب المقاومة والسعة.

6.1 قانونَا كيرشوف Kirchhoff's Rules

درست عدة أنواع من دوائر التيار المستمر (DC) التي يحتوي كل منها على جهاز واحد للقوة الدافعة الكهربائية إلى جانب مقاومات متصلة على التوالي أو على التوازي. تحتوي بعض الدوائر التي تبدو معقدة على عدة مقاومات متصلة على التوالي أو على التوازي، ويمكن استبدالها بمقاومة مكافئة. لكن، لم ندرس الدوائر التي تحتوي على مصادر متعددة للقوة الدافعة الكهربائية. بالإضافة إلى ذلك، توجد دوائر أحادية الحلقة ومتعددة الحلقات، بها أجهزة قوة دافعة كهربائية ومقاومات، لا يمكن اختزالها إلى دوائر بسيطة تحتوي على توصيلات على التوازي أو على التوالي. يوضح الشكل 6.2 مثالَين على هذه الدوائر. تقدم هذه الوحدة شرحًا لكيفية تحليل هذه الأنواع من الدوائر باستخدام **قانونَي كيرشوف**.



(a)



(b)

الشكل 6.2 مثالان على دوائر لا يمكن اختزالها إلى مجموعات بسيطة من المقاومات الموصلة على التوازي وعلى التوالي.

قانون كيرشوف للتيار

الوصلة هي مكان في دائرة حيث يوصل ثلاثة أسلاك أو أكثر بعضها ببعض. يُطلق على كل توصيلة بين وصلتَين في دائرة **فرع**. يمكن أن يحتوي الفرع على عدد من عناصر الدوائر المختلفة والأسلاك التي بينها. يمكن أن يكون لكل فرع تيار متدفق، ويكون هذا التيار هو نفسه في جميع أجزاء الفرع. تقودنا هذه الحقيقة إلى **قانون كيرشوف للتيار:**

> مجموع التيارات الداخلة إلى وصلة معينة يجب أن يساوي مجموع التيارات الخارجة من الوصلة نفسها.

باستخدام إشارة موجب محدّدة (افتراضيًّا) للتيارات الداخلة إلى الوصلة، وإشارة سالب محدّدة للتيارات الخارجة من الوصلة نفسها، يُعبَّر عن قانون كيرشوف للتيار رياضيًّا كما يلي

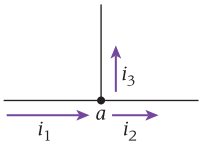
$$\text{الوصلة: } \sum_{k=1}^{n} i_k = 0 \tag{6.1}$$

كيف تعرف التيارات الداخلة إلى وصلة والخارجة من الوصلة نفسها عندما تنشئ رسمًا كالموضح في الشكل 6.3؟ لا يمكنك أن تعرف؛ ببساطة اتجاهًا لكل تيار يسري على طول سلك معين. إذا تبين أن أحد الاتجاهات المعيَّنة خطأ، فستحصل على قيمة سالبة لهذا التيار المحدد في الحل النهائي لديك.

قانون كيرشوف للتيار هو نتيجة مباشرة لمبدأ حفظ الشحنة الكهربائية. وليس للوصلات القدرة على تخزين الشحنة. ومن ثَمَّ، يتطلب حفظ الشحنة خروج جميع الشحنات المتدفقة إلى وصلة ما من هذه الوصلة، وهذا بالضبط ما ينص عليه قانون كيرشوف للتيار.

وفقًا لقانون كيرشوف للتيار، عند كل وصلة في دائرة متعددة الحلقات، يجب أن يتساوى التيار المتدفق إلى الوصلة مع التيار المتدفق خارج الوصلة نفسها. على سبيل المثال، يوضح الشكل 6.3 وصلة مفردة، a، مع دخول تيار، i_1، إلى الوصلة، وخروج تيارين، i_2 و i_3، من الوصلة نفسها. وفقًا لقانون كيرشوف للتيار، يُعبَّر عن هذه الحالة كما يلي.

$$\sum_{k=1}^{3} i_k = i_1 - i_2 - i_3 = 0 \Rightarrow i_1 = i_2 + i_3$$



الشكل 6.3 وصلة مفردة من دائرة متعددة الحلقات.

قانون كيرشوف للجهد

الحلقة في دائرة هي مجموعة من العناصر الكهربائية والأسلاك الموصولة، والتي تشكل مسارًا مغلقًا. إذا اتبعت حلقة، فستصل في النهاية إلى النقطة نفسها التي بدأت منها. على سبيل المثال، في الرسم التخطيطي الموضح في الشكل 6.2b، يمكن تحديد ثلاث حلقات محتملة. تُوضَّح هذه الحلقات الثلاث بألوان مختلفة (أحمر وأخضر وأزرق) في الشكل 6.4. تشمل الحلقة الزرقاء المقاومَين 1 و2، ومصدرَي القوة الدافعة الكهربائية 1 و 2، وأسلاك التوصيل الخاصة بهم. وتشمل الحلقة الحمراء المقاومَين 2 و 3، ومصدر القوة الدافعة الكهربائية 2، وأسلاك التوصيل الخاصة بهم. وأخيرًا، تشمل الحلقة الخضراء المقاومَين 1 و 3، ومصدر القوة الدافعة الكهربائية 1، وأسلاك التوصيل الخاصة بهم. لاحظ أن أي سلك محدد أو عنصر دائرة يمكن أن يكون جزءًا من أكثر من حلقة واحدة، وعادة ما يكون ذلك.

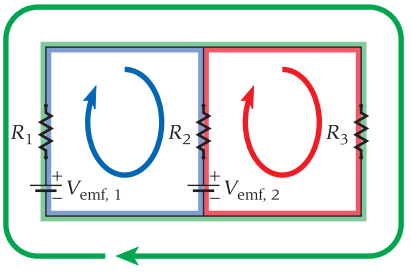
يمكنك التنقل عبر أي حلقة في دائرة في اتجاه عقارب الساعة أو في عكس اتجاه عقارب الساعة. يوضح الشكل 6.4 مسارًا عبر كل حلقة من الحلقات في اتجاه عقارب الساعة، كما هو موضح بالأسهم. ولكن الاتجاه الذي يأخذه المسار حول الحلقة بعيد الصلة، طالما أنه يتم اتباع اختيارك بصورة متسقة في جميع أجزاء الحلقة.

بجمع فروق الجهد الناجمة عن جميع عناصر الدائرة التي نصادفها على طول حلقة معينة، ينتج إجمالي فرق جهد المسار الكامل على طول الحلقة. إذًا، ينص **قانون كيرشوف للجهد** على أنه:

> يجب أن يكون المجموع الجبري لفرق الجهد في حلقة (دائرة كهربائية مغلقة) يساوي صفرًا .

قانون كيرشوف للجهد هو نتيجة مباشرة للحقيقة التي تنص على أن الجهد الكهربائي أحادي القيمة. ويعني هذا أن طاقة الوضع الكهربائية لإلكترون عند نقطة معينة في الدائرة لها قيمة محددة واحدة. افترض أن هذا القانون كان غير صحيح. فمن ثَمَّ يمكننا تحليل تغيرات طاقة الوضع الكهربائية للإلكترون أثناء دورانه حول حلقة، والعثور على هذا الإلكترون الذي يصبح لديه طاقة وضع كهربائية مختلفة عند عودته إلى نقطة البداية. ستتغير طاقة الوضع الكهربائية لهذا الإلكترون عند نقطة ما في الدائرة، ويتعارض هذا تعارضًا واضحًا مع قانون حفظ الطاقة. بمعنى آخر، يُعد قانون كيرشوف للجهد بساطة نتيجة لقانون حفظ الطاقة.

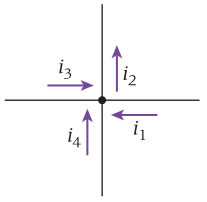
يتطلب تطبيق قانون كيرشوف للجهد افتراضات لتحديد انخفاض الجهد عبر كل عنصر في الدائرة. يتوقف هذا على الاتجاه المفترض للتيار واتجاه التحليل. بالنسبة إلى مصادر القوة الدافعة الكهربائية، تُعد الافتراضات واضحة؛ حيث تشير إشارات السالب والموجب (بالإضافة إلى الخطوط القصيرة والطويلة) إلى جانب مصدر القوة الدافعة الكهربائية الأعلى جهدًا. ويكون انخفاض جهد مصدر القوة الدافعة الكهربائية في الاتجاه الذي يبدأ من السالب إلى الموجب أو من خط قصير إلى خط طويل. كما ذكرنا سابقًا، يتم تعيين اتجاهات التيار واختيار مسار حول حلقة معينة في اتجاه عقارب الساعة أو في عكس اتجاه عقارب الساعة عشوائيًا. سيعطي أي اتجاه المعلومات نفسها، طالما يتم اتباعه بصورة متسقة حول الحلقة. تُلخص الافتراضات المستخدمة لتحليل عناصر الدائرة في حلقة معينة في الجدول 6.1 والشكل 6.5، حيث يكون مقدار التيار عبر عنصر الدائرة هو i. (تتطابق التسميات الواردة في العمود الموجود أقصى يسار الجدول 6.1 مع أجزاء من الشكل 6.5).



الشكل 6.4 الحلقات الثلاث المحتملة (الموضحة بالأحمر، والأخضر، والأزرق) في الرسم التخطيطي للدائرة الموضح في الشكل 6.2b.

مراجعة المفاهيم 6.1

في الوصلة الموضحة في الشكل، ما المعادلة التي تعبر بشكل صحيح عن مجموع قيم التيارات؟



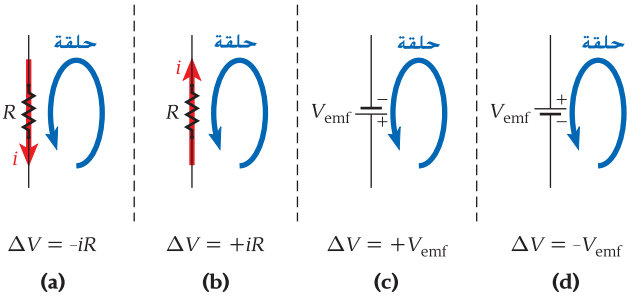
a) $i_1 + i_2 + i_3 + i_4 = 0$

b) $i_1 - i_2 + i_3 + i_4 = 0$

c) $-i_1 + i_2 + i_3 - i_4 = 0$

d) $i_1 - i_2 - i_3 - i_4 = 0$

e) $i_1 + i_2 - i_3 - i_4 = 0$



الشكل 6.5 افتراضات الإشارات الخاصة بتغيرات الجهد أثناء تحليل الحلقات.

الجدول 6.1 الافتراضات المستخدمة لتحديد إشارات تغيرات الجهد حول دائرة أحادية الحلقة تحتوي على العديد من المقاومات ومصادر القوة الدافعة الكهربائية

العنصر	الاتجاه	تغير الجهد	
R	اتجاه التيار نفسه	$-iR$	(a)
R	عكس اتجاه التيار	$+iR$	(b)
V_{emf}	اتجاه القوة الدافعة الكهربائية نفسها	$+V_{emf}$	(c)
V_{emf}	عكس اتجاه القوة الدافعة الكهربائية	$-V_{emf}$	(d)

إذا تحركنا حول حلقة في دائرة في اتجاه التيار نفسه، فإن تغيرات الجهد عبر المقاومات ستكون سالبة. إذا تحركنا حول حلقة في عكس اتجاه التيار، فإن تغيرات الجهد عبر المقاومات ستكون موجبة. إذا تحركنا حول حلقة بالطريقة التي مررنا بها بمصدر قوة دافعة كهربائية من الطرف السالب إلى الطرف الموجب، فسيُسهم هذا المكون في وجود فرق جهد موجب. إذا مررنا بمصدر قوة دافعة كهربائية من الطرف الموجب إلى الطرف السالب، فسيُسهم هذا المكون في وجود فرق جهد سالب.

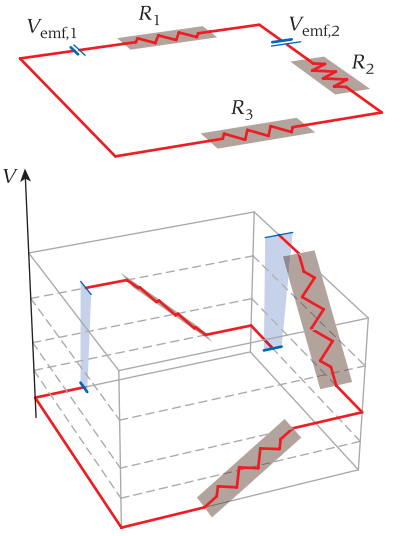
باستخدام هذه الافتراضات، يُكتب قانون كيرشوف للجهد بالصيغة التالية

الحلقة المغلقة:

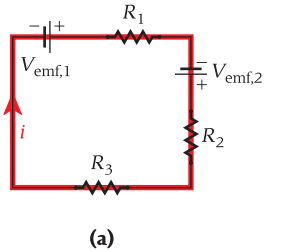
$$\sum_{j=1}^{m} V_{\text{emf},j} - \sum_{k=1}^{n} i_k R_k = 0 \qquad (6.2)$$

لتوضيح قانون كيرشوف للجهد، يوضح الشكل 6.6 حلقة بمصدرين للقوة الدافعة الكهربائية وثلاثة مقاومات، مع استخدام العرض ثلاثي الأبعاد حيث تُمثَّل قيمة الجهد الكهربائي، V، في البعد الرأسي. تتمثل النقطة الأكثر أهمية التي يصورها الشكل 6.6 في أن الدورة الواحدة الكاملة حول الحلقة تنتهي دائمًا بقيمة الجهد نفسها الموجودة عند نقطة البداية. وهذا بالضبط ما ينص عليه قانون كيرشوف للجهد (المعادلة 6.2).

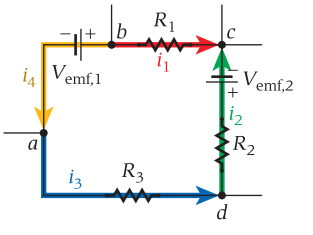
يوضح الشكل 6.7a الدائرة الموضحة في الشكل6.6 بوصفها حلقة أحادية معزولة. وحيث لا تحتوي هذه الحلقة على وصلات، ولها فرع واحد فقط (وهي حلقة كاملة)، يتدفق التيار i نفسه في جميع أجزاء الحلقة. في الشكل 6.7b، توصَّل هذه الحلقة بأجزاء أخرى من دائرة أكثر اتساعًا عند أربع وصلات (مسماة كما يلي: a و b و c و d). تحتوي هذه الحلقة الآن على أربعة فروع، يمكن أن يكون لكل منها تيار مختلف يتدفق خلالها، كما هو موضح بواسطة الأسهم المختلفة الألوان في الشكل. يوضح هذا الأمر أنه: في كلا جزأي الشكل، ينطبق قانون كيرشوف للجهد على الحلقة الموضحة. تُعد القيم النسبية للجهد الكهربائي بين أي عنصرين للدائرة في الشكل 6.7b هي نفسها القيم الموضحة في الشكل 6.6، بغض النظر عن التيارات التي تدفعها بقية أجزاء الدائرة عبر الفروع المختلفة للحلقة.



الشكل 6.6 حلقة تحتوي على عدة مصادر للقوة الدافعة الكهربائية والعديد من المقاومات.



(a)



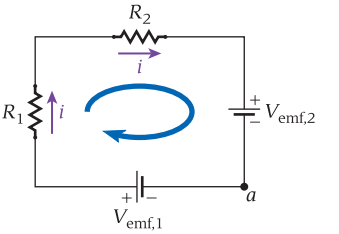
(b)

الشكل 6.7 حلقة الدائرة نفسها الموجودة في الشكل 6.6، (a) كحلقة مفردة معزولة، (b) كحلقة موصلة بأفرع أخرى في الدائرة.

6.2 دوائر كهربائية أحادية الحلقة Single-Loop Circuits

لنبدأ بتحليل الدوائر العامة من خلال دراسة دائرة تحتوي على مصدرين للقوة الدافعة الكهربائية، $V_{\text{emf},1}$ و $V_{\text{emf},2}$، ومقاومَين، R_1 و R_2، موصلَين على التوالي في حلقة واحدة، كما هو موضح في الشكل 6.8. لاحظ أن مصدرَي القوة الدافعة الكهربائية، $V_{\text{emf},1}$ و $V_{\text{emf},2}$، لهما أقطاب متقابلة. في هذه الدائرة الأحادية الحلقة، لا توجد وصلات، لذا تتكون الدائرة بأكملها من فرع واحد. ويكون التيار هو نفسه في جميع أجزاء الحلقة. لتوضيح تغيرات الجهد عبر مكونات هذه الدائرة، يوضح الشكل 6.9 منظرًا ثلاثي الأبعاد.

على الرغم من إمكانية اختيار أي نقطة في الدائرة الموضحة في الشكل 6.8 عشوائيًّا وتعيين قيمة 0 V لها (أو أي قيمة أخرى للجهد؛ لأنه يمكننا دائمًا إضافة ثابت إضافي عام إلى جميع قيم الجهد دون تغيير النتيجة الفعلية)، نبدأ من النقطة a حيث $V = 0$ V، ونتابع حول الدائرة في اتجاه عقارب الساعة (يشار إلى ذلك بالسهم البيضاوي الأزرق في الشكل). نظرًا لتوصيل مكونات الدائرة على التوالي، فإن التيار، i، هو نفسه في كل مكون، مع افتراض أن التيار يتدفق في اتجاه عقارب الساعة (الأسهم الأرجوانية في الشكل). ويكون مكون الدائرة الأول على طول مسار الحلقة في اتجاه عقارب الساعة بدءًا من النقطة a هو مصدر القوة الدافعة الكهربائية، $V_{\text{emf},1}$، الذي يولد مقدارًا من ارتفاع الجهد الموجب قيمته $V_{\text{emf},1}$. يليه المقاوم R_1 الذي يولد انخفاضًا في الجهد يُوضَّح بواسطة $\Delta V_1 = iR_1$.



الشكل 6.8 دائرة أحادية الحلقة تحتوي على مقاومَين ومصدرَين للقوة الدافعة الكهربائية موصلَين على التوالي.



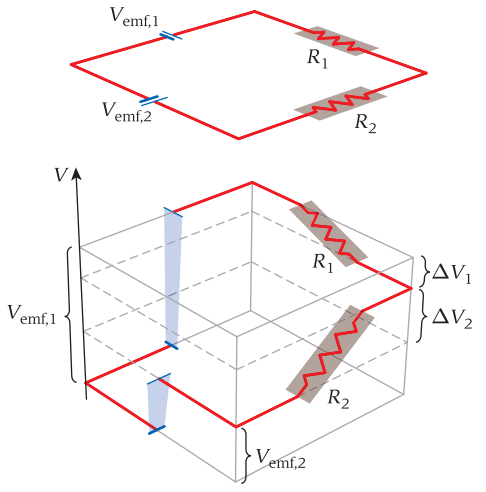
من خلال المتابعة حول الحلقة، نجد أن المكون التالي هو المقاوم R_2 الذي يولد انخفاضًا في الجهد يكون $\Delta V_2 = iR_2$. ثم نصادف مصدرًا ثانيًا للقوة الدافعة الكهربائية هو $V_{emf,2}$. يوصَل مصدر القوة الدافعة الكهربائية هذا بالدائرة ذات الأقطاب المتقابلة مع أقطاب مصدر القوة $V_{emf,1}$. ومن ثَمّ، يولد هذا المكون انخفاضًا في الجهد مقداره $V_{emf,2}$، بدلًا من *ارتفاع* مقدار من الجهد. لقد أكملنا الحلقة الآن وسنعود إلى $V = 0$ V. باستخدام المعادلة 6.2، نجمع تغيرات الجهد في هذه الحلقة على النحو التالي:

$$V_{emf,1} - \Delta V_1 - \Delta V_2 - V_{emf,2} = V_{emf,1} - iR_1 - iR_2 - V_{emf,2} = 0$$

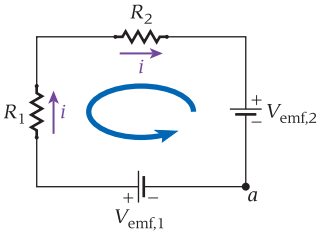
لإثبات أن الاتجاه الذي نتحرك فيه عبر حلقة، في اتجاه عقارب الساعة أو في عكس اتجاه عقارب الساعة، أمر عشوائيّ، لنحلل الدائرة نفسها في عكس اتجاه عقارب الساعة، بدءًا من النقطة a (انظر الشكل 6.10). عنصر الدائرة الأول هو $V_{emf,2}$، ويولد كسب جهد موجبًا. العنصر التالي هو R_2. لأننا افترضنا أن التيار في اتجاه عقارب الساعة ونحن نحلل الحلقة في عكس اتجاه عقارب الساعة، فإنّ تغير جهد المقاوم R_2 هو $+iR_2$، وفقًا للافتراضات المذكورة في الجدول 6.1. من خلال المتابعة إلى العنصر التالي في الحلقة، R_1، نستخدم برهانًا مشابهًا لتعيين تغير جهد هذا المقاوم بصيغة $+R_1$. العنصر الأخير في الدائرة هو $V_{emf,1}$، ويكون بمحاذاة اتجاه مقابل لاتجاه تحليلنا. لذا تغير الجهد عبر هذا العنصر يساوي $-V_{emf,1}$. إذًا، يوضح لنا قانون كيرشوف للجهد أنّ

$$+V_{emf,2} + iR_2 + iR_1 - V_{emf,1} = 0$$

يمكنك أن ترى أن مسار الحلقة في اتجاه عقارب الساعة وفي عكس اتجاه عقارب الساعة يعطي النتائج نفسها، مما يعني أن الاتجاه الذي نختاره لتحليل الدائرة غير مهم.



الشكل 6.9 تمثيل ثلاثي الأبعاد للدائرة أحادية الحلقة في الشكل 6.8؛ حيث تحتوي الدائرة على مقاومَين ومصدرَين للقوة الدافعة الكهربائية موصلَين على التوالي.



الشكل 6.10 الحلقة نفسها الموجودة في الشكل 6.8، ولكن تم تحليلها في عكس اتجاه عقارب الساعة.

مسألة محلولة 6.1 شحن بطارية

شُحنت بطارية جهدها 12.0 V وذات مقاومة داخلية مقدارها $R_i = 0.200\ \Omega$ بشاحن بطارية قادر على توصيل تيار مقداره $i = 6.00$ A.

المسألة

ما أقل قوة دافعة كهربائية يجب على شاحن البطارية توفيرها ليتمكن من شحن البطارية؟

الحل

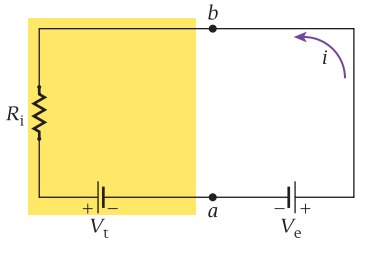
فكّر يجب أن يكون لشاحن البطارية، الذي يُعد مصدرًا خارجيًّا للقوة الدافعة الكهربائية، فرق جهد كافٍ للتغلب على فرق جهد البطارية وانخفاض الجهد عبر مقاومة البطارية الداخلية. يجب توصيل شاحن البطارية بحيث يوَّصل طرفه الموجب بالطرف الموجب للبطارية المراد شحنها. يمكننا التفكير في مقاومة البطارية الداخلية بوصفها مقاومًا في دائرة أحادية الحلقة وتحتوي أيضًا على مصدرين للقوة الدافعة الكهربائية ذوي أقطاب متقابلة.

ارسم الشكل 6.11 يوضح رسمًا تخطيطيًا للدائرة التي تتكون من بطارية ذات فرق جهد مقداره V_t ومقاومة داخلية مقدارها R_i ومتصلة بمصدر خارجي للقوة الدافعة الكهربائية، V_e. تمثل المنطقة المظللة بالأصفر الأبعاد المادية للبطارية. لاحظ أن الطرف الموجب لشاحن البطارية متصل بالطرف الموجب للبطارية.

ابحث يمكننا تطبيق قانون كيرشوف للجهد على هذه الدائرة. نفترض تدفق تيار عكس اتجاه عقارب الساعة حول الدائرة، كما هو موضح في الشكل 6.11. يجب أن يساوي مجموع تغيرات الجهد حول الدائرة صفرًا. نجمع تغيرات الجهد بداية من النقطة b ونتحرك في عكس اتجاه عقارب الساعة:

$$-iR_i - V_t + V_e = 0$$

يُتبع –



الشكل 6.11 دائرة تتكون من بطارية لها مقاومة داخلية وموصلة بمصدر خارجي للقوة الدافعة الكهربائية.

حوّل إلى أبسط صورة يمكننا حل هذه المعادلة لإيجاد فرق الجهد المطلوب للشاحن:

$$V_e = iR_i + V_t$$

حيث i هو التيار الذي يمده الشاحن.

احسب بالتعويض بالقيم العددية، نحصل على

$$V_e = iR_i + V_t = (6.00\ \text{A})(0.200\ \Omega) + 12.0\ \text{V} = 13.20\ \text{V}$$

قرّب نقرّب النتيجة التي توصلنا إليها إلى ثلاثة أرقام معنوية:

$$V_e = 13.2\ \text{V}$$

تحقَّق ثانية تشير النتيجة التي توصلنا إليها إلى أن شاحن البطارية يجب أن يكون فرق جهده أعلى من فرق الجهد المحدد للبطارية، وهي نتيجة منطقية. فرق جهد الشاحن العادي لبطارية جهدها 12 V يساوي حوالي 14 V.

6.3 دوائر كهربائية متعددة الحلقات Multiloop Circuits



يتطلب تحليل الدوائر متعددة الحلقات كلا قانونَي كيرشوف للجهد وكيرشوف للتيار. الإجراء المتبع لتحليل دائرة متعددة الحلقات هو تحديد الحلقات الكاملة ونقاط الوصلات في الدائرة وتطبيق قانونَي كيرشوف على هذه الأجزاء من الدائرة بشكل منفصل. ينتج عن تحليل الحلقات الأحادية في دائرة متعددة الحلقات باستخدام قانون كيرشوف للجهد، وتحليل الوصلات باستخدام قانون كيرشوف للتيار نظامًا من المعادلات المزدوجة بمتغيرات مجهولة متعددة. يمكن حل هذه المعادلات لإيجاد الكميات المطلوبة باستخدام طرائق متنوعة، بما في ذلك التعويض المباشر. مثال 6.1 يوضح تحليل دائرة متعددة الحلقات.

مثال 6.1 دائرة متعددة الحلقات

فكّر في الدائرة الموضحة في الشكل 6.12. تحتوي هذه الدائرة على ثلاثة مقاومات، R_1، و R_2، و R_3، ومصدرين للقوة الدافعة الكهربائية، $V_{emf,1}$ و $V_{emf,2}$. توضح الأسهم الحمراء اتجاه انخفاض الجهد عبر مصادر القوة الدافعة الكهربائية. لا يمكن تحليل هذه الدائرة إلى توصيلات بسيطة على التوالي أو على التوازي. لتحليل هذه الدائرة، علينا أن نعيّن اتجاهات للتيارات المتدفقة عبر المقاومات. يمكننا اختيار هذه الاتجاهات عشوائيًا (مع العلم بأننا إذا اخترنا الاتجاه الخاطئ، فستكون قيمة التيار الناتجة سالبة). الشكل 6.13 يوضح الدائرة مع توضيح الاتجاهات المعيَّنة للتيارات بالأسهم الأرجوانية.

لنفكر في الوصلة b أولًا. التيار الداخل إلى الوصلة يجب أن يساوي التيار الخارج منها، لذا يمكننا أن نكتب

$$i_2 = i_1 + i_3 \quad \text{(i)}$$

بالنظر إلى الوصلة a، نعادل مرة أخرى التيار الداخل مع التيار الخارج لنحصل على

$$i_1 + i_3 = i_2$$

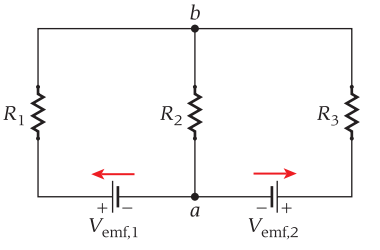
التي تعطي النتائج نفسها التي حصلنا عليها للوصلة b. لاحظ أن هذه نتيجة نموذجية: إذا كانت دائرة تحتوي على n من الوصلات، فمن الممكن الحصول على $n - 1$ على الأكثر من المعادلات المستقلة نتيجة لتطبيق قانون كيرشوف للتيار. (في هذه الحالة، $n = 2$، لذا يمكننا الحصول على معادلة مستقلة واحدة فقط).

لا يمكننا عند هذه النقطة تحديد التيارات في الدائرة لأن لدينا ثلاث قيم مجهولة ومعادلة واحدة فقط. لذا، نحتاج إلى معادلتين مستقلتين إضافيتين. للحصول على هاتين المعادلتين، نطبق قانون كيرشوف للجهد. يمكننا تحديد ثلاث حلقات في الدائرة الموضحة في الشكل 6.13:

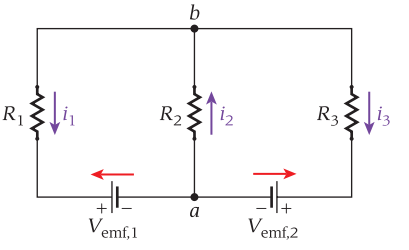
1. النصف الأيسر من الدائرة يحتوي على العناصر R_1، و R_2، و $V_{emf,1}$؛
2. النصف الأيمن من الدائرة يحتوي على العناصر R_2، و R_3، و $V_{emf,2}$؛
3. الحلقة الخارجية تحتوي على العناصر R_1، و R_3، و $V_{emf,1}$، و $V_{emf,2}$.

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على النصف الأيسر من الدائرة، وباستخدام الاتجاهات المفترضة للتيارات وبتحليل الحلقة في عكس اتجاه عقارب الساعة بداية من الوصلة b، نحصل على

$$-i_1R_1 - V_{emf,1} - i_2R_2 = 0$$



الشكل 6.12 دائرة متعددة الحلقات تحتوي على ثلاثة مقاومات ومصدرَين للقوة الدافعة الكهربائية.



الشكل 6.13 دائرة متعددة الحلقات موضح فيها الاتجاه المفترض للتيار المتدفق في المقاومات.

أو

$$i_1R_1 + V_{emf,1} + i_2R_2 = 0 \quad \text{(ii)}$$

بتطبيق قانون الجهد على النصف الأيمن من الدائرة، وبالبدء مرة أخرى من الوصلة *b* وبتحليل الحلقة في اتجاه عقارب الساعة، نحصل على

$$-i_3R_3 - V_{emf,2} - i_2R_2 = 0$$

أو

$$i_3R_3 + V_{emf,2} + i_2R_2 = 0 \quad \text{(iii)}$$

بتطبيق قانون الجهد على الحلقة الخارجية، وبالبدء من الوصلة *b* وبالعمل في اتجاه عقارب الساعة، نحصل على

$$-i_3R_3 - V_{emf,2} + V_{emf,1} + i_1R_1 = 0$$

لا تقدم هذه المعادلة معلومات جديدة لأننا نستطيع الحصول على هذه المعلومات أيضًا بطرح المعادلة (iii) من المعادلة (ii). بالنسبة إلى الحلقات الثلاث كلها، نحصل على معلومات متكافئة إذا حللناها في عكس اتجاه عقارب الساعة، أو في اتجاه عقارب الساعة، أو إذا بدأنا من أي نقطة أخرى وتحركنا حول الحلقات انطلاقًا من تلك النقطة.

باستخدام المعادلات الثلاث: (i)، و(ii)، و(iii)، والقيم الثلاث المجهولة: i_1، و i_2، و i_3، يمكننا إيجاد قيم التيارات المجهولة بطرائق متعددة. على سبيل المثال، يمكننا وضع المعادلات الثلاث في صيغة مصفوفة ثم حلها باستخدام طريقة كرامر والتأكد من الحل باستخدام آلة حاسبة. هذه طريقة موصى بها للدوائر المركبة التي بها العديد من المعادلات والعديد من القيم المجهولة. ولكن، في هذا المثال، يمكننا المتابعة بالتعويض من المعادلة (i) في المعادلتين الأخريين، ومن ثَمَّ نحذف i_2. ثم نحل إحدى المعادلتين الناتجتين لإيجاد i_1 ونعوض من هذه المعادلة في المعادلة الأخرى لنحصل على تعبير لقيمة i_3. بالتعويض مرة أخرى، نحصل على حلولًا لكل من i_2 وi_1:

$$i_1 = -\frac{(R_2 + R_3)V_{emf,1} - R_2V_{emf,2}}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3}$$

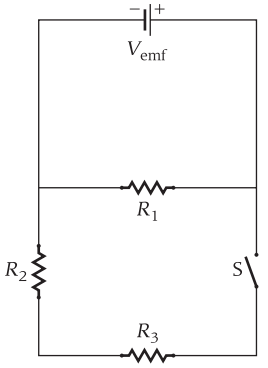
$$i_2 = -\frac{R_3V_{emf,1} + R_1V_{emf,2}}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3}$$

$$i_3 = -\frac{-R_2V_{emf,1} + (R_1 + R_2)V_{emf,2}}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3}$$

ملاحظة: لن تحتاج إلى تذكر هذا الحل بالتحديد أو الجبر الخطي المستخدم في الوصول إليه. ولكن، الطريقة العامة لتطبيق قانونَي كيرشوف للجهد والتيار، وتعيين تيارات في اتجاهات عشوائية هي الفكرة المحورية لتحليل الدائرة.

مراجعة المفاهيم 6.2

في الدائرة الموضحة في الشكل، توجد ثلاثة مقاومات متماثلة. يُفتح المفتاح S في البداية. عند غلق المفتاح، ماذا يحدث للتيار المتدفق في المقاوم R_1؟



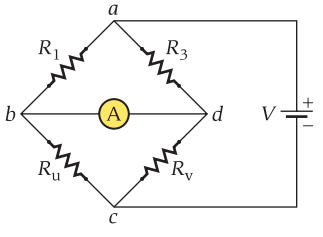
a) تقل قيمة التيار المتدفق في المقاوم R_1.

b) تزداد قيمة التيار المتدفق في المقاوم R_1.

c) تظل قيمة التيار المتدفق في المقاوم R_1 كما هي.

مسألة محلولة 6.2 قنطرة ويتستون

قنطرة ويتستون هي دائرة خاصة تستخدم لقياس المقاومات المجهولة. الرسم التخطيطي لدائرة قنطرة ويتستون موضح في الشكل 6.14. تتكون الدائرة من ثلاث مقاومات معلومة، R_1، و R_3، ومقاوم متغير، R_v، بالإضافة إلى مقاومة مجهولة R_u. يوصل مصدر للقوة الدافعة الكهربائية، V، عبر الوصلتَين *a* و *c*. يوصل أميتر حساس (جهاز يستخدم لقياس التيار، ستتم مناقشته في القسم 6.4) بين الوصلتَين *b* و *d*. تُستخدم قنطرة ويتستون لتحديد R_u عن طريق تغير قيمة R_v حتى لا يظهر على الأميتر الموصل بين *b* و *d* تيار متدفق. عندما تكون قراءة الأميتر صفرًا، يُقال أن القنطرة متوازنة.



الشكل 6.14 رسم تخطيطي لدائرة قنطرة ويتستون.

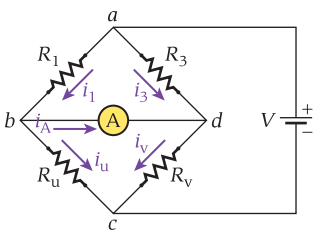
المسألة

حدد المقاومة المجهولة، R_u، في قنطرة ويتستون الموضحة في الشكل 6.14. المقاومات المعلومة هي $R_1 = 100.0\ \Omega$، و $R_3 = 110.0\ \Omega$، و $R_v = 15.63\ \Omega$ عندما يكون التيار المتدفق عبر الأميتر يساوي صفرًا، الأمر الذي يشير إلى أن القنطرة متوازنة.

الحل

فكّر تحتوي الدائرة على أربعة مقاومات وأميتر، ويمكن أن يحتوي كل مكوّن على تيار متدفق عبره. لكن، في هذه الحالة، حيث $R_v = 15.63\ \Omega$، لا يوجد تيار متدفق عبر الأميتر. إن مساواة هذا التيار بالصفر يترك أربعة تيارات مجهولة عبر المقاومات الأربعة، ولهذا نحتاج إلى أربع معادلات. يمكننا استخدام قانونَي كيرشوف لتحليل الحلقتَين، *adb* و *cbd*، والوصلتَين، *b* و *d*.

ارسم الشكل 6.15 يوضح قنطرة ويتستون بالاتجاهات المفترضة للتيارات i_1، و i_3، و i_u، و i_v، و i_A.



الشكل 6.15 قنطرة ويتستون مع توضيح الاتجاهات المفترضة للتيارات.

– يُتبع

ابحث نطبق أولًا قانون كيرشوف للجهد على الحلقة *adb*، بداية من *a* ونتحرك في اتجاه عقارب الساعة لنحصل على

$$-i_3R_3 + i_AR_A + i_1R_1 = 0 \quad \text{(i)}$$

حيث R_A هي مقاومة الأميتر. نطبق قانون كيرشوف للجهد مرة أخرى على الحلقة *cbd*، بداية من *c* ونتحرك في اتجاه عقارب الساعة لنحصل على

$$+i_uR_u - i_AR_A - i_vR_v = 0 \quad \text{(ii)}$$

يمكننا الآن استخدام قانون كيرشوف للتيار عند الوصلة *b* لنحصل على

$$i_1 = i_A + i_u \quad \text{(iii)}$$

بتطبيق قانون كيرشوف للتيار مرة أخرى عند الوصلة *d*، نحصل على

$$i_3 + i_A = i_v \quad \text{(iv)}$$

حوّل إلى أبسط صورة عندما يكون التيار المتدفق عبر الأميتر يساوي صفرًا ($i_A = 0$)، يمكننا إعادة كتابة المعادلات من (i) إلى (iv) كما يلي:

$$i_1R_1 = i_3R_3 \quad \text{(v)}$$

$$i_uR_u = i_vR_v \quad \text{(vi)}$$

$$i_1 = i_u \quad \text{(vii)}$$

و

$$i_3 = i_v \quad \text{(viii)}$$

بقسمة المعادلة (vi) على المعادلة (v)، نحصل على

$$\frac{i_uR_u}{i_1R_1} = \frac{i_vR_v}{i_3R_3}$$

التي يمكننا إعادة كتابتها باستخدام المعادلتين (vii) و(viii):

$$R_u = \frac{R_1}{R_3}R_v$$

احسب بالتعويض بالقيم العددية، نحصل على

$$R_u = \frac{R_1}{R_3}R_v = \frac{100.0\ \Omega}{110.0\ \Omega}15.63\ \Omega = 14.20901\ \Omega$$

قرّب نقرّب النتيجة التي توصلنا إليها إلى أربعة أرقام معنوية:

$$R_u = 14.21\ \Omega$$

تحقَّق ثانية النتيجة التي توصلنا إليها لمقاومة المقاوم المجهول تماثل قيمة المقاوم المتغير. لذا، تبدو إجابتنا معقولة، لأن المقاومَين الآخرَين في الدائرة لهما أيضًا مقاومتان متساويتان تقريبًا.

سؤال الاختبار الذاتي 6.1

أثبت أنه عندما تساوي قيمة التيار المتدفق في الأميتر صفرًا، تُوضح المقاومة المكافئة للمقاومات الموجودة في قنطرة ويتستون المبينة في الشكل 6.14 بواسطة

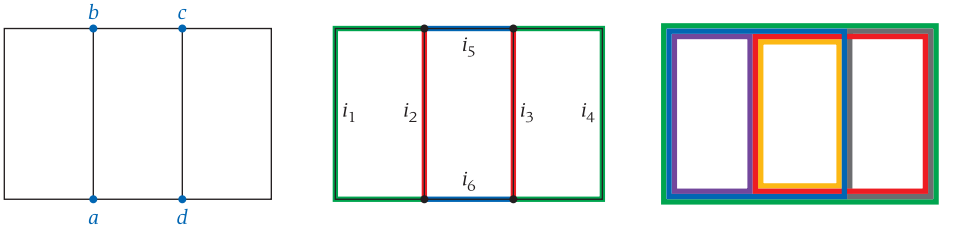
$$R_{eq} = \frac{(R_1 + R_u)(R_3 + R_v)}{R_1 + R_u + R_3 + R_v}$$

ملاحظات عامة على شبكات الدوائر الكهربائية

ملاحظة مهمة حول حل مسائل الدائرة هي أن التحليل الكامل لدائرة يتطلب بوجه عام معرفة التيار المتدفق في كل فرع من أفرع الدائرة. نستخدم قانون كيرشوف للتيار وقانون كيرشوف للجهد لتكوين معادلات تربط بين التيارات، ونحن بحاجة إلى معادلات مستقلة خطيًا بعدد الأفرع لنضمن أنه بإمكاننا الحصول على حل لهذا النظام.

لنفكر في المثال المجرد الموضح في الشكل 6.16، حيث تمت إزالة كل مكونات الدائرة ما عدا الأسلاك. تحتوي هذه الدائرة على أربع وصلات، موضحة بالأزرق في الشكل 6.16a. تصل ستة أفرع بين هذه الوصلات، ويتم توضيحها في الشكل 6.16b. لهذا نحتاج إلى ست معادلات مستقلة خطيًا تربط بين التيارات في هذه الأفرع. كما ذكرنا سابقًا، ليست جميع المعادلات الناجمة عن تطبيق قانونَي كيرشوف على دائرة مستقلةً خطيًا. هذه الحقيقة جديرة بأن نكررها: إذا كانت دائرة تحتوي على *n* من الوصلات، فمن الممكن الحصول على $n - 1$ على الأكثر من المعادلات المستقلة نتيجة لتطبيق قانون التيار. (في الدائرة الموضحة في الشكل 6.16، $n = 4$، إذًا نستطيع الحصول على ثلاث معادلات مستقلة فقط).

لا يُعد قانون التيار وحده كافيًا للتحليل الكامل لأي دائرة. من الأفضل بشكل عام كتابة أكبر عدد ممكن من المعادلات للوصلات، ثم زيادة هذه المعادلات بالمعادلات التي تم الحصول عليها من الحلقات. يوضح الشكل 6.16c وجود ست حلقات محتملة في هذه الشبكة ومحددة بألوان مختلفة.



الشكل 6.16 شبكة دائرة كهربائية تتكون من (a) أربع وصلات، و(b) ستة أفرع، و(c) ست حلقات محتملة.

كما هو واضح، توجد حلقات أكثر مما نحتاج إلى تحليله لنحصل على ثلاث معادلات. وهذه أيضًا ملاحظة عامة: يُعد نظام المعادلات الذي يمكن وضعه عن طريق التفكير في جميع الحلقات المحتملة زائدَ التحديد. لذا، ستتمتع دائمًا بحرية اختيار حلقات محددة لزيادة المعادلات التي يتم الحصول عليها من تحليل الوصلات. كقاعدة عامة مستمدة من تجربة عملية، من الأفضل اختيار حلقات بها عناصر أقل في الدائرة، الأمر الذي يجعل الجبر الخطي اللاحق أسهل إلى حد كبير. بالتحديد، إذا كُلّفت بإيجاد التيار في فرع معين من شبكة، فقد يتيح لك اختيار الحلقة المناسبة تجنب إعداد مجموعة من المعادلات المطولة ويسمح لك بحل المسألة بمعادلة واحدة فقط. إذًا، فمن المجدي إيلاء بعض الاهتمام عند اختيار الحلقات! لا تكتب معادلات أكثر مما تحتاج إليه لإيجاد القيم المجهولة في مسألة محددة. لن ينجم عن هذا إلا تعقيد الجبر. ولكن، بمجرد حصولك على الحل، يمكنك استخدام حلقة أو أكثر من الحلقات غير المستخدمة لتتحقق من القيم التي توصلت إليها.

6.4 أجهزة الأميتر والفولتميتر Ammeters and Voltmeters

يُسمى الجهاز المستخدم لقياس التيار **الأميتر**. يُسمى الجهاز المستخدم لقياس فرق الجهد **الفولتميتر**. لقياس التيار، يجب توصيل أميتر في دائرة على *التوالي*. يوضح الشكل 6.17 أميتر موصّل في دائرة بطريقة تسمح له بقياس التيار i. لقياس فرق الجهد، يجب توصيل فولتميتر على *التوازي* بالمكوّن الذي يجب قياس فرق الجهد بين طرفيه. يوضح الشكل 6.17 فولتميتر موضوع في الدائرة لقياس انخفاض الجهد بين طرفَي المقاوم R_1.

من المهم معرفة أن هذه الأجهزة يجب أن تكون قادرة على القياس عند مرور التيار في الدائرة بأقل قدر ممكن. ومن ثَمَّ، تُصمم أجهزة الأميتر بمقاومة أقل ما يمكن، وعادةً ما تكون في حدود 1 Ω. لذا ليس لها تأثير ملحوظ في التيارات التي تقيسها. تُصمم أجهزة الفولتميتر بمقاومة أكبر ما يمكن، وعادةً ما تكون في حدود 10^7 Ω (10 MΩ). لذا لها تأثير طفيف في فروق الجهد التي تقيسها.

عمليًا، تتم قياسات التيار وفرق الجهد باستخدام ملتيميتر رقمي يمكنه التبديل بين عمله كأميتر وعمله كفولتميتر. إنه يعرض النتائج على شاشة رقمية تحتوي على إشارة فرق الجهد أو التيار. تستطيع معظم أجهزة الملتيميتر الرقمية أيضًا قياس مقاومة أي عنصر في الدائرة الكهربائية؛ بمعنى، أنها يمكنها العمل كجهاز **أوميتر**. يؤدي الملتيميتر الرقمي هذه المهمة بتطبيق فرق جهد معلوم وقياس التيار الناتج. هذا الاختبار مفيد في تحديد مدى استمرارية الدائرة وحالة المنصهرات، بالإضافة إلى قياس مقاومة المقاومات.

مثال 6.2 فولتميتر في دائرة بسيطة

فكر في دائرة بسيطة تتكون من مصدر للقوة الدافعة الكهربائية جهده $V_{emf} = 150.0$ V ومقاوم $R = 100.0$ kΩ (الشكل 6.18). يُوصَّل فولتميتر مقاومته $R_V = 10.0$ MΩ بين طرفَي المقاوم.

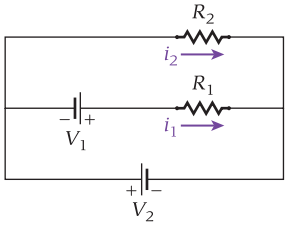
المسألة 1

ما قيمة التيار في الدائرة قبل توصيل الفولتميتر؟

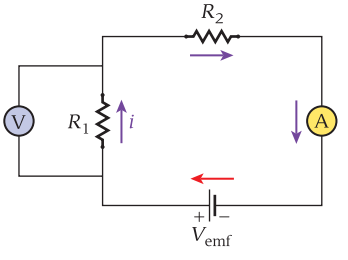
– يُتبع

مراجعة المفاهيم 6.3

في الدائرة متعددة الحلقات الموضحة في الشكل، $V_1 = 6.00$ V، و$V_2 = 12.0$ V، و$R_1 = 10.0\Omega$، و$R_2 = 12.0$ V. ما مقدار التيار i_2؟

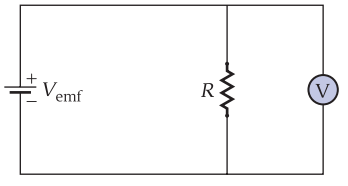


a) 0.500 A
b) 0.750 A
c) 1.00 A
d) 1.25 A
e) 1.50 A



الشكل 6.17 وضع أميتر وفولتميتر في دائرة بسيطة.





الشكل 6.18 دائرة بسيطة تحتوي على فولتميتر موصل على التوازي بين طرفَي مقاوم.

الحل 1
ينص قانون أوم على أن $V = iR$. إذًا يمكننا إيجاد التيار في الدائرة:

$$i = \frac{V_{emf}}{R} = \frac{150.\ V}{100.\times10^{3}\ \Omega} = 1.50\times10^{-3}\ A = 1.50\ mA$$

المسألة 2
ما قيمة التيار في الدائرة عند توصيل الفولتميتر بين طرفَي المقاوم؟

الحل 2
تُوضَّح المقاومة المكافئة للمقاوم والفولتميتر الموصل على التوازي بواسطة

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_V}$$

بإيجاد المقاومة المكافئة وبالتعويض بالقيم العددية، نحصل على

$$R_{eq} = \frac{RR_V}{R + R_V} = \frac{\left(100.\times10^{3}\ \Omega\right)\left(10.0\times10^{6}\ \Omega\right)}{100.\times10^{3}\ \Omega + 10.0\times10^{6}\ \Omega} = 9.90\times10^{4}\ \Omega = 99.0\ k\Omega$$

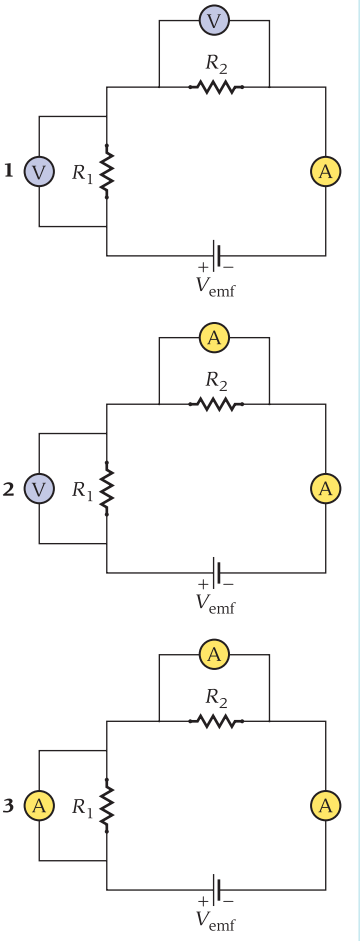
إذًا، التيار يساوي

$$i = \frac{V_{emf}}{R_{eq}} = \frac{150.\ V}{9.90\times10^{4}\ \Omega} = 1.52\times10^{-3}\ A = 1.52\ mA$$

يزيد التيار في الدائرة بمقدار 0.02 mA عند توصيل الفولتميتر؛ لأن مقاومة المقاوم والفولتميتر الموصل على التوازي أقل من مقاومة المقاوم وحده. ولكن، التأثير بسيط، حتى مع هذه المقاومة الكبيرة نسبيًا ($R = 100.\ k\Omega$).

سؤال الاختبار الذاتي 6.2
عند تعشيق بادئ تشغيل سيارة أثناء تشغيل المصابيح الأمامية، تخفت الإضاءة. اشرح.

مراجعة المفاهيم 6.4
أي من الدوائر الموضحة في الشكل لن تعمل بشكل صحيح؟



a) 1 b) 2 c) 3
d) 1، 2 e) 2، 3

مسألة محلولة 6.3 توسيع مدى القياس لجهاز الأميتر

المسألة
يمكن استخدام الأميتر لقياس مجموعة مختلفة لقيم التيار عن طريق إضافة مجزئ تيار على هيئة مقاوم مجزئ للتيار موصّل على التوازي بالأميتر. *المقاوم المجزئ للتيار* هو ببساطة مقاوم ذو مقاومة صغيرة جدًا. يُستمد اسمه من واقع أنه عند توصيله على التوازي بالأميتر، الذي مقاومته أكبر، يُحوّل معظم التيار من خلاله، متجاوزًا الأميتر. تقل حساسية الأميتر لهذا السبب، مما يتيح له قياس تيارات أكبر. افترض أن أميتر يعطي قراءة التدريجات بالكامل عندما يمر تيار مقداره $i_{int} = 5.10\ mA$ خلاله. وتبلغ المقاومة الداخلية للأميتر $R_i = 16.8\ \Omega$. لاستخدام هذا الأميتر لقياس أقصى تيار مقداره $i_{max} = 20.2\ A$، ما مقدار المقاومة اللازمة للمقاوم المجزئ للتيار، R_s، الموصل على التوازي بالأميتر؟

الحل
فكّر يجب أن تكون مقاومة المقاوم المجزئ للتيار الموصل على التوازي بالأميتر أقل بشكل ملحوظ من المقاومة الداخلية للأميتر. وسيتدفق عندئذٍ معظم التيار خلال المقاوم المجزئ للتيار بدلًا من الأميتر.

ارسم الشكل 6.19 يوضح مقاومًا مجزئًا للتيار، R_s، موصلًا على التوازي بأميتر.

ابحث المقاومان متصلان على التوازي، إذًا فرق الجهد متساوٍ بين طرفَي كل مقاوم. فرق الجهد الذي يعطي قراءة التدريجات بالكامل على الأميتر هو

(i) $$\Delta V_{fs} = i_{int}R_i$$

نعرف أن المقاومة المكافئة للمقاومَين الموصلَين على التوازي تُوضَّح بواسطة

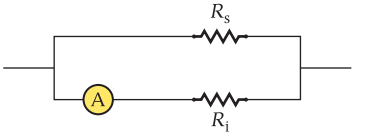
(ii) $$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_s}$$

انخفاض الجهد بين طرفَي المقاومة المكافئة يجب أن يساوي انخفاض الجهد بين طرفَي الأميتر الذي يعطي قراءة التدريجات بالكامل عندما يتدفق تيار i_{max} عبر الدائرة. لذا، يمكننا أن نكتب

(iii) $$\Delta V_{fs} = i_{max}R_{eq}$$

حوّل إلى أبسط صورة من خلال دمج المعادلتين (i) و(iii) لإيجاد فرق الجهد، نحصل على

(iv) $$\Delta V_{fs} = i_{int}R_i = i_{max}R_{eq}$$



الشكل 6.19 أميتر موصل بين طرفيه مقاوم مجزئ التيار على التوازي.

يمكننا إعادة ترتيب المعادلة (iv) والتعويض عن R_{eq} في المعادلة (ii):

$$\frac{i_{max}}{i_{int}R_i} = \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_s} \quad (v)$$

من خلال حل المعادلة (v) لإيجاد المقاوم المجزئ للتيار، نحصل على

$$\frac{1}{R_s} = \frac{i_{max}}{i_{int}R_i} - \frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_i}\left[\frac{i_{max}}{i_{int}} - 1\right] = \frac{1}{R_i}\left[\frac{i_{max} - i_{int}}{i_{int}}\right]$$

أو

$$R_s = R_i \frac{i_{int}}{i_{max} - i_{int}}$$

احسب بالتعويض بالقيم العددية، نحصل على

$$R_s = R_i \frac{i_{int}}{i_{max} - i_{int}} = (16.8\ \Omega)\frac{5.10\times10^{-3}\ \text{A}}{20.2\ \text{A} - 5.10\times10^{-3}\ \text{A}}$$
$$= 0.00424266\ \Omega.$$

قرّب نقرّب النتيجة التي توصلنا إليها إلى ثلاثة أرقام معنوية:

$$R_s = 0.00424\ \Omega$$

تحقَّق ثانية نُوضِّح المقاومة المكافئة للأميتر والمقاوم المجزئ للتيار الموصلَين على التوازي بواسطة المعادلة (ii). بحل تلك المعادلة لإيجاد المقاومة المكافئة وبالتعويض بالأعداد، نحصل على

$$R_{eq} = \frac{R_i R_s}{R_i + R_s} = \frac{(16.8\ \Omega)(0.00424\ \Omega)}{16.8\ \Omega + 0.00424\ \Omega} = 0.00424\ \Omega$$

إذًا، فالمقاومة المكافئة للأميتر والمقاوم المجزئ للتيار الموصلَين على التوازي تساوي تقريبًا مقاومة المقاوم المجزئ للتيار. هذه المقاومة المكافئة المنخفضة ضرورية في جهاز قياس التيار الذي يجب توصيله على التوالي في دائرة. إذا كانت مقاومة جهاز قياس التيار عالية، فسيؤدي ذلك إلى اضطراب في قياس التيار.

6.5 دوائر كهربائية تحتوي مقاومًا ومكثفًا RC Circuits

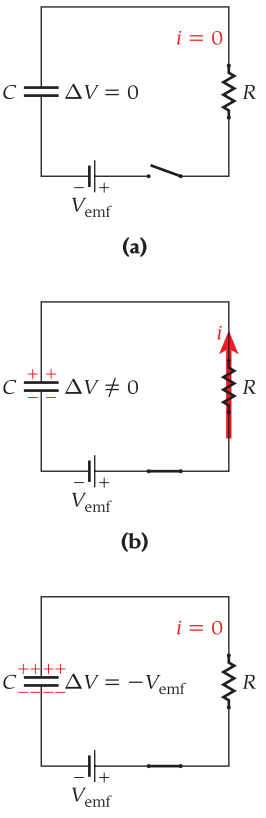
ناقشنا في هذه الوحدة حتى الآن الدوائر التي تحتوي على مصادر للقوة الدافعة الكهربائية ومقاومات. ولا تتغير التيارات في هذه الدوائر مع الزمن. ندرس الآن الدوائر التي تحتوي على مكثِّفات، بالإضافة إلى مصادر للقوة الدافعة الكهربائية ومقاومات. يطلق على هذه الدوائر **دوائر RC**، وتحتوي على تيارات تتغير مع الزمن. أبسط عمليات الدائرة التي تتضمن تيارات تتغير مع الزمن هي شحن مكثِّف وتفريغ شحنه. يتضمن فهم هذه العمليات المرتبطة بالزمن حل بعض المعادلات التفاضلية البسيطة. سنناقش التيارات المرتبطة بالزمن لاحقًا والتي ستستند إلى الطرائق المُقدمة هنا.

شحن مكثِّف

فكر في دائرة بها مصدر للقوة الدافعة الكهربائية، V_{emf}، ومقاوم، R، ومكثِّف، C (الشكل 6.20). في البداية، يُفتح المفتاح ويكون المكثِّف غير مشحون، كما هو موضح في الشكل 6.20a. عندما يُغلق المفتاح (الشكل 6.20b)، يبدأ التيار في التدفق في الدائرة، مراكمًا شحنات متقابلة على لوحَي المكثِّف، وبهذا يتولد فرق جهد، ΔV، بين طرفَي المكثِّف. يتدفق التيار بسبب مصدر القوة الدافعة الكهربائية الذي يحافظ على جهد ثابت. عندما يُشحن المكثِّف بالكامل (الشكل 6.20c)، لا يتدفق بعد ذلك تيار في الدائرة. يتساوى عند ذلك فرق الجهد عبر اللوحَين مع الجهد الذي يوفره مصدر القوة الدافعة الكهربائية، ويكون مقدار الشحنة الكلية، q_{tot}، على كل من لوحَي المكثِّف هو $q_{tot} = CV_{emf}$.

بينما يُشحن المكثِّف، يمكننا تحليل التيار i، المتدفق في الدائرة (المُفترض تدفقه من الطرف السالب إلى الطرف الموجب داخل مصدر الجهد) عن طريق تطبيق قانون كيرشوف للجهد على الحلقة في الشكل 6.20b في عكس اتجاه عقارب الساعة:

$$V_{emf} - V_R - V_C = V_{emf} - i(t)R - q(t)/C = 0$$



الشكل 6.20 دائرة RC أساسية تحتوي على مصدر للقوة الدافعة الكهربائية، ومقاوم، ومكثِّف: (a) عند فتح المفتاح؛ (b) بعد غلق المفتاح بفترة زمنية قصيرة؛ (c) بعد غلق المفتاح بفترة زمنية طويلة.

حيث V_C هو انخفاض الجهد بين طرفَي المكثِف و $q(t)$ هو شحنة المكثِف في زمن معين t. تغير الشحنة على لوحَي المكثِف نتيجة التيار هو $i(t) = dq(t)/dt$. ويمكننا إعادة كتابة المعادلة السابقة بصيغة

$$R\frac{dq(t)}{dt} + \frac{q(t)}{C} = V_{emf}$$

أو

$$\frac{dq(t)}{dt} + \frac{q(t)}{RC} = \frac{V_{emf}}{R} \tag{6.3}$$

تربط هذه المعادلة التفاضلية بين الشحنة والزمن. يبدو من الملائم استخدام صيغة أسية لحل المعادلة 6.3؛ لأن الدالة الأسية هي النوع الوحيد الذي لديه خاصية امتلاك مشتقة مطابقة لذاتها. بما أنّ المعادلة 6.3 تحتوي أيضًا على حد ثابت، يتطلب الحل وجودَ حدٍ ثابتٍ. لهذا نجرب حلًا ذا ثابت وصيغة أسية، حيث $q(0) = 0$:

$$q(t) = q_{max}\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$$

ويجب تحديد الثابتَين q_{max} وτ. بالتعويض مرة أخرى في المعادلة 6.3، نحصل على

$$q_{max}\frac{1}{\tau}e^{-t/\tau} + \frac{1}{RC}q_{max}\left(1 - e^{-t/\tau}\right) = \frac{V_{emf}}{R}$$

نجمع الآن الحدود التابعة للزمن على الطرف الأيسر للمعادلة والحدود المستقلة عن الزمن على الطرف الأيمن للمعادلة:

$$q_{max}e^{-t/\tau}\left(\frac{1}{\tau} - \frac{1}{RC}\right) = \frac{V_{emf}}{R} - \frac{1}{RC}q_{max}$$

يمكن أن تكون هذه المعادلة صحيحة دائمًا فقط إذا كان كلا الطرفين يساوي صفرًا. من الطرف الأيسر للمعادلة، نوجد

$$\tau = RC \tag{6.4}$$

إذًا، الثابت τ (المسمى **بالثابت الزمني**) هو ببساطة ناتج ضرب السعة والمقاومة. من الطرف الأيمن للمعادلة، نوجد تعبيرًا للثابت q_{max}:

$$q_{max} = CV_{emf}$$

إذًا، حل المعادلة التفاضلية لشحن المكثِف (المعادلة 6.3) هو

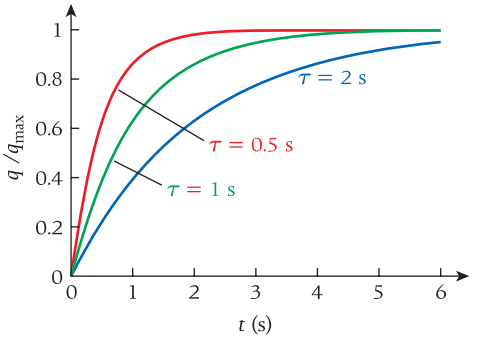
$$q(t) = CV_{emf}\left(1 - e^{-t/RC}\right) \tag{6.5}$$

لاحظ أنه عندما يكون $t = 0$، يكون $q = 0$، وهذه هي الحالة الابتدائية قبل توصيل مكوّنات الدائرة. عندما يكون $t = \infty$، يكون $q = q_{max} = CV_{emf}$، وهذه هي حالة الوضع الثابت التي يكون فيها المكثِف مشحونًا بالكامل. وتغيرات الشحنة والزمن يوضحها الشكل 6.21a لثلاث قيم مختلفة للثابت الزمني τ.

يتم الحصول على التيار المتدفق في الدائرة عن طريق إجراء تفاضل للمعادلة 6.5 بالنسبة إلى الزمن:

$$i = \frac{dq}{dt} = \left[\frac{V_{emf}}{R}\right]e^{-t/RC} \tag{6.6}$$

من المعادلة 6.6، عندما يكون $t = 0$، نجد أن التيار في الدائرة هو V_{emf}/R، وعندما يكون $t = \infty$، يساوي التيار صفرًا، كما هو موضح في الشكل 6.21b.



الشكل 6.21 شحن مكثِف: (a) شحنة المكثِف بوصفها دالة للزمن؛ (b) التيار المتدفق في المقاوم بوصفه دالة للزمن.

تفريغ شحنة مكثِف

لنفكر الآن في دائرة تحتوي فقط على مقاوم، R، ومكثِف مشحون بالكامل، C. تم الحصول عليه بتحريك المفتاح الموضح في الشكل 6.22 من الوضع 1 إلى الوضع 2. شحنة المكثِف قبل تحريك المفتاح هي q_{max}. في هذه الحالة، سيتدفق تيار في الدائرة حتى تفرغ شحنة المكثِف تمامًا. بينما تفرغ شحنة المكثِف، يمكننا تطبيق قانون كيرشوف للجهد على الحلقة في اتجاه عقارب الساعة ونحصل على

$$-i(t)R - V_C = -i(t)R - \frac{q(t)}{C} = 0$$

يمكننا إعادة كتابة هذه المعادلة باستخدام تعريف التيار:

$$\frac{R\,dq(t)}{dt} + \frac{q(t)}{C} = 0 \tag{6.7}$$

يتم الحصول على حل المعادلة 6.7 باستخدام الطريقة نفسها المتبعة في المعادلة 6.3، باستثناء أنّ المعادلة 6.7 لا تحتوي على حد ثابت و $q(0) > 0$. لذا، جرب حلًا بالصيغة $q(t) = q_{max}e^{-t/\tau}$ التي تؤدي إلى

$$q(t) = q_{max}e^{-t/RC} \tag{6.8}$$

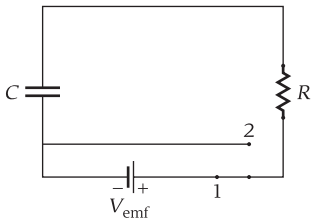
عندما يكون $t = 0$، تكون شحنة المكثِف q_{max}. عندما يكون $t = \infty$، تصبح شحنة المكثِف صفرًا.

يمكننا الحصول على التيار عن طريق إجراء تفاضل للمعادلة 6.8 كدالة للزمن:

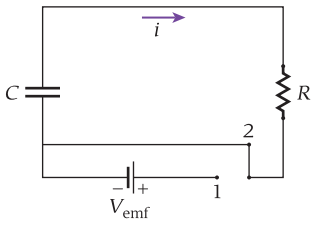
$$i(t) = \frac{dq}{dt} = -\left[\frac{q_{max}}{RC}\right]e^{-t/RC} \tag{6.9}$$

عندما يكون $t = 0$، يكون التيار في الدائرة هو $-q_{max}/RC$. عندما يكون $t = \infty$، يساوي التيار في الدائرة صفرًا. الرسوم البيانية لتغيرات شحنة المكثف والزمن لمرور التيار عبر المقاوم لعملية تفريغ الشحنة سيؤدي إلى منحنيات متناقصة بشكل أسي ومشابهة للمنحنيات الواردة في الشكل 6.21b.

جميع المعادلات التي توضح تغيرات الشحنة مع الزمن لمكثف أثناء عملية شحنه وعملية تفريغه العامل الأسي $e^{-t/RC}$. مرة أخرى، يعرّف ناتج ضرب المقاومة والسعة بأنه الثابت الزمني لدائرة RC: $\tau = RC$. وفقًا للمعادلة 6.5، بعد مقدار من الزمن مساوٍ للثابت الزمني، سيكون شحن المكثِف قد وصل إلى 63% من أقصى قيمة شحن له. لذا، يمكن وصف خصائص دائرة RC بتحديد الثابت الزمني. يعني الثابت الزمني الكبير أن المكثِف يستغرق وقتًا طويلًا للشحن، ويعني الثابت الزمني الصغير أن المكثِف يستغرق وقتًا قصيرًا للشحن.



(a)



(b)

الشكل 6.22 دائرة RC تحتوي على مصدر للقوة الدافعة الكهربائية، ومقاوم، ومكثِف، ومفتاح. المكثِف (a) يُشحن عندما يكون المفتاح في الوضع 1. و(b) يفرغ من الشحن عندما يكون المفتاح في الوضع 2.

مراجعة المفاهيم 6.5

ما قيم المقاومة والسعة اللازمتين لتفريغ شحن مكثِف في دائرة RC بسرعة كبيرة؟

a) يجب أن تكون كلتاهما أكبر ما يمكن.

b) يجب أن تكون المقاومة أكبر ما يمكن، والسعة أقل ما يمكن.

c) يجب أن تكون المقاومة أقل ما يمكن، والسعة أكبر ما يمكن.

d) يجب أن تكون كلتاهما أقل ما يمكن.

مثال 6.3 الزمن اللازم لشحن مكثِف

فكر في دائرة تتكون من بطارية جهدها 12.0 V، ومقاوم 50.0 Ω، ومكثِف سعته 100.0 μF موصلين على التوالي. المكثِف غير مشحون تمامًا في البداية.

المسألة

كم من الزمن سيستغرق شحن المكثِف حتى يصل إلى 90% من أقصى شحنة له بعد غلق الدائرة؟

الحل

شحنة المكثِف بوصفه كدالة للزمن وفق المعادلة

$$q(t) = q_{max}\left(1 - e^{-t/RC}\right)$$

حيث q_{max} هي أقصى شحنة للمكثِف. نريد أن نعرف الزمن حتى $q(t)/q_{max} = 0.90$. ويمكن الحصول عليه من

$$\left(1 - e^{-t/RC}\right) = \frac{q(t)}{q_{max}} = 0.90$$

أو

$$0.10 = e^{-t/RC} \tag{i}$$

– يُتبع

سؤال الاختبار الذاتي 6.3

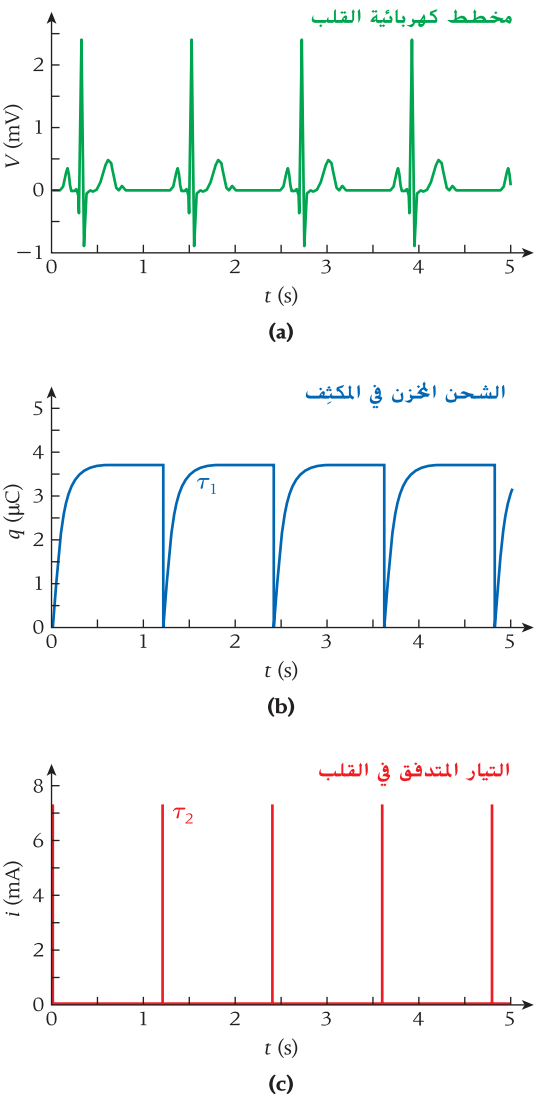
مكثِف مشحون بالكامل سعته 1.00 mF. وموصل بين طرفيه مقاوم يبلغ 100.0 Ω. كم من الزمن سيستغرق تفريغ 99.0% من الشحن المخزن في المكثِف؟

بأخذ اللوغاريتم الطبيعي لكلا طرفَي المعادلة (i)، نحصل على

$$\ln 0.10 = -\frac{t}{RC}$$

أو

$$t = -RC\ln 0.10 = -(50.0\ \Omega)\left(100\times10^{-6}\ \text{F}\right)(-2.30) = 0.0115\ \text{s} = 11.5\ \text{ms}$$

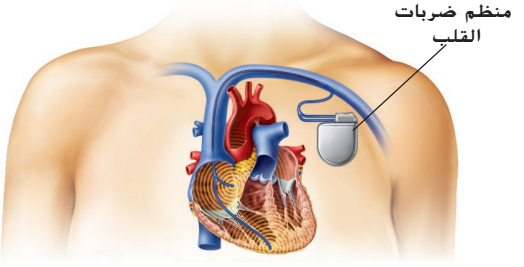


الشكل 6.23 (a) مخطط كهربائية قلب يوضح أربع ضربات قلب منتظمة. (b) الشحن المخزن في مكثِف منظم ضربات القلب بوصفه دالة للزمن. (c) التيار المتدفق في القلب نتيجة تفريغ شحنة مكثِف المنظم.

منظم ضربات القلب

ينبض قلب الإنسان الطبيعي على فترات منتظمة، مرسلًا الدم إلى الجسم. ينظم معدل ضربات القلب عن طريق إشاراته الكهربائية. يمكن قياس هذه الإشارات الكهربائية عبر الجلد باستخدام جهاز تخطيط القلب الكهربائي. يُنتج هذا الجهاز رسمًا بيانيًا لفرق الجهد مقابل الزمن، وهو ما يسمى *بمخطط كهربائية القلب* أو *ECG* (يُسمى أحيانًا *EKG* المأخوذة من الكلمة الألمانية *Electrokardiograph*). يوضح الشكل 6.23a كيف سيمثل مخطط كهربائية القلب أربع ضربات قلب منتظمة تحدث بمعدل 72 ضربة في الدقيقة. يمكن للأطباء والعاملين في المجال الطبي استخدام مخطط كهربائية القلب لتشخيص صحة القلب.

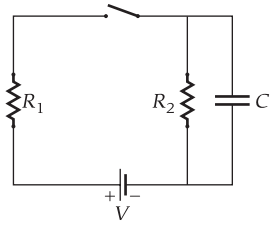
في بعض الأحيان لا ينبض القلب بانتظام ويحتاج إلى مساعدة للحفاظ على الانتظام المناسب. يمكن للمنظم أن يقدم هذه المساعدة، وهو عبارة عن دائرة كهربائية تُرسل نبضات كهربائية إلى القلب على فترات منتظمة، لتحل محل الإشارات الكهربائية المعتادة للقلب وتحفز القلب على النبض على فترات محددة. يُزرع المنظم في المريض ويُوصل مباشرة بالقلب، كما هو موضح في الشكل 6.24.



الشكل 6.24 منظم ضربات قلب حديث مزروع في مريض. يرسل المنظم نبضات كهربائية في حجرتين من حجرات القلب للمساعدة على الحفاظ على ضربات القلب منتظمة.

مراجعة المفاهيم 6.6

في الدائرة الموضحة في الشكل، المكثِف، C، غير مشحون في البداية. لحظة غلق المفتاح،



a) يساوي التيار المتدفق عبر المقاوم R_1 صفرًا.

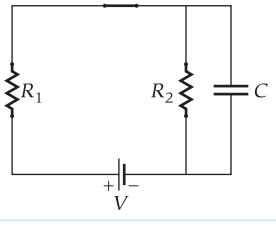
b) يكون التيار المتدفق عبر المقاوم R_1 أكبر من المتدفق عبر المقاوم R_2.

c) يكون التيار المتدفق عبر المقاوم R_2 أكبر من المتدفق عبر المقاوم R_1.

d) يكون التيار المتدفق عبر المقاوم R_1 مساويًا للتيار المتدفق عبر المقاوم R_2.

مراجعة المفاهيم 6.7

في الدائرة الموضحة في الشكل، المفتاح مغلق. بعد فترة زمنية طويلة،



a) يساوي التيار المتدفق عبر المقاوم R_1 صفرًا.

b) يكون التيار المتدفق عبر المقاوم R_1 أكبر من المتدفق عبر المقاوم R_2.

c) يكون التيار المتدفق عبر المقاوم R_2 أكبر من المتدفق عبر المقاوم R_1.

d) يكون التيار المتدفق عبر المقاوم R_1 مساويًا للتيار المتدفق عبر المقاوم R_2.

مثال 6.4 عناصر دائرة منظم ضربات القلب

دعنا نحلل الدائرة الموضحة في الشكل 6.25، والتي تحاكي وظيفة منظم ضربات القلب. تعمل دائرة المنظم عن طريق شحن مكثف، C، وأحيانًا عن طريق استخدام بطارية جهدها V_{emf} ومقاوم يبلغ R_1، كما هو موضح في الشكل 6.25a، حيث يتم فتح المفتاح. ويؤدي غلق المفتاح كما في الشكل 6.25b إلى حدوث قصر في المكثف عبر القلب، ويتم تفريغ شحن المكثف عبر القلب في وقت قصير لتحفيز القلب لينبض. لذا، تعمل هذه الدائرة كمنظم عن طريق فتح المفتاح طوال فترة ما بين ضربات القلب، ثم غلقه لوقت قصير لتحفيز ضربات القلب، ثم فتحه ثانية.

المسألة

ما قيمة كل من السعة، C، والمقاومة، R_1، التي يجب استخدامهما في منظم ضربات القلب؟

الحل

نفترض أن القلب يعمل كمقاوم $R_2 = 500\ \Omega$ وأن مصدر القوة الدافعة الكهربائية هو بطارية ليثيوم أيون. تتميز هذه البطارية بكثافة طاقة عالية جدًا وبجهد مقداره 3.7 V. ويتراوح معدل ضربات القلب الطبيعي بين 60 و100 ضربة في الدقيقة. ولكن، قد يحتاج منظم ضربات القلب إلى تحفيز القلب لينبض بشكل أسرع، لذا يجب أن تكون لديه القدرة على النبض 180 ضربة في الدقيقة، مما يعني أنه قد يتم شحن المكثف 180 مرة في الدقيقة. ومن ثَمَّ فإن الحد الأدنى للوقت بين عمليات تفريغ الشحنة، t_{min}، هو

$$t_{min} = \frac{1}{180\ \text{beats/min}} = \left(\frac{1\ \text{min}}{180}\right)\left(\frac{60\ \text{s}}{1\ \text{min}}\right) = 0.333\ \text{s}$$

توضح المعادلة 6.5 الشحنة، q، بوصفها دالة للزمن، t، لبيان الحد الأقصى للشحنة، q_{max}، في ثابت زمني محدد، $\tau_1 = R_1C$:

$$q = q_{max}\left(1 - e^{-t/\tau_1}\right)$$

بإعادة ترتيب هذه المعادلة، نحصل على

$$\frac{q}{q_{max}} = f = 1 - e^{-t/\tau_1}$$

حيث f هي جزء من سعة شحن المكثف. لنفترض أنه يجب شحن المكثف بنسبة 95% من الحد الأقصى للشحنة في الثابت الزمني t_{min}. بإيجاد قيمة الثابت الزمني، نحصل على

$$\tau_1 = R_1C = -\frac{t_{min}}{\ln(1-f)} = -\frac{0.333\ \text{s}}{\ln(1-0.95)} = 0.111\ \text{s}$$

لذا، يجب أن يكون الثابت الزمني للشحن $\tau_1 = R_1C = 100$ ms. يجب أن يكون الثابت الزمني لتفريغ الشحن، τ_2، صغيرًا لتوليد نبضات قصيرة ذات تيار عالٍ لتحفيز القلب. بافتراض أن $\tau_2 = 0.500$ ms، وهي قيمة تقريبية للنبضات الكهربائية القصيرة في مخطط كهربائية القلب، نحصل على

$$\tau_2 = R_2C = 0.500\ \text{ms}$$

يمكننا إيجاد قيمة السعة المطلوبة والتعويض بالقيمة R_2 عن $500\ \Omega$:

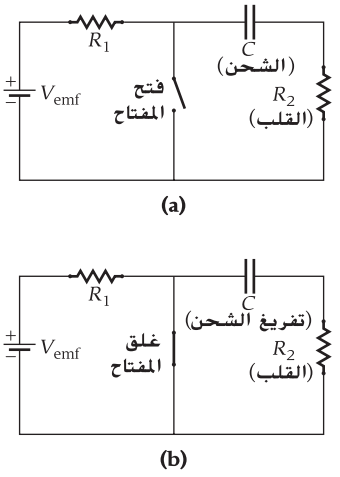
$$C = \frac{0.000500\ \text{s}}{500\ \Omega} = 1.00\ \mu\text{F}$$

يمكن الآن الربط بين المقاومة المطلوبة لشحن دائرة والثابت الزمني للشحن وقيمة السعة التي حسبناها للتو:

$$\tau_1 = R_1C = 0.100\ \text{s} = R_1(1.00\ \mu\text{F}),$$

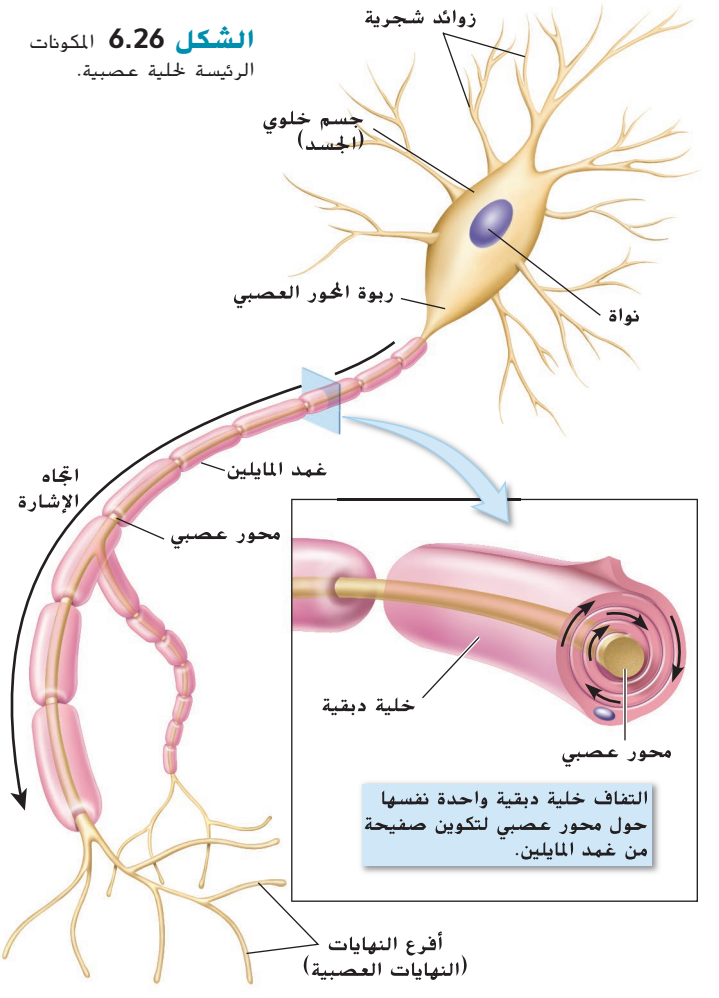
ويعطينا هذا

$$R_1 = \frac{0.100\ \text{s}}{1.00 \times 10^{-6}\ \text{F}} = 100\ \text{k}\Omega$$



الشكل 6.25 (a) دائرة منظم ضربات القلب مبسطة في وضع الشحن. (b) دائرة المنظم في وضع تفريغ الشحن.

يوضح الشكل 6.23b الشحن في مكثف منظم ضربات القلب الذي يحاكي معدل ضربات قلب ينبض 72 ضربة في الدقيقة، بوصفه دالة للزمن. يمكنك أن تلاحظ أن المكثف يشحن بسعته الكاملة تقريبًا قبل تفريغ شحنه. يوضح الشكل 6.23c التيار الذي يتدفق عبر القلب عند تفريغ شحن المكثف. نبض التيار يكون قصيرًا، ويدوم لفترة أقل من ملّي ثانية. يحفز هذا النبض القلب على العمل. كما يوضحه مخطط كهربائية القلب في الشكل 6.23a. إن معدل فتح مفتاح منظم ضربات القلب وغلقه يتحكم في معدل نبض ضربات القلب، ويُتحكم في مفتاح المنظم بواسطة معالج دقيق.

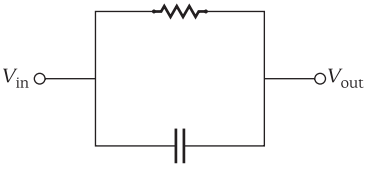


الشكل 6.26 المكونات الرئيسة لخلية عصبية.

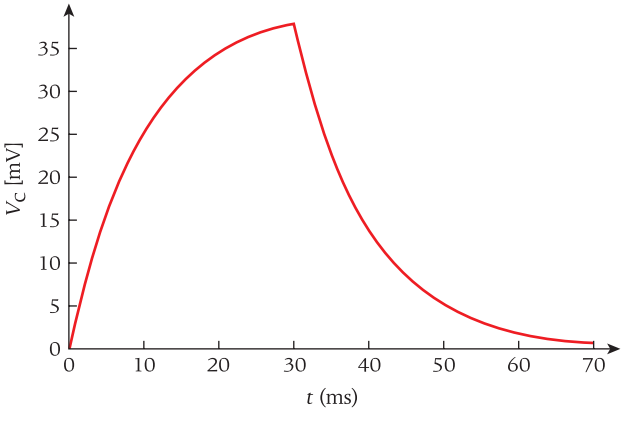
الخلية العصبية

نوع من الخلايا المسؤول عن إرسال إشارات ومعالجتها في الجهاز العصبي والدماغ في الإنسان والحيوانات الأخرى يظهر (الشكل 6.26)تركيب الخلية العصبية. توصل الخلية العصبية التيارات اللازمة بوسائل كهروكيميائية، عن طريق حركة الأيونات (بشكل أساسي Na^+ وK^+ وCl^-). تستقبل الخلايا العصبية إشارات من خلايا عصبية أخرى عبر زوائد شجرية وترسل إشارات إلى خلايا عصبية أخرى عبر محور عصبي. يمكن أن يكون المحور العصبي طويلًا إلى حد ما (على سبيل المثال، في الحبل الشوكي) ومغطى بطبقة عازلة كهربائيًّا هي غمد المايلين. تُستقبل الإشارات من خلايا عصبية أخرى أو خلايا في أعضاء الحواس والأنسجة الأخرى وتُرسل إليها. يمكن معرفة كل هذا، وأكثر من ذلك بكثير، في مقرر تمهيدي عن علم الأحياء أو علم وظائف الأعضاء. سنلقي نظرة هنا على خلية عصبية بوصفها دائرة أساسية تعالج الإشارات.

يجب أن تكون الاستثارة الكهربائية للخلية قوية بما يكفي لاستجابة الخلية العصبية، بمعنى أن تُرسل إشارة من الزوائد الشجرية إلى أسفل المحور العصبي. إنه تقريب بسيط لكنه معقول لتمثيل الجسم الخلوي الرئيس لخلية عصبية، ، بوصفها دائرة RC أساسية تعالج هذه الإشارات. يوضح الشكل 6.27 رسمًا تخطيطيًّا لدائرة RC هذه. يُوصل مكثِف ومقاوم على التوازي بجهد دخل وجهد خرج. تكون قيم الجهد النموذجية للخلايا العصبية هي ± 50 mV تقريبًا بالنسبة إلى خلفية النسيج المحيط. إذا كان $\Delta V = V_{in} - V_{out} \neq 0$، فإن تيارًا يتدفق عبر الدائرة. يتدفق جزء من التيار هذا عبر المقاوم، ويشحن جزء منه المكثِف في الوقت نفسه حتى يصل إلى فرق الجهد بين جهدَي الدخل والخرج. يزيد فرق الجهد بين لوحَي المكثِف أسيًّا، وفقًا للمعادلة $V_C(t) = (V_{in} - V_{out})(1 - e^{-t/RC})$. تمامًا كعملية شحن مكثِف في دائرة RC. (الثابت الزمني، $\tau = RC$، يساوي 10 ms تقريبًا، بافتراض أن السعة تساوي 1 nF والمقاومة تساوي 10 MΩ). إذا تمت إزالة المصدر الخارجي لفرق الجهد من الدائرة، فسيفرغ المكثِف وفقًا للثابت الزمني نفسه، ويتبدد الجهد عبر المكثِف أسيًّا، وفقًا للمعادلة $V_C(t) = V_0 e^{-t/RC}$. كدالة بدلالة الزمن، تُلتقط الاستجابة الأساسية لخلية عصبية. يوضح الشكل 6.28 فرق الجهد عبر المكثِف لنموذج الخلية العصبية هذه، في حين يُشحن المكثِف لمدة 30 ms ثم يُفرغ شحنه.



الشكل 6.27 نموذج مبسط لخلية عصبية في صورة دائرة RC.



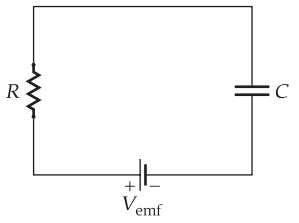
الشكل 6.28 فرق الجهد بين طرفَي المكثِف في نموذج خلية عصبية.

مسألة محلولة 6.4 معدل تخزين الطاقة في مكثِف

مقاوم $R = 2.50\ \text{M}\Omega$ ومكثف $C = 1.25\ \mu\text{F}$ موصلان على التوالي ببطارية قوتها الدافعة الكهربائية $V_{\text{emf}} = 12.0\ \text{V}$. عند $t = 2.50\ \text{s}$ بعد إغلاق الدائرة، ما معدل تخزين الطاقة في المكثِف؟

فكّر عندما تُغلق الدائرة، يبدأ المكثف في الشحن. يُحدَّد معدل تخزين الطاقة في المكثِف كمشتقة بدلالة كمية الطاقة المخزنة في المكثِف، وهذه هي وظيفة الشحن في المكثف.

ارسم الشكل 6.29 يوضح رسمًا تخطيطيًّا لدائرة موصلة على التوالي تحتوي على بطارية ومقاوم ومكثِف.



الشكل 6.29 دائرة توالي تحتوي على بطارية، ومقاوم، ومكثِف.

ابحث ة الشحنة على المكثِف، بوصفها دالة للزمن بواسطة المعادلة 6.5:

$$q(t) = CV_{\text{emf}}\left(1 - e^{-t/RC}\right)$$

تُوضح الطاقة المخزنة في مكثِف شحنته q

(i) $$U = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$$

إذًا مشتقة الطاقة المخزنة في مكثِف هي

(ii) $$\frac{dU}{dt} = \frac{d}{dt}\left[\frac{1}{2}\frac{q^2(t)}{C}\right] = \frac{q(t)}{C}\frac{dq(t)}{dt}$$

الزمن المشتق من الشحن هو التيار، i. لذا، يمكننا أن نستبدل dq/dt بالتعبير الذي توضحه المعادلة 6.6:

(iii) $$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} = \left[\frac{V_{\text{emf}}}{R}\right]e^{-t/RC}$$

حوّل إلى أبسط صورة يمكننا التعبير عن معدل تغير الطاقة المخزنة في المكثِف عن طريق جمع المعادلات من (i) إلى (iii):

$$\frac{dU}{dt} = \frac{q(t)}{C}i(t) = \frac{CV_{\text{emf}}\left(1 - e^{-t/RC}\right)}{C}\left[\frac{V_{\text{emf}}}{R}\right]e^{-t/RC} = \frac{V_{\text{emf}}^2}{R}e^{-t/RC}\left(1 - e^{-t/RC}\right)$$

احسب نحسب أولًا قيمة الثابت الزمني، $\tau = RC$:

$$RC = \left(2.50\times10^{6}\,\Omega\right)\left(1.25\times10^{-6}\ \text{F}\right) = 3.125\ \text{s}$$

يمكننا بعد ذلك حساب معدل تغير الطاقة المخزنة في المكثِف:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{(12.0\ \text{V})^2}{2.50\times10^{6}\,\Omega}e^{-(2.50\ \text{s})/(3.125\ \text{s})}\left(1 - e^{-(2.50\ \text{s})/(3.125\ \text{s})}\right) = 1.42521\times10^{-5}\ \text{W}$$

قرّب نقرّب النتيجة التي توصلنا إليها إلى ثلاثة أرقام معنوية:

$$\frac{dU}{dt} = 1.43\times10^{-5}\ \text{W}$$

تحقّق ثانية التيار عندما يكون $t = 2.50\ \text{s}$ هو

$$i(2.50\ \text{s}) = \left(\frac{12.0\ \text{V}}{2.50\ \text{M}\Omega}\right)e^{-(2.50\ \text{s})/(3.125\ \text{s})} = 2.16\times10^{-6}\ \text{A}.$$

معدل تبدد الطاقة في المقاوم في هذا الزمن هو

$$P = \frac{dU}{dt} = i^2R = \left(2.16\times10^{-6}\ \text{A}\right)^2\left(2.50\times10^{6}\,\Omega\right) = 1.16\times10^{-5}\ \text{W}$$

يُوضح المعدل الذي تنقل به البطارية الطاقة إلى الدائرة في هذا الزمن بواسطة

$$P = \frac{dU}{dt} = iV_{\text{emf}} = \left(2.16\times10^{-6}\ \text{A}\right)(12.0\ \text{V}) = 2.59\times10^{-5}\ \text{W}$$

ينص قانون حفظ الطاقة على أنه في أي زمن توفر البطارية الطاقة في الدائرة، تتبدد هذه الطاقة في صورة حرارة في المقاوم أو تُخزن في المكثِف. في هذه الحالة، تساوي الطاقة التي توفرها البطارية، $2.59\times10^{-5}\ \text{W}$، الطاقة المتبددة في صورة حرارة في المقاوم، $1.16\times10^{-5}\ \text{W}$، زائد معدل تخزين الطاقة في المكثِف، $1.43\times10^{-5}\ \text{W}$. لذا تُعد إجابتنا متسقة.

ما تعلمناه | دليل المذاكرة للاختبار

- فيما يلي قانونا كيرشوف لتحليل الدوائر الكهربائية:
  - قانون كيرشوف للتيار: يجب أن يكون مجموع التيارات الداخلة إلى وصلة مساويًا لمجموع التيارات الخارجة من الوصلة نفسها.
  - قانون كيرشوف للجهد: يجب أن يساوي مجموع فرق الجهد حول حلقة كاملة صفرًا.
- عند تطبيق قانون كيرشوف للجهد، تُحدَّد إشارة تغير الجهد لكل عنصر من عناصر الدائرة عن طريق اتجاه التيار واتجاه التحليل. والفروض هي
  - ينتج عن مصادر القوة الدافعة الكهربائية التي تكون في اتجاه التحليل نفسه كسبٌ في الجهد، في حين ينتج عن المصادر التي تكون في عكس اتجاه التحليل انخفاض في الجهد.
  - بالنسبة إلى المقاومات، يكون مقدار تغير الجهد هو $|iR|$، حيث i هو التيار المفترض وR هو المقاومة. وتعتمد إشارة تغير الجهد على الاتجاه (المعروف أو المفترض) للتيار فضلًا عن اتجاه التحليل. إذا كانت هذه الاتجاهات هي نفسها، فإن المقاوم ينتج انخفاضًا في الجهد. إذا كانت هذه الاتجاهات متعاكسة، فإن المقاوم ينتج ارتفاعًا في الجهد.
- تحتوي دائرة RC على مقاوم مقاومته R ومكثِف سعته C. ويُحدَّد الثابت الزمني، τ، عن طريق $\tau = RC$.
- في دائرة RC، تكون الشحنة، q، كدالة للزمن لشحن مكثِف سعته C بواسطة المعادلة $q(t) = CV_{emf}(1 - e^{-t/RC})$، حيث V_{emf} هي الجهد الذي يمده مصدر القوة الدافعة الكهربائية وR هو مقاومة المقاوم.
- في دائرة RC، تكون، q، كدالة للزمن خلال عملية تفريغ شحن مكثِف سعته C بواسطة المعادلة $q(t) = q_{max}e^{-t/RC}$، حيث q_{max} هو مقدار الشحنة على أي من لوحَي المكثِف عندما يكون $t = 0$ ، وR هو مقاومة المقاوم.

إجابات أسئلة الاختبار الذاتي

6.1 يُوصَّل المقاومان R_1 وR_u على التوالي ولديهما مقاومة مكافئة مقدارها $R_{1u} = R_1 + R_u$. يُوصَّل المقاومان R_3 وR_v على التوالي ولديهما مقاومة مكافئة مقدارها $R_{3v} = R_3 + R_v$. يُوصَّل المقاومان المكافئان R_{1u} وR_{3v} على التوازي. لذا يمكننا كتابة الصيغة التالية

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_{1u}} + \frac{1}{R_{3v}}$$

أو

$$R_{eq} = \frac{R_{1u}R_{3v}}{R_{1u} + R_{3v}} = \frac{(R_1 + R_u)(R_3 + R_v)}{R_1 + R_u + R_3 + R_v}$$

6.2 عندما تكون المصابيح الأمامية مضيئة، تمد البطارية المصابيح بكمية صغيرة جدًا من التيار، ويكون انخفاض الجهد عبر المقاومة الداخلية للبطارية صغيرًا. يُوصل محرك بادئ التشغيل بالمصابيح على التوازي. عند تعشيق محرك بادئ التشغيل، فإنه يسحب تيارًا كبيرًا، مما ينتج انخفاضًا ملحوظًا في الجهد عبر المقاومة الداخلية للبطارية، ويتسبب في تدفق تيار أقل إلى المصابيح الأمامية.

6.3

$$q = q_{max}e^{-t/RC}$$

$$\frac{q}{q_{max}} = 0.01 = e^{-t/RC} \Rightarrow \ln 0.01 = -\frac{t}{RC}$$

$$t = -RC \ln 0.01 = -(100\ \Omega)\left(1.00\times10^{-3}\ \text{F}\right)(\ln 0.01) = 0.461\ \text{s}$$

إرشادات حل المسائل

1. من المفيد دائمًا تسمية كل شيء في رسم تخطيطي لدائرة، بما في ذلك كل المعلومات المعطاة وكل القيم المجهولة، فضلًا عن التيارات، والفروع، والوصلات ذات الصلة. أعد إنشاء الرسم التخطيطي على مقياس رسم أكبر إذا كنت بحاجة إلى مساحة أكبر للوضوح.

2. تذكر أن الاتجاهات التي تختارها للدوائر وللمسار حول حلقة دائرة تكون عشوائية. إذا أصبح اختيارك خطأ، فستنتج عن ذلك قيمة سالبة للتيار.

3. راجع إشارات تغيرات الجهد المحددة في الجدول 6.1. إن التحرك في حلقة دائرة في الاتجاه نفسه الذي يسري فيه التيار المفترض يعني أن جهاز مصدر القوة الدافعة الكهربائية يُنتج تغير جهد إيجابي في الاتجاه الذي يبدأ من الطرف السالب إلى الموجب داخل الجهاز. ويعني أن قيمة تغير الجهد عبر طرفَي مقاوم تكون سالبة. تُعد أخطاء الإشارات شائعة، ومن المهم التقيد بالفروض لتجنب هذه الأخطاء.

4. يمكن لمصادر القوة الدافعة الكهربائية أو المقاومات أن تكون أجزاء من حلقتين منفصلتين. يمكنك النظر إلى كل عنصر دائرة بوصفه جزءًا من كل حلقة يوجد فيها، وذلك وفقًا لاصطلاحات الإشارات التي اعتمدتها لهذه الحلقة. يمكن لمقاوم أن يولد انخفاض جهد في حلقة وكسب جهد في حلقة أخرى.

5. من الممكن دائمًا استخدام قانونَي كيرشوف لكتابة معادلات أكثر مما تحتاج إليه لإيجاد قيمة التيارات المجهولة في أفرع دائرة. اكتب أكبر عدد ممكن من المعادلات للوصلات، ثم قم بزيادتها باستخدام المعادلات التي تمثل الحلقات. لكن ليست كل الحلقات التي تم تكوينها متساوية، لذا يجب أن تحددها بعناية. كقاعدة عامة، اختر الحلقات التي بها عناصر أقل في الدائرة.

أسئلة الاختيار من متعدد

6.1 مقاوم ومكثِف موصلان على التوالي. إذا وُصل مكثِف ثانٍ مماثل على التوالي في الدائرة نفسها، فإن الثابت الزمني للدائرة

a) سيقل. b) سيزيد. c) سيظل كما هو.

6.2 مقاوم ومكثِف موصلان على التوالي. إذا وُصل مقاوم ثانٍ مماثل على التوالي في الدّارة نفسها، فإن الثابت الزمني للدائرة

a) سيقل. b) سيزيد. c) سيظل كما هو.

6.3 دائرة تتكون من مصدر للقوة الدافعة الكهربائية، ومقاوم، ومكثِف، وجميعها موصل على التوالي. المكثِف مشحون بالكامل. ما مقدار التيار المتدفق عبره؟

a) $i = V/R$ b) صفر c) لا (a) ولا (b)

6.4 أي مما يلي سيقلل الثابت الزمني في دائرة RC؟

a) زيادة ثابت العزل الكهربائي للمكثِف

b) إضافة سلك إضافي طوله 20 m بين المكثِف والمقاوم

c) زيادة جهد البطارية

d) إضافة مقاوم إضافي موصل على التوازي مع المقاوم الأول

e) لا شيء مما سبق

6.5 ينص قانون كيرشوف للتيار على أن

a) المجموع الجبري للتيارات عند أي وصلة في دائرة يجب أن يساوي صفرًا.

b) المجموع الجبري لتغيرات الجهد حول أي حلقة مغلقة في دائرة يجب أن يساوي صفرًا.

c) التيار في دائرة مزودة بمقاوم ومكثِف يتغير أسيًّا مع الزمن.

d) التيار عند وصلة معينة يُحدَّد عن طريق ناتج ضرب المقاومة والسعة.

e) الزمن الخاص بزيادة التيار عند وصلة معينة يُحدَّد عن طريق ناتج ضرب المقاومة والسعة.

6.6 ما الفترة الزمنية التي يستغرقها المكثِف في دائرة RC، كمضاعف للثابت الزمني، τ، ليصل إلى نسبة شحن قدرها 98%؟

a) 9τ c) 90τ e) 0.98τ

b) 0.9τ d) 4τ

6.7 مكثِف C غير مشحون في البداية. عندما يكون $t = 0$، يكون المكثِف متصلًا بالبطارية من خلال مقاوم R. تزداد الطاقة المخزّنة في المكثِف، لتصل في النهاية إلى قيمة U، حيث $t \to \infty$. بعد وقت مساوٍ للثابت الزمني $\tau = RC$، تُحدَّد الطاقة المخزّنة في المكثِف عن طريق

a) U/e. c) $U(1 - 1/e)^2$.

b) U/e^2. d) $U(1 - 1/e)$.

6.8 أي مما يلي يحتوي على وحدة القوة الدافعة الكهربائية نفسها؟

a) التيار

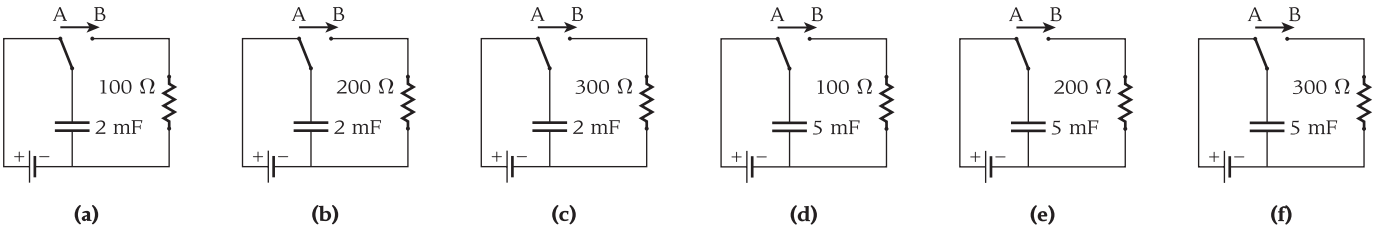
b) الجهد الكهربائي

c) المجال الكهربائي

d) الطاقة الكهربائية

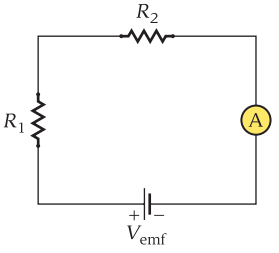
e) لا شيء مما سبق

6.9 يُشحن المكثِف الموجود في كل دائرة في الشكل أولًا ببطارية جهدها 10 V من دون مقاومة داخلية. ثم يُدار المفتاح من الوضع A إلى الوضع B، ويُفرغ شحن المكثِف عن طريق مقاومات متنوعة. ما الدائرة التي يبدد المقاوم إجمالي طاقتها بشكل أكبر؟



(a) (b) (c) (d) (e) (f)

6.10 مقاومان، $R_1 = 3.00\ \Omega$ و$R_2 = 5.00\ \Omega$، موصلان على التوالي ببطارية وأميتر، كما هو موضح في الشكل. توفر البطارية $V_{emf} = 8.00$ V. وتبلغ مقاومة الأميتر $R_A = 1.00\ \Omega$. ما قيمة التيار الذي يقيسه الأميتر؟



a) 0.500 A

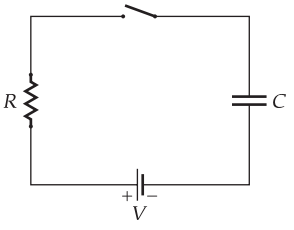
b) 0.750 A

c) 0.889 A

d) 1.00 A

e) 1.50 A

6.11 مكثِف غير مشحون سعته ($C = 14.9\ \mu$F)، ومقاوم يبلغ ($R = 24.3\ \text{k}\Omega$)، وبطارية جهدها ($V = 25.7$ V) متصلين معًا على التوالي كما هو موضح في الشكل. ما مقدار شحن المكثِف عندما يكون $t = 0.3621$ s بعد غلق المفتاح؟



a) 5.48×10^{-5} C

b) 7.94×10^{-5} C

c) 1.15×10^{-5} C

d) 1.66×10^{-4} C

e) 2.42×10^{-4} C

6.12 ينص قانون كيرشوف للجهد على أن

a) المجموع الجبري للتيارات حول حلقة دائرة كاملة يجب أن يساوي صفرًا.

b) مجموع المقاومات حول حلقة دائرة كاملة يجب أن يساوي صفرًا.

c) مجموع مصادر القوة الدافعة الكهربائية حول حلقة دائرة كاملة يجب أن يساوي صفرًا.

d) مجموع فروق الجهد حول حلقة دائرة كاملة يجب أن يكون أكبر من صفر.

e) مجموع فروق الجهد حول حلقة دائرة كاملة يجب أن يساوي صفرًا.

6.13 أي من العبارات التالية صحيحة؟

1. يجب أن تكون مقاومة الأميتر المثالي لانهائية.
2. يجب أن تكون مقاومة الأميتر المثالي صفرًا.
3. يجب أن تكون مقاومة الفولتميتر المثالي لانهائية.
4. يجب أن تكون مقاومة الفولتميتر المثالي صفرًا.

a) 1 و3

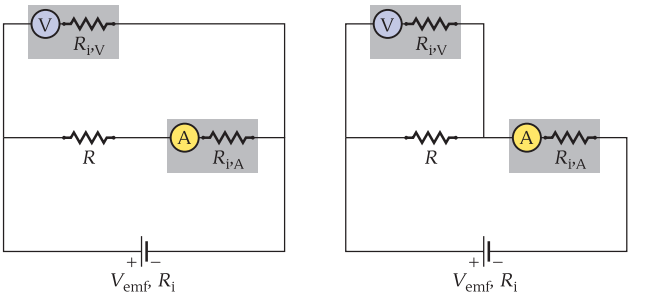
b) 2 و4

c) 2 و3

d) 1 و4

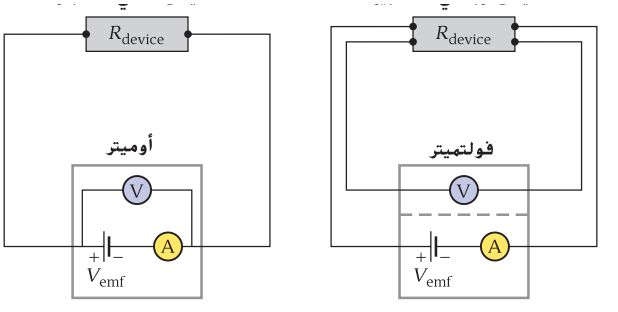
أسئلة مفاهيمية

6.14 تريد قياس فرق الجهد بين طرفَي مقاوم والتيار المار به في آن واحد، R. كما يوضح الرسمان التخطيطيان للدائرة، ثمة طريقتان لتوصيل الجهازين — الأميتر والفولتميتر — في الدائرة. علّق على نتيجة القياس باستخدام كل تكوين.



6.15 إذا استُبدل المكثِف في دائرة RC بمكثِفَين مماثلَين موصلَين على التوالي، فماذا سيحدث للثابت الزمني للدائرة؟

6.16 تريد أن تقيس بدقة مقاومة، R_{device}، جهاز جديد. يوضح الشكل طريقتين للقيام بهذا الأمر. على اليسار، يولد أوميتر تيارًا يمر في الجهاز ويقيس ذلك التيار، i. ويقيس فرق الجهد، $V\Delta$، عبر الجهاز. يضم فرق الجهد هذا انخفاض الجهد عبر الأسلاك الموصلة من الجهاز وإليه، وعبر نقاط التوصيل التي توصل الأسلاك بالجهاز. لا يمكن إهمال هذه المقاومات الإضافية دائمًا، خاصة إذا كانت مقاومة الجهاز منخفضة. تُسمى هذه الطريقة *قياس ثنائي المسبار*؛ حيث تكون أسلاك المسبارين متصلة بالجهاز. يُقاس التيار الناتج، i، بأميتر. يُحدَّد إجمالي المقاومة حينئذٍ عن طريق قسمة $V\Delta$ على i. وفقًا لهذا التكوين، ما المقاومة التي يقيسها الأوميتر؟ في التكوين البديل، الموضح على اليمين، يُستخدم مصدر تيار مماثل لتوليد التيار المار في الجهاز وقياسه، ولكن يقاس فرق الجهد، $V\Delta$، مباشرة عبر الجهاز بجهاز فولتميتر مثالي تقريبًا وذي مقاومة داخلية كبيرة للغاية. تُسمى هذه الطريقة *قياس رباعي المسابير*؛ حيث تكون أسلاك المسابير الأربعة متصلة بالجهاز. ما المقاومة التي تُقاس في هذا التكوين رباعي المسابير؟ هل هذه المقاومة مختلفة عن المقاومة التي يقيسها القياس ثنائي المسبار؟ لِمَ أو لِمَ لا؟



تلميح: يستخدم العلماء والمهندسون قياسات رباعية المسابير على نطاق واسع، وهي مفيدة بصفة خاصة لإجراء قياسات دقيقة لمقاومة المواد أو الأجهزة ذات المقاومة المنخفضة).

6.17 اشرح سبب زيادة الثابت الزمني لدائرة RC بها مقاوم R وبها مكثِف C. (الإجابة "هذا ما ينص عليه القانون" ليست كافية).

6.18 وُصِلت بطارية، ومقاوم، ومكثِف على التوالي في دائرة RC. ماذا يحدث للتيار المتدفق عبر مقاوم بعد فترة زمنية طويلة؟ اشرح مستخدمًا قانونَي كيرشوف.

6.19 كيف يمكنك إضاءة مصباح قدرته 1.0 W وفرق الجهد بين طرفيه 1.5 V باستخدام بطارية سيارتك التي جهدها 12.0 V؟

6.20 دائرة متعددة الحلقات تحتوي على عدد من المقاومات والبطاريات. إذا تضاعفت قيمة القوة الدافعة الكهربائية لكل البطاريات، فماذا سيحدث للتيارات في كل مكونات الدائرة؟

6.21 أُغلقت دائرة متعددة الحلقات تحتوي على مقاومات، ومكثِفات، وبطاريات عندما يكون $t = 0$. وكانت جميع المكثِفات غير مشحونة في ذلك الوقت. يمكن تحليل التوزيع الابتدائي للتيارات وفروق الجهد في الدائرة بمعاملة المكثِفات كما لو كانت أسلاكًا موصلة أو مفاتيح مغلقة. يمكن تحليل التوزيع النهائي للتيارات وفروق الجهد، والذي يحدث بعد مرور فترة زمنية طويلة، بمعاملة المكثِفات كما لو كانت مقاطع مفتوحة أو مفاتيح مفتوحة. اشرح لماذا تنجح هذه الحيل.

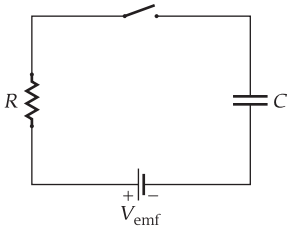
6.22 توصل أجهزة الفولتميتر دائمًا على التوازي بمكونات الدائرة، وتوصل أجهزة الأميتر على التوالي. اشرح لِمَ.

6.23 تريد قياس كل من مقدار التيار المار عبر بعض مكونات دائرة وفرق الجهد بين طرفَي هذه المكونات. ولا يمكن قياسهما في وقت واحد وبدقة باستخدام أجهزة الفولتميتر والأميتر العادية. اشرح لِمَ لا.

6.24 مصباحان ضوئيان يعملان بفرق جهد 110 V وقدرة 60 W و100 W على التوالي. أي منهما يحتوي على فتيلة مقاومتها أقل؟

6.25 شُحِن مكثِفان موصلان على التوالي عبر مقاوم. وشُحِن مكثِفان مماثلان لهما موصلان على التوالي عبر المقاوم نفسه. ما وجه المقارنة بين عدد المرات اللازمة لإتمام شحن مجموعتَي المكثِفات؟

6.26 يوضح الشكل دائرة تتكون من بطارية موصلة بمقاوم ومكثِف، فارغ تمامًا من الشحن في البداية، على التوالي وبها مفتاح.



a) ما قيمة التيار المار في الدائرة في أي زمن t؟

b) احسب إجمالي الطاقة التي تنتجها البطارية بدءًا من $t = 0$ وصولًا إلى $t = \infty$.

c) احسب إجمالي الطاقة التي يبددها المقاوم في الفترة الزمنية نفسها.

d) هل الطاقة محفوظة في هذه الدائرة؟

تمارين

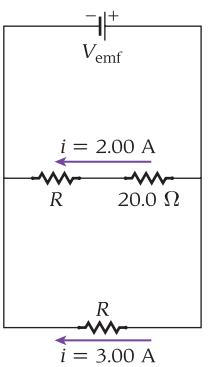
يشير رقم المسألة الأزرق إلى توفر حل في دليل حلول الطالب. وتشير علامة النقطة الواحدة • والنقطتين •• إلى زيادة مستوى صعوبة المسألة.

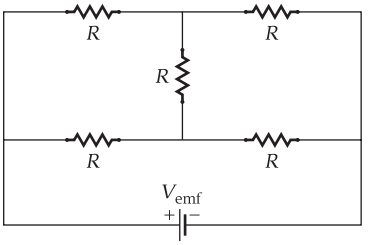
الأقسام من 6.1 إلى 6.3

6.27 مقاومان R_1 و R_2 موصلان على التوالي عبر فرق جهد ΔV_0. عبّر عن انخفاض الجهد عبر كل مقاوم على حدة، بدلالة هذه الكميات. ما أهمية هذا الترتيب؟

6.28 بطارية قوتها الدافعة الكهربائية $V_{emf} = 12.0$ V ومقاومتها الداخلية تساوي $r = 1.00\ \Omega$. ما المقاومة، R، اللازم تطبيقها بين طرفَي البطارية لتوليد قدرة مقدارها 10.0 W؟

6.29 ثلاثة مقاومات موصلة عبر طرفَي بطارية كما هو موضح في الشكل. ما قيمتا R و V_{emf} اللتان ستولدان التيارات المشار إليها؟



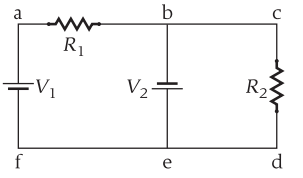


6.30• أوجد المقاومة المكافئة للدائرة الموضحة في الشكل.

6.31• تولد البطارية الفارغة لسيارتك فرق جهد مقداره 9.950 V وتبلغ مقاومتها الداخلية 1.100 Ω. قمت بشحنها عن طريق توصيلها ببطارية سيارة أخرى مشحونة باستخدام كابلات تشغيل من مصدر خارجي. تولد البطارية المشحونة فرق جهد مقداره 12.00 V وتبلغ مقاومتها الداخلية 0.01000 Ω وتبلغ مقاومة بادئ التشغيل 0.07000 Ω.

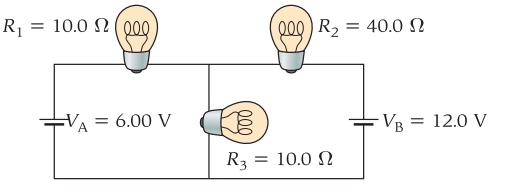
a) ارسم رسمًا تخطيطيًا للدائرة الموصلة بها بطاريتان.

b) حدد مقدار التيار في البطارية المشحونة والبطارية الفارغة وبادئ التشغيل بعد غلق الدائرة مباشرة.

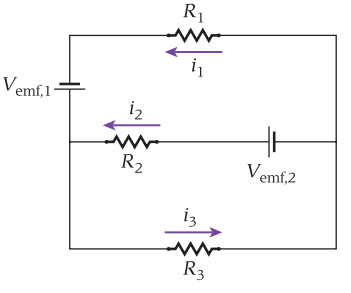


6.32• في الدائرة الموضحة في الشكل، $V_1 = 1.50$ V، و$V_2 = 2.50$ V، و$R_1 = 4.00\ \Omega$، و$R_2 = 5.00\ \Omega$. ما مقدار التيار، i_1، المتدفق عبر المقاوم R_1؟

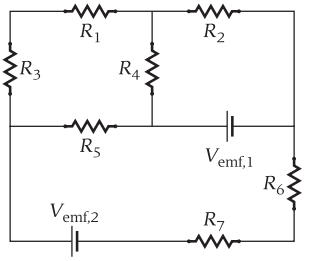
6.33• الدائرة الموضحة في الشكل تتكون من بطاريتين جهدهما V_A، وV_B، وثلاثة مصابيح ضوئية مقاومتها R_1، و R_2، و R_3. احسب مقدار التيارات i_1 وi_2 وi_3 المتدفقة عبر المصابيح الثلاثة. حدد الاتجاهات الصحيحة لتدفق التيار عبر الدائرة الموضحة في الرسم التخطيطي. احسب القدرة، P_A و P_B، التي تولدها البطارية A والبطارية B.



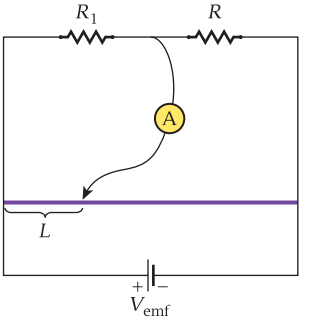
6.34• في الدائرة الموضحة في الشكل، $R_1 = 5.00\ \Omega$، و$R_2 = 10.0\ \Omega$، و$R_3 = 15.0\ \Omega$، و$V_{emf,1} = 10.0$ V، و$V_{emf,2} = 15.0$ V. باستخدام قانون كيرشوف للتيار وقانون كيرشوف للجهد، حدد مقدار التيارات i_1 وi_2 وi_3 المتدفقة عبر R_1 وR_2 وR_3 على التوالي في الاتجاه المشار إليه في الشكل.



6.35• في الدائرة الموضحة في الشكل، أوجد مقدار التيار المتدفق عبر كل مقاوم واتجاهه، والقدرة التي تولدها كل بطارية، باستخدام القيم التالية: $R_1 = 4.00\ \Omega$، و$R_2 = 6.00\ \Omega$، و$R_3 = 8.00\ \Omega$، و$R_4 = 6.00\ \Omega$، و$R_5 = 5.00\ \Omega$، و$R_6 = 10.0\ \Omega$، و$R_7 = 3.00\ \Omega$، و$V_{emf,1} = 6.00$ V، و$V_{emf,2} = 12.0$ V.

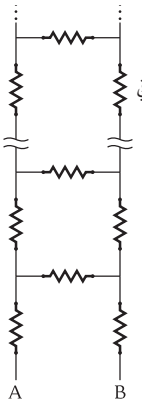


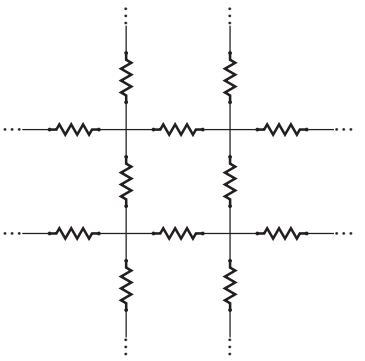
6.36• أُنشأت قنطرة ويتستون باستخدام سلك نيكروم طوله 1.00 m (الخط الأرجواني في الشكل) به نقطة توصيل يمكنها الانزلاق على طول السلك. وُضع مقاوم، $R_1 = 100.\ \Omega$، على أحد جانبي القنطرة، ومقاوم آخر، R، مجهول المقاومة على الجانب الآخر. تحركت نقطة التوصيل على طول سلك النيكروم، وكانت قراءة الأميتر صفرًا، حيث $L = 25.0$ cm. إذا عرفت أن السلك له قطاع عرضي منتظم على امتداد طوله، فحدد المقاومة المجهولة.



6.37•• أُنشئ "سلم ذو مقاومة نوعية" باستخدام مقاومات متماثلة R تمثل أرجل السلم ودرجاته، كما هو موضح في الشكل. وكان طول السلم "لانهائي"، بمعنى أنه يمتد لمسافة طويلة جدًا في اتجاه واحد. أوجد المقاومة المكافئة للسلم، المقدَّرة بين "قدميه" (النقطتان A وB) بدلالة R.

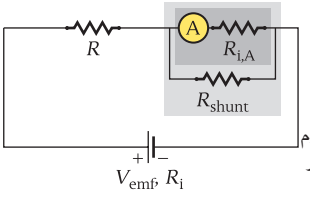
6.38•• فكِّر في شبكة مربعة ثنائية الأبعاد "لانهائية"، بمعنى أنها كبيرة جدًا، وتتكون من مقاومات متماثلة، R، كما هو موضح في الشكل. أوجد المقاومة المكافئة للشبكة، المقدَّرة عبر أي مقاوم مفرد. (*تلميح:* التماثل والتراكب مفيدان جدًا في حل هذه المسألة).



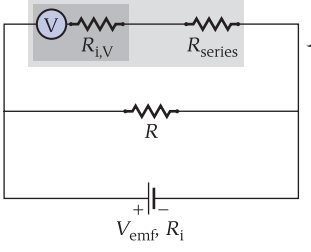


القسم 6.4

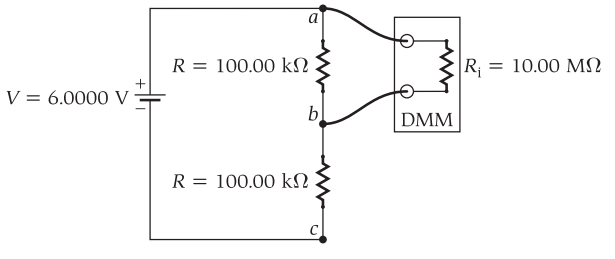
6.39 لتوسيع مدى عمل أميتر، وُصِّل مقاوم مجزئ التيار، R_{shunt}، على التوازي بالأميتر، كما هو موضح في الشكل. إذا كانت المقاومة الداخلية للأميتر هي $R_{i,A}$، فحدد مقاومة مقاوم مجزئ التيار اللازمة لتوسيع مدى عمل الأميتر بعامل مقداره N. ثم احسب مقاومة مقاوم مجزئ التيار اللازمة للسماح لأميتر مقاومته الداخلية 1.00 Ω وأقصى مدى يمكنه قياسه هو 1.00 A بقياس تيارات تصل إلى 100.A. ما الكسر الذي يمثل إجمالي التيار 100.A المتدفق عبر الأميتر، وما الكسر الذي يمثل التيار المتدفق عبر مقاوم مجزئ التيار؟



6.40 لتوسيع مدى عمل فولتميتر، وُصِّل مقاوم إضافي، R_{series}، على التوالي بالفولتميتر كما هو موضح في الشكل. إذا كانت المقاومة الداخلية للفولتميتر هي $R_{i,V}$، فحدد مقاومة المقاوم المضاف على التوالي اللازمة لتوسيع مدى عمل الفولتميتر بعامل مقداره N. ثم احسب مقاومة المقاوم المضاف على التوالي اللازمة للسماح لفولتميتر مقاومته الداخلية (10^6 Ω) 1.00 MΩ وأقصى مدى يمكنه قياسه هو 1.00 V بقياس فروق جهد تصل إلى 100. V. ما الكسر الذي يمثل إجمالي انخفاض الجهد 100.V بين طرفَي الفولتميتر، وما الكسر الذي يمثل انخفاض الجهد بين طرفَي المقاوم المضاف على التوالي؟



6.41 كما هو موضح في الشكل، بطارية جهدها 6.0000 V تستخدم لتوليد تيار عبر مقاومَين متماثلَين، R، تبلغ مقاومة كل منهما 100.00 kΩ. يُستخدم ملتيميتر رقمي (DMM) لقياس فرق الجهد بين طرفَي المقاوم الأول. عادة ما يكون مقدار المقاومة الداخلية للملتيميتر الرقمي هو 10.00 MΩ. حدد فرقَي الجهد V_{ab}



(فرق الجهد بين النقطتين a وb هو فرق الجهد الذي يقيسه الملتيميتر الرقمي) V_{bc} (فرق الجهد بين النقطتين b وc هو فرق الجهد بين طرفَي المقاوم الثاني). اسميًّا، يُعد $V_{ab} = V_{bc}$، ولكن قد لا يكون هذا صحيحًا في هذه الحالة. كيف يمكن تعليل خطأ القياس هذا؟

6.42 تريد أن تصنع أوميتر لقياس مقاومة المقاومات المجهولة. ولديك بطارية جهدها $V_{emf} = 9.00\ V$، ومقاوم متغير، R، وأميتر يقيس التيار على مقياس خطي من 0 إلى 10.0 mA.

a) ما مقدار المقاومة اللازمة للمقاوم المتغير بحيث يعطي الأميتر قراءة التدريجات بالكامل (أعلى قراءة) عند حدوث قصر في الأوميتر؟

b) باستخدام المقاومة الموضحة في الجزء (a)، ما مقدار المقاومة المجهولة إذا قرأ الأميتر $\frac{1}{4}$ تدريجاته؟

6.43 • دائرة كهربائية تتكون من مقاومَين، تبلغ مقاومة كل منهما 1.00 kΩ، موصلَين على التوالي ببطارية مثالية جهدها 12.0 V.

a) احسب قيمة التيار المتدفق عبر كل مقاوم.

b) طالب يحاول قياس قيمة التيار المتدفق عبر أحد المقاومات، وقام بتوصيل أميتر من دون قصد بهذا المقاوم على التوازي بدلًا من توصيله به على التوالي. ما مقدار التيار الذي سيتدفق عبر الأميتر، بافتراض أن مقاومته الداخلية هي 1.00 Ω؟

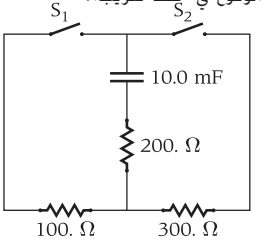
6.44 • دائرة كهربائية تتكون من مقاومَين، مقاومة كل منهما تساوي 100.kΩ، موصلَين على التوالي ببطارية مثالية جهدها 12.0 V.

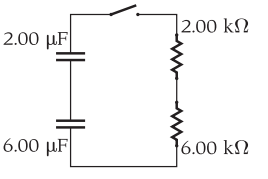
a) احسب انخفاض الجهد عبر طرفَي أحد المقاومَين.

b) فولتميتر مقاومته الداخلية هي 10.0 MΩ موصل على التوازي بأحد المقاومَين لقياس انفاض الجهد عبر طرفَي هذا المقاوم. ما النسبة المئوية التي ستحيد قراء الفولتميتر عنها مقارنة بالقيمة التي حددتها في الجزء (a)؟ (*تلميح:* الاختلاف صغير نوعًا ما لذا من المفيد حل المسألة جبريًا أولًا لتجنب الوقوع في خطأ تقريب).

القسم 6.5

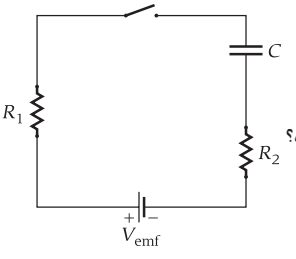
6.45 في البداية، يُفتح المفتاحان S_1 وS_2 في الدائرة الموضحة في الشكل، ويكون معدل شحن المكثف هو 100. mC. ما المدة الزمنية التقريبية التي سيستغرقها شحن المكثف ليهبط إلى 5.00 mC بعد غلق المفتاح S_1؟





6.46 ما الثابت الزمني الذي سيستغرقه تفريغ شحن المكثف الموجود في الدائرة الموضحة في الشكل؟ إذا كان فرق الجهد بين لوحَي مكثف سعته 2.00 μF يساوي 10.0 V، فكم سيتبقى من شحنه بعد غلق المفتاح لمدة زمنية تعادل نصف الثابت الزمني؟

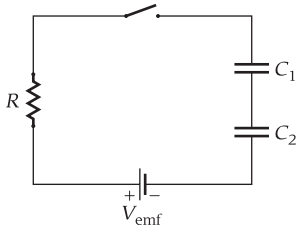
6.47 الدائرة الموضحة في الشكل بها مفتاح S ومقاومان $R_1 = 1.00\ \Omega$ و$R_2 = 2.00\ \Omega$، وبطارية جهدها 12.0 V ومكثف سعته $C = 20.0\ \mu F$. بعد غلق المفتاح، كم سيبلغ أقصى معدل لشحن المكثف؟ ما المدة الزمنية التي يحتاج إليها المكثف بعد غلق المفتاح ليتبقى 50.0% من أقصى معدل شحن له؟



6.48 في فيلم *العودة إلى المستقبل*، كان السفر عبر الزمن ممكنًا عن طريق مكثف تدفق يولد قدرة قيمتها 1.21 GW. بافتراض أنه يمكن شحن مكثف سعته 1.00 F إلى أقصى سعة له باستخدام بطارية سيارة جهدها 12.0 V، ويمكن تفريغ شحنه باستخدام مقاوم، ما مقدار المقاومة اللازمة لتبديد أعلى خرج لقدرة تبلغ 1.21 GW في المقاوم؟ ما المدة الزمنية التي تستغرقها بطارية سيارة جهدها 12.0 V لشحن المكثف بنسبة 90.0% من سعته القصوى باستخدام هذا المقاوم؟

6.49 أثناء عرض توضيحي خاص بالفيزياء، فُرِغ مكثف كامل الشحن سعته 90.0 μF باستخدام مقاوم 60.0 Ω. ما المدة الزمنية التي سيستغرقها المكثف ليفقد 80.0% من طاقته الابتدائية؟

6.50 • مكثفان ذوا ألواح متوازية، C_1 وC_2، وموصلان على التوالي ببطارية جهدها 60.0 V ومقاوم 300.kΩ. كما هو موضح في الشكل. تبلغ مساحة الألواح في كلا المكثفَين 2.00 cm^2 والمسافة الفاصلة بين كل لوح والآخر هي 0.100 mm. يشغل الهواء المسافة الفاصلة بين لوحَي المكثف C_1، بينما تشغل الفجوة بين لوحَي المكثف C_2 قطعة من البورسلين (ثابت عزل كهربائي مقداره 7.00، وشدة عزل كهربائي مقدارها 5.70 kV/mm). أُغلق المفتاح ومرت فترة زمنية طويلة.



a) ما معدل شحن المكثف C_1؟

b) ما معدل شحن المكثف C_2؟

c) ما إجمالي كمية الطاقة المخزنة في كلا المكثفَين؟

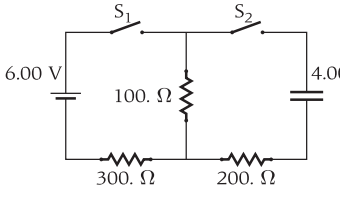
d) ما قيمة المجال الكهربائي الموجود داخل المكثف C_2؟

6.51 • المسافة الفاصلة بين لوحين متوازيين لمكثف سعته $C = 0.0500\ \mu F$ تساوي $d = 50.0\ \mu m$. وثابت العزل الكهربائي الذي يشغل المسافة بين اللوحين يساوي $\kappa = 2.50$ ومقاومته النوعية هي $r = 4.00 \times 10^{12}\ \Omega\ m$. ما الثابت الزمني لهذا المكثف؟ (*تلميح:* احسب أولًا مساحة اللوحين بمعلومية قيم C وκ، ثم حدد مقاومة العزل الكهربائي بين اللوحين).

6.52 • بطارية جهدها 12.0 V موصلة بمكثف سعته 2.00 mF ومقاوم يبلغ 100. Ω. عند اكتمال شحن المكثف، كم ستكون كمية الطاقة المخزنة داخله؟ كم تبلغ كمية الطاقة التي يبددها المقاوم في صورة حرارة أثناء شحن المكثف؟

6.53 • مجموعة مكثفات مصممة لتفريغ 5.00 J من طاقة شحنها من خلال مصفوفة مقاومات 10.0 kΩ في أقل من 2.00 ms. ما مقدار فرق الجهد الذي يجب أن تُشحن مجموعة المكثفات به، وما مقدار السعة التي يجب أن تتوافر لهذه المجموعة؟

6.54 • الدائرة الموضحة في الشكل تحتوي على مكثف موصل ببطارية ومفتاحين وثلاثة مقاومات. في البداية، يكون المكثف غير مشحون ويُفتح كلا المفتاحين.



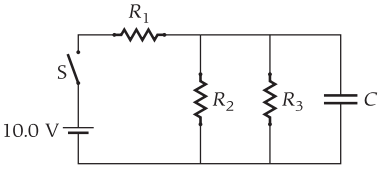
a) أُغلق المفتاح S_1. ما قيمة التيار الذي يتدفق خارجًا من البطارية فور غلق المفتاح S_1؟

b) بعد حوالي 10.0 min، أُغلق المفتاح S_2. ما قيمة التيار الذي يتدفق خارجًا من البطارية فور غلق المفتاح S_2؟

c) ما قيمة التيار الذي يتدفق خارجًا من البطارية بعد غلق المفتاح S_2 بحوالي 10.0 min؟

d) بعد مرور 10.0 min أخرى، فُتح المفتاح S_1. كم من الزمن سيستغرق وصول التيار المتدفق في مقاوم 200. Ω إلى أقل من 1.00 mA؟

6.55 • في الدائرة الموضحة في الشكل، $R_1 = 10.0\ \Omega$ و$R_2 = 4.00\ \Omega$ و$R_3 = 10.0\ \Omega$. وسعة المكثف هي $C = 2.00\ \mu F$.

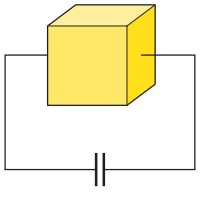


a) حدد فرق الجهد، ΔV_C، بين طرفَي المكثف بعد غلق المفتاح S بفترة زمنية طويلة.

b) حدد الطاقة المخزنة داخل المكثف عند غلق المفتاح S لفترة زمنية طويلة.

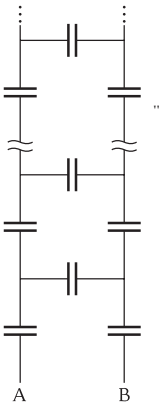
c) بعد فتح المفتاح S، كم مقدار الطاقة التي يبددها المقاوم R_3؟

6.56 •• مكعب ذهبي طول ضلعه 2.50 mm موصل بطرفَي مكثف سعته 15.0 μF وفرق الجهد بين لوحيه يساوي 100.0 V في البداية.



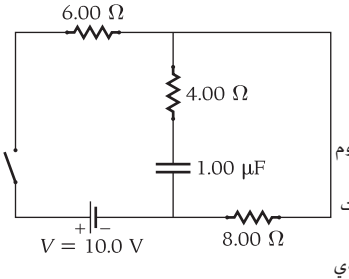
a) ما الوقت اللازم لتفريغ شحن المكثف بالكامل؟

b) عند تفريغ شحن المكثف بالكامل، كم ستكون درجة حرارة المكعب الذهبي؟



6.57 •• "سلم مواسعي" أُنشئ باستخدام مكثفات متماثلة، C. تمثل أرجل السلم ودرجاته، كما هو موضح في الشكل. وكان طول السلم "لانهائي"، بمعنى أنه يمتد لمسافة طويلة جدًا في اتجاه واحد. احسب السعة المكافئة للسلم، المقدّرة بين "قدميه" (النقطتان A وB) بدلالة C.

تمارين إضافية



6.58 في الدائرة الموضحة في الشكل، تُعد المكثفات فارغة تمامًا من الشحن. أُغلق المفتاح ومرت فترة زمنية طويلة.

a) احسب مقدار التيار المتدفق عبر المقاوم 4.00 Ω.

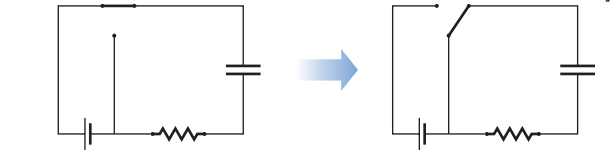
b) أوجد فرق الجهد المتكون عبر المقاومات 4.00 Ω و6.00 Ω و8.00 Ω.

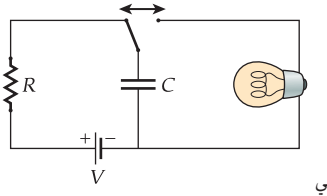
c) أوجد فرق الجهد بين طرفَي المكثف الذي سعته 1.00 μF.

6.59 المقاومة الداخلية للأميتر الذي يستخدمه معلم الفيزياء في العروض التوضيحية في صفك هي $R_i = 75.0\ \Omega$ وأقصى قيمة للتيار يمكنه قياسها هي 1.50 mA. يمكن أن يقيس الأميتر نفسه تيارات مقدارها أكبر بكثير عن طريق توصيل مقاوم مجزئ للتيار ذي مقاومة صغيرة نسبيًا R_{shunt}، على التوازي بالأميتر.

(a) ارسم الرسم التخطيطي للدائرة، واشرح لماذا يسمح مقاوم مجزئ التيار الموصل على التوازي بالأميتر بقياس مقادير أكبر من التيار. (b) احسب المقاومة التي تلزم مقاوم مجزئ التيار للسماح للأميتر بقياس أقصى قيمة للتيار مقدارها 15.0 A.

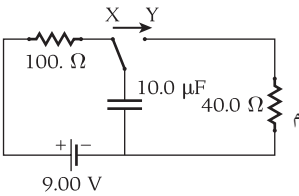
6.60 يمكن أن يكون العديد من الأجهزة الإلكترونية خطرة حتى بعد إغلاقها. فكّر في دائرة RC تحتوي على مكثف سعته 150. μF ومقاوم يبلغ 1.00 MΩ موصلين بمصدر طاقة جهده 200 V لفترة زمنية طويلة، ثم قُطع التوصيل وحدث قصر للدائرة كما هو موضح في الشكل. كم من الزمن سيستغرق انخفض فرق الجهد بين طرفَي المكثف إلى أقل من 50.0 V؟





6.61 صمم دائرة كالموضحة في الشكل لتشغيل مصباح ضوء منتظم. يفرغ المكثف طاقته من خلال فتيلة مصباح الضوء (مقاومتها 2.50 kΩ) في زمن قدره 0.200 ms. ويستمد شحنه من خلال مقاوم R عن طريق تكرار دورة ترددها 1.00 kHz. ما المكثف والمقاوم اللذان ينبغي استخدامهما؟

6.62 أميتر مقاومته الداخلية 53.0 Ω يقيس تيارًا قيمته 5.25 mA في دائرة تحتوي على بطارية ومقاومتها الكلية هي 1130. Ω. إن إدخال الأميتر في أحد فروع الدائرة، يغير من مقاومتها، ولذلك لا يعطي القياس القيمة الفعلية للتيار المتدفق في الدائرة دون استخدام الأميتر. حدد القيمة الفعلية للتيار.



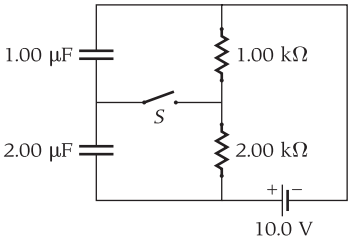
6.63 • في الدائرة الموضحة في الشكل، تشحن بطارية جهدها 9.00 V مكثفًا سعته 10.0 μF أثناء وجود المفتاح ثنائي الاتجاه في الوضع X لفترة زمنية طويلة. ثم يُغير وضع المفتاح فجأة إلى الوضع Y. ما قيمة التيار المتدفق عبر مقاوم يبلغ 40.0 Ω

a) فور تحريك المفتاح إلى الوضع Y؟

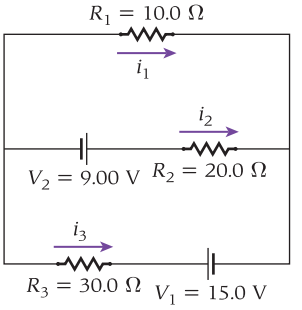
b) بعد مرور 1.00 ms على تحريك المفتاح إلى الوضع Y؟

6.64 • كم من الزمن سيستغرق انخفاض قيمة التيار المتدفق في دائرة من قيمته الابتدائية إلى 1.50 mA. إذا كانت الدائرة تحتوي على مكثفين سعتهما 3.80 μF وفارغين من الشحن في البداية، ومقاومين يبلغان 2.20 kΩ، وبطارية جهدها 12.0 V. كلها موصلة على التوالي؟

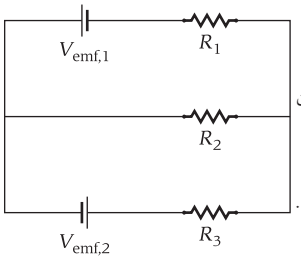
6.65 دائرة RC لها ثابت زمني مقداره 3.10 s. وعندما يكون $t = 0$، تبدأ عملية شحن المكثف. في أي وقت ستبلغ كمية الطاقة المخزنة في المكثف نصف قيمتها القصوى؟



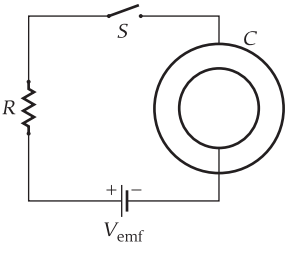
6.66 • في الدائرة الموضحة في الشكل، حدد معدل شحن كل مكثف عندما (a) يُغلق المفتاح S لفترة زمنية طويلة و(b) يُفتح المفتاح S لفترة زمنية طويلة.



6.67 • ثلاثة مقاومات، $R_1 = 10.0\ \Omega$، $R_2 = 20.0\ \Omega$ و$R_3 = 30.0\ \Omega$، متصلة في دائرة متعددة الحلقات، كما هو موضح في الشكل. حدد كمية الطاقة المتبددة في المقاومات الثلاثة.



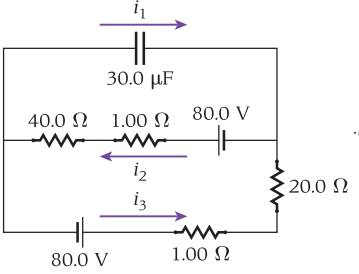
6.68 • يوضح الشكل دائرة تحتوي على بطاريتين وثلاثة مقاومات. تولد كلتا البطاريتين قوة مقدارها $V_{emf,1} = 12.0$ V و$V_{emf,2} = 16.0$ V، وليست لهما مقاومة داخلية. تبلغ مقاومة هذه المقاومات $R_1 = 30.0\ \Omega$، $R_2 = 40.0\ \Omega$، و$R_3 = 20.0\ \Omega$. أوجد مقدار انخفاض الجهد بين طرفَي المقاوم R_2.



6.69 يوضح الشكل مكثفًا كرويًا. نصف قطر الكرة الداخلية $a = 1.00$ cm، ونصف قطر الكرة الخارجية $b = 1.10$ cm. تولد البطارية جهدًا مقداره $V_{emf} = 10.0$ V. وتبلغ قيمة المقاوم $R = 10.0$ MΩ.

a) حدد الثابت الزمني للدائرة RC.

b) حدد كمية الشحن المتراكم في المكثف بعد مرور 0.1 ms على غلق المفتاح S.



6.70 • اكتب مجموعة المعادلات التي تحدد قيمة التيارات الثلاثة المتدفقة في الدائرة الموضحة في الشكل. (افترض أن المكثف فارغ الشحن منذ البداية).

6.71 • فكر في دائرة RC موصلة على التوالي بها مقاوم يبلغ $R = 10.0\ \Omega$، ومكثف سعته $C = 10.0\ \mu$F، وبطارية جهدها $V = 10.0$ V.

a) ما مقدار الزمن، معبرًا عنه بضعف الثابت الزمني، الذي يستغرقه المكثف ليُشحن إلى نصف قيمته القصوى؟

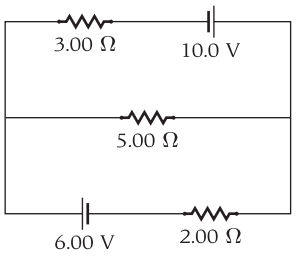
b) في هذا الزمن، كم ستكون نسبة الطاقة المخزنة في المكثف إلى قيمة الشحن القصوى الممكنة؟

c) الآن افترض أن المكثف مشحون بالكامل. عندما يكون $t = 0$، تكون الدائرة الأصلية مفتوحة ويُسمح للمكثف بتفريغ شحنه من خلال مقاوم آخر، $R' = 1.00\ \Omega$، موصل بين طرفَي المكثف. ما الثابت الزمني لتفريغ شحن المكثف؟

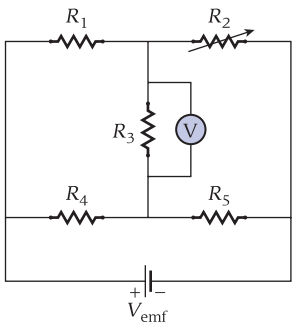
d) كم ثانية يستغرقها المكثف لتفريغ نصف القيمة القصوى لشحنه المخزن، Q؟

6.72 • a) ما قيمة التيار المتدفق في المقاوم $5.00\ \Omega$ في الدائرة الموضحة في الشكل؟

b) ما كمية الطاقة المتبددة في المقاوم $5.00\ \Omega$؟



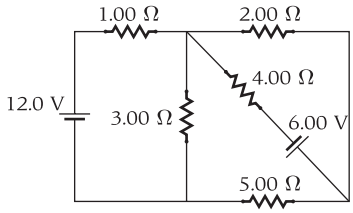
6.73 • في قنطرة ويتستون الموضحة في الشكل، المقاومات المعلومة هي $R_1 = 8.00\ \Omega$، و$R_4 = 2.00\ \Omega$، و$R_5 = 6.00\ \Omega$، وتولد البطارية جهدًا مقداره $V_{emf} = 15.0$ V. وتُضبط المقاومة المتغيرة R_2 بحيث يساوي فرق الجهد بين طرفَي المقاوم R_3 صفرًا ($V = 0$). أوجد i_2 (التيار المتدفق في المقاوم R_2) في هذا الوقت.



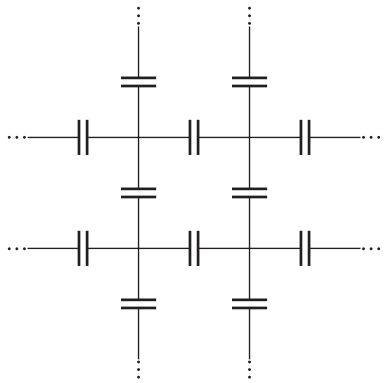
6.74 •• فكّر في الدائرة التي تحتوي على خمسة مقاومات وبطاريتين (ليس لهما مقاومة داخلية) والموضحة في الشكل.

a) اكتب مجموعة معادلات ستسمح لك بإيجاد قيمة التيار المتدفق في كل مقاوم.

b) حُل المعادلات الموجودة في الجزء (a) لإيجاد قيمة التيار المتدفق في المقاوم $4.00\ \Omega$.



6.75 •• فكّر في شبكة مربعة ثنائية الأبعاد "لانهائية"، بمعنى أنها كبيرة جدًا، وتتكون من مكثفات متماثلة، C، كما هو موضح في الشكل. أوجد السعة الفعالة لشبكة المكثفات، المقدَّرة بين طرفَي أي مكثف مفرد.



تمارين بمعطيات متعددة

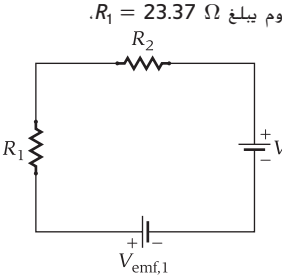
6.76 بطارية جهدها 11.45 V ومقاومتها الداخلية $R_i = 0.1373\ \Omega$ من المفترض أن تشحن باستخدام شاحن بطارية قادر على أن ينقل تيار $i = 9.759$ A. ما أدنى قيمة للقوة الدافعة الكهربائية يجب أن يوفرها الشاحن لشحن البطارية؟

6.77 بطارية مقاومتها الداخلية $R_i = 0.1415\ \Omega$ تُشحن باستخدام شاحن بطارية ينقل تيار قيمته $i = 5.399$ A. ويولد الشاحن قوة دافعة كهربائية قيمتها 14.51 V. ما قيمة فرق الجهد بين طرفَي البطارية؟

6.78 بطارية جهدها 16.05 V. ومقاومتها الداخلية R_i تُشحن باستخدام شاحن بطارية قادر على أن ينقل تيار قيمته $i = 6.041$ A. ويولد الشاحن قوة دافعة كهربائية قيمتها 16.93 V. ما قيمة المقاومة الداخلية، R_i، للبطارية؟

6.79 للدائرة أحادية الحلقة الموضحة في الشكل قوة كهربائية مقدارها $V_{emf,1} = 21.01$ V و$V_{emf,2} = 10.75$ V، ومقاوم يبلغ $R_1 = 23.37\ \Omega$، ومقاوم يبلغ $R_2 = 11.61\ \Omega$. ما مقدار التيار المتدفق في الدائرة؟

6.80 للدائرة أحادية الحلقة الموضحة في الشكل قوة كهربائية مقدارها $V_{emf,1} = 16.37$ V و$V_{emf,2} = 10.81$ V، ومقاوم يبلغ $R_1 = 24.65\ \Omega$. مقدار التيار المتدفق في الدائرة هو 0.1600 A. ما مقدار المقاومة R_2؟



6.81 للدائرة أحادية الحلقة الموضحة في الشكل قوة كهربائية مقدارها $V_{emf,1} = 17.75$ V، ومقاوم يبلغ $R_1 = 25.95\ \Omega$ ومقاوم يبلغ $R_2 = 13.59\ \Omega$. مقدار التيار المتدفق في الدائرة هو 0.1740 A. ما قيمة القوة الدافعة الكهربائية $V_{emf,2}$؟

6.82 مكثف سعته 15.19 mF مشحون بالكامل بواسطة بطارية تولد قوة دافعة كهربائية مقدارها $V_{emf} = 131.1$ V. فُصلت البطارية، ووُصل مقاوم يبلغ $616.5\ \Omega$ بين طرفَي المكثف. ما قيمة التيار الذي سيسري خلال المقاوم بعد مرور 3.871 s؟

6.83 مكثف مشحون بالكامل بواسطة بطارية تولد قوة كهربائية مقدارها $V_{emf} = 133.1$ V. فُصلت البطارية، ووُصل مقاوم يبلغ $655.1\ \Omega$ بين طرفَي المكثف. قيمة التيار المتدفق عبر المقاوم بعد مرور 1.743 s يساوي 0.1745 A. ما سعة المكثف؟

6.84 مكثف سعته 19.79 mF مشحون بالكامل بواسطة بطارية. فصلت البطارية، ووُصل مقاوم يبلغ $693.5\ \Omega$ بين طرفَي المكثف. قيمة التيار المتدفق عبر المقاوم بعد مرور 6.615 s يساوي 0.1203 A. ما قيمة القوة الدافعة الكهربائية التي تولدها البطارية؟

هذا الملف مقدم بواسطة



مكتبة الفكر

مكتبة شاملة لكل ما يحتاجه الطالب من ملفات وكتب في دراسته ومطالعته.

متابعة