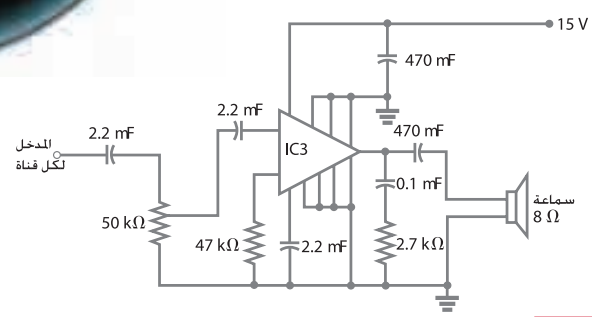
تحتوي هذه المسجّلة المحمولة (Mp3-CD) على دارات تيار مستمر (*dc*)، على الأقلّ بشكل جزئي (الإشارة السمعية فيه ac). ويبين المخطط أدناه دائرة مضخم يمكن استعماله في كلّ نظام صوتي. وعلى الرغم من أنّ المثلث الكبير هو رقاقة مضخم تحتوي على ترانزستورات (سوف نناقشها في الفصل 29)، إلا أنّ عناصر الدارة الأخرى مألوفة لنا. وسندرس المقاومات والمكثفات في هذا الفصل ضمن الدارات الكهربائية. كما سندرس أيضًا الفولتميتر والأميتر، وكيفية تركيبهما واستعمالهما في عمل القياس.



الفصل 19

دارات DC

تُعدّ الدارات الكهربائية أجزاء أساسية في الأجهزة الإلكترونية جميعها؛ من المذياع والتلفاز، إلى الحاسوب والسيارة. إنّ القياسات العملية بدءًا من الفيزياء إلى الأحياء والطبّ تستعمل فيها دارات كهربائية. لقد درسنا في (الفصل 18) المبادئ الأساسية للتيار الكهربائي. وسنطبق الآن هذه المبادئ في تحليل دارات *dc* تشتمل على بطاريات، ومقاومات، ومواسعات. وسندرس أيضًا عمل بعض أجهزة القياس المفيدة.*

عندما نرسم مخطّطًا لدارة ما، فإنّ البطاريات والمكثفات والمقاومات تمثل بالرموز الموضحة في (الجدول 19-1). أمّا أسلاك التوصيل التي مقاومتها مهملة مقارنة مع باقي المقاومات التي في الدارة، فتمثل ببساطة بخطوط مستقيمة. توضح بعض المخططات لدارة ما رمز التأريض هكذا (V أو، والذي قد يعني توصيلًا حقيقيًّا مع الأرض، ربّما من خلال أنبوب معدني، أو أنّه يعني ببساطة توصيلًا مشتركًا، مثل هيكل السيارة.

في أغلب هذا الفصل، ما عدا (البند 19-6) الذي يتعلق بدارات *RC*، سنهتم بالدارات التي تعمل في حالة الاستقرار. أي أنّنا لن ننظر إلى الدارة عند اللحظة التي يحدث فيها تغير، مثل عند وصل أو فصل مقاومة أو بطارية، ولكن بعد زمن قليل عندما تصل التيارات إلى قيمتها الثابتة.

الجدول 19- 1 رموز عناصر الدارة

الجهاز	الرمز
بطارية	±
مواسع	⊣⊢ أو ƒ
مقاومة	⏦
سلك مقاومته مهملة	———
مفتاح	⎯⎯
تأريض	⏚ أو ⏚

19-1 EMF والجهد الطرفي

تعريف *EMF*

إذا أردنا الحصول على تيار في دارة كهربائية؛ فسنحتاج إلى جهاز مثل بطارية أو مولد كهربائي لتحويل أحد أشكال الطاقة (على سبيل المثال الكيماوية، أو الميكانيكية، أو الضوئية) إلى طاقة كهربائية. ولهذا الجهاز **قوة دافعة كهربائية** أو emf (مصطلح **"القوة الدافعة الكهربائية"** وهو اسم مغلوط لأنه لا يشير إلى قوة تقاس بوحدة النيوتن. لذلك حتى لا يحدث التباس، فإننا نفضل استعمال الاختصار emf.) يسمى الفرق في الجهد بين طرفي مثل هذا المصدر، عندما لا يتدفق تيار كهربائي لدارة خارجية- emf لذلك المصدر. وفي العادة، يستعمل الرمز $\mathscr{E}$ للإشارة إلى emf (تجنب الخلط بين هذا الرمز ورمز المجال الكهربائي E) ووحدة قياسه هي الفولت.

* دارات *ac* والتي تحتوي فقط على مصدر الجهد ومقاومات يمكن تحليلها مثل دارات *dc* في هذا الفصل، لكن دارات *ac* التي تحتوي على مكثفات وعناصر اخرى تكون أكثر تعقيدًا، وسوف نناقشها في (الفصل 21) .

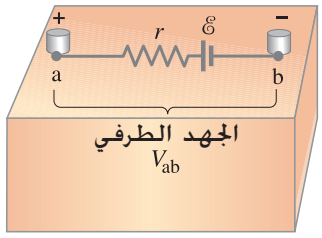
إنّ البطارية ليست مصدرًا لتيار ثابت؛ حيث يختلف التيار الذي يخرج من البطارية حسب المقاومة التي في الدارة. وعلى أيّ حال، نستطيع القول إنّ البطارية مصدر لجهد ثابت تقريبًا. ولكن ليس ثابتًا تمامًا، كما سنرى الآن. ربما لاحظت من خلال تجربتك أنه عندما يُسحب تيار من بطارية، فإنّ فرق الجهد (الفولتية) بين طرفيها يقلّ عن emf المحددة لها. فعلى سبيل المثال، إذا شغلت محرك سيارة، وكانت المصابيح الأمامية مضاءة، فربما لاحظت أنّ هذه المصابيح تكون خافتة. يحدث ذلك لأنّ تشغيل السيارة يسحب تيارًا كبيرًا، ونتيجة لذلك تهبط فولتية البطارية؛ لأنّ التفاعلات الكيميائية في البطارية لا يمكنها تزويد الشحنة بسرعة كافية للحصول على القيمة الكاملة لِـ emf. ويعزى هذا إلى أنّ الشحنة يجب أن تتحرك (خلال المحلول الكهربائي- الكهروليت) بين قطبي البطارية، وهناك دائمًا ممانعة لحدوث تدفق حرّ بشكل تام. لذلك، فإنّ البطارية لها مقاومة تسمى **المقاومة الداخلية**، ويرمز إليها عادة بالرمز r. يمكن تصور البطارية الحقيقية على أنها $\mathscr{E}$ (emf) تامة موصولة على التوالي مع مقاومة r كما في (الشكل19-1). وبما أنّ هذه المقاومة r موجودة داخل البطارية، فلا يمكن أن نفصلها عن البطارية. تمثل النقطتان a، و b في المخطط طرفي البطارية. وما نقوم بقياسه هو **الجهد الطرفي** $V_{ab} = V_a - V_b$. عندما لا يسحب أيّ تيار من البطارية، فإنّ الجهد الطرفي يساوي emf، والتي تحدد بواسطة التفاعلات الكيميائية في البطارية $V_{ab} = \mathscr{E}$. عندما يتدفق تيار I بشكل طبيعي من البطارية، يكون هناك هبوط في الجهد بمقدار يساوي Ir. لذا، فإنّ الجهد الطرفي (الجهد الحقيقي) يساوي*

$$V_{ab} = \mathscr{E} - Ir \qquad \textbf{(1-19)}$$

على سبيل المثال، إذا كان لبطارية 12 V مقاومة داخلية 0.1 Ω، وتدفق منها تيار شدته 10 A، فإنّ الجهد الطرفي يساوي 11 V = (10A) (0.1 Ω)- 12 V. تكون المقاومة الداخلية للبطارية عادة صغيرة. فبطارية مصباح الجيب المألوفة عندما تكون جديدة، قد تكون لها مقاومة داخلية تصل إلى 0.05 Ω. (على أيّ حال، يجف المحلول الكهربائي (الكهروليت) مع مرور الزمن، وتزداد مقاومتها الداخلية إلى عدد من الأوم) إنّ المقاومة الداخلية لبطارية السيارة أقلّ من ذلك.

تنويه:

لماذا لا يكون جهد البطارية ثابتًا تمامًا.



الشكل 19-1 مخطط لخلية كهربائية أو بطارية

الجهد الطرفي

المثال 19-1 بطارية لها مقاومة داخلية

وصلت مقاومة 65.0 Ω إلى طرفي بطارية قوتها الدافعة الكهربائية (12.0 V) emf ومقاومتها الداخلية 0.5 Ω، (الشكل 19-2). احسب: (أ) التيار الذي يمر في الدارة. (ب) الجهد الطرفي للبطارية V_{ab}. (جـ) القدرة المستنفدة في المقاومة الداخلية r للبطارية.

النّهج: نعتبر أولًا البطارية ككل، (المبينة في الشكل19-2)، على أنّها ($\mathscr{E}$) emf ومقاومة داخلية r بين النقطتين a، و b. ثم نطبق العلاقة $V = IR$ على الدارة نفسها.

الحلّ: (أ) من (المعادلة 19-1) .

$$V_{ab} = \mathscr{E} - Ir$$

نطبق قانون أوم (المعادلة 18-2) على البطارية والمقاومة R التي للدارة: $V_{ab} = IR$. وعليه، يكون R التي للدارة: $\mathscr{E} = I(R + r)$. و عليه يكون $IR = \mathscr{E} - Ir$

لذا، فإنّ:

$$I = \frac{\mathscr{E}}{R + r} = \frac{12.0\ \text{V}}{65.0\ \Omega + 0.5\ \Omega} = \frac{12.0\ \text{V}}{65.5\ \Omega} = 0.183\ \text{A}$$

(ب) الجهد الطرفي يساوي

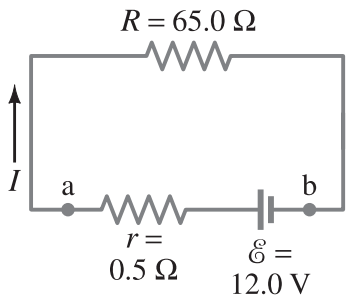
$$V_{ab} = \mathscr{E} - Ir = 12.0\ \text{V} - (0.183\ \text{A})(0.5\ \Omega) = 11.9\ \text{V}$$

(ج) القدرة المستنفدة (المعادلة 18-6) في R تساوي

$$P_R = I^2R = (0.183\ \text{A})^2(65.0\ \Omega) = 2.18\ \text{W}$$

وفي المقاومة r

$$P_r = I^2r = (0.183\ \text{A})^2(0.5\ \Omega) = 0.02\ \text{W}$$



الشكل 19- 2 (المثال 19- 1)

التمرين أ أعد حلّ (المثال 19 - 1) على فرض أنّ المقاومة $R = 10.0\ \Omega$ ، في حين تبقى قيمتا $\mathscr{E}$، و r كالسابق.

*عندما تشحن بطارية، يجبر تيار على المرور خلالها. ولذلك يجب أن نكتب في هذه الحالة

$$V_{ab} = \mathscr{E} + Ir$$

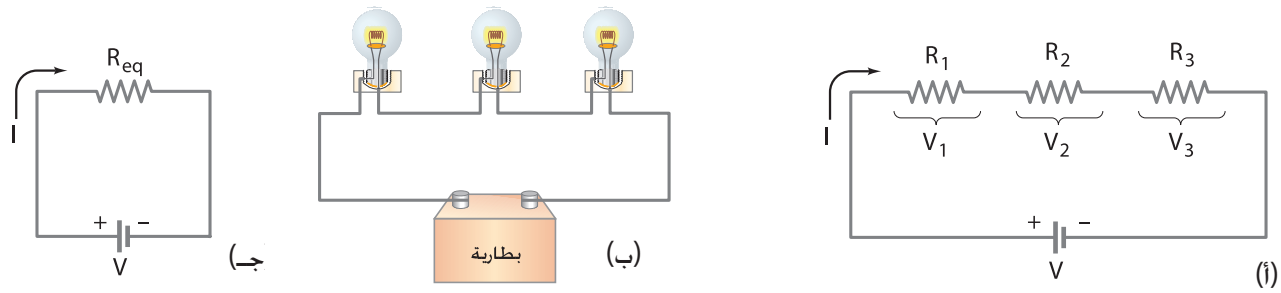
انظر إلى (المثال 19- 9 . أو المسألة 24، والشكل 19-44).

في كثيرٍ ممّا سيأتي لاحقًا- إلا إذا ذكر غير ذلك- سنفترض أنّ المقاومة الداخلية للبطارية مهملة، وأنّ فولتية البطارية المعطاة هي جهدها الطرفي، والذي سيكتب عادة V بدلًا من V_{ab}. تجنب الخلط بين V (حرف مائل) الذي يمثل الجهد، و V (غير المائل) الذي يشير إلى وحدة الفولت

19-2 وصل المقاومات على التوالي وعلى التوازي

عند وصل مقاومتين أو أكثر طرفًا بطرف على طول مسار واحد كما في (الشكل 19- 3أ) ، يُقال للمقاومات إنّها موصولة على **التوالي**. يمكن أن تكون المقاومات بسيطة كما هي مصورة في (الشكل 18 - 11) ، أو قد تكون مصابيح كهربائية (19-3 ب)، أو عناصر تسخين، أو أجهزة مقاومة أخرى. أي شحنة تمر من خلال R_1 في (الشكل 19- 3 أ) سوف تمر أيضًا من خلال R_2 ، و R_3. لذلك، فإنّ التيار I نفسه سوف يمر خلال كلّ مقاومة. (إذا لم يكن الوضع كذلك، فإمّا أنّ الشحنة لم تكن محافظة، أو أنّها تتراكم عند نقطةٍ ما في الدارة، وهذا لا يحدث عادة في حالة الاستقرار).

الشكل19-3 (أ) مقاومات موصولة على التوالي (ب) يمكن أن تكون المقاومات مصابيح كهربائية أو أي نوع من المقاومات. مقاومة وحيدة مكافئة R_{eq} تسحب التيار نفسه: $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$



نفترض أنّ V يمثل فرق الجهد (الفولتية) بين طرفي المقاومات الثلاث ككل (الشكل-19 3 أ). كما سنفترض أنّه يمكن إهمال المقاومات الأخرى جميعها في الدارة. لذا، فإنّ V يساوي الجهد الطرفي الذي تزوده البطارية. نفترض أنّ V_1، و V_2، و V_3 تمثل فروق الجهد بين طرفي كلّ من المقاومات R_1، و R_2، و R_3، على الترتيب. من قانون أوم $V = IR$، يمكن كتابة: $V_3 = IR_3$، و $V_2 = IR_2$، و $V_1 = IR_1$. وبما أنّ المقاومات موصولة طرفًا بطرف، فإنّنا سنجد من مبدأ حفظ الطاقة أنّ الجهد الكلي V يساوي مجموع فروق الجهد* بين طرفي كلّ مقاومة:

دارة التوالي:
تُجمع الجهود.
يمر التيار نفسه في كلّ مقاومة

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = IR_1 + IR_2 + IR_3 \qquad \text{[التوالي] (19 -2)}$$

سنحدد الآن مقاومة وحيدة مكافئة R_{eq} تسحب التيار I نفسه الذي تسحبه المقاومات الثلاث الموصولة على التوالي، انظر (الشكل 19-3 جـ). مثل هذه المقاومة الوحيدة R_{eq} يجب أن ترتبط مع V من خلال

$$V = IR_{eq}$$

نساوي الآن بين هذا التعبير و (المعادلة 19-2)، ونجد أنّ

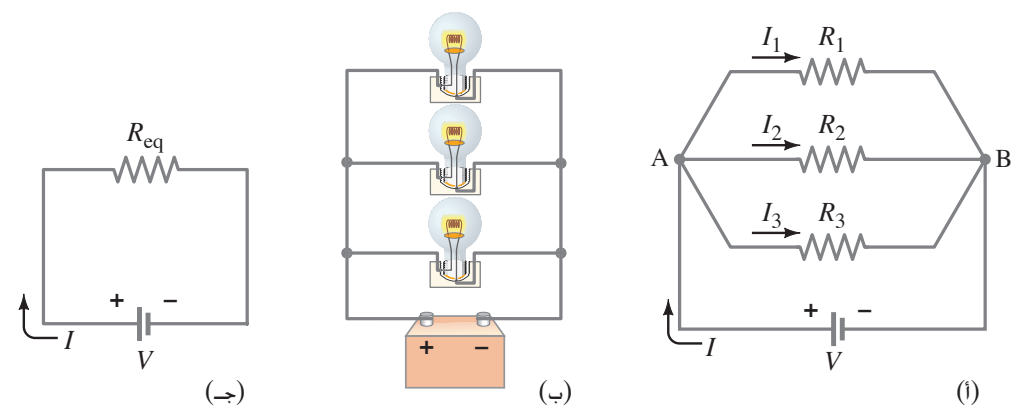
المقاومات على التوالي

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3. \qquad \text{[توالي] (19 - 3)}$$

وهذا ما نتوقعه في الحقيقة. عند وصل عدة مقاومات على التوالي، فإنّ المقاومة الكلية أو المكافئة هي مجموع المقاومات منفصلة. (يمكن أحيانًا أن تسمى "المقاومة الكلية".) يطبق هذا المجموع على أيّ عدد من المقاومات الموصولة على التوالي. لاحظ أنه عند إضافة مقاومات أكثر للدارة، فإنّ التيار خلالها سيقلّ. على سبيل المثال، إذا وصلت بطارية 12-V إلى مقاومة 4-Ω ، فإنّ التيار سيكون 3A. ولكن، إذا وصلت البطارية 12-V إلى ثلاث مقاومات قيمة كلّ منها 3-Ω وموصولة على التوالي، فإنّ المقاومة الكلية تساوي 12 Ω. لذا، فإنّ التيار خلال الدارة كاملة سوف يكون 1A فقط.

* لمعرفة سبب صحة ذلك بالتفصيل: لاحظ أنّ الشحنة الكهربائية q تفقد مقدارًا من طاقة الوضع يساوي qV_1، عند مرورها خلال R_2، و R_3، تقل طاقة الوضع PE بالمقدار qV_2، و qV_3، بحيث إنّ المجموع $\Delta PE = qV_1 + qV_2 + qV_3$ يجب أن يساوي الطاقة الكلية qV التي تمنحها البطارية للشحنة q، أي أنّ الطاقة محفظة. وهكذا، فإنّ $qV = q(V_1 + V_2 + V_3)$. وعليه، فإنّ $V = V_1 + V_2 + V_3$ وهي (المعادلة 19 -2).

وهناك طريقة أخرى بسيطة لوصل المقاومات وهي طريقة **التوازي**؛ وفيها يتجزأ التيار من المصدر إلى الفروع المختلفة أو المسارات، كما هو موضح في (الشكل 19- 4 أ). ترتب التوصيلات الكهربائية في المنازل والبنايات بحيث تكون الأجهزة الكهربائية جميعها موصولة على التوازي، كما أوضحنا ذلك سابقًا في(الفصل 18، الشكل 18- 20) . من خلال التوصيل على التوازي، إذا فصل أحد الأجهزة مثلاً R_1 في (الشكل 19- 4 أ)، فإنّ التيار الذي يمر في الأجهزة الأخرى لا يتأثر. ومقارنة مع دائرة التوالي، إذا فصل أحد الأجهزة مثلا R_1 في (الشكل 19- 3 أ)، فإنّ التيار يتوقف عن المرور في الأجهزة الأخرى كلّها.



الشكل 19- 4

(أ) مقاومات موصولة على التوازي

(ب) يمكن أن تكون المقاومات مصابيح كهربائية.

(جـ) الدارة المكافئة مع المقاومة R_{eq} التي حصلت عليها من (المعادلة 4-19):

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

في دارة التوازي، (الشكل 19-4أ)، يغادر التيار الكلي I البطارية، ويتجزأ إلى ثلاثة مسارات مختلفة. دعنا نفترض أنّ I_1، وI_2، و I_3 تمثل التيارات التي تمر خلال كلّ من المقاومات R_1، و R_2، و R_3 على الترتيب. وبما أنّ الشحنة الكهربائية محافظة، فإنّ التيار I الذي يتدفق إلى عقدة A حيث تلتقي الأسلاك أو الموصلات المختلفة، (الشكل 4-19 أ) يجب أن يساوي التيار الذي يتدفق خارجًا من العقدة. أي أنّ

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad \text{[توازي]}$$

عند وصل المقامات على التوازي، يتساوي الجهد بين طرفي كلّ مقاومة. (في الواقع، أيّ نقطتين في دارة موصولتين بواسطة سلك مهمل المقاومة يكون لهما الجهد نفسه). لذلك، فإنّ الجهد الذي للبطارية التي في (الشكل 19-4 أ) كلّه يؤثر بين طرفي كلّ مقاومة. وعند تطبيق قانون أوم على كلّ مقاومة، سنجد أنّ

$$I_1 = \frac{V}{R_1}\ ,\ I_2 = \frac{V}{R_2}\ \text{و}\ I_3 = \frac{V}{R_3}$$

دعنا الآن نحدّد ما هي المقاومة الوحيدة R_{eq} (الشكل 19-4 أ) التي ستسحب التيار I نفسه الذي تسحبه هذه المقاومات الثلاث الموصولة على التوازي. كما يجب على هذه المقاومة المكافئة R_{eq} أن تحقق قانون أوم أيضا:

$$I = \frac{V}{R_{eq}}$$

بتجميع المعادلات أعلاه، نحصل على

$$I = I_1 + I_2 + I_3,$$
$$\frac{V}{R_{eq}} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

وعند قسمة كلّ حدّ على V، نجد أنّ

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad \text{[توازي]} \quad \textbf{(4-19)}$$

مقاومات على التوازي

على سبيل المثال، افترض أنك وصلت مكبري صوت مقاومة كلّ منهما Ω - 4 إلى مجموعة واحدة من مخارج مضخم النظام الصوتي أو المستقبل الذي لديك. (اهمل السماعة الأخرى للحظة، افرض مثلاً أنّ مكبري الصوت موصولان مع السماعة اليسرى).

دارة التوازي:
تجمع التيارات، الجهد ثابت بين طرفي كلّ مقاومة من المقاومات.

الشكل 19-5 أنبوبا ماء على التوازي- يناظران التيارات الكهربائية في حالة التوازي

المقاومة المكافئة للمقاومتين Ω -4 الموصولتين على التوازي تساوي

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{4\,\Omega} + \frac{1}{4\,\Omega} = \frac{2}{4\,\Omega} = \frac{1}{2\,\Omega}$$

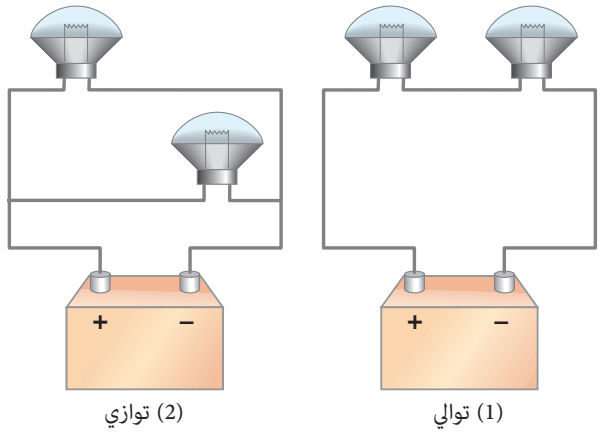
وهكذا، فإنّ $R_{eg} = 2\Omega$. وعليه، فإنّ المقاومة الكلية (أو المكافئة) أقلّ من أيٍّ من المقاومتين. في البداية قد يبدو ذلك مدهشًا، لكن تذكّر أنّه عند وصل المقاومات على التوازي، فإنّك تمنح التيار مسارات إضافية يتدفق من خلالها. لذلك فإنّ المقاومة المكافئة سوف تكون أقلّ. قد يكون التناظر مفيدًا هنا. افترض أنبوبين متماثلين يدخل منهما الماء بالقرب من أعلى سدّ ويخرج منهما عند أسفله كما في (الشكل 19-5). يتناسب الفرق في طاقة الوضع الناتج من الجاذبية مع الارتفاع h، وهو نفسه لكلا الأنبوبين. تمامًا كما أنّ الجهد يكون نفسه للمقاومات الموصولة على التوازي. إذا فتح كلا الأنبوبين، يتدفق من خلالهما ضعف كمية الماء. أي أنّه بوجود أنبوبين متساويين ومفتوحين، فإنّ المقاومة الكلية لتدفق الماء سوف تقلّ إلى النصف. تمامًا كما في المقاومات الكهربائية الموصولة على التوازي. لاحظ أنه إذا أغلق كلا الأنبوبين، فإنّ السد يبدي مقاومة لا نهائية لتدفق الماء. وهذا يقابل في الحالة الكهربائية دراة مفتوحة عندما لا يكون المسار مغلقًا ولا يسري تيار. لذا، تكون المقاومة الكهربائية لا نهائية.

المثال المفاهيمي 19-2 التوالي أو التوازي

(أ) المصابيح الكهربائية التي في (الشكل 19-6)متماثلة ومقاومتها R أيضًا متماثلة. أيّ من الترتيبين يُصدر ضوءًا أكثر؟ (ب) أيّ طريقة تعتقد أنها تستخدم في توصيل الأضواء الأمامية في السيارة؟

الإجابة (أ) يتم إيجاد المقاومة المكافئة في دارة التوازي من خلال (المعادلة 19- 4)، $1/R_{eq} = 1/R + 1/R = 2/R$. لذا، فإنّ $R_{eq} = R/2$. ولهذا، فإنّ ترتيب التوازي مقاومته $(= R/2)$ أقلّ من تلك التي لترتيب التوالي $(R_{eq} = R + R = 2R)$. وعليه، يكون التيار الكلي في حالة التوازي (2) أكثر منه في حالة التوالي؛ لأنّ $I = V/R_{eq}$ والجهد V متساوٍ في كلتا الدارتين. إنّ القدرة الكلية المستنفدة التي ترتبط مع الضوء الناتج تساوي $P = IV$. لذا، فإنّ التيار الأكبر في (2) يعني أنّ الضوء الناتج أكثر.

(ب) توصل الأضواء الأمامية على التوازي (2)، لأنّه إذا احترق فتيل أحدهما، فإنّ الآخر يبقى مضاء. فإذا كانا موصولين على التوالي (1)، فإنّه عند احتراق فتيل أحدهما (ينقطع الفتيل) تصبح الدارة مفتوحة ولا يتدفق التيار، ولذلك لن يضيء المصباح الآخر (الذي لم يحترق فتيله).



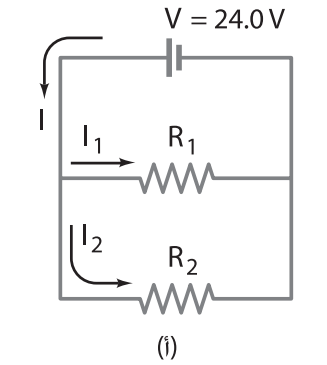
(1) توالي (2) توازي

الشكل 19-6 (المثال 19-2)

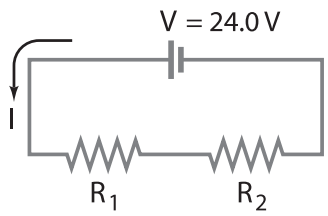
المثال 19-3 مقاومات على التوالي والتوازي

مقاومتان، كلٌّ منهما Ω 100 موصولتان (أ) على التوازي. (ب) على التوالي إلى بطارية V 24.0. انظر إلى (الشكل 19-7). ما التيار الذي يمر خلال كلّ مقاومة؟ وما المقاومة المكافئة لكلّ دارة؟

النّهج: نستعمل قانون أوم، وكذلك الأفكار التي ناقشناها الآن بالنسبة إلى التوصيل على التوالي والتوازي للحصول على التيار في كلّ حالة. كما يمكننا استعمال (المعادلتين 19-3، و 19-4) أيضًا.



(أ)



(ب)

الشكل 19-7 (المثال 19-3)

الحلّ: (أ) أيّ شحنة معطاة (أو إلكترون) يمكن أن تتدفق خلال مقاومة واحدة فقط، أو خلال مقاومة أو الأخرى من المقاومتين في (الشكل 19-7أ) المقاومة الأخرى للمقاومتين في (الشكل 19-7أ). تمامًا كما يتجزأ النهر عندما يمر حول جزيرة. وهنا أيضًا، يتجزأ التيار الكلي I الذي يخرج من البطارية (الشكل 19-7 أ) ليتدفق خلال كلّ مقاومة. لذا، فإنّ I يساوي مجموع التيارين المنفصلين اللذين يمران خلال المقاومتين.

$$I = I_1 + I_2$$

$V=24.0\ V$ فرق الجهد بين طرفي كلّ مقاومة يساوي جهد البطارية

وبتطبيق قانون أوم على كلّ مقاومة، سنجد أنّ

$$I = I_1 + I_2 = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} = \frac{24.0\ \text{V}}{100\ \Omega} + \frac{24.0\ \text{V}}{100\ \Omega}$$
$$= 0.24\ \text{A} + 0.24\ \text{A} = 0.48\ \text{A}$$

المقاومة المكافئة تساوي

$$R_{\text{eq}} = \frac{V}{I} = \frac{24.0\ \text{V}}{0.48\ \text{A}} = 50\ \Omega$$

ويمكننا أيضًا الحصول على هذه النتيجة من (المعادلة 19-4)

$$\frac{1}{\text{R}_{\text{eq}}} = \frac{1}{100\Omega} + \frac{1}{100\Omega} + \frac{2}{100\Omega} = \frac{1}{50\Omega}$$

وعليه، فإنّ $R_{\text{eq}}=50\Omega$

(ب) إنّ التيار الذي يتدفق خارجًا من البطارية كلّه يمرّ أولًا من خلال R_1 ثم من خلال R_2؛ لأنّهما يقعان على المسار نفسه. (الشكل 19-7 ب) يمرّ التيار I نفسه خلال المقاومتين؛ فرق الجهد V بين طرفي البطارية يساوي مجموع التغير في الجهد بين طرفي كلّ مقاومة من المقاومتين:

$$V = V_1 + V_2$$

ويعطينا قانون أوم

$$V = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2)$$

لذلك

$$\text{I}=\frac{\text{V}}{\text{R}_1+\text{R}_2} = \frac{24.0\text{V}}{100\Omega+100\Omega} = 0.120\text{A}$$

وباستعمال (المعادلة 19-3)، نجد أنّ المقاومة المكافئة تساوي $R_{\text{eq}} = R_1 + R_2 = 200\ \Omega$. ويمكننا أيضًا الحصول على المقاومة المكافئة بالتفكير من وجهة نظر البطارية؛ يجب أن تساوي المقاومةُ الكليةُ R_{eq} جهدَ البطارية مقسومًا على التيار الذي تزود به الدارة كما يلي:

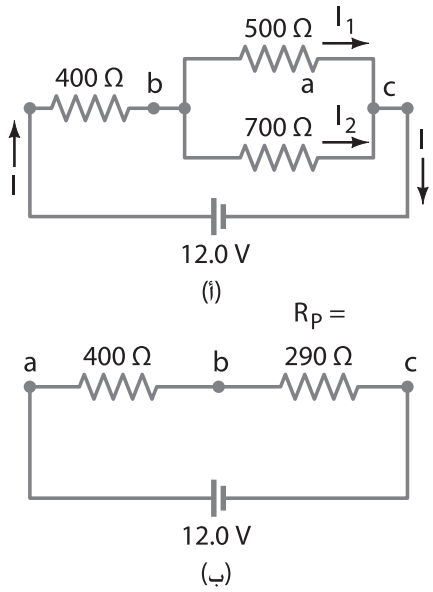
$$\text{R}_{\text{eq}}=\frac{\text{V}}{\text{I}}=\frac{24.0\text{V}}{0.120\text{V}} = 200\Omega$$

ملحوظة: إنّ الجهد بين طرفي R_1 يساوي $V_1 = IR_1 = (0.120\ \text{A})(100\ \Omega) = 12.0\ \text{V}$، أمّا الجهد الذي بين طرفي R_2 فيساوي $V_2 = IR_2 = 12.0\ \text{V}$ ويمثل كلّ منهما نصف جهد البطارية. تُسَمّى الدارة البسيطة، مثل تلك التي في (الشكل 19-7 ب)، عادة **مجزيء جهد** بسيط.

مجزيء الجهد

التمرين ب: صمّم مُجزِّء جهد يمكنه جعل الجهد بين طرفي R_2 خُمُسَ جهد البطارية. ما نسبة R_1/R_2؟

لاحظ أنّه عند استعمال المقاومة المكافئة بدلًا من مجموعة مقاومات ، فإنّ التيار، والجهد، والقدرة في بقية أجزاء الدارة لا تتأثر .



الشكل 19-8 (أ) دارة (للمثالين 19-4، و19-5)
(ب) تبين الدارة المكافئة أنّ المقاومة المكافئة للمقاومتين الموصلتين على التوازي في (أ) تساوي 290 أوم.

المثال 19-4 دارة توالٍ وتوازٍ

كم شدة التيار الذي يسحب من البطارية المبينة في (الشكل 19-8 أ)؟

النّهج: التيار I الذي يتدفق خارجًا من البطارية يمرّ خلال المقاومة 400 Ω، ولكنّه يتجزأ إلى I_1 و I_2 وهما يمرّان خلال المقاومتين 500 Ω و 700 Ω. وهاتان المقاومتان موصولتان مع بعضهما على التوازي. ومن أجل التبسيط؛ نبحث عن شيء ما نعرف كيفية التعامل معه مسبقًا. لذا، دعنا نبدأ بإيجاد المقاومة المكافئة R_p للمقاومتين الموصولتين على التوازي 500 Ω و 700 Ω. ثم افتراض أنّ هذه المقاومة R_P موصولة على التوالي مع المقاومة 400 Ω.

الحلّ: المقاومة المكافئة R_P للمقاومتين 500 Ω و 700 Ω الموصولتين على التوازي تعطى بالعلاقة

$$\frac{1}{R_P} = \frac{1}{500\,\Omega} + \frac{1}{700\,\Omega} = 0.0020\,\Omega^{-1} + 0.0014\,\Omega^{-1} = 0.0034\,\Omega^{-1}$$

وهذه هي المقاومة $1/R_P$. لذا، نأخذ المقلوب لإيجاد R_P. والخطأ الشائع هو عدم أخذ هذا المقلوب. لاحظ أنّ الوحدة لمقلوب الأوم هي تذكير لكي تأخذ المقلوب، لذلك فإنّ

$$R_P = \frac{1}{0.0034\,\Omega^{-1}} = 290\,\Omega$$

وهذه المقاومة 290 Ω هي المقاومة المكافئة للمقاومتين الموصولتين على التوازي، وهي موصولة على التوالي مع المقاومة 400 Ω كما هو مبين في الدارة المكافئة الكلية R_{eq}. نجمع المقاومتين 290 Ω و 400 Ω مع بعضهما، لأنّهما موصولتان على التوالي، ونجد

$$R_{eq} = 400\,\Omega + 290\,\Omega = 690\,\Omega$$

لذا، فإنّ التيار الكلي I الذي يتدفق من البطارية يساوي

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{12.0\text{ V}}{690\,\Omega} = 0.0174\text{ A} \approx 17\text{ mA}$$

ملحوظة: يمرّ هذا التيار I أيضًا في المقاومة 400 Ω، ولكنّه لا يمرّ خلال المقاومتين 500 Ω و700 Ω(كلا التيارين أقلّ، انظر إلى المثال التالي).

ملحوظة: يمكن تحليل الدارات المركبة التي تشتمل على مقاومات بهذه الطريقة أيضًا، على اعتبار أنّ الدارة مجموعة من المقاومات الموصولة على التوالي والتوازي.

تنويه:
تذكر أن تأخذ المقلوب

المثال 19-5 التيار في فرع واحد

ما شدّةُ التيّارِ الذي يمرُّ خلال المقاومة 500 Ω في (الشكل 19-8) (أ)؟

النّهج: نحتاج إلى إيجاد الجهد بين طرفي المقاومة 500 Ω، والذي يساوي الجهد بين النقطتين b و c في (الشكل 19-8 أ). ويشار إليه بالرمز V_{bc}. حالما يكون V_{bc} معلومًا، نطبق قانون أوم، $V = IR$ لنحصل على التيار. سنجد أولاً الجهد بين طرفي المقاومة 400 Ω، V_{ab} لأنّنا نعلم مسبقًا أنّ تيارًا شدته 17 mA يمرّ خلالها.

الحلّ: يمكن إيجاد V_{ab} باستعمال $V = IR$.

$$V_{ab} = (0.0174\ \text{A})(400\ \Omega) = 7.0\ \text{V}$$

بما أنّ الجهد الكلي بين طرفي شبكة المقاومات هو $V_{ac} = 12.0\ \text{V}$، فإنّ V_{bc} يجب أن يساوي $12.0\ \text{V} - 7.0\ \text{V} = 5.0\ \text{V}$ ثم نطبق قانون أوم على المقاومة 500-Ω لنجد أنّ التيار I_1 الذي يمر خلالها يساوي

$$I_1 = \frac{5.0\ \text{V}}{500\ \Omega} = 1.0 \times 10^{-2}\ \text{A} = 10\ \text{mA}$$

وهذا هو الجواب الذي نريده. يمكننا أيضًا حساب التيار I_2 الذي يمر خلال المقاومة 700 Ω لأنّ الجهد بين طرفيها هو أيضًا 5.0 V

$$I_2 = \frac{5.0\ \text{V}}{700\ \Omega} = 7\ \text{mA}$$

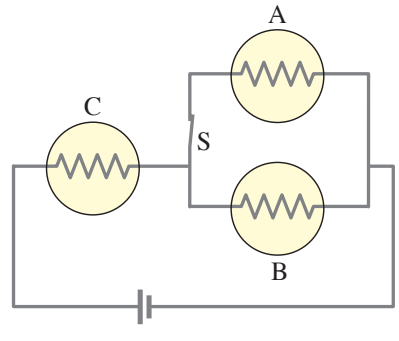
ملحوظة: عندما يجتمع I_1 مع I_2 يتشكل التيار الكلي I (عند النقطة c في الشكل 19-8أ). ومجموعهما يساوي $10\ \text{mA} + 7\ \text{mA} = 17\ \text{mA}$. وهذا بالطبع هو التيار الكلي I كما تم حسابه في (المثال 19-4) .

المثال المفاهيمي 19-6 شدة إضاءة مصباح كهربائي في دارة

تحتوي الدارة المبينة في (الشكل 19-9)على ثلاثة مصابيح متماثلة مقاومة كلّ منها R. (أ) عندما يغلق المفتاح s، كيف تكون شدة إضاءة المصباحين A، و B مقارنة مع شدة إضاءة المصباح C؟ (ب) ماذا يحدث عند فتح المفتاح s؟ استعمل الحد الأدنى للخطوات الرياضية في إجاباتك.

الإجابة: (أ) مع إغلاق المفتاح s، فإنّ التيار الذي يمر خلال المصباح C يجب أن يتجزأ إلى قسمين متساويين عندما يصل إلى العقدة التي تؤدي إلى المصباحين A، و B. يتجزأ التيار إلى قسمين متساويين؛ لأنّ مقاومة المصباح A تساوي تلك التي للمصباح B. لذلك، فإنّ كلا منهما يمر خلاله نصف التيار الذي يمر خلال المصباح C. وعليه، فإنّ إضاءة A، و B تكون متساوية، ولكنهما أقلّ إضاءة من المصباح C.

(ب) عندما يكون المفتاح s مفتوحًا، لا يمر أيّ تيار خلال المصباح A، وبالتالي فإنه يكون معتمًا. وعليه، سيكون لدينا الآن دارة توالٍ بسيطة مكونة من حلقة واحدة، ونتوقع أن تكون إضاءة المصباحين B، و C متساوية. ومع ذلك، تكون المقاومة المكافئة لهذه الدارة $(=R+R)$ أكبر من تلك التي للدارة عندما يكون المفتاح مغلقًا. وعندما تكون الدارة مفتوحة بفعل المفتاح، فإننا نزيد من مقاومتها، فيقلّ التيار الذي يغادر البطارية. لذلك، يكون المصباح C خافتًا عندما يفتح مفتاح الدارة. ويحصل المصباح B على تيار أكبر عندما يفتح مفتاح الدارة (ربما نحتاج هنا إلى استخدام بعض العمليات الحسابية)، وبالتالي يكون أكثر إضاءة منه عندما يكون المفتاح مغلقًا. كما أنّ إضاءته تكون مثل تلك التي للمصباح C .



الشكل 19-9 (المثال 19-6) ثلاثة مصابيح كهربائية متماثلة، كلّ دائرة صفراء تحتوي بداخلها على ⁓ تمثل مصباحا ومقاومته

مثال إضافي

المثال 19-7 تحليل دارة

بطارية 9.0 V مقاومتها الداخلية r تساوي 0.50 Ω، موصولة في الدارة المبينة في (الشكل 19-10 أ). (أ) كم شدة التيار الذي يسحب من البطارية؟ (ب) ما الجهد الطرفي للبطارية؟ (جـ) ما شدة التيار الذي يمر خلال المقاومة 6.0 Ω؟

النّهج: لإيجاد التيار الذي يخرج من البطارية، نحتاج أولًا إلى تحديد المقاومة المكافئة R_{eq} للدارة كلّها، بما فيها r، والذي يتم من خلال تحديد مجموعة بسيطة من المقاومات الموصولة على التوالي أو التوازي وعزلها. حالما يتمّ إيجاد I من خلال قانون أوم $I = \mathscr{E}/R_{eq}$، يمكننا إيجاد الجهد الطرفي باستعمال $V_{ab} = \mathscr{E} - Ir$. للفرع (جـ) نطبق قانون أوم على المقاومة 6.0 Ω.

الحلّ: (أ) نريد تحديد المقاومة المكافئة للدارة. ولكن من أين نبدأ؟ نلاحظ أنّ المقاومتين 4.0 Ω، و 8.0 Ω موصولتان على التوازي. لذا، فإنّ المقاومة المكافئة R_{eq1} تعطى بِـ

$$\frac{1}{R_{eq1}} = \frac{1}{8.0\,\Omega} + \frac{1}{4.0\,\Omega} = \frac{3}{8.0\,\Omega};$$

وعليه، فإنّ $R_{eq1} = 2.7\ \Omega$. هذه المقاومة 2.7 Ω موصولة على التوالي مع المقاومة 6.0 Ω كما هو مبين في الدارة المكافئة في (الشكل19-10 ب) . المقاومة المكافئة للذراع السفلية للدارة تساوي

$$R_{eq2} = 6.0\,\Omega + 2.7\,\Omega = 8.7\,\Omega$$

كما هو مبين في (الشكل 19-10 جـ) . المقاومة المكافئة R_{eq3} للمقاومتين 8.7 Ω، و 10.0 Ω الموصولتين على التوازي تعطى بِـ

$$\frac{1}{R_{eq3}} = \frac{1}{10.0\,\Omega} + \frac{1}{8.7\,\Omega} = 0.21\,\Omega^{-1}$$

إذن، $R_{eq3} = (1/0.21\,\Omega^{-1}) = 4.8\,\Omega$. هذه المقاومة 4.8 Ω موصولة على التوالي مع المقاومة Ω5.0، ومع المقاومة الداخلية للبطارية (الشكل 19- 10 د) لذلك، فإنّ المقاومة المكافئة الكلية R_{eq} للدارة تساوي $R_{eq} = 4.8\,\Omega + 5.0\,\Omega + 0.50\,\Omega = 10.3\,\Omega$. ولهذا، فإنّ التيار الذي يسحب من البطارية يساوي

$$I = \frac{\varepsilon}{R_{\mathscr{E}}} = \frac{9.0\text{V}}{10.3\Omega} = 0.87\text{A}$$

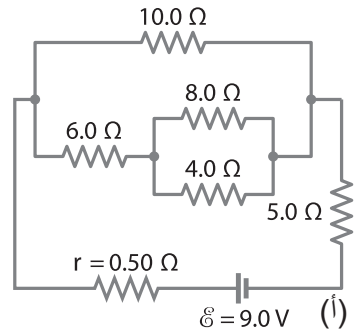
(ب) الجهد الطرفي للبطارية يساوي

$$V_{ab} = \mathscr{E} - Ir = 9.0\,\text{V} - (0.87\,\text{A})(0.50\,\Omega) = 8.6\,\text{V}.$$

(جـ) يمكننا القيام بخطوات عكسية للحصول على التيار في المقاومة 6.0 Ω. والذي يجب أن يكون القيمة نفسها للتيار الذي يمر خلال المقاومة 8.7 Ω الموضحة في (الشكل 19-10 جـ) (لماذا؟) الجهد بين طرفي المقاومة 8.7 Ω يساوي emf للبطارية ناقصًا الهبوط في الجهد بين طرفي r والمقاومة 5.0 Ω: $V_{8.7} = 9.0\text{V} - (0.87\text{A})(0.50\,\Omega + 5.0\,\Omega)$. وبتطبيق قانون أوم، نحصل على التيار (ليكن I)

$$I = \frac{9.0\text{V} - (0.87\text{A})(0.50\,\Omega + 5.0\,\Omega)}{8.7\,\Omega} = 0.48\text{A}$$

هذا هو التيار الذي يمر خلال المقاومة 6.0- Ω.

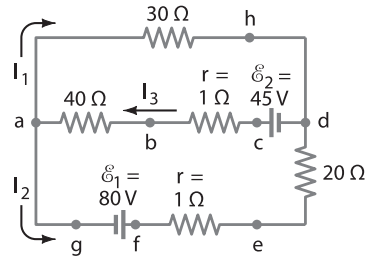


الشكل 19-10 دارة (للمثال 19-7)، حيث r هي المقاومة الداخلية للبطارية.

19-3 قاعدتا كيرشوف

في الأمثلة القليلة السابقة، تمكنا من إيجاد التيارات في الدارات بواسطة تجميع المقاومات الموصولة على التوالي والتوازي، وباستعمال قانون أوم. ويمكن استعمال هذه الطريقة للعديد من الدارات. ومع ذلك، فإنّ بعض الدارات معقدة كثيرًا بالنسبة لمثل هذا التحليل. على سبيل المثال، لا يمكننا إيجاد التيارات في كلّ جزء من أجزاء الدارة الموضحة في (الشكل 19-11) ببساطة من خلال تجميع المقاومات كما قمنا بذلك سابقًا.

وللتعامل مع مثل هذه الدارات المعقدة، نستعمل قاعدتي كيرشوف (1824-1887) اللتين ابتكرهما في منتصف القرن التاسع عشر.



الشكل 19-11 يمكن حساب التيارات باستعمال قاعدتي كيرشوف.

هناك قاعدتان، وهما ببساطة تطبيقات سهلة لقانوني حفظ الشحنة والطاقة. تستند قاعدة **كيرشوف الأولى** أو **قاعدة العقدة** إلى حفظ الشحنة الكهربائية، وقد استخدمت سابقًا في اشتقاق قاعدة توصيل المقاومات على التوازي، وهي تنصّ على ما يلي:

قاعدة العقدة (حفظ الشحنة)

"عند أيّ عقدة، يجب أن يساوي مجموعُ التيارات الداخلة إلى العقدة مجموعَ التيارات الخارجة منها ".

أي أنّه، مهما يدخل من شحنة يجب أن يخرج. على سبيل المثال، عند نقطة العقدة a في (الشكل 19-11)، يدخل التيار I_3، في حين يخرج كلّ من I_1، و I_2. لذلك، تنصّ قاعدة كيرشوف للعقدة على أنّ $I_3 = I_1 + I_2$. وقد رأينا سابقًا مثالًا على ذلك من خلال الملحوظة التي في نهاية (المثال 19-5) .

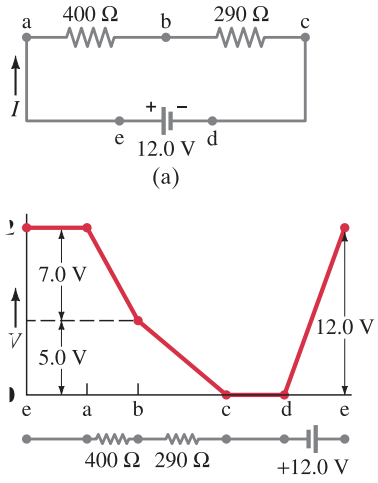
أمّا قاعدة **كيرشوف الثانية** أو **قاعدة العروة**، فتستند إلى حفظ الطاقة. وتنصّ على أنّ

قاعدة العروة (حفظ الطاقة)

"مجموع التغيرات في الجهد حول أي مسار مغلق في دارة يجب أن يساوي صفرًا"

لمعرفة سبب وجوب تحقّق هذه القاعدة؛ افترض التناظر التقريبي بين طاقة الوضع لعربات صغيرة تتحرك على مسارها في مدينة ترويحية. عندما تبدأ العربات بالتحرك من محطة الانطلاق، يكون لها طاقة وضع معينة. وعندما تصعد التلة الأولى، تزداد طاقة وضعها، وتصل إلى الحد الأقصى عند القمة. وعندما تهبط من الجهة الأخرى، تقل طاقة وضعها إلى الحدّ الأدنى عند أسفل التلة. وكلّما استمرت العربات بالحركة على مسارها، تحدث تغيرات أكثر في طاقة وضعها. ولكن عندما تعود إلى نقطة البداية، فإنّ طاقة وضعها تكون مساوية تمامًا لتلك التي كانت لها عندما بدأت الحركة من هذه النقطة. وهناك طريقة أخرى للتعبير عن ذلك، وهي إنه يوجد ارتفاع بمقدار الانخفاض.

ويمكن أن يطبق هذا التفكير نفسه على دارة كهربائية. سنقوم بتحليل الدارة التي في (الشكل 19-11) حالا، ولكن دعنا أولا نعتبر الدارة البسيطة التي في (الشكل 19-12) . وقد اخترناها لتكون الدارة المكافئة نفسها التي في (الشكل 19-8 ب) والتي نوقشت سابقًا. يساوي التيار في هذه الدارة $I = (12.0\,\text{V})/(690\,\Omega) = 0.0174\,\text{A}$، كما تم حسابه في (المثال 19-4) . (لقد احتفظنا بمنزلة إضافية في I؛ لتقليل أخطاء التدوير). الطرف الموجب للبطارية، النقطة e في (الشكل 19-12 أ)، ذات جهد مرتفع مقارنة مع النقطة d التي عند الطرف السالب للبطارية. أي أنّ النقطة e مثل قمة التلة بالنسبة إلى العربات. نتتبع التيار حول الدارة بالبدء من عند أيّ نقطة.



الشكل 19-12 التغيرات في الجهد حول الدارة في (أ) ترسم بيانيًا في (ب).

لقد اخترنا البدء من النقطة e وتتبع حركة شحنة اختبار موجبة حول الدارة كاملة. عندما نتحرك، نسجل التغيرات كلها في الجهد. وعندما تعود شحنة الاختبار إلى النقطة e، يكون لها الجهد نفسه الذي بدأت به (التغير الكلي في الجهد حول الدارة يساوي صفرًا). ثم نرسم بيانيًّا التغيرات في الجهد حول الدارة كما في(الشكل 19-12 ب)؛ اخترت النقطة d ليكون الجهد عندها صفرًا.

عندما تتحرك الشحنة الاختبارية من النقطة e إلى النقطة a لا يتغير الجهد؛ بسبب عدم وجود مصدر لِـ emf. وقد افترضنا أنّ مقاومة أسلاك التوصيل مهملة. وعندما تمر الشحنة خلال المقاومة 400 لتصل إلى النقطة b، يقلّ الجهد بالمقدار $V = IR = (0.0174\,\text{A})(400\,\Omega) = 7.0\,\text{V}$. تتدفق شحنة الاختبار الموجبة بانحدار؛ لأنّها تتجه نحو الطرف السالب للبطارية، كما أشرنا إلى ذلك في الرسم البياني (للشكل 19-12 ب) . وبما أنّ هذا يمثل انخفاضًا في الجهد، فإننا نستعمل إشارة سالب.

$$V_{ba} = V_b - V_a = -7.0\,\text{V}.$$

وعندما تتابع الشحنة حركتها من b إلى c، يكون هناك انخفاض آخر في الجهد (هبوط في الجهد) يساوي $(0.0174\,\text{A}) \times (290\,\Omega) = 5.0\,\text{V}$ وهذا انخفاض في الجهد أيضًا. إذن

$$V_{cb} = -5.0\,\text{V}.$$

لا يوجد تغير في الجهد عندما تتحرك شحنة الاختبار من c إلى d؛ لأنّنا افترضنا أنّ مقاومة الأسلاك مهملة. ولكن عندما تتحرك من d، والتي هي الطرف السالب أو الجهد المنخفض للبطارية، إلى النقطة e التي هي الطرف الموجب (طرف الجهد المرتفع) للبطارية، فإنّ الجهد يزداد بِـ 12.0 V، أي أنّ

$$V_{ed} = +12.0\,\text{V}$$

مجموع التغيرات كلها في الجهد حول الدارة التي في (الشكل 19-12) يساوي

$$-7.0\,\text{V} - 5.0\,\text{V} + 12.0\,\text{V} = 0$$

وهذا بالضبط ما تنصّ عليه قاعدة العروة لكيرشوف.

توجيه لحلّ الأسئلة.

التزم بالاشارات عند تطبيق قاعدة العروة.

طريقة حلّ المسائل — قاعدتا كيرشوف

1. **سمِّ التيار** في كلّ فرع منفصل للدارة المعطاة، واستعمل رمزا سفليا، مثل I_1، I_2، I_3 (انظر الشكل 19-11 أو 19-13). يشير كلّ تيار إلى قطعة بين عقدتين. اختر اتجاه كلّ تيار باستعمال سهم. ويمكن اختيار اتجاه التيار عشوائيّا؛ إذا كان التيار الحقيقي في الاتجاه المعاكس، فإنه يظهر في ناتج الحلّ مع إشارة سالبة.
2. **حدّد المجاهيل**. تحتاج إلى عدد من المعادلات المستقلة مساوٍ لعدد المجاهيل. يمكنك كتابة معادلات أكثر من هذا العدد، ولكن ستجد أنّ بعض هذه المعادلات زائد عن الحاجة (أي أنها ليست مستقلة لأنّها لا تعطي معلومات جديدة). يمكن أن تستعمل $V = IR$ لكلّ مقاومة، لأنّه يقلّل في بعض الأحيان عدد المجاهيل.
3. طبّق قاعدة كيرشوف للعقدة عند عقدة أو أكثر.
4. **طبّق قاعدة كيرشوف للعروة** على عروة واحدة أو أكثر: تتبع كلّ عروة في اتجاه واحد فقط مع الاهتمام بالرموز السفلية والإشارات.
   (أ) للمقاومة: طبق قانون أوم: يكون فرق الجهد سالبًا (يتناقص) إذا كان اتجاه العروة التي اخترتها هو اتجاه التيار نفسه الذي اخترته ليمر خلال المقاومة. ويكون فرق الجهد موجبًا (يزداد) إذا كان اتجاه العروة التي اخترتها معاكسًا لاتجاه التيار.
   (ب) للبطارية، يكون فرق الجهد موجبًا إذا كان اتجاه العروة من الطرف السالب نحو الطرف الموجب، في حين يكون فرق الجهد سالبًا إذا كان اتجاه العروة من الطرف الموجب نحو الطرف السالب.
5. **حلّ المعادلات جبريًا** بالنسبة إلى المجاهيل. كن حذرًا عند حلّ المعادلات حتى لا تخطئ في الإشارات. وفي النهاية، تأكد من إجاباتك وذلك بتعويضها في المعادلات الأصلية، أو حتى باستعمال معادلات إضافية لقاعدة العقدة أو العروة التي لم تستعمل سابقًا.

المثال 19-8 استخدام قاعدتي كيرشوف

احسب التيارات I_1، وI_2، وI_3 في الفروع الثلاثة للدارة التي في (الشكل 19-13) .

النّهج والحلّ:

1. سمِّ التيارات وحدّد اتجاهاتها. تستخدم في (الشكل 19-13) الرموز I_1، وI_2، وI_3 للتيار في الفروع الثلاثة المنفصلة. وبما أنّ التيار (الموجب) يحاول الانتقال بعيدًا عن الطرف الموجب للبطارية، فإننا نختار I_2، و I_3 لتكون في الاتجاهات المبينة في (الشكل 19-13) . ولأنّ اتجاه I_1 غير واضح مقدمًا، فإننا سنختاره عشوائيّا ليكون في الاتجاه المبين. إذا كان التيار الحقيقي يتدفق في الاتجاه المعاكس، فإنّ الإجابة سالبة.

2.حدد المجاهيل. لدينا ثلاثة مجاهيل، ولذلك نحتاج إلى ثلاث معادلات، نحصل عليها من خلال تطبيق قاعدتي كيرشوف للعقدة والعروة.

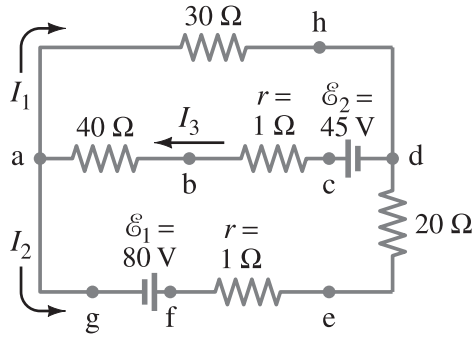
3. قاعدة العقدة: نطبق قاعدة كيرشوف للعقدة على التيارات عند النقطة a، حيث I_3 يدخل إلى العقدة، أما I_2، و I_1 فيغادراها.

$$I_3 = I_1 + I_2 \qquad \text{(أ)}$$

وتتحقق هذه المعادلة أيضًا عند النقطة d. لذلك، نحصل الآن على معلومات جديدة من خلال كتابة معادلة للنقطة d.

توجيه لحلّ المسائل.

اختر اتجاهات التيار كما تريد



الشكل 19-13 يمكن حساب التيارات باستخدام قاعدتي كيرشوف. انظر إلى (المثال 19-8)

4. قاعدة العروة: نطبّق قاعدة كيرشوف للعروة على عروتين مغلقتين ومختلفتين. نطبّقها أولا على العروة العلوية ahdcba. نبدأ (وننتهي) عند النقطة a. فمن a إلى h يقلّ الجهد $V_{ha} = -(I_1)(30\,\Omega)$، ومن h إلى d لا يوجد تغير في الجهد، ولكن من d إلى c يزداد الجهد بمقدار 45 V؛ أي أنّ $V_{cd} = +45$ V. من c إلى a يقلّ الجهد خلال المقاومتين بالمقدار

$$V_{ac} = -(I_3)(40\,\Omega + 1\,\Omega) = -(41\,\Omega)I_3$$

لذلك، يكون لدينا

$$V_{ha} + V_{cd} + V_{ac} = 0 \text{ ، أو } -30I_1 + 45 - 41I_3 = 0 \qquad \text{(ب)}$$

حيث تم حذف وحدات القياس. وللعروة الثانية، نأخذ العروة الخارجية ahdefga. (يمكن أن نختار بدلا منها العروة السفلية abcdefga). وهنا، نبدأ مرة أخرى من النقطة a. فيكون لدينا $V_{ha} = -(I_1)(30\,\Omega)$ و $V_{dh} = 0$. ولكن عندما تنتقل شحنة اختبار موجبة من d إلى e، فإنها تصعد في الحقيقة إلى أعلى التلة، عكس التيار، أو على الأقلّ عكس اتجاه التيار الافتراضي، وهو الذي يؤخذ بالحسبان في هذه الحسابات. لذا، فإنّ إشارة $V_{ed} = I_2(20\,\Omega)$ موجبة. وبطريقة مماثلة $V_{fe} = I_2(1\,\Omega)$ ويقلّ الجهد من f إلى g بمقدار 80 V لأنّنا ننتقل من طرف الجهد المرتفع للبطارية إلى الطرف المنخفض. لذلك، فإنّ $V_{gf} = -80$ V . أخيرًا $V_{ag} = 0$ ويكون مجموع التغيرات في الجهد حول هذه العروة

$$0 = 80 - I_2(20+1) + I_1 - 30 \qquad \text{(جـ)}$$

5. **حل المعادلات.** لدينا ثلاث معادلات (أ)، و(ب)، و(جـ) وثلاثة مجاهيل. ونجد من المعادلة (جـ) أن

$$I_2 = \frac{80 + 30I_1}{21} = 3.8 + 1.4I_1 \qquad \text{(د)}$$

ومن المعادلة (ب) نحصل على

$$I_3 = \frac{45 - 30I_1}{41} = 1.1 - 0.73I_1 \qquad \text{(هـ)}$$

ونعوض المعادلتين (د) و (هـ) في (أ)

$$I_1 = I_3 - I_2 = 1.1 - 0.73I_1 - 3.8 - 1.4I_1$$

بتجميع الحدود وحلّ المعادلة بالنسبة إلى I_1

$$3.1I_1 = -2.7$$
$$I_1 = -0.87\text{ A}$$

تشير إشارة السالب إلى أنّ اتجاه I_1 هو في الحقيقة عكس اتجاه التيار الذي افترض في بداية الحلّ المبين في (الشكل19-13) . لاحظ أنّ الجواب جاء تلقائيّا بوحدة الأمبير؛ لأنّ القيم جميعها كانت بوحدات الفولت والأوم. من المعادلة (د)

$$I_2 = 3.8 + 1.4I_1 = 3.8 + 1.4(-0.87) = 2.6\text{ A}$$

ومن المعادلة (هـ)

$$I_3 = 1.1 - 0.73I_1 = 1.1 - 0.73(-0.87) = 1.7\text{ A}$$

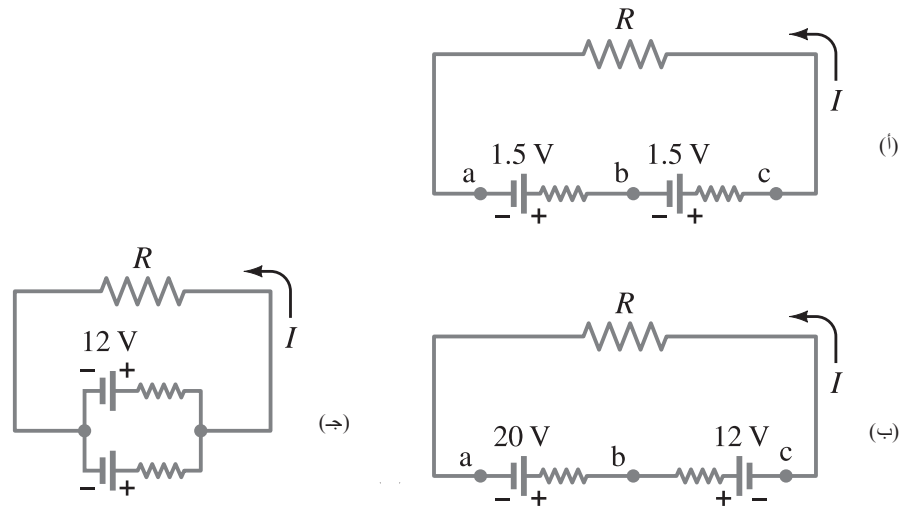
وهذا يكمل الحلّ.

ملحوظة: ليس من الضروري أن تكون المجاهيل في الحالات المختلفة هي التيارات، فقد تكون التيارات معلومة، ونقوم بالحلّ بالنسبة إلى مقاومة غير معلومة أو بالنسبة إلى الجهد.

التمرين جـ: اكتب المعادلة للعروة السفلية abcdefga في (المثال 19-8) وبين، على فرض أنّ التيارات معلومة في هذا المثال، أنّ الجهود تجمع إلى الصفر لهذه العروة السفلية.

4-19 * وصل مصادر EMF على التوالي والتوازي شحن بطارية

عند وصل مصدرين أو أكثر من مصادر emf، مثل بطاريات، على التوالي كما في (الشكل 19-14 أ)، فإنّ الجهد الكلي يساوي المجموع الجبري لجهود هذه المصادر. من جهة أخرى، وعند وصل بطاريتين إحداهما 20 V والأخرى 12 V بشكل معاكس، كما في (الشكل 19-14 ب)، فإنّ الجهد الكلي V_{ca} يساوي 8 V (أهمل الهبوط في الجهد بين أطرف المقاومات الداخلية). أي أنّ شحنة الاختبار التي تنتقل من a إلى b تكتسب جهدًا بمقدار 20 V، ولكن عندما تمر من b إلى c، فإنها تفقد جهدًا بمقدار 12 V. وعليه، فإنّ التغير الكلي يساوي $20\text{ V} - 12\text{ V} = 8\text{ V}$. قد تعتقد أنّ توصيل البطاريات بشكل معاكس كما سبق سيكون نوعًا من الهدر والإسراف، وهذا صحيح في أغلب الحالات. ولكن مثل هذا الترتيب المعاكس يبين بالضبط كيفية عمل بطارية الشحن. في (الشكل 19-14 ب) يقوم المصدر 20 V بشحن البطارية 12 V. ولأنّ الجهد بين طرفي المصدر 20V أكبر، فإنّه يجبر الشحنة كي تعود إلى البطارية 12V؛ تجبر الإلكترونات على الحركة نحو طرفها السالب وتنتزع من طرفها الموجب.

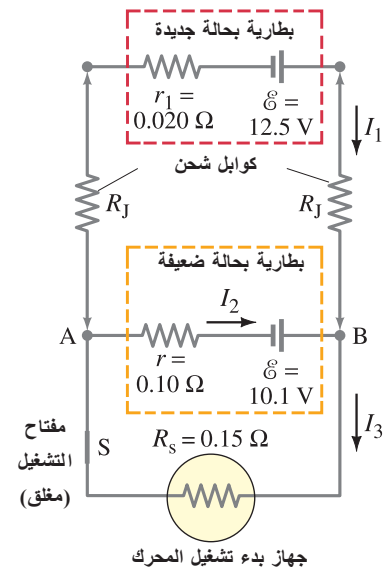


الشكل 19-14 بطاريات موصولة على التوالي (أ) و (ب)، وموصولة على التوازي (جـ).

يعمل المولد في السيارة على شحن البطارية بالطريقة نفسها. إذا وضع فولتميتر بين طرفي بطارية (12 V) سيارة في أثناء دوران المحرك بسرعة كافية، فإنّه قد يبين فيما إذا كان المولّد يشحن البطارية أم لا.

فإذا كان يقوم بشحنها، فإنّ قراءة الفولتميتر تكون 13 V أو 14V. أمّا إذا لم تشحن البطارية، فإنّ قراءة الفولتميتر تكون 12 V أو أقلّ إذا كانت البطارية تقوم بالتفريغ. يمكن إعادة شحن بطاريات السيارة، ولكن بعض البطاريات الأخرى لا يمكن إعادة شحنها لأنّ التفاعلات الكيميائية في العديد منها لا يمكن أن تنعكس. في مثل هذه الحالات، فإنّ التوصيل كما في (الشكل 19-14 ب) يكون –ببساطة- هدرًا للطاقة.

يمكن أيضًا توصيل مصادر الـ emf على التوازي كما في (الشكل 19-14 جـ)، وهذا التوصيل مفيد فقط إذا كانت الـ emf لهذه المصادر متساوية. لا يستخدم التوصيل على التوازي لزيادة الفولتية، بل لتزويد طاقة أكثر عندما تكون هناك حاجة إلى تيارات شدتها كبيرة. إنّ كل خلية من الخلايا الموصولة على التوازي تنتج جزءًا فقط من التيار الكلي. لذلك، فإنّ الطاقة المفقودة بسبب المقاومة الداخلية تكون أقلّ بالنسبة إلى الخلية الواحدة، وينتهي عمر التشغيل للبطاريات ببطء.



الشكل 19-15 (المثال 19-9) تشغيل سيارة بالشحن

المثال 19-9 تشغيل سيارة بالشحن

بطارية سيارة حالتها جيدة، تستعمل لتشغيل سيارة بطاريتها ضعيفة عن طريق الشحن. البطارية الجيدة قوتها الدافعة الكهربائية (12.5 V) emf ومقاومتها الداخلية 0.020 Ω. افرض أنّ البطارية الضعيفة قوتها الدافعة الكهربائية (10.1 V) emf ومقاومتها الداخلية 0.10 Ω. كلّ كيبل من الكوابل النحاسية المستخدمة في الشحن طوله 3.0 m وقطره 0.50 cm ويمكن وصله كما في (الشكل 19 - 15) . افرض أنّ جهاز بدء تشغيل المحرك يمكن أن يُمثل بمقاومة $R_s = 0.15\ \Omega$. جد التيار خلال هذا الجهاز إذا وصلت معه البطارية (أ) الضعيفة فقط. (ب) البطارية الجيدة أيضًا ، كما هو موضح في (الشكل 19-15) .

النّهج: نطبق قاعدتي كيرشوف، ولكن في (أ) نحتاج أولا إلى تحديد مقاومة كوابل الشحن مستعملا أبعادها المعطاة والمقاومية (للنحاس $\rho = 1.68 \times 10^{-8}\ \Omega \cdot \text{m}$) كما بينا في (البند 18-4) .

الحلّ: (أ) بوجود بطارية ضعيفة ودون وجود كوابل الشحن، تكون الدارة بسيطة؛ عبارة عن قوة دافعة كهربائية (emf = 10.1 V) موصولة مع مقاومتي توالٍ، 0.25 Ω = 0.15 Ω + 0.10 Ω. لذلك، فإنّ التيار يساوي $I = V/R = (10.1\,\text{V})/(0.25\,\Omega) = 40\,\text{A}$.

(ب) نحتاج إلى إيجاد مقاومة كوابل الشحن الموصولة مع البطارية الجيدة. ومن (المعادلة 18- 3) فإنّ كلّ كيبل له مقاومة

$$R_J = \rho L/A = (1.68 \times 10^{-8}\,\Omega\cdot\text{m})(3.0\,\text{m})/(\pi)(0.25 \times 10^{-2}\,\text{m})^2 = 0.0026\,\Omega$$

وبتطبيق قانون كيرشوف للعروة على العروة الخارجية كاملة، نجد أنّ

$$12.5\,\text{V} - I_1(2R_J + r_1) - I_3 R_S = 0$$

$$12.5\,\text{V} - I_1(0.025\,\Omega) - I_3(0.15\,\Omega) = 0 \qquad \text{(أ)}$$

لأنّ

$$(2R_J + r) = (0.0052\,\Omega + 0.020\,\Omega) = 0.025\,\Omega$$

وتعطي قاعدة العروة عند تطبيقها على العروة السفلية، بما فيها البطارية الضعيفة وجهاز بدء تشغيل المحرك، ما يلي:

$$10.1\,\text{V} - I_3(0.15\,\Omega) - I_2(0.10\,\Omega) = 0 \qquad \text{(ب)}$$

وبتطبيق قاعدة العقدة عند النقطة B، نجد أنّ

$$I_1 + I_2 = I_3 \qquad \text{(جـ)}$$

لدينا ثلاث معادلات بثلاثة مجاهيل. من (المعادلة جـ) $I_1 = I_3 - I_2$ وبتعويض ذلك في (المعادلة أ):

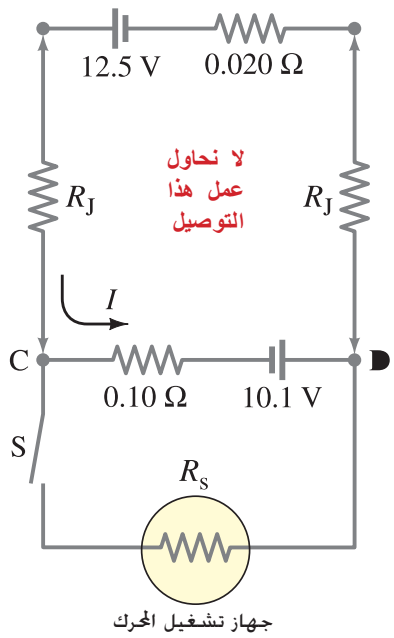
$$12.5\ \text{V}\text{-}(I_3\text{-}I_2)\ (0.025\Omega\ )\text{-}I_3(0.15\Omega\ )=0$$

$$12.5\,\text{V} - I_3(0.175\,\Omega) + I_2(0.025\,\Omega) = 0$$

وبتجميع هذه المعادلة مع (ب)، نحصل على $I_3 = 71\,\text{A}$، أفضل قليلا منه في (أ). التيارات الأخرى $I_2 = -5\text{A}$، و $I_1 = 76\text{A}$. لاحظ أنّ I_2 = -5 A وهو في الاتجاه المعاكس لذاك الذي افترض في (الشكل 15-19) . إنّ الجهد الطرفي للبطارية (10.1 V) الضعيفة يساوي

$$V_{BA} = 10.1\,\text{V} - (-5\,\text{A})(0.10\,\Omega) = 10.6\,\text{V}$$

ملحوظة: تبين الدارة التي في (الشكل 19-15) ، دون جهاز بدء تشغيل المحرك، كيفية شحن بطارية؛ فالبطارية ذات الفولتية الأكبر تدفع الشحنة لتعود إلى البطارية الضعيفة.



الشكل 19-16 (التمرين د)

تمرين د: إذا وصلت كوابل الشحن في (المثال 19-9) بالخطأ بطريقة عكسية، فإنّ الطرف الموجب لكلّ بطارية يكون موصولاً مع الطرف السالب للبطارية الأخرى (الشكل 19-16). ماذا يكون التيار I حتى قبل توصيل جهاز بدء تشغيل المحرك (المفتاح s في الشكل 19-16 غير مغلق)؟ لماذا يمكن أن يسبب ذلك انفجار البطاريات؟

5-19 دارات تحتوي على مواسعات موصولة على التوالي والتوازي

تمامًا كما يمكن توصيل المقاومات على التوالي أو على التوازي في دارة، يمكن كذلك توصيل المكثفات (الفصل 17). دعنا نبدأ أولاً بالتوصيل على **التوازي** كما هو مبين في (الشكل 19-17) . فإذا كان فرق الجهد V الذي تزوده البطارية للنقطتين a و b، فإنّ فرق الجهد هذا نفسه $V = V_{ab}$ يوجد أيضًا بين طرفي كلّ مواسع. أي أنّه، بما أنّ الألواح التي على الجهة اليسرى للمواسعات كلّها موصولة بواسطة موصلات، فإنّها تصل إلى الجهد V_a نفسه عند توصيلها مع البطارية، والألواح التي على الجهة اليمنى تصل إلى الجهد V_b. وكلّ لوح يكتسب شحنة تعطى بـ $Q_1 = C_1 V$ و $Q_2 = C_2 V$، $Q_3 = C_3 V$. وتساوي الشحنة الكلية التي يجب أن تغادر البطارية

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = C_1 V + C_2 V + C_3 V$$

دعنا نحاول إيجاد مواسع مكافئ وحيد يحمل الشحنة Q نفسها عند الجهد $V = V_{ab}$ ذاته. سوف تكون مواسعته C_{eq}، وتعطى بـ

$$Q = C_{eq} V$$

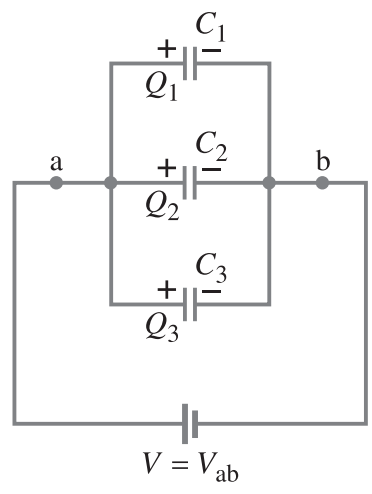
وبتجميع المعادلتين السابقتين، سنحصل على

$$C_{eq} V = C_1 V + C_2 V + C_3 V = (C_1 + C_2 + C_3)V$$

أو

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 \qquad \text{[توازي] (19 - 5)}$$

إنّ التأثير الكلي لتوصيل المكثفات على التوازي هو زيادة المكثفة. وهذا معقول؛ لأنّنا نقوم أساسًا بزيادة مساحة الألواح حيث تتراكم الشحنة (على سبيل المثال، انظر إلى المعادلة 17-8)



الشكل 19-17 مواسعات موصولة على التوازي: $C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3$

مواسعات موصولة على التوازي.

يمكن أيضًا توصيل المكثفات على **التوالي**، أي طرفا بطرف كما هو مبين في (الشكل 19-18) . تتدفق الشحنة $+Q$ من البطارية إلى أحد لوحي C_1، في حين تتدفّق الشحنة $-Q$ إلى أحد لوحي C_3، أما الحيزان A، و B بين المكثفات فهما متعادلان في الأصل. لذا، فإنّ الشحنة الكلية هناك يجب أن تبقى صفرًا. تجذب الشحنة $+$ التي على اللوح الأيسر للمواسع C_1 شحنة $-Q$ من على اللوح المقابل. وبما أنّ الشحنة الكلية للحيز A يجب أن تكون صفرًا، فإنّ هناك شحنة $+Q$ على اللوح الأيسر للمواسع C_2. ويمكن تطبيق هذا على المكثفات الأخرى بالطريقة نفسها. لذلك، نلاحظ أنّ الشحنة على لوح كلّ مواسع لها المقدار Q نفسه. المكثف الوحيد الذي يمكن أن يستبدل هذه المكثفات الثلاثة دون أن يؤثر في الدارة (أي أنّ Q، و V يبقيان كما هما) يجب أن تكون مواسعته C_{eq}، حيث

$$Q = C_{eq}V$$

ويجب أن يساوي الجهدُ الكلي V بين طرفي المكثفات الثلاثة الموصولة على التوالي مجموعَ الجهود بين طرفي كلّ مواسع كما يلي:

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

لدينا أيضًا لكلّ مواسع $Q=C_1V_1$، و $Q=C_2V_2$، و $Q=C_3V_3$. وبالتعويض بالنسبة لِـ V، و V_1، و V_2، و V_3 في المعادلة الأخيرة، نحصل على

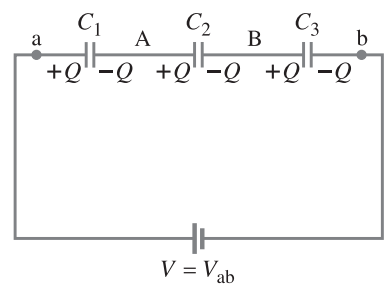
$$\frac{Q}{C_{eq}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} = Q\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}\right)$$

أو

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \qquad \text{[توالي] (6-19)}$$

لاحظ أنّ المكثفة المكافئة C_{eq} أصغر من أصغر مواسع للمواسعات الموصولة على التولي. لاحظ كذلك أنّ معادلتي توصيل المكثفات على كلٍّ من التوالي والتوازي هما عكس نظيرتيهما بالنسبة إلى المقاومات؛ أي أنّ الصيغة التي للمواسعات الموصولة على التوالي تشبه الصيغة التي للمقاومات الموصولة على التوازي.

الشحنة لكلّ مواسع موصول على التوالي هي نفسها.



الشكل 19-18 مواسعات موصولة على التوالي

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

المكثفات الموصولة على التوالي (تجمع كمقلوب)

تنويه:

تشبه صيغةُ المكثفات الموصولة على التوالي صيغةَ المقاومات الموصوله على التوازي.

المثال 19-10 **المكثفة (السعة) المكافئة**

حدد سعة المكثف الوحيد الذي سيكون له التأثير نفسه لمجموعة المكثفات المبينة في (الشكل 19-19أ). افترض أنّ $C_1 = C_2 = C_3 = C$.

النّهج: نجد أولًا السعة المكافئة للمواسعين C_2، و C_3 الموصولين على التوازي، ثمّ نفترض أنّ هذه السعة موصولة على التوالي مع المكثف C_1.

الحلّ: المكثفان C_2، و C_3 موصولان على التوازي. لذا، فهما يكافئان مواسعًا وحيدًا سعته:

$$C_{23} = C_2 + C_3 = 2C$$

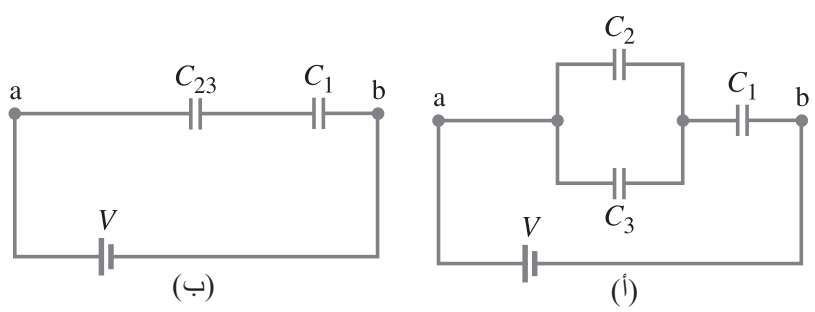
هذا المكثف موصول على التوالي مع C_1، (الشكل 19-19ب). لذا، فإنّ السعة المكافئة للدارة كلّها تعطى بِـ:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_{23}} = \frac{1}{C} + \frac{1}{2C} = \frac{3}{2C}$$

أي أنّ السعة المكافئة للمجموعة كلّها هي $C_{eq} = \frac{2}{3}C$، وهي أصغر من سعة أيٍّ من المكثفات الموجودة في الدارة $C_1 = C_2 = C_3 = C$.

توجيه لحلّ الأسئلة.

تذكر أن تأخذ المقلوب



الشكل 19-19
(المثالان 19-10، و 19-11)

* مثال إضافي- حساب الشحنة والجهد

المثال 19-11 الشحنة على مواسع وفرق الجهد بين طرفيه

حدد الشحنة على كلّ مواسع في (الشكل 19-19أ، للمثال 19-10)، وفرق الجهد بين طرفي كلّ منها. افرض أنّ $C = 3.0\,\mu\text{F}$ وفولتية البطارية $\text{V}=4.0\text{ V}$.

النّهج: سنقوم بحلّ المثال بخطوات عكسية من خلال (المثال 19-10) . أي إيجاد الشحنة Q التي تغادر البطارية باستعمال السعة المكافئة. ثم نجد الشحنة التي على كلّ مواسع، وفرق الجهد بين طرفي كلّ منها. استعمل في كلّ خطوة (المعادلة 17-7) ، $Q=C\text{V}$.

الحلّ: فكر في البطارية 4.0 V على أنها موصولة مع السعة C_{eq}، حيث

$$C_{\text{eq}} = \frac{2}{3}C = \frac{2}{3}(3.0\mu\text{ F}) = 2.0\mu\text{ F}$$

لذا، فإنّ الشحنة Q التي تغادر هذه البطارية- من (المعادلة 17-7) -تساوي

$$Q = CV = (2.0\,\mu\text{F})(4.0\text{ V}) = 8.0\,\mu\text{C}$$

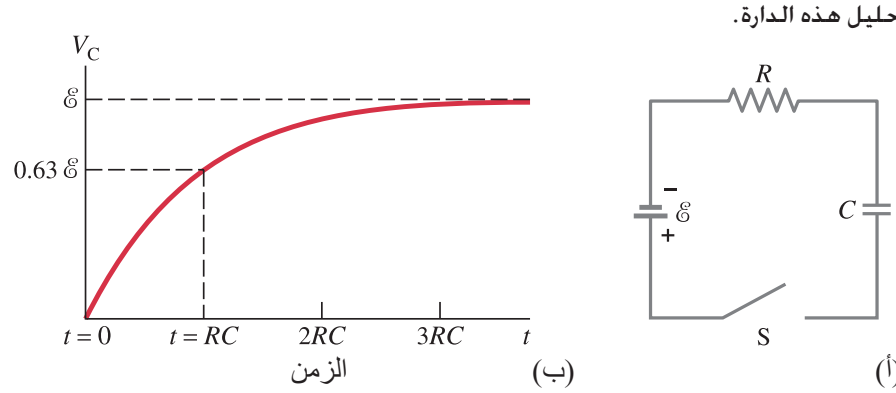
ومن (الشكل 19-19أ)، تصل هذه الشحنة إلى اللوح السالب للمواسع C_1. وعليه، فإنّ $Q_1=8.0\,\mu C$ ولهذا، فإنّ الشحنة Q التي تغادر اللوح الموجب سوف تتجزأ بالتساوي بين C_2، و C_3 (تماثل: $C_3= C_2$) وتساوي $Q_2 = Q_3 = \frac{1}{2}Q = 4.0\,\mu\text{C}$. كما أنّ فرق الجهد بين طرفي C_2 و C_3 يجب أن يكون متساويًا. ويتم الحصول على فرق الجهد بين طرفي كلّ مواسع باستخدام العلاقة $V=Q/C$، لذلك نجد أنّ

$$V_1 = Q_1/C_1 = (8.0\,\mu\text{C})/(3.0\,\mu\text{F}) = 2.7\text{ V}$$
$$V_2 = Q_2/C_2 = (4.0\,\mu\text{C})/(3.0\,\mu\text{F}) = 1.3\text{ V}$$
$$V_3 = Q_3/C_3 = (4.0\,\mu\text{C})/(3.0\,\mu\text{F}) = 1.3\text{ V}$$

6-19 دارات RC- وصل مقاومة ومواسع على التوالي

دارات RC

في أغلب الأحيان توجد المقاومات والمكثفات مع بعضها في الدارة الكهربائية. مثل دارات ***RC*** التي تستعمل للتحكم في ماسحات زجاج السيارة، وتوقيت إشارات المرور، كما أنها تستعمل أيضًا في وميض آلة التصوير، وفي جهاز تنظيم نبضات القلب، وفي الكثير من الأجهزة الإلكترونية الأخرى أيضًا. في دارات RC، لا نهتم في حالة الاستقرار النهائية للجهد والشحنة التي على المكثف، ولكن ينصب اهتمامنا على كيفية تغير هذه المتغيرات مع الزمن. يوضح (الشكل 19-20أ) مثالاً بسيطًا لدارة RC. وسنقوم الآن بتحليل هذه الدارة.



الشكل 19-20 لدارة RC الموضحة في (أ)، يزداد فرق الجهد بين طرفي المكثف مع الزمن، كما هو موضح في (ب)، وذلك بعد أن يغلق المفتاح s.

شحن المكثف

عندما يغلق المفتاح S، يبدأ التيار في الحال بالتدفق خلال الدارة. تتدفق الإلكترونات من الطرف السالب للبطارية، خلال المقاومة R، وتتجمع على اللوح العلوي للمواسع. وتتدفق الإلكترونات كذلك إلى الطرف الموجب للبطارية، وتترك اللوح الآخر للمواسع موجب الشحنة. كلما تراكمت الشحنة على المكثف يزداد فرق الجهد $(\text{V}=Q/C)$ بين طرفيه، ويقل التيار حتى يصبح فرق الجهد بين طرفيه مساويًا للقوة الدافعة الكهربائية $\mathcal{E}$ للبطارية أخيرا. وعندها، لا يوجد أيّ فرق جهد بين طرفي المقاومة، ولا يتدفق أيّ تيار في الدارة. ومع مرور الزمن، يزداد فرق الجهد بين طرفي المكثف، وهو يتناسب طرديًا مع الشحنة التي على المكثف $(V_C=Q/C$، معادلة 17-7)، كما في (الشكل 19-20ب). إنّ الشكل الحقيقي لهذا المنحى هو من النوع الأسّيّ. ويعطى بالصيغة * التالية:

$$V_C = \mathcal{E}(1 - e^{-t/RC})$$

تنويه:

لا تخلط بين e الأسية و e شحنة الالكترون

حيث استخدمنا الرمز السفلي c ليذكرنا بأنّ V_C هو فرق الجهد بين طرفي المكثف، والذي يعطى هنا كدالة في الزمن t.[يُعرّف الثابت e على أنه الأساس للوغاريتم الطبيعي، وقيمته $e=2.718\ldots$ لاتخلط بين هذا الرمز وذاك الذي لشحنة الإلكترون e.]

* يستخدم حساب التفاضل والتكامل في الاشتقاق

يمكن أيضًا كتابة صيغةٍ مماثلةٍ للشحنة $Q\,(=CV_C)$ التي على المكثف

$$Q = Q_0(1 - e^{-t/RC}),$$

حيث تمثّل Q_O القيمة القصوى للشحنة.

يُسَمّى حاصلُ ضرب المقاومة R في المكثفة C، الذي يظهر في الأسّ **ثابتَ الزمن** τ للدارة.

ثابت الزمن τ=RC

$$\tau = RC \tag{7-19}$$

إنّ ثابت الزمن هو مقياس للسرعة التي يصبح خلالها المكثف مشحونًا. [وحدة قياس RC هي $\Omega\cdot F = (V/A)(C/V) = C/(C/s) = s$] ويمكن - بشكل محدد- إثبات أنّ حاصل الضرب RC يعطي الزمن اللازم حتى يصل فرق الجهد بين طرفي المكثف (أو الشحنة التي عليه) إلى 63%، من القيمة القصوى. ويمكن اختبار* ذلك باستخدام أيّ آلة حاسبة تشتمل على مفتاح e^x: $e^{-1}=0.37$. لذلك، عندما $t = RC$، سنجد أن $(1 - e^{-t/RC}) = (1 - e^{-1}) = (1 - 0.37) = 0.63$. على سبيل المثال في الدارة التي تكون فيها $R=200k\ \Omega$ و $C=3.0\mu F$، نجد أنّ ثابت الزمن يساوي $(2.0 \times 10^5\Omega)(3.0 \times 10^{-6}\text{F}) = 0.60\text{s}$ فإذا كانت المقاومة أصغر بكثير، فإنّ ثابت الزمن يكون أيضًا أصغر بكثير. وعليه، فإنّ المكثف يشحن بشكل لحظي تقريبًا. وهذا منطقي؛ لأنّ المقاومة الصغيرة تبدي ممانعة قليلة لتدفق الشحنة. تحتوي الدارات جميعها على بعض المقاومة (حتى ولو كانت في أسلاك التوصيل فقط). لذا، لا يمكن أبدًا شحن المكثف بشكل لحظي عند وصله مع بطارية.

تشتمل الدارة التي درستها الآن على شحن مواسع بواسطة بطارية ومن خلال مقاومة. دعنا الآن ننظر إلى الحالة الأخرى الآتية: مواسع مشحون مسبقًا (مثلاً شحنته Q_0، وفرق الجهد بين طرفيه V_0)، سُمح له بالتفريغ خلال مقاومة R كما هو مبين في (الشكل 19-21أ). (في هذه الحالة لا توجد بطارية في الدارة) عندما يغلق المفتاح s، تبدأ الشحنة بالتدفق من أحد لوحي المكثف خلال المقاومة R باتجاه اللوح الآخر، حتى يفرغ المكثف تمامًا. يقل فرق الجهد بين طرفي المكثف، كما هو مبين في (الشكل 19-21 ب). ويعطى منحنى الانحلال الأسّيّ هذا بالعلاقة الآتية:

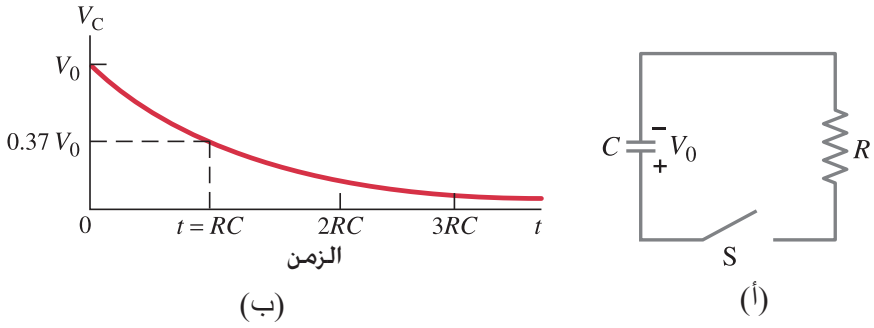
تفريغ المكثف

$$V_C = V_0 e^{-t/RC}$$

حيث V_0 فرق الجهد الابتدائي بين طرفي المكثف. يهبط الجهد بمقدار 63% في طريقه إلى الصفر (إلى $0.37V_0$) في زمن مقداره $\tau = RC$. بما أنّ الشحنة Q على المكثف تساوي $Q=CV$. لذلك، يمكن كتابة ما يلي:

$$Q = Q_0 e^{-t/RC}$$

بالنسبة إلى تفريغ المكثف، حيث تمثل Q_0 الشحنة الابتدائية على المكثف.



(ب) (أ)

الشكل 19-21 بالنسبة إلى دارة RC الموضحة في (أ)، يقل فرق الجهد V_C بين طرفي المكثف مع مرور الزمن، كما هو مبين في (ب) بعد أن يغلق المفتاح. الشحنة التي على المكثف تتبع المنحنى نفسه؛ لأنّ $Q \propto V$.

المثال 19-12 **تفريغ دارة *RC*.**

إذا وصل مواسع مشحون سعته $C = 35\,\mu\text{F}$ إلى مقاومة $R = 120\,\Omega$، كما في (الشكل 19-21أ). فكم الوقت اللازم لهبوط الجهد إلى 10% من قيمته الأصلية (القصوى)؟

النّهج: يقلّ الجهد بين طرفي المكثف حسب العلاقة $V_C = V_0 e^{-t/RC}$.

نضع $V_c = 0.10V_o\ (10\%V_o)$، و لكن نحتاج أولاً إلى حساب $\tau = RC$

* ببساطة أكثر، بما أنّ $e = 2.718$، فإنّ $e^{-1} = 1/e = 1/2.718 = 0.37$. لاحظ أنّ e هي العملية العكسية للوغاريتم الطبيعي $\ln(e) = 1$, and $\ln(e^x) = x$

الحلّ: يعطى ثابت الزمن لهذه الدارة كما يلي:

$$\tau = RC = (120\,\Omega)(35 \times 10^{-6}\,\mathrm{F}) = 4.2 \times 10^{-3}\,\mathrm{s}$$

بعد مرور الزمن t، فإنّ فرق الجهد بين طرفي المكثف سيكون

$$V_C = V_0\left(e^{-t/RC}\right)$$

والآن، علينا معرفة الزمن الذي يصبح عنده $V_C = 0.10V_0$. بتعويض ذلك في المعادلة أعلاه، نجد أنّ

$$0.10V_0 = V_0\,e^{-t/RC}$$

وعليه، فإنّ

$$e^{-t/RC} = 0.10$$

العملية العكسية للأسّ e هي اللوغاريتم الطبيعي ln. لذلك، فإنّ

$$\ln\left(e^{-t/RC}\right) = -\frac{t}{RC} = \ln 0.10 = -2.3$$

وبحلّ المعادلة بالنسبة إلى t، نجد الزمن الذي سينقضي

$$t = 2.3(RC) = (2.3)(4.2 \times 10^{-3}\,\mathrm{s}) = 9.7 \times 10^{-3}\,\mathrm{s}$$

أو 9.7 ms.

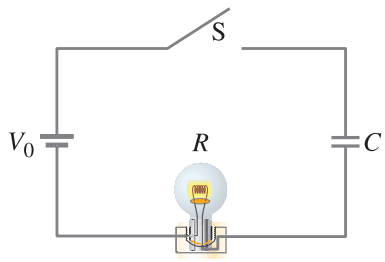
ملحوظة: يمكن إيجاد الزمن لأيّ فرق جهد محدد بين طرفي المكثف باستعمال العلاقة $t = RC\ln(V_0/V_C)$.

تمرين هـ: إذا استخدم المكثف 35-μF نفسه الذي في (مثال 12-19)، ما قيمة المقاومة R التي تحدث هبوطًا في الجهد يساوي 10% V_0 خلال ثانية واحدة؟

المثال المفاهيمي 19-13 مصباح كهربائي في دارة RC

في دارة RC الموضحة في (الشكل 19-22)، المكثف غير مشحون أصلا. صف سلوك المصباح منذ لحظة إغلاق المفتاح s وحتى فترة زمنية طويلة لاحقة.

الإجابة: عندما يغلق المفتاح أولاً، تكون شدة التيار في الدارة كبيرة ويضيء المصباح. وكلّما زادت الشحنة على المكثف يزداد فرق الجهد بين طرفيه، ويقل التيار في الدارة مما يتسبب في خفوت ضوء المصباح. وعندما يقترب فرق الجهد بين طرفي المكثف من ذاك الذي للبطارية، يقلّ التيار مقتربًا من الصفر. وأخيرًا، يُطفأ المصباح.



الشكل 19-22 (المثال 19-13)

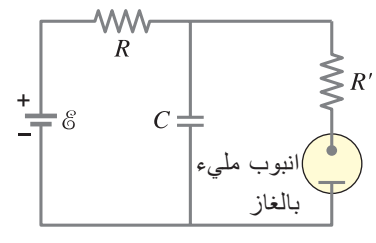
* التطبيقات الطبية والأخرى لدارات RC

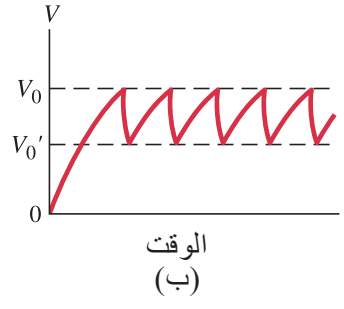
يمكن استخدام شحن دارات RC وتفريغها في توليد ذبذبات فولتية ذات تردد منتظم. تزداد الشحنة على المكثف حتى تصل الفولتية إلى قيمة معينة، ثم تفرغ شحنة المكثف. هناك طريقة بسيطة لجعل المكثف يبدأ بالتفريغ باستخدام أنبوب مليء بالغاز، ينهار كهربائيّا عندما يصل فرق الجهد بين طرفيه إلى قيمة معينة V_0. وبعد أن ينتهي التفريغ، يتوقف الأنبوب عن توصيل التيار. وتكرر عملية إعادة الشحن نفسها بالبدء من جهد منخفض V_0. يبين (الشكل 19-23) دارة ما، حيث تنتج جهدًا كسنّ المنشار.

وقد يكون مصباح الضوء الوميضي أحد تطبيقات دارة توليد ذبذبة سنّ المنشار. في هذه الحالة تعمل البطارية كمصدر للقوة الدافعة الكهربائية (emf)، ويومض أنبوب التفريغ (مصباح النيون) بمعدل ربّما يساوي دورة واحدة لكلّ ثانية. إنّ الجزء الأساسيّ في وحدة الوميض هذه، هو مواسع كبير بشكل معتدل.

تطبيق الفيزياء

جهد سنّ المنشار الضوء الوميضي





الشكل 19-23 (أ) دارة RC موصولة مع أنبوب مليء بالغاز يعمل كمفتاح، يمكن لهذه الدارة توليد جهد متكرر مثل سنّ المنشار، كما هو مبين في (ب).

يمكن أن تستعمل دارة *RC* أيضًا في موقّت نظام ماسحات الزجاج الأمامي للسيارات. حيث يحدد ثابت الزمن *RC* عدد المرات التي تتحركها الماسحات. يتم التحكم بهذا العدد من خلال مفتاح ذي مواقع متعددة لإعطاء قيم مختلفة للمقاومة *R* مع ثبات *C*.

يعدّ جهازُ تنظيم نبضات القلب الإلكتروني الاستعمالَ الطبي المهم لدارة *RC*. حيث يحفّز القلب المتوقف للنبض مرة أخرى وذلك بتطبيق محفز كهربائي من خلال أقطاب كهربائية موصولة مع صدر المريض. يمكن تكرار التحفيز بالمعدل الطبيعي لنبضات القلب إذا كان ذلك ضروريًّا. يحتوي القلب نفسه على خلايا لتنظيم نبضاته التي ترسل ذبذبات كهربائية صغيرة جدا بمعدل من 60 إلى 80 ذبذبة في كل دقيقة. تحث هذه الذبذبات على بدء كل نبضة من نبضات القلب. في بعض أمراض القلب يفشل منظم القلب الطبيعي في أداء وظيفته بشكل صحيح. وبالتالي، يفقد القلب نبضه. يستعمل مثل هؤلاء المرضى جهاز تنظيم نبضات القلب الإلكتروني الذي ينتج بشكل منتظم ذبذبة جهد تجعل القلب ينبض، وتتحكم أيضًا في تكرار نبضاته. تزرع الأقطاب الكهربائية في القلب أو بالقرب منه كما في (الشكل 19-24). وتحتوي الدارة على مواسع ومقاومة. تزداد الشحنة على المكثف إلى حد معين ثم تفرغ. ومن ثمّ يبدأ بالشحن مرة أخرى. يعتمد معدل التذبذب على قيم *R*، و *C*.

تطبيق الفيزياء
ماسحات زجاج السيارات

تطبيق الفيزياء
جهاز تنظيم نبضات القلب

الشكل 19-24 بطارية إلكترونية تزود جهاز تنظيم نبضات القلب بالطاقة، كما تظهر في صورة أشعة X للقفص الصدري لمريض.

تطبيق الفيزياء
خط الكهرباء

19-7 الأخطار الكهربائية

يمكن أن تعمل زيادة شدة التيار على تسخين أسلاك الكهرباء في البنايات ويتسبب في حدوث حريق. كما وضّحْنَا ذلك في (البند 18-6) . ويمكن أن يؤدّي التيار الكهربائي أيضًا إلى إلحاق الضرر بجسم الإنسان، أو قد يكون قاتلاً . إنّ مرور التيار الكهربائي خلال جسم الإنسان قد يسبب الأذى بطريقتين هما: 1- يعمل التيار الكهربائي على تسخين الأنسجة، وبالتالي يمكن أن يتسبب في احتراقها. 2- يحفز التيار الكهربائي الأعصاب والعضلات (التي تعمل كهربائيا، كما لاحظنا في البندين 11-17 و 10-18) ونشعر بالصدمة الكهربائية. تعتمد شدة الصدمة على مقدار التيار، وفترة تأثيره، والجزء من الجسم الذي تمر فيه. إن التيار الذي يمر في الأعضاء الحيوية مثل القلب أو الدماغ يمثل خطرًا حقيقيا؛ لأنه قد يتداخل مع عمل هذه الأعضاء.

يشعر أغلب الناس بالتيار الكهربائي عندما تكون شدته حوالي 1mA. أما التيارات التي تكون شدتها في حدود عدد قليل من mA، فإنها تسبب آلاما، ولكنها نادرًا ما تسبب ضرار كبيرا للإنسان السليم. تسبب التيارات التي تكون شدتها أكثر من 10mA تقلصا شديدا في العضلات، وقد لا يتمكن الشخص التخلص من مصدر التيار (كجهاز كهربائي أو سلك معرّى). ويمكن حدوث الوفاة بسبب شلل الجهاز التنفسي. ومع ذلك، يمكن استعمال التنفس الاصطناعي لإنعاش المصاب. أما إذا مر تيار شدته أكبر من حوالي 80-100mA خلال الجذع بحيث يمر جزء منه خلال القلب لأكثر من ثانية أو ثانيتين، فإنّ عضلات القلب تبدأ بالانقباض بشكل غير منتظم وبالتالي، فإنّ الدم لا يضخّ بالشكل المطلوب. تُسَمّى هذه الحالة بالانقباض العضلي البُطيني. وهي تؤدي إلى الوفاة إذا استمرت لفترة زمنية طويلة. والغريب أنه إذا كان التيار أكبر من ذلك بكثير (في حدود 1 A)، فإن الوفاة بسبب عجز القلب ليست مرجحة*، ولكن قد تسبب مثل هذه التيارات حروقا خطيرة، وخاصة إذا كانت في مساحة صغيرة من الجسم.

تعتمد خطورة الصدمة الكهربائية على الجهد المؤثر، وعلى المقاومة الفاعلة للجسم أيضًا. فالنسيج الحيّ قليل المقاومة؛ لأن السائل في الخلايا يحتوي على أيونات يمكنها توصيل الكهرباء بشكل جيد. وعلى أيّ حال، فإنّ مقاومةَ الطبقة الخارجية للجلد كبيرةٌ عندما تكون جافة، لذا فإنّها تحمي الجسم. عندما يكون الجلد جافا، تكون المقاومة الفاعلة بين نقطتين على جانبين متقابلين من الجسم في حدود $10^4\ \Omega$ إلى $10^6\ \Omega$. ولكن عندما يكون الجلد رطبًا، فإن المقاومة تصل إلى $10^3\ \Omega$ أو أقل.

* يبدو واضحًا أن التيارات الكبيرة تؤدي إلى توقف القلب بشكل تام. وعندما يتوقف التيار، يعود القلب إلى إيقاعه الطبيعي. وقد لا يحدث ذلك عندما يحدث الانقباض العضلي؛ لأنه حالما يبدأ ، يصعب توقفه. وقد يحدث الانقباض العضلي أيضًا نتيجة للنوبة القلبية أو خلال جراحة القلب. يمكن استعمال جهاز يسمى مانعَ الانقباض العضلي لتزويد القلب بتيار كبير لفترة قصيرة، وبسبب ذلك توقف القلب بشكل تام، ويتبع ذلك عادة عمل القلب بشكل طبيعي.

إنّ الشخص الذي يكون حافي القدمين أو نعل حذائه رقيقًا، يكون على اتصال مباشر مع الأرض. وعندما يلامس خط جهد 120- V ويده رطبة ينتج من ذلك تيار شدته

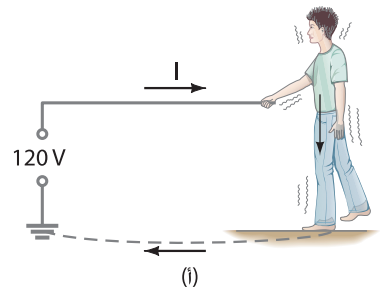
$$I = \frac{120\ \text{V}}{1000\ \Omega} = 120\ \text{mA}$$

وكما رأينا سابقًا، فإنّ هذا التيار قد يكون مميتًا.

إنّ الشخص الذي يتعرض للصدمة الكهربائية يصبح جزءًا من دارة كاملة. يبين (الشكل 19-25) طريقتين يمكن من خلالهما أن تكتمل الدارة. فعندما يلامس شخصٌ ما فجأةً سلكَ كهرباء ذا جهد مرتفع مثل 120 V (الجهد الكهربائي المنزلي) بالنسبة إلى الأرض، فإنّ الجانب الآخر من أسلاك التوصيل في البناية موصول مع الأرض، إمّا من خلال سلك يوصل مع موصل مخفي في الجدران، أو من خلال أنبوب يصل إلى الأرض. في (الشكل 19-25أ) يمر التيار من سلك الجهد المرتفع، خلال الشخص، إلى الأرض من خلال قدميه الحافيتين، ويعود من خلال الأرضية (موصل جيد) إلى طرف التأريض للمصدر. أمّا إذا كان الشخص واقفًا على عازل جيد- كأن يكون نعل حذائه مصنوعًا من المطاط السميك، أو واقفًا على أرضية خشبية جافة- فإنّ مقاومة الدارة أكبر بكثير. وعليه، فإنّ شدّة التيار المار خلال الشخص قليلة. ولكن إذا وقف الشخص حافي القدمين على الأرض، أو كان في حوض الاستحمام، فإنّ هناك خطرًا مميتًا؛ لأنّ المقاومةَ قليلةٌ وشدّة التيار كبيرة؛ ففي حوض الاستحمام (أو حوض السباحة) لا يكون جسمك رطبًا فقط، ولكن الماء أيضًا متصل من خلال أنبوب التصريف مع الأرض. ولذلك يُوصى بعدم لمس أي شيء كهربائي عندما تكون مبلولا أو حافي القدمين. في (الشكل 19-25 ب) يلمس شخص سلكًا ذا جهد مرتفع معرّى بإحدى يديه، ويلمس باليد الأخرى صنبور ماء (موصول مع الأرض من خلال الأنبوب). هذا التيار خطير جدًّا؛ لأنّه يمرّ خلال الصدر عبر القلب والرئتين. وإليك طريقة تمت تجربتها: إذا لمست إحدى يديك شيئًا ما كهربائيًّا، فاجعل يدك الأخرى في جيبك (لا تستعملها) وانتعل حذاء نعله مصنوع من المطاط السميك. وهناك فكرة جيدة أيضًا وهي إزالة المجوهرات المعدنية وخصوصًا الخواتم (عادة، يكون الجزء من الأصبع الذي تحت الخاتم رطبا).

يمكن أن يوصل جسمك مع سلك ذي جهد مرتفع عن طريق لمس سلك مُعرّى بَليت المادة العازلة التي عليه، أو من خلال سلك مُعرّى داخل جهاز كهربائي عندما تحاول إصلاحه. (دائمًا، افصل التيار عن الجهاز الكهربائي قبل التحقق منّا في داخله) وهناك احتمالية أخرى هي أن ينقطع سلك في الجهاز، أو يفقد المادة العازلة التي عليه ويصبح موصولاً مع هيكل الجهاز. إذا كان الهيكل معدنيا، فإنه يوصل الكهرباء. ويمكن أن يتعرض الشخص لصدمة كهربائية شديدة عند لمس هيكل الجهاز، كما هو موضح في (الشكل 19-26 ب). لتجنب مثل هذا الحادث؛ فإن الهياكل المعدنية من المفترض أن توصل مباشرة مع الأرض بواسطة سلك تأريض منفصل. عندها، إذا لمس سلكٌ ذو جهد مرتفع هيكلَ جهاز موصول مع الأرض، فإنّ الدارة تقصر تلقائيًّا ، كما هو مبين في (الشكل 19-26 جـ) ويمرّ أغلب التيار في سلك التأريض الذي مقاومته صغيرة بدلًا من مروره خلال الشخص. علاوة على ذلك، فإن التيار الذي شدته كبيرة، يجب أن يؤدي إلى فتح صمام الأمان أو قاطع الدارة.

* يمكن أن تصاب بصدمة سيئة من مكثف لم يتم تفريغه قبل أن تلامسه.



(أ)

(ب)

الشكل 19-25 يتعرض الشخص لصدمة كهربائية عندما تكتمل الدارة.

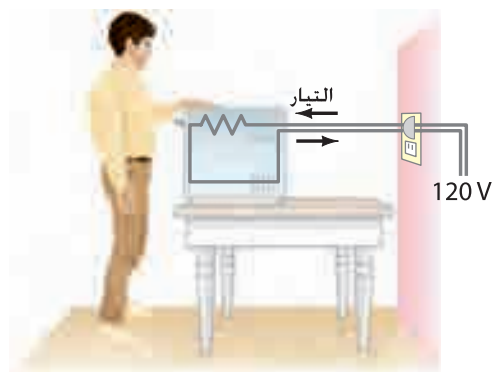
تنويه:

عندما تلمس إحدى يديك الكهرباء، اجعل يدك الأخرى في جيبك.

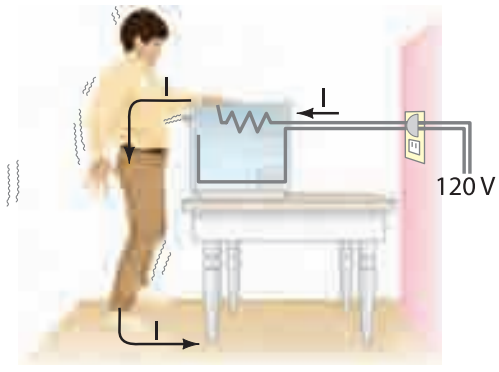
تطبيق الفيزياء

التأريض والصدمات

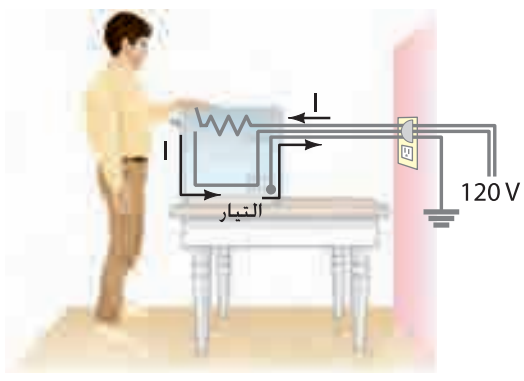
الشكل 19-26 (أ) فرن كهربائي يعمل طبيعيا عند توصيله مع مفتاح ثنائي لمصدر كهربائي. (ب) تقصر الدارة للحالة التي لا يكون فيها الهيكل موصولا مع الأرض: صدمة كهربائية. (جـ) تقصر الدارة للحالة التي يكون فيها الهيكل موصولا مع الأرض من خلال قابِس ثلاثي.



(أ)



(ب)



(جـ)

يتمّ تأريض الهيكل المعدني لجهاز بواسطة سلك تأريض منفصل وموصول مع الشعبة الأسطوانية الثالثة للقابس ثلاثي الأطراف (الشكل 19-27 أ). لا تقطع الشعبة الثالثة للقابس؛ فقد يكون هذا قاتلا.

لماذا نحتاج إلى السلك الثالث؟ ينقل الجهد 120 V بواسطة السلكين الآخرين؛ أحدهما ذو جهد **مرتفع** (120 V *ac*) والآخر **محايد**، وهو نفسه موصول مع الأرض*. قد يبدو سلك التأريض الثالث الموصول مع الشعبة الأسطوانية للقابس على أنّه زائد عن الحاجة. ولكنّه يوفّر الحماية لسببين هما: 1- يحمي من التوصيلات الداخلية التي قد تكون موصولة بشكل غير صحيح. 2- يمر التيار العادي في السلك المحايد (التيار الذي يعود من المصدر 120 V) الذي له مقاومة. لذا، فقد يكون هناك هبوط في الجهد على طول هذا السلك؛ في العادة يكون قليلًا. ولكن إذا كانت التوصيلات رديئة، أو مغطاة بالصدأ، أو أن القابس ليس موصولا بشكل جيد مع مصدر الجهد، فإنّ المقاومة يمكن أن تكون كبيرةً بما فيه الكفاية، بحيث إنّك قد تتأثر بذلك الجهد إذا لمست السلك المحايد من مسافةٍ ما من نقطة تأريضه.

إنّ بعض الأجهزة الكهربائية ذات سلكين فقط. ولكن عرض كل شعبة من شعبتي القابس يكون مختلفًا، ويمكن أن يدخل القابس في مخرج التيار بحيث يتصل المحايد (الشعبة التي يكون عرضها أكبر) المقصود في الجهاز مع المحايد في توصيلات الأسلاك. فعلى سبيل المثال، يقصد من التسنينات اللولبية للمصباح الكهربائي أن تكون موصولة مع المحايد (وتوصل القاعدة مع السلك ذي الجهد المرتفع) لتجنب الصدمة الكهربائية عند تبديل المصباح. والهيكل المعدني للجهاز ذات القابس ثنائي الشعبة لا يكون موصولا مع الأرض. ولذلك، يجب أن يكون العزل الكهربائي في مثل هذه الأجهزة مضاعفًا. وفي الأحوال جميعها، يجب أن تكون حذرًا للغاية.

قد يكون العازل الذي على السلك ذا تشفير لونيّ. الأسلاك الرئيسة في أجهزة القياس المحمولة يدويا قد تكون حمراء اللون (ذات جهد مرتفع) وسوداء اللون (موصولة مع الأرض). أما في المنازل، فيكون السلك الأسود عادة ذا جهد مرتفع (أو قد يكون السلك الأحمر اللون) في حين أن اللون الأبيض هو المحايد، والسلك الأخضر هو المخصص للتوصيل مع الأرض.

ولكن احذر: هذا التشفير اللوني لا يمكن الوثوق به دائمًا. توفر قواطع الدارة العادية (كما في البندين 18-6 و 20-7) الحماية للأجهزة الكهربائية والبنايات من الحمل الزائد وخطر الاشتعال.وتوفر أيضًا الحماية للبشر في بعض الحالات، مثل التيارات التي شدتها كبيرة الناجمة من قِصر الدارة، أو عطل فيها إذا كانت استجاباتها سريعة بما فيه الكفاية. تصمم قواطع التفريغ الأرضي الخاطيء في ¬التأريض- وضحت في (البند 8-21) لحماية الناس من التيارات

(10mA إلى 100mA) التي شدتها أقل بكثير من شدة التيارات القاتلة، ولكنها لا تجعل الدارة التي يمر فيها تيار شدته 15 A مفتوحة، أو تؤدي إلى حريق صمام أمان يتحمل تيار شدته 20 A.

* في الولايات المتحدة، يدخل إلى المنزل ثلاثة أسلاك من شركة الكهرباء؛ سلكان جهدهما مرتفع(حاميان) كلّ منهما 120 V (تشكلان ما مجموعه 240 V لتشغيل الأدوات أو الأجهزة التي تعمل على جهد 240 V) بالإضافة إلى السلك المحايد الذي يوصل مع الأرض (يحمل التيار الذي يعود من السلكين الحاميين). انظر في الأسفل إلى (الشكل 19-28). السلك المخصص للتوصيل مع الأرض (لا يتحمل تيارا كهربائيا) هو السلك الرابع الذي يدخل البيت من وتد ثقيل مثبت في الأرض ومطمور، أو من خلال أنبوب معدني مخفي. أي أنّ السلك الرابع ليس من شركة الكهرباء.

(أ)

(ب)

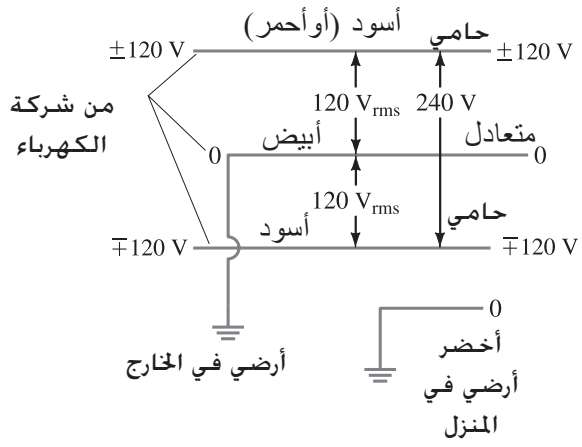
(ج)

الشكل 19 - 27 (أ) الشعب الثلاثة (ب) وصلة (رمادية اللون) لمخارج ثنائية من النوع القديم- تأكد من تثبيت الشعبة المخصصة للتوصيل مع الأرض. (جـ) قابس ذو شعبتين، إحدى شعبتيه عريضة يتم من خلالها التوصيل مع الأرض.

تنويه:

السلك الأسود قد يكون ذا جهد مرتفع(حاميا) أو للتوصيل مع الأرض.

الشكل 19-28 أربعة أسلاك تدخل إلى المنزل العادي. التشفير اللوني للأسلاك ليس دائمًا كما يظهر هنا؛ كن حذرًا.



إنّ التيار الكهربائي هو الذي يسبب الأذى، و فرق الجهد هو الذي يتسبب في تدفقه. أحيانًا، يُقال إنّ حدّ العتبة للخطر يساوي 30 V. ولكن حتى بطارية السيارة ذات 12-V (يمكنها إنتاج تيارات ذات شدّة كبيرة) قد تسبّب حروقًا خطيرة وصدمة كهربائية.

تيار التسرب

وهناك خطر آخر هو **تيار التسرب** الذي يقصد به التيار المتدفّق عبر مسار غير مخطّط له. تقارن تيارات التسرب في أغلب الأحيان سعويًا. فعلى سبيل المثال، فإنّ السلك في المصباح الكهربائي يشكّل مواسعًا مع الجزء السفلي الفلزي للمصباح. تتجاذب الشحنات التي تتحرك في موصل أو تتنافر مع الشحنة التي في موصل آخر، لذلك يكون هناك تيارٌ. تحدد الشيفرات الكهربائية المثالية تيار التسرب لأيّ جهاز بمقدار 1mA. إنّ تيار التسرب الذي تصل شدته إلى 1mA لا يسبب الأذى، ولكنه قد يكون خطيرًا جدًّا بالنسبة إلى مريض في مستشفى، وقد غرز في جسمه أقطاب فلزية موصولة مع الأرض من خلال المعدات؛ بسبب عدم وجود طبقة الجلد الواقية، ولأنّ التيار قد يمرُّ مباشرةً خلال القلب مقارنةً مع الوضع الطبيعي حيث يدخل التيار من اليدين وينتشر خلال الجسم. وعلى الرغم من أنه قد يتطلب تيارًا شدته 100mA ليتسبب في حدوث الانقباض العضلي للقلب عندما يدخل التيار من اليدين (في الحقيقة يمر جزء قليل جدًّا منه خلال القلب) إلا أنّه تبين أنّ تيارًا قليلًا جدًّا في حدود 0.20mA يتسبب في حدوث الانقباض العضلي للقلب عندما يمرّ مباشرة خلاله. لذلك، فإنّ المريض الموصول بجسده أسلاك كهربائية يكون في خطر كبير من تيار التسرب حتى عند القيام بعمل بسيط مثل لمس مصباح كهربائي.

أخيرًا، إذا حدث وانقطع أحد خطوط الكهرباء التي تصل بين الأعمدة وتدلى على الأرض، فلا تلمسه أبدًا- فهذا ميت- ولا تقترب منه أيضًا. إنّ خطّ الكهرباء يمثل جهدًا عاليًا يصل إلى آلاف الفولتات. حيث يمكن أن يتدفق تيار ضخم على طول الأرض أو الرصيف من عند النقطة التي يلامس فيها خطّ الكهرباء الأرض إلى نقطة تأريض الخط المحايد، مما قد يجعل الجهد بين قدميك كبير جدًا.

فكرة مفيدة: في مثل هذه الحالة، قف على إحدى قدميك أو اركض (قدم واحدة تلمس الأرض في أيّ لحظة).

* 8-19 الأميتر والفولتميتر

تطبيق الفيزياء

مقاييس DC

يستخدم **الأميتر** لقياس التيار، في حين يقيس **الفولتميتر** فرق الجهد أو الجهد. تتم عملية قياس التيار والجهد بواسطة أجهزة قياس على نوعين هما: 1- أجهزة قياس ذات مؤشر: تعرض القيم العددية بواسطة وضع مؤشر يمكنه الحركة عبر تدريج (الشكل 19-29أ). 2- أجهزة قياس رقمية: تعرض القيم العددية بواسطة الأرقام (الشكل 19-29 ب). والآن، سنناقش أجهزة القياس نفسها وكيفية عملها، ثم كيفية ربطها مع الدارات لعمل الأقيسة. وسنناقش أخيرًا أثر استعمال أجهزة القياس في الدارة موضع القياس. قد تصل إلى نتائج غير صحيحة؛ فما العمل؟

(أ)

(ب)

الشكل 19-29 (أ) جهاز قياس متعدد الأغراض ذو مؤشر يستخدم كفولتميتر. (ب) جهاز قياس رقمي إلكتروني.

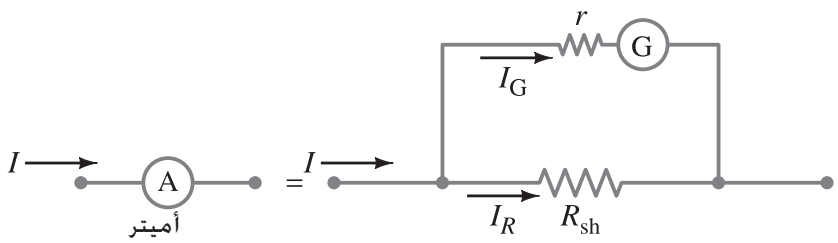
* الأميتر والفولتميتر ذو المؤشر

الجلفانوميتر هو الجزء الأساسي في الأميتر ذي المؤشر أو الفولتميتر. وفيهما، تؤخذ القراءة بواسطة مؤشر يتحرك على تدريج (الشكل 19-29 أ). يعمل الجلفانوميتر على مبدأ القوة بين مجال مغناطيسي وملف لسلك يحمل تيارًا، وسوف ندرسه في (الفصل 20). وما نحتاج إليه الآن هو مجرد معرفة أن انحراف مؤشر الجلفانوميتر يتناسب مع التيار الذي يمر فيه.

إنّ حساسية الجلفانوميتر للقيمة القصوى للتيار، mI، تمثل التيار اللازم لجعل المؤشر ينحرف انحرافًا كاملا.

يمكن أن يستخدم الجلفانوميتر مباشرة لقياس تيارات dc صغيرة. فعلى سبيل المثال، الجلفانوميتر الذي حساسيته mI تساوي 50Aμ يمكنه القياس من حوالي 1Aμ (من الصعب قراءة التيارات التي أصغر من ذلك على التدريج) حتى50Aμ . لقياس تيارات أكبر؛ يتم ربط مقاومة على التوازي مع الجلفانوميتر. وهكذا نحصل على أميتر يمثل بالرمز •Ⓐ• يحتوي على جلفانوميتر (•Ⓖ•) على التوازي مع مقاومة تُسَمَّى مقاوم مجزئ التيار، كما هو موضح في (الشكل 19-30) . (مجزئ التيار هي المرادف للتوصيل على التوازي). إنّ مقاومة مجزيء التيار هي R_{sh}، ومقاومة ملف الجلفانوميتر الذي يمر خلاله التيار r. يتم اختيار قيمة R_{sh} وفقًا لكامل التدريج المطلوب أن ينحرفه المؤشر- تكون R_{sh} عادة صغيرة جدّا- لتعطي أميترا مقاومته المكافئة صغيرة جدّا- لذلك يمر أغلب التيار خلال المقاومة R_{sh} . في حين يمر جزء قليل جدًّا من التيار ($\lesssim 50\,\mu\text{A}$) خلال الجلفانوميتر لينحرف المؤشر.

تستخدم في الأميتر مقاومة توصل على التوازي لتجزيء التيار.



الشكل 19-30 الأميتر عبارة عن جلفانوميتر موصول على التوازي مع مقاوم مقاومته صغيرة، R_{sh}

المثال 19-14 تصميم أميتر

صمِّم أميترا يقرأ تيارًا شدّته $1.0A$ عندما ينحرف مؤشره انحرافًا كاملا. استخدم جلفانوميترا، حساسية كامل التدريج فيه تساوي $50A\mu$، ومقاومته $r = \Omega 30$. تأكد هل التدريج خطيّ.

النّهج: يجب أن يمر $50\,\mu\text{A}$ فقط ($=I_G=0.000050A$) من التيار 1.0A خلال الجلفانوميتر حتى ينحرف مؤشره انحرافًا كاملاً. أما الجزء الباقي من التيار ($I_R = 0.999950\text{A}$) فيمر خلال مقاومة صغيرة R_{sh} لتجزيء التيار، (الشكل 19-30) . الفرق في الجهد بين طرفي الجلفانوميتر يساوي الفرق في الجهد بين طرفي المقاومة R_{sh} (موصولان على التوازي). يمكننا تطبيق قانون أوم لإيجاد المقاومة R_{sh}.

الحلّ: بما أنّ $I=I_G+I_R$، لذا عندما يتدفق التيار $I=1.0A$ خلال جهاز القياس، فإننا نريد أن يكون التيار الذي يمر خلال المقاومة Rsh الموصولة على التوازي مساويًا لِـ $I_R=0.999950A$ هو الفرق في الجهد نفسه بين طرفي الجلفانوميتر، لذا يخبرنا قانون أوم بأنّ

$$I_R R_{\text{sh}} = I_{Gr}$$

وبالتالي

$$R_{\text{sh}} = \frac{I_G r}{I_R} = \frac{(5.0 \times 10^{-5}\,\text{A})(30\,\Omega)}{(0.999950\,\text{A})}$$

$$= 1\,5 \times 10^{-3}\,\Omega$$

أو $0.0015\ \Omega$. وهذا يعني أنّ المقاومة R_{sh} التي يجب أن توصل على التوازي مع الجلفانوميتر يجب أن تكون صغيرة جدّا. وبالتالي، يمر أغلب التيار من خلالها.

إذا كان التيار I الذي يمر في جهاز القياس يساوي $0.50A$، فإنّ التيار الذي يمر في الجلفانوميتر يساوي

$$I_G = \frac{I_R R_{\text{sh}}}{r} = \frac{(0.50\,\text{A})(1.5 \times 10^{-3}\,\Omega)}{30\,\Omega}$$

$$= 25\,\mu\text{A},$$

وهذا يعطي انحرافًا حتى منتصف كامل التدريج. لذا، فالتدريج خطّيّ.

يتكوّن الفولتميتر (•Ⓥ•) أيضًا من جلفانوميتر ومقاوم. لكن المقاوم R_{ser} يربط على التوالي، الشكل 19-31، ومقاومته عادةً كبيرةً، لنحصل على فولتميتر مقاومته الداخلية كبيرة.

يستخدم الفولتميتر مقاوما يربط على التوالي.

الشكل 19-31 الفولتميتر عبارة عن جلفانوميتر موصول على التوالي مع مقاوم مقاومته كبيرة، Rser.

تمرين (و) استخدم الجلفانوميتر الوارد في (المثال 19-14) نفسه، مع مقاومة داخلية $r=30\ \Omega$، وافرض أنّ حساسية الجلفانوميتر للقيمة القصوى للتيار تساوي $50A\mu$، ثمّ طبّقْ قانون أوم لتحديد قيمة R_{ser} اللازمة لعمل فولتميتر يقرأ من صفر إلى 15 V.

أجهزة قياس AC

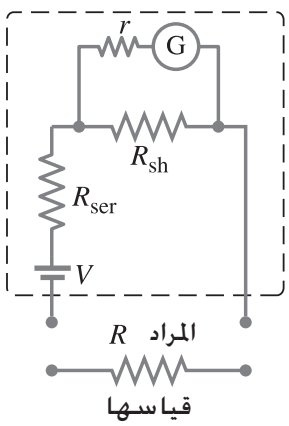
تستخدم أجهزة القياس التي وُصفت هنا لقياس التيار المستمر. ويمكن تعديل جهاز قياس *dc* ليقيس *ac* (التيار المتردّد، البند 18-7) وذلك بإضافة دايود (الفصل 29) الذي يسمح بمرور التيار في اتجاه واحد فقط. يمكن معايرة جهاز قياس *ac* لقراءة *rms* أو قيم الذروة.

أجهزة متعددة القياس
VOM
مقياس الأوم

للفوليميتر والأميتر العديد من المقاومات الموصولة على التوالي أو التوازي بغرض اختيار المجال المناسب للقياس. تستطيع أجهزة القياس متعددة الأغراض قياس الجهد، والتيار، والمقاومة. أحيانًا، تسمى أجهزة القياس متعددة الأغراض بـــ VOM(جهاز قياس *Ohm-Volt* أو جهاز قياس ملي أميتر -*Ohm* (*Volt*).

يقيس الأوميتر المقاومة. ويجب أن يحتوي على بطارية فولتيتها معلومة وموصولة على التوالي مع مقاومة R_{ser} وأميتر (الشكل 19-32). إنّ المقاوم الذي سوف تقاس مقاومته يكمل الدارة المبينة في (الشكل 19-32). ويتناسب انحراف المؤشر عكسيًا مع المقاومة. تعتمد معايرة التدريج على قيمة المقاوم الموصول على التوالي. وبما أنّ الأوميتر يمرّر تيارا خلال الجهاز الذي سوف تقاس مقاومته، لذلك يجب ألا يستخدم لقياس مقاومة الأجهزة الحسّاسة جدًّا؛ لأنّه قد يتلفها نتيجة للتيار.

تحدّدُ **حساسيّة** جهاز القياس عمومًا على واجهته الأمامية. وقد تُعطى بدلالة عدد من وحدات الأوم لكلّ فولت، والذي يشير إلى مقدار عدد الأومات للمقاومة موجود في جهاز القياس لكلّ فولت من قراءة كامل التدريج. على سبيل المثال، إذا كانت الحساسية تساوي 30,000 V/Ω فهـذا يعني أنّه على التدريج 10 V يكون لجهاز القياس مقاومة تساوي 300,000 Ω، أما على التدريج 100 V، فتكون مقاومة جهاز القياس 3MΩ.حساسية القيمة القصوى للتيار Im، التي تمت مناقشتها سابقًا، هي عبارة عن مقلوب الحساسية بوحدة Ω/V.



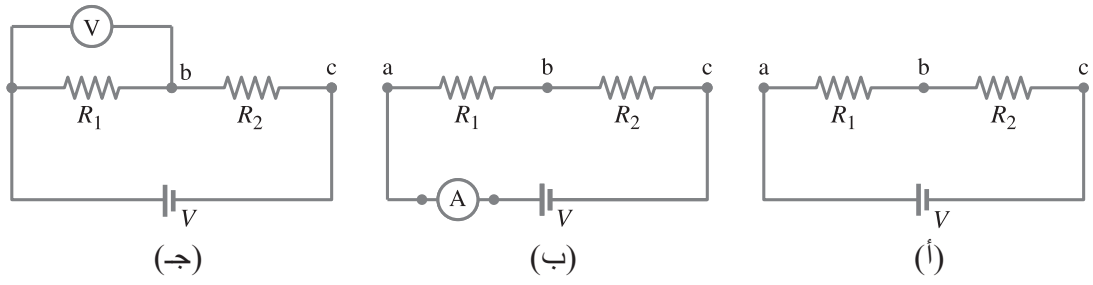
الشكل 19 - 32 الأوميتر

* وصل أجهزة القياس

تطبيق الفيزياء
كيف تستخدم أجهزة القياس بشكل صحيح؟

افرض أنّك تريد تحديد التيار I في الدارة المبنية في (الشكل 19-33أ) والفرق في الجهد بين طرفي المقاومة R_1. كيف يتم وصل الأميتر والفولتميتر مع الدارة موضع القياس بالضبط ؟

الشكل 19 - 33 قياس التيار والجهد



يدخل الأميتر إلى الدارة

بما أنّ الأميتر يستخدم لقياس التيار الذي يتدفق في الدارة، فيجب أن يدخل مباشرة إليها. أي، يتمّ وصله على التوالي مع العناصر الأخرى كما هو مبين في (الشكل 19-33ب). كلما كانت مقاومته الداخلية أصغر، قلّ تأثيره في الدارة.

يوصل الفولتميتر على التوازي.

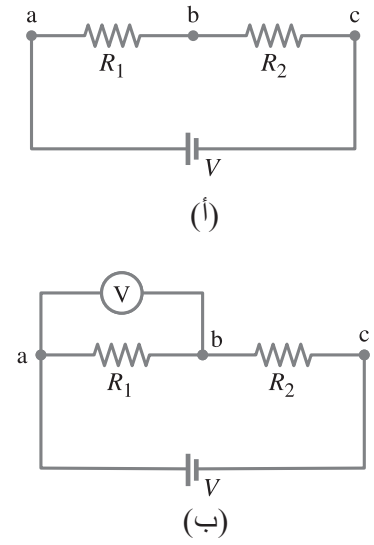
ومن جهة أخرى، يتم وصل الفولتميتر خارجيًّا على التوازي مع عنصر الدارة المطلوب قياس فرق الجهد بين طرفيه. أي أنّ الفولتميتر يستخدم لقياس الفرق في الجهد بين نقطتين. سلكا التوصيل خاصته (أسلاك التوصيل) يتمّ وصلها مع النقطتين، كما هو موضّح في (الشكل 19-33جـ) حيث يتمّ قياس فرق الجهد بين طرفي المقاومة R_1. كلّما زادت مقاومته الداخلية، (R_{ser}+r) في (الشكل 19-31)، قلّ تأثيره في الدارة موضع القياس.

* تأثيرات مقاومة جهاز القياس

تُعدّ معرفة حساسيّة جهاز القياس ضرورية؛ لأنّ مقاومة جهاز القياس تؤثّر بشكلٍ جدّيٍّ في نتائج القياس لكثيرٍ من الحالات. لنتناول المثال التالي:

تطبيق الفيزياء

تصحيح لمقاومة جهاز القياس



الشكل 19 - 34 (المثال 19-15)

المثال 19-15 قراءة الجهد مقابل الجهد الحقيقي

افرض أنّك تختبر دارة إلكترونية تحتوي على مقاومتين R_1، و R_2، كلّ واحدةٍ منهما $15\text{k}\Omega$ موصولتين على التوالي كما هو موضح في (الشكل 19-34 أ). المقاومة الداخلية للبطارية مهملة، وتعمل على إيجاد فرق جهد مقداره 8.0 V بين طرفي المقاومتين. ثُبت تدريج فولتميتر حساسيّته $10{,}000\ \text{V}/\ \Omega$ على 5.0 V. ما الجهد الذي يقرأه جهاز القياس عند وصله بين طرفي المقاومة R_1، (الشكل 19-34ب)؟ وما الخطأ الذي تسببه المقاومة المحددة لجهاز القياس؟

النّهج: يعمل جهاز القياس كما لو أنّه مقاوم موصول على التوازي مع المقاومة R_1. وسنستخدم الآن قاعدتي وصل المقاومات على التوازي والتوالي، و كذلك قانون أوم لإيجاد التيّارات والجهود.

الحلّ: عندما يثبت تدريج الفولتميتر على 5.0 V، فستكون مقاومته الداخلية $(5.0\ \text{V})(10{,}000\ \Omega/\text{V}) = 50{,}000\ \Omega$. وعند وصله بين طرفي المقاومة R_1، كما في (الشكل 19-34ب)، فإنّ هذه المقاومة $50k\ \Omega$ تكون موصولة على التوازي مع $R_1 = 15\ \text{k}\Omega$. تساوي المقاومة المكافئة R_{eq} للمقاومتين

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{50\ \text{k}\Omega} + \frac{1}{15\ \text{k}\Omega} = \frac{13}{150\ \text{k}\Omega}$$

لذا، فإنّ $R_{\text{eq}} = 11.5\ \text{k}\Omega$. وهذه المقاومة $R_{\text{eq}} = 11.5\ \text{k}\Omega$، موصولة على التوالي مع المقاومة $R_2{=}15k$. وعليه، فإنّ المقاومة الكلية للدارة تكون$26.5k\Omega$ (بدلًا من المقاومة الأصلية $30k\ \Omega$). إذن، التيار الذي يتدفق من البطارية يساوي

$$I = \frac{8.0\ \text{V}}{26.5\ \text{k}\Omega} = 3.0 \times 10^{-4}\ \text{A} = 0.30\ \text{mA}$$

وهكذا، فإنّ الهبوط في الجهد بين طرفي المقاومة R_1، وهو نفسه بين طرفي الفولتميتر ويساوي $(3.0 \times 10^{-4}\ \text{A})(11.5 \times 10^{3}\ \Omega) = 3.5\ \text{V}$ [الهبوط في الجهد بين طرفي المقاومة R_2 يساوي $(3.0 \times 10^{-4}\ \text{A})(15 \times 10^{3}\ \Omega) = 4.5\ \text{V}$. ليكون المجموع الكلي 8.0 V]. إذا افترضنا أنّ جهاز القياس دقيق، فإنّ قراءته ستكون 3.5 V. في الدارة الأصلية، ودون وجود جهاز القياس، $R_2{=}R_1$. ولهذا، فإنّ الفرق في الجهد بين طرفي R_1 هو نصف ذاك الذي بين طرفي البطارية، أي 4.0 V. وهكذا نجد أنّ الفولتميتر يعطي قراءة أقلّ بسبب مقاومته الداخلية. في هذه الحالة أقل بِـ 0.5 V، أي أكثر من 10%.

يوضح (المثال 19-15) كيف يمكن أن يؤثر جهاز القياس في الدارة ويعطى قراءة مضللة. على أيّ حال، إذا كانت مقاومة الفولتميتر أكبر من مقاومة الدارة بكثير، فإنّ تأثيره يكون قليلًا ويمكن الوثوق بقراءته، على الأقلّ من ناحية دقة صنع جهاز القياس، وهي تتراوح بين 3% إلى 4% من قراءة كامل التدريج بالنسبة إلى جهاز القياس ذي المؤشر. ويمكن أن يتداخل الأميتر مع دارة أيضًا، ولكن تأثيره يكون أقلّ ما يمكن إذا كانت مقاومته أقلّ بكثير من المقاومة الكلية للدارة. وبالنسبة إلى كلٍّ من الأميتر والفولتميتر، كلما زادت حساسية الجلفانوميتر قلّ تأثيره. فمثلاً جهاز القياس الذي حساسيته $50{,}000v/\ \Omega$ أفضل بكثير من الجهاز الذي حساسيته $1000\ \Omega/v$.

* أجهزة القياس الرقمية

تستخدم أجهزة القياس الرقمية (انظر الشكل 19-29(ب)) بالطريقة نفسها التي تستخدم بها أجهزة القياس ذات المؤشر: حيث تُدخل مباشرة إلى الدارة، على التوالي، لقياس التيار (الشكل 19-33(ب))، وتربط خارجيّا على التوازي مع الدارة لقياس الجهد (الشكل 19-33 (جـ)).

يختلف التركيب الداخلي لأجهزة القياس الرقمية عن ذاك الذي لأجهزة القياس ذات المؤشر، من حيث إنّ أجهزة القياس الرقمية لا تستخدم الجلفانوميتر. في أجهزة القياس الرقمية، تستخدم مجموعة من الدارات الإلكترونية والقراءة الرقمية، وهي أكثر حساسية من تلك التي للجلفانوميتر ومؤشره اللذين استبدلا، وهي أقل تأثيرًا في الدارة موضع القياس. عند قياس جهد dc، فإنّ مقاومة جهاز القياس الرقمي كبيرة جدًّا؛ تتراوح بين 10 إلى $(10^7\text{–}10^8\ \Omega)$ $100\ \text{M}\Omega$

إنّ هذه المقاومة الداخلية لا تتغير بشكلٍ ملحوظ عندما يتمّ اختيار تدريجات مختلفة للجهد (كما يحدث في أجهزة القياس ذات المؤشر).

إنّ جهاز القياس الرقمي الذي له مثل هذه المقاومة الداخلية سوف يسحب تيارًا قليلًا عند وصله بين طرفي عنصر دارة حتى لو كانت مقاومته 1-MΩ. تُعدّ دقة جهاز القياس الرقمي استثنائية، لأنّها غالبًا ما تكون جزءًا من 10^4 (= 0.01%) أو أفضل من ذلك. هذه الدقة في القياس ليست تمامًا كصحة القراءة. إنّ جهاز القياس الدقيق الذي مقاومته الداخلية $10^8\ \Omega$ سوف لن يعطي نتائج صحيحة إذا استخدم لقياس الجهد بين طرفي مقاوم مقاومته $10^8\ \Omega$. في مثل هذه الحالة، من الضروري القيام بحسابات كتلك التي في (المثال 19-15). كان الهدف الرئيس لهذا البند بيان أنّه حينما يتمّ عمل قياس على دارة، فإنّنا نؤثّر إلى حدٍّ ما في تلك الدارة (تذكر المثال 19-15). وهذا صحيح أيضًا بالنسبة إلى أنواع أخرى من القياس: عندما نقوم بعمل قياس على نظامٍ ما، فإنّنا نؤثر بطريقةٍ ما فيه. على سبيل المثال، جهاز قياس درجة الحرارة له حرارة نوعية معينة. لذا، فعند استخدامه لقياس درجة حرارةٍ ما، فإنّه قد يتبادل الحرارة مع النظام، وبالتالي يغير حرارته (عادة بمقدار ضئيل فقط). قد يكون ضروريًا القيام بإجراء أي تصحيحات مطلوبة، كما بينا في (المثال 19-15) .

ملخص

يُسَمّى الجهازُ الذي يحوّل أيّ نوع من الطاقة إلى طاقة كهربائية مصدرًا للقوّة الدافعة الكهربائية (**emf**). تتصرف البطاريّة **كمصدر** للقوّة الدافعة الكهربائية موصول على التوالي مع **مقاومة داخلية**. الـ emf هي الفرق في الجهد الذي يحدد بواسطة التفاعلات الكيميائية التي تحدث في البطارية، وتساوي الجهد الطرفي عندما لا يتدفق التيار من البطارية. عندما يتدفق التيار من البطارية، فإنّ جهدها الطرفي أقلّ من قوتها الدافعة الكهربائية بمقدار يساوي الهبوط في الجهد (Ir) بين طرفي المقاومة الداخلية.

عند وصل المقاومات على **التوالي** (طرفًا بطرفٍ في مسارٍ خطّيٍّ واحد)، فإنّ المقاومة المكافئة تساوي مجموع المقاومات منفردة:

$$R_{\text{eq}} = R_1 + R_2 + \cdots \quad \textbf{(3-19)}$$

أكبر من أيّ من المقاومات R_{eq} في مجموعة التوالي، تكون عند وصل المقاومات على التوازي، فإنّ مقلوب المقاومة المكافئة يساوي مجموع مقلوب المقاومات منفردة.

في حالة الوصل على **التوازي**، تكون المقاومة المكافئة أقلّ من أيّ من المقاومات منفردة.

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots \quad \textbf{(4-19)}$$

تستخدم **قاعدتا كيرشوف** في تحديد التيارات والجهود في الدارات الكهربائية. تستند **قاعدة كيرشوف** للعقدة إلى حفظ الشحنة الكهربائية، وتنصّ على أنّ مجموع التيارات كلّها التي تدخل إلى أيّ عقدة يساوي مجموع التيارات كلّها التي تغادر تلك العقدة. أمّا القاعدة الثانية، أو **قاعدة العروة**، فتستند إلى قانون حفظ الطاقة، وتنصّ على أنّ المجموع الجبري للتغيرات في الجهد حول مسار مغلق لدارة يجب أن يساوي صفرًا.

عند وصل المكثفات على **التوازي**، فإنّ السعة المكافئة تساوي مجموع السعات منفردة:

$$C_{\text{eq}} = C_1 + C_2 + \cdots \quad \textbf{(5-19)}$$

عند وصل المكثّفات على التوالي، فإنّ مقلوب السعة المكافئة يساوي مجموع مقلوب المكثفات منفردة:

$$\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots \quad \textbf{(6-19)}$$

إذا وصلت دارة RC تحتوي على مقاومة R موصولة على التوالي مع مواسع C، إلى مصدر (dc) للقوة الدافعة الكهربائية، فإنّ الجهد بين طرفي المكثف يزداد تدريجيًا مع مرور الزمن الذي يميز ***بثابت الزمن***.

$$\tau = RC \quad \textbf{(7-19)}$$

وهذا هو الزمن الذي يحتاج إليه الجهد حتى يصل إلى 63% من قيمته القصوى. تفريغ المكثف خلال المقاومة يميز بثابت الزمن نفسه: خلال الزمن $\tau = RC$ يهبط الجهد بين طرفي المكثف إلى 37% من قيمته الأصلية.

تنتج الصدمات الكهربائية من مرور تيار كهربائي خلال الجسم. لتجنب الصدمات: يجب ألّا يصبح الجسم جزءًا من دارة كاملة عن طريق السماح لأطرافه المختلفة بلمس أجسام عند جهود مختلفة. عمومًا، تنتج الصدمات الكهربائية عندما يلامس أحد أطراف الجسم الأرض، ويلامس طرف آخر جهدا كهربائيًّا مرتفعًا.

[* يقيس **الأميتر** التيار. يتكون الأميتر ذو المؤشر من جلفانوميتر موصول على التوازي مع مقاوم يجزيء التيار ويمر خلاله أغلب التيار. يتكون الفولتميتر ذو المؤشر من جلفانوميتر ومقاوم توالٍ. يدخل الأميتر مباشرة إلى الدارة المطلوب قياس التيار المار فيها. يتم وصل الفولتميتر خارجيًا وعلى التوازي مع العنصر الذي يراد قياس فرق الجهد بين طرفيه. المقاومة الداخلية لأجهزة القياس الرقمية أكبر من تلك التي لأجهزة القياس ذات المؤشر، كما أنّ تأثيرها في الدارة أقلّ.

أسئلة

1. وضّح لماذا تقف الطيور على خطوط الكهرباء دون خطر عليها، ولكن إذا أسندت سلّمًا فلزيًّا إلى أحد هذه الخطوط وصعدت عليه لجلب طائرة ورقية علقت بخط الكهرباء، فسيكون هذا خطيرًا جدًا.

2. ناقش حسنات وعيوب إضاءة شجرة عيد الميلاد بالوصل على التوازي مقابل الموصولة على التوالي.

3. إذا كان كلّ ما لديك هو خط جهد 120 V، فهل من الممكن إنارة عديد من المصابيح كل منها 6-V دون أن تحترق؟ كيف؟

4. مصباحان موصولان على التوالي، مقاومة أحدهما R_1 والآخر R_2 $(R_1 < R_2)$. أيهما أشدّ إضاءة؟ ماذا يحصل إذا وصلا على التوازي؟ وضّحْ إجابتك.

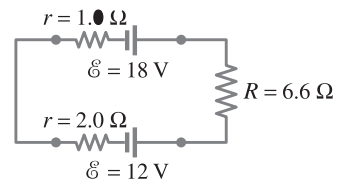
5. في أغلب الأحيان، تكون مخارج الكهرباء المنزلية ثنائية. هل هي موصولة على التوالي أم على التوازي؟ كيف تعرف؟

6. مصباحان متماثلان وبطاريتان متماثلتان. كيف يمكن ترتيب المصباحين والبطاريتين في دارة للحصول على أقصى قيمة ممكنة للقدرة الكلية الناتجة؟ (افرض أنّ المقاومة الداخلية للبطاريتين مهملة).

7. إذا وُصلت مقاومتان متماثلتان على التوالي إلى بطارية، فهل القدرة التي تزودها البطارية أكثر أم أقلّ من القدرة التي تزودها عند وصل إحدى المقاومتين فقط؟ وضح إجابتك.

8. قدرة مصباح كهربائي وحيد مضيء في غرفتك 60W. كيف تتغير المقاومة الكلية للدارة الكهربائية لغرفتك عندما تشغل مصباحًا إضافيًا قدرته 100W؟

9. عندما تطبق قاعدة كيرشوف للعروة (كما في الشكل 19-35) هل إشارة (أو اتجاه) القوة الدافعة الكهربائية emf للبطارية تعتمد على اتجاه التيار خلال البطارية؟ ماذا عن الجهد الطرفي؟



الشكل 19-35 (السؤال 9).

10. أُعطيت الدارة الموضحة في (الشكل 19-36). استخدام الكلمات "يزداد" أو "يقلّ" أو "يبقى كما هو" لتكمل العبارات التالية:

(أ) إذا زادت R_7، فإنّ الفرق في الجهد بين A و E _____.
افترض عدم وجود مقاومة في A، و $\mathscr{E}$.

(ب) إذا زادت R_7، فإنّ الفرق في الجهد بين A و E _____. افترض وجود مقاومة في A، و $\mathscr{E}$

(جـ) إذا زادت R_7، فإنّ الهبوط في الجهد بين طرفي R_4 _____

(د) إذا قلّت R_2، فإنّ التيار خلال R_1 _____

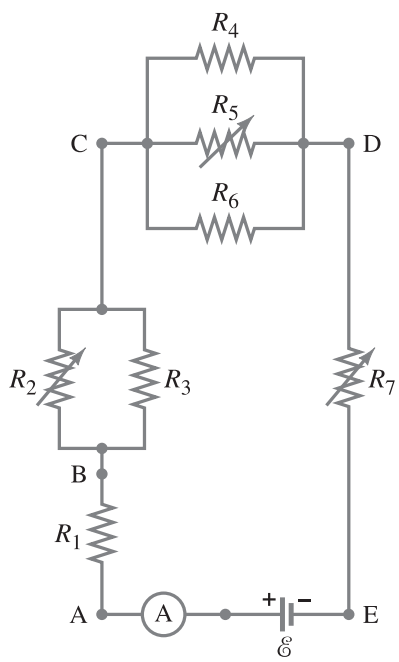
(هـ) إذا قلّت R_2، فإنّ التيار خلال R_6 _____

(و) إذا قلّت R_2، فإنّ التيار خلال R_3 _____

(ز) إذا زادت R_5، فإنّ الهبوط في الجهد بين طرفي R_2 _____

(ح) إذا زادت R_5، فإنّ الهبوط في الجهد بين طرفي R_4 _____

(ط) إذا زادت R_2 ، و R_5، و R_7 فإنّ ($\mathscr{E}$ r=0) _____



الشكل 19-36 (السؤال 10). R_2، وR_5، و R_7 مقاومات متغيرة (يمكن تغيير مقاومتها) ويرمز إليها بـ

11. ما استعمالات وصل البطاريات على التوالي؟ وما استعمالات وصلها على التوازي؟ هل هناك مشكلة في كلّ حالة من الحالتين إذا كانت البطاريات متماثلة تقريبًا أم أنّ هذا لايعدّ مشكلة؟

12. هل يمكن للجهد الطرفي لبطارية أن يتجاوز قوتها الدافعة الكهربائية؟ وضح إجابتك.

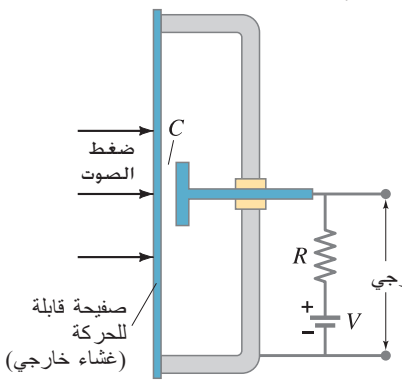
13. وضح بالتفصيل كيفية قياس المقاومة الداخلية لبطارية؟

14. قارن وناقش الصيغ التي للمقاومات وللمواسعات عند وصلها على كلّ من التوالي والتوازي.

15. افرض أنّ ثلاثة مواسعات متماثلة قد وُصلت إلى بطارية. هل يكون تخزينها للطاقة أكثر عند وصلها على التوالي أم على التوازي؟

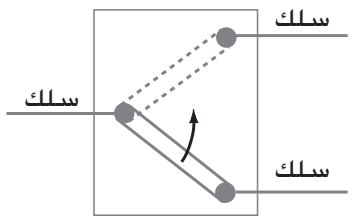
16. لماذا يُعدّ تشغيل أداة كهربائية أكثر خطورة عندما تقف خارجًا حافي القدمين من تشغيلها وأنت في الداخل تنتعل حذاء سميكا؟

17. يمثل (الشكل 19-37)مخططًا لمواسع (أو مكثف) مكبر الصوت. إن تغير ضغط الهواء في موجة صوتية يجعل أحد لوحي المكثف C يتحرك ذهابًا وإيابًا. وضح كيف ينتج تيار له التردد نفسه الذي لموجة الصوت.



الشكل 19-37 مخطط لمواسع مكبر الصوت. (السؤال 17).

18. صمّم دارة بحيث يمكن استعمال مفتاحين مختلفين من النوع الموضح في (الشكل 19-38) لتشغيل مصباح الكهرباء نفسه من جهتين متقابلتين في غرفة.



الشكل 19-38 (السؤال 18).

19. في دارة RC، يتدفق التيار من البطارية حتى يشحن المكثف بشكل كامل. هل الطاقة الكلية التي تزود بواسطة البطارية تساوي الطاقة الكلية التي تخزن في المكثف؟ إذا كانت الإجابة لا، فأين تذهب الطاقة الإضافية؟

*** 20.** ما الفرق الرئيس بين الفولتميتر ذي المؤشر والأميتر ذي المؤشر؟

*** 21.** ماذا يحدث إذا استخدمت الأميتر بشكل غير صحيح حيثما تحتاج إلى استخدام الفولتميتر؟

*** 22.** وضّح لماذا يجب أن تكون مقاومة الأميتر المثالي صفرًا، ومقاومة الفولتميتر المثالي لا نهائية.

* **23.** الفولتميتر الموصول بين طرفي مقاومة تكون قراءته دائمًا أقلّ من الجهد الحقيقي بين طرفي المقاومة عندما لا يكون الفولتميتر موصولاً؟ فسّر ذلك.

* **24.** يحتاج مصباح جيب يعمل بواسطة بطاريات صغيرة إلى بطارية 1.5 V. تتوهج فتيلة المصباح بالكاد. ولكن عند إخراج البطارية وفحصها بواسطة فولتميتر، فإنه يسجل 1.5 V. كيف تفسّر ذلك؟

مسائل

19-1 emf والجهد الطرفي

1. (I) احسب الجهد الطرفي لبطارية مقاومتها الداخلية 0.900 Ω، وقوّتها الدافعة الكهربائية 8.50 V عند وصل البطارية على التوالي مع: (أ) مقاومة 81.0 Ω . (ب) مقاومة 810 Ω.

2. (I) أربع خلايا، كلٌّ منها 1.5 V موصولة على التوالي مع مصباح كهربائي. إذا كان التيار الناتج 0.45*A*، فما المقاومة الداخلية لكلّ خلية؟ افرض أنّها متماثلة، واهمل مقاومة الأسلاك.

3. (II) ما المقاومة الداخلية لبطارية السيارة (12.0 V) التي يهبط جهدها الطرفي إلى 8.4 V عندما يسحب جهاز تشغيل الحركة 75*A*؟ ما مقاومة الجهاز؟

4. (II) يمكن فحص خلية جافة (1.5 V) عن طريق وصلها مع أميتر مقاومته صغيرة، ويجب أن تكون قادرة على تزويد تيار شدته 22A على الأقل. ما المقاومة الداخلية للخلية في هذه الحالة؟ افرض أنها أكبر بكثير من تلك التي للأميتر.

19-2 وصل المقاومات على كلّ من التوالي والتوازي

في هذه المسائل، اهمل المقاومة الداخلية للبطارية ما لم تُشِر المسألة إليها.

5. (I) أربعة مصابيح، مقاومة كلّ منها 240 Ω موصولة على التوالي. ما المقاومة الكلية للدارة؟ ما مقاومة المصابيح إذا كانت موصولة على التوازي؟

6. (I) ثلاثة مصابيح، مقاومة كلّ منها 45 Ω موصولة على التوالي مع ثلاثة مصابيح أخرى مقاومة كلّ منها 75. Ω. (أ) ما المقاومة الكلية للدارة؟ (ب) ما مقاومة المصابيح الستة إذا كانت موصولة على التوازي؟

7. (I) المقاومتان 650. Ω و 2200 Ω موصولتان على التوالي مع بطارية 12 V. ما الفرق في الجهد بين طرفي المقاومة 2200 Ω؟

8. (*I*) إذا كان لديك مقاومتان فقط: 25. Ω و 35. Ω، فسجّل القيم المختلمة كلها للمقاومة التي يمكن الحصول عليها.

9. (I) افرض أنّ لديك المقاومات التالية: 680Ω، و 940Ω، و 1.20-*k*Ω. ما أكبر و أصغر مقاومة يمكنك الحصول عليهما باستعمال هذه المقاومات؟

10. (II) افرض أنّ لديك بطارية 6.0 V وتريد تطبيق جهد 4.0 V فقط. أُعطيت عددًا غير محدود من مقاومات 1.0 Ω. كيف يمكنك وصلها لكي تعمل "مجزىء جهد" ينتج 4.0 V من جهد البطارية البالغ 6.0 V؟

11. (II) ثلاث مقاومات، قيمة كلّ منها 240Ω . يمكن وصلها مع بعضها بأربعة طرق مختلفة، لعمل مجموعات من دارات موصولة على التوالي و/ أو التوازي. ما هذه الطرق الأربعة؟ وما المقاومة الكلية في كلّ حالة؟

12. (II) بطارية قوتها الدافعة الكهربائية 12.0 V، وجهدها الطرفي 11.8 V، عند وصلها في دارة مع مصباحين قدرة كلّ منهما 3.0*W* (عند 12.0 V) وموصولين على التوازي، ما المقاومة الداخلية للبطارية؟

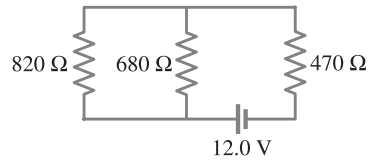
13. (II) ثمانية مصابيح متماثلة موصولة على التوالي بين طرفي خط جهد 110 V. (أ) ما الفرق في الجهد بين طرفي كلّ مصباح؟ (ب) إذا كان التيار 0.50*A*، ما مقاومة كلّ منها؟ وما القدرة المستنفدة في كلّ مصباح؟

14. (II) ثمانية مصابيح موصولة على التوازي مع مصدر 110 V عن طريق سلكين طويلين مقاومتهما الكلية 1.6 Ω. إذا تدفق تيار شدته 240*mA* خلال كلّ منها، فما مقاومة كلّ مصباح؟ وما نسبة ما يفقد من القدرة الكلية خلال السلكين؟

15. (II) تضيء ثمانية مصابيح شجرة عيد ميلاد موصولة مع بعضها على التوالي ومع مصدر 110 V. إذا كانت قدرة كلّ مصباح 7.0-*W*، فما مقاومة كلّ واحد منها؟

16. (II) بالمعاينة الدقيقة لدارة كهربائية، تبين أنّ مقاومة 480 Ω كانت قد لُحِمَت بشكل غير مقصود في مكان يحتاج فيه إلى مقاومة 320 Ω . كيف يمكن تقويم هذا الخطأ دون إزالة أيّ شيء من الدارة الموجودة؟

17. (II) حدّد: (أ) المقاومة المكافئة للدارة المبينة في (الشكل 39-19، ب) الفرق في الجهد بين طرفي كلّ مقاومة.

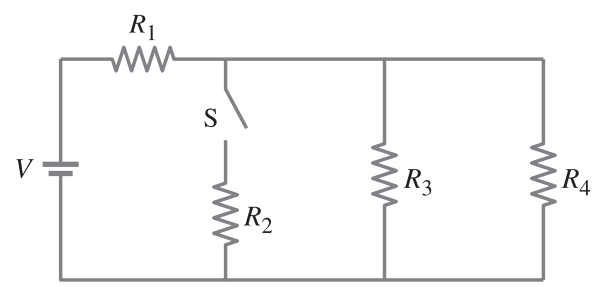


الشكل 19-39
(المسألة 17).

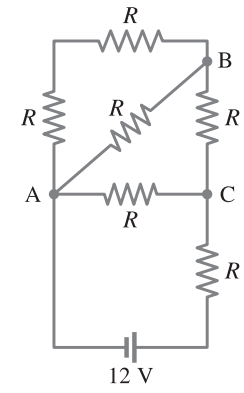
18. (II) مصباح قدرته 75*W* عند 110 V موصول على التوازي مع مصباح آخر قدرته 40*W* عند 110 V. ما المقاومة المكافئة؟

19. (III) تأمل شبكة المقاومات المبينة في (الشكل 19-40): (أ) ماذا يحدث للجهد بين طرفي كلّ مقاومة عند إغلاق المفتاح *s*؟ (ب) ماذا يحدث للتيار خلال كلّ مقاومة عند إغلاق المفتاح؟ (جـ) ماذا يحدث للقدرة التي تنتجها البطارية عند إغلاق المفتاح؟ (د) افرض أنّ 125 Ω = $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$، و V 0. 22=V حدّد التيار خلال كلّ مقاومة قبل إغلاق المفتاح وبعد إغلاقه. هل تنبؤاتك الكيفية مؤكدة؟

الشكل 19-40 (المسألة 19)

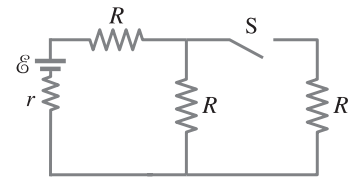


20. (III) ما المقاومة المكافئة للدارة الموصولة مع البطارية التي في (الشكل 19- 41)؟ إذا علمت أنَّ قيمة كلّ مقاومة $R = 2.8k\ \Omega$.



الشكل 19-41 (المسألة 20).

21. (III) ثلاث مقاومات متساوية (R) موصولة مع بطارية كما في (الشكل 19-42) . ماذا يحدث: (أ) للهبوط في الجهد بين طرفي كلّ مقاومة؟ (ب) للتيار المتدفق خلال كلّ مقاومة؟ (جـ) للجهد الطرفي للبطارية عندما يفتح المفتاح s بعد أن كان مغلقًا لفترة زمنية طويلة؟ (د) إذا كانت القوة الدافعة الكهربائية للبطارية تساوي 15.0 V؟ وما جهدها الطرفي عند إغلاق المفتاح إذا كانت مقاومتها الداخلية 0.50 Ω، و R =5.50 Ω؟ وما جهدها الطرفي عندما يفتح المفتاح؟

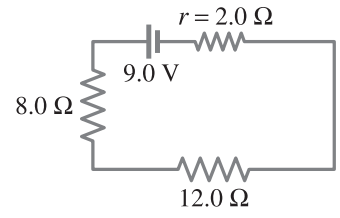


الشكل 19-42 (المسألة 21)

22. (III) مقاومتان، إحداهما 2.8 kΩ والأخرى 2.1 kΩ موصولتان على التوازي، وصلت هذه على التوالي مع مقاومة قيمتها 1.8 kΩ. إذا كانت قدرة كلّ مقاومة $\frac{1}{2}$ W (أقصى قيمة دون حدوث تسخين أكثر مما ينبغي)، فما القيمة القصوى للجهد الذي يمكن تطبيقه بين طرفي الشبكة ككلّ؟

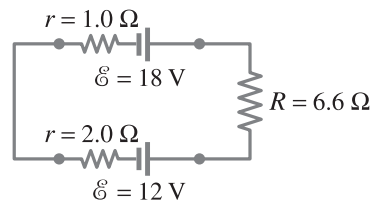
3-19 قاعدتا كيرشوف

23. (I) احسب التيار في الدارة التي (للشكل 19-34) . وبيّن أنّ مجموع التغيرات كلها في الجهد حول الدارة يساوي صفرًا.



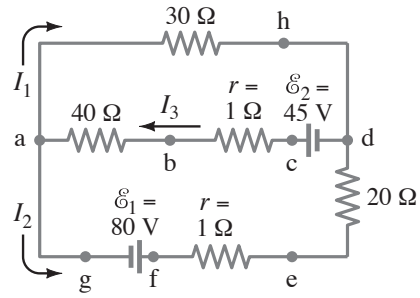
الشكل 19-34 (المسألة 23)

24. (II) حدّد الجهد الطرفي لكلّ بطارية في (الشكل 19-44) .



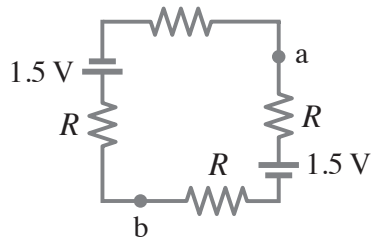
الشكل 19-44 (المسألة 24)

25. (II) (أ) ما الفرق في الجهد بين النقطتين a، و b في الشكل19-45 (الدارة نفسها التي في (الشكل 19-13، المثال 19-8)؟ (ب) ما الجهد الطرفي لكلّ بطارية؟



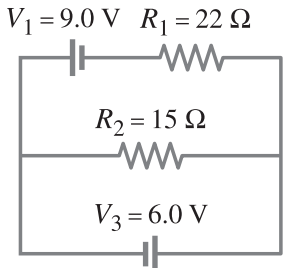
الشكل 19-45 (المسألة 25)

26. (II) للدارة المبينة في (الشكل 19-46) ، جدِ الفرق في الجهد بين النقطتين a، و b. إذا علمت أنَّ قيمة كلّ مقاومة R = 75 Ω وكلّ بطارية 1.5V.



الشكل 19-46 (المسألة 26)

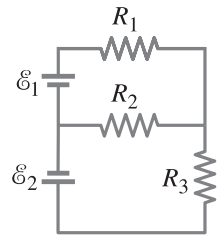
27. (II) حدّد مقدار التيار المار في كلّ مقاومة في (الشكل19-47) واتجاهه.



الشكل 19-47 (المسألة 27 و 28)

28. (II) أعد حلّ (المسألة 27) ، مفترضًا أنّ كلّ بطارية لها مقاومة داخلية r= 1.2Ω.

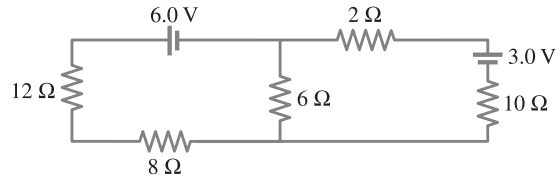
29. (II) حـدّد مقـدار التيـار المار فـي كلّ مقاومة في (الشـكل 19 - 48)واتجاهـه. القـوى الدافعـة الكهربائية للبطاريـات $\mathscr{E}_1 = 9.0\ \text{V}$، $\mathscr{E}_2 = 12.0\ \text{V}$ وقيم المقاومات $R_1 = 25\Omega$، و $R_2 = 18\Omega$، و $R_3 = 35\Omega$.



الشكل 19-48 (المسألتان 29 و 30).

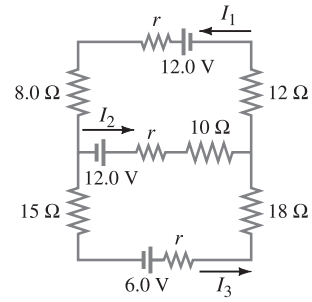
30. (II) أعد حلّ (المسألة 29) ، مفترضًا أنّ كلّ بطارية لها مقاومة داخلية $r = 1.0\ \Omega$.

31. (*II*) احسب التيار المار في كلّ مقاومة في (الشكل 19-49) .



الشكل 19 - 49 (مسألة 31).

32. (III) (أ) احسب التيارات I_1، وI_2، وI_3 المبينة في (الشكل19 - 50). افرض أنّ المقاومة الداخلية لكلّ بطارية $r = 1.0\ \Omega$. (ب) ما الجهد الطرفيّ للبطارية 6.0 V؟

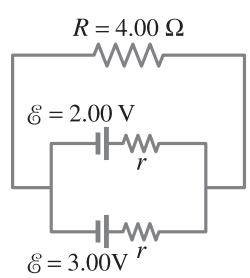


الشكل 19-50 (المسألتان 32 و 33).

33. (III) كم شدّة التيار I_1 في (الشكل 19 - 50) إذا قصرت المقاومة 12؟ افرض أنّ $r = 1.0\Omega$.

* 4-19 تجميع Emfs، شحن البطارية

*** 34.** (II) بطاريتان، القوة الدافعة الكهربائية لإحداهما 2.00 V وللأخرى 3.00 V، موصولتان كما هو مبين في الشكل 19 - 51. إذا كانت المقاومة الداخلية لكلّ منهما $r = 0.100\Omega$، و $R = 4.00\ \Omega$ ، فما الفرق في الجهد بين طرفي المقاومة R؟



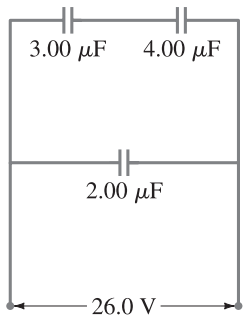
الشكل 19-51 (المسألة 34).

5-19 وصل المكثفات على كلّ من التوالي والتوازي

35. (I) (أ) ستة مواسعات، مواسعة كلّ منها 4.7-μF، وموصولة على التوازي. ما المكثفة المكافئة؟ (ب) ما مواسعتها المكافئة إذا وصلت على التوالي؟

36. (I) لديـك ثلاثـة مواسـعات سـعاتها 3200 *pF*، و 7500 pF، و0.0100 μF. ما الحدّان الأعلى والأدنى للسـعة التي يمكنك تكوينها من هذه المكثفات؟ كيف تقوم بعمل التوصيل في كلّ حالة؟

37. (I) مواسعان، أحدهما 3.00-μF والآخر 4.00-μF موصولان على التوالي، وهما موصولان على التوازي مع مواسع آخر انظر إلى (الشكل 19-52). ما هي السعة المكافئة؟



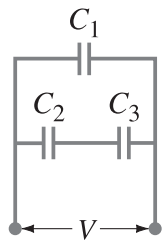
الشكل 19-52
(المسألتان 37 و 38).

38. (II) إذا طُبِّق فرق الجهد 26.0 V بين طرفي الشبكة التي في (الشكل 19-52) ، فاحسب الفرق في الجهد بين طرفي كلّ مواسع.

39. (II) يُراد تقليل سعة جزء من دارة من 4800pF إلى 2900pF. ما السعة التي يجب إضافتها إلى الدارة ليحدث هذا التأثير دون إزالة عناصر الدارة الموجودة؟ هل يجب قطع أيّ من التوصيلات الموجودة خلال هذه العملية؟

40. (II) بُنيت دارة كهربائية عن غير قصد باستعمال مواسع 5.0-μF بدلا من القيمة المطلوبة 16-μF. دون إزالة المكثف 5.0-μF، ما الذي يمكن أن يضيفه العامل الفني لتصحيح هذه الدارة؟

41. (II) جد السعة المكافئة للدارة المبينة في الشكل 19-53.



الشكل 19 - 53
(المسائل 41، و42، و43، و 44).

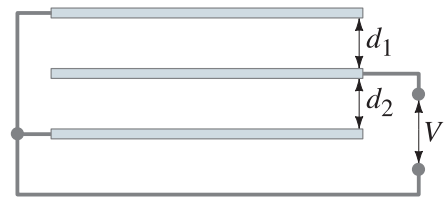
*** 42.** (II) في (الشكل 19 - 53) ، إذا كان $C_1 = C_2 = 2C_3 = 22.6\ \mu\text{F}$ فكم كمية الشحنة المختزنة في كلّ مواسع عندما $V = 45.0\ \text{V}$

*** 43.** (II) في (الشكل 19 - 53) افرض أنّ $C_1 = C_2 = C_3 = 16.0\ \mu\text{F}$ إذا كانت الشحنة على المكثف C_2 هي $Q_2 = 24.0\ \mu\text{C}$، فاحسب: (أ)الشحنة على كلّ مواسع من المكثفات الأخرى. (ب) الفرق في الجهد بين طرفي كلّ مواسع. (جـ) الفرق في الجهد V بين طرفي كامل المجموعة.

*** 44.** (II) فـي (الشكل 19 - 53) ، افـرض أنّ V=78V، و $C_1 = C_2 = C_3 = 7.2\ \mu\text{F}$ كم كمية الطاقة المختزنة في شبكة المكثفات؟

*** 45.** (II) مواسعان، أحدهما 0.40-μF والآخر 0.60-μF موصولان على التوالي مع بطارية 9.0V. احسب: (أ) الفرق في الجهد بين طرفي كلّ مواسع. (ب) الشحنة على كلّ مواسع. (جـ) أعد الجزأين (أ) و (ب) مفترضًا أنّ المكثفين موصولان على التوازي.

46. (II) ثلاثة ألواح موصلة مساحة كلّ منها A، وموصولة كما هو مبين في (الشكل 19 - 54). (أ) هل المكثفان اللذان تشكلا موصولان على التوالي أم على التوازي؟ (ب) حدّد المكثفة C كدالة في d_1، وd_2، و A. افرض أنّ d_1+d_2 صغيرة جدّا مقارنة مع أبعاد اللوحين.



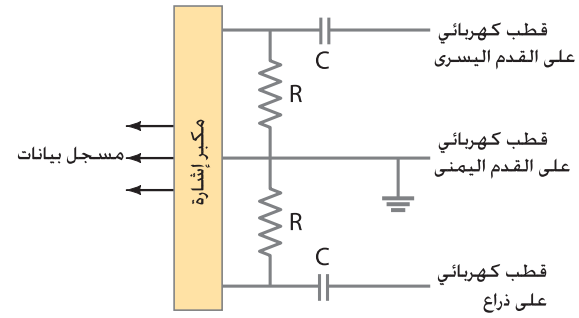
الشكل 19 - 52
(المسألتان 37 و 38).

47. (II) تحتوي دارة على مواسع واحد مواسعته $250pF$ موصول بين طرفي بطارية. يُراد تخزين ثلاثة أضعاف الطاقة في مجموعة مكونة من مواسعين عن طريق إضافة مواسع آخر إلى المكثف الموجود في الدارة. كيف يمكنك وصله؟ وكم يجب أن تكون قيمته؟

48. (III) مواسع $185pF$ موصول على التوالي مع مواسع آخر سعته مجهولة. تمّ وصلهما إلى بطارية قوتها الدافعة الكهربائية 25.0V. إذا خزّن المكثف $185pF$ على لوحيه شحنة مقدارها $125pC$، فما هي السعة المجهولة؟

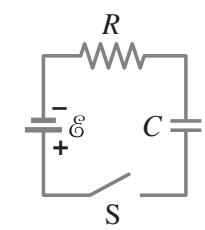
19-6 دارات RC

49. (I) في أغلب الأحيان، توصل أجهزة تخطيط القلب الكهربائية كما هو مبين في (الشكل 19 - 55) . أطراف التوصيل في الجهاز يُقال إنّها مرتبطةٌ سعويّا. يسمح ثابت الزمن العادي $3.0s$ بتغيرات سريعة في الجهد يمكن تسجيلها بدقة. إذا كان $C = 3.0\mu F$، فكم يجب أن تكون قيمة R؟ [مساعدة: اعتبر كلّ طرف كدارة منفصلة].



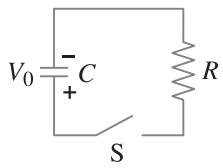
الشكل 19-55 المسألة 49.

50. (II) في الشكل 19 - 56 (الشكل 19 - 20 (أ) نفسه) المقاومة الكلية تساوي $15.0k$ والقوة الدافعة للبطارية تساوي 24.0V. إذا تم قياس ثابت الزمن فكان $3.50\mu S$ فاحسب: (أ) المكثفة الكلية للدارة. (ب) الزمن اللازم حتى يصل فرق الجهد بين طرفي المقاومة إلى 16.0V، بعد إغلاق المفتاح.



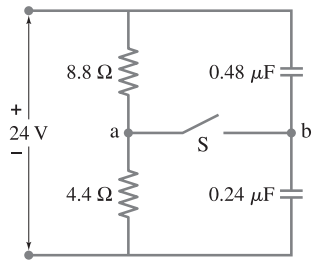
الشكل 19 - 56
(المسألة 50)

51. (II) في دارة Rc المبينة في الشكل 19 - 57 (الشكل 19 – 21 (أ)) نفسه $R=6.7k\,\Omega$ و $C = 3.0\,\mu F$. عند اللحظة $t = 0$ عندما يتم إغلاق المفتاح، يكون الفرق في الجهد بين طرفي المكثف V_0. ما الفترة الزمنية التي يحتاج إليها المكثف حتى يفرغ إلى 1.0% من جهده الأصلي؟



الشكل 19 - 57
(المسألة 51)

52. (III) مقاومتان ومواسعتان غير مشحونين. تم ترتيبها كما هو مبين في (الشكل 58-19). ثم طُبّق فرق جهد مقداره 24V بين طرفي المجموعة كما هو موضح. (أ). كم الجهد عند النقطة a عندما لا يكون المفتاح s مغلقًا؟ (افرض أنّ V=0 عند الطرف السالب للمصدر). (ب) كم الجهد عند النقطة b عندما لا يكون المفتاح مغلقًا؟ (جـ) عندما يُغلق المفتاح، كم الجهد النهائي للنقطة b؟ (د) كم كمية الشحنة التي تتدفق خلال المفتاح s بعد إغلاقه؟



الشكل 19 - 58
(المسألة 52)

* 19-8 الأميتر والفولتميتر

*** 53.** (I) ما مقاومة فولتميتر على التدريج 250V إذا كانت حساسيته تساوي $30{,}000V/\Omega$؟

*** 54.** (I) حساسية أميتر $20{,}000V/\Omega$. ما التيار المار في الجلفانوميتر حتى ينحرف مؤشره انحرافًا كاملاً؟

*** 55.** (II) المقاومة الداخلية لجلفانوميتر $30\,\Omega$، ينحرف مؤشره انحرافًا كاملا عند تيار شدته. صف كيف تستعمل هذا الجلفانوميتر لعمل: (أ) أميتر يقرأ تيارات لغاية 30 A. (ب) فولتميتر ينحرف مؤشره انحرافًا كاملًا عند 250V.

*** 56.** (II) حساسية جلفانوميتر $35\,\Omega k$، ومقاومته الداخلية $20.0\,\Omega$. كيف يمكنك جعله (أ) أميترًا يقرأ 2.0A عند الانحراف الكامل لمؤشره؟ أو (ب) فولتميترًا يقرأ 1.00V عند الانحراف الكامل لمؤشره؟

*** 57.** (II) يقرأ مللي أميتر 10mA عند الانحراف الكامل لمؤشره. يحتوي هذا الجهاز على مقاومة 0.20Ω موصولة على التوازي مع جلفانوميتر مقاومته $33\,\Omega$. كيف يمكنك تحويل هذا الأميتر إلى فولتميتر يقرأ 10V عند الانحراف الكامل لمؤشره دون نزع الأميتر؟ كم ستكون حساسية $(\Omega/\,V)$ هذا الفولتميتر؟

*** 58.** (II) بطارية (V45) مقاومتها الداخلية مهملة، موصولة مع مقاومتي توالٍ؛ إحداهما $38k\,\Omega$ والأخرى $27k\,\Omega$. ما القراءة التي يعطيها أميتر مقاومته الداخلية $95k\,\Omega$، عندما يستخدم لقياس الفرق في الجهد بين طرفي كلّ مقاومة؟ ما النسبة المئوية للخطأ في كلّ حالة بسبب مقاومة الأميتر؟

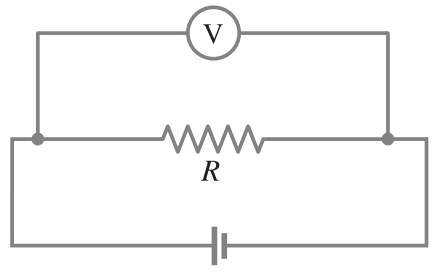
*** 59.** (II) المقاومة الداخلية لأميتر $63\,\Omega$، يقرأ تيارًا شدته 5.25mA عند وصله في دارة تحتوي على بطارية ومقاومتين موصولتين على التوالي، إحداهما $750\,\Omega$ والأخرى $480\,\Omega$. ما شدة التيار الحقيقية في غياب الأميتر؟

* **60** (II) القوة الدافعة لبطارية $\mathscr{E} = 12.0\,V$، ومقاومتها الداخلية $r = 1.0\,\Omega$ موصولة مع مقاومتي توالٍ كلّ واحدة منها $9.0k\,\Omega$. استخدم أميترًا مقاومته الداخلية $0.50\,\Omega$ لقياس التيار، واستخدم في الوقت نفسه فولتميترًا مقاومته الداخلية $15k\,\Omega$ لقياس الفرق في الجهد بين طرفي إحدى $9.0\text{-k}\Omega$ هاتين المقاومتين في الدارة. ما قراءة كلٍّ من الأميتر والفولتميتر؟

* **61.** (III) مقاومتان، كلُّ واحدةٍ منهما $9.4k\,\Omega$ وصلتا على التوالي مع بطارية. فولتميتر حساسيته $1000\,\Omega/V$ وتدريجه 3.0V يقرأ 2.0V عند وصله بين طرفي أيّ من المقاومتين. ما القوة الدافعة الكهربائية لهذه البطارية؟ (أهمل مقاومتها الداخلية)

* **62.** كم يجب أن تكون المقاومة الداخلية للفولتميتر الوارد في (المثال 19-15) لتكون نسبة الخطأ فيه أقلّ من 3%؟

* **63.** عندما تكون قيمة المقاومة R في الشكل 19-59 تساوي $35\,\Omega$، فإنّ الفولتميتر الذي مقاومته كبيرة يقرأ 9.7V. إذا استعملنا مقاومة أخرى قيمتها $9.0\,\Omega$ بدلًا من R، فإنّ قراءة الفولتميتر تهبط إلى 8.1V. ما القوة الدافعة الكهربائية لهذه البطارية؟ وما مقاومتها الداخلية؟



الشكل 19 - 59
(المسألة 63)

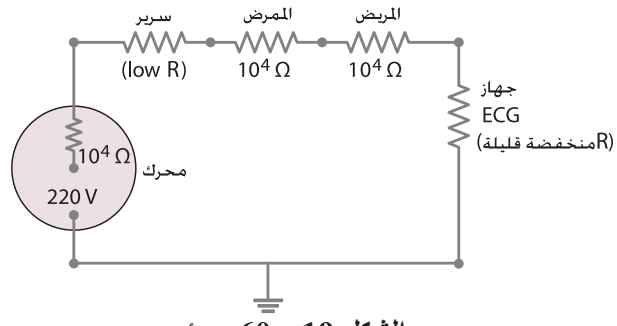
مسائل عامة

64. افرض أنّك تريد تطبيق فرق جهد مقداره 0.25-V بين نقطتين على جسد إنسان. المقاومة حوالي $2000\,\Omega$، ولديك بطارية 9.0-V فقط. كيف يمكنك توصيل مقاومة أو أكثر للحصول على الجهد المطلوب؟

65. **مصباح ثلاثي التوصيل** يمكنه إنتاج 50 W، 100 W، و 150 W عند جهد 120V. يحتوي مثل هذا المصباح على فتيلتين يمكن وصلهما مع مصدر الجهد 120V بشكل منفرد أو على التوازي (أ) صف كيف يتمّ التوصيل مع الفتيلين للحصول على كلّ قدرة من القدرات الثلاث. (ب) كم يجب أن تكون مقاومه كلّ فتيل؟

66. افرض أنّك تريد تشغيل جهاز ما يبعد 95m عن مخرج كهرباء. (كلّ سلك من أسلاك توصيل جهازك إلى المصدر 120-V، مقاومته لكلّ وحدة طول تساوي $(0.0065\,\Omega/m)$. إذا سحب الجهاز تيّارًا شدته $3.0A$، كم سيكون الهبوط في الجهد بين طرفي أسلاك التوصيل؟ وكم سيكون الجهد بين طرفي الجهاز؟

67. يمكن أن تكون الكهرباء خطرًا في المستشفيات خصوصًا للمرضى الذين توصل أجسامهم مع أقطاب كهربائية كجهاز تخطيط القلب. افرض أنّ المحرك في سرير كهربائي قد وُصل مع إطار السرير نتيجة لعطل ما، وأنّ سلك توصيل إطار السرير مع الأرض مقطوع (أو أنه غير موجود أصلا). إذا لامست ممرضة السرير والمريض في الوقت نفسه، فإنها تصبح موصلا، وتكتمل الدارة خلال المريض إلى الأرض خلال جهاز تخطيط القلب. وهذا مبين بشكل تخطيطي في (الشكل 19 - 60). احسب التيار المار خلال المريض.



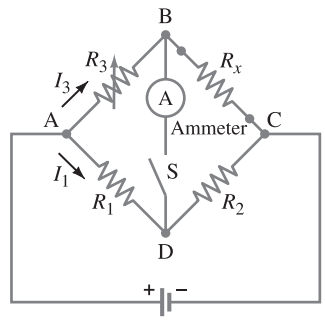
الشكل 19 - 60 (مسألة 67).

68. كم كمية الطاقة التي تستهلكها بطارية 45V في شحن مواسعين: أحدهما $0.40\text{-}\mu F$ والآخر $0.60\text{-}\mu F$ بشكل كامل عند وصلهما: (أ) على التوازي؟ (ب) على التوالي؟ وما كمية الشحنة التي تتدفق من البطارية في كلّ حالة؟

69. صُمّم منظّم نبضات قلب ليعمل بمعدّل 72 نبضة/ دقيقة باستعمال مواسع $7.5\text{-}\mu F$ في دارة RC بسيطة. ما قيمة المقاومة التي يجب أن تستخدم حتى يفصل منظّم النبضات (تفريغ المكثف) عندما يصل الجهد 63% من القيمة القصوى؟

70. افرض أنّ مقاومة جسمٍ ما تساوي $950\,\Omega$. (أ) ما شدة التيار المار خلال جسمه عندما يتصل عن غير قصد مع مصدر جهد 110V؟ (ب) إذا كان هنالك مسار بديل يتصل مع الأرض ومقاومته $45\,\Omega$، فما شدة التيار المار خلال هذا الشخص؟ (جـ) إذا كانت القيمة القصوى لشدة التيار الذي ينتجه المصدر تساوي $1.5A$، فكم شدة التيار المار خلال الشخص في الحالة (ب)؟

71. **قنطرة ويتستون** هي نوع من الدارات الكهربائية التي تُستخدم في قياس مقاومةٍ مجهولة. المقاومة المجهولة التي يُراد قياسها R_x توضع في الدارة مع مقاومات معلومة بشكلٍ دقيق وهي R_1 وR_2، و R_3 (الشكل 19-61). إحدى هذه المقاومات R_3 متغيّرة، ويمكن تعديلها بحيث إنه عندما يغلق المفتاح لحظيًّا، تظهر قراءة الأميتر Ⓐ أنّ التيار المتدفّق يساوي صفرًا. (أ) جد R_x بدلالة R_1، وR_2، وR_3. (ب) إذا حدث اتزان قنطرة ويتستون عندما $R_1 = 630\,\Omega$ و $R_2 = 972\,\Omega$، و $R_3 = 42.6\,\Omega$، فما قيمة المقاومة المجهولة؟

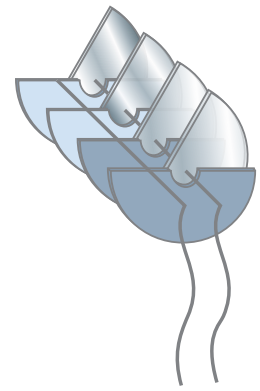


الشكل 19 - 61
(المسألتان 71 و 72)
قنطرة ويتستون

72. قطعةٌ من سلك بلاتين مجهولة الطول، وقطرها 0.920 mm وضعت كمقاومةٍ مجهولةٍ في قنطرة ويتستون (انظر إلى المسألة 71، الشكل 19 - 61). مقاومة كلٍّ من الذراعين 1، و 2 $38.0\,\Omega$، و $46.0\,\Omega$ على الترتيب، وتحقّقان الاتزان عندما R_3 تساوي $3.48\,\Omega$. كم طول سلك البلاتين؟

73. ما قيم المكثفة الفاعلة التي يمكن الحصول عليها بتوصيل أربعة مواسعات متماثلة. ومواسعة كلٍّ منها C؟

74. يتكوّن المكثّف المتغيّر في جهاز موالفة المذياع القديم من أربعة ألواح موصولة مع بعضها، توضع واحدًا بعد الآخر بين أربعة ألواح أخرى موصولة أيضًا مع بعضها (الشكل 19 - 62). كلُّ لوحٍ منفصلٍ عن اللوح المجاور له بـ 1.5 mm من الهواء. مجموعةٌ واحدةٌ من هذه الألواح يمكن أن تتحرك بحيث تتغير منطقة التداخل بين الألواح بمقدار يتراوح من $2.0\ \text{cm}^2$ إلى $9.5\ \text{cm}^2$. (أ) هل هذه المكثفات السبعة موصولة على التوالي أم على التوازي؟ (ب) حدد مدى قيم المكثفة.

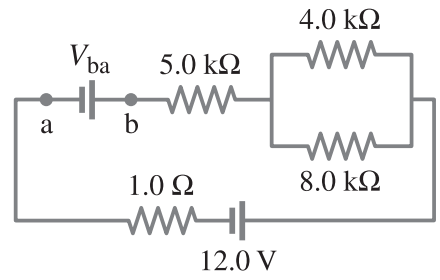


الشكل 19-62
(المسألة 74)

75. تنتج بطارية 40.8V عندما يُسحب منها تيّارٌ شدّته 7.40A، و47.3V عندما يُسحب منها 2.20A. ما القوة الدافعة الكهربائية لهذه البطارية؟ وما مقاومتها الداخلية؟

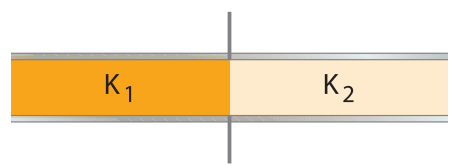
76. كم عدد المقاومات (قيمها متساوية) التي قدرة كلّ منها $\frac{1}{2}$-W اللازم استخدامها للحصول على مقاومة مكافئة قيمتها 2.2$k\ \Omega$ وقدرتها 3.5W؟ ما قيمة كلّ مقاومة؟ وكيف يجب أن تكون موصولة؟ لا تجعل القدرة في كلّ مقاومة تزيد على $\frac{1}{2}$ W

77. التيار المار خلال المقاومة 4.0-kΩ في الشكل 19 - 63 يساوي 3.50 mA. ما الجهد الطرفي V_{ba} للبطارية المجهولة؟ (هناك إجابتان، لماذا؟) [مساعدة: استخدم حفظ الطاقة أو قاعدتي كيرشوف].



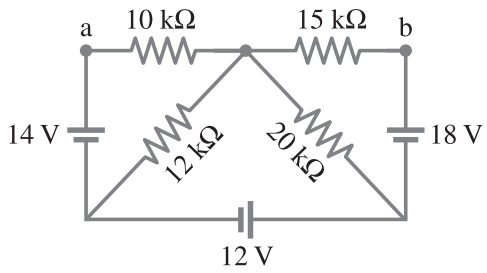
الشكل 19 - 63 (المسألة 77)

78. مواسع هوائي متوازي اللوحين، مواسعته C_0. أُدخل لوحان عازلان حجماهما متماثلان ثابت عزل أحدهما K_1 والآخر K_2 كما في (الشكل 19-46). ما هي المكثفة الجديدة؟ [مساعدة: اعتبر ذلك مثل مواسعين موصولين مع بعضهما]



الشكل 19 - 64 (المسألة 78)

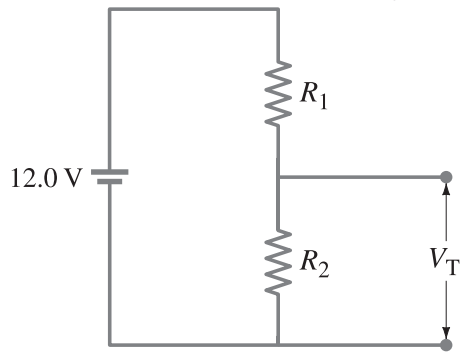
79. للدارة المبينة في (الشكل 19 - 65)، حدّد كلّا من: (أ) التيار المار خلال البطارية 14 V. (ب) الفرق في الجهد بين النقطتين a و b. V_a-V_b.



الشكل 19 - 65 (المسألة 79)

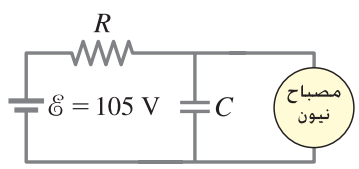
80. خليّةٌ شمسيّةٌ، 3.0 cm. ينتج منها تيّارٌ شدّته 350 mA عند جهد 0.80 V عندما تتعرض لضوء الشمس الساطعة. يُحتاج إلى لوحة شمسية لتزويد حمل خارجي بتيار 1.0 A عند جهد 120 V. كم عدد الخلايا التي سوف تحتاج إليها لعمل هذه اللوحة؟ كم حجم اللوحة الشمسية التي ستحتاج إليها؟ كيف توصل الخلايا بعضها ببعض؟ كيف تُحسِّن إنتاجيّة اللوحة الشمسية؟

81. مردودُ الجهد الناتج من مصدر طاقة ثابتٌ، ويساوي 12.0 V تحتاج في تجربة ما إلى الجهد $V_T = 3.0\ \text{V}$. (أ) مستخدمًا مجزىء الجهد المبين في (الشكل 19 - 66)، كم يجب أن تكون R_2 إذا كانت R_1 تساوي 10.0 Ω؟ (ب) كم يكون الجهد الطرفي V_T إذا وصلت حِمْلا مع الطرف 3.0 V، مفترضًا أنّ مقاومة الحِمْل 7.0Ω؟



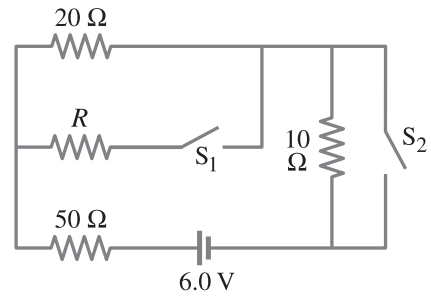
الشكل 19 - 66 (المسألة 81)

82. تستخدم الدارة المبينة في (الشكل 19 - 67)مصباح النيون كما في (الشكل 19 - 23 أ). جهد حدّ العتبة اللازم للتوصيل في هذا المصباح يساوي V_0؛ لأنّ التيار لا يتدفق حتى يتأين غاز النيون في الأنبوب عن طريق مجال كهربائي قوي بما فيه الكفاية. حالما يُجتاز جهد العتبة، تصبح مقاومة المصباح مهملة. يخزن المكثف طاقة كهربائية يمكن أن تتحرر وتضيء المصباح. افرض أنّ $C = 0.150\ \mu\text{F}$، $R = 2.35 \times 10^6\ \Omega$، $V_0 = 90.0\ \text{V}$ و $\mathcal{E} = 105\text{V}$. (أ) مفترضًا أنّ الدارة موصولة مع مصدر القوة الدافعة الكهربائية عند اللحظة $t = 0$ ، فعند أيّ لحظة يحدث أول وميض للضوء؟ (ب) إذا زادت قيمة R، هل الزمن الذي وجدته في الفرع (أ) يزداد أم يقل؟ (جـ) إنّ وميض المصباح قصير جدًّا. لماذا؟ (د) وضّح ماذا يحدث بعد وميض المصباح لأوّل مرة؟



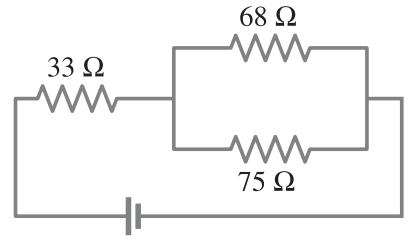
الشكل 19 - 67
(المسألة 82)

83. إن التيار المار خلال المقاومة 20 Ω في (الشكل 19 - 68)لا يتغير سواء كان المفتاحان مغلقين أو مفتوحين. استخدم هذه الفكرة لإيجاد قيمة المقاومة المجهولة R.



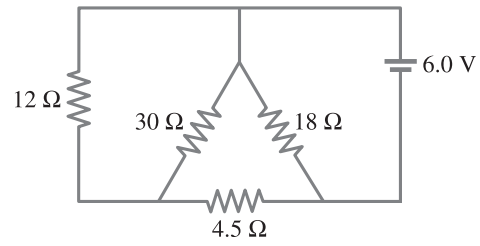
الشكل 19 - 61 (المسألة 83)

84. في الدارة المبينة في (الشكل 19 - 69). القدرة المستنفدة في المقاومة 33Ω تساوي $0.50W$. كم الفرق في الجهد بين طرفي البطارية؟



الشكل 19 - 69 (المسألة 84)

85. (أ) ما المقاومة المكافئة للدارة المبينة في (الشكل 19 - 70)؟ (ب) ما شدة التيار المار خلال المقاومة 18Ω؟ (جـ) ما شدة التيار المار خلال المقاومة 12Ω؟



الشكل 19 - 69 (المسألة 85)

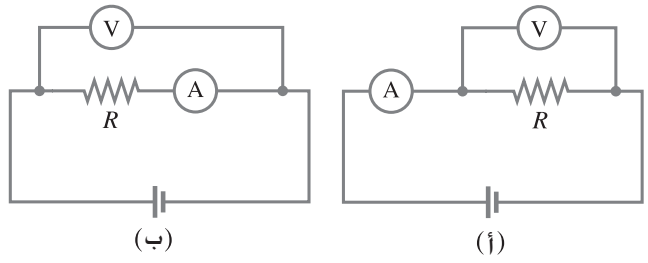
*** 86.** (أ)يمكن توصيل فولتميتر وأميتر كما هو مبين في (الشكل 19 -71 أ) لقياس المقاومة R. إذا كانت قراءة الفولتميتر V وقراءة الأميتر I. فإنّ قيمة R لا تساوي V/I تمامًا؛ (كما في قانون أوم) لأنّ جزءًا من التيار يمرّ في الحقيقة خلال الفولتميتر. أثبت أنّ القيمة الحقيقية للمقاومة R تُعطى بالعلاقة

$$\frac{1}{R} = \frac{I}{V} - \frac{1}{R_V}$$

حيث R_V تمثل مقاومة الفولتميتر. لاحظ أنّ $R \approx V/I$ إذا كانت $R_V \gg R$ (ب) يمكن أيضًا وصل فولتميتر وأميتر كما هو مبين في (الشكل 19- 71 ب) لقياس المقاومة R. أثبت في هذه الحالة أنّ

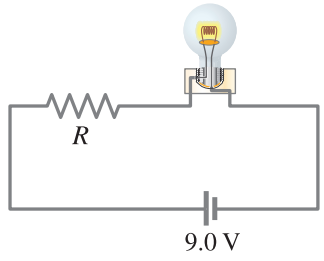
$$R = \frac{V}{I} - R_A$$

حيث V. و I قراءتا الفولتميتر والأميتر. و R_A مقاومة الأميتر. لاحظ أنّ $R \approx V/I$ إذا كانت $R_A \ll R$.



الشكل 19 - 71 (المسألة 86)

87. يعمل مصباح قدرته $2.5W$ عند جهد 3.0V بواسطة بطارية 9.0V. ولكي يضيء المصباح عند الجهد والقدرة المحددتين له؛ يتمّ وصل مقاومة R على التوالي كما هو مبين في (الشكل 19 - 72). كم يجب أن تكون قيمة المقاومة؟



الشكل 19 - 72 (المسألة 87)

إجابات التمارين

(أ): (جـ) $P_R = 13.1$ W، (ب) 11.4V، (أ) $1.14A$
(د) $P_r = 0.65$ W

(ب): توالٍ مع $R_1/R_2 = 4.0$

(جـ): $41I_3 - 45 + 21I_2 - 80 = 0$

(د): $180A$. هذا التيار المار في البطاريات كبير. وقد يجعلها ساخنةً جدًّا. القدرة المستنفدة خلال البطارية الضعيفة يجب أن تكون $P = I^2r = (180\text{ A})^2(0.10\ \Omega) = 3200\text{ W}$!

(هـ): 12 kΩ

(و): سوف يشتمل الفولتميتر على مقاومة $R_{ser} = 300\text{ k}\Omega$ موصولة على التوالي مع الجلفانوميتر.