



# الفيزياء

كتاب الطالب  
المستوى الحادى عشر

**PHYSICS**  
STUDENT BOOK

GRADE  
**11**

الفصل الدراسي الثاني - الجزء الأول  
SECOND SEMESTER - PART 1  
2020 - 2019

(نسخة تجريبية - Trial version - )



© وزارة التعليم والتعليم العالي في دولة قطر

يخضع هذا الكتاب لقانون حقوق الطباعة والنشر، ويخضع  
للاستثناء التشريعي المسموح به قانوناً ولأحكام التراخيص  
 ذات الصلة.

لا يجوز نسخ أي جزء من هذا الكتاب من دون الحصول  
على الإذن المكتوب من وزارة التعليم والتعليم العالي في  
دولة قطر.

تم إعداد الكتاب بالتعاون مع شركة تكنولاب.

التأليف: فريق من الخبراء بقيادة الدكتور توم سو وبالتعاون  
مع شركة باسكو العلمية.

الترجمة: مطبعة جامعة كامبريدج.

الطبعة التجريبية 2019-2020 م



حضره صاحب السمو الشيخ تميم بن حمد آل ثاني  
أمير دولة قطر

## النشيد الوطني

قَسَمًا بِمَنْ رَفَعَ السَّمَاءَ  
قَطَرُ سَتَبْقَى حُرَّةً  
سِيرُوا عَلَى نَهْجِ الْأَلَى  
قَطَرُ بِقَلْبِي سِيرَةً  
قَسَمًا بِمَنْ نَشَرَ الضِّيَاءَ  
تَسْمُو بِرُوحِ الْأَوْفِيَاءَ  
وَعَلَى ضِيَاءِ الْأَنْبِيَاءَ  
قَطَرُ الرِّجَالِ الْأَوَّلِينَ  
عِزٌ وَأَمْجَادُ الْإِبَاءَ  
حُمَانُّا يَوْمَ النِّدَاءَ  
وَحَمَائِمُ يَوْمَ الْفِدَاءَ  
جَوَارِحُ يَوْمَ السَّلَامَ





## المراجعة والتّدقيق العلمي والتّربوي

إدارة التّوجيه التّربوي

خبرات تربوية وأكاديمية من المدارس

الإشراف العلمي والتّربوي

إدارة المناهج الدراسية ومصادر التعلم

# الفيزياء

يعد كتاب الطالب مصدرًا مثيرًا لاهتمام الطلاب من ضمن سلسلة كتب العلوم لدولة قطر، فهو يستهدف جميع المعارف والمهارات التي يحتاجون إليها للنجاح في تنمية المهارات الحياتية وبعض المهارات في المواد الأخرى.

وبما أننا نهدف إلى أن يكون طلابنا ممكّنون، نود منهم أن يتّسموا بما يأتي:

- البراعة في العمل ضمن فريق.
- امتلاك الفضول العلمي عن العالم من حولهم، والقدرة على البحث عن المعلومات وتوثيق مصادرها.
- القدرة على التفكير بشكلٍ ناقدٍ وبناءً.
- الثقة بقدرتهم على اتّباع طريقة الاستقصاء العلمي، عبر جمع البيانات وتحليلها، وكتابة التقارير، وإنتاج الرسوم البيانية، واستخلاص الاستنتاجات، ومناقشة مراجعات الزملاء.
- الوضوح في تواصلهم مع الآخرين لعرض نتائجهم وأفكارهم.
- التّمرّس في التفكير الإبداعي.
- التّمسّك باحترام المبادئ الأخلاقية والقيم الإنسانية.

يتجسّد في المنهج الجديد العديد من التوجّهات مثل:

- تطوير المنهج لجميع المستويات الدراسية بطريقة متكاملة، وذلك لتشكيل مجموعة شاملة من المفاهيم العلمية التي تتوافق مع أعمار الطلاب، والتي تسهم في إظهار تقدّمهم بوضوح.
- مواءمة محتوى المصادر الدراسية لتنوّع الإطار العام للمنهج الوطني القطري بغية ضمان حصول الطلاب على المعارف والمهارات العلمية وتطوير المواقف (وهو يُعرف بالكتفاليات) مما يجعل أداء الطلاب يصل إلى الحد الأقصى.
- الانطلاق من نقطة محوريّة جديدة قوامها مهارات الاستقصاء العلمي، ما أسّس للتنوع في الأنشطة والمشاريع في كتاب الطالب.

- توزّع المعرفة والأفكار العلميّة المخصّصة لـكُلّ عام دراسيٍّ ضمن وحدات بطريقة متسلّلة مصمّمة لتحقيق التنوّع والتّطوّر.
- تعدد الدّروس في كُلّ وحدة، بحيث يعالج كُلّ درس موضوعاً جديداً، منطلقاً ممّا تّم اكتسابه في الدّروس السّابقة.
- إتاحة الفرصة للطلّاب، في كُلّ درسٍ، للتحقّق الذّاتيّ من معارفهم ولممارسة قدرتهم على حلّ المشكلات.
- احتواء كُلّ وحدة على تقويم للدّرس وتقويم الوحدة التي تمكّن الطّلّاب والأهل والمدرّسين من تتّبع التّعلّم والأداء.

العلوم مجموعة من المعارف التي تشمل الحقائق والأشكال والنظريّات والأفكار. ولكن العالم الجيد يفهم أن «طريقة العمل» في العلوم أكثر أهميّة من المعرفة التي تحتويها. سوف يساعد هذا الكتاب الطّلّاب على تقدير جميع هذه الأبعاد واعتمادها ليصبحوا علماء ناجحين ولديهم مجموعة واسعة من التّحدّيات في حياتهم المهنية المستقبلية.

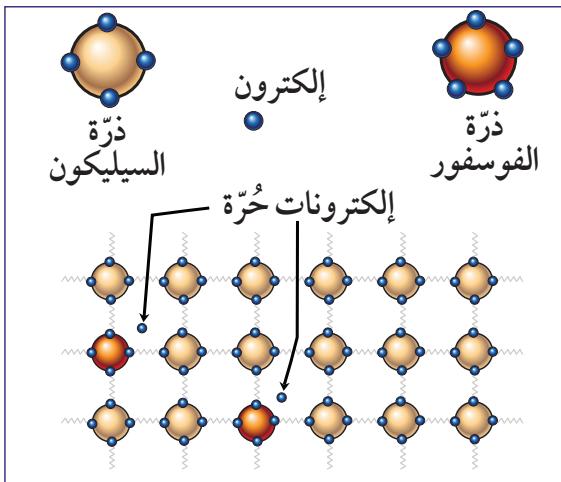
## مفتاح كفايات الإطار العام للمنهج التعليمي الوطني لدولة قطر

- |   |                         |
|---|-------------------------|
|  | الاستقصاء والبحث        |
|  | التعاون والمشاركة       |
|  | التّواصل                |
|  | التفكير الإبداعي والنقد |
|  | حلّ المشكلات            |
|  | الكفاية العددية         |
|  | الكفاية اللغوية         |

# الفيزياء

## ماذا ستتعلم من هذا الكتاب

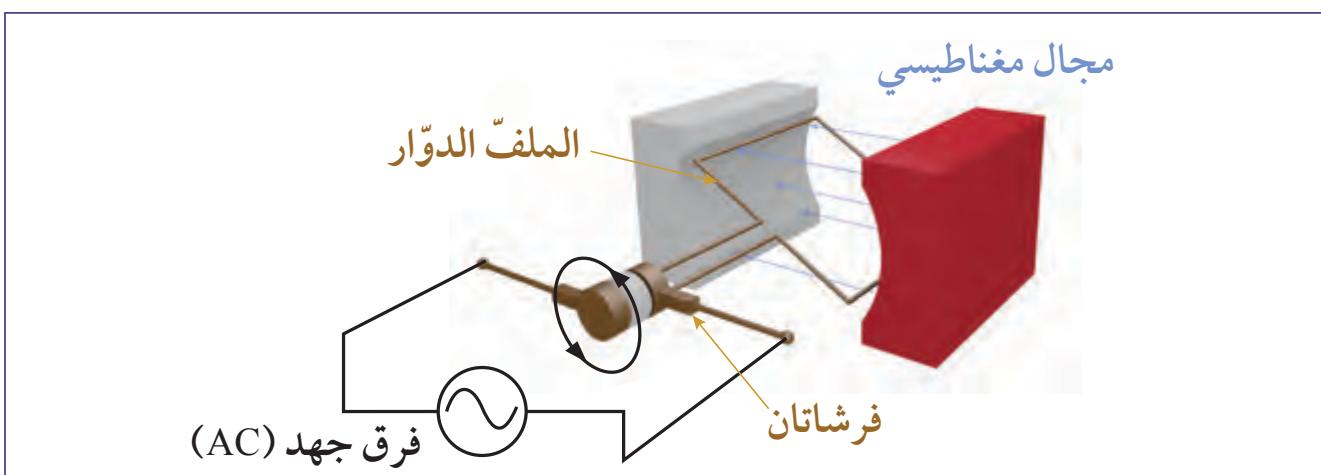
كم من الأشخاص من حولنا لديهم هاتف جوال؟ وكم منهم يعرف كيفية عمل ذلك الهاتف؟ يتناول هذا الكتاب المبادئ الأساسية لمختلف تقنيات الإلكترونيات وال WAVES ، كالتي في الهاتف النقالة وأجهزة الراديو والضوء.



تستخدم أشباه الموصلات خصائص مواد كالسيليكون والفوسفور.

تعلمت من قبل المبادئ الأساسية للدوائر الكهربائية. توسيع الوحدة الأولى في تلك المبادئ لتشمل دوائر المكثفات وأشباه الموصلات. تخزن المكثفات الشحنة الكهربائية، وتزودنا بدوائر تعتمد قيمتها على الزمن. وخلافاً لحالة السلك الموصل على الدوام، فإن شبه الموصل يمكن أن يتحوّل من موصل إلى عازل خلال  $10^{-9}$  s فقط. أي جهاز حاسوب عصري قد يحتوي على مiliar مفتاح صغير من أشباه الموصلات.

تقدّم الوحدة الثانية من الفصل الدراسي الثاني مبادئ كهرباء التيار المتردّد AC والاحتكاك الكهرومغناطيسي. ويربط التمايل اللافت في الفيزياء بين المجالين الكهربائي والمغناطيسي، ويشكل أساس الأجهزة الفعالة كالمولّدات الكهربائية.



بدأ عمل المولد الكهربائي.

## بعض أقسام هذا الكتاب

### أسئلة للمناقشة

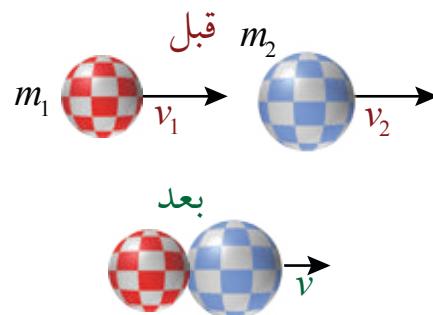
#### سؤال للمناقشة

ما الذي تذكّرُه حول المغناط والمغناط الكهربائية وكثافة الفيصل المغناطيسي؟

أسئلة المناقشة تزوّد الصّف بفرصة مناقشة المفاهيم والمعلومات الجديدة.

### الرسوم التوضيحية

#### تصادم غير مرن تماماً



مفاهيم مهمة  
ويبيانات وأمثلة  
لكل فكرة جديدة  
معروضة من  
خلال الإيضاحات  
المفصلة  
والشروحات

### شريط الأفكار المهمة

تحديد وتذكّر النّقط الرئيسيّة.

مقاومة المقاومة الضوئية تتحفظ بزيادة شدة الضوء.



### المسائل الرياضية

مثّلت علاقات الكمّيات الفيزيائية من خلال المتغيرات ووحدات قياسها بشكل واضح.

الطاقة المختزنة في المكثف	E	3-4
الشحنة الكهربائية (C)	Q	
الجهد الكهربائي (V)	V	$E = \frac{1}{2} QV$

### الأمثلة

تُظهر الأمثلة جميع خطوات الحل والتبّير للحصول على حسابات صحيحة.



ملف ذاتي مستوٍ فيه  $N = 10$  لفات مصنوع من سلك موصل يبلغ نصف قطره  $15\text{ cm}$ ، يقع تحت تأثير مجال مغناطيسي متّظم. الزاوية بين المجال المغناطيسي والعمودي على الملف هي  $35^\circ$ . إذا ازدادت شدة المجال المغناطيسي من  $2\text{ T}$  إلى  $7\text{ T}$  خلال  $5\text{ s}$ ،  
أ. احسب قيمة القوة الدافعة الكهربائية الحبيبة حول الملف.  
ب. ما اتجاه التيار الحبيبي؟

### العلم والعلماء

تم تطوير معارفنا العلمية على مدى أكثر من ثلاثة آلاف عام. تُطلعنا هذه المقالات على إلهام الإنسان وتبصره في التعامل مع العلم والتكنولوجيا.

الدرس 3-5: المُحولات الكهربائية



الشكل 37-5 نيكولا تسلا.

#### ضوء على العلماء

##### نيكولا تسلا (1856-1943)

ساهم كثير من الناس في التكنولوجيا المبكرة للكهرباء التيار المتردد AC. وكان نيكولا تسلا واحداً من أكثر العلماء شهرة من شاركوا في بدايات تلك التكنولوجيا. ولد تسلا في الإمبراطورية الممساوية (التي تُعرف الآن باسم كرواتيا)، ولكنه انتقل فيما بعد إلى الولايات المتحدة.

أثارت عروض الفيزياء التي كان يجربها مُدرّس تسلا في المدرسة الثانوية فضوله؛ ما ولد عنده رغبة قوية في معرفة المزيد. ويقال إنه كان يجري حسابات التفاضل والتكامل في رأسه أي من دون

# الفيزياء

## الأنشطة والمراجعة والتقويم

### الأنشطة

التدرّب العملي من خلال المختبر والمشاريع البحثية وغيرها من الأنشطة التي ترسّخ معاني الأفكار الجديدة وتطور العمل المخبري.

### تقويم الدرس

يتميز كل درس بعرض يحتوي على الأسئلة التي تغطي جميع المفاهيم والمعلومات في هذا الدرس.

### مراجعة الوحدة

ملخص قصير عند نهاية كل وحدة وهو مرجع سريع للأفكار والمصطلحات الرئيسية.

### تقويم الوحدة

زُوّدت كل وحدة بمجموعة من الأسئلة ذات الخيارات المتعددة كعينة تحضير الطالب لاختبار نموذجي.

### تقويم الوحدة

أسئلة الإجابة القصيرة وأسئلة ذات الإجابة المطولة ذات مستويات ثلاثة من الصعوبة عند نهاية كل وحدة.

نشاط عمل

b3-4

#### استكشاف دوائر مجزئ الجهد

سؤال الاستقصاء	استكشف كيف تعمل المكونات المختلفة في دائرة مجزئ الجهد.
المادة المطلوبة	مصباح، مجفف شعر، مقاومات مختلفة ذات قيمة ثابتة مثل $100\Omega$ ، $150\Omega$ ، مقايس للجهد، مقاومة ضوئية، مقاومة حرارية، مصدر للطاقة، ملتيميتر. (اختيارياً: مصابيح وصافرات).
الخطوات	

### تقويم الدرس 3-5

1. املأ الجدول الآتي لمحول مثالى:

عدد ملفات الابتدائي	عدد ملفات الملف الثاني (V)	جهد الملف الثاني (V)	جهد الملف الابتدائي (V)
48	240	60	
	100	200	
	50	250	
900	600		
	30	180	
60			

### الوحدة 5

#### مراجعة الوحدة

الدرس 5-1: الحث الكهرومغناطيسي

- الحث الكهرومغناطيسي هو ظاهرة تولد تيار كهربائي حي في موصل عند تغيير الفি�ض المغناطيسي الذي يقطعه الموصل بالنسبة للزمن.
- التيار الكهربائي الحي هو التيار الذي يمر في الموصلات، نتيجة لتغيير الفيض المغناطيسي.
- الفيض المغناطيسي هو شدة المجال المغناطيسي، B ، الذي يخترق مساحة A.

### تقويم الوحدة

اختيار من متعدد

1. ماذا تسمى المادة التي توصل التيار الكهربائي بسهولة؟

a. موصل

b. عازل

c. شيء موصل

d. شيء موصل فائقًا.

### تقويم الوحدة

29. لماذا لا يستطيع المحول أن يعطي  $25\text{ V DC}$ ، عند وصله ببطارية سيارة قوة دفعها الكهربائية  $9\text{ V}$ ؟30. تنتج إحدى محطّات الطاقة، كهرباء بفرق جهد  $13,200\text{ V}$ ، ويختَضِنَّ محول فرق الجهد إلى  $240\text{ V}$  للاستخدام المنزلي.a. ما القدرة الابتدائية في الخط الذي يبلغ فرق الجهد فيه  $13,200\text{ V}$  إذا كانت شدة تياره  $500\text{ A}$ .

X

## مخطّط المادة

### الوحدة 4

#### الأجهزة الإلكترونية في دوائر التحكم العملية

يخرّن المكثف الشحنة الكهربائية، ويزوّدنا بدوائر تعتمد قيمتها على الزمن. الترانزستورات والدايوودات هما من أجهزة أشباه الموصلات التي تُستخدم لبناء دوائر المنطق.

### الوحدة 5

#### الحث الكهرومغناطيسي

يولّد المجال المغناطيسي الذي يتغيّر مع الزمن تياراً حيّاً في ملف سلكي. تعتمد المولّدات الكهربائية وسواها من التقنيّات على مبدأ الحث هذا.

## جدول المحتويات

### الوحدة 4

#### الأجهزة الإلكترونية في دوائر التحكم العملية ..... 2

4 .....	المكثفات .....	الدرس 1-4
17 .....	أشباه الموصلات .....	الدرس 2-4
26 .....	مجرّئ الجهد .....	الدرس 3-4
37 .....	البوابات المنطقية .....	الدرس 4-4

### الوحدة 5

#### الحث الكهرومغناطيسي ..... 54

56 .....	الحث الكهرومغناطيسي .....	الدرس 1-5
72 .....	مولّدات التيار المتردّد (AC) .....	الدرس 2-5
83 .....	المُحوّلات الكهربائية .....	الدرس 3-5



# الوحدة 4

## الأجهزة الإلكترونية في دوائر التحكم العملية

في هذه الوحدة

P1109

P1110

P1111

الدرس 1-4: المكثفات

الدرس 2-4: أشباه الموصلات

الدرس 3-4: مجزئ الجهد

الدرس 4-4: البوابات المنطقية

# 4

## الوحدة

### مقدمة الوحدة

دائرة التحكم هي دماغ إلكتروني يستشعر البيئة المحيطة، ويتم فتح النظام أو غلقه كاستجابة لذلك. تُعدّ دوائر التحكم جوهر التشغيل الآلي، وتوجد في الكثير من الأدوات والآلات والأجهزة الإلكترونية. ولدوائر التحكم دور مهم في حفظ الطاقة الكهربائية.

يتغيّر الجهد والتيار الكهربائيان مع الزمن في دوائر التحكم. يعرّفنا الدرس الأول بالمكثفات التي تخزن شحنات كهربائية، ويعالج الدرس الثاني أشباه الموصلات، التي تشمل الترانزستور والدايود وشرائح الكمبيوتر. وبالرغم من وجود أنواع مختلفة من أشباه الموصلات، فإننا سنكتفي بدراسة مادة السيليكون.

ويتناول الدرسان الثالث والرابع المكوّنات الأساسية لدوائر التحكم. يتكون مجزئ الجهد من مقاومات ويقوم بالعمل الذي يدلّ عليه اسمه. البوابات المنطقية هي دوائر أشباه موصلات تحتوي على العديد من الترانزستورات والمقاومات والمكثفات. وتقوم باتخاذ قرارات التشغيل الإلكترونية لمبنيّه عند تحفيز مستشعر النافذة، أو مستشعر الباب.

### الأنشطة والتجارب

دوائر المكثفات 1-4

دائرة مجزئ الجهد a3-4

استكشاف دوائر مجزئ الجهد b3-4

الدوائر المنطقية 4-4

# الدرس 1-4

## المكثفات



الشكل 1-4 سيارة كهربائية أثناء شحنها.

يتزايد استخدام السيارات الكهربائية والهجينة يوماً بعد يوم. ويوظف العلماء والمهندسوں مزيداً من الوقت والمال لزيادة كفاءتها وجعلها صديقتين للبيئة ما أمكن. لمكثفات الألومنيوم الإلكترولية ومكثفات الغشاء الرقيق دور أساسي في السيارات الكهربائية والهجينة.

تُستعمل المكثفات في عاكس المحرّكات، وعاكس التيار AC/DC والشواحن، وكذلك في نظام المكابح التجديدي، حيث يلتقط هذا النظام الطاقة الحركية المفقودة كحرارة، عند انخفاض سرعة السيارة، ويحوّلها إلى كهرباء. يخزن المكثف الطاقة الكهربائية لفترة وجيزة من الوقت، قبل إعادة تدويرها، لزيادة سرعة السيارة مرة أخرى. حتى أن بعض السيارات تستعمل المكثفات الفائقة للحصول على الطاقة المتتجددة من المكابح.

يقوم العلماء والمهندسوں بمحاولات حثيثة، لتوظيف بطاريات الليثيوم الثقيلة والمكلفة مع المكثفات الفائقة.

### المفردات



Capacitors	المكثفات
Capacitance	السعة
Time constant	الثابت الزمني
Conservation of charges	حفظ الشحنات

### مخرجات التعلم

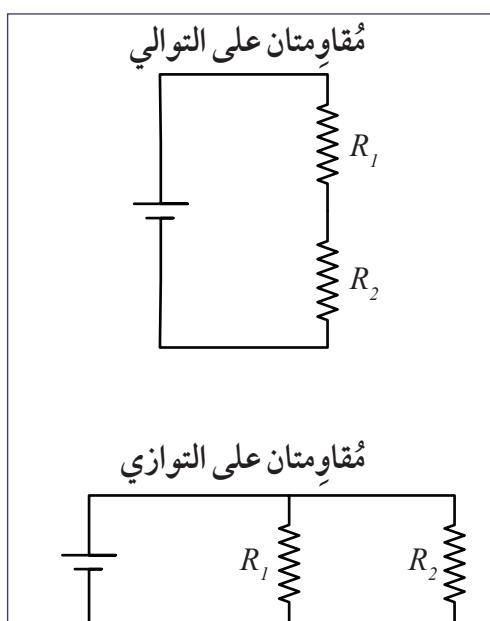
**P1109.1** يصف كيف تصنع المكثفات ويستقصي خصائصها في الدوائر الكهربية.  
**P1109.2** يعرّف سعة المكثف ويحل مسائل حسابية باستخدام المعادلة:  $Q = C \cdot V$  ويشتق الصيغة ويستخدمها في حساب الطاقة المخزنة في المكثف:  
$$U = \frac{1}{2} QV$$
.

**P1109.3** يستقصي شحن المكثف وتفریغه، ويحل مسائل حسابية باستخدام الثابت الزمني:  $\tau = RC$ .

**P1109.4** يشتق صيغ السعة المكافئة لمكثفات متصلة على التوالی والتوازی، ويستخدمها في حل مسائل حسابية.

## مراجعة للدوائر الكهربائية

- التيار الكهربائي هو تدفق الجسيمات المشحونة، ومثاله حركة الإلكترونات داخل الموصلات. وحدة قياس شدة التيار الكهربائي، هي الأمبير(A).
- يعزى تدفق التيار إلى فرق الجهد، ووحدة قياس فرق الجهد هي الفولت(V). يقاس فرق الجهد بين نقطتين في الدائرة.
- تحدد المقاومات الكهربائية كمية التيار المتدفق نتيجة لفرق جهد معين. وتسمح المقاومة الكبيرة لتيار صغير فقط بالمرور. بينما تمرر المقاومة الصغيرة تياراً كبيراً. وحدة قياس المقاومة هي الأوم ( $\Omega$ ).



الشكل 2-4 مُقاومات على التوازي وعلى التوازي.

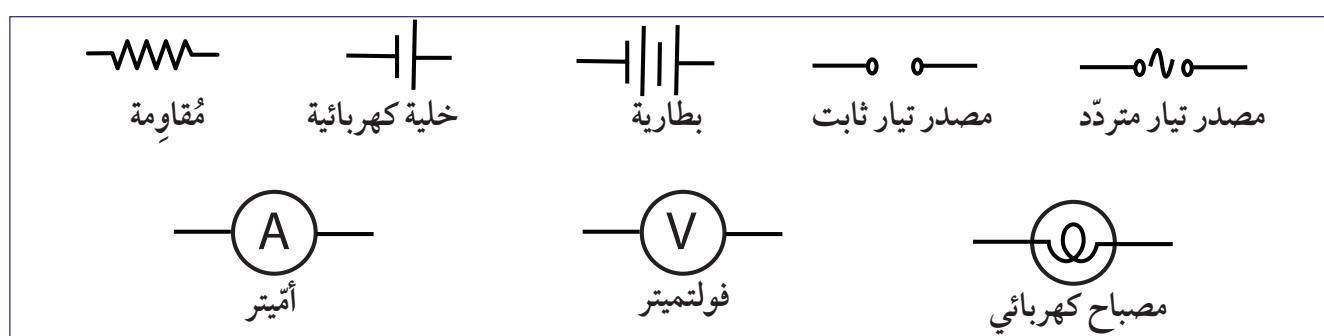
يمكننا توصيل الدوائر الكهربائية على التوازي، أو على التوازي، كما في الشكل 2-4. للدوائر المتصلة على التوازي مسار واحد يتبعه التيار. تتضمن الدائرة المتصلة على التوازي مسارات متعددة، يمكن أن يسري فيها التيار الكهربائي.

**صيغ مهمّة:**

قانون أوم	$V = IR$	مُقاومات على التوازي
القدرة الكهربائية	$P = VI$	مُقاومات على التوازي
		$R_T = R_1 + R_2 + R_3$
		$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

## الرموز الكهربائية

تُستخدم الرموز في الشكل 3-4 إضافة إلى الأدوات الكهربائية والأسلامك، لإتمام رسوم الدوائر الكهربائية.

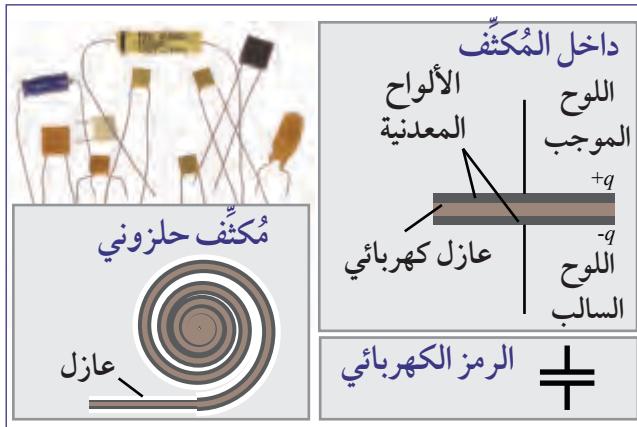


الشكل 3-4 مراجعة للرموز الكهربائية.

## المُكْثِف

**المُكْثِف Capacitor** هو جهاز يخزن الشحنات الكهربائية، ويولّد حول طرفيه جهدًا يتناسب طرديًا مع كمية الشحنة المختزنة. تُخزن المُكثفات الطاقة الكهربائية، وهي تستعمل في كثير من الأدوات الإلكترونية.

### مُكَوِّنَاتُ الْمُكْثِف

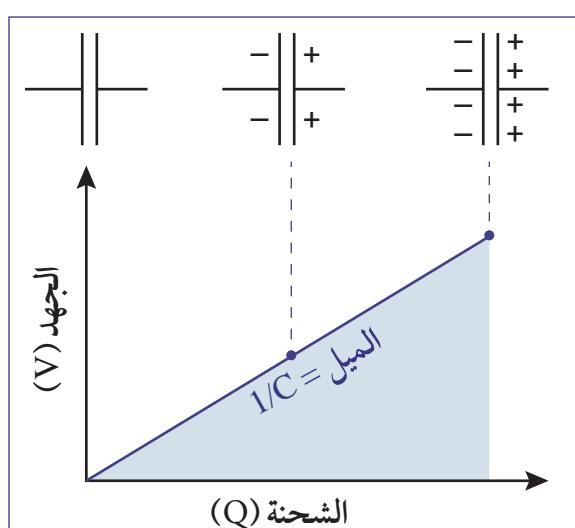


الشكل 4-4 للمُكثفات حجوم مختلفة ولكل منها عازل كهربائي يفصل بين السطحين المعدنيين.

يتتألف المُكثف من لوحين معدنيين موصلين ومتوارزين، يفصل بينهما عازل كهربائي (الشكل 4-4). وعلى الرغم من أن اللوحين المعدنيين متقاربان جداً، فإن العازل يمنع أي اتصال كهربائي بينهما. تنوع المواد التي تكون عوازل كهربائية، فمنها الزجاج والمطاط والسيراميك والورق، ومواد أخرى. لتخزين شحنة أكبر يلجأ المصنعون إلى لف الألواح مع العازل بشكل لولبي. ويرمز للمُكثف الكهربائي في الدوائر الكهربائية بخطين متوازيين يمثلان اللوحين المعدنيين المتوازيين للمُكثف.

في بعض الدوائر الكهربائية، يمكننا توصيل المُكثف على التوالي مع مقاومة وبطارية. عند إتمام الدائرة وإغلاق المفتاح الكهربائي، يبدأ المُكثف بشحن نفسه. تراكم الشحنات الموجبة على أحد اللوحين، وتراكم كمية مماثلة من الشحنات السالبة على اللوح الآخر. ينشأ من اختلاف الشحنات على اللوحين فرق جهد كهربائي.

السعة الكهربائية ( $F$ )	$C$	السعة الكهربائية	1-4
الشحنة الكهربائية ( $C$ )	$Q$	$C = \frac{Q}{V}$	
الجهد الكهربائي ( $V$ )	$V$		

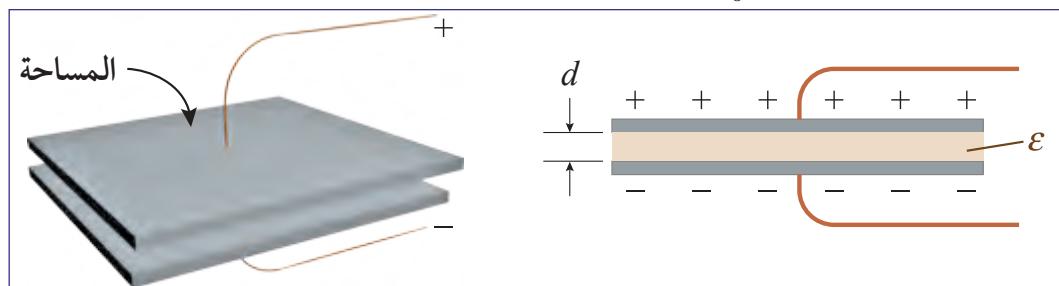


الشكل 4-5 السعة الكهربائية هي معكوس ميل منحى بدلالة  $Q$ .

**السعة الكهربائية Capacitance** هي نسبة الشحنة الكهربائية المختزنة في مُكثف إلى فرق الجهد بين لوحيه. أما وحدة قياس السعة، فهي الفاراد ( $F$ ) نسبة إلى مايكيل فارادي. يستطيع مُكثف سعته 1 فاراد تخزين 1 كولوم من الشحنة وحفظه، إذا كان فرق الجهد بين طرفيه هو 1 فولت. تمثل المعادلة (1-4) العلاقة بين الشحنة الكهربائية والسرعة وفرق الجهد. يعاد كولوم واحد كمية كبيرة من الشحنات الكهربائية، وبالتالي فإن فارادًا واحدًا هو أيضًا مقدار كبير من السعة. تتراوح السعة المستخدمة في مجال الإلكترونيات بين بيوكاراد واحد ( $1pF = 10^{-12} F$ ) إلى بعض مئات من الميكروفاراد ( $1\mu F = 10^{-6} F$ ).

## المكثف المتوازي اللوحين

يتتألف أبسط أنواع المكثفات من لوحين موصلين ومتوازيين مساحتهم المشتركة  $A$  وتفصل بينهما مسافة  $d$  كما في الشكل 4-6. تُملاً المنطقة بين اللوحين بمادة عازلة سماحيتها  $\epsilon_r = \epsilon_0 \epsilon_r$ ، ثابت السماحية للوسط  $\epsilon_0$ ، سماحية الهواء أو الفراغ  $\epsilon_0$ ، ثابت العزل للمادة العازلة  $\epsilon_r$  وإذا كان الوسط العازل فراغاً تكون سماحيته  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$  و  $\epsilon_r = 1$ .



الشكل 4-6 المكثف المتوازي اللوحين.

(C)	$C$	الطاقة المخزنة في المكثف	2-4
مساحة اللوحين ( $\text{m}^2$ )	$A$		
السماحية ( $\text{F/m}$ )	$\epsilon$		
المسافة بين اللوحين (m)	$d$		

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

تزداد السعة الكهربائية بازدياد مساحة اللوحين وتنقص بازدياد المسافة بينهما (المعادلة 4-2). تُملاً المنطقة بين اللوحين، في حالة الأجهزة الإلكترونية، بمادة عازلة تكون سماحيتها  $\epsilon$  أكبر من سماحية الفراغ  $\epsilon_0$  وذلك من أجل زيادة السعة الكهربائية. المواد العازلة المعروفة كالزجاج والبلاستيك لها سماحية  $\epsilon = 10 - 20$  بينما سماحية الماء  $\epsilon = 708 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ . يُعرف ثابت العازل كنسبة سماحية العازل إلى سماحية الفراغ، فتكون السماحية النسبية (ثابت العازل) للماء:

$$\frac{708 \times 10^{-12} \text{ F/m}}{8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}} = 80$$

مثال 1

احسب السعة الكهربائية لمكثف مساحة لوحية  $1 \text{ m}^2$  والمسافة بينهما  $1 \text{ mm}$  حيث العازل هو الفراغ.

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} = (8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m})(1)\left(\frac{1 \text{ m}^2}{0.001 \text{ m}}\right) = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F}$$

الحل:

مثال 2

احسب المساحة المشتركة للوحية مكثف إذا كانت سعته الكهربائية  $10^{-5} \text{ F}$  والمسافة بين لوحية  $0.1 \text{ mm}$  وثابت العازل بين لوحية  $\epsilon_r = 3.5$ .

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \rightarrow A = \frac{Cd}{\epsilon_0 \epsilon_r} = \frac{(10^{-5} \text{ F})(0.0001 \text{ m})}{(8.85 \times 10^{-12} \text{ F})(3.5)} = 32.3 \text{ m}^2$$

الحل:

## الطاقة المخزنة في المكثف

أحد لوحي المكثف يخزن شحنات موجبة، بينما يخزن اللوح الآخر كمية مماثلة من الشحنات السالبة. يؤدي تجمع شحنة موجبة مقدارها  $C_1$  على أحد لوحي المكثف وأخرى سالبة  $C_1$  على لوحه الآخر إلى طاقة وضع كهربائية تخزن في المكثف تسمى فرق الجهد بين اللوحتين، ووحدة قياسها الفولت (volt). تعبّر المعادلة (4-3) عن الطاقة الكهربائية التي يخزنها المكثف لشحنة  $Q$  وتتقاس هذه الطاقة بالجول.

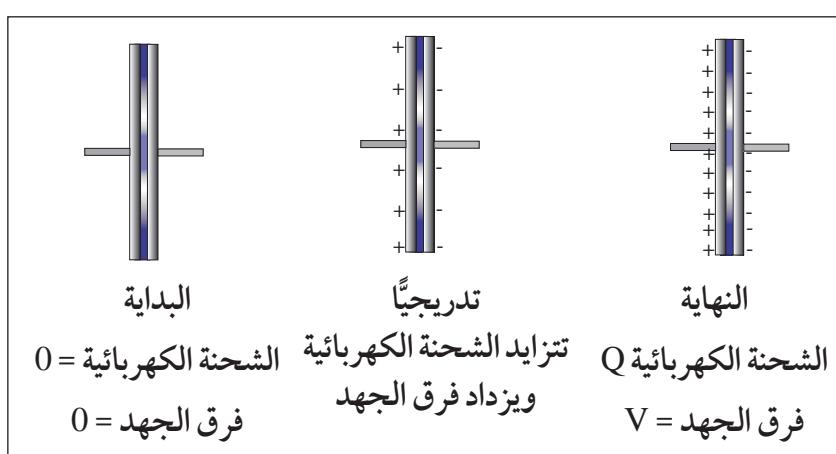
الطاقة المخزنة (J)	$E$	الطاقة المخزنة في المكثف	3-4
الشحنة الكهربائية ( $C$ )	$Q$	$E = \frac{1}{2} QV$	
الجهد الكهربائي ( $V$ )	$V$		◀

### الشغل المبذول والطاقة المخزنة في المكثف

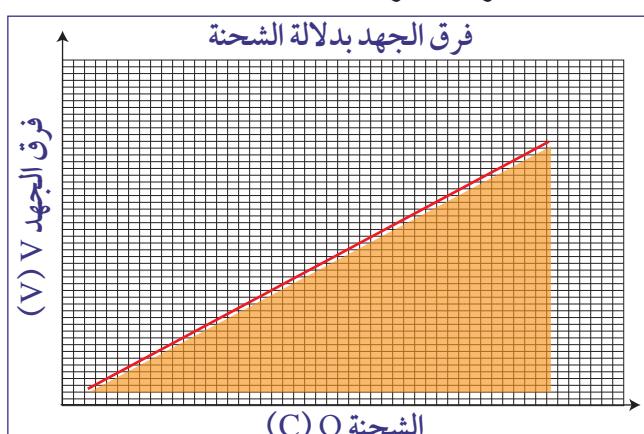
تذكّر أن فرق الجهد الكهربائي،  $V$ ، بين نقطتين هو الشغل المبذول لتحريك شحنة، مقدارها كولوم واحد، من نقطة إلى أخرى.

أمّا لتحريك شحنة مقدارها  $Q$  تحت فرق جهد  $V$ ، فإن الطاقة المخزنة تكون  $E$ . الأمر الذي يمكننا

$$E = \frac{1}{2} QV$$



الشكل 4-4 ازدياد الشحنة الكهربائية وفرق الجهد.



الشكل 4-4 رسم بياني للعلاقة بين الشحنة الكهربائية وفرق الجهد.

يوضح الشكل 4-7 تزايد الشحنة الكهربائية، وفرق الجهد، تدريجيًّا، في المكثف الفارغ أثناء شحنه. يتطلّب تخزين الشحنة الأولى شغلاً قليلاً ويكون فرق الجهد قليلاً أيضًا.

كلما ازدادت شحنة المكثف، تزايد التناقض بين شحنته المتشابهة، وتزايد الجذب بين الشحنات المختلفة؛ فيزداد فرق الجهد بين اللوحتين. إذا رسمنا العلاقة بين  $Q$  و  $V$  نحصل على المنحنى كما في الشكل 4-6.

من المعادلة  $E = QV$  والشكل 4-5، نلاحظ أن معدل فرق الجهد أثناء الشحن يساوي  $\frac{V_f + V_i}{2}$ . وبالتالي تصبح الطاقة المخزنة  $E = \frac{1}{2} QV$ . كما يمكن الحصول على الطاقة المخزنة نفسها من المساحة تحت منحنى فرق الجهد بدلالة الشحنة في الرسم البياني (الشكل 4-8): أي  $E = \frac{1}{2} QV$ .

## مثال 3

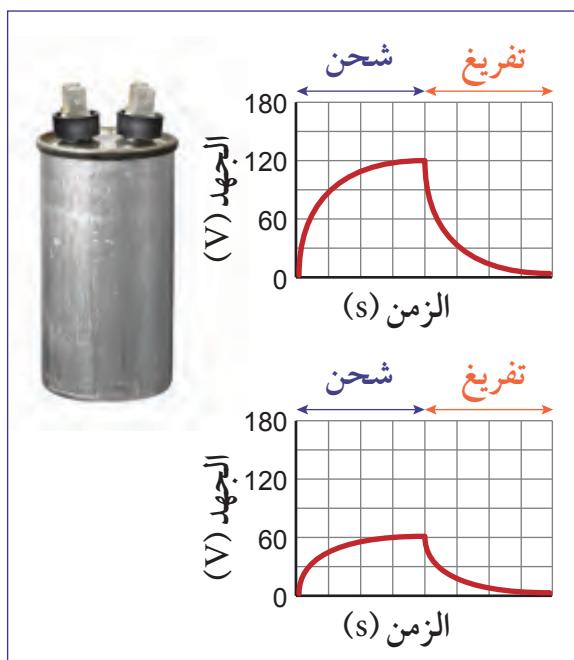


مكثف سعته  $50 \mu F$  يراد شحنه ليكون فرق الجهد حول طرفيه  $60 V$ .

1. احسب الشحنة الكهربائية للمكثف.

2. احسب الطاقة المخزنة في المكثف.

3. احسب الطاقة المخزنة في المكثف إذا تضاعف فرق الجهد بين طرفيه إلى  $120 V$ .



الشكل 9-4 منحنيا الشحن والتفریغ عند جهدين  $120V$  و  $60V$ .

المطلوب:

1. الشحنة الكهربائية  $Q$ .

2. الطاقة المخزنة  $E$ .

3. الطاقة المخزنة  $E$  إذا كان فرق الجهد  $120V$ .

$C = 50 \mu F$  المعطى:

$$V = 60V$$

$$V = 120V$$

العلاقات:

$$C = \frac{Q}{V}$$

$$E = \frac{1}{2} Q.V$$

الحل:

1. الشحنة الكهربائية للمكثف يعبر عنها بـ:

$$Q = CV = 50 \mu F(60V) = (50 \times 10^{-6} F)(60V) = 0.003C$$

2. لحساب مقدار الطاقة المخزنة في المكثف نستخدم:  $E = \frac{1}{2} QV = \left(\frac{1}{2}\right)(0.003)(60) = 0.09J$

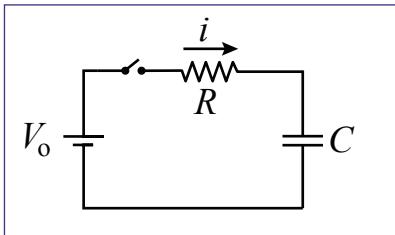
3. عند تضاعف فرق الجهد بين طرفي المكثف فإن شحنته الكهربائية تتغير، لتصبح:

$$Q = CV = (50 \times 10^{-6} F)(120V) = 0.006 C$$

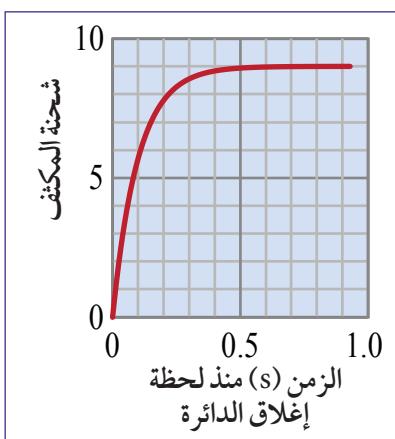
الطاقة المخزنة في المكثف تصبح عندها:

$$E = \frac{1}{2} Q.V = \frac{1}{2}(0.006C)(120V) = 0.36J$$

## شحن المكثف



الشكل 10-4 المكثف في دائرة كهربائية



الشكل 11-4 رسم بياني للشحنة حول طرفي المكثف بدلالة الزمن.

يُشحّن المكثف بوصل طرفيه بمصدر فرق الجهد (الشكل 10-4).

1. عند غلق الدائرة الكهربائية، يمرّ التيار الكهربائي، حتى يتراكم ما يكفي من الشحنات على طرفي المكثف لتوليد أقصى فرق جهد  $V_0$ .

2. يتوقف التيار الكهربائي عن التدفق عندما يصل فرق جهد طرفي المكثف إلى  $V_0$ ، فيتعادل عندها فرق جهد المصدر مع فرق جهد المكثف.

يعتمد معدل تراكم الشحنة الكهربائية على سعة المكثف، وعلى المقاومة الكلية في الدائرة. تعرّف المعادلة 4-4 **الثابت الزمني**  $\tau$ ، كحاصل ضرب المقاومة الكلية  $R$  للدائرة في سعة المكثف  $C$ . وتكون الثانية (s) وحدة قياس الثابت الزمني .

3. نرى في الشكل 11-4 أن شحنة المكثف تصل إلى 63% من قيمتها القصوى، في الفترة الزمنية  $\tau$  (واحد ثابت زمني) من بدء عملية الشحن.

الثابت الزمني (s)	$\tau$	الثابت الزمني	4-4
المقاومة الكهربائية ( $\Omega$ )	$R$	$\tau = RC$	
السعة الكهربائية (F)	$C$		

يستغرق شحن المكثف بالكامل ما يقارب ( $\tau$  5). وهي المدة نفسها التي يحتاج إليها هذا المكثف لتفریغ شحنته في المقاومة نفسها.

الشحنة الكهربائية المتراكمة أثناء الشحن أو التفریغ بدلالة الزمن موضحة في الجدول 4-1.

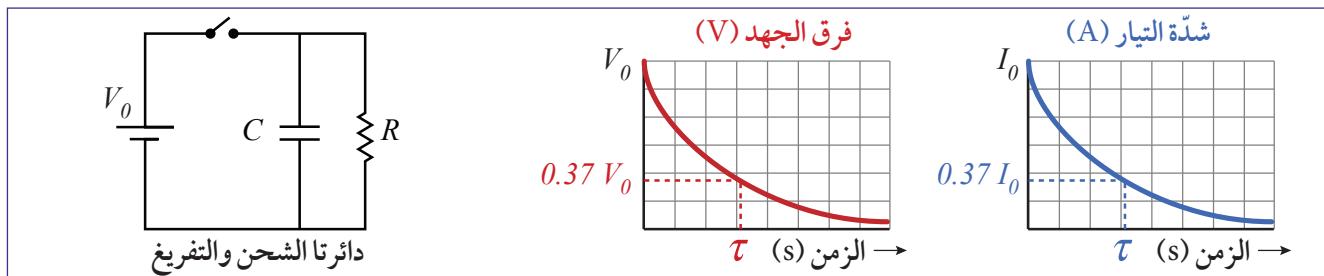
تفريغ المكثف		شحن المكثف	
$\tau$	% الشحنة	$\tau$	% الشحنة
1	36.8	1	63.2
2	13.5	2	86.5
3	5.0	3	95.0
4	1.8	4	98.2
5	0.7	5	99.3

الجدول 4-4 شحن وتفریغ المكثف.

## تفریغ المکثف

تُعد علاقه فرق الجهد بالزمن علاقه أُسیَّه عند شحن المکثف أو تفریغه. لاحتساب شدّة التيار وفرق الجهد عند أي لحظة زمنية نستخدم المعادلتین 4-4 و 4-5. يُظهر الشكل 4-12 منحیي شدّة التيار وفرق الجهد عند تفریغ المکثف.

فرق الجهد (V)	$V$	فرق الجهد اللحظي أثناء تفریغ مکثف	5-4
فرق الجهد الابتدائي (V <sub>o</sub> )	$V_o$		
الزمن (s)	$t$	$V = V_o e^{-\frac{t}{\tau}}$	◀
الثابت الزمني (s)	$\tau$	التيار الكهربائي أثناء تفریغ المکثف	6-4
شدّة التيار (A)	$I$		
تيار الابتدائي (A <sub>o</sub> )	$I_o$	$I = I_o e^{-\frac{t}{\tau}}$	◀



الشكل 4-12 دائرة الشحن والتفریغ لمکثف ومنحیا فرق الجهد وشدّة التيار بالنسبة للزمن.

### مثال 4

لاحظنا أثناء تفریغ شحنة مکثف أن فرق الجهد قد انخفض، إلى 10% من قيمته الابتدائية، بعد انقضاء 5s. احسب الثابت الزمني للدائرة.

**المطلوب:** الثابت الزمني

**المعطى:**  $t = 5s$ ، النسبة المئوية للتفریغ = 10%

**العلاقات:**  $V = V_o e^{-\frac{t}{\tau}}$

**الحل:** فرق جهد المکثف أثناء تفریغ شحنته:  $V = V_o e^{-\frac{t}{\tau}}$

ذلك أن فرق الجهد قد انخفض إلى 10% من قيمته الأولیة بعد انقضاء 5s:

$$0.10V_o = V_o e^{-\frac{5}{\tau}}$$

$$0.10 = e^{-\frac{5}{\tau}} : V_o$$

$$\ln 0.10 = -\frac{5}{\tau} \Rightarrow \tau = \frac{-5}{\ln 0.10} = 2.17s$$

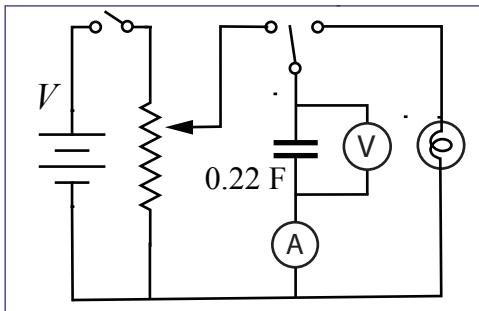


## دوائر المُكثفات

1-4

ما العلاقة بين شدة التيار وفرق الجهد حول طرف المكثف؟	سؤال الاستقصاء
مستشعر فرق جهد وشدة تيار، مكثف F 0.22، مقاومة $\Omega$ 10، مصباح، مفاتيحان، بطارية V 1.5، أسلاك توصيل، مقياس جهد وملقط تماسح.	المواد المطلوبة

## خطوات التجربة



الشكل 13-4 دائرة النشاط.

- ركب الدائرة واضبط مقياس الجهد (انظر ورقة العمل).
- اضبط مخرج مقياس الجهد على 0.5V.
- ابداً بتسجيل V بدالة t و I بدالة t . ثم بدّل وضع المفتاح لشحن المكثف، وتسجيل البيانات، حتى يصبح فرق الجهد ثابتاً.
- بدّل وضع المفتاح لتفریغ المكثف. سجّل البيانات حتى يصبح فرق الجهد ثابتاً، الأمر الذي يسمح للمكثف بتفریغ شحنته في المصباح.
- أعد خطوات التجربة مستخدماً أربع قيم مختلفة لفرق الجهد حتى 3V.

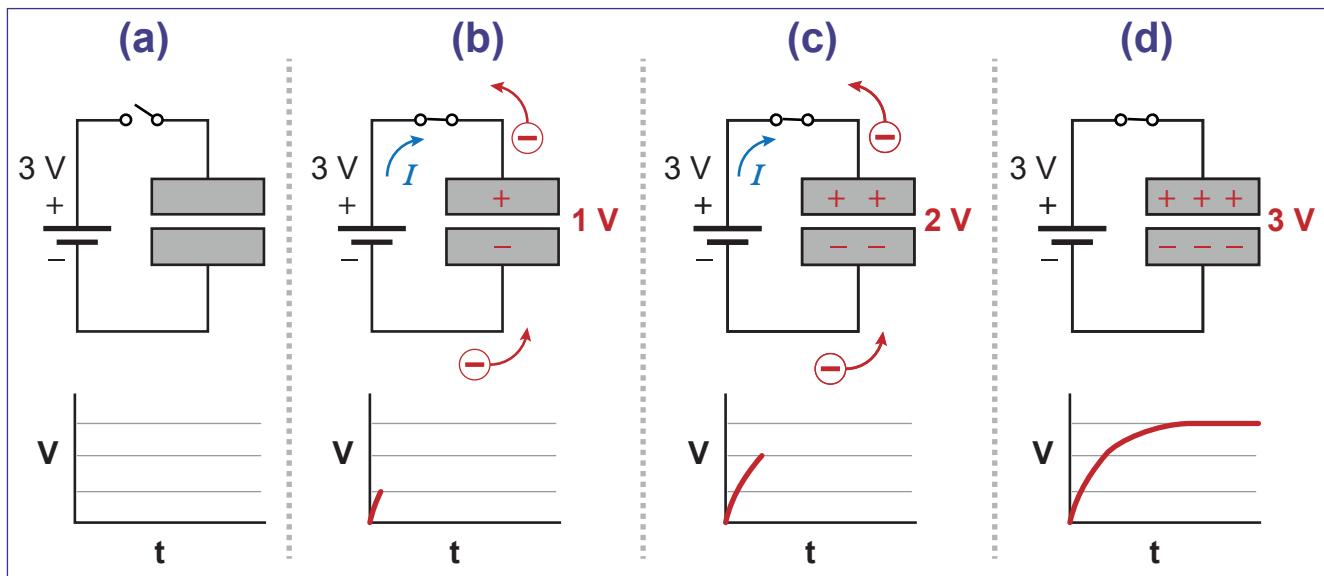
## أسئلة

- a. صف شدة التيار وفرق الجهد أثناء شحن المكثف مستعملاً بيانات شدة التيار وفرق الجهد بدالة الزمن.
- b. صف شدة التيار وفرق الجهد أثناء تفريغ المكثف في المصباح. ما هي علاقة شدة التيار وفرق الجهد بشدة إضاءة المصباح؟
- c. استعمل الرسم البياني للتيار كي تقدّر قيمة شحنة المكثف عند فروق جهد مختلفة. (انظر ورقة العمل).
- d. أنشئ رسمياً بيانياً للشحنة بدالة فرق الجهد. هل يدعم المنحنى فرضية أن الشحنة تناسب طردياً مع فرق الجهد؟
- e. استخدم الرسم لحساب الطاقة المختزنة في المكثف لكل قيمة من قيم فرق الجهد.
- f. احسب ميل منحنى Q بدالة V. هل يساوي هذا الميل سعة المكثف؟
- g. احسب الثابت الزمني لك كل وضعية من مقياس الجهد. كيف تعكس بيانات الشحن قيم الثابت الزمني؟

## فهم كيفية تدفق التيار الكهربائي في المكثف

ليس هناك أي توصيل كهربائي بين لوحي المكثف، فالملمر بينهما قد سُدّ بغاز كهربائي. إلا أن التيار الكهربائي يستطيع أن يتدفق ولكن ليس عبر المكثف.

انظر إلى الرسم في الشكل 14-4.

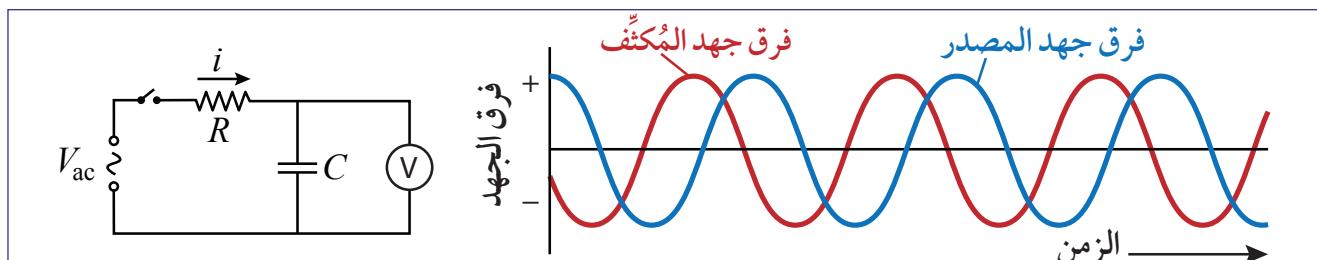


الشكل 14-4 مرور الشحنات والتيار في المكثف.

- a. البطارية 3V والمفتاح غير مغلق. لا أثر لمضي التيار.
- b. المفتاح مغلق والتيار يسري. يجذب القطب الموجب للبطارية الإلكترونات من لوح المكثف الموصول به، فيترك على اللوح شحنات موجبة. تقوم الشحنات الموجبة بجذب الإلكترونات من قطب البطارية السالب، لتتراكم شحنات سالبة على اللوح الآخر للمكثف.
- c. يزداد فرق جهد المكثف كلما ازداد تراكم الشحنات على لوحيه.
- d. يتوقف مرور التيار عند تراكم ما يكفي من الشحنات، لتوليد فرق جهد بين اللوحين مساواً لفرق جهد البطارية.

يعمل المكثف المشحون بالكامل كدائرة مفتوحة، فيتوقف مرور التيار فيه. يمر التيار فقط أثناء عملية الشحن والتفریغ.

في دوائر التيار المتردد (AC) يعكس التيار مرتين في كل زمن دوري. ويحاول جهد المكثف دائماً اللحاق بجهد المصدر (الشكل 15-4)، الأمر الذي يجعل المكثف في حالة شحن أو تفريغ على الدوام.

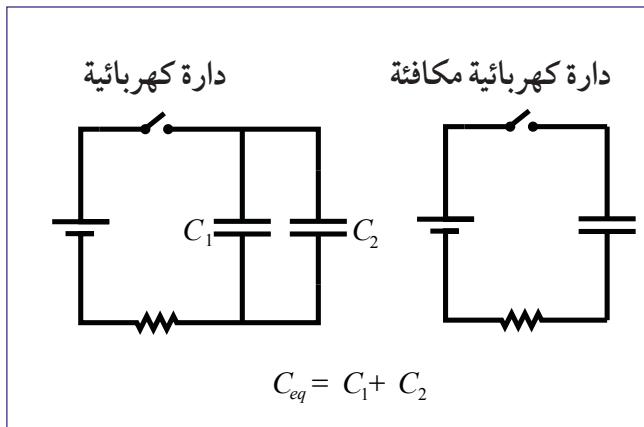


الشكل 15-4 فرق جهد المكثف تحت تأثير تيار متردد.

## المكثفات في دوائر التيار المستمر

إذا اشتملت الدائرة الكهربائية على أكثر من مكثف، فإن السعة عندها تمثل بنموذج مكثف مكافئ لكل المكثفات. تشبه هذه الطريقة نموذج المقاومة المكافئة لمقاومة لمتين أو أكثر في دائرة كهربائية واحدة. نلاحظ أن هذا التحليل يفترض تغذية الدائرة بتيار مستمر لا يقاد يتغير مقارنة بالثابت الزمني للمجموعة. أما الدوائر التي تتغذى بتيار متعدد سريع التغيير فإنها تتصرف بطريقة مختلفة.

### المكثفات المتصلة على التوازي



الشكل 16-4 مكثفان متصلان على التوازي.

عند توصيل المكثفات على التوازي (الشكل 16-4)، فإن لكل منها فرق الجهد نفسه، وهو فرق جهد البطارية. تكون الشحنة الكلية لكل منها  $Q = C_{eq}V$ . بينما تكون الشحنة المجمعة على المكثف المكافئ:

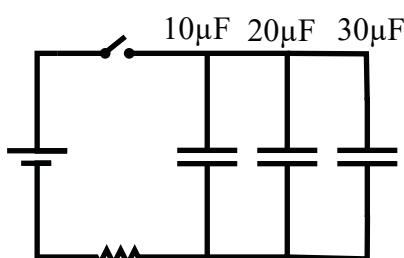
$$\begin{aligned} Q_{eq} &= Q_1 + Q_2 \\ C_{eq}V &= C_1V + C_2V \\ \Rightarrow C_{eq} &= C_1 + C_2 \end{aligned}$$

يعني ذلك أن السعة الكهربائية للمكثف المكافئ لعدة مكثفات متصلة على التوازي، هو جمع سعات هذه المكثفات.

السعة المكافئة (F)	$C_{eq}$	السعة المكافئة (على التوازي)	7-4
السعة 1 (F)	$C_1$		
السعة 2 (F)	$C_2$	$C_{eq} = C_1 + C_2$	

### مثال 5

ما هي السعة المكافئة عند توصيل مكثف  $10\mu F$  و مكثف  $20\mu F$  و مكثف  $30\mu F$  على التوازي؟



المطلوب: السعة المكافئة  $?C_{eq}$

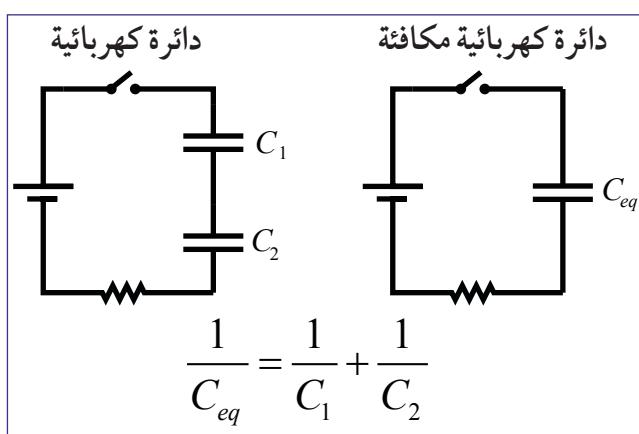
المعطى:  $C_1 = 10\mu F$  ،  $C_2 = 20\mu F$  ،  $C_3 = 30\mu F$

العلاقات:  $C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3$

الحل: حل هذه المسألة علينا استخدام العلاقة المعطاة:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 = 10\mu F + 20\mu F + 30\mu F = 60\mu F$$

## المكثفات المتصلة على التوالي



الشكل 17-4 مكثفان متصلان على التوالي.

عند توصيل مكثفين على التوالي (الشكل 17-4)، فإن الشحنات المترادفة على لوحي كل منها يجب أن تكون متساوية، بحسب مبدأ حفظ الشحنات Conservation of charge. أي إن مقدار الشحنة في الدائرة يبقى ثابتاً.

تدفق الشحنات للتوزع على الألواح الفارغة للمكثفات بالتساوي، فيزداد جهد كل منها ليكون الجهد المكافئ حاصل جمع جهديّهما  $V = V_1 + V_2$ .

وبما أن  $Q = C_1 V_1$  و  $Q = C_2 V_2$ ، ونسبة الشحنة إلى السعة تساوي الجهد المكافئ، فإن:

$$V = V_1 + V_2$$

$$\frac{Q}{C_{eq}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

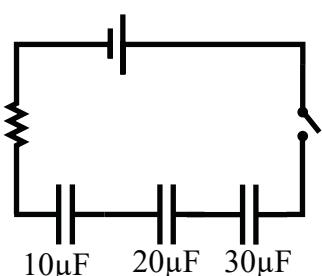
$$\Rightarrow \frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

السعة المكافئة (F)	$C_{eq}$	السعة المكافئة (على التوالي)	8-4
(F) 1 السعة	$C_1$		
(F) 2 السعة	$C_2$	$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$	

### مثال 6



ما هي السعة المكافئة عند توصيل مكثف  $10 \mu F$  و  $20 \mu F$  و  $30 \mu F$  على التوالي؟



المطلوب: السعة المكافئة  $C_{eq}$  ..... المعطى:  $C_1 = 10 \mu F$  ،  $C_2 = 20 \mu F$  ،  $C_3 = 30 \mu F$

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

الحل: لحل هذه المسألة، علينا استعمال العلاقة المعطاة:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{10} + \frac{1}{20} + \frac{1}{30} = \frac{11}{60} \Rightarrow C_{eq} = \frac{60}{11} = 5.45 \mu F$$

## تقويم الدرس 1-4

1. ما أقصى شحنة يمكن للملف أن يختزنها؟ لا لزوم لإجراء عمليات حسابية لحل هذه المسألة.



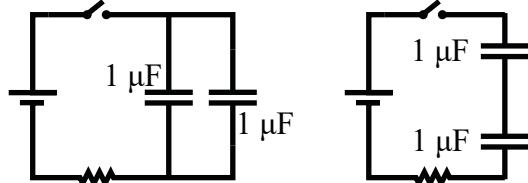
2. يبدأ الملف بتخزين شحنته بسرعة كبيرة، ولكن معدل التخزين يقل كلما ازداد تراكم الشحنات. اشرح بأسلوبك لماذا يحدث ذلك.



3. a. ما الثابت الزمني لملف  $400\mu F$  عند تفريغ شحنته في مقاومة  $60k\Omega$ ؟

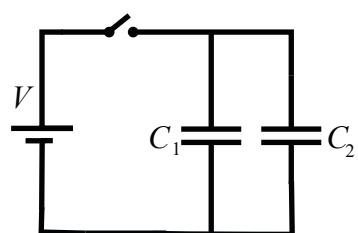


b. إذا وصلنا الملف إلى بطارية  $12V$ ، فما الشحنة القصوى التي يمكن تخزينها؟



4. أنشأنا دائرتين كهربائيتين من عناصر متشابهة. في إحداهما وضعنا ملفين سعة كل منهما  $1\mu F$  على التوالي، بينما في الثانية الملفان على التوازي. أي الملفين المكافئين سيختزن شحنة أكبر؟

ادعم إجابتوك بعمليات حسابية.



5. في الدائرة المعطاة  $V = 600V$  ،  $C_1 = 8.0\mu F$  ،  $C_2 = 9.0\mu F$



ما السعة المكافئة وما الشحنة الكهربائية في الدائرة؟



6. أثناء تفريغ ملف مثالي، تتغير قيمة التيار بسرعة كبيرة. ارسم منحنى تغير التيار بدلالة الزمن للملف أثناء التفريغ.

7. ما قيمتا السعة الكهربائية والمقاومة الكهربائية اللتان تتيحان الحصول على نظام ثابت زمني  $1s$ ؟ ادعم إجابتوك بعمليات حسابية.



# الدرس 2-4

## أشباه الموصلات

اجتاحت الوصلات الثنائية الباعثة للضوء، LEDs، العالم بقوة وبشكل عاًصف. حيث جرى اكتشافها في العام 1907 لكنها لم تُستخدم حتى العام 1960. وهي أجهزة شبه موصولة تضيء عندما يتدفق تيار كهربائي عبرها. كانت تلك الوصلات مكلفة في فترة استخدامها المبكرة، وكانت تستخدم كمؤشرات فقط. لكن بعد مرور 30 عاماً، أصبحت تستخدم في أجهزة التحكم، وبعض شاشات العرض. لم يعد يقتصر استخدامها على شاشات التلفاز، بل أصبحت شيئاً فشيئاً بديلاً لأجهزة الإضاءة.



الشكل 18-4 الأنواع المختلفة للوصلات الثنائية الباعثة للضوء LED والتي تستخدم في صناعات متعددة.

فمعظم مصابيح الإنارة في الشوارع، وإضاءة الألعاب، وحتى مصابيح الإضاءة المنزلية المعتادة، تصنع اليوم من وصلات LED. وعندما تبيّن أنها ذات فاعلية جيدة في الإنارة بكلفة تشغيل مُنخفضة، بدأ مختصو التجميل باستخدام هذه التقنية وابتكرروا علاجات الاعتناء بالبشرة بواسطتها. وستكون هذه التقنية الجديدة واعدة في علاج تجاعيد البشرة وحب الشباب والالتهابات.

### المفردات



### مخرجات التعلم

**P1110.1** يذكر أوجه التشابه والاختلاف بين الموصلات، وأشباه الموصلات والمواد العازلة، استناداً إلى الإلكترونات أو الأيونات المتحركة.

**P1110.2** يصف كيف يمكن أن تؤثر كمية قليلة من الشوائب في خصائص أشباه الموصلات.

Electrical conductor

الموصل الكهربائي

Electrical insulator

العزل الكهربائي

Resistivity

المقاومة النوعية

Semiconductor

شبه موصل

Conductivity

الموصالية

Siemens per meter

سيemens لكل متر

N-type semiconductor

شبه موصل من النوع السالب

P-type semiconductor

شبه موصل من النوع الموجب

Transistors

الترانزستورات

p-n junction

وصلة ثنائية p-n

Diode

الدايود

Rectification

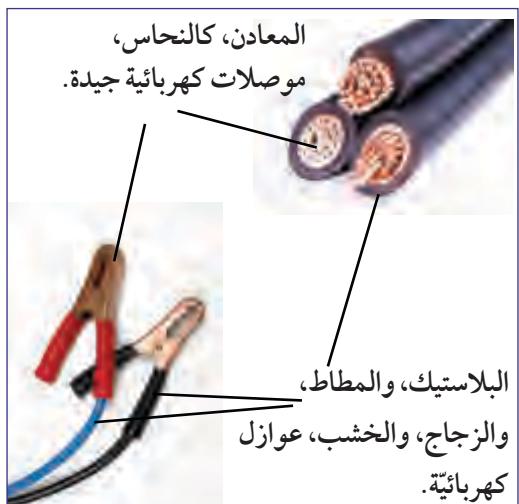
التقويم

## سؤال للمناقشة

اذكر أمثلة لبعض الموصلات  
والعوازل الشائعة؟

# الموصلات والعوازل الكهربائية

يمكننا إلى حد ما تصنيف المواد موصلات وعوازل (الشكل 4-19). تُعد المعادن، كالنحاس، موصلًا كهربائيًا (الشكل 4-20) لامتلاكه مقاومة منخفضة. ذلك أن مقاومة سلك نحاسي عيار 20 وطوله 1m، مثلاً، لا تتجاوز  $\Omega$  0.03. لا ترتبط الإلكترونات في المدارات الخارجية للمعدن بأي ذرة محددة، وتكون حرة في الحركة، كما هو مبين في الشكل 4-20. فالإلكترونات الحرّة هي التي تجعل النحاس والمعادن الأخرى موصلات كهربائية جيدة.



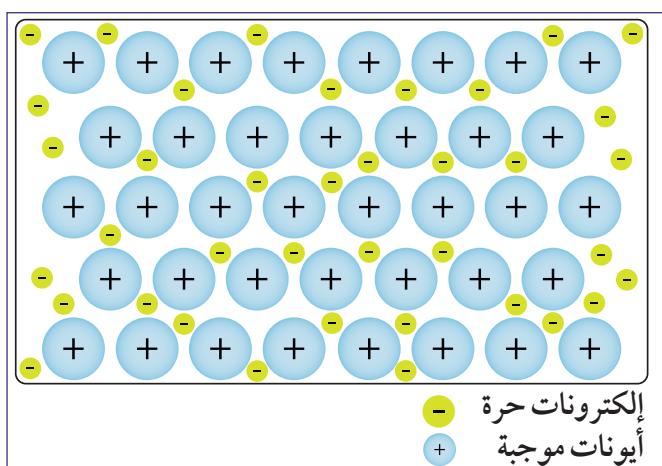
الشكل 4-19 الموصلات والعوازل.

عند وجود فرق للجهد بين طرفي موصل، تنجذب الإلكترونات نحو الجهد الموجب، وتتنافر مع الجهد السالب. يوفر فرق الجهد قوة تحرّك الإلكترونات، وتُمرّر التيار الكهربائي. كلما كان فرق الجهد أكبر، تحرّكت الإلكترونات بشكل أسرع، الأمر الذي يزيد من انتقال القدرة بواسطة الإلكترونات المتحركة إلى الجهاز قادر على الاستفادة من تلك القدرة، مثل المحرّكات الكهربائية.

المواد ذات المقاومة الكبيرة، هي عوازل كهربائية

. حتى الإلكترونات في المدارات الخارجية للذرّة تكون مرتبطة ارتباطاً قوياً بنواعة تلك الذرة. وبما أن الإلكترونات لا تكون قادرة على الحركة، فلا يتدفق تيار عند تطبيق فرق جهد بين طرفي العازل.

يمكن أن تتجاوز مقاومة طبقة رقيقة من البلاستيك  $\Omega$  1,000,000. تُعطى الأجهزة الكهربائية والأسلاك عادةً بمادة عازلة، مثل البلاستيك. ويُعد الزجاج والخشب من المواد العازلة أيضاً.



الشكل 4-20 في الموصلات تكون الأيونات الموجبة محاطة بالإلكترونات الحرّة.

في الموصلات، تكون بعض الإلكترونات حرّة في الحركة.  
في العازل، تكون جميع الإلكترونات مرتبطة ارتباطاً قوياً بنواعة الذرة.

المقاومة النوعية  $\rho$  لمادة هي مؤشر يعبر عن مقاومتها. يمتلك النحاس مقاومة نوعية  $\Omega \text{ m}^{-1} = 1.68 \times 10^{-8}$ . وتمتلك العوازل مقاومة نوعية بين  $10^9 \Omega \text{ m}$  و  $10^{15} \Omega \text{ m}$ ، أي أكبر بمليار مiliar مرة.



## أشباه الموصلات



الشكل 21-4 لوحة دائرة مع رقاقة السيليكون الميكروية.

لولا الإلكترونيات لما كانت الحياة الحديثة بالشكل الذي تبدو عليه اليوم، والتي تعتمد على خصائص أشباه الموصلات. شبه الموصل مادة تكون فيها أعداد قليلة من الإلكترونات حرّة لنقل تيار كهربائي. تمتلك أشباه الموصلات مقاومة نوعية تتراوح بين المقاومة النوعية للعوازل والمقاومة النوعية للموصلات. يُعدّ السيليكون المادة الأكثر استخداماً في **أشباه الموصلات**، ويُستخدم في 99.9% من كل رقاقات الحواسيب والأجهزة الإلكترونية (الشكل 21-4).

### الموصليّة

**الموصليّة Conductivity** هي عكس المقاومة النوعية. تعني الموصليّة العالية مقاومة مُنخفضة لتدفق التيار. وحدة الموصليّة الكهربائية هي **السيمنس لكل متر (S/m)**. وبما أنّ الموصليّة هي عكس المقاومة النوعية، يكون  $S = 1/\Omega$ . يُظهر الجدول 4-2 الموصليّة لمواد نقية مختلفة عند درجة حرارة الغرفة.

الموصليّة (S/m)	المادة	
$6.8 \times 10^7$	الفضة	مُوصليّة
$6.0 \times 10^7$	النحاس	
$1.0 \times 10^7$	الحديد	
$10^{-10} - 10^{-11}$	زجاج السيليكا	عوازل
$10^{-9}$	الخرسانة	
$< 10^{-13}$	أكسيد الألومنيوم	
$4 \times 10^{-4}$	السيليكون	بُثّي الموصليّة
$2 \times 100$	الجيمرينيوم	
$10^{-6}$	زرنيخ الجاليوم	

الجدول 4-2 الموصليّة لمواد مختلفة، عند درجة حرارة الغرفة.

## التغيير في موصلية السيليكون

تكمّن فائدة أشباه الموصلات في الإمكانيّة الكبيرة للتغيير موصليتها بمعامل يفوق 10,000، وذلك عن طريق إضافة كمية صغيرة من عنصر آخر، كالبوروّن أو الفوسفور. تقوم إضافة ذرة واحدة من الفوسفور لكل 10 ملايين ذرة سيليكون بزيادة الموصلية بمقدار 20,000. أما إضافة مثل تلك الكميات الصغيرة إلى عناصر أخرى لا يكون لها أي تأثير في الموصلات والعوازل العاديّة.

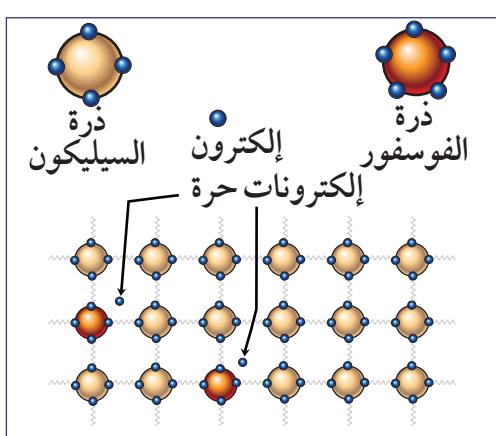
### أشباه الموصلات من النوع السالب

تمتلك ذرات الفوسفور خمسة إلكترونات تكافؤ، مقارنة بذرات السيليكون التي تمتلك أربعة منها. عندما ترتبط ذرات الفوسفور بشبكة ذرات السيليكون، فإن أربعة من أصل خمسة

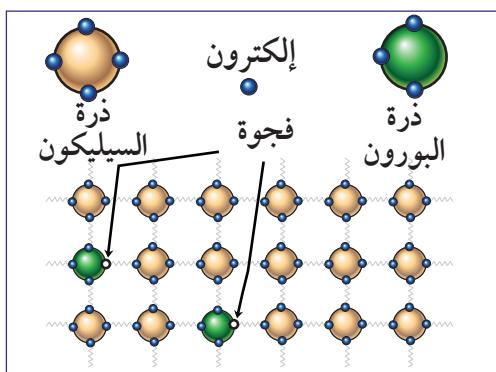
إلكترونات تكافؤ من ذرة الفوسفور ترتبط بذرات السيليكون المجاورة. أما الإلكترون الإضافي فلا يرتبط بأي ذرة محددة، ويكون حراً ليحمل التيار (الشكل 22-4). وهكذا فإن إضافة شائبة الفوسفور إلى السيليكون تشكل شبه موصل من النوع السالب  $n$  الذي تقوم فيه الإلكترونات بحمل التيار.

### أشباه الموصلات من النوع الموجب

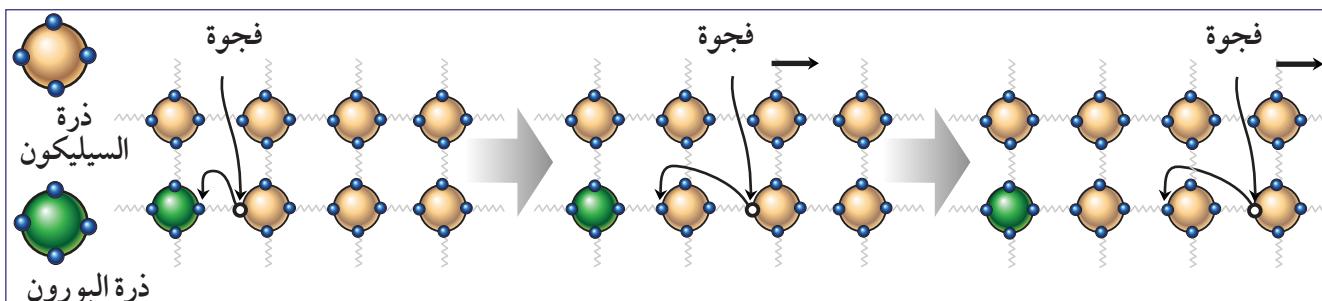
تملك ذرة البوروّن ثلاثة إلكترونات تكافؤ، فهي أقل بواحد من إلكترونات السيليكون. عند ارتباط ذرات البوروّن بشبكة ذرات السيليكون، تلتقط ذرة البوروّن إلكتروناً من ذرة السيليكون المجاورة، فتصبح ذرة السيليكون فاقدة لإلكترون ولها محصلة شحنة موجبة تسمى الفجوة (الشكل 23-4). وبذلك يشكّل السيليكون مع الشائبة شبه موصل من النوع الموجب والذي تقوم فيه الفجوات بحمل التيار. تجذب ذرة السيليكون الموجبة  $p$  الإلكترون من الذرات المجاورة، فتتحرّك الفجوة. تأخذ الفجوة الجديدة الإلكترون من الذرة المجاورة، لتشحرّك مرة ثانية كما هو مبيّن في الشكل 24-4. وبينما تقفز الإلكترونات متعددة باتجاه معين، تتحرّك الفجوة في الاتجاه المعاكس حاملةً التيار.



الشكل 22-4 أشباه الموصلات من النوع السالب.



الشكل 23-4 أشباه الموصلات من النوع الموجب.

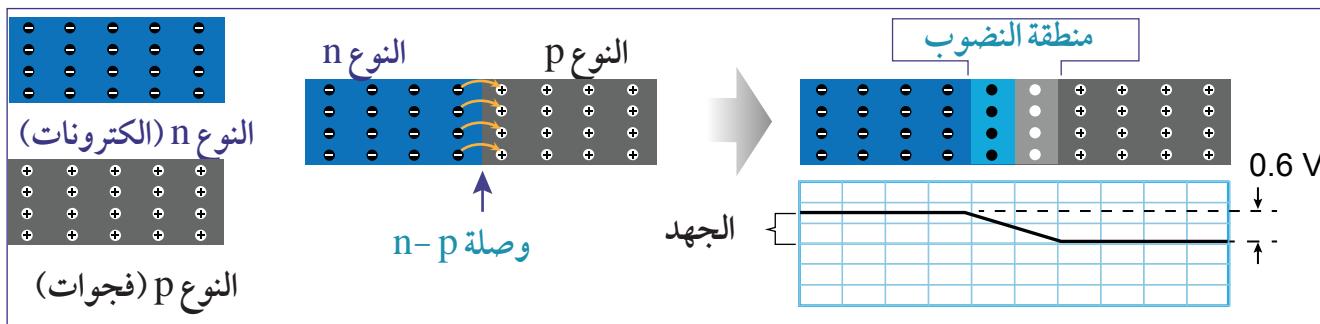


الشكل 24-4 تحركات الفجوة في الموصل من النوع الموجب.

## p-n وصلة

تَدْمِيجُ الْوَصْلَاتِ الثَّانِيَةِ (الْدَّايُودَاتِ) وَالْتَّرَانِزِسْتُورَاتِ نُوعِي أَشْبَاهَ الْمَوْصَلَاتِ مِنَ النَّوْعِ n وَالنَّوْعِ p. لَنْرَى مَا يَحْدُثُ عِنْدَ الْوَصْلَةِ الثَّانِيَةِ الَّتِي يَلْتَقِي فِيهَا كُلُّ مِنَ النَّوْعَيْنِ p وَn لِأَشْبَاهِ الْمَوْصَلَاتِ، وَالَّتِي تُسَمَّى وَصْلَةً p-n junction). فِي الْبَدَائِيَّةِ، يَمْتَلِكُ الطَّرْفُ n إِلْكْتَرُونَاتٍ إِضَافِيَّةً. أَمَّا الطَّرْفُ p فَيَمْتَلِكُ فَجَوَاتٍ. تَتَدَفَّقُ إِلْكْتَرُونَاتُ السَّالِبَةِ مِنَ الطَّرْفِ n نَحْوَ الطَّرْفِ p، لِتَنْدَمَجُ مَعَ الْفَجَوَاتِ الْمُوجَّةِ.

وَيَصِّبِّحُ الطَّرْفُ n ذَا شَحْنَةَ مُوجَّةً، وَالطَّرْفُ p ذَا شَحْنَةَ سَالِبَةً. تَحْرُكُ إِلْكْتَرُونَاتُ فِي السِّيلِيُوكُونِ، حَتَّى يَصِّبِّحُ فَرْقُ الْجَهْدِ 0.6 V وَهُوَ كَافٍ لِمَنْعِي أَيِّ إِلْكْتَرُونَاتٍ إِضَافِيَّةٍ مِنَ الْاِنْتِقَالِ، وَيُسَمَّى حَاجِزُ الْجَهْدِ.



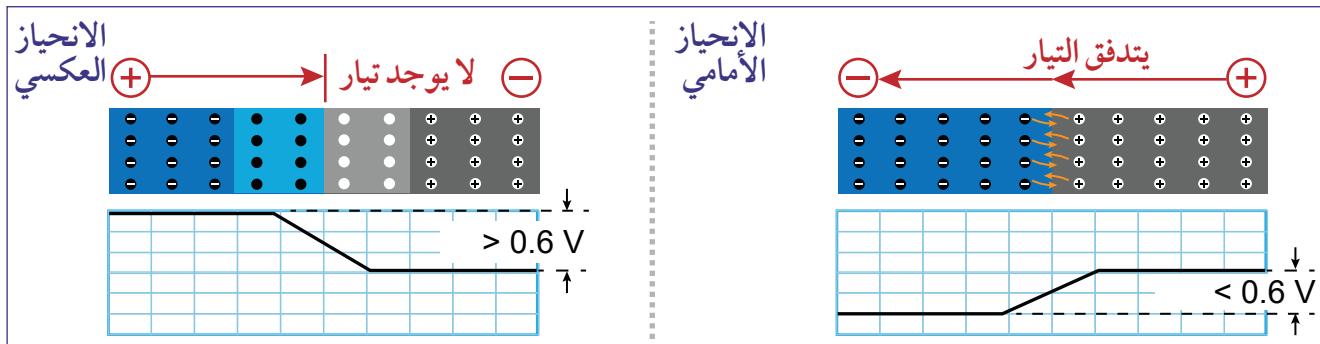
الشكل 4-25 p-n وصلة.

فِي مَنْطَقَةِ الْإِتَّصَالِ بَيْنِ شَبَهِ الْمَوْصِلِ الْمُوجَّبِ وَالسَّالِبِ، تَشَكَّلُ مَنْطَقَةٌ نَضُوبٌ رَقِيقَةٌ جَدًّا لَا تَحْمِلُ أَيِّ مِنَ إِلْكْتَرُونَاتِ أَوِ الْفَجَوَاتِ (مُبَيَّنَةٌ فِي الشَّكْلِ 4-25). تَعُدُّ مَنْطَقَةُ النَّضُوبِ، مَنْطَقَةً عَازِلَةً، لَأَنَّهَا لَا تَحْتَوِي عَلَى أَيِّ شَحْنَةٍ مُتَحْرِكَةٍ قَادِرَةٍ عَلَى حَمْلِ التَّيَارِ.

تَكُونُ الْخَاصِيَّةُ الْمُفَيِّدَةُ لِمَنْطَقَةِ النَّضُوبِ، فِي إِمْكَانِيَّةِ التَّحَكُّمِ بِهَا كَهْرَبَائِيًّا، مِنْ أَجْلِ تَعْدِيلِ عَرْضِهَا بِسُرْعَةٍ، وَفِي أَقْلَمِ مِنْ  $10^{-9}$  s.

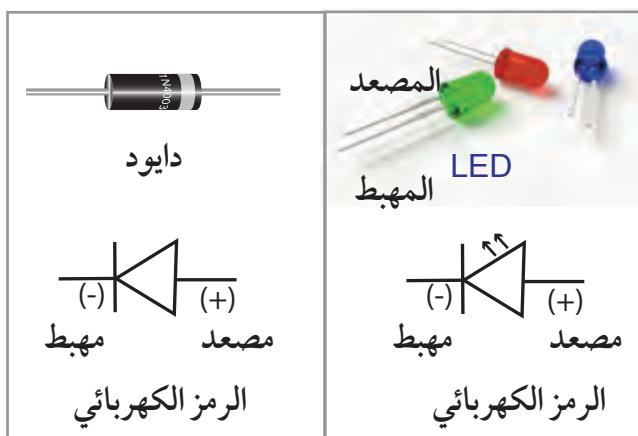
**1.** إِنَّ أَيِّ جَهْدٍ مُطَبَّقٍ فِي الاتِّجَاهِ نَفْسِهِ الَّذِي يَكُونُ عَلَيْهِ الْجَهْدُ 0.6 V سُوفَ يَسْبِبُ نِمَوًا فِي مَنْطَقَةِ النَّضُوبِ، لِتَصْبِحَ تِلْكَ الْمَنْطَقَةَ عَازِلًا أَقْوَى. وَهَذَا مَا يُسَمَّى بِالْانْحِيَازِ الْعَكْسِيِّ. حِيثُ لَا يَمْكُنُ لِلتَّيَارِ التَّدَفُّقُ فِي الاتِّجَاهِ الْعَكْسِيِّ، لَأَنَّهُ سَيَتَوَقَّفُ عِنْدَ مَنْطَقَةِ النَّضُوبِ.

**2.** أَمَّا الْجَهْدُ الْمُطَبَّقُ فِي عَكْسِ الاتِّجَاهِ الَّذِي يَكُونُ عَلَيْهِ الْجَهْدُ 0.6 V فَسُوفَ يَسْبِبُ ضَمُورَ مَنْطَقَةِ النَّضُوبِ لِتَصْبِحَ تِلْكَ الْمَنْطَقَةَ مَوْصِلَةً. وَهُوَ مَا يُسَمَّى بِالْانْحِيَازِ الْأَمَامِيِّ. حِيثُ يَتَدَفَّقُ التَّيَارُ بِسَهْوَلَةٍ فِي اتِّجَاهِ الْانْحِيَازِ الْأَمَامِيِّ.



الشكل 4-26 الانحياز الأمامي والانحياز العكسي لـ p-n وصلة.

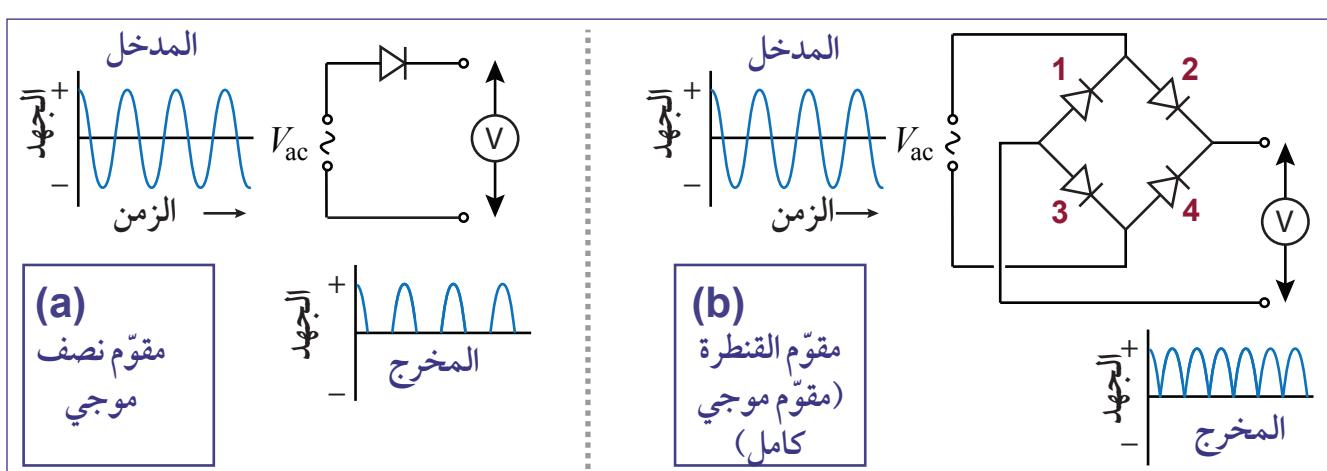
## الدايو



**الدايو** Diode جهاز شبه موصل، يسمح للتيار بالتدفق عبره في اتجاه واحد فقط. يمتلك الدايو وصلة p-n وحيدة داخله. للدايو طرفان: طرف موجب يُعرف باسم المصعد، وطرف سالب يسمى المهبط. يستطيع التيار التدفق عبر المصعد باتجاه المهبط فقط. يُرمز إلى المهبط عادة بخط (كما هو مبين في الشكل 27-4). في الموصّل الثنائي الباعث (LED)، يكون المهبط ذا الساق الأطول.

من المهم ملاحظة أن طرفي الدايو يجب وصلهما بشكل صحيح، عندما تكون الدائرة في وضع DC كما هو مبين في الشكل 28-4، حيث يتم توصيل القطب الموجب للبطارية بمصعد الدايو وقطبها السالب بمهبطه. وإلا لن يمر أي تيار. يُستخدم الدايو عادة في دوائر التيار المتردد AC، وذلك لتقويم التيار، حتى يتذبذب في اتجاه واحد. يطلق على معالجة التحكم في التيار ليصبح في اتجاه واحد اسم **التقويم Rectification**. يسمح مقوم دايو نصف موجي بالنصف الموجب فقط من تيار مصدره AC، كما هو مبين في الشكل 28-4. يُسمى الترتيب الذكي لأربعة دايوهات باسم مقوم القنطرة. حيث يسمح مقوم القنطرة هذا للجزءين الموجب والسالب من تيار AC المدخل بالتدفق، لكنه يعطي تياراً في الاتجاه الموجب، وأقرب إلى التيار المستمر DC.

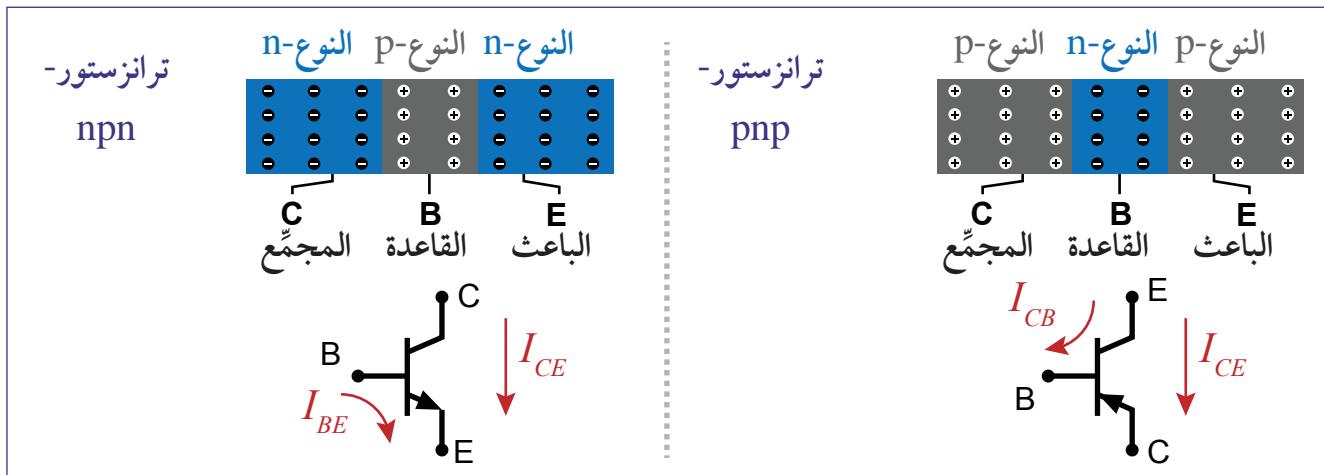
1. عندما يكون نصف الدورة AC الدخلة موجباً، يتذبذب التيار عبر الـdiode 2، ليعود عبر الـdiode 3.
2. عندما يكون نصف الدورة AC الدخلة سالباً، يتذبذب التيار عبر الـdiode 4 ليعود عبر الـdiode 1.



الشكل 28-4 دائرتا الـdiode النصف موجي ومقوم القنطرة.

## الترازستور

الترازستور **Transistor** جهاز شبه موصل يمتلك وصلتين ثنائيتين p-n وثلاثة أطراف. يُظهر الشكل 29-4 نوعي الترازستور npn و pnp ومخطط دائرتيهما. تسمى أطراف الترازستور الثلاثة: المجمع والقاعدة والباعث.

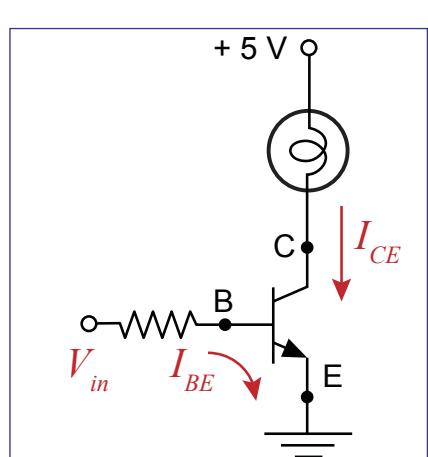


الشكل 29-4 ترازستور من النوع npn وترازستور من النوع pnp.

من أجل فهم طريقة عمل الترازستور، افترض المفتاح الميكانيكي العادي. يكون للمفتاح الميكانيكي مقاومة عالية جدًا عندما يكون مفتوحًا، وعندما لا يمر أي تيار كهربائي. ولكن عند غلقه، تنخفض مقاومة المفتاح إلى  $0.001 \Omega$  أو أقل. فيمر التيار الكهربائي لأن المقاومة قليلة جدًا.



يشبه الترازستور مفتاح الكتروني بين الباعث والمجمع. يتم التحكم بالمفتاح بواسطة التيار في القاعدة. تكون مفاتيح الترازستور سريعة جدًا، يمكن للترازستور أن يغير المقاومة بين المجمع والباعث من  $10^6 \Omega$  إلى  $10^{-9} \Omega$  خلال  $1 \text{ s}$ .



الشكل 30-4 دائرة ترازستور لتشغيل المصباح.

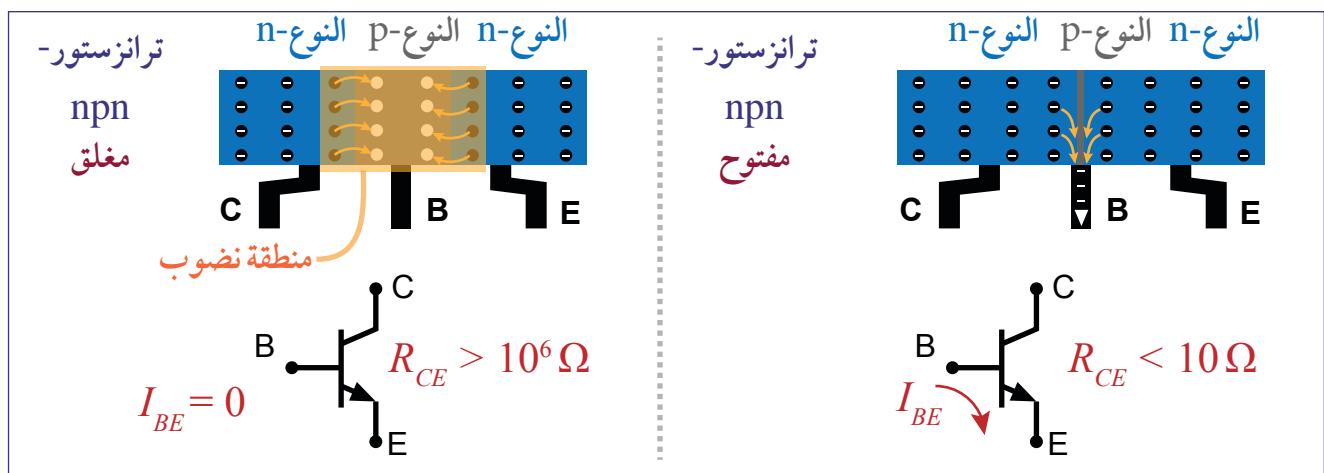
إن تيار كهربائي قليل  $I_{BE}$  بين القاعدة والباعث يمكنه تشغيل المصباح. يظهر الشكل 30-4 ترازستور npn وظيفته تشغيل المصباح. يتوجه المصباح الكهربائي عندما تُصبح المقاومة بين المجمع والباعث قليلة وذلك عند تطبيق الجهد  $V_{in}$  في القاعدة. يمكن لتيار قليل جدًا في القاعدة تشغيل تيار كبير جدًا  $I_{CE}$  بين المجمع والباعث.

## الترازستور pnp

في ترازستور pnp يَمْرُّ تيار التشغيل  $I_{CB}$  بين المجمع والقاعدة. ويمكن لتيار قليل بين المجمع والقاعدة أن يُقفل المفتاح.

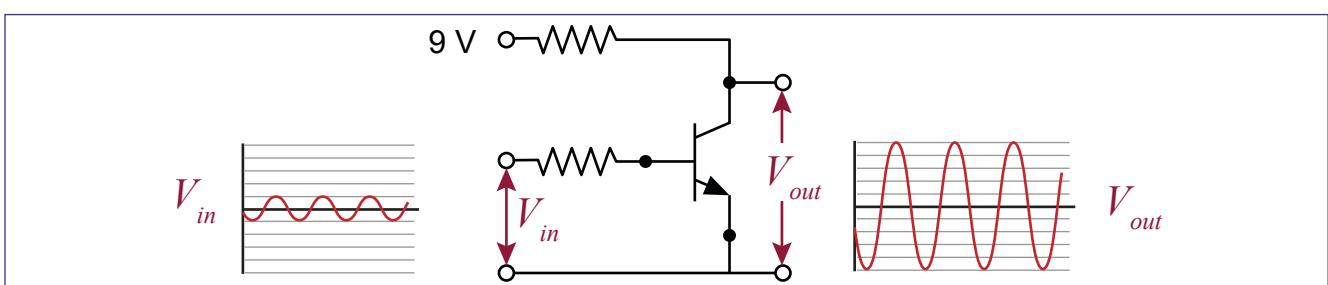
## طريقة عمل الترانزستور

كما في حالة الديايد، تعتمد طريقة عمل الترانزستور على تغيير موصلية وصلتي p-n المتجاورتين. افترض الترانزستور npn في الشكل 31-4. إن النوع p في القاعدة رقيقة جدًا، وتُعيق الوصلتان p-n في الترانزستور مرور التيار في الاتجاهين في الحالة الطبيعية. المقاومة بين المجمّع والباعث  $R_{CE}$  مرتفعة جدًا لأنّه لا توجد شحنات قابلة للحركة في منطقة النضوب.



الشكل 31-4 دائرة ترانزستور بسيط يعمل كمضخم.

يتم تدفق التيار في النوع p (القاعدة) بواسطة الفجوات الموجبة. عندما يتتدفق التيار الموجب إلى القاعدة، تتحرّك الإلكترونات من النوع n ويصبح النوع p موصلًا. ويمكن لتيار قاعدة  $I_B$  قيمته 0.0001 A أن يتحكم بتيار بين المجمّع والباعث  $I_{CE}$  قيمته 5 A وهو أكبر بـ 50,000 مَرَّة من تيار القاعدة.



الشكل 32-4 دائرة ترانزستور بسيط يعمل كمضخم.

إحدى الاستخدامات الهامة الأخرى للترانزستور هو لتضخيم الإشارات. يمكن تضخيم فرق جهد قليل يُطبق عند القاعدة إلى فرق جهد أكبر بكثير كما في الشكل 32-4. يعمل مضخم الترانزستور عندما يفتح تيار القاعدة-الباعث  $I_{BE}$  الترانزستور بشكل يتناسب مع شدة هذا التيار وليس بشكل كامل. يُشكّل الترانزستور ومقاومة القاعدة-الباعث مجزئ جهد متغير. يمكن للإشارة الخارجية أن تكون أكبر بكثير من الإشارة الداخلية دون تغيير في طريقة الاعتماد على الزمن. تُستخدم مضخمات الترانزستور بشكل واسع في تطبيقات عديدة كمستشعرات السيارات وأجهزة الصوت في الحواسيب وأجهزة التلفاز.

## تقويم الدرس 2-4

1. يعدّ السيليكون أكثر أشباه الموصلات شيوعاً في الاستخدام. ما المواد الأخرى المعروفة أيضاً، كأشباه موصلات؟ (يمكنك البحث عن ذلك).



2. كم إلكترون تكافؤ تمتلك ذرة السيليكون؟



3. الموصليّة هي قياس لقدرة المادة على توصيل الكهرباء. أجب عن الأسئلة الآتية لكل من الموصلات والعوازل وأشباه الموصلات.



a. عند درجة حرارة الغرفة، أي نوع من المواد يمتلك موصليّة عالية؟ وأي منها يمتلك موصليّة منخفضة؟

b. هل تزداد الموصليّة، أم تنقص، أم تبقى كما هي عليه، عند إضافة مقدار ضئيل من العناصر الأخرى، كالبوروں أو الفوسفور؟



4. المقاومة النوعية هي مقلوب الموصليّة، فهي قياس لقدرة المادة على مقاومة الكهرباء. أجب عن الأسئلة الآتية لكل من الموصلات والعوازل وأشباه الموصلات.

a. عند درجة حرارة الغرفة، أي نوع من المواد يمتلك مقاومة نوعية عالية؟ وأي منها يمتلك مقاومة نوعية منخفضة؟

b. هل تزداد المقاومة النوعية أم تنقص أم تبقى كما هي عند إضافة شائبة؟



5. اشرح بأسلوبك الاختلاف بين النوع  $n$  والنوع  $p$  من أشباه الموصلات.



6. كم طبقة نضوب يوجد في الترانزستور؟



7. ارسم دائرة تُستخدم فيها الدايود، ليحول جهداً متناوِلاً بين الموجب والسلب إلى جهد موجب فقط (أو صفرى).



8. قمنا بوضع LED في دائرة، بحيث أمكن إضاءته. قرر طالب إعادة تجهيز الدائرة، فأبدل طرفي جهاز LED. هل سيقى جهاز LED مضياً؟ اشرح إجابتك.

# الدرس 3-4

## مُجزِّئُ الجهد

تخيل لو أن مكبرات الصوت في المسجد القريب، وفي مركز التسوق، لها شدة صوت واحدة لا يمكن تعديلها. يمكن مثلاً أن يكون الصوت منخفضاً عندما يكون هناك حشد من الناس، أو مرتفعاً عندما لا يكون أحد غيرك. لتغيير شدة الصوت في أي جهاز، تحتاج إلى مقياس للجهد يطلق عليه المهندسون الكهربائيون اسم «وعاء». مقياس الجهد هو تقنية بسيطة وموثوقة بها.



الشكل 33-4 مقياس الجهد.

يشتمل جهاز مقياس الجهد على مقاومة تتغير عند تدوير المقبض، أو تحريك الذراع. على سبيل المثال، تتغير مقاومة مقياس الجهد في الدوائر الكهربائية من  $\Omega$  3 إلى  $\Omega$  33.

يُستخدم تغيير المقاومة لمساعدة مُعامل تكبير الصوت في مُضخم مُكَبِّر الصوت.

### المفردات



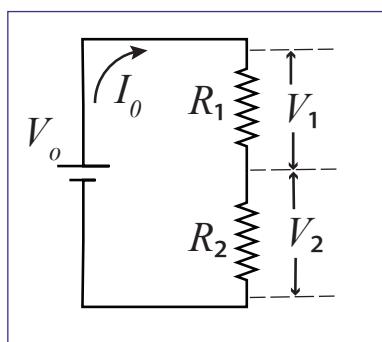
Potential divider	مُجزِّئُ الجهد
Potentiometer	مقياس الجهد
Light dependent resistor	مقاومة ضوئية
Thermistor	مقاومة حرارية (ثرمستور)

### مخرجات التعلم

**P1111.1** يشتق معادلات لدوائر مجزئ الجهد. ويصف كيف يمكن تغيير الجهد الناتج من مجزئ الجهد.

**P1111.2** يرسم ويجمع دوائر لمجزئ الجهد لاستقصاء خصائص مكونات كهربائية، مثل مقياس الجهد والوصلة الثنائية (الدايود) والمقاومة الضوئية (RDL) والترانزستور والمقاومة الحرارية (الثرمستور).

## مُجزٰء الجهد



**الشكل 34-4** دائرة بسيطة لمُجزٰء الجهد.

**مُجزٰء الجهد Potential Divider** دائرة تُستخدم لتحويل جهد (فرق جهد) كبير داخل إلى دائرة، إلى جهد خارج أصغر، باستخدام مقاومتين متصلتين على التوالي.

افرض الشكل 4-34. نحن نعلم أن شدة التيار في الدائرة المتصلة على التوالي تكون متساوية، في حين أن الجهد لا يكون كذلك. ذلك لأن الجهد الداخل للبطارية،  $V_o$ ، ينقسم على المقاومتين  $R_1$  و  $R_2$ . وهذا هو سبب تسميته بمُجزٰء الجهد، أو مُجزٰء الفولتية.

يمكن استخدام المعادلتين 4-9 و 4-10 لحساب فرق الجهد حول طرفي كل مقاومة.

جهد المقاومة الأولى (V)	$V_1$	الجهد 1 للمقاومة الأولى	9-4
جهد البطارية (V)	$V_o$	$V_1 = \frac{V_o R_1}{R_1 + R_2}$	
المقاومة الأولى ( $\Omega$ )	$R_1$		
المقاومة الثانية ( $\Omega$ )	$R_2$		
جهد المقاومة الثانية (V)	$V_2$	الجهد 2 للمقاومة الأولى	10-4
المقاومة الأولى ( $\Omega$ )	$R_1$	$V_2 = \frac{V_o R_2}{R_1 + R_2}$	
جهد البطارية (V)	$V_o$		
المقاومة الثانية ( $\Omega$ )	$R_2$		

## اشتقاق معادلات مُجزٰء الجهد

يمكن اشتقاق المعادلتين 4-9 و 4-10 باستخدام قانون أوم. وبما أن الدائرة هي دائرة متصلة على التوالي، فإن مقاومتها الكلية تساوي  $R = R_1 + R_2$

$$V_o = I_o (R_1 + R_2) \rightarrow I_o = \frac{V_o}{(R_1 + R_2)}$$

وبما أن التيار المارّ بكلتا المقاومتين هو نفسه، فإن

$$V_1 = I_o R_1 = \frac{V_o R_1}{(R_1 + R_2)}$$

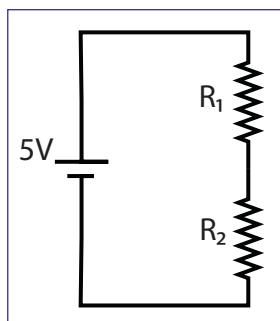
$$V_2 = I_o R_2 = \frac{V_o R_2}{(R_1 + R_2)}$$



## دائرة مُجزئ الجهد

a3-4

كيف تتغير قيمة الجهد الناتج بتغيير قيمة المقاومات؟	سؤال الاستقصاء
مقاومات (نفرض قيمها $100\text{k}\Omega$ , $75\text{k}\Omega$ , $150\text{k}\Omega$ , $300\text{k}\Omega$ ) مصدر طاقة ثابتة (5V). حوامل للمقاومة ذات طرفيين، ملتيتيمتر (مقياس متعدد) رقمي، 4 أسلاك كهربائية.	المواد المطلوبة



الشكل 35-4

## الخطوات

1. ضع كلاً من المقاومتين في حاملة مقاومة، ثم قم بتوصيلهما، باستخدام الأسلام الكهربائية، على التوالي، بمصدر الطاقة.
2. توقع القيمة النظرية لجهد كل من المقاومتين الأولى والثانية، باستخدام المعادلتين 4-9 و 4-10.
3. أدر مقبض الملتيمتر الرقمي إلى خانة الفولت، واختر القيمة المناسبة. ثم قس جهد مصدر الطاقة.
4. قس الجهد حول طرفي كل مقاومة.
5. ضع النتائج التي حصلت عليها في الجدول.
6. أعد الخطوات من 1 إلى 4 لثلاث مجموعات مختلفة على الأقل من المقاومات.
7. جدول لإحدى المجموعات

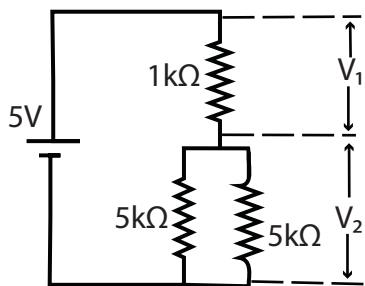
$R_1 + R_2 =$	$R_2 =$	$R_1 =$	المقاومة ( $\text{K}\Omega$ )
$V_0 =$	$V_2 =$	$V_1 =$	الجهد (V)

## الأسئلة

- a. ما الفرق بين القيمة النظرية المتوقعة والقيمة العملية؟ إذا كان هناك فرق، فما سببه؟
- b. متى يمكن أن تكون كل من  $V_1$  أو  $V_2$  متساوية لـ  $V_0$ ؟ هل يمكنك اختبار ذلك؟
- c. هل يمكنك التفكير في استخدام عملي لهذه الدائرة؟ يمكنك البحث عن ذلك إذا لزم الأمر.
- d. إذا كان لديك مصدر للطاقة قيمته 12V، ولديك مصباح كهربائي يحتاج إلى 3V لكي يعمل بشكل طبيعي. كيف يمكنك تشغيل هذا المصباح باستخدام دائرة مجزئ الجهد؟



أوجد قيمة الجهد  $V_1$  والجهد  $V_2$  في دائرة مُجزٰى الجهد في الشكل المجاور.



**المطلوب:** الجهد  $V_1$  والجهد  $V_2$

**المعطى:**  $R_a = 5 \text{ k}\Omega$ ,  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $V_o = 5 \text{ V}$

$$R_b = 5 \text{ k}\Omega$$

**العلاقات:**

$$V_1 = \frac{V_o R_1}{R_1 + R_2}; V_2 = \frac{V_o R_2}{R_1 + R_2}$$

**الحل:**

الخطوة الأولى هي حساب قيمة المقاومة المُكافئة  $R_2$  للمقاومتين المتصلتين على التوازي

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b} = \frac{1}{5,000\Omega} + \frac{1}{5,000\Omega}$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{2}{5,000\Omega} \Rightarrow R_2 = \frac{5,000\Omega}{2} = 2,500\Omega$$

الخطوة الثانية هي حساب  $V_1$  باستخدام العلاقة:

$$V_1 = \frac{V_o R_1}{R_1 + R_2} = \frac{5V(1,000\Omega)}{1,000\Omega + 2,500\Omega} = \frac{5,000V\Omega}{3,500\Omega} = 1.43V$$

كذلك تحسب  $V_2$  باستخدام المعادلة:

$$V_2 = \frac{V_o R_2}{R_1 + R_2} = \frac{5V(2,500\Omega)}{1,000\Omega + 2,500\Omega} = \frac{12,500V\Omega}{3,500\Omega} = 3.57V$$

تستطيع التأكُّد من إجاباتك بجمع  $V_1$  و  $V_2$ :

$$V_1 + V_2 = 1.43V + 3.57V = 5V$$

الإجابات صحيحة لأن جمع الجهدَيْن يساوي جهد مصدر الطاقة.

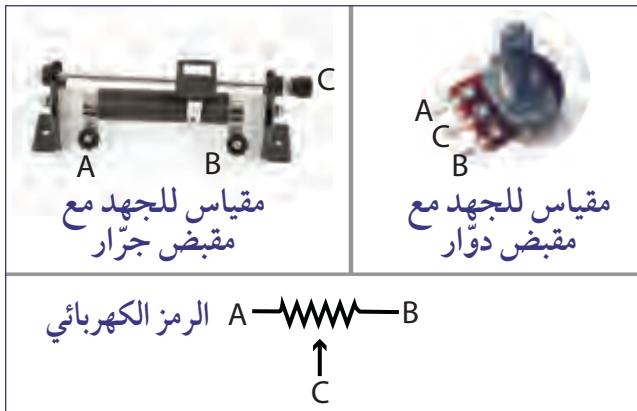
ألا يحدث نقص في الجهد في حقيقة الأمر؟ وهل الكفاءة تساوي 100%؟

(ملحوظة: ماذا عن مقاومة الأسلام الكهربائية؟)

## المكوّنات الكهربائية الأساسية

هناك عدّة مكوّنات كهربائية يمكن استخدامها في الدوائر الكهربائية، لتزويتنا بالوظائف التي نبحث عنها. في ما يأتي بعض المكوّنات الكهربائية الشائعة التي يمكن أن تعمل كدائرة مُجزئ جهد، أو تستخدم ضمن دائرة مُجزئ جهد.

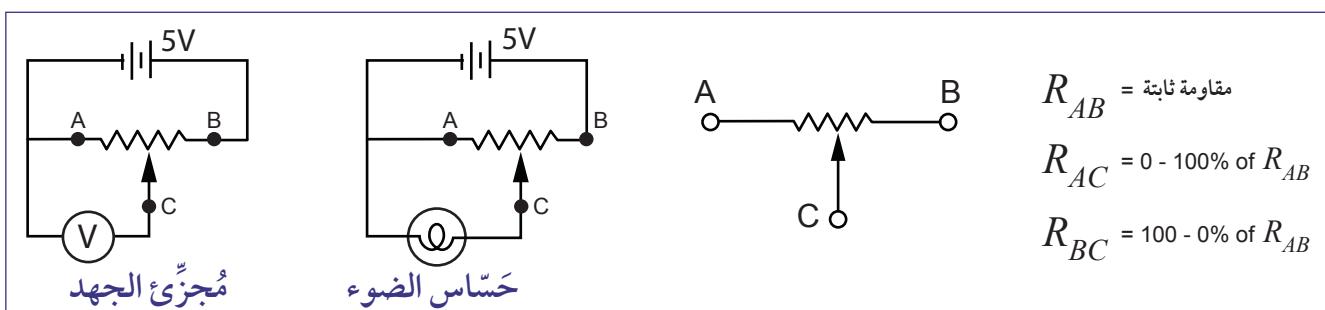
### مقياس الجهد



الشكل 36-4 أنواع مقياس الجهد.

**مقياس الجهد Potentiometer** هو مُجزئ جهد قابل للتعديل. وهو يتالف من ثلاثة أطراف ومقبس متزلق أو دوار. يمكن رؤية الأطراف الثلاثة في الشكل 36-4. النقطتان A و B هما طرفا الجهاز الثابتان في حين أن النقطة C هي النقطة المتحركة التي تقيس نسبة المقاومة بين طرفي مقياس الجهد.

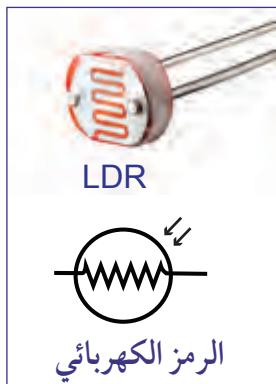
هناك ثلاث مقاومات متوافرة كما في الشكل 37-4. يجري توصيل مقياس الجهد عادة بحيث يكون الجهد المخرج عند النقطة C.



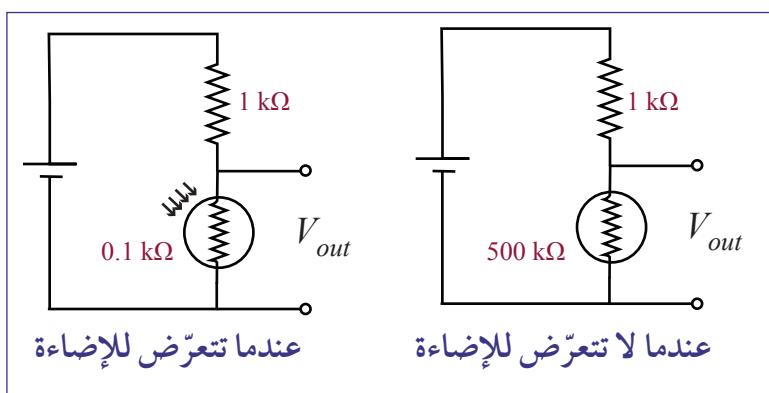
الشكل 37-4 مقياس الجهد في الدوائر.

في دائرة مُجزئ الجهد يكون فرق الجهد بين النقطتين A و B مساوياً لجهد البطارية. يمكن تعديل قياس جهد المخرج باستخدام الفولتمتر وذلك بضبط مقياس الجهد، عبر تحريك المقابض. إذا كان توصيل المقابض C قريباً من الطرف A، فإن الفولتمتر يقيس أدنى قيمة للجهد الناتج. لكن إذا حرّكنا المقابض باتجاه النقطة B، فإن قيمة الجهد ستزداد. وعند الوصول إلى النقطة B فإن الفولتمتر سيقيس أعلى قيمة للجهد الناتج. كذلك يمكن استبدال الفولتمتر بمصباح كهربائي، حيث تتغير شدة الإضاءة بتحريك المقابض. ويمكن استخدام جهاز مقياس الجهد في أجهزة أخرى، مثل المروحة ومكّبر الصوت.

## المقاومات الضوئية (LDRs)



الشكل 4-38 مقاومة ضوئية.



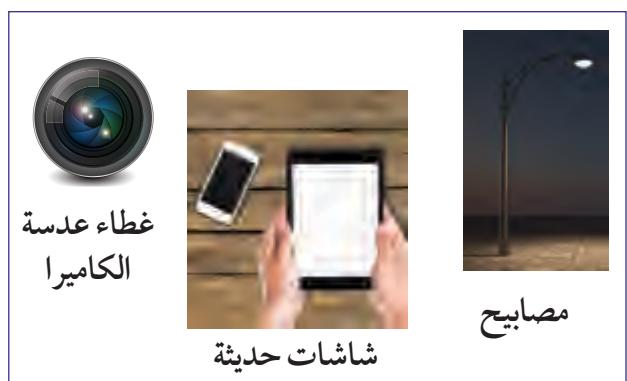
الشكل 39-4 مقياس الجهد باستخدام المقاومة الضوئية.

عندما تعرّض الدائرة للضوء، فإن جهد المخرج سينخفض، ذلك أن مقاومة المقاومة الضوئية تقدّر بـ 9% من المقاومة الكلية للدائرة. وعندما لا يكون هناك ضوء، فإن مقاومة المقاومة الضوئية تكون مرتفعة، بحيث يصل الجهد الناتج إلى 99% من قيمة جهد البطارية.

 مقاومة المقاومة الضوئية تنخفض بزيادة شدة الضوء.

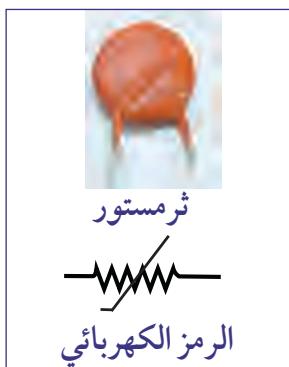
### تطبيقات المقاومة الضوئية

تُستعمل المقاومة الضوئية في دوائر كهربائية عدّة. يوضح الشكل 40-4 بعض الأجهزة التي تستخدم المقاومة الضوئية. يستخدم غطاء عدسة الكاميرا المقاومة الضوئية لضبط سرعة الإغلاق أوتوماتيكياً. ويضيء مصباح الشارع وينطفئ أوتوماتيكياً، بحسب شدة أشعة الشمس. كذلك فإن الشاشات الحديثة تضبط الإضاءة أوتوماتيكياً.



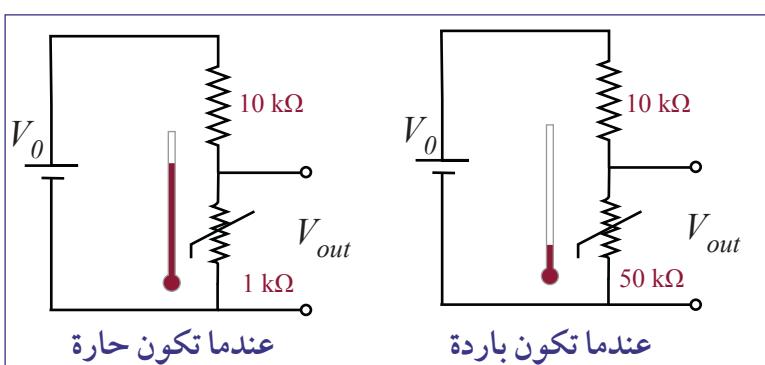
الشكل 40-4 أجهزة تستخدم المقاومة الضوئية.

## المقاومة الحرارية (الثرمستور)



الشكل 4-41 الترمستور.

**المقاومة الحرارية Thermistor** مقاومة تتغير قيمتها بتغيير درجة الحرارة. هناك نوعان من المقاومة الحرارية: مقاومة معامل درجة الحرارة السالب (NTC) ومعامل درجة الحرارة الموجب (PTC). تنخفض مقاومة (NTC) مع ارتفاع درجة الحرارة، بينما ترتفع مقاومة (PTC) مع ارتفاع درجة الحرارة. كلا النوعين يستخدمان في دوائر استشعار درجة الحرارة. سنتناول في هذا الكتاب مقاومة معامل درجة الحرارة السالب (NTC) فقط.



الشكل 4-42 مجزء جهد يستخدم مقاومة حرارية.

(الشكل 4-42) يحتوي على مُجزئ جهد يتكون من مقاومة ثابتة ومقاومة حرارية متصلتين على التوالي. في هذه الحالة، ينقسم الجهد بين المقاومتين بحسب درجة الحرارة. تنخفض مقاومة المقاومة الحرارية، وبالتالي ينخفض جهدها، مع ارتفاع درجة الحرارة.

الجهد الناتج عند درجات الحرارة المرتفعة يتغير بتغيير النسبة بين المقاومة الحرارية والمقاومة الكلية. في مثال الشكل 4-42 إذا كان  $V_0 = 5\text{ V}$ ، فإن جهد المخرج  $V_{out}$  في حالة السخونة يساوي  $0.45\text{ V}$  في حين أنه في حالة البرودة يساوي  $4.12\text{ V}$ .

$$V_{hot} = \frac{1}{11}(5\text{ V}) = 0.45\text{ V}$$

$$V_{cold} = \frac{50}{60}(5\text{ V}) = 4.12\text{ V}$$

تقلل مقاومة المقاومة الحرارية ذات معامل درجة الحرارة السالب مع ارتفاع درجة الحرارة.



الشكل 4-43 أجهزة تستخدم المقاومة الحرارية.

## تطبيقات المقاومات الحرارية

توجد المقاومة الحرارية في فرن الميكروويف وإنذار الحريق، وحتى في مكيف الهواء كما في الشكل 4-43. أحد التطبيقات المهمة للمقاومة الحرارية هي ضبط درجة حرارة الجهاز، ثم خفضها قبل أن تتعطل. كذلك تستخدم المقاومة الحرارية في مراقبة درجة حرارة الزيت، والمبرد في السيارة.



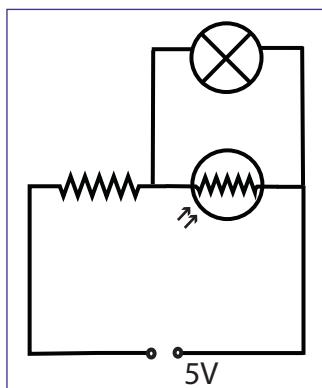
صمّم دائرة كهربائية:

- a. تضيء مصباحاً في الظلام.
- b. تطلق صوت صافرة، عندما تصبح الأشياء ساخنة جداً.

**المطلوب:** تصميم دائرة

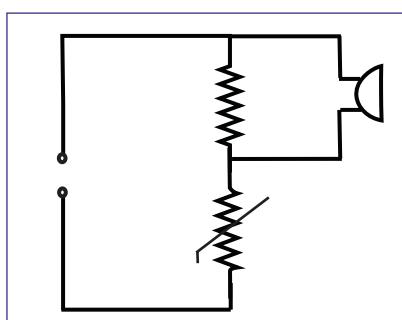
**المعطى:** مصباح وصافرة

**الحل:**



الشكل 44-4 مجزء الجهد مع المقاومة الضوئية.

a. بما أننا نريد تصميم دائرة تعمل في الظلام، فإننا نحتاج إلى مقاومة ضوئية. نتذكّر بأن الجهد يتاسب طردياً مع المقاومة لذلك يكون الجهد مرتفعاً عندما تكون المقاومة مرتفعة حول طرف مقاومة متغيّرة. علينا تحضير دائرة مجزء جهد مكونة من مقاومة ثابتة، بالإضافة إلى مقاومة ضوئية متصلة بمصدر طاقة جهده 5V. في حالة الظلام، تكون قيمة المقاومة الضوئية عالية جداً. وهذا يعني أن معظم الجهد أيضاً سيكون حول طرف المقاومة الضوئية ما يسمح للمصباح بالإضاءة. لكن إذا نقلنا الدائرة إلى مكان مضيء، فإن المصباح سينطفئ لأن قيمة المقاومة الضوئية تنخفض، الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض الجهد أيضاً. سيكون معظم الجهد حول طرف المقاومة الثابتة، كما في الشكل 44-4.



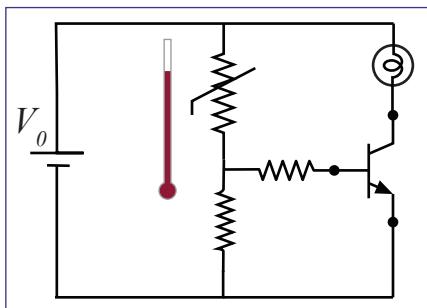
الشكل 45-4 مجزء الجهد مع المقاومة الحرارية.

b. نريد الآن أن تعمل الدائرة عند درجة حرارة مرتفعة. لذلك نحتاج إلى مستشعر حراري (المقاومة الحرارية ذات المُعامل الحراري السالب). قيمة المقاومة الحرارية تكون عالية عندما تكون باردة. فإذا ارتفعت درجة حرارتها، تنخفض مقاومتها، بمعنى أن جهدها سينخفض، وبالتالي يرتفع جهد المقاومة الثابتة، الأمر الذي يسمح للصافرة بأن تصدر الصوت (الشكل 45-4).

## استخدامات الترانزستور في الدوائر الكهربائية

نتذكر أن الترانزستور يعمل كمفتاح كهربائي. عندما يكون فرق الجهد بين القاعدة والباعث أكبر من 0.6V، فإن المقاومة من المُجمّع إلى الباعث، تكون منخفضة جدًا.

### المثال 1

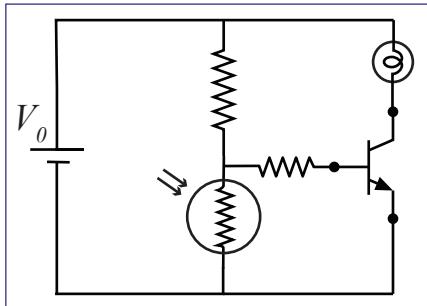


الشكل 46-4 مجزء الجهد مع الترانزستور والمقاومة الحرارية.

لنفترض الدائرة في الشكل 46-4. عندما ترتفع درجة الحرارة، تتناقص مقاومة المقاومة الحرارية، مسبيّة انخفاض جهدها، ويؤدي ذلك إلى زيادة جهد المقاومة الثابتة مسبيّة زيادة الجهد  $V_{BE}$ ، حيث يجعله أكبر من 0.6V. وهذا يعني أن الترانزستور يعمل ويسمح للتيار بالتدفق من المُجمّع إلى الباعث الأمر الذي يؤدي إلى إضاءة المصباح.

يمكن تطبيق هذه الدائرة في جهاز إنذار الحرائق، حيث يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى إطلاق صافرة الإنذار. وكذلك يمكن استخدامها في الثلاجة، حيث يضاء مصباح الثلاجة عندما تكون درجة الحرارة مرتفعة جدًا.

### المثال 2



الشكل 47-4 مجزء الجهد مع ترانزستور ومقاومة ضوئية.

لنفترض الآن الدائرة في الشكل 47-4، التي تحتوي على ترانزستور ومقاومة ضوئية. عندما لا يكون هناك ضوء، فإن الجهد  $V_{BE}$  يكون أكبر من 0.6V، فيعمل الترانزستور ويسمح للتيار بالمرور من المُجمّع إلى الباعث، الأمر الذي يسمح بإضاءة المصباح. ويمكن استخدام هذه الدائرة أيضًا في الأجهزة التي نريدها أن تعمل في الظلام، كما في حالة الإضاءة الآلية.

### لماذا نحتاج إلى الترانزستور؟

تعلمنا مما سبق استخدام دائرة مجزء الجهد مع ترانزستور أو من دونه، حيث تعمل الدائرة بطريقتين متباينتين. فلماذا نستخدم الترانزستور إذاً؟

يحتاج الترانزستور إلى جهد ضعيف ليعمل (0.6V بالضبط). وبما أن كثيرًا من أجهزة الحاسوب تعطي جهدًا منخفضًا عند المخرج على شكل إشارات، فإن الترانزستور يُعدًّ مثالياً في هذه الحالة. سوف نتعلم أكثر عن هذا في الدرس 4-4.



## استكشاف دوائر مُجزٰى الجهد

b3-4

استكشف كيف تعمل المكوّنات المختلفة في دائرة مُجزٰى الجهد.	سؤال الاستقصاء
مِصباح، مجفف شعر، مقاومات مختلفة ذات قيم ثابتة مثل $100\text{k}\Omega$ ، $150\text{k}\Omega$ ، مقاييس للجهد، مقاومة ضوئية، مقاومة حرارية، مصدر للطاقة، ملتييمتر. (اختيارياً: مصابيح وصافرات).	المواد المطلوبة

### الخطوات

#### استخدام مقاومة حرارية

وصل المقاومة الحرارية بمقاومة ثابتة  $150\text{k}\Omega$ ، لتشكل مُجزٰى جهد حول طرفٍ مصدر الطاقة.

1. وصل المصباح أو الصافرة على التوازي مع المقاومة الحرارية.
2. وصل الملتييمتر (أو الفولتمتر) حول طرف المقاومة الحرارية، وسجل قراءته.
3. استخدم مجفف الشعر لرفع درجة حرارة المقاومة الحرارية ببطء. لاحظ تغيير قراءات الفولتمتر.
4. أعد الخطوتين 3 و 4 باحلال مقاومة ثانية  $100\text{k}\Omega$  محل المقاومة الثابتة.

### الأسئلة

- a. اشرح لماذا يؤدي تغيير المقاومة إلى تغيير قراءة الفولتمتر؟  
b. ماذا سيحدث لجهد المقاومة إذا رفعنا درجة حرارة المقاومة الحرارية؟

#### استخدام مقاومة ضوئية

1. وصل المقاومة الضوئية بمقاومة ثابتة  $150\text{k}\Omega$  لتشكل مُجزٰى جهد حول طرفٍ مصدر الطاقة.
2. وصل الصافرة على التوازي مع المقاومة الضوئية.
3. وصل الملتييمتر (أو الفولتمتر) حول طرف المقاومة الضوئية.
4. أضيء المصباح، وقربه من المقاومة الضوئية. لاحظ تغيير قراءات الفولتمتر.

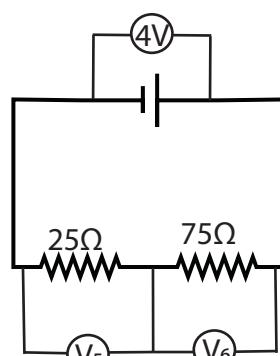
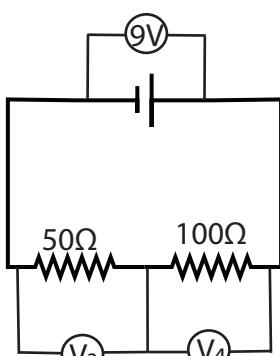
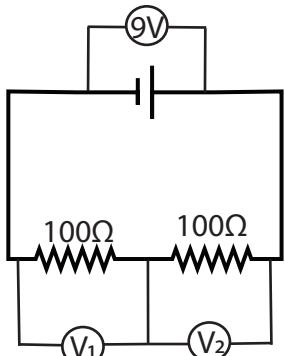
أعد الخطوات 3 و 4 باحلال مقاومة ثانية  $100\text{k}\Omega$  محل المقاومة الثابتة.

### الأسئلة

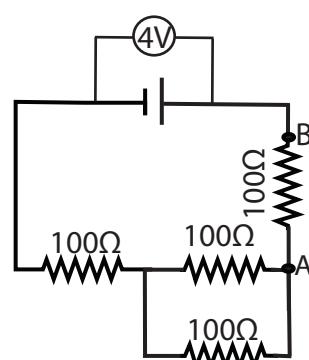
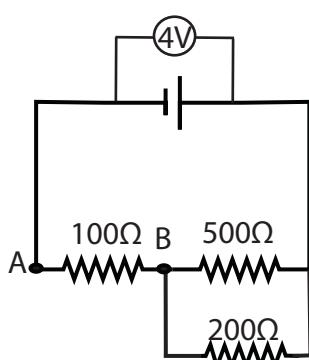
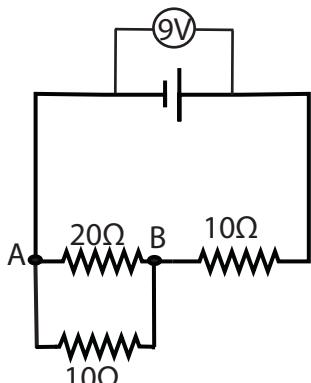
- a. اشرح لماذا يؤدي تغيير المقاومة إلى تغيير قراءة الفولتمتر.  
b. ماذا سيحدث لجهد المقاومة إذا حركنا الدائرة إلى مكان أشد إضاءة؟

## تقويم الدرس 3-4

1. يمكن استخدام الدوائر الآتية كمجّزئ للجهد. احسب قيمة الجهد المجهول.



2. يمكن استخدام الدوائر الآتية كمجّزئ للجهد. احسب الجهد بين النقطتين A و B.



3. يُستخدم مصطلحا مقياس الجهد ومجّزئ الجهد كمفهوم واحد في بعض الأوقات، بالرغم أنهما مختلفين.



a. عدد أوجه الشبه بينهما.

b. عدد أوجه الاختلاف بينهما.

4. المقاومتان الحرارية والضوئية مهمّتين جدًّا للدوائر التي تعمل ذاتيًّا. أنشئ رسمًا بيانيًّا لعراض:



a. كيف تتغيّر مقاومة المقاومة الحرارية مع درجة الحرارة.

b. كيف تتغيّر مقاومة المقاومة الضوئية مع شدة الضوء.

5. صمّم دائرة تحتوي على ترانزستور، تصدر إنذارًا صوتيًّا عندما يصبح زيت السيارة ساخنًا جدًّا. تأكّد من الرموز الكهربائية للأجزاء الداخلية والخارجية في الدائرة.



# الدرس 4-4

## البوابات المنطقية

يمكن لأجهزة الحاسوب التواصل فيما بينها وتنفيذ ملابس المهام المتكررة في ثوانٍ. داخلياً، تعمل أجهزة الحاسوب مع الجبر المنطقي، والبوابات المنطقية. جرى تطوير الجبر المنطقي في عام 1854 على يد جورج بول، عالم الرياضيات الإنجليزي. سُمِّي بعض العمليات الأساسية في الجبر المنطقي: AND و OR و NOT. كمثال على التطبيق المنطقي لـ AND المنطقي: إذا كانت العبارة 1 صحيحة، والعبارة 2 صحيحة، فيجب أن تكون 1 و 2 صحيحتين أيضاً. في الوقت الحاضر، نستخدم المنطق نفسه لإنشاء بوابات منطقية رقمية تؤدي وظائف مماثلة. توجد البوابات المنطقية داخل أجهزة الحاسوب، وتستخدم الجهد العالي والجهد المنخفض، لتمثيل الرقمان 1 و 0.



الشكل 4-4 شريط مخزن قديم لبرنامج حاسوب.

تُستخدم العمليات المنطقية للتواصل والحساب في الدوائر المنطقية. عندما تم تطوير الجبر المنطقي لأول مرة، بدا ذلك عديم الفائدة تماماً، ولكنه أصبح الآن أساساً لكل جهاز تقريرياً مزود بدائرة متكاملة.

يُظهر الشكل 4-4 شريط مخزن مخرجاً مخزناً كان يستخدم في أجهزة الحاسوب القديمة، لتخزين البيانات بعد إجراء عمليات منطقية.

### المفردات



Logic gates	البوابات المنطقية
NOT Gate	بوابة NOT
Truth table	جدول الحقيقة
AND Gate	بوابة AND
OR Gate	بوابة OR
NAND Gate	بوابة NAND
NOR Gate	بوابة NOR
XOR Gate	بوابة XOR

### مخرجات التعلم

P1111.3 يستخدم البوابات المنطقية (NAND و OR و AND NOT) و(NOR) في الدوائر العملية ويحدد جداول الحقيقة لهذه البوابات بصورة منفردة أو مجعة.

## البوابات المنطقية

يجري إرسال البيانات أو المعلومات عبر أجهزة الحاسوب، من خلال سلسلة من الآحاد 1 والأصفار 0. تعامل أجهزة الحاسوب، والأجهزة الذكية الأخرى، مع الأرقام 1 و 0 هذه بمساعدة **البوابات المنطقية Logic gates**. البوابات المنطقية هي دوائر رقمية مصنوعة من الترانزستورات، تعمل عادة على مدخل أو مدخلين. تستوعب البوابات المنطقية إحدى القيمتين 0 و 1 ثم تعالجها وتنتج 0 أو 1 عند المخرج. يمثل 0 عادةً بجهد منخفض و 1 بجهد مرتفع.

في الدوائر المنطقية، يُمثّل الجهد من 0 V إلى 0.8 V بـ صفر (0) ويُمثّل الجهد من 2V إلى 5V بـ واحد (1).

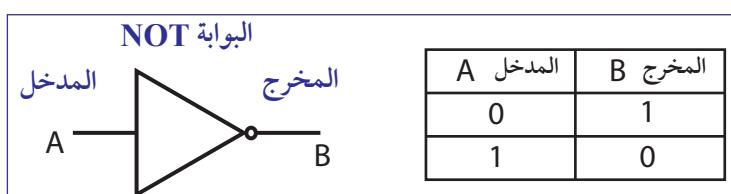


تحتوي وحدة المعالجة المركزية الحديثة للحاسوب (CPU) على أكثر من مليار بوابة منطقية تسمح للحاسوب بأن يجمع ويقسم ويضرب ويَتَّخِذ القرارات.

نجد البوابات المنطقية الفردية على شكل رُزم من دوائر متكاملة (الشكل 49-4).

الشكل 49-4 الدوائر المتكاملة للبوابات المنطقية.

سندرس ست بوابات منطقية أساسية: AND، NOT، XOR، NOR، NAND، OR.



### البوابة NOT

تعرف البوابة NOT أيضاً باسم العاكس. فهي تحتوي فقط على مدخل واحد.

وظيفتها عكس إشارة المدخل. يظهر في الشكل 450 رمز البوابة وجدول الحقيقة العائد إليها.

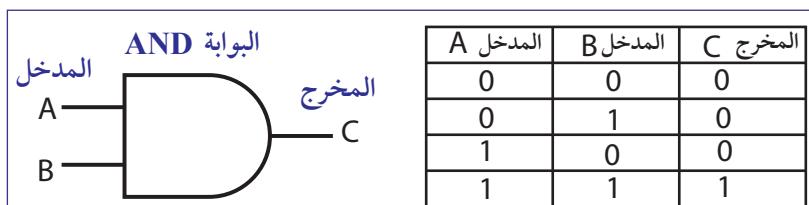
الشكل 450 جدول الحقيقة للبوابة NOT ورموزها.

جدول الحقيقة هو جدول يمثل جميع المداخل والمخارج الممكنة. يوضح جدول الحقيقة للبوابة NOT الآتي: عندما تكون إشارة المدخل 0، يكون المخرج 1. إذا كانت إشارة المدخل 1، يكون المخرج 0.

### البوابة AND

تحتوي البوابة AND عادةً على مدخلين A و B، وقد تحتوي على أكثر من ذلك. كما يوحى الاسم، يكون الناتج (C) 1 إذا كان كلا المدخلين (A) و (B) 1. في أي سيناريو آخر،

يكون المخرج 0 (الشكل 451).



الشكل 451 رمز البوابة AND وجدول الحقيقة العائد إليها.

## البوابة OR

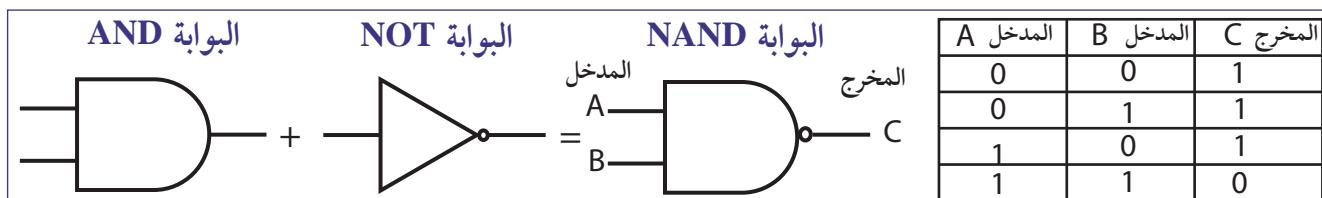
تحتوي البوابة OR عادةً على إشاراتي مدخل، ووظيفتها مشابهة جدًا لاسمها. يجب أن يكون للمدخل A أو المدخل B إشارة 1 ليكون، المخرج 1. إذا كان كلا المدخلين يساوي 0، يكون المخرج 0 (الشكل 52-4).



الشكل 52-4 رمز البوابة AND وجدول الحقيقة العائد إليها.

## البوابة NAND

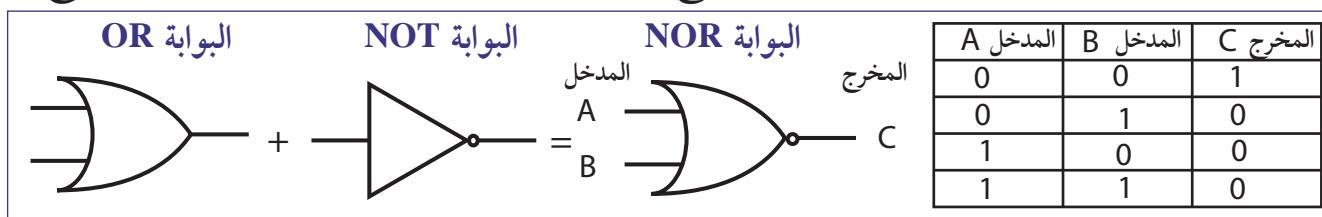
تحتوي البوابة NAND أيضًا على إشاراتي إدخال. البوابة NAND هي عبارة عن البوابة AND مزودة بعاكس يليها (الشكل 53-4). يوضح جدول الحقيقة الأمر الآتي: عندما تكون إشاراتا المدخل A و B، 1 يكون المخرج 0. في جميع الحالات الأخرى، يكون المخرج 1.



الشكل 53-4 رمز البوابة NAND وجدول الحقيقة العائد إليها.

## البوابة NOR

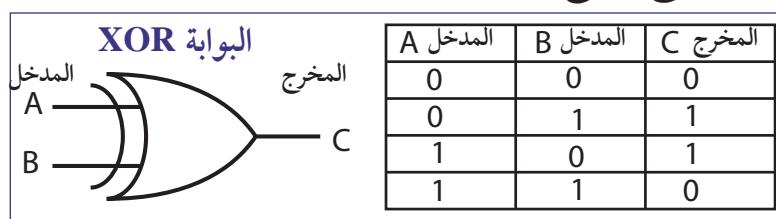
البوابة NOR هي البوابة OR مع عاكس يليها (الشكل 54-4). ويتبَّع من جدول الحقيقة، الأمر الآتي: إذا كان أي من المدخلين A أو B هو 1، يكون الناتج 0. يجب أن يكون كلا المدخلين 0 لإشارة مخرج 1.



الشكل 54-4 رمز البوابة OR وجدول الحقيقة العائد إليها.

## البوابة XOR

تعني البوابة XOR «حصرياً» البوابة OR (الشكل 55-4). وعلى غرار بوابة OR، يحتاج أي من المدخلين A و B إلى وجود إشارة 1 ليكون المخرج 1، مع ذلك، إذا كان لكل من المدخلين إشارة 1،



الشكل 55-4 رمز البوابة XOR وجدول الحقيقة العائد إليها.

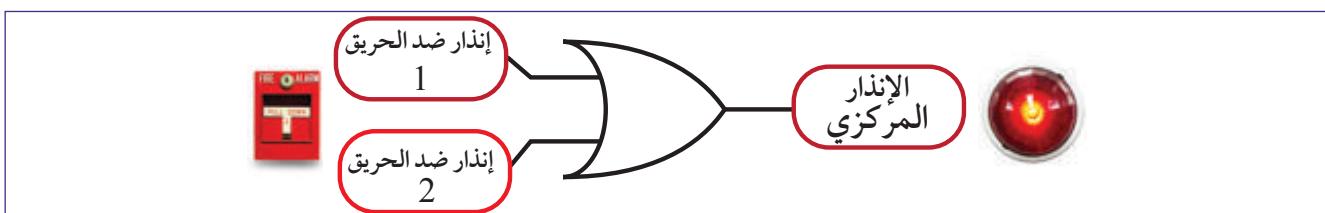
يكون المخرج 0. وبعبارة أخرى، يجب أن تكون إشاراتا المدخلين مختلفتين لتكون إشارة الخرج 1. يكون مخرج المدخلين المتماثلين 0.

## تطبيقات البوابات المنطقية

تساعدنا جداول الحقيقة على تحديد أي بوابة منطقية يجب استخدامها وأين. تُستخدم البوابات المنطقية الأساسية في العديد من الدوائر الشائعة، مثل أنظمة الإقفال، وأجهزة الإنذار ضد السرقة، وثرموموستات السلامة، وأنظمة الري الآوتوماتيكية، وما إلى ذلك. يجري تصنيع العديد من الدوائر المعقّدة أيضًا باستخدام البوابات المنطقية. فهي تسهم في العمليات الحسابية، وتحليل البيانات المهمة. نبيّن أدناه بعض التطبيقات البسيطة.

### نظام الإنذار ضد الحرائق، باستخدام البوابة OR

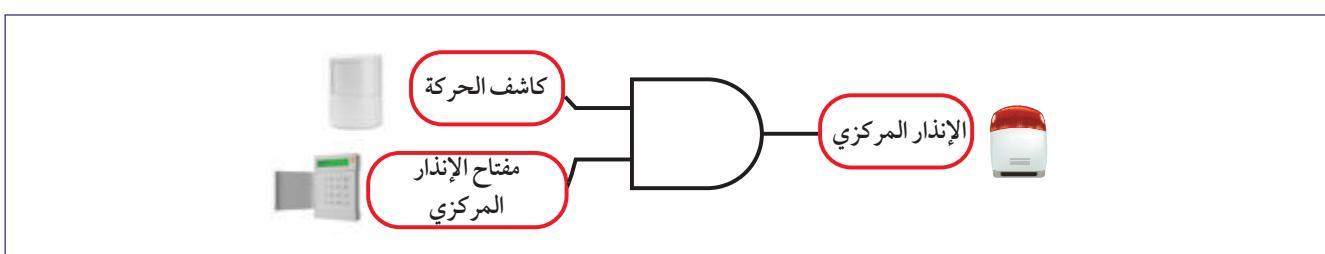
افترض وجود جهاز إنذار ضد الحرائق (أو أكثر) في مبني ما، وكل منها مرتبط بجهاز الإنذار ضد الحرائق المركزي. إذا سُحب أيٌّ من جهاز الإنذار ضد الحرائق، ينطلق نظام الإنذار المركزي، الأمر الذي يؤدي إلى إرسال إشارة بصوت عال، وتشغيل ضوء الطوارئ. في هذه الحالة، البوابة OR وحدها تفي بالغرض. ينبغي أن يكون أحد المدخلين فقط رقمه 1. ولكن حتى إذا جرى سحبهما معًا، فإن النظام يعمل أيضًا (الشكل 56-4).



الشكل 56-4 نظام إنذار ضد الحرائق.

### نظام الإنذار ضد السرقة باستخدام بوابة AND

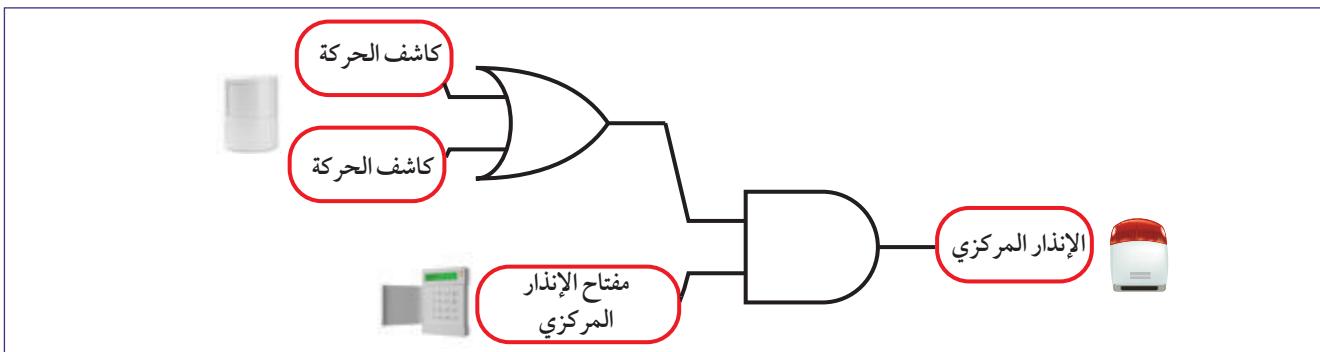
يتكون الإنذار النموذجي ضد السرقة من مفتاح مركزي. يُشغل الإنذار عادة أثناء الليل، وليس خلال عندما يكون الكل مستيقظًا. يشتمل النظام على كاشف للحركة، ويعمل الإنذار المركزي عند تشغيل المفتاح ومرور أي شخص أمام الكاشف (الشكل 57-4).



الشكل 57-4 نظام الإنذار ضد السرقة.

## نظام الإنذار ضد السرقة باستخدام البوابة AND والبوابة OR

يمكن أن يتكون نظام الإنذار ضد السرقة الأكثر تطوراً من مفتاح مركزي وأثنين من كاشفي الحركة المنفصلين. في حالة عبور أحد ما أمام كاشف الحركة وتشغيل المفتاح، سيصدر نظام الإنذار المركزي صوت تحذير. لذا، تحتاج هذه الدائرة إلى بوابة OR وبوابة AND (الشكل 4-58).



الشكل 4-58 نظام الإنذار ضد السرقة باستخدام كاشفين.

### مثال 9

صمّم دائرة باستخدام بوابات منطقية، تقوم بتشغيل مكّيف (AC)، عندما يكون الجو حارّاً خلال النهار.

**المطلوب:** تصميم الدائرة

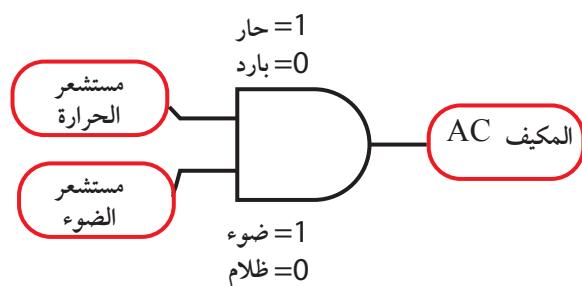
**الحل:**

1. لتصميم دائرة، يجب علينا أولاً تحديد المستشعرات التي نحتاج إليها، وما يجب أن تكون عليه المدخل والمخرج. تحتاج الدائرة إلى استكشاف الحرارة والضوء، لذلك نحن بحاجة إلى مستشعر للحرارة، ومستشعر للضوء.

2. وبما أن لدينا مدخلين اثنين ومخرجًا واحدًا، يمكننا بسهولة كتابة جدول الحقيقة.

3. عندما يرسل مستشعر الحرارة إشارة 1، ويرسل مستشعر الضوء إشارة 1، يجب تشغيل المكّيف (AC). هذا يعني أنه عندما يكون كلا المدخلين A و B قيمته 1، يكون المخرج أيضًا 1. لدينا بوابة واحدة بإمكانها القيام بذلك فعلاً هي بوابة AND.

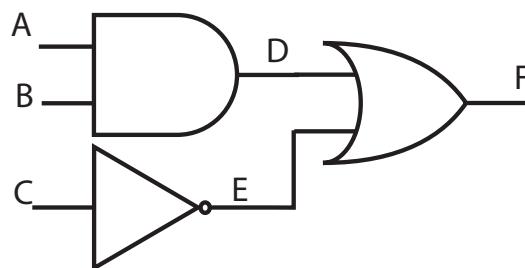
مستشعر الحرارة	مستشعر الضوء	اشغال المكّيف AC
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



## مثال 10



أنشئ جدول حقيقة للدائرة المُقابلة.



**المطلوب:** إنشاء جدول الحقيقة.

**الحل:**

المدخل			المخرج		
A	B	C	D	E	F
0	0	0	0	1	1
0	0	1	0	0	0
0	1	0	0	1	1
0	1	1	0	0	0
1	0	0	0	1	1
1	0	1	0	0	0
1	1	0	1	1	1
1	1	1	1	0	1

↑                      ↑                      ↑                      ↑

الخطوة 1          الخطوة 2          الخطوة 3          الخطوة 4

لإنشاء جدول الحقيقة لدائرة تحتوي على بوابات متعددة، نحتاج إلى إيجاد حل المخرج لكل بوابة على حدة.

**الخطوة 1:** أولاًً، اكتب جميع تركيبات المدخل الممكنة.

**الخطوة 2:** بعد ذلك، احسب مخرج بوابة AND من خلال النظر إلى المدخلين A وB.

**الخطوة 3:** اعكس المدخل C، إلى المخرج E.

**الخطوة 4:** بما أن D وE هما مدخلان للبوابة OR، حلّ المخرج F.

## الدوائر المنطقية



حاول إجراء ترقيبات مختلفة من البوابات لإنتاج مخرجات مختلفة.

سؤال الاستقصاء

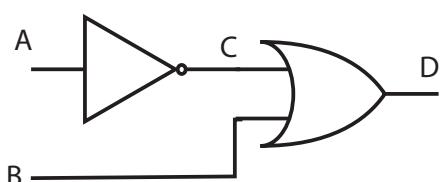
مفاتيح المدخل (كمفاتيح التبديل) المتصلة بطارية، صمام LED، بوابات منطقية مختلفة.

المواد المطلوبة

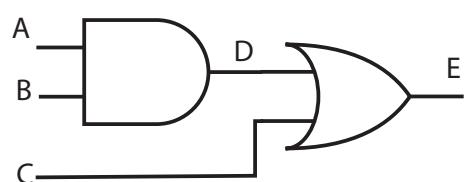
### خطوات التجربة

1. وصل البطارية بالمفاتيح.
2. قم ببناء الدائرة 1 ووصل كل مدخل بمفتاح لكي تتمكن من التحكم في المدخل.
3. قم بتوصيل المخرج بالصمام LED.
4. أجعل جميع المدخل صفرًا 0. كيف يكون مخرج الصمام؟ إذا أضاء الصمام LED تكون القراءة 1.
5. جرب جميع ترقيبات المدخل الواردة في ورقة العمل. قم بملء الجدول.
6. كرر الخطوات من 1 إلى 5 للدوائر المتبقية.

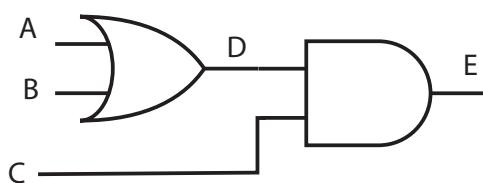
الدائرة 1



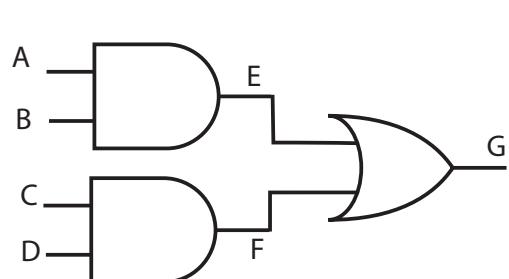
الدائرة 2



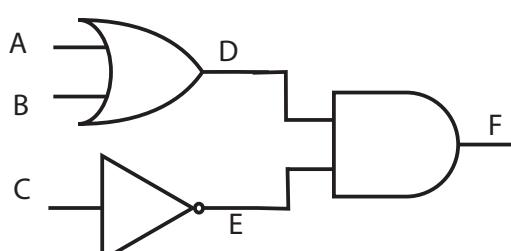
الدائرة 3



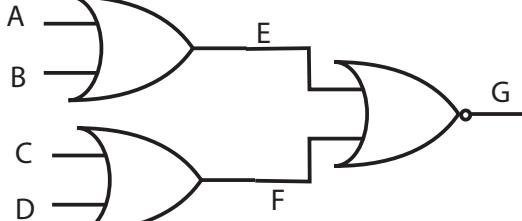
الدائرة 4



الدائرة 5



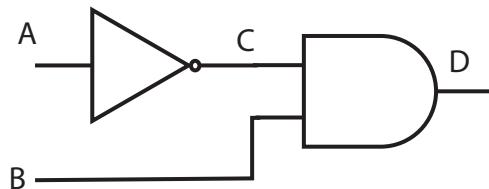
الدائرة 6



## تقويم الدرس 4-4



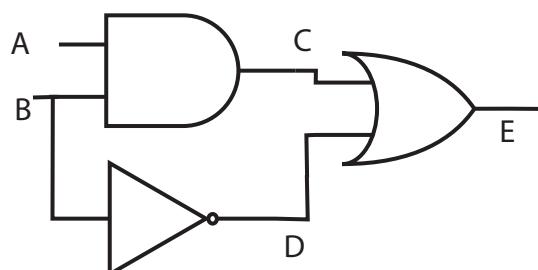
1. أنشئ جدول الحقيقة للدائرة الآتية:



2. يمكن تحويل بوابة NAND إلى بوابة NOT. كيف؟



3. افترض الدائرة الآتية:



a. ما الخطأ في توصيل الدائرة؟

b. أنشئ جدول الحقيقة لهذه الدائرة بعد التعديل.

4. تمثل إحدى طرق التفكير بوظيفة بوابة المنطق الأساسية في النظر إلى حالة المدخل الفردية التي تضمن حالة مخرج معينة. يمكّنا، مثلاً، وصف وظيفة بوابة OR على النحو الآتي: «أي مدخل عالٍ يضمن مخرجاً عالياً». حدد أي نوع بوابة منطقية تمثلها كل من العبارات الآتية:

a. أي مدخل عالٍ يضمن مخرجاً منخفضاً.

b. أي مدخل منخفض يضمن مخرجاً مرتفعاً.

c. أي مدخل منخفض يضمن مخرجاً منخفضاً.

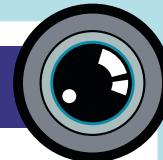
(ملاحظة: انظر إلى جداول الحقيقة لكل بوابة)



5. جرى بناء العديد من أنواع دوائر البوابات المنطقية مع أكثر من مدخلين. ذلك مفيد جدًا، بل ضروري، في بعض تطبيقات الدوائر الرقمية. أنشئ جدول الحقيقة للبوابة مع مدخل للبوابة AND.



## ضوء على العلماء



### جاجاديش تشاندرا بوز (1858-1937)



**الشكل 4-59** تمثال جاجاديش تشاندرا بوز في كامبريدج.

كان أول جهاز شبه موصل حصل على براءة اختراع عام 1901 من اختراع العالم البنغالي جاجاديش تشاندرا بوز المولود في 3 نوفمبر 1858. تلقى بوز معظم تعليمه في مدينة كلكتا في الهند. وسافر في وقت لاحق إلى بريطانيا لمتابعة التعليم العالي؛ فحصل على درجة البكالوريوس من جامعة كامبريدج وعلى درجتي الماجستير والدكتوراه من جامعة لندن.

كان العديد من الفيزيائيين يعملون، في أواخر القرن التاسع عشر، على الإشعاع الكهرومغناطيسي. تابع بوز بحوثه في المجال نفسه، فقصر من طول الموجة الميكروية كي يتمكّن من دراسة خصائصها المشابهة للضوء. أشعل بوز عام 1894 ملح البارود، وقرع جرس من مسافة باستخدام الموجات الميكروية. وأطلق على تلك الموجات تسمية «الضوء غير المرئي» وكتب: «يمكن للضوء غير المرئي أن يمر بسهولة من خلال جدران الطوب وجدران المباني وسواهمها. لذلك يمكن إرسال الرسائل عن طريقه من دون الحاجة إلى أسلاك». بدأ بوز، بعد ذلك، بدراسة تأثير الاستقطاب على الضوء في بعض محاليل السكر. استخدم وصلات من أشباه الموصلات ككوناف. بعد ذلك، حصل على براءة اختراع أشباه الموصلات، ووصف خصائصها بأنها لا تطيع قانون أوم. حيث استخدم قطعة من المعدن البلوري تسمى «الجالينا»، وهي كبريتيد الرصاص.

طُور شبه موصل بوز هذا فيما بعد، إلى مكوّن عملي للمذيع (الراديو) طُوره ج. و. بيكارد عام 1906، وكان يعرف باسم كاشف شارب القط وهو يتكون من قطعة صغيرة من المعدن البلوري يلامس سطحها سلك معدني ناعم وقد شكّلت نقطة الاتّصال غير المستقرة هذه وصلة بين شبه موصل ومعدن. كان السلك الناعم يُعرف باسم المصعد (الأنود) والبلورة الصغيرة بالمهبط (الكايثود). وكان هذا أول كاشف بلوري يجري إنتاجه تجاريًّا.



**الشكل 4-60** كاشف شارب القط المصنوع من الباريت عام 1914.

# الوحدة 4

## مراجعة الوحدة

### الدرس 4-1: المكثفات

**المكثف:** جهاز يخزن الطاقة الكهربائية، ويتكوّن من موصلين تفصل بينهما مادة عازلة.

**السعة:** هي قدرة المكثف على حمل الشحنة الكهربائية، وتقاس بوحدة الفاراد F.

**الثابت الزمني:** هو الزمن الذي يستغرقه لشحن المكثف بنسبة 63%.

### الدرس 4-2: أشباه الموصلات

**الموصل الكهربائي:** مادة تسمح للتيار الكهربائي بالتدفق من خلالها.

**العزل الكهربائي:** مادة تجعل من الصعب على التيار الكهربائي أن يتدفق من خلالها.

**المقاومة النوعية:** هي خاصية المادة التي تحدّد ما إن كانت مادة موصلة مقاومتها منخفضة، أو إذا كانت مادة عازلة.

**أشباه الموصلات:** هي المواد التي تقع بين الموصلات والعوازل، وفيها عدد قليل جداً من الإلكترونات الحرة. وتزداد موصليتها بإضافة الشوائب إليها. ويوجد نوعان من أشباه الموصلات: أشباه الموصلات من النوع n (التي تتكون من إلكترونات حرّة) وأشباه الموصلات من النوع p (التي تتكون من فجوات حرّة).

**الترانزستورات والدايودات:** تستخدم عادة في أجهزة أشباه الموصلات، وتتكوّن من وصلات p-n.

### الدرس 4-3: مجزئ الجهد

**مجزئ الجهد:** دائرة تستخدِم المقاومات لتجزئة فرق الجهد الأكبر إلى فروق جهد أصغر.

**مقاييس فرق الجهد:** جهاز يعمل مثل مجزئ الجهد بمقاومة متغيرة.

**المقاومات الضوئية (LDR): والمقاومات الحرارية (الثرمستور):** مقاومات خاصة تختلف في مقاومتها بحسب الضوء الساقط عليها، أو درجة حرارتها. توجد هذه المقاومات في العديد من دوائر التحكم للأجهزة الأوتوમاتيكية.

### الدرس 4-4: البوابات المنطقية

• **البوابات المنطقية:** مكوّنات رقمية تعمل على إدخال إحدى إشارتي «1» أو «0» (إشارة «تشغيل») أو إشارة «إيقاف»).

• **البوابات المنطقية الأساسية** هي: بوابة NOT، وبوابة AND، وبوابة OR، وبوابة NAND، وبوابة NOR.

• **جدول الحقيقة:** جدول يستخدم لبيان جميع المدخل والمخرج الممكنة من البوابات المنطقية والدوائر التي تحتوي على البوابات المنطقية.

### اختيار من متعدد

1. ماذا تسمى المادة التي توصل التيار الكهربائي بسهولة؟

- a. موصلًا
- b. عازلاً
- c. شبه موصل.
- d. شبه موصل فائقًا.

2. يظهر أدناه جدول الحقيقة لبوابة منطقية. ما نوع البوابة المنطقية هذه؟

المخرج	المدخل ب	المدخل أ
1	0	0
0	1	0
0	0	1
0	1	1

AND .a

NOR .b

NOT .c

OR .d

3. ما الجهاز الذي يسمح للتيار الكهربائي المستمر بالتدفق من خلاله، ويقوم التيار المتردد؟

- a. الديايد
- b. المكثف
- c. المقاومة
- d. الترانزستور

4. ما السعة المكافحة للمكثفات المتصلة على التوازي؟

- a. حاصل ضرب ساعات المكثفات الفردية.
- b. مجموع ساعات المكثفات الفردية.
- c. مقلوب حاصل جمع مقلوب ساعات المكثفات.
- d. لا شيء مما ذكر.

.5. ما السعة المكافئة للمكثفات المتصلة على التوالى؟

a. مجموع ساعات المكثفات الفردية.

b. مثل مقدار المقاومة المكافئة للمقاومات المتصلة على التوالى.

c. مقلوب حاصل جمع مقلوب ساعات المكثفات الفردية.

d. لا شيء مما ذكر.

.6. ما قيمة مقدارها  $\mu F$  1 بوحدة الفاراد؟

$10^{-6} F$  .c

$10^{-2} F$  .a

$10^{-12} F$  .d

$10^{-4} F$  .b

.7. ماذا تُسمّى غالبية النواقل في السيليكون المعالج بشوائب من الفوسفور؟

c. الإلكترونات

a. الفجوات

d. النيوترونات

b. البروتونات

.8. ماذا تُسمّى غالبية النواقل في شبه الموصل من النوع الموجب؟

c. الإلكترونات

a. الفجوات

d. النيوترونات

b. البروتونات

.9. علام يعتمد فرق الجهد الناتج في مجّزء الجهد؟

c. المقاومة المفردة.

a. التيار الكهربائي.

d. القيمة النسبية لجميع المقاومات.

b. درجة الحرارة.

.10. كم تكون السعة الكهربائية لمكثف إذا كانت الشحنة المختزنة على الواحة كبيرة؟

c. كبيرة

a. صفرًا

d. لانهائية

b. صغيرة

.11. كم تكون الطاقة المختزنة في مكثف سعته  $\mu F$  2000 ومشحون بفرق جهد  $V$  10؟

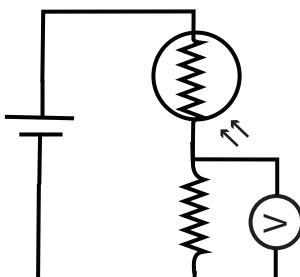
c.  $1.3 J$

a.  $0.10 J$

d.  $3 J$

b.  $0.12 J$

## تقويم الوحدة



12. يبيّن الشكل دائرة كهربائية. إذا كانت شدة الضوء الساقط تزداد على المقاومة الضوئية (LDR)، فماذا يحدث لكل من مقاومة LDR وتيار المقاومة الثابتة، وقراءة الفولتمتر؟

قراءة الفولتمتر	تيار المقاومة الثابتة	مقاومة LDR	
تنقص	يزيد	تنقص	.a
تزيد	يزيد	تنقص	.b
تنقص	ينقص	تزيد	.c
تزيد	ينقص	تزيد	.d

13. ما مجموع الشحنة على لوحي مكثف مشحونين بشحتتين مختلفتين؟

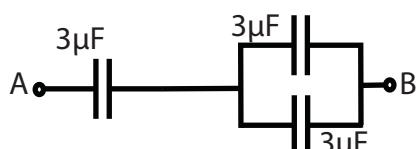
- c. كبيراً .a. صفرًا
- d. لانهائيًا .b. صغيراً

### الدرس 1-4: المكثفات

14. مكثف سعته  $1,000\mu\text{F}$ ، جرى توصيله على التوالى بمقاومة.

a. ما الثابت الزمني للمكثف، عند تفريغه في مقاومة  $100\text{k}\Omega$ ؟

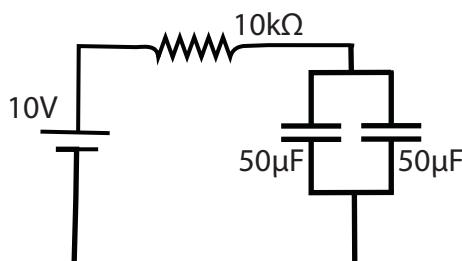
b. إذا كان المكثف متصلًا بطارية  $3\text{V}$ ، فما أقصى شحنة يمكن أن تخزن عليه؟



15. ثلاثة مكثفات متماثلة ومتصلة، كما هو مبيّن في الشكل.

احسب السعة المكافئة بين النقطتين A و B.

16. أنشئ رسمًا تخطيطيًّا، يمكّنك من الحصول على سعة مكافأة مقدارها  $2.0\mu\text{F}$ ، باستخدام أربعة مكثفات، سعة كل منها  $2.0\mu\text{F}$ .



17. احسب الشحنة الكلية المخزنة في الدائرة الكهربائية في الشكل.

**18.** معادلة الثابت الزمني هي  $RC = \tau$ . أثبت أن وحدة هذا الثابت هي  $s$ .

**19.** واحدة من معادلات الطاقة المخزنة في مكثف، هي:

$$E = \frac{1}{2} QV$$

حيث  $Q$  هي الشحنة المخزنة، و  $V$  هو فرق الجهد عبر المكثف. بين أن هناك تعبيرًا آخر مناسبًا للطاقة المخزنة، هو:

$$E = \frac{1}{2} CV^2$$

حيث  $C$  هي سعة المكثف.

#### الدرس 4-2: أشباه الموصلات

**20.** بلورات السيليكون هي أشباه موصلات توصل الكهرباء عند وجود شوائب. اشرح لماذا لا تستطيع بلورات السيليكون توصيل الكهرباء من دون وجود شوائب. اذكر التركيب الذري للسيليكون.

**21.** الفلزات تفوق المواد الأخرى في توصيل الكهرباء. وضح سبب ذلك باستخدام ما تعرفه عن التركيب الذري للفلزات.

**22.** عّرف المفردتين الآتيتين:

a. الموصلية

b. المقاومة النوعية

**23.** توجد في الترانزستورات والديودات منطقة، تسمى طبقة النضوب.

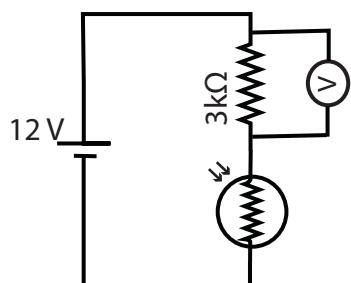
a. عّرف طبقة النضوب.

b. اشرح كيف تكونت طبقة النضوب تلك.

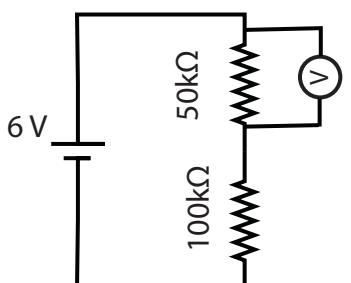
**24.** يتكون مقوم القنطرة من دiodات متصلة، على شكل حلقة. أنشئ رسمًا بيانيًّا يبيّن التيار بعد مروره من دائرة مقوم القنطرة.

## الدرس 4-3: مجزء الجهد

**25.** لخُص الفرق بين المقاومة الحرارية (الثرمستور) NTC والمقاومة الحرارية PTC. ضمن إجابتك رسمًا تخطيطيًّا لكل من المقاومتين الحراريتين، ورسمًا بيانيًّا لفرق الجهد مقابل درجة الحرارة لـ كلِّ منها.

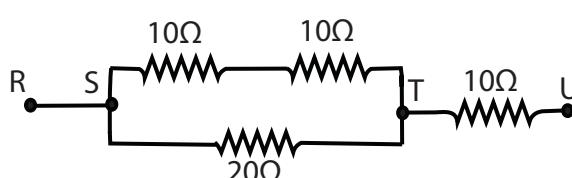


**26.** باعتماد دائرة مجزء الجهد المعطاة في الشكل، اشرح الشرط المطلوب للحصول على فرق جهد عالٍ على الفولتمتر.

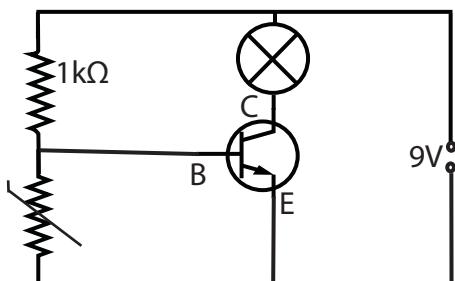


**27.** تتصل مقاومة  $50\text{ k}\Omega$  و مقاومة  $100\text{ k}\Omega$  ، على التوالي، ببطارия قوتها الدافعة الكهربائية  $6.0\text{ V}$ ، ويتأصل فولتمتر حول طرفِيِّ المقاومة  $50\text{ k}\Omega$ . احسب قراءة الفولتمتر.

**28.** ما الفائدة من استخدام المقاومة الضوئية (LDR) والمقاومات الحرارية (الثرمستورات) والمقاومات المتغيرة في هذه الأيام. اذكر كل واحدة منها مع فوائدها وقدم تحليلًا عامًّا لسبب توجُّه العالم نحو التشغيل الآلي أيضًا.



**29.** ادرس دائرة الكهربائية المجاورة. إذا كان فرق الجهد بين النقطتين  $S$  و  $T$  يساوي  $9\text{ V}$ ، جد فرق الجهد: بين النقطتين  $R$  و  $U$ . بين النقطتين  $T$  و  $U$ .



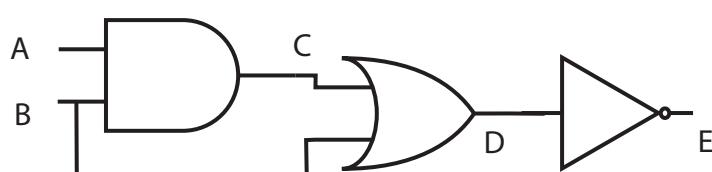
**30.** مقاومة حرارية (ثرمستور) مقاومتها في دائرة كهربائية معينة عند درجة حرارة  $20^{\circ}\text{C}$ ، تبلغ  $800\Omega$ ، و مقاومتها عند درجة حرارة  $100^{\circ}\text{C}$  تبلغ  $25\Omega$ . اشرح ما يحدث في الدائرة الكهربائية من حيث الجهد حول طرفى الثرمستور، عندما تتغير درجة الحرارة من  $20^{\circ}\text{C}$  إلى  $100^{\circ}\text{C}$ . اقترح أيضاً استخداماً عملياً لهذه الدائرة.

#### الدرس 4-4: البوابات المنطقية

**31.** ليس لكل البوابات المنطقية مدخلان؛ فبعض البوابات لها ثلاثة مداخل لكنها تؤدي الوظائف المنطقية نفسها.

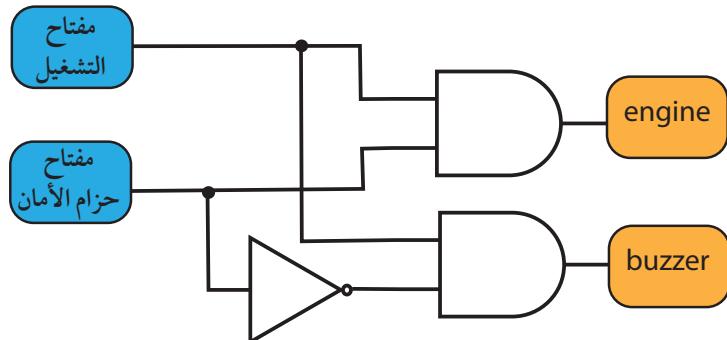
- a. أنشئ جدول الحقيقة للبوابة NOR ذات ثلاثة مداخل.
- b. أنشئ جدول الحقيقة للبوابة NAND ذات ثلاثة مداخل.

**32.** أعد الرسم وأكمل جدول الحقيقة للنظام الموضح في الشكل:



المدخل A	المدخل B	المخرج C	المخرج D	المخرج E

33. يبيّن الرسم التخطيطي نظاماً للتنبيه إلى ربط حزام الأمان، والمطلوب تركيبه في سيارة.



أعد الرسم، وأكمل جدول الحقيقة لهذا النظام:

الصافرة	المحرك	المدخل B	المدخل A

34. استخدم جدول الحقيقة المكتمل في السؤال 33، لتحديد أي العبارات صحيحة وأيها خطأ.

- a. لا يمكن أن يصدر صوت الصافرة إذا كان المحرك مطفأ.
- b. لا يمكن تشغيل كل من صوت الصافرة والمحرك في الوقت نفسه.
- c. يمكن تشغيل المحرك وحزام الأمان غير مربوط.
- d. يصدر صوت الصافرة فقط، عندما لا يكون حزام الأمان مربوطاً.

35. صمم دائرة كهربائية عملية تستخدم بوابة ذات ثلاثة مداخل، واذكر أين يمكن أن تُستخدم.

36. يعطي ميزان الحرارة الكهربائي في مصنع، مخرج «0»، إذا كانت درجة الحرارة منخفضة جداً. ويعطي مستشعر الرطوبة في المصنع نفسه، مخرج (1)، إذا كانت نسبة الرطوبة في المصنع مرتفعة جداً. ويصدر صوت تنبيه، عندما تكون درجة الحرارة منخفضة جداً ونسبة الرطوبة مرتفعة جداً. أنشئ دائرة متصلة بميزان حرارة ومجس رطوبة. يجب أن تتكون الدائرة من البوابة NOT والبوابة AND.



## الوحدة 5

### الحث الكهرومغناطيسي

في هذه الوحدة

P1112

P1113

الدرس 5-1: الحث الكهرومغناطيسي

الدرس 5-2: مولدات التيار المتردد (AC)

الدرس 5-3: المحولات الكهربائية

# الوحدة

5

## مقدمة الوحدة



كيف يجري إنتاج الكهرباء التي تصل إلى منازلنا ومدارسنا؟ يوضح أحد القوانين الأساسية في الفيزياء أن التغيير في المجال المغناطيسي قادر على توليد تيار كهربائي. تسمى هذه العملية الحث الكهرومغناطيسي، وتعتبر أساساً في عمل جميع محطات توليد الطاقة الكهربائية. الكهرباء المُتَّجَّة بهذه العملية تعطي تياراً متزدداً AC، وهو مختلف عن التيار المستمر DC، الذي تزودنا به البطارية. يدل التيار المتزدّد من إشارة الجهد ستّين مرة كل ثانية. سنطلع، من خلال هذه الوحدة، على السبب الذي يجعل كهرباء التيار المتزدّد أفضل من كهرباء التيار المستمر، في توليد الطاقة الكهربائية، ونقلها.

والطاقة الكهربائية، مثلها مثل جميع أشكال الطاقة الأخرى، تتعرّض لخسارة جزء منها أثناء نقلها. فعندما تتحرّك الإلكترونات بسرعة في أسلاك التوصيل تنتج حرارة. ومن أجل خفض هذه الحرارة والخسارة في الطاقة، يُستعان بجهاز يُسمى المحول، قادر على تغيير الجهد والتيار، مع الإبقاء على القدرة الناتجة كما هي عليه. ومن تلك المحولات، ما هو رافع للجهد وما هو خافض للجهد، قبل وصوله إلى المنازل.

## الأنشطة والتجارب



القوة الدافعة الكهربائية الحثية في

a1-5

ملف واحد

القوة الدافعة الكهربائية الحثية في

b1-5

ملف لوليبي

صنع مولّد كهربائي

2-5

المحول الرافع للجهد والمحول

3-5

الخافض للجهد

# الدرس 1-5

## الحث الكهرومغناطيسي



الشكل 1-5 شحن هاتف ذكي بواسطة شاحن لاسلكي.

انتشرت مؤخراً في الأسواق هواتف جوّالة قابلة للشحن لاسلكياً. وتوافرت أيضاً فرشاة أسنان كهربائية تستخدم الشحن اللاسلكي لتدوم بشكل أطول. لكن كيف تعمل الشواحن اللاسلكية؟ تعمل بوضع ملف سلكي على مغناطيس. وعند مرور تيار في الملف، ينشأ مجال مغناطيسي. يستخدم هذا المجال لشحن الأجسام القريبة منه. هل ستتمكن في القريب العاجل من استبدال جميع الأجهزة السلكية لتحل محلها أجهزة لاسلكية؟

### المفردات



الحث الكهرومغناطيسي	Electromagnetic induction
تيار الحث	Induced current
الفيض المغناطيسي	Magnetic flux
ويبر	Weber
قانون فارادي للحث	Faraday's law of induction
الحث	Induction
قانون لنز	Lenz's law
قوة دافعة كهربائية حركية	Motional emf
التيارات الدوّامية	Eddy currents

### مخرجات التعلم

P1112.1 يذكر أوجه التشابه والاختلاف بين مفهومي الفيض المغناطيسي وكثافة الفيض المغناطيسي، ويحل مسائل حسابية مرتبطة بالعلاقة بين المفهومين.

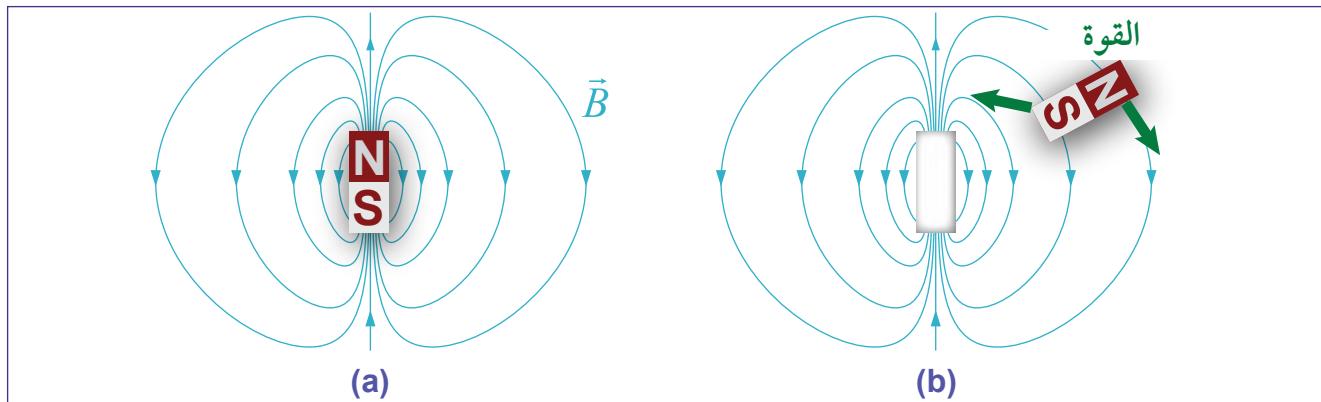
P1112.2 يصف القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة من الحركة النسبية بين موصل ومجال مغناطيسي، ويذكر العوامل التي تؤثر في قيمة القوة الدافعة الكهربائية الحثية واتجاهها.

P1112.3 يستخدم قانون فارادي وقاعدة لنز في حل مسائل حسابية على الحث الكهرومغناطيسي، بما في ذلك عندما تكون كثافة الفيض المغناطيسي غير متعدمة مع الموصل الذي يتحرك ويقطع خطوط الفيض المغناطيسي.

P1112.4 يصف بشكل نوعي كيفية تولد التيارات الدوّامية ويدرك بعض تطبيقاتها.

## المجال المغناطيسي

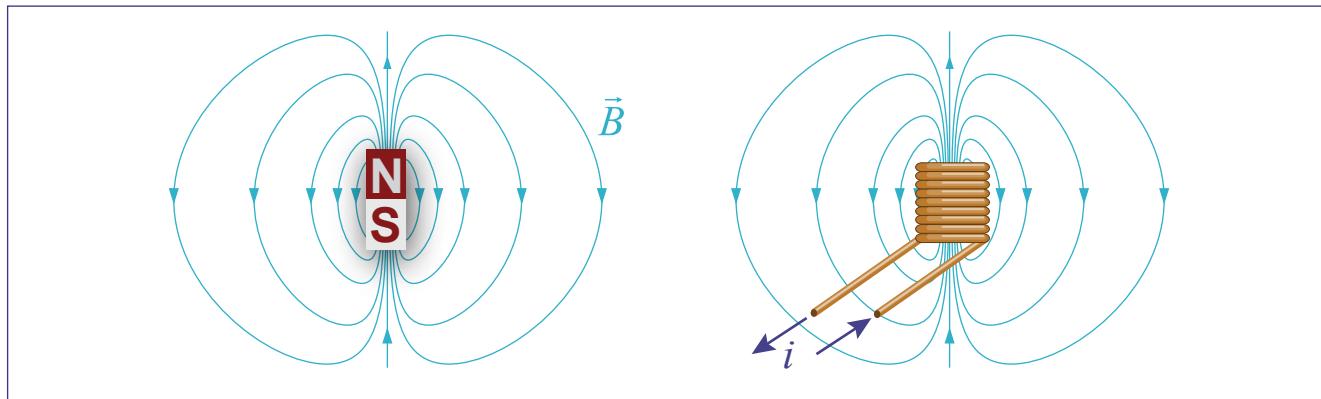
لا تؤثر القوة الناشئة بين مغناطيسين اثنين تأثيراً مباشراً في كل منهما. فبدلاً من ذلك، يُنشئ المغناطيس الأول مجالاً مغناطيسياً (الشكل 5-2a)، يؤثر في المغناطيس الثاني (الشكل 5-2b). يوفر المجال المغناطيسي طاقة يمكن أن تُستخدم لتوليد الكهرباء. وهو يُمثل بخطوط تكون باتجاه القوة المؤثرة في قطب شمالي تخيلي مفرد. يكون اتجاه خطوط المجال من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي.



الشكل 5-2 تفاعل المغناطيس من خلال المجال المغناطيسي.

وحدة شدة المجال المغناطيسي  $B$  في النظام الدولي للوحدات هي التسلا (T). فمجال شدّته 1 هو مجال قوي جدًا. يبلغ المجال المغناطيسي قرب خط الاستواء حوالي  $T = 3 \times 10^{-5}$  أو  $\mu T = 30$ . وللحصول على مجال بقوة T 1 نحتاج إلى استخدام مغناط قوية جدًا، كما هي حال آلة التصوير بالرنين المغناطيسي.

تنشأ المجالات المغناطيسية بشكل أساسى من التيارات الكهربائية. فملف سلكي ينقل تياراً كهربائياً ينشأ عنه مجال مغناطيسي كالذى نحصل عليه من خلال المجال الدائم. فال المجال الناشئ من المجال الدائم يتولد بشكل أساسى من الحركة المغزليّة للإلكترونات في الذرات. وكما تنشأ المغناطيسية من الكهرباء، تتولد الكهرباء من المغناطيسية. وبذلك تشكّل كل منهما نصف حالة التناقض المهمّ الموجود في الفيزياء.



الشكل 5-3 المجال المغناطيسي نفسه يمكن أن ينشأ من مغناطيس، أو من ملف يحمل تياراً كهربائياً.

ينشأ المجال المغناطيسي للأرض من تيارات كهربائية ضخمة تدور داخل لب الكوكب في الحمم المنصهرة من النيكل والحديد. تتولد هذه التيارات نتيجة للحركة المدارية للأرض، عبر المجال المغناطيسي للشمس.

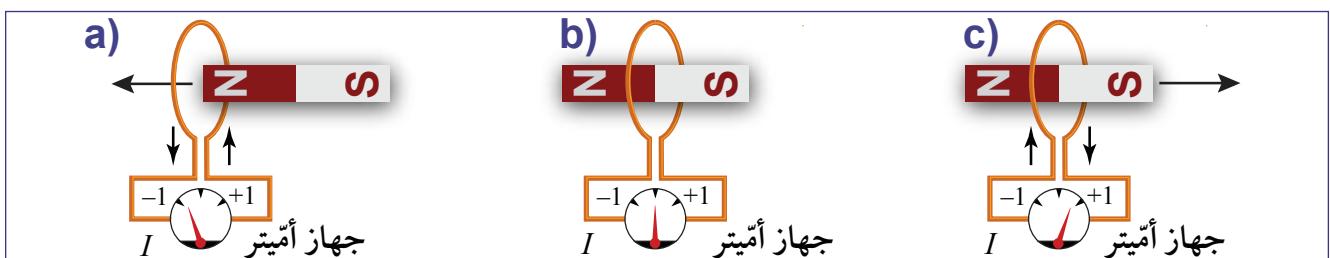
## الحث الكهرومغناطيسي

### سؤال للمناقشة

ما الذي تذكّر حول المغناطيس والمغناطيس الكهربائي وكثافة الفيصل المغناطيسي؟

إذا قمت بتحريك مغناطيس داخل ملف سلكي، سينشأ تيار كهربائي مادام المغناطيس في حالة حركة. من الأسهل ملاحظة هذا الأمر باستخدام الملف اللولبي (الحلزوني)، وهو عبارة عن عدة لفّات من السلك، أسطوانية الشكل، كما هو موضح في الشكل 4-5.

- a. عند دخول المغناطيس، يتقدّم التيار في اتجاه معين.
- b. عند توقف المغناطيس عن الحركة، يتوقف التيار أيضاً.
- c. عند سحب المغناطيس، يتقدّم التيار في الاتجاه المعاكس.



الشكل 4-5 الحث الكهرومغناطيسي.

يتولّد تيار حثّي في دائرة نتيجة للحركة النسبية بين موصل ومجال مغناطيسي، أو تغيير من مقدار شدة المجال وُتُسمى هذه الظاهرة **الحث الكهرومغناطيسي Electromagnetic Induction**. عندما يجري تحريك مغناطيس داخل الملف، يُظهر جهاز الأميتر الموصل بالدائرة تياراً كهربائياً يُسمى **الحثّي Induced current**، لأن المغناطيس يحثّ التيار في السلك. ولكن هذا يحدث فقط من خلال الحركة النسبية بين المغناطيس والموصل.

 **التيار الحثّي** ينشأ فقط من الحركة النسبية بين المغناطيس والموصل.

 يتغيّر اتجاه التيار الحثّي، عندما يتغيّر اتجاه حركة المغناطيس.

نلاحظ ازدياد كمية التيار المتدافق في الملف بإحدى الطرق الآتية:

1. زيادة شدة المجال المغناطيسي.
2. زيادة عدد لفّات الملف.
3. زيادة سرعة الحركة.
4. زيادة مساحة سطح الملف.

وتعود جميع هذه العوامل مهمة في تصميم **المولدات الكهربائية**، وال**محركات الكهربائية**.

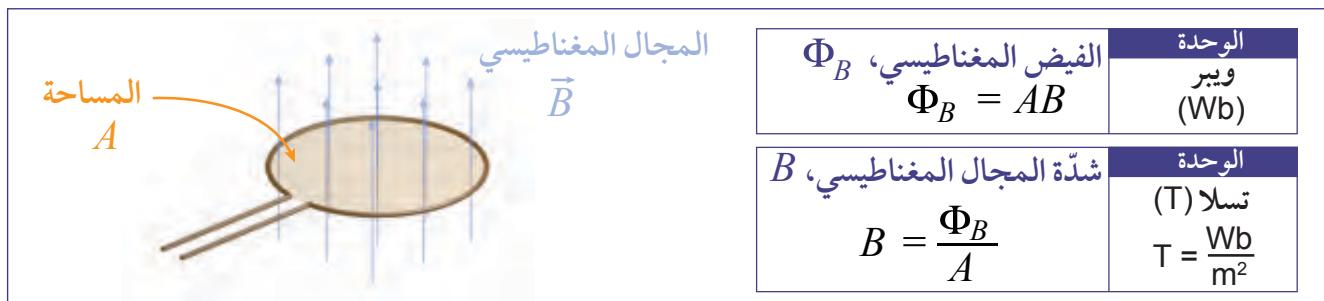
## الفيض المغناطيسي

يُظهر الشكل 5-5 وضعين لمغناطيس مُتحرك وملف سلكي. الوضع الأول (a) يولد تياراً كبيراً في الملف، والوضع الثاني (b) لا يولد تياراً. لماذا؟ الخطوة الأولى لربط الكهرباء بالمغناطيسيّة تكون من خلال تعريف الكمّية التي تصف الاختلاف بين الوضعين (a) و (b).



الشكل 5-5 الملف نفسه مع مغناطيس يتحرّك في مكائنين مختلفين.

الاختلاف بين الوضعين (a) و (b) يكمن في عدد خطوط المجال التي تجتاز سطح الملفّ فعلياً. فجزء المجال المغناطيسي الذي يمر عبر الملفّ فقط، يستطيع أن يحثّ التيار فيه. لنتعتبر أنّ لدينا ملفاً موجوداً داخل مجال مغناطيسي متوازد مع سطح الملفّ (الشكل 5-6). يُعرّف **الفيض المغناطيسي**،  $\Phi_B$  على أنه حاصل ضرب المساحة في شدة المجال المغناطيسي العمودي عليها ولتوسيع ذلك، نستخدم المسافة بين خطوط المجال للدلالة على شدّته. تكون هذه الخطوط متقاربة في حالة المجال القوي.



الشكل 5-6 ملف سلكي أفقي داخل مجال مغناطيسي مُنظم عمودي على مستوى الملف. وحدة قياس الفيض المغناطيسي هي وير (Wb) حيث  $1 Wb = 1 V.s$ . أما المجال المغناطيسي  $B$  فهو كثافة الفيض المغناطيسي، ووحدة قياسه  $Wb/m^2$  أو تسلا حيث  $1 T = 1 Wb/m^2$ . يقارن الجدول 5-1 وحدات قياس شدة المجال المغناطيسي والفيض المغناطيسي.

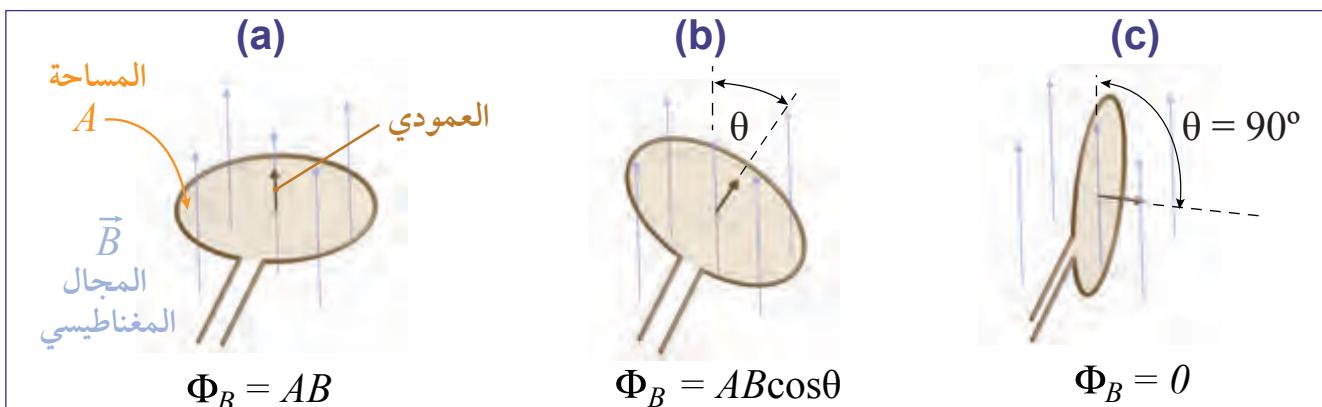
الجدول 5-5 الفيض المغناطيسي وشدة المجال المغناطيسي (كثافة الفيض).

شدة المجال المغناطيسي (كثافة الفيض)	الفيض المغناطيسي
كثافة الفيض المغناطيسي في وحدة مساحة	شدة المجال المغناطيسي خلال مساحة معينة
الرمز: $B$	الرمز: $\Phi_B$
وحدة القياس: $Wb/m^2$	وحدة القياس: $Wb$
كمية مُتجهة	كمية قياسية

## تأثير اتجاه المجال وعدد اللفات على الفيصل المغناطيسي

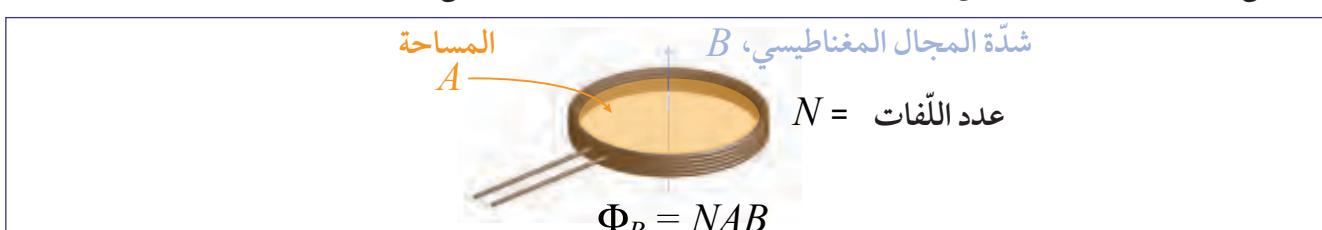
يعتمد الفيصل المغناطيسي على ثلاثة عوامل، هي:

1. شدة المجال المغناطيسي  $B$  وبينه وبين العمودي على سطح الملف.
2. مساحة الملف  $A$ .
3. عدد لفات الملف  $N$ .



الشكل 7-5 يعتمد الفيصل المغناطيسي على الزاوية بين المجال المغناطيسي والعمودي على سطح الملف.

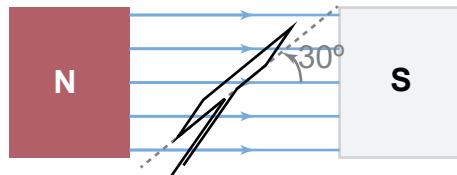
يُظهر الشكل 7-5 أن مركبة المجال المغناطيسي المتعامدة مع سطح الملف هي فقط التي تُسهم في الفيصل المغناطيسي. يُعرَّف المستوى الذي يقع فيه الملف بواسطة العمودي على السطح (الشكل 7-5 a). إذا كانت هناك زاوية بين العمودي والمجال، فإن الفيصل سينخفض بمقدار جيد تمام تلك الزاوية، كما في الشكل 7-5 b. ويكون الفيصل صفرًا، عندما تكون الزاوية  $90^\circ$  (الشكل 7-5 c).



الشكل 8-5 يعتمد الفيصل المغناطيسي على عدد اللفات  $N$ .

يمر عبر كل لفة من لفات الملف الفيصل المغناطيسي نفسه. يُظهر الشكل 8-5 أن الفيصل الكلّي في ملف مؤلف من  $N$  لفة، هو حاصل ضرب  $N$  في الفيصل عبر لفة واحدة. تُستنتج العلاقة الكاملة للفيصل عبر ملف مؤلف من  $N$  لفة من المعادلة 5-1. تفترض هذه المعادلة أن شدة المجال المغناطيسي ثابت عبر مساحة سطح الملف، وأن الزاوية بين العمودي على الملف والمجال المغناطيسي هي  $\theta$ .

الفيصل المغناطيسي (Wb)	$\Phi_B$	الفيصل المغناطيسي خلال ملف	1-5
عدد اللفات	$N$		
شدة المجال المغناطيسي (T)	$B$		
مساحة سطح الملف ( $m^2$ )	$A$		
الزاوية بين المجال المغناطيسي والعمودي على سطح الملف	$\theta$	$\Phi_B = NAB \cos \theta$	



الشكل 9-5 الفيصل المغناطيسي عبر ملف.

ملف سلكي مربع الشكل طول ضلعه 0.5 cm. وُضع بين قطبَيِّ مغناطيسين في مولد، كما هو مبيَّن في الشكل 9-5. إذا كانت قيمة شدَّةِ المجال المغناطيسي  $T = 0.1$  T، فكم تكون قيمة الفيصل المغناطيسي عبر الملف، إذا قمنا بتدوير الملف بزاوية  $30^\circ$ ، بدءًا من المحور الأفقي؟

**المطلوب:** الفيصل المغناطيسي  $\Phi_B$

**المعطى:** أبعاد الملف  $w = 0.5 \text{ cm}$  ،  $l = 0.5 \text{ cm}$

المجال المغناطيسي  $B = 0.1 \text{ T}$

**العلاقات:**  $\Phi_B = N B A \cos \theta$  ، المساحة  $A = l \times w$

**الحل:** نحتاج أولاً إلى حساب الزاوية الناشئة بين المجال المغناطيسي والعمودي على الملف السلكي  $\theta = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$

$$\begin{aligned}\Phi_B &= N B A \cos \theta \\ &= (1)(0.1)(0.005)(0.005) \cos 60^\circ\end{aligned}$$

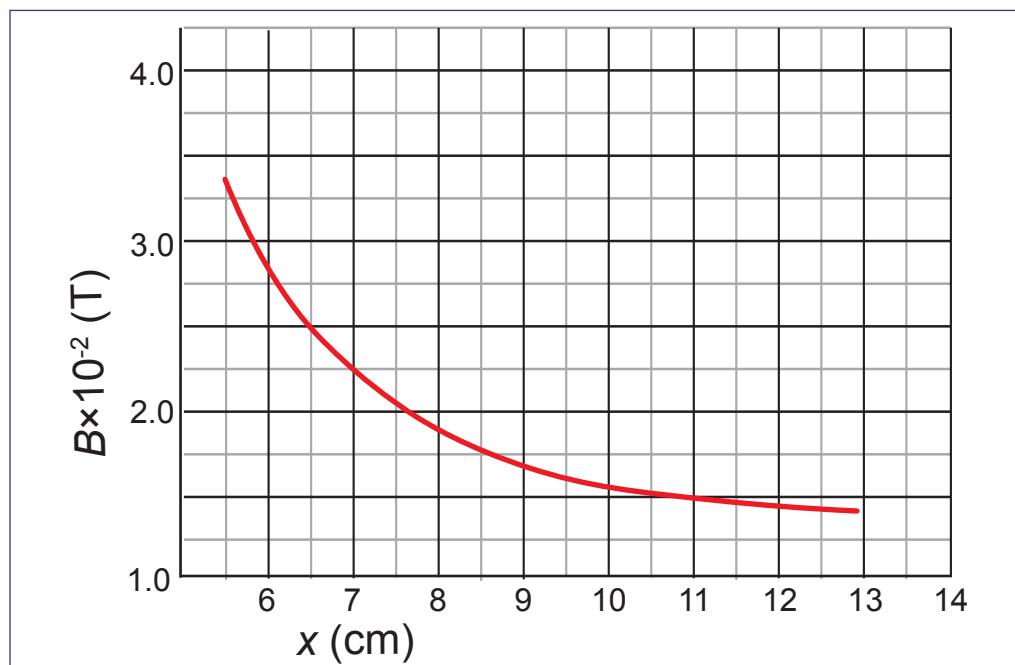
$$\Phi_B = 1.25 \times 10^{-6} \text{ Tm}^2 = 1.25 \times 10^{-6} \text{ Wb}$$

## مثال 2

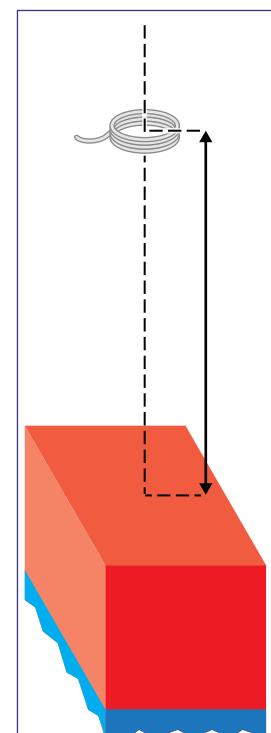


ملف دائري صغير، مساحة مقطعه  $2.3 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  يحتوي على 270 لفة. وضع الملف على مسافة 7 cm بشكل متوازٍ مع قطب مغناطيسي، كما هو مبين في الشكل 10-5.

- باستخدام المخطط، قدر متوسط شدة المجال المغناطيسي  $B$  في الملف.
- احسب الفيض المغناطيسي الكلّي عبر الملف.



الشكل 11-5 كثافة الفيض المغناطيسي عند نقاط مختلفة.



الشكل 10-5 الفيض المغناطيسي عبر ملف.

المطلوب: a. شدة المجال المغناطيسي،  $B$   
b. الفيض المغناطيسي،  $\Phi_B$

المُعْطى: مساحة مقطع الملف  $A = 2.3 \times 10^{-4} \text{ m}^2$   
عدد اللفات، لفة  $N = 270$

المسافة بين الملف والمغناطيس،  $x = 7 \text{ cm}$

الزاوية بين المجال العمودي على الملف،  $\theta = 0^\circ$

العلاقات:  $\Phi_B = NBA\cos\theta$

الحل: a. نبحث في المخطط، عند مسافة 7 cm، فيكون مقدار شدة المجال المغناطيسي

$$2.25 \times 10^{-2} \text{ T}$$

b. الفيض المغناطيسي الكلّي عبر الملف هو:

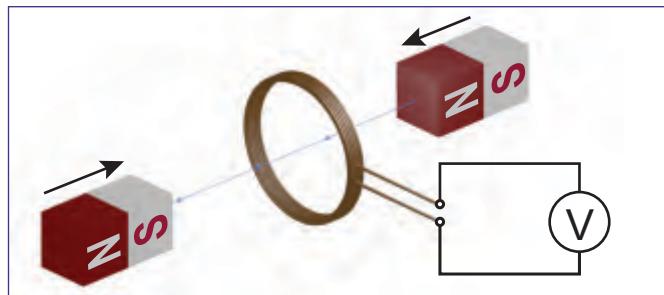
$$\begin{aligned}\Phi_B &= NBA\cos\theta = (270)(2.25 \times 10^{-2})(2.3 \times 10^{-4})\cos 0^\circ \\ &= 1.4 \times 10^{-3} \text{ Wb}\end{aligned}$$

## قانون فارادي للحث

ينص قانون فارادي للحث Faraday's law of Induction على أن معدل التغيير الزمني للفيض المغناطيسي يحدث فرقاً في الجهد بين طرفي الموصّل. يُسمى فرق الجهد هذا بالقوة الدافعة الكهربائية الحثية (e.m.f). إذا كانت دائرة الموصّل مفتوحة، لن يكون هناك تيار حثي عبره، ويكون فرق الجهد الحثي مساوياً لمعدل تغيير الفيض المغناطيسي بالنسبة إلى الزمن، كما تعطيه المعادلة 2-5.

القوة الدافعة الكهربائية الحثية (V)	$e.m.f$	قانون فارادي في الملف	2-5
التغيير في الفيض المغناطيسي ( $T \cdot m^2$ )	$\Delta \Phi_B$	$e.m.f = -\frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$	
التغيير في الزمن (s)	$\Delta t$		

### مثال 3



الشكل 12-5 الملف والمغناط.

ملف من النحاس يحتوي على 50 لفة، مساحة كل منها  $4 \times 10^{-4} m^2$ . وضع الملف بين مغناطيسين اثنين يتجادبان. عند تجاذب المغناطيسين، تزداد قوة المجال المغناطيسي بمعدل ثابت مقداره  $5.0 \times 10^{-2} T/s$ . احسب فرق الجهد الحثي بين طرفي الملف، إذا كان المجال متداولاً عمودياً على الملف.

**المطلوب:** فرق الجهد الحثي، (v) (e.m.f)

**المعطى:** المساحة  $A = 4 \times 10^{-4} m^2$

$$\Delta B / \Delta t = 5.0 \times 10^{-2} T/s, \theta = 0^\circ$$

$$V = \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}, \Phi_B = NAB \cos \theta$$

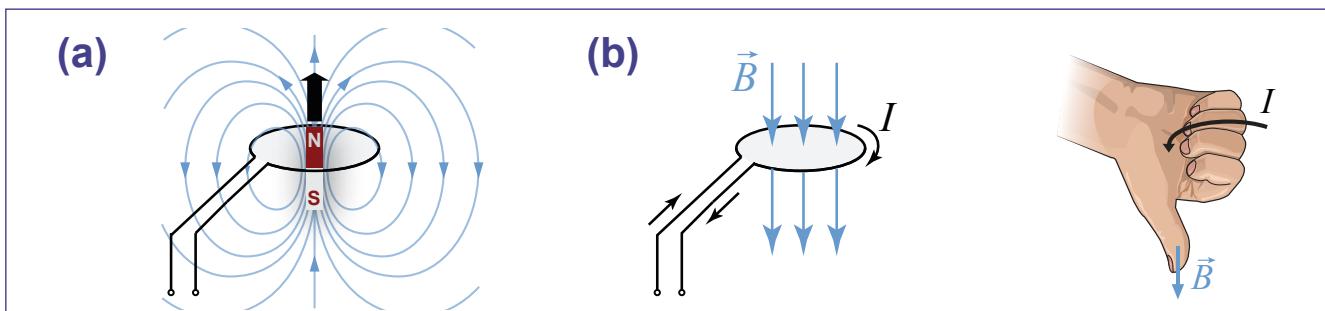
**الحل:** نقوم أولاً بحساب الفيض، مع ملاحظة أن معدل التغيير في الفيض يتناسب طردياً مع معدل التغيير في شدة المجال المغناطيسي. بما أن المساحة A، وعدد اللفات N، والزاوية θ، هي ثوابت:

$$V = \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t} = \frac{1}{\Delta t} (N A \cos \theta) \Delta B \rightarrow V = N A \cos \theta \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

$$V = (50)(4 \times 10^{-4} m^2)(\cos 0^\circ) \left( 5 \times 10^{-2} \frac{T}{s} \right) = 0.001 V$$

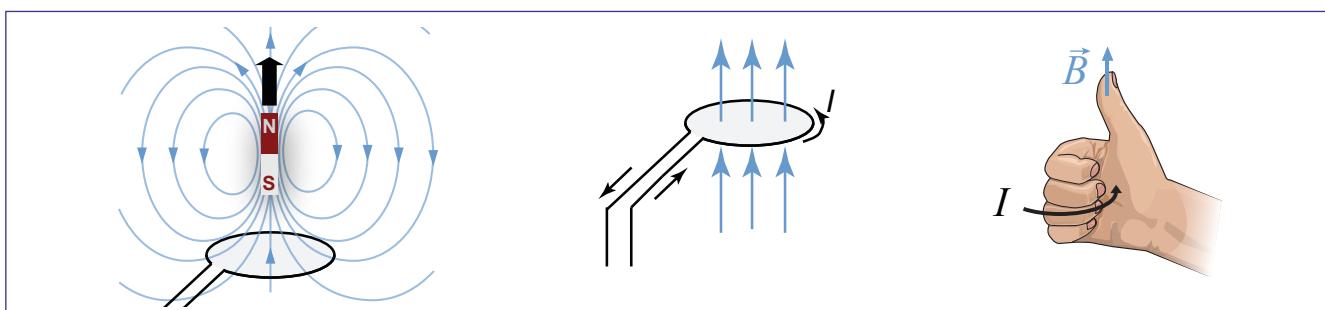
## قانون لنز

لماذا توجد إشارة سالبة في قانون فارادي؟ ينص قانون لنز Lenz's law على أن المجال المغناطيسي الحثّي الناتج من التيار الحثّي يعاكس التغيير في الفيصل المغناطيسي الذي أنشأ هذا التيار. يقوم التيار الحثّي بمقاومة التغيير في الفيصل المغناطيسي، في صورة مشابهة لمقاومة القصور الذاتي لجسم، لأني تغيير في سرعته. تضاف إلى قانون فارادي إشارة سالبة، لأن التيار الحثّي يولد مجالاً مغناطيسياً يعاكس التغيير في الفيصل المغناطيسي. يُظهر الشكل 13-5a مرور مغناطيس عبر ملف من مادة موصلة. تتجه خطوط المجال المغناطيسي للمغناطيس إلى أعلى. فخلال دخول المغناطيس اللفة، يزداد الفيصل المغناطيسي داخلها، فيولد التيار الحثّي مجالاً مغناطيسياً يكون ضدّ هذا التغيير، وينقص من الازدياد الابتدائي للفيصل.



الشكل 13-5 اتجاه التيار المُحثّ في ملف.

يكون المجال المغناطيسي الناتج من التيار الحثّي موجّهاً نحو الأسفل، لأن عليه أن يعاكس الازدياد الابتدائي للفيصل المغناطيسي. لكن، إذا كان المجال المغناطيسي موجّهاً نحو الأسفل كما في الشكل 13-5b، فسيكون اتجاه التيار الحثّي في اللفة مع اتجاه حركة عقارب الساعة.

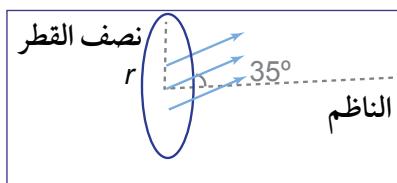


الشكل 13-5 عند تناقض الفيصل المغناطيسي.

### عندما يتناقض الفيصل المغناطيسي

لنفترض أنّ المغناطيس يغادر الملف السلكي كما هو مبيّن في الشكل 14-5. عندها يتناقض الفيصل المغناطيسي داخل الملف. يؤدّي ذلك إلى تولّد مجال مغناطيسي يعاكس هذا التناقض.

يتتحقّ ذلك من خلال مجال مغناطيسي متولّد يكون فيضه في اتجاه الفيصل الابتدائي المتناقض. والآن، كيف سيكون اتجاه التيار الحثّي؟ نستخدم قاعدة اليد اليميني. إذا كان المجال المغناطيسي موجّهاً نحو الأعلى، يكون التيار الحثّي في اتجاه معاكس لحركة عقارب الساعة.



ملف دائري مسٌتوٍ فيه  $N = 10$  لفات مصنوع من سلك موصل يبلغ نصف قطره  $15 \text{ cm}$ ، يقع تحت تأثير مجال مغناطيسي متظم. الزاوية بين المجال المغناطيسي والعمودي على الملف هي  $35^\circ$ . إذا أزدادت شدة المجال المغناطيسي من  $2\text{T}$  إلى  $7\text{T}$  خلال  $15 \text{ s}$ :

- احسب قيمة القوة الدافعة الكهربائية الحثية حول الملف.
- ما اتجاه التيار الحثي؟

**المطلوب:** a. احسب قيمة القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة بين طرفي الملف.  
b. ما اتجاه التيار الحثي؟

**المعطى:** عدد اللفات  $N = 10$

نصف القطر  $r = 15 \text{ cm}$

الزاوية بين المجال والعمودي  $\theta = 35^\circ$

التغير في شدة المجال المغناطيسي  $\Delta B = B_2 - B_1 = 7 - 2 = 5\text{T}$

التغير في الزمن  $\Delta t = 15\text{s}$

**العلاقات:**  $A = \pi r^2$

$$e.m.f = -N \frac{\Delta \phi_B}{\Delta t}$$

**الحل:** a. لحساب قيمة القوة الدافعة الكهربائية الحثية، يمكننا إهمال الإشارة السالبة.

$$A = \pi r^2$$

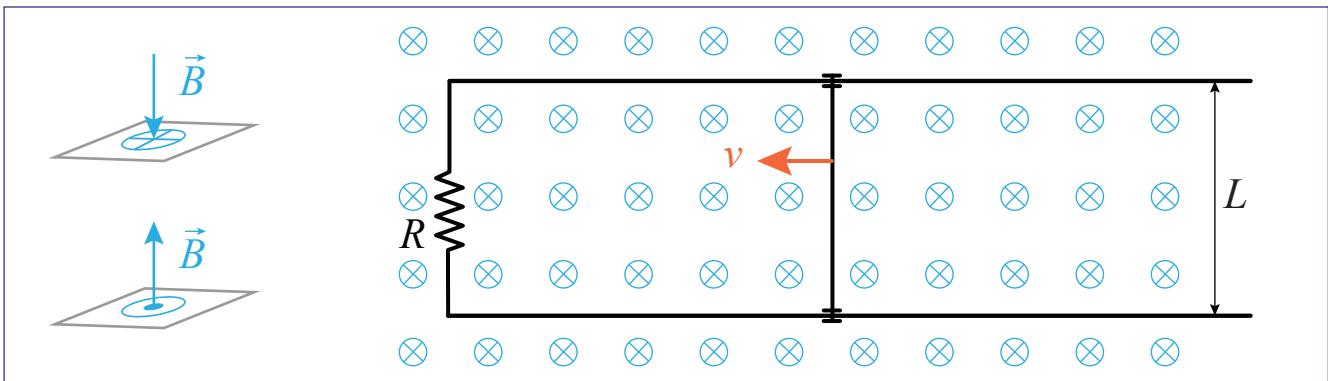
$$= \pi r^2 = \pi(0.15)^2 = 0.07 \text{ m}^2$$

$$e.m.f = N \frac{\Delta \phi_B}{\Delta t} = N \frac{\Delta B (A \cos \theta)}{\Delta t} = 10 \frac{5(0.07 \cos 35)}{15} = 0.19 \text{ V}$$

b. يزداد الفيض المغناطيسي. ولمعاكسة هذا الازدياد، يجب أن يكون المجال المغناطيسي الناتج من التيار الحثي متوجهاً بعكس اتجاه المجال الابتدائي. باستخدام قاعدة اليد اليمنى، نعرف أن التيار الحثي يجب أن يكون في اتجاه حركة عقارب الساعة.

## القوة الدافعة الكهربائية الحركية

يمكن الحصول على فيض مغناطيسي متغير بتحريك موصل في منطقة مجال مغناطيسي ثابت. يُسمى هذا التأثير أحياناً باسم القوة الدافعة الكهربائية (e.m.f) الحركية. لنفترض دائرة مؤلفة من مقاومة وسلكين متوازيين طويلين. يتقطع سلك صلب موصل مع السلكين ليغلق الدائرة، ويُشكّل ملفاً يكون فيه اتجاه الفيض المغناطيسي إلى داخل الصفحة. عندما يتحرّك السلك يتغيّر الفيض، لأن مساحة السطح تتغيّر. هذا التغيير يولّد تياراً حثياً (الشكل 15-5).



الشكل 15-5 قوة دافعة كهربائية حركية تتولّد نتيجة لحركة السلك الموصل في منطقة المجال المغناطيسي.

بحسب قانون فارادي لملف بلفة واحدة، يمكننا إنشاء معادلة لفرق الجهد الناتج بين طرفي السلك المتحرّك. إذا تحرّك السلك بسرعة  $v$ ، تكون المسافة ( $\Delta x$ ) التي يقطعها خلال  $\Delta t$  هي  $v\Delta t$ . التغيير في الفيض المغناطيسي ناتج من التغيير في المساحة:

$$e.m.f = \frac{-\Delta\Phi_B}{\Delta t} = \frac{-\Delta(BA)}{\Delta t} = -\frac{BL\Delta x}{\Delta t} = -BLv$$

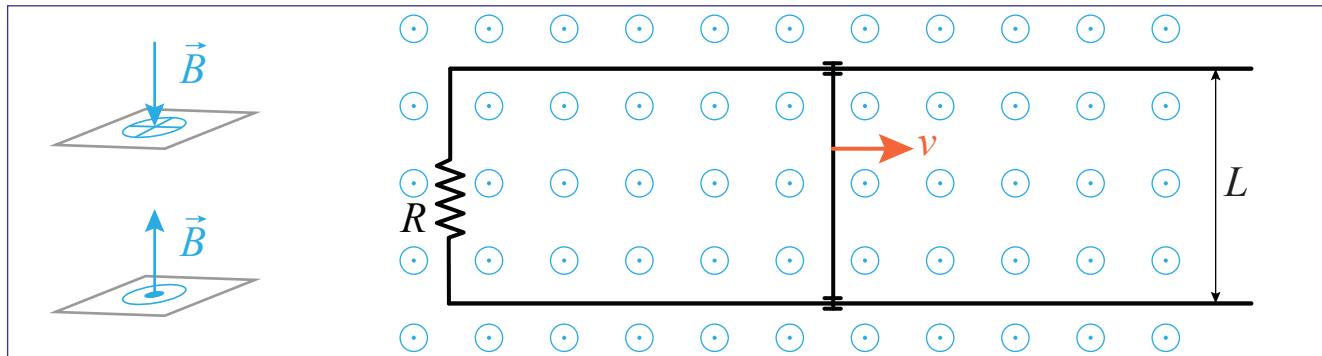
يتوجّه هذا الجهد، حتى لو لم يكن السلك موصلًا بطرف في الدائرة! والسبب يعود إلى أن الإلكترونات تتحرّك داخل الموصل بالسرعة نفسها، التي يتحرّك بها السلك. وتتعرّض هذه الإلكترونات لقوة عمودية على كل من المجال المغناطيسي وسرعة السلك. النتيجة في المعادلة 3-5.

القوة الدافعة الكهربائية الحثية (V)	$e.m.f$	قانون فارادي في سلك موصل	3-5
شدة المجال المغناطيسي (T)	$B$		
سرعة الموصل (m/s)	$v$		
طول الموصل (m)	$L$		
الزاوية بين $B$ و $v$	$\theta$	$e.m.f = -BLvsin\theta$	

يكون هذا التأثير ضئيلاً، فسلك طوله متر واحد يتحرّك بسرعة 100 m/s عبر المجال المغناطيسي الأرضي يولّد جهداً مقداره 0.005 V فقط. إلا أن سلكاً طويلاً معلقاً بمركبة فضائية يمكن أن يولّد آلاً من الفولتات، إذا توافرت طريقة عملية لإغلاق الدائرة.



دائرة على شكل حرف U، مزرودة بسلك قابل للحركة، توضع في مجال مغناطيسي قيمته  $T = 0.3$ ، يتوجه إلى خارج الصفحة (الشكل 16-5). طول السلك المتحرّك،  $L = 0.25 \text{ m}$ ، يتحرّك السلك إلى اليمين بسرعة  $v = 0.6 \text{ m/s}$ . احسب الجهد الحثّي في الملف الناشئ، ثم حدد اتجاه التيار.



الشكل 16-5 سلك موصل يتحرّك في مجال مغناطيسي.

**المطلوب:** اتجاه التيار e.m.f

**المعطى:** شدّة المجال المغناطيسي  $B = 0.3 \text{ T}$

عرض الملف  $L = 0.25 \text{ m}$

سرعة السلك  $v = 0.6 \text{ m/s}$

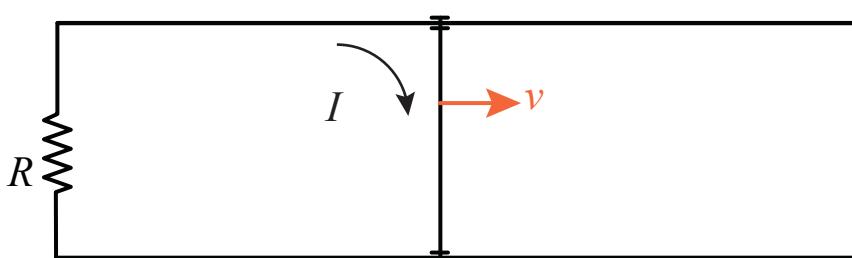
$\theta = 90^\circ$

**العلاقات:**  $V = BLv$

**الحل:** في هذه الحالة، يتغيّر الفيصل المغناطيسي؛ لكن ليس بسبب تغيير المجال المغناطيسي، بل بسبب تغيير المساحة.

$$V = BLvsin\theta = (0.3 \text{ T})(0.25 \text{ m})(0.6 \text{ m/s})(1) = 0.045 \text{ V}$$

لإيجاد اتجاه التيار، نطبق قانون لنز. فعندما يتحرّك السلك يزداد الفيصل المغناطيسي الخارج من الصفحة. وبالتالي يجب أن يولّد التيار الحثّي مجالاً مغناطيسياً يتوجه إلى داخل الصفحة. بتطبيق قاعدة اليد اليمنى، نحصل على اتجاه التيار، وهو اتجاه حركة عقارب الساعة.





## القوة الدافعة الكهربائية الحثية في ملف واحد

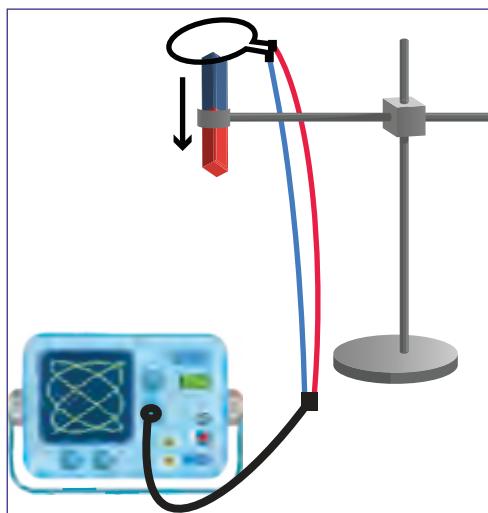
a1-5

ملاحظة قوة دافعة كهربائية حثية في ملف واحد نتيجة لتغيير المجال المغناطيسي.

سؤال الاستقصاء

موصل سلكي نحاسي، مغناط مختلفة، حامل للتعليق، راسم ذبذبات أو مستشعر جهد، سلك راسم الذبذبات مزود بملاقط تمساح، ملقط بلاستيكية.

المواد المطلوبة



الشكل 17-5 المجال المغناطيسي عبر ملف واحد.

### خطوات التجربة

1. ضع المغناطيس على حامل التعليق، كما هو مبين في الشكل 17-5.

2. جهز ملفاً واحداً مع سلك موصل، ثم قم بتوصيل طرف السلك بملاقط التمساح لراسم الذبذبات. صل شريط راسم الذبذبات بالقناة 1 للراسم، ثم اضغط زر التشغيل.

3. احمل الملف بزوج من الملاقط البلاستيكية، وحرك الملف إلى الأعلى والأسفل ببطء. شاهد منحنى الجهد الظاهر على شاشة راسم الذبذبات.

4. أعد الخطوة 3، لكن بتحريك الملف بشكل أسرع. ارسم منحنى الجهد الظاهر على شاشة راسم الذبذبات.

### الأسئلة

a. ما الفرق بين المنحنين في الخطوة 3 والخطوة 4؟

b. لماذا يظهر جهد سالب وأخر موجب عند مرور المغناطيس عبر الملف؟

c. لماذا تكون القوة الدافعة الكهربائية الحثية صفرًا عند مرور الملف عبر مركز المغناطيس؟

d. سجل طريقتين لجعلان القوة الدافعة الكهربائية الحثية أكبر.

e. المجال المغناطيسي في هذا الاستقصاء ثابت، والملف متحرك. كيف يمكن لهذا الاستقصاء أن يتغير إذا كان الملف ثابتاً والمجال المغناطيسي متغيراً.

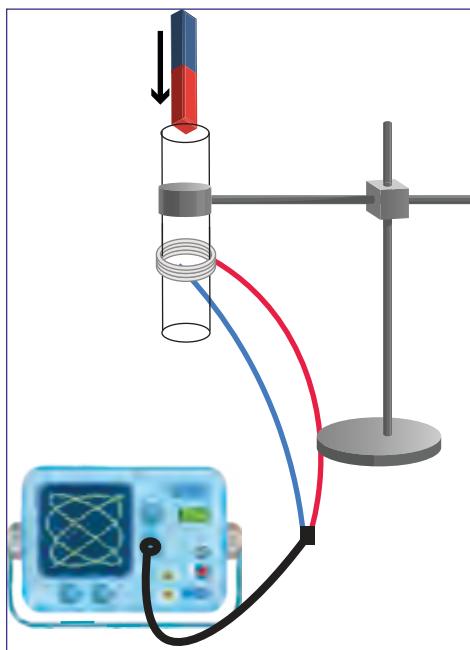


## القوة الدافعة الكهربائية الحثية

b1-5

## في ملف لولبي

مُشاهدة قوة دافعة كهربائية حثية في ملف لولبي أثناء تغيير المجال المغناطيسي.	سؤال الاستقصاء
موصل سلكي نحاسي، مغناط مختلفة، حامل تعليق، راسم ذبذبات، سلك راسم الذبذبات مزود بملاقط تماسح.	المواد المطلوبة



الشكل 18-5 المجال المغناطيسي خلال ملف لولبي.

## خطوات التجربة

1. جهز ملفاً لولبياً مؤلفاً من 20 لفة على الأقل، ومصنوعاً من سلك موصل، ثم ضعه في أنبوب بلاستيكي. اربط الأنبوب بالملف اللولبي على حامل التعليق، كما هو مبين في الشكل 18-5.

2. صل طرفي الملف بملاقط التمساح لسلك راسم الذبذبات، ثم صل الطرف الآخر للسلك بالقناة 1 لراسم الذبذبات ثم اضغط زر التشغيل.

3. أسقط المغناطيس بحيث يمر داخل الملف (تأكد من أن المغناطيس لن يصطدم بالأرض أو الطاولة، إما بإمساكه عند سقوطه، أو بوضع وسادة أسفله).

4. ارسم الموجة التي تشاهدتها على شاشة راسم الذبذبات.

5. أعد الخطوات 1 → 4 عن طريق إنشاء ملفاً مؤلفاً من 40 لفة، ثم 60 لفة.

## الأسئلة

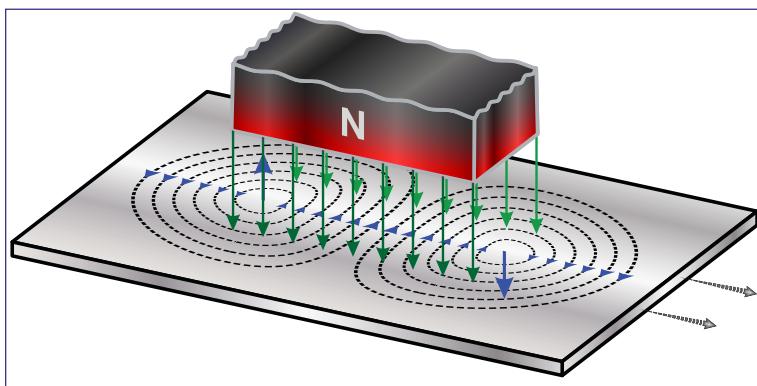
a. سجل طريقتين تستطيع من خلالهما الحصول على قوة دافعة كهربائية حثية أكبر.

b. في هذا الاستقصاء، المجال المغناطيسي ثابت والملف متتحرك. كيف تتغير نتيجة الاستقصاء إذا كان المغناطيس ثابتاً والملف متتحركاً.

c. كيف تتغير قوة دافعة كهربائية حثية إذا جعلنا مساحة سطح الملف ضعيفاً ما هي عليه؟ هل سيتغير منحنى الجهد بالنسبة إلى الزمن أيضاً؟

## التيارات الدوّامية

يمكن للفيصل المغناطيسي المتغير أن يحثّ تياراً في أي نوع من الموصلات، مهما يكن شكله أو حجمه. إذا لم يكن الموصل سلگاً، يتّخذ التيار الحثّي شكل دوّامات صغيرة، تعرف باسم **التيارات الدوّامية Eddy currents**. تكون التيارات الدوّامية أقوى عند سطح الموصل.



الشكل 19-5 التيارات الدوّامية في صفيحة من رقاقة الألومنيوم.

في الشكل 19-5، صفيحة رقيقة من الألومنيوم تتحرّك نحو اليمين. يتحرّك الطرف الأيمن من الصفيحة مُبتعداً عن المغناطيسي، فيتناقص الفيصل المغناطيسي. وبالتالي يكون اتجاه المجال المغناطيسي الناتج عند الطرف الأيمن للصفيحة نحو الأسفل أيضاً. وهو ما يولّد تياراً في اتجاه حرّكة عقارب الساعة.

يتحرّك الطرف الأيسر من الصفيحة نحو المغناطيسي. فيزداد الفيصل المغناطيسي. ومن أجل مواجهة هذا التغيير، يكون اتجاه المجال المغناطيسي المتولّد نحو الأعلى، الأمر الذي يولّد تياراً دوّامياً، بعكس اتجاه حرّكة عقارب الساعة.

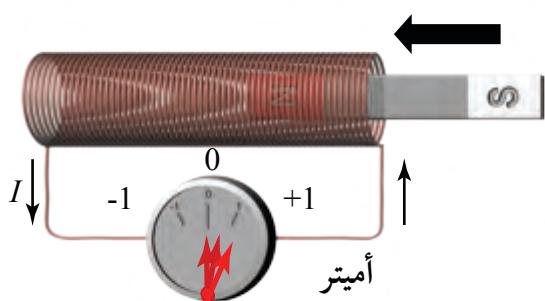
### الأثار الضارة للتّيارات الدوّامية

- a. غالباً ما تسبّب التّيارات الدوّامية فقداً لجزء من الطاقة الكهربائية في الأجهزة المغناطيسية، مثل المُحرّكات؛ ويكون الفقد على شكل حرارة.
- b. تسبّب الحرارة الناتجة تلقائياً للعوازل الحرارية والكهربائية.
- c. تُنتج التّيارات الدوّامية مجالاً مغناطيسياً معاكساً على شكل احتكاك.

### تطبيقات التّيارات الدوّامية

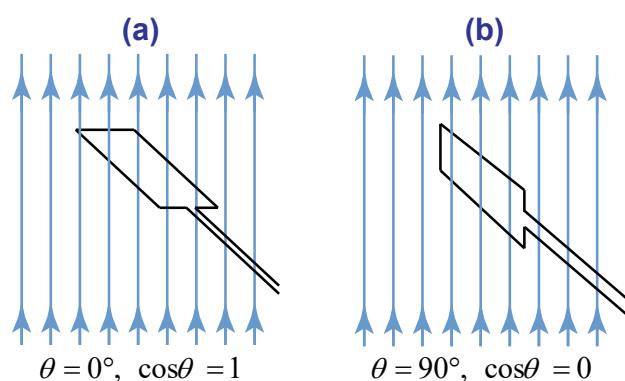
1. تُستخدم التّيارات الدوّامية كمكابح للقطارات المعلقة مغناطيسياً، حيث يتحرّك مغناطيسي فوق قضبان موصلة. تُنتج هذه الحرّكة تياراً حثّياً في قضبان القطار يُنشئ مجالاً مغناطيسياً وفق قانون لنز؛ فيؤدي إلى إبطاء القطار.
2. في بعض الحالات، يمكننا الاستفادة من الحرارة الناتجة من التّيارات الدوّامية، حيث تُستخدم درجات الحرارة المرتفعة المتولّدة عن التّيارات الدوّامية في صهر المعادن، وتحضير السبائك في أفران الحث.
3. تُستخدم التّيارات الدوّامية أيضاً للكشف عن وجود عيوب في المعدن. فهي لا تتشكل في منطقة العيوب. ويفيد ذلك خصوصاً في التّتحقق من العيوب والخلل في متن الطائرات.

## تقويم الدرس 1-5



1. يدخل طالب القطب N لمغناطيس في الطرف الأيمن لملف حلزوني ويلاحظ تحرك إبرة الأميتر نحو اليمين (الاتجاه الموجب) كيف تحرّك إبرة الأميتر إذا:

- a. توقفت حركة المغناطيس وبقي قطبه N داخل الملف؟
- b. سحب المغناطيس بالسرعة نفسها التي أدخل بها؟
- c. أدخل قطب S للمغناطيس من الطرف نفسه، وبالسرعة عينها؟

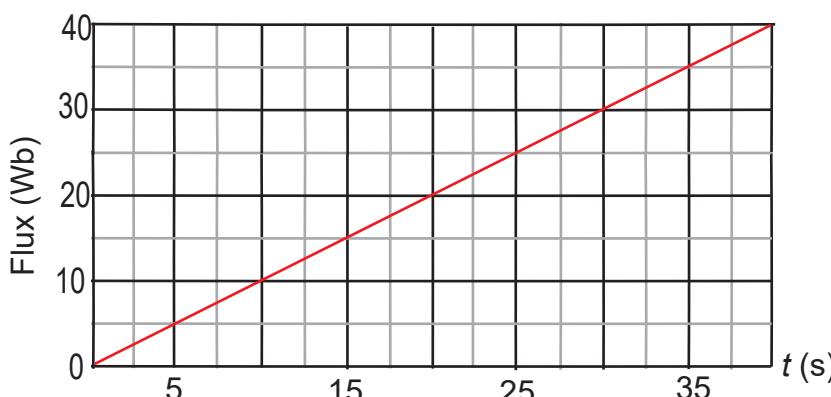


2. ملف سلكي موضوع بشكل عمودي على مجال مغناطيسي متظم مقداره  $T = 0.1 \text{ T}$  يتوجه إلى أعلى. عرض الملف  $20 \text{ cm}$  وطوله  $60 \text{ cm}$ . بدأ الملف بالدوران، ثم توقف بعد استدارة  $90^\circ$ .



ما قيمة الفيصل المغناطيسي عبر الملف في كل من الحالتين؟

3. يظهر الشكل أدناه تغيير الفيصل المغناطيسي في ملف من لفة واحدة بدلالة الزمن، احسب القوة الدافعة الكهربائية الحثية في الملف.



4. يتعامل أحد العلماء مع مغناط كثيرة. قام بتحريك رأسه داخل المجال المغناطيسي فشعر بالدوار. هل سبب ذلك هو الحث الكهرومغناطيسي؟ إذا كان جوابك نعم، اشرح العلاقة بين الدوار والث الحث الكهرومغناطيسي (قد تحتاج إلى إجراء بحث في ذلك).



## الدرس 2-5

# مولدات التيار المتردد (AC)



الشكل 5-20 الدينامو

تُستخدم المولدات في محطّات توليد الكهرباء لإنتاج الكهرباء. ويُستخدم في السيارات التي تعمل على وقود البنزين جهاز مماثل يُسمى المبدل (الدينامو) لتوليد الكهرباء. يعمل الدينامو بشكل مشابه للمولد الكهربائي، حيث يقوم بشحن بطارية السيارة، ويُوفّر الطاقة للأنظمة التي تعمل بالكهرباء، مثل أنظمة الصوت والإضاءة.

يحتوي كل من المولد الكهربائي والدينامو على ملفات عدّة من الأسلك الكهربائي حول قلب حديدي، لأنّ الحديد يُضخّم المجالات المغناطيسية؛ فيوّدّي إلى تحسين إنتاج الطاقة الكهربائية. في السيارات الهجينة والسيارات الحديثة التي تعمل على الكهرباء، يعمل محرك الدفع الكهربائي كمولّد، عندما لا تتّسّع السيارة. ويجري استخدام جزء من الطاقة الحركية للسيارة في شحن بطاريتها، بدلاً من هدرها كطاقة حرارية.

### المفردات



AC Generator	مولد التيار المتردد (AC)
Alternating voltage	جهد متّردد
Direct current	تيار المستمر (DC)
Alternating current	تيار المترّدد (AC)
AC circuit	دائرة تيار متّردد
	القيمة الفعالة
	Root mean square value (Effective value)

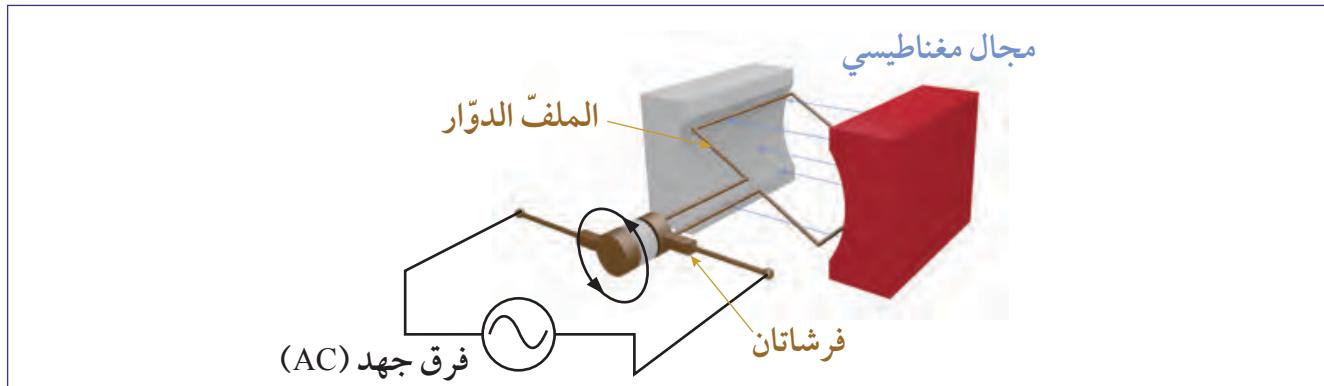
### مخرجات التعلم

**P1113.1** يحدد أن التيار الكهربائي المترّدد يتولّد عند دوران ملف في مجال مغناطيسي منتظم، ويوضح مبدأ عمل مولد كهربائي بسيط لليار المترّدد.

**P1113.2** يصف مفاهيم القيمة الفعالة لشدة التيار، والقيمة الفعالة لفرق الجهد، والزمن الدوري، والتّردد، والقيمة العظمى لشدة التيار المترّدد، ويحلّ مسائل حسابية حول كل من هذه المفاهيم.

## مولّد التيار المتردّد (AC)

مولّد التيار المتردّد هو آلة تستخدم قانون الحث لفاريادي حيث يجري توليد الكهرباء من خلال التغيير المستمر للفيصل المغناطيسي خلال الملف الكهربائي، كما يُظهر الشكل 21-5. نتيجة لدوران الملف حول محوره داخل المجال المغناطيسي، يؤدّي تغيير الفيصل المغناطيسي إلى توليد فرق جهد حول طرف الملف. فالارتفاع والانخفاض في الفيصل المغناطيسي يولّد فرق جهد يتردّد بين السالب والموجب. فمصطلاح (AC) يعني تياراً كهربائياً متردّداً.



الشكل 21-5 مبدأ عمل المولّد الكهربائي.

معולם أن معظم مولّدات الكهرباء الحديثة في العالم، والتي تنتج جهداً متردّداً، تكون سرعة تغيير إشارة الجهد فيها 60 مرّة كل ثانية أي  $60\text{Hz}$ . فالملف الظاهر في الشكل 21-5 يدور بمعدل 3600 دورة في الدقيقة. تُستخدم في بعض البلدان مولّدات بتردد  $50\text{Hz}$ . من البديهي أن مولّدات الكهرباء (AC) لا توّلد الكهرباء من لا شيء. فالمولّد يحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية؛ فيدفع التيار الكهربائي الذي الملف داخل المجال المغناطيسي، والطاقة الميكانيكية الداخلة تُبقي الملف في حالة دوران. تحول المولّدات الحديثة 90% من الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية.



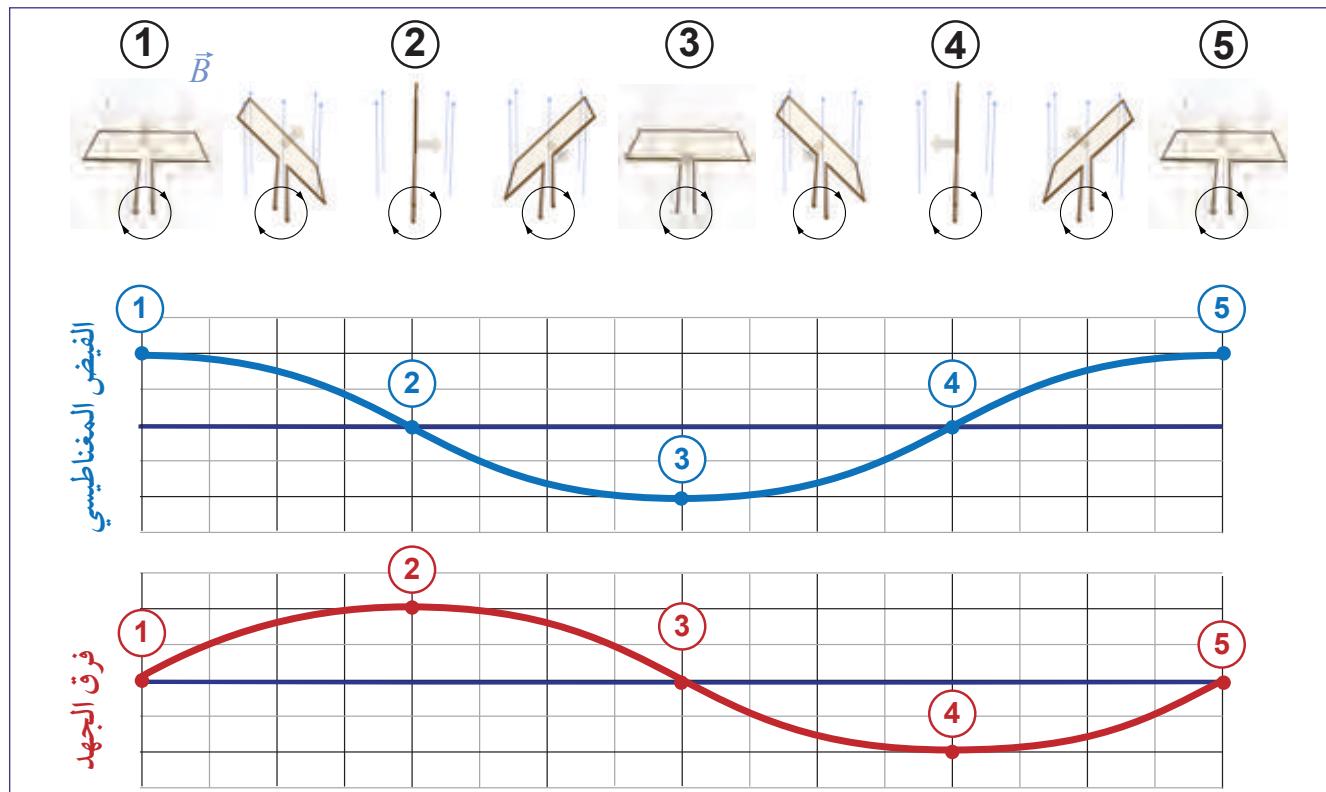
الشكل 22-5 مولّد كهربائي صناعي مفكّك للصيانة.

يُظهر الشكل 22-5 الأجزاء التي تعمل داخل المولّد الكهربائي (AC). ولكي نحصل على أعلى كفاءة ممكنة، لابد أن يكون هناك ثلاثة أو أكثر من الملفات المزدوجة.

تأتي الطاقة الميكانيكية الالازمة لدوران الملف وتشغيل المولّد من احتراق الغاز أو البنزين أو дизيل أو الفحم. ويمكن أن يكون مصدرها القدرة النووية أو سقوط الماء أو حركة الرياح.

## الفيض المغناطيسي في مولّد التيار المتردّد (AC)

يوضّح الشكل 23-5 الفيض المغناطيسي وفرق الجهد الحثي بين طرفي الملف الذي يدور داخل مجال مغناطيسي ثابت. النسبة  $\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$  الواردة في قانون فارادي تمثل ميل منحنى تغيير الفيض بالنسبة إلى الزمن. أما الإشارة السالبة الموجودة في القانون فتعني أن فرق الجهد يساوي سالب ميل المنحنى.



الشكل 23-5 تغيير الفيض المغناطيسي بالنسبة إلى الزمن، الناتج من دوران ملف داخل مجال مغناطيسي.

لكي نفهم كيف يعمل مولد التيار المتردد، ننظر إلى الفترات الزمنية الأربع الموجودة في الشكل 23-5 خلال دوران الملف في المجال المغناطيسي. ينشأ الجهد الحثي نتيجة تغيير معدل الفيض (الميل)، وليس كمية الفيض نفسها.

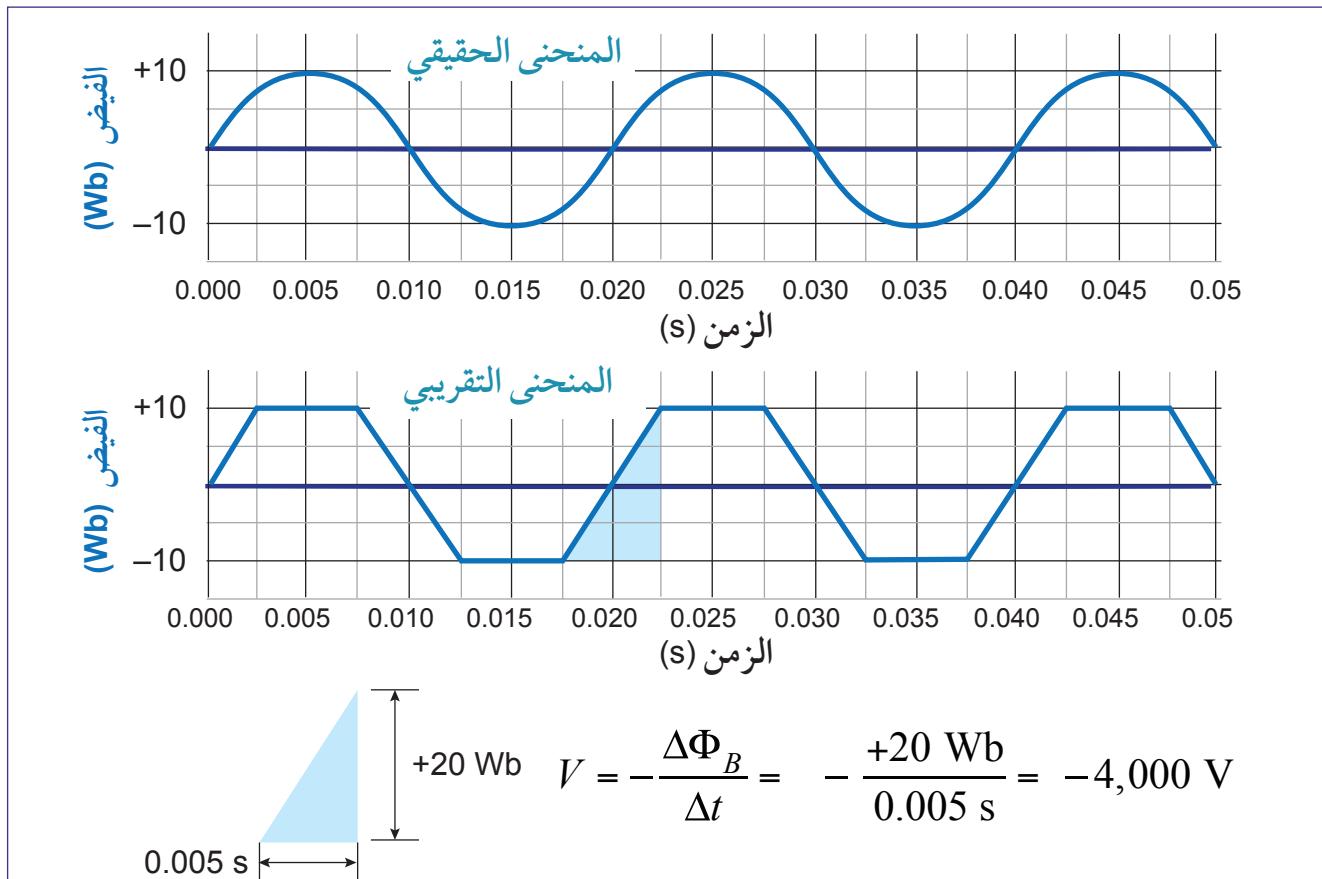
1. عند اللحظة (1)، يكون محور الملف موازيًا لاتّجاه المجال المغناطيسي، ما يعني أن الفيض يصل إلى قيمته العظمى، فيكون ميل المنحنى عند هذه اللحظة يساوي صفرًا، وبالتالي يكون الجهد صفرًا.
2. عند اللحظة (2)، تصل قيمة الفيض المغناطيسي إلى الصفر أثناء تناقصها، فيكتسب ميل المنحنى، وكذلك الجهد، أعلى قيمة موجبة.
3. عند اللحظة (3)، يكتسب الفيض المغناطيسي أقصى قيمة سالبة، ويكون ميل المنحنى مساوياً للصفر، ولذلك يكون الجهد صفرًا.
4. عند اللحظة (4)، يكتسب الفيض المغناطيسي صفرًا؛ لكنه يزداد، فيكون ميل المنحنى عند أعلى قيمة موجبة، ما يعني أن الجهد يكون عند أعلى قيمة سالبة.

الجهد الحثي يساوي سالب ميل منحنى تغيير الفيض المغناطيسي بالنسبة إلى الزمن



## حساب القوة الدافعة الكهربائية الحثية

يربط قانون فارادي القوة الدافعة الكهربائية الحثية بمعدل تغير الفيصل المغناطيسي مع الزمن. ومعدل التغير هنا هو ميل منحنى الفيصل بدلالة الزمن. ولإيضاح كيفية الحساب، يُظهر الشكل 24-5 دالة جيبية تقريرية تصف تغير الفيصل المغناطيسي بدلالة الزمن.



الشكل 24-5 حساب تقديرٍ للقوة الدافعة الكهربائية الحثية.

### مثال 6

احسب القوة الدافعة الكهربائية الحثية من المنحنى التقريري المعطى في الشكل 24-5.

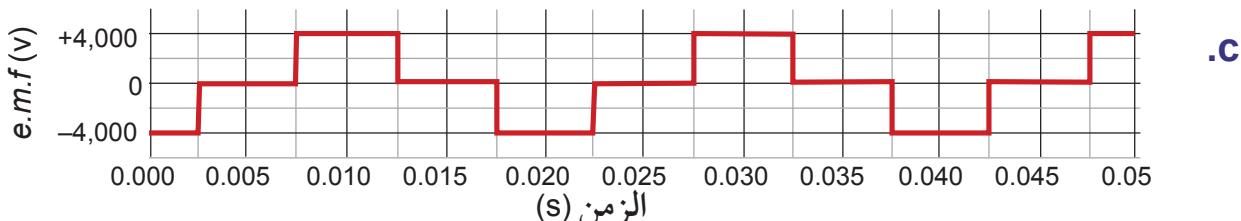
a. عند اللحظة 0.015 s .

b. عند اللحظة 0.030 s .

c. ارسم منحنى القوة الدافعة الكهربائية الحثية بدلالة الزمن.

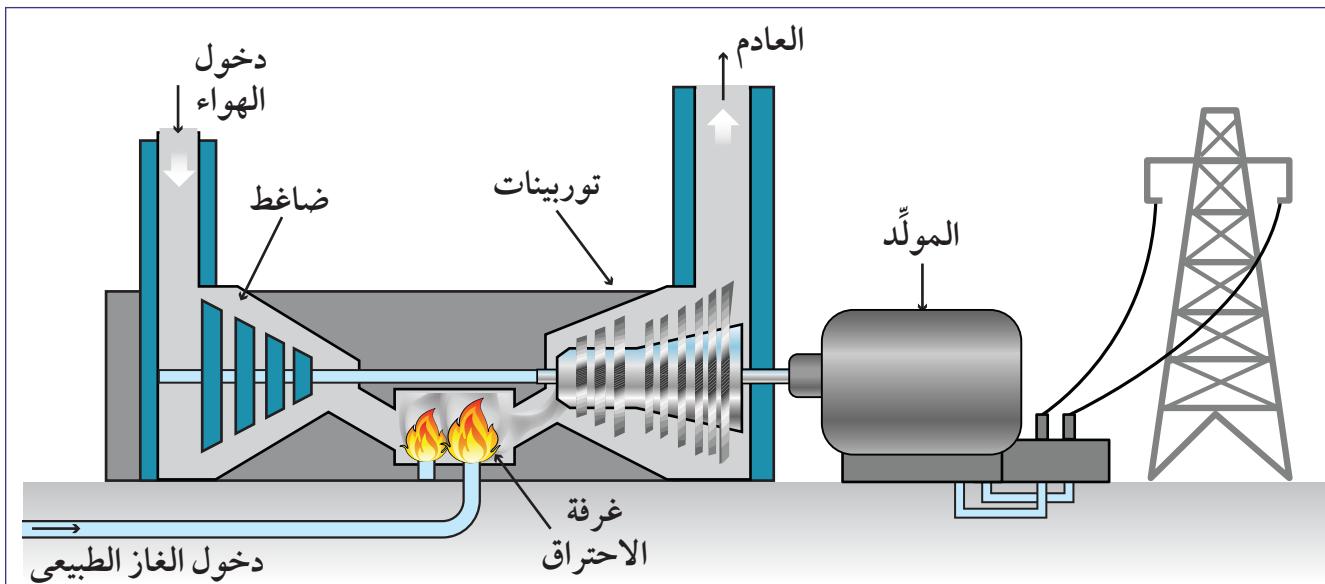
$$e.m.f = -\frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t} = -\frac{0 \text{ Wb}}{0.005 \text{ s}} = 0 \text{ V} \quad \text{.a} \quad \text{الحل:}$$

$$e.m.f = -\frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t} = -\frac{-20 \text{ Wb}}{0.005 \text{ s}} = +4,000 \text{ V} \quad \text{.b}$$



## محطّات توليد الكهرباء

تُستخدم المولّدات الكهربائية لتوليد الكهرباء من الرياح، ومن السدود الكهرومائية، وفي المفاعلات النووية، وفي محركات السيارات وفي محطّات الغاز والفحم. لمحطّات الطاقة آلات دوران تسمى التوربينات، تولّد الحركات الدورانية، وتشغل المولّدات الكهربائية. تولّد المولّدات الكهربائية تياراً كهربائياً متردّداً يُستخدم في المنازل والشركات.



الشكل 25-5 محطة توليد كهرباء تعمل على الغاز الطبيعي.



الشكل 25-5 تستخدم محطّات توليد الكهرباء المولّدات الكهربائية.

الغاز الطبيعي مصدر شائع للطاقة الكهربائية المنتجة في قطر. يحترق الغاز الطبيعي مع الأكسجين في غرفة الاحتراق التي تنتج ثاني أكسيد الكربون (الشكل 25-2).

عندما يخرج غاز ثاني أكسيد الكربون من العادم تتحرّك التوربينات، التي بدورها تجعل الملفّات الموجودة في المجال المغناطيسي في حالة دوران مستمرّ، ينشأ عنها تيار متردّد.

بعض المحطّات الكهربائية، كتلك التي تعمل على الوقود الأحفوري أو الطاقة النووية، تُستخدم فيها الطاقة لتسخين الماء الذي بدوره ينتج بخار ماء يعمل على تحريك التوربينات.

تُستخدم السدود الكهرومائية الجاذبية لتدفق الماء والتي بدورها تحرّك التوربينات.



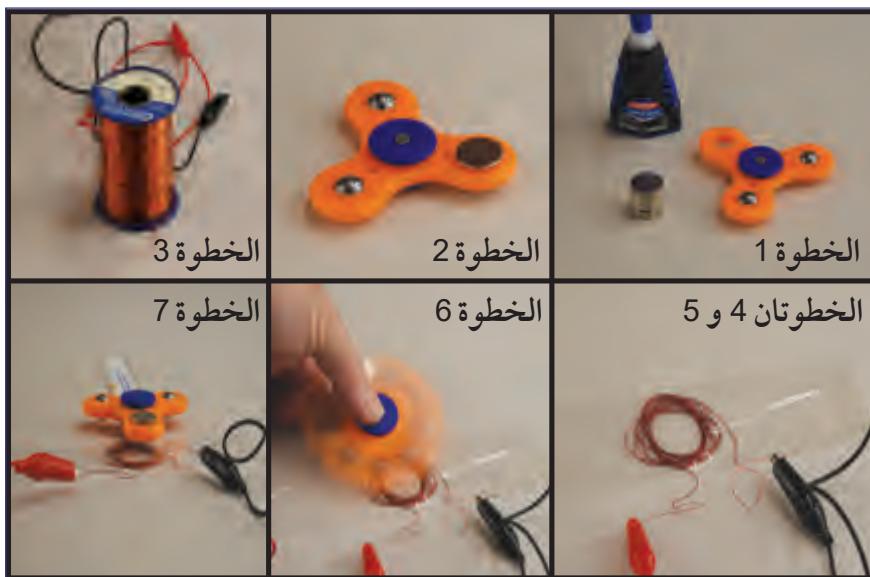
## صنع مولد كهربائي

2-5

كيفية صنع مولد كهربائي بسيط.	سؤال الاستقصاء
لعبة الدوار، مغناطيس قوي دائري الشكل، أسلاك كهربائية مزودة بملاقط تمساح، أسلاك نحاسية رفيعة، راسم الذبذبات.	المواد المطلوبة

### خطوات التجربة

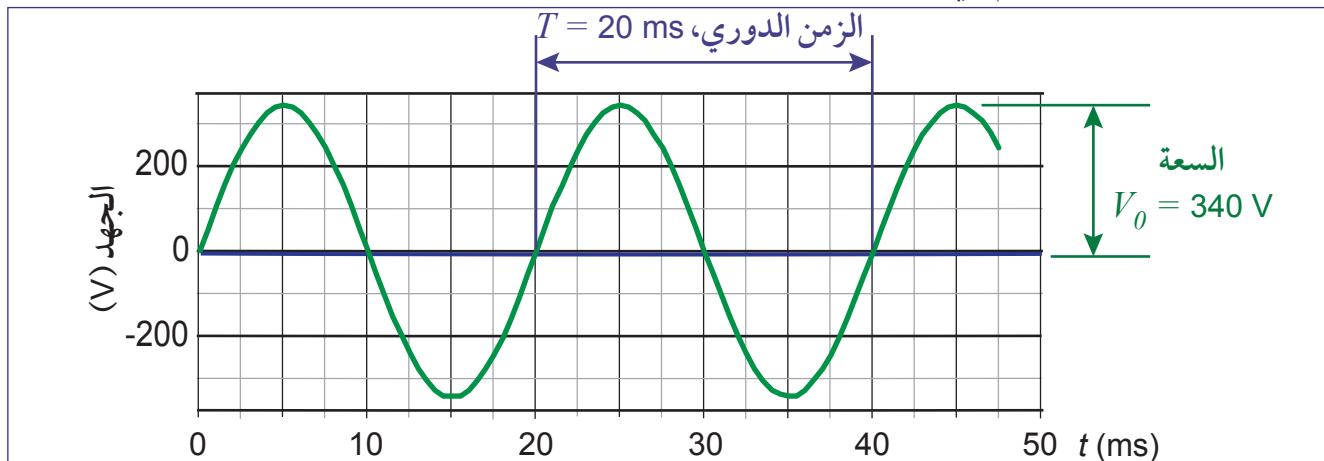
1. أزل واحداً من الأوزان الموجودة عند أطراف الدوار، كما في الشكل 27-5.
2. ضع المغناطيس مكان الوزن المُزال، الصقه جيداً. مع أن المغناطيس سيلتصق نتيجة لقوة التجاذب، فربما أفلت أثناء الدوران.
3. استخدم الورق الزجاجي (الستفرا) لإزالة المادة العازلة (الورنيش) الموجودة على السلك النحاسي، لكي يظهر الجزء الموصل منه.
4. اصنع ملفاً عن طريق الأسلاك الكهربائية، حيث يكون الملف رفيعاً، ثم الصقه بالطاولة. حاول أن يكون الملف مسطحاً قدر الإمكان.
5. صل طرفي الملف براسم الذبذبات، عن طريق استخدام الأسلاك الكهربائية المزودة بملاقط تمساح. ثم شغل راسم الذبذبات.
6. اغزل الدوار، لكي يدور. ولاحظ الجهد على شاشة راسم الذبذبات.
7. ضع الدوار فوق مسطرة، حيث يصبح قريباً جداً من الملف.
8. قس فرق الجهد وتغيير فرق الجهد.



الشكل 27-5 كيفية صنع مولد كهربائي بسيط.

## الجهد المتردد (AC)

يُنتج مولّد التيار المتردد جهداً تتردّد قيمته بين موجة وسالبة في كل دورة من دورات الملف. يمثّل شكل الجهد المتردد والتيار المتردد على شكل موجة جيبية. يوضّح الشكل 5-28 شكل الموجة الجيبية للجهد المتردد المستخدم في قطر.



الشكل 5-28 تغيير الجهد بالنسبة إلى الزمن لملف يدور داخل مجال مغناطيسي.

- الزمن الدوري ( $T$ ) لمواجة هو الزمن بين نقطة على الدورة الأولى وبين النقطة نفسها على الدورة الثانية، الزمن الدوري في المثال:  $T = 20 \text{ ms}$ .
- التردد  $f$  هو مقلوب الزمن الدوري، أي عدد الدورات في الثانية الواحدة. وحدة قياس التردد هي الهرتز Hz، وهي عدد الموجات في الثانية الواحدة. تردد التيار المستخدم في قطر ودول أوروبا هو 50Hz.
- السعّة هي أعلى قيمة للمواجة (قمة الموجة). السعّة في المثال = 340V ويتردّد الجهد بين 340V و -340V. هذه السعّة هي المستخدمة في قطر، غالبية الدول الأوروبيّة.

مثال 7



احسب تردد موجة إذا كان زمنها الدوري 0.01667s

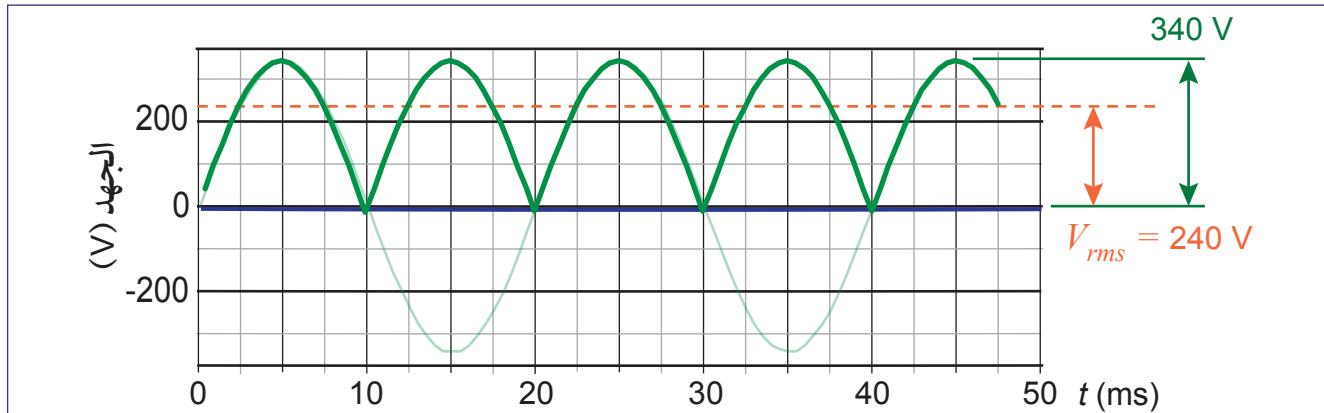
الحل:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.01667 \text{ s}} = 60 \text{ s}^{-1} = 60 \text{ Hz}$$

يُستخدم التردد 60 Hz للطاقة الكهربائية في الولايات المتحدة الأمريكية وكندا.

## القيمة الفعالة للجهد (RMS)

يمكن وصف جهد البطارية برقم واحد، 1.5V على سبيل المثال. هل يمكنك أن تعيّر عن جهد متردّد برقم واحد؟ الجهد المتردّد تكون قيمه متغيّرة. تبلغ القيمة الفعالة للجهد المستخدم في قطر، ومعظم الدول الأوروبيّة، 240V، في حين أن القيمة العظمى للجهد تبلغ 340V. فمن أين أتت 240V؟



الشكل 29-5 القيمة الفعالة للجهد المتردّد.

بالنظر إلى أن الأجزاء الموجبة والسلبية للجهد المتردّد متناظرة، يكون متوسط الجهد لدورة واحدة مساوياً للصفر. ولحساب متوسّط الجهد المفید، نقوم بتربيع قيم الجهد حتى تصبح كلها موجبة؛ ثم نحسب متوسّط هذه القيم المربيعة والموجبة، ثم نحسب جذرها التربيعي. يُسمى الناتج القيمة الفعالة للجهد  $V_{rms}$  أو  $V_{\text{فعالة}}$ . يمثل الشكل 29-5، القيمة الفعالة للجهد وهي تساوي 240V، وتكون أقل من القيمة العظمى للجهد التي تبلغ 340V. ونحن نستخدم القيمة الفعالة، وليس القيمة القصوى، للتعبير عن الجهد المتردّد.

يمكن حساب القيمة الفعالة للجهد، بقسمة القيمة العظمى للجهد على الجذر التربيعي للعدد 2. نستنبط من المعادلة 4-5 العلاقة بين القيمة العظمى للجهد ( $V_o$ ) والقيمة الفعالة للجهد ( $V_{rms}$ ).

القيمة الفعالة للجهد (V)	$V_{rms}$	القيمة الفعالة للجهد	4-5
القيمة العظمى للجهد (V)	$V_o$	$V_{rms} = \frac{V_o}{\sqrt{2}}$	

مثال 8

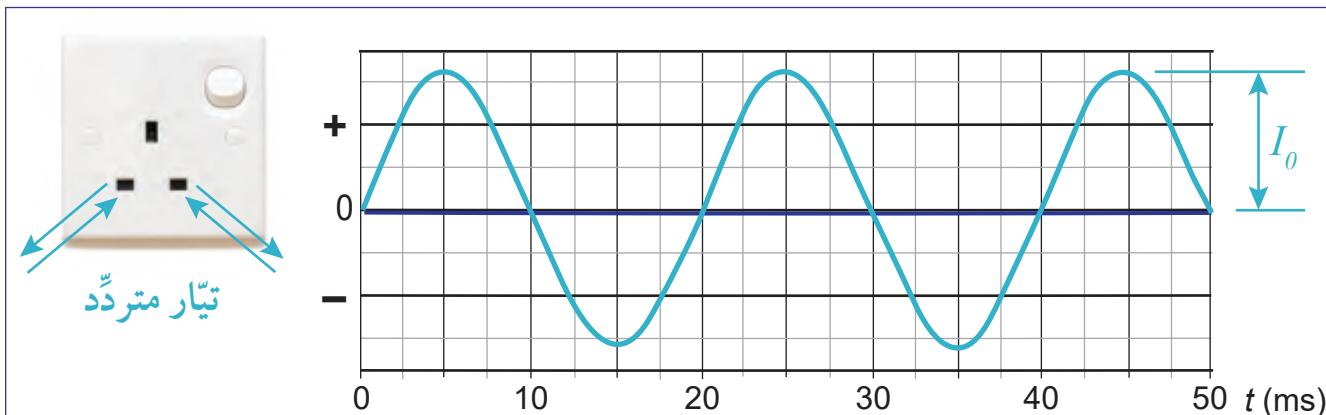
احسب القيمة العظمى لجهد قيمته الفعالة 120V.

الحل:

$$V_{rms} = \frac{V_o}{\sqrt{2}} \rightarrow V_o = \sqrt{2} \times V_{rms} = (1.414)(120V) = 170V$$

## التيار المتردد (AC)

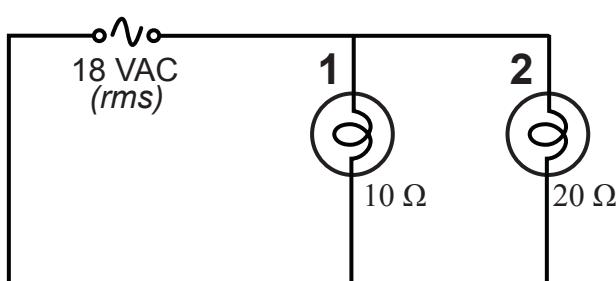
يطلق على التيار الناتج من بطارية اسم التيار المستمر أو (DC). والتيار المستمر ثابت الشدة ويتدفق باتجاه واحد، لأن القطب الموجب والقطب السالب للبطارية لا ينعكسان. أما **التيار المتردد (AC)** فيتقلب اتجاه التيار فيه نتيجة لتقلب إشارة الجهد. لذلك يكون تردد التيار مساوياً لتردد الجهد المتردد. عندما تقوم بتوصيل جهاز بأخذ التيار، فإن التيار يعكس نفسه 50 مرة في الثانية. (الشكل 29-5).



الشكل 30-5 التيار المتردد في قطر.

1. تردد التيار المتردد يساوي تردد الجهد المتردد الصادر عنه.
2. القيمة العظمى للتيار المتردد  $I_o$  تعتمد على مقاومة الجهاز أو الدائرة الموصول بها. يجري في العادة الحفاظ على جهد التيار المتردد كأساس، وتختلف قيم التيار باختلاف مقاومة الدائرة.

### مثال 9



يجري توصيل مصدر جهد متردد، قيمته الفعالة 18V، بالدائرة المجاورة.

- احسب القيمة العظمى للتيار المار في المصباحين (1) و (2).

- احسب القيمة العظمى للتيار الكلّي.

الحل:

$$V_o = \sqrt{2} \times V_{rms} = (1.414)(18V) = 25.5V_o$$

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{25.5 V_o}{10 \Omega} = 2.55 A \quad I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{25.5 V_o}{20 \Omega} = 1.28 A$$

$$I_{total} = I_1 + I_2 = 3.83 A$$

## القدرة في دوائر التيار المتردد

يمكن حساب القدرة الكهربائية لدائرة كهربائية ثابتة الشدة (DC) باستخدام المعادلة  $P = VI$ . لكن في الدائرة ذات الجهد المتردد، تعتمد القدرة الكهربائية على القيمة الفعالة للجهد والتيار. يمكن حساب متوسط القدرة للمقاومة في دائرة التيار المتردد بالمعادلة 5-5، وحساب القيمة الفعالة للتيار المتردد بالمعادلة 6-5.

متوسط القدرة (W)	$P$	متوسط القدرة في مقاومة دائرة التيار المتردد	5-5
القيمة الفعالة للجهد (V)	$V_{rms}$	$P = V_{rms} I_{rms}$	
القيمة الفعالة للتيار (A)	$I_{rms}$	قانون أوم لدائرة تيار متردد تشتمل على مقاومة	6-5
القيمة الفعالة للتيار (A)	$I_{rms}$		
القيمة الفعالة للجهد (V)	$V_{rms}$	$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R}$	
المقاومة ( $\Omega$ )	R		

تطبق المعادلة 5-5 في الدوائر التي تحتوي على مقاومات فحسب، أو أجهزة تشتمل على مقاومات فحسب، كال MSC. لكن في حالة المكثف والأجهزة الكهرومغناطيسية الأخرى كالمotor الكهربائي، فإن الوضع مختلف، بالنظر إلى وجود فرق في الطور بين التيار والجهد. نذكر أن جهد المكثف يتختلف في الطور عن التيار، لأنه يستغرق وقتاً للشحن والتفرغ.

### مثال 10

مولّد كهربائي متردد صغير قيمة جهده العظمى  $V_o = 314$  V، يتصل بدائرة مقاومتها الكلية  $\Omega = 10$ . احسب القيمة الفعالة للجهد والتيار، وكذلك متوسط القدرة الناتجة في المولّد.

**المطلوب:** القيمة الفعالة للجهد  $V_{eff}$  والتيار  $I_{av}$ ، متوسط القدرة  $P_{av}$ .

**المعطى:**  $R = 10\Omega$ ؛  $V_o = 314$  V

**العلاقات:**  $V_{rms} = \frac{V_o}{\sqrt{2}}$ ؛  $P = V_{rms} I_{rms}$ ؛  $I = \frac{V}{R}$

**الحل:**

لحساب القيمة الفعالة للجهد:  $V_{rms} = \frac{V_o}{\sqrt{2}} = \frac{314}{\sqrt{2}} = 222$  V

لحساب القيمة الفعالة للتيار:  $I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{222}{10} = 22$  A

لحساب متوسط القدرة:  $P = V_{rms} I_{rms} = (222)(22) = 4,884$  W

## تقويم الدرس 2-5

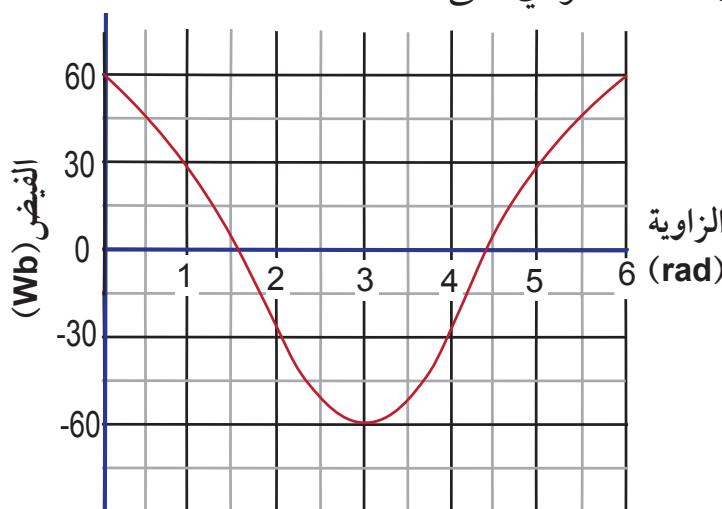
1. مولّد كهربائي للتيار المتردّد يحتوي على ملف عدد لفاته 400، ومساحة مقطعيه  $100 \text{ cm}^2$ ، يدور داخل مجال مغناطيسي شدته  $3 \times 10^{-2} \text{ T}$  بسرعة 75 دورة بالدقيقة.



a. احسب القيمة العظمى للجهد الحثّي.

b. احسب القيمة العظمى للتيار، إذا كانت المقاومة تساوي  $14\Omega$ .

2. وضع ملف داخل مجال مغناطيسي ثابت الشدة. عندما يدور هذا الملف، فإن الزاوية بين الخط العمودي على الملف واتجاه المجال المغناطيسي تتغيّر. يوضح الرسم البياني الآتي كيفية تغيّر الفيصل المغناطيسي مع الزاوية بين اتجاه المجال المغناطيسي والخط العمودي على الملف.



a. أنشئ رسمًا بيانيًّا يوضح تغيّر القوة الدافعة الكهربائية الحثّية بالنسبة إلى الزاوية.

b. إذا تضاعفت سرعة الملف، وفي الاتجاه الدوراني نفسه:

- كيف سيتغيّر الفيصل المغناطيسي بالنسبة إلى الزاوية؟ يمكنك أن ترسم التغيير على ورقة رسم بياني.

- أنشئ رسمًا بيانيًّا يوضح تغيّر القوة الدافعة الكهربائية الحثّية بالنسبة إلى الزاوية.

3. في الدائرة المجاورة، احسب:

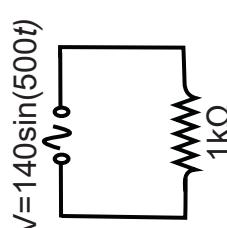


a. القيمة الفعالة للجهد.

b. القيمة الفعالة للتيار.

c. القدرة القصوى المفقودة.

d. متوجّس القدرة المفقودة.



# الدرس 3-5

## المحوّلات الكهربائية

جعلت المحوّلات نقل الكهرباء يجري بفاعلية فائقة. وقبل المحوّلات، كانت الأنظمة المبكرة من محطّات توليد التيار المستمر تفقد 20% إلى 85% من الطاقة الكهربائية خلال نقلها من محطّات توليد الكهرباء إلى المنازل. صمّم ويليام ستانلي أول محوّل كهربائي تجاري عام 1886 بالاستناد إلى عمل هانز كريستيان أورستد. كان أورستد عالماً متقدّماً شعبياً معروفاً. وقد لاحظ عام 1820 أثناء تحضير أدواته لإلقاء محاضرة أن إبرة البوصلة قد انحرفت عند تشغيل الكهرباء. لذلك يعود الفضل إليه عندما اكتشف أن التيار الكهربائي المتداوّل ينتج مجالاً مغناطيسياً.



الشكل 31-5 محوّل جهد عالي للتيار المتردّد.

استخدم مايكل فارادي نتائج أعمال أورستد لإنشاء أول جهاز دوران كهربائي، وهو أساس المحرك الكهربائي. واكتشف فارادي عام 1831 أن تَغيير المجال المغناطيسي عبر سلك يؤدي إلى توليد كهرباء فيه أيضاً، فأدرك الآتي: بدلاً من تحريك مغناطيس يمكن تغيير المجال المغناطيسي عبر السلك، فتتولّد فيه الكهرباء أيضاً. وهذا هو المبدأ الأساسي في عمل المحوّلات الكهربائية.

### المفردات



Transformer	المحوّل الكهربائي
Mutual induction	الحث المتبادل
Step-up transformer	المحوّل الرافع للجهد
Step-down transformer	المحوّل الخافض للجهد

### مخرجات التّعلم

**P1113.3** يصف مبدأ عمل المحوّل الكهربائي ويشرح أهميته في نقل الطاقة الكهربائية لمسافات طويلة.

**P1113.4** يحل مسائل حسابية حول نقل الطاقة الكهربية.

## نقل الطاقة الكهربائية

### سؤال للمناقشة

**لماذا تُستخدم خطوط الجهد العالي لنقل الكهرباء من محطات الطاقة؟**

**هل يُستخدم الجهد العالي نفسه لتشغيل منازلنا؟**

تشاد محطّات توليد الكهرباء في العادة بعيداً عن المنازل التي يستخدم الناس فيها الطاقة الكهربائية. تمتلك الأسلام الكهربائية مقاومة منخفضة جداً؛ لكنها ليست صفرًا. يتقدّم التيار الكهربائي عبر خطوط التوصيل، فتتبّع بعض الطاقة كحرارة نتيجة لمقاومة أسلام خطوط النقل. وتناسب القدرة الكهربائية  $P$  المفقودة بسبب مقاومة الأسلام، طردياً مع مربع شدة التيار المار فيها (المعادلة 7-5).

القدرة المفقودة (W)	$P$ مفقودة	القدرة المفقودة	7-5
شدة التيار الكهربائي (A)	$I$	$P_{\text{مفقودة}} = I^2 R$	
المقاومة الكهربائية ( $\Omega$ )	$R$		

الجدول 2-5 فقد القدرة عند نقل 240 kW.

2,400 V	240 V	المعادلة	
100 A	1000 A	$I = \frac{P}{V}$	التيار الكهربائي في خط نقل مقاومته $\Omega$
1000 W	100 kw	$P_{\text{مفقودة}} = I^2 R$	القدرة المفقودة في خط النقل
0.42 %	42 %	$\frac{P_{\text{مفقودة}}}{240kW}$	نسبة القدرة المفقودة من القدرة المنقوله

افترض أن قدرة كهربائية مقدارها 240 kW انتقلت من المولد الكهربائي إلى المنازل، عبر خط نقل مقاومته منخفضة مقدارها  $\Omega$ .0.1. وهذه القدرة الكهربائية تكفي لتزويد 100 منزل تقريباً. تخبرنا معادلة القدرة الكهربائية أن القدرة الكهربائية التي يحملها تيار 1000 A وجهد V 240 هي نفسها التي يحملها تيار 100 A وجهد V 2400.

$$P_1 = V_{\text{rms}} I_{\text{rms}} = (240 \text{ V})(1000 \text{ A}) = 240,000 \text{ W}$$

$$P_2 = V_{\text{rms}} I_{\text{rms}} = (2,400 \text{ V})(100 \text{ A}) = 240,000 \text{ W}$$

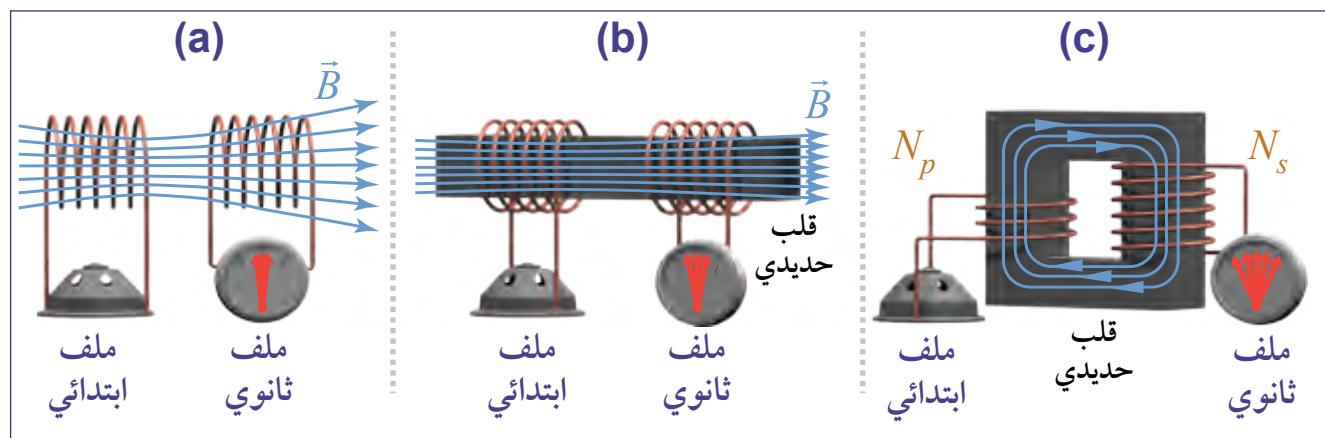
يكون فقد القدرة في خط V 240 مقداره 100 kW كما هو مبيّن في الجدول 2-5، أي بنسبة (42%) من القدرة المنقوله، في حين يكون فقد القدرة في خط V 2,400 مقداره W 1,000 فقط أي بنسبة (0.4%) فقط وهي أقل كثيراً، لأن الفقد من خلال خط نقل الطاقة يتتناسب طردياً مع مربع التيار. لذلك يتمتع استخدام خطوط نقل ذات جهد عال بميزة كبيرة. تعمل خطوط توصيل الطاقة لمسافات طويلة على فرق جهد V 345,000. وفي هذه الحالة تكون القدرة المفقودة W 0.05 فقط.

تُستخدم خطوط الجهد العالي لنقل الكهرباء مسافات طويلة، وذلك لخفض فقد الطاقة الكهربائية.



## المحوّلات الكهربائية

يتم نقل الطاقة بجهد يصل إلى 345,000 V وهو جهد خطر، في حين أننا نحتاج إليها في المنازل والمؤسسات عند جهد 240V. لذلك نحن نحتاج إلى محوّلات لنقل الطاقة الكهربائية. **المحوّل الكهربائي Transformer** جهاز يعتمد على قانون فارادي، يعمل على تغيير جهد التيار المتردد الداخل فيه إلى جهد تيار متعدد مختلف خارج منه، مع انعدام فقد القدرة الكهربائية الناتجة. تُستخدم محوّلات كهربائية عديدة لتغيير فرق الجهد العالي بكفاءة في خطوط نقل التيار المتردد إلى جهد آمن للاستخدام المنزلي.



الشكل 32-5 كيفية عمل المحوّل الكهربائي.

ولفهم طريقة عمل المحوّلات، افترض الملفين في الشكل 32-5.

**a.** يُنتج التيار المتردد في الملف الابتدائي مجالاً مغناطيسياً متعددًا. وهذا المجال المتردد ينشئ فيضاً مغناطيسياً متعددًا في الملف الثانوي؛ فيتولّد تيار متعدد حشبي في الملف الثانوي (الحث المتبادل).

**b.** أجري تحسين باستخدام قلب حديدي بين الملفين، حيث يتصرف الحديد بأنه مادة مغناطيسية ترکز المجال المغناطيسي وتضخمه. وبناء على ذلك، أصبح كل الفيض الناتج من الملف الابتدائي تقريباً يدخل الملف الثانوي من خلال القلب الحديدي.

**c.** إذا كان للملفين الابتدائي والثانوي عدد مختلف من اللفات، فسيكون فرق الجهد مختلفاً! فإذا كان عدد اللفات في الملف الثانوي مثليًّا عددها في الملف الابتدائي، فإن فرق الجهد فيه سيكون مثليًّا فرق الجهد في الملف الابتدائي. وبجعل القلب الحديدي مغلقاً على شكل لفة، فإن المحوّل الكهربائي يصبح عندها أكثر كفاءة في تركيز خطوط المجال المغناطيسي وتضخيمها. يرتبط فرق الجهد في كل من الملفين الابتدائي والثانوي، وعدد اللفات في كل منهما، بالمعادلة 8-5.

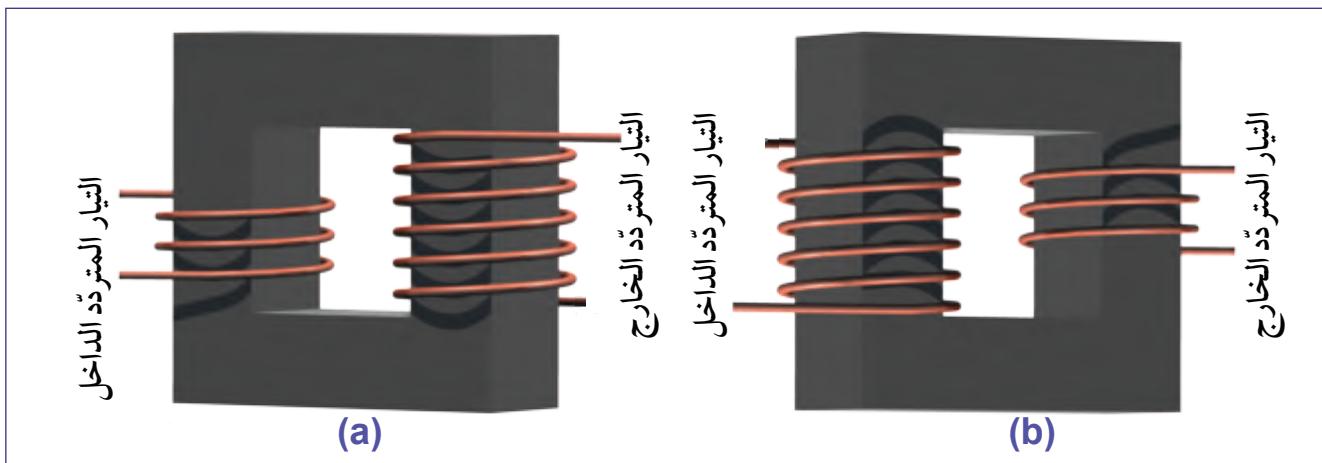
فرق الجهد في الملف الابتدائي (V)	$V_p$	فرق جهد المحوّل الكهربائي	8-5
فرق الجهد في الملف الثانوي (V)	$V_s$		
عدد لفّات الملف الابتدائي	$N_p$		
عدد لفّات الملف الثانوي	$N_s$		

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$



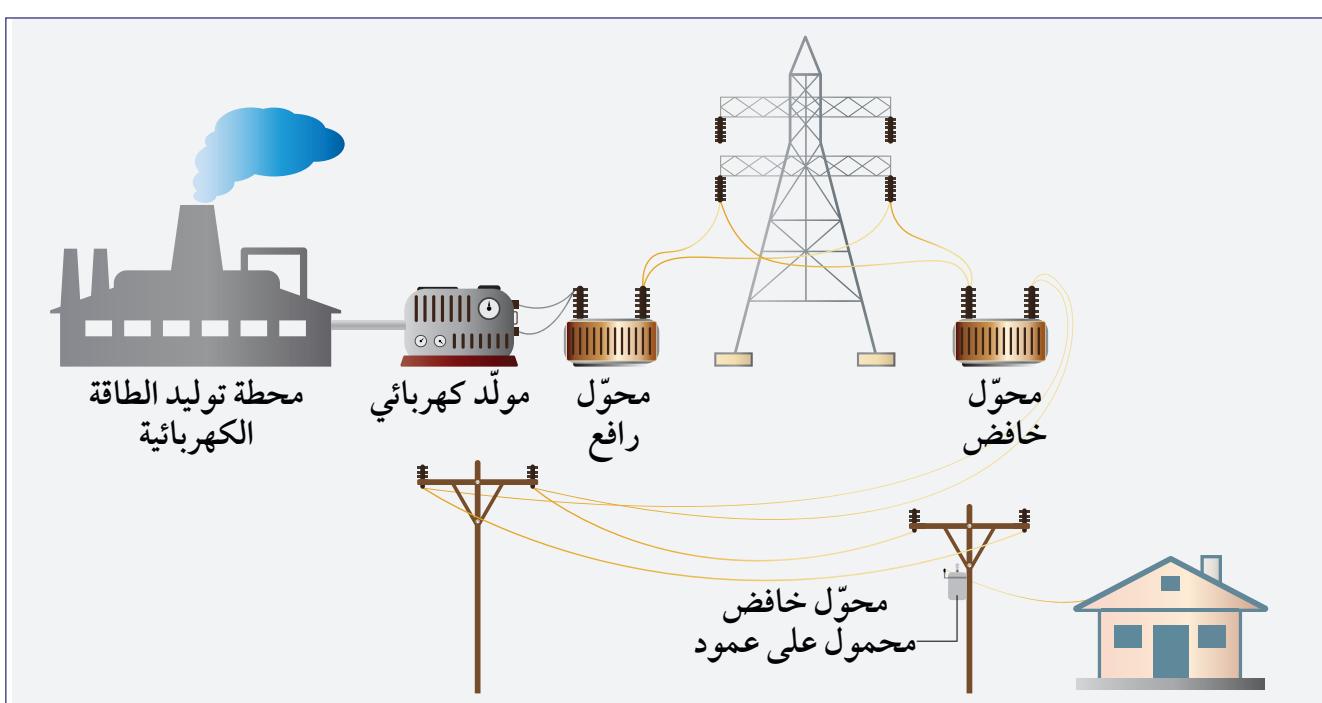
## المُحوّلات الكهربائية الرافعه للجهد والمُحوّلات الخافضه للجهد

هناك نوعان من المُحوّلات الكهربائية، هما: **المحوّل الرافع للجهد Step-up transformer** وعدد لفاته في ملفه الثانوي أكبر من عددها في ملفه الابتدائي؛ وبالتالي فإن فرق الجهد في ملفه الثانوي أكبر من فرق الجهد في ملفه الابتدائي (الشكل 5-a). **المحوّل الخافض للجهد Step-down transformer** وعدد لفّات ملفه الابتدائي أكبر من عددها في ملفه الثانوي؛ وبالتالي فإن فرق الجهد في ملفه الابتدائي أكبر مقارنة بفرق الجهد في ملفه الثانوي (الشكل 5-b).



الشكل 33-5 محوّل رافع للجهد (a) ومحوّل خافض للجهد (b).

تُنتج محطة توليد الطاقة الكهربائية النموذجية فرق جهد قدره 12,000 V. يُستخدم المُحوّل الرافع لزيادة فرق الجهد إلى 240,000V من أجل نقله. وُيستخدم المُحوّل الخافض لتقليل فرق الجهد إلى 2,400V في محطة الحيّ الفرعية. تُستخدم المُحوّلات الصغرى لتقليل الجهد من 2,400 V إلى 240 V قبل الوصول مباشرة إلى المنازل، كما هو مبيّن في الشكل 5-34.

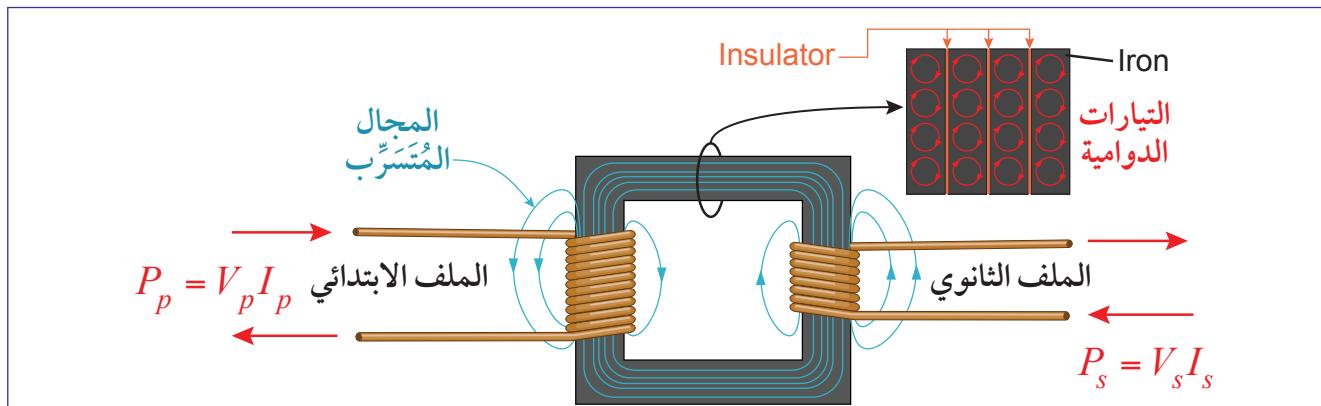


الشكل 34-5 استخدام أنواع مختلفة من المُحوّلات لتوسيع القدرة الكهربائية إلى المنازل.

## كفاءة المحول

في المحول المثالي تتغير قيمة كل من شدة التيار وفرق الجهد بين الملف الابتدائي والملف الثانوي، إلا أن القدرة هي ذاتها في الملفين. ففي محول 10:1 خافض للجهد قد يكون فرق الجهد 2200V وشدة التيار 10A في الملف الابتدائي في حين أن فرق الجهد في الملف الثانوي 220V وشدة التيار 100A. لكن في حالة المحول الحقيقي، تؤدي عوامل كثيرة إلى فقد جزء من القدرة وتكون قدرة في الملف الثانوي أقل منها في الملف الابتدائي (المعادلة 9-5)

- يؤدي التيار في الملف الابتدائي إلى وجود تيارات دوامية في قلب الحديد كما في الشكل 35-5.
- ولذلك يُقسم القلب الحديدي إلى شرائح رقيقة لتقليل فقد القدرة نتيجة للتغيرات الدوامية.
- جزء من شدة المجال المغناطيسي يتسرّب إلى خارج المحول.
- هناك فقد لجزء من القدرة نتيجة لمقاومة الأسلام التي يمر فيها التيار.



الشكل 35-5 بعض عوامل خفض كفاءة المحول.

القدرة في الملف الابتدائي (W)	$P_p$	كفاءة المحول	9-5
القدرة (0-100%)	$\eta$		
القدرة في الملف الثانوي (W)	$P_s$	$P_s = \eta P_p$	

مثال 11

لمحول 120 لفة في ملفه الابتدائي و 20 لفة في ملفه الثانوي، وكفاءته 90%. يُطبق فرق جهد 1920V حول طرفي الملف الابتدائي حيث شدة التيار 100A. ما قيمة فرق الجهد وشدة التيار في الملف الثانوي؟

الحل:

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} \rightarrow V_s = \frac{20}{120} (1920 \text{ V}) = 320 \text{ V}$$

$$\text{القدرة في الملف الابتدائي: } P_p = V_p I_p = (1920 \text{ V})(100 \text{ A}) = 192,000 \text{ W}$$

$$\text{القدرة في الملف الثانوي: } P_s = \eta P_p = (0.90)(192,000 \text{ W}) = 172,800 \text{ W}$$

$$\text{شدة التيار في الملف الثانوي: } I_s = \frac{P_s}{V_s} = \frac{172,800 \text{ W}}{320 \text{ V}} = 540 \text{ A}$$

## مثال 12



يُستخدم مُحوّل عدد لفّات ملفه الابتدائي  $N_p = 2000$  لفة، لخفض فرق جهد متعدد قيمته الفعالة  $V = 240$  V إلى فرق جهد متعدد قيمته العظمى  $5$  V.

a. كم عدد لفّات الملف الثانوي؟

b. إذا كانت نسبة كفاءة المحول  $80\%$ ، وكانت القيمة الفعالة لشدة التيار ( $I_{rms}$ ) في ملفه الابتدائي  $0.25$  mA، فما القيمة الفعالة للتيار في الملف الثانوي.

المطلوب: a. عدد لفّات الملف الثانوي.

b. القيمة الفعالة لشدة التيار في الملف الثانوي  $I_{rms}$ .

المعطى:

عدد لفّات الملف الابتدائي لمُحوّل  $N_p = 2000$ ؛ والقيمة الفعالة لفرق الجهد في الملف الابتدائي  $V = 240$  V؛ والقيمة الفعالة لشدة التيار في الملف الابتدائي  $I_{rms} = 0.25$  mA؛ والقيمة العظمى لفرق الجهد في الملف الثانوي  $V_o = 5$  V؛ وكفاءة المحول  $= 80\%$ .

العلاقات:

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

$$\bar{P} = V_{rms} I_{rms}$$

$$V_{rms} = \frac{V_o}{\sqrt{2}}$$

الحل:

a. لحساب عدد اللفّات في الملف الثانوي يجب أولاً حساب القيمة الفعالة لفرق الجهد في الملف الثانوي.

$$V_{rms} = \frac{5}{\sqrt{2}} = 3.5V$$

باستخدام معادلة المحول:

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} \Rightarrow \frac{3.5}{240} = \frac{N_s}{2000} \Rightarrow N_s = 29$$

b. لحساب القيمة الفعالة لشدة التيار في الملف الثانوي، نحتاج أولاً إلى حساب القدرة في الملف الابتدائي وفي الملف الثانوي.

$$\bar{P}_p = (240)(0.25 \times 10^{-3}) = 60 \times 10^{-3} W$$

كفاءة المحول هي  $80\%$  فقط، لذلك في الملف الثانوي:

$$\bar{P}_s = (60 \times 10^{-3})(0.8) = 48 \times 10^{-3} W$$

$$\bar{P}_s = V_{rms} I_{rms} \Rightarrow 48 \times 10^{-3} = 3.5 I_{rms}$$

وهكذا تكون القيمة الفعالة لشدة التيار في الملف الثانوي  $I_{rms} = 13.7$  mA

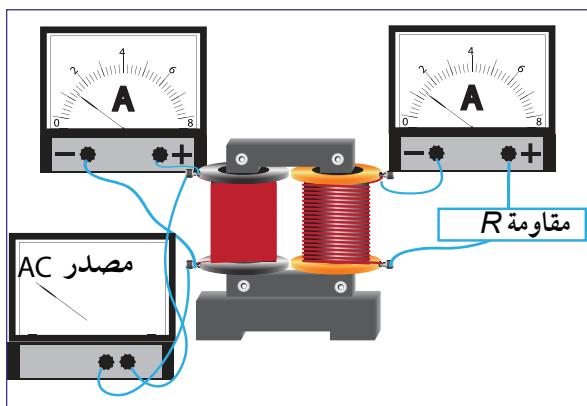


## المحوّل الرافع للجهد والمحوّل الخافض للجهد

3-5

لبحث العلاقة بين التيار وفرق الجهد وعدد اللفات في ملفي المحوّلات.	سؤال الاستقصاء
قلب حديدي ومجموعة من الملفات قابلة للتركيب، مصدر طاقة تيار متزدّد، أسلاك توصيل، أميتران، فولتمتر واحد، وثلاث مقاومات كل منها $10\Omega$ .	المواد المطلوبة

### خطوات التجربة



الشكل 5-36 قلب حديدي وملفات قابلة للتركيب.

1. كُون دائرة من الملفات والمقاومة  $10\Omega$  والقلب الحديدي، كما هو مبيّن في الشكل 5-36.
2. اختر ملفين إبتدائي وثانوي، حيث يكون عدد اللفات في كل منهما 400 لفة، واضبط فرق جهد الملف الابتدائي على 6 V.
3. قس شدّة التيار في الملف الابتدائي وفرق الجهد في الملف الثانوي وتياره.
4. كرر التجربة بتغيير الملف الثانوي إلى ملف عدد لفاته 200 لفة، ومرة أخرى عددها 600 لفة.
5. سجّل القراءات في الجدول أدناه.

					عدد اللفات	
I الثانوي	V الثانوي	I الابتدائي	V الابتدائي	المقاومة R	الملف الثانوي	الملف الابتدائي

6. كرر التجربة بوساطة ضبط الملف الابتدائي على 200 لفة والثانوي على 400 لفة.

### الأسئلة

- ما العلاقة بين تيار الملف الابتدائي وتيار الملف الثانوي، عندما تكون المقاومة ثابتة؟
- هل يؤدّي تغيير المقاومة إلى تغيير العلاقة بين تيار الملف الابتدائي وتيار الملف الثانوي؟
- هل هذا المحوّل محول مثالى؟ (هل كفاءته 100%؟) إذا كان الجواب لا، احسب كفاءته.

## تقويم الدرس 3-5

1. املأ الجدول الآتي لمحول مثالٍ:



عدد لفّات الملف الثانوي	عدد لفّات الملف الابتدائي	جهد الملف الثانوي (V)	جهد الملف الابتدائي (V)
48		240	60
	50	100	200
	50	50	250
900	45	600	
	60	30	180

2. ماهر لديه روبوت يحتاج إلى فرق جهد V 30. يقوم ماهر بصناعة محول يشتمل على 1,200 لفّة في ملفه الابتدائي الذي يتغذّى بفرق جهد V 240. كم لفة يحتاج ماهر في ملفه الثانوي حيث يحصل على فرق جهد مخرج V 30؟



3. تنتج محطة الطاقة W 480,000 من القدرة بجهد V 2,400.



a. احسب القدرة المفقودة في خطوط النقل التي تبلغ مقاومتها  $\Omega 5$  على افتراض عدم استخدام أي محولات في النقل.

b. كرر الحساب عندما تُحوّل محطة الطاقة الجهد من V 2,400 إلى V 24,000.

4. يبلغ الجهد المتردّد في الخطوط الرئيسة لدى بعض البلدان V 110. اقترح بعض القيم لعدد اللفّات في الملفين الابتدائي والثانوي، في أحد المحولات لرفع هذا الجهد إلى V 240.



5. يوصل الملف الابتدائي لمحول بمصدر لتيار متردّد، ويوصل الملف الثانوي بمصباح يعمل على جهد V 12 وقدرته W 36. فإذا كان هناك 4,000 لفّة على الملف الابتدائي، و 200 لفّة على الملف الثانوي. احسب:

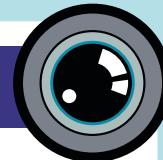


a. جهد المصدر.

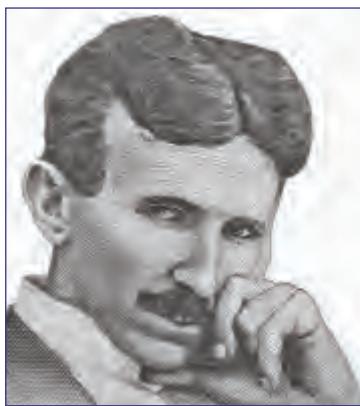
b. القدرة الناتجة من المصدر، إذا كانت كفاءة المحول 100 %.

c. التيار في الملف الابتدائي.

## ضوء على العلماء



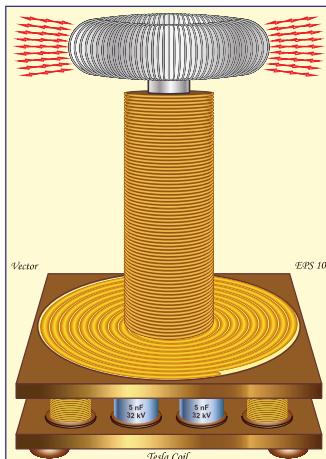
### نيكولا تسلا (1856-1943)



الشكل 5-37 نيكولا تسلا.

ساهم كثير من الناس في التكنولوجيا المبكرة للكهرباء التيار المتردد AC. وكان نيكولا تسلا واحداً من أكثر العلماء شهرة ممن شاركوا في بدايات تلك التكنولوجيا. ولد تسلا في الإمبراطورية النمساوية (التي تُعرف الآن باسم كرواتيا)؛ ولكنها انتقل فيما بعد إلى الولايات المتحدة.

أثارت عروض الفيزياء التي كان يجريها مُدرّس تسلا في المدرسة الثانوية فضوله؛ ما ولّد عنده رغبة قوية في معرفة المزيد. ويقال إنه كان يجري حسابات التفاضل والتكامل في رأسه أي من دون أن يكتبه. قادته قدراته العقلية إلى إنتهاء مقررات المدرسة الثانوية التي تستغرق أربع سنوات في ثلاث سنوات. والتحق بعدها بكلية الفنون التطبيقية النمساوية، لكنه في العامين الأولين لم يكن راضياً عن نفسه؛ فترك الكلية من أجل الدراسة منفرداً، واختراع بعض الأشياء. وبشخصيته القوية، أصبح لتسلا دور مركزي في المنافسة الشهيرة بين كهرباء التيار المتردد وكهرباء التيار المستمر بين العامين 1880 و 1890.



الشكل 5-38 ملف تسلا.

### اختراعاته

هاجر نيكولا تسلا عام 1884 إلى الولايات المتحدة للعمل في شركة إديسون للألات، وهناك طور نظام إضاءة القوس الذي كان يحظى بشعبية كبيرة. كون تسلا شركته الخاصة المسماة «شركة تسلا للكهرباء» مع صديق له اسمه ألفريد إس براون؛ فطور محركاً كهربائياً حيث يعمل على التيار المتردد. ثم اختراع دائرة المحول المحسنة، التي سميت «ملف تسلا». كان هذا الملف يحتوي على فجوات للهواء بين اللفات والقلب، لمنع الارتفاع الزائد في درجة الحرارة.

عمل تسلا على الإضاءة اللاسلكية، باستخدام الحث الكهروستاتيكي أيضاً؛ لكنه لم يتمكّن من تحويله إلى منتج تجاري ناجح. وعموماً يعتقد أن نيكولا تسلا كان لديه ما يقارب 300 براءة اختراع لاختراعاته. وهناك العديد من الاختراعات وبراءات الاختراع التي لم تُحسب له. قدّمت أعمال تسلا مساهمات كبيرة في كيفية استخدامنا للكهرباء اليوم.

# الوحدة 5

## مراجعة الوحدة

### الدرس 5-1: الحث الكهرومغناطيسي

- **الحث الكهرومغناطيسي** هو ظاهرة تولد تيار كهربائي حي في موصل عند تغيير الفيصل المغناطيسي الذي يقطعه الموصل بالنسبة للزمن.
- **التيار الكهربائي الحي** هو التيار الذي يتولد في الموصلات، نتيجة لتغيير الفيصل المغناطيسي.
- **الفيصل المغناطيسي** هو شدة المجال المغناطيسي،  $B$  ، الذي يخترق مساحة  $A$ .
- **الواير**،  $Wb$  هو وحدة الفيصل المغناطيسي  $Wb$   $1 \text{ Tm}^2$ .
- **قانون فارادي للحث** ينص على أن فرق الجهد الكهربائي الحي يساوي معدل تغيير الفيصل المغناطيسي بالنسبة إلى الزمن.
- **قانون لenz** ينص على أن التيار الكهربائي الحي يُنشئ مجالاً مغناطيسياً يعاكس تغيير الفيصل الذي أنشأ هذا التيار.
- **التيارات الدوّامية** هي تيارات حية تَتَّخِذُ شكل دوّامات صغيرة. تتشَكّل التيارات الدوّامية في الأسطح الموصلة التي تختلف عن الأسلاك الرفيعة.

### الدرس 5-2: مولّدات التيار المتردد AC

- **مولّد التيار المتردد AC** هو أداة لتوليد الطاقة الكهربائية من الطاقة الميكانيكية. يتّبع هذا المولّد تياراً متّرددّا.
- **الجهد المتّرددّ** هو الجهد الذي يتغيّر اتجاهه وقيمه مع الزمن.
- **التيار المستمرّ** هو التيار الذي يتقدّم في اتجاه واحد فقط، وله مقدار ثابت.
- **التيار المترددّ** هو التيار الذي يتغيّر اتجاهه وقيمه مع الزمن.
- **دوائر التيار المترددّ** هي الدوائر التي يمر فيها التيار المترددّ.
- **القيمة الفعالة** هي قيم شدة التيار المستمر التي تولد التأثير الحراري نفسه الذي تولّده مثيلاتها في دوائر التيار المتردد خلال الفترة الزمنية نفسها.

### الدرس 5-3: المحولات الكهربائية

- **المحوّل** أداة لتغيير قيمة فرق الجهد قبل نقل الكهرباء وبعده.
- **محوّل رافع للجهد** يزيد فرق الجهد قبل النقل.
- **محوّل خافض للجهد** يخفض فرق الجهد قبل النقل.

# الوحدة 5

## مراجعة الوحدة

### اختيار من متعدد

1. أي التيارات التي تتدفق في دوائر داخل قرص؟

- .a. التيارات الدّوامية.
- .c. تيار مستمر.
- .b. تيارات دائيرية.
- .d. تيار متعدد.

2. أي من الأسلك الدائيرية الآتية لن تحت أي تيار كهربائي؟

- .a. سلك دائري ساكن في مجال مغناطيسي ثابت
- .b. سلك دائري ساكن في مجال مغناطيسي متغير.
- .c. سلك دائري يدور حول محور متعامد مع اتجاه مجال مغناطيسي ثابت.
- .d. مغناطيس دائم يدخل ويخرج باستمرار في ملف دائري.

3. جزء من قلب حديدي لُف بثلاثة أسلاك دائيرية، بينما لُف جزء آخر من القلب الحديدي نفسه بملف من ستة أسلاك دائيرية. مررنا تياراً كهربائياً في الملف الأول مع مصباح كهربائي. أضيف محرك إلى الملف الثاني. ما نوع هذه الأداة؟

- .a. محرك كهربائي.
- .c. محول رافع.
- .b. مولّد كهربائي.
- .d. محول خافض.

4. أي من الجمل الآتية أفضل تعريف للحث الكهرومغناطيسي؟

- .a. إنتاج مجال مغناطيسي بواسطة تيار كهربائي.
- .b. إنتاج قوة دافعة كهربائية (حيثية) بواسطة مجال مغناطيسي متغير.
- .c. القوة المؤثرة في شحنة كهربائية تتحرك في مجال مغناطيسي.
- .d. القوة الناشئة عن موصل حامل لتيار في مجال مغناطيسي.

5. ما قيمة الفيصل المغناطيسي عندما يكون المجال المغناطيسي موازياً لسطح الملف؟

- .a. صفر
- .b. BA
- .c.  $B \cos \theta$
- .d. لا نهائي.

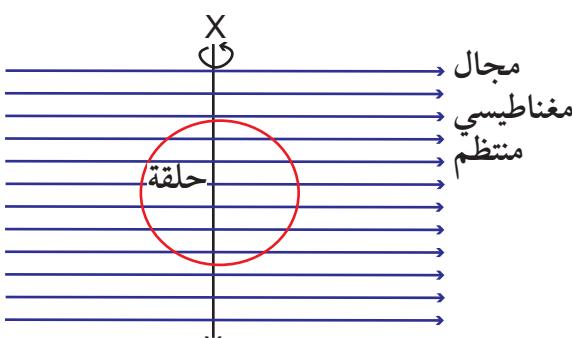
6. مصباح كهربائي قدرته  $W = 60$  واط يعمل تحت فرق جهد قيمته الفعالة  $V = 240$  فولت. كم تبلغ أقصى قيمة لتيار المصدر المتردد؟

$$\frac{\sqrt{2}}{4} A \cdot c$$

$$\frac{4}{\sqrt{2}} A \cdot d$$

$$\frac{1}{4} A \cdot a$$

$$\frac{1}{2} A \cdot b$$



7. لفة معدنية تدور حول محور رأسي في مجال مغناطيسي منتظم. عندما تصبح اللفة موازية لاتجاه المجال المغناطيسي كما في الصورة، فأي من العبارات عن الفيض والتيار الحثي تكون صحيحة؟

التدفق الكلي في اللفة	التيار الحثي في اللفة
قيمة قصوى	قيمة قصوى .a
صفر .b	قيمة قصوى
صفر .c	صفر
قيمة قصوى .d	صفر

8. مولّد بسيط لتيار متردد يحتوي على ملف مسطّح مستطيل في مجال مغناطيسي منتظم. القيمة القصوى للقوة الدافعة الكهربائية الحثية هي  $V$ . إذا ضاعفنا تردد الدوران، فكم تبلغ القيمة القصوى الجديدة للقوة الدافعة الكهربائية (ق.د.ك) الناتجة؟

$$2V \cdot c$$

$$4V \cdot d$$

$$V \cdot a$$

$$\sqrt{2} V \cdot b$$

9. جرى توصيل مصدر لتيار متردد بمقاومة  $R$ . إذا ضاعفنا الجهد الفعال الخارج من المصدر، فكم يكون معامل ازدياد القدرة المفقودة في المقاومة؟

$$2 \cdot c$$

$$4 \cdot d$$

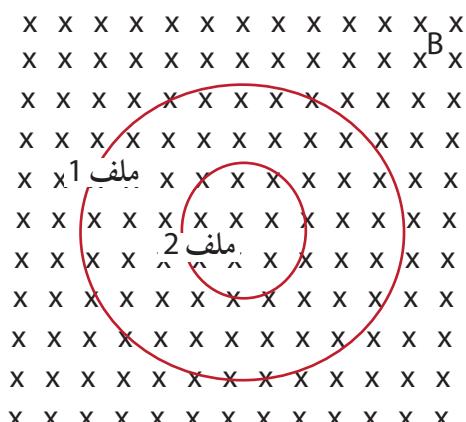
$$1 \cdot a$$

$$1.5 \cdot b$$

## تقويم الوحدة

10. يبلغ عدد لفّات الملف الابتدائي لمحّول مثالي 1000 لفة، وعدد لفّات الملف الثانوي 100 لفة. يكون تيار الملف الابتدائي 3 A عند تغذيته بقدرة 12W. ما شدة التيار في الملف الثانوي والقدرة فيه؟

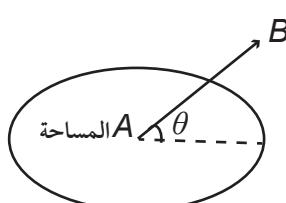
التيار الثانوي	القدرة المُستَجَبة
0.3 A	1.2 W
30 A	1.2 W
0.3 A	12 W
30 A	12 W



11. ملفان بقطرين مختلفين، وُضعا في المجال المغناطيسي المتّظم نفسه B. إذا ازدادت شدة المجال المغناطيسي مع الزمن، عندها يكون:

- .a. الجهد الحثّي هو نفسه في الملفين.
- .b. الجهد الحثّي في الملف 1 أكبر.
- .c. الجهد الحثّي في الملف 2 أكبر.
- .d. الجهدان الحثّيان في الملفين متعاكسين في الاتجاه.

12. مجال مغناطيسي متّظم شدّته B، يخترق كليّاً ملفاً مساحته A، حيث الزاوية بين المجال المغناطيسي وسطح الملف  $\theta$ . ما هو الفيصل المغناطيسي الذي يخترق الملف؟



- BA .a
- B $\text{Acos}\theta$  .b
- B $\text{Asin}\theta$  .c
- B $\text{Atan}\theta$  .d

## الدرس 1-5: الحث الكهرومغناطيسي

13. يحرّك على مغناطيساً شدته  $T = 10^{-5}$  نيوتن داخل ملف مساحة مقطعة  $0.01 \text{ m}^2$  بمعدل 56 دورة في الثانية. افترض أن شدة المجال المغناطيسي تراوح بين  $T = 10^{-5}$  و  $T = 10^{-4}$  في ثانية واحدة.

زميله أحمد في المختبر، يقيس القيمة القصوى للتيار الذي يمر في الملف.

- a. ما قيمة فرق الجهد الذي يقيسه أحمد؟
- b. سُمّ شيئاً يمكن لعلي أن يفعله ليغيّر قيمة فرق الجهد.

14. مجال مغناطيسي يشير إلى أسفل طاولة وتناقص شدّته. اذكر اتجاه التيار الحثي (اتجاه دوران عقارب الساعة، أو عكسه) في سلك دائري موضوع فوق الطاولة.

15. مجال مغناطيسي يشير إلى داخل الصفحة وشدّته تتزايد. بالنسبة إلى سلك دائري على سطح الصفحة، هل يتقدّم التيار الحثي باتجاه دوران عقارب الساعة أم عكسه؟

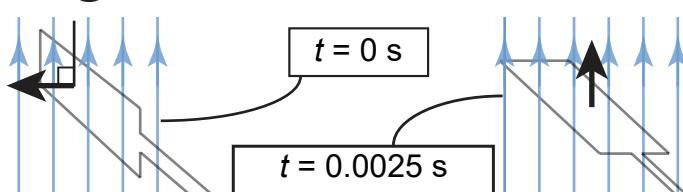
16. لفة مساحتها  $5.0 \text{ cm}^2$ ، موضوعة في مجال مغناطيسي  $T = 0.2 \text{ T}$ . ما مقدار الفيض المغناطيسي النافذ من اللفة عندما:

- a. تكون اللفة متعمدة مع خطوط المجال المغناطيسي.
- b. تكون اللفة موازية لخطوط المجال المغناطيسي.
- c. تميل اللفة بزاوية  $60^\circ$  مع خطوط المجال.

17. تتّجه خطوط مجال مغناطيسي من أرض الغرفة إلى السقف في جميع أنحاء الغرفة. هناك سلك من ثلاثة لفات: A و B و C. اللفة A موضوعة على الطاولة، و B عمودية على مستوى الطاولة، و C تميل بزاوية  $45^\circ$  مع الطاولة.

- a. عدد اللفات مرتبة وفق الفيض المغناطيسي المار بها من الأصغر إلى الأكبر.
- b. في أي من اللفات، إن وُجدت، يتولّد التيار الكهربائي الحثي؟

18. يتشكل المولد الموضّح في الرسم من ملف هو عبارة عن سلك مستطيل  $(20 \text{ cm} \times 60 \text{ cm})$  في مجال مغناطيسي منتظم  $T = 0.1 \text{ T}$ . تدبر قوة خارجية لللفة ربع دورة من ( $\theta = 0^\circ$  إلى  $\theta = 90^\circ$ ) خلال  $t = 0.0025 \text{ s}$ . احسب الجهد الناتج من المولد، خلال ربع الدورة.



## تقويم الوحدة



$\xrightarrow{\quad}$

x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	x
x	x	x	x	x	x	x

19. ملف مربع الشكل طول ضلعه (0.2 m)، يتحرك بسرعة ثابتة (0.05 m/s) ليدخل في منطقة مجال مغناطيسي منتظم شدته  $T = 0.3\text{ T}$ ، موجه إلى داخل الصفحة. يتضمن الملف 50 لفة من الأسلاك الموصلة. بافتراض أن الملف سيدخل منطقة المجال المغناطيسي في اللحظة  $t = 0$ :



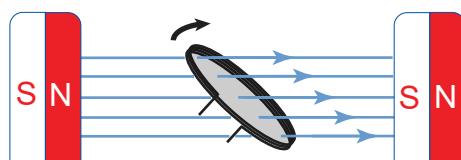
- a. بين بالرسم البياني تغير الفيصل المغناطيسي في الملف بدلاله الزمن.
- b.وضح بالرسم البياني الجهد الحثي في الملف بدلاله الزمن.

20. سمع هاشم أنه تستطيع توليد الكهرباء بغاز حبل كحيل القفز. افترض أنه تستطيع تدوير لفة حول نفسها مرة واحدة في الثانية في المجال المغناطيسي للأرض قرب خط الاستواء.  $B = 3 \times 10^{-5}\text{ T}$



- a. ما القيمة القصوى للفيصل المغناطيسي  $\Phi_B$ ، الذي يخترق اللفة، إذا كان نصف قطرها 1 m؟
- b. إذا تغير الفيصل من صفر إلى هذه القيمة القصوى في ربع ثانية ( $\Delta t = 0.25\text{ s}$ )، فما القيمة المتوسطة للجهد الحثي؟

## الدرس 5-2: مولدات التيار المتردد AC



21. تمثل الصورة مولداً كهربائياً بسيطاً. تسبب القوى الميكانيكية (بالهواء) دوران ملف سلكي داخل مجال مغناطيسي. بافتراض أنه لا تستطيع التحكم بسرعة الدوران، وأنه لا تستطيع تعديل خصائص المولد نفسه. أذكر ثلاث طرق لزيادة الجهد الناتج.



22. القيمة الفعالة للجهد الناتج من مولد تبلغ 240 V. الملف مربع الشكل طول ضلعه 30 cm وعدد لفاته 200 لفة من الأسلاك، وهو يدور بسرعة 55 دورة في الثانية. احسب شدة المجال المغناطيسي الذي وضع فيه الملف.



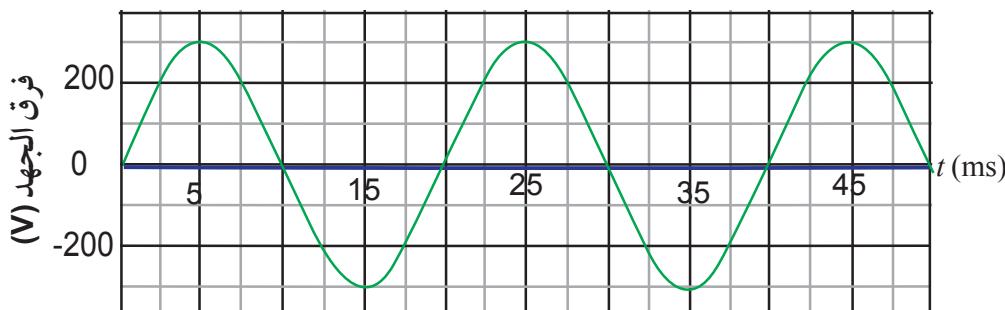
23. احسب متوسط القدرة المفقودة في مقاومة ( $30\Omega$ ) موصولة على التوالي بمصدر للتيار المتردد، أقصى قيم لجهده تبلغ 240 V.





. 24. يُظهر الرسم البياني تغيير الجهد مع الزمن في قطعة من آلات مصنع.

- ما قيمة الجهد الفعال؟
- إذا كان متوسط القدرة المفقودة في الآلة  $17 \text{ kW}$ ، احسب القيمة القصوى للتيار المار فيها.



. 25. مصباح كهربائي ( $60 \text{ W}$ ) تجري تغذيته من مصدر تيار تردد  $(50\text{Hz})$ ، تبلغ القيمة الفعالة لجهد المصدر  $240 \text{ V}$ .

- احسب القيمة القصوى للتيار في سلك المصباح.
- ما القدرة القصوى المفقودة في المصباح؟
- أنشئ الرسم البياني للقدرة المفقودة في سلك المصباح بدلالة الزمن. (ارسم دورة واحدة على الأقل).

### الدرس 5-3: المحولات الكهربائية



. 26. عندما تولّد محطّات الطاقة الكهرباء، تقوم باستعمال المحولات لنقل الكهرباء في خطوط للطاقة بتيار منخفض، لخفض خسائر القدرة. يعمل محول آخر قرب منزلك على تحويل الجهد إلى ما يجب أن يكون عليه لتشغيل أدواتك. أيّ من المحولات هو رافع لجهد؟ وأيّ منها خافض لجهد؟ كيف تعرف ذلك؟

. 27. يصنع طالب محوله بـ  $10$  دوائر سلك حول أحد طرفي ساق حديدية و  $20$  دائرة سلك حول الطرف الآخر. بعد ذلك، يقوم بوصل بطارية (جهد ثابت- DC) للملف الأول. عند فحصه لجهد الملف الثاني، تبيّن له أن لا وجود لفرق جهد فيه. في أي خطوة أخطأ خلال عمله؟



. 28. كفاءة المحولات لا تصل إلى  $100\%$ . اذكر اثنين من التأثيرات التي يمكنها عملياً تخفيض كفاءة المحول (ملحوظة: تحتوي المحولات على موصلات كبيرة).

## تقويم الوحدة

29. لماذا لا يستطيع المحول أن يعطي  $25\text{ V DC}$ ، عند وصله بطارية سيارة قوة دفعها الكهربائية  $9\text{ V}$ ؟



30. تنتج إحدى محطّات الطاقة، كهرباء بفرق جهد  $13,200\text{ V}$ ، ويُخفض محول فرق الجهد إلى  $240\text{ V}$  للاستخدام المنزلي.



a. ما القدرة الابتدائية في الخط الذي يبلغ فرق الجهد فيه  $13,200\text{ V}$  إذا كانت شدة تياره  $500\text{ A}$ .

b. ما شدة التيار عند فرق الجهد  $240\text{ V}$ ، إذا كانت كفاءة المحول  $90\%$ ؟

c. ما مقدار القدرة المفقودة بناءً على عدم كفاءة المحول؟

31. يتكون محول من  $600$  لفة في ملفه الابتدائي، و  $150$  لفة في ملفه الثانوي.



a. زوّدنا الملف الابتدائي بجهد متّرد  $240\text{ V}$ ، وبتردد  $50\text{ Hz}$ . احسب الجهد والتّردد الحثّي في الملف الثانوي.

b. إذا كان التيار الابتدائي  $9.0\text{ A}$ ، احسب التيار في الملف الثانوي، إذا علمت أن كفاءة المحول  $75\%$ .

32. تعمل محطة توليد الكهرباء بطاقة ( $400\text{ MW}$ ) وفرق جهد ( $75\text{kV}$ )، وتزوّد البيوت بالطاقة عبر كابلات مقاومتها الكلية  $5\Omega$ .



a. احسب نسبة الطاقة المفقودة في الكابلات للطاقة المنتجة.

b. كيف ستتغيّر الطاقة المفقودة إذا كان فرق الجهد  $90\text{ kV}$ ؟

## الاستقصاء والبحث



### نقل الطاقة بواسطة التيار المترّدد AC مقابل نقلها بواسطة التيار المستمر DC

وضعت المحولات الرافعية والخافضة للجهد قيد التطبيق عام 1886 في مساتشوستس USA، رغم أن بلداناً كهنجاريا وإنكلترا، كانت قد بدأت بالعمل على المحولات قبل ذلك الوقت. جعلت المحولات نقل الكهرباء ذات التيار المترّدد أكثر كفاءة.

تنقل خطوط التيار المستمر العالي الجهد، الكهرباء من دون استعمال للمحولات.

ابحث عن فوائد نقل الكهرباء بالتّيار المترّدد AC مقابل نقلها بالتّيار المستمر DC. ضمّن بحثك أيضًا تحقيقاً عن تاريخ المحولات.

## الشكر والتقدير

يشكر المؤلفون والناشرون المصادر الآتية على السماح لهم باستخدام ملكياتهم الفكرية  
كما أنهم ممتنون لهم لموافقتهم على نشر الصور.

Kateryna Kon /Shutterstock; hfgimages/Shutterstock; Cal Holman/GI; AppleZoomZoom/Shutterstock; GualtieroBoffi Merdan/Shutterstock; Davide Sarrus/ Shutterstock; Panos Karras/ Shutterstock; KrimKate/ Shutterstock; Mario Savioa/ Shutterstock; Spaskov/Shutterstock; LeonidAndronov/ Shutterstock; PlavUSA87/ Shutterstock; NatureArt/ Shutterstock; KristpovBurgstadt/ Shutterstock; SimoneN/Shutterstock; MrsYa/ Shutterstock; vnlit/Shutterstock; travelerpix/ Shutterstock; petarg/Shutterstock; montreep/Shutterstock; EverettHistorical/ Shutterstock; Phongphan/Shutterstock; MarcoTomasini/ Shutterstock; BigChem/Shutterstock; ColinHayes/Shutterstock; designhua/ Shutterstock; EricIsalee/ Shutterstock; Amineaya/ Shutterstock; JoseLuisCalvo/Shutterstock; kurhan/Shutterstock; Lebenkulturen.de/Shutterstock; Peter Olsonn/Shutterstock; Robynmac/GoGraph; grafvision/ GoGraph; artjazz/ GoGraph; jgroup/ GoGraph; FitreaRamlji/ GoGraph; Yanikstock1188/ GoGraph; monkeebusiness/ GoGraph; pixelrobot/ GoGraph; FotoYou123/ GoGraph; Paulista/ GoGraph; tomwang/ GoGraph; michael812/ GoGraph; Kaferphoto/ GoGraph; OleksandrLysenko/ GoGraph; Sparkla/ GoGraph; SURZ/ GoGraph; kadmy/ GoGraph; joebelanger/ GoGraph; Lsaloni/ GoGraph; AlexanderPokeusay/ GoGraph; KumbThong/ GoGraph; 3DSculptor/ GoGraph; Nirodesign/ GoGraph; shotsstudio/GoGraph; believeinme/ GoGraph; sframe/GoGraph; Lonely11/GoGraph; Eraxion/ GoGraph; woodoo/GoGraph; mikos/GoGraph; phillipus/GoGraph; Coprid/GoGraph; PixelChaos/GoGraph; AllenCat/GoGraph; Andreus/GoGraph; chyennezj/GoGraph; bdspn/GoGraph; ia\_64/ GoGraph; AntonioGuillem; /GoGraph; Gigava/GoGraph; Krisdog/ GoGraph; malajski/GoGraph; 4374344sean/GoGraph; alila/ GoGraph; normaals/GoGraph; Jaron Ontakrai/Shutterstock; Maxx- Studio/Shutterstock; WikipediaCreativeCommons; SergeiteLegin/ GoGraph; elippigraphica/Shutterstock; Pop Paul Catain/ Shutterstock; magann/GoGraph; Prykhodov/GoGraph; ronstik/ GoGraph; Designus/Shutterstock; Robert Hooke, Micrographia, 1665., Public Domain; Billion Photos/Shutterstock; Woods Hole Oceanographic Institute; NASA; ESA; Halfdark/GettyImages; ifong/Shutterstock ; petarg/Shutterstock; Matteo Colombo/Getty Images;