الفيزياء

كتاب الطالب

المستوى الحادي عشر

PHYSICS

STUDENT BOOK

GRADE 11

الفصل الدراسي الثاني - الجزء الأول

SECOND SEMESTER - PART 1

2020 - 2019

(نسخة تجريبية - Trial version)

www.jnob-jo.com

© وزارة التعليم والتعليم العالي في دولة قطر

يخضع هذا الكتاب لقانون حقوق الطباعة والنشر، ويخضع للاستثناء التشريعي المسموح به قانونًا 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.

تمّ إعداد الكتاب بالتّعاون مع شركة تكنولاب.

التأليف: فريق من الخبراء بقيادة الدكتور توم سو وبالتّعاون مع شركة باسكو العلميّة.

التّرجمة: مطبعة جامعة كامبريدج.

الطبعة التجريبية 2019-2020 م

www.jnob-jo.com

النشيد الوطني

قَسَـمًا بِمَـنْ رَفَـعَ السَّـمَاءْ قَسَـمًا بِمَـنْ نَشَـرَ الضِّـيَاءْ
قَطَـرٌ سَتَبْـقَى حُـرَّةً تَسْمُـو بِـرُوحِ الأَوْفِـيَـاءْ
سِـيرُوا عَـلَى نَـهْـجِ الأُلَـى وَعَـلَى ضِيَـاءِ الأَنْبِـيَاءْ
قَطَـرٌ بِقَـلْـبِي سِـيرَةٌ عِـزٌّ وَأَمْجَـادُ الإِبَـاءْ
قَطَـرُ الرِّجَـالِ الأَوَّلِـين حُمَـاتُنَـا يَـوْمَ النِّـدَاءْ
وَحَمَـائِـمٌ يَـوْمَ السَّـلاَمْ جَـوَارِحٌ يَـوْمَ الفِـدَاءْ

www.jnob-jo.com

www.jnob-jo.com

المراجعة والتّدقيق العلميّ والتّربويّ

إدارة التّوجيه التّربويّ

خبرات تربويّة وأكاديميّة من المدارس

الإشراف العلميّ والتربويّ

إدارة المناهج الدّراسيّة ومصادر التّعلّم

www.jnob-jo.com

يعدّ كتاب الطّالب مصدرًا مثيرًا لاهتمام الطّلّاب من ضمن سلسلة كتب العلوم لدولة قطر، فهو يستهدف جميع المعارف والمهارات الّتي يحتاجون إليها للنّجاح في تنمية المهارات الحياتيّة وبعض المهارات في الموادّ الأخرى.

وبما أنّنا نهدف إلى أن يكون طلّابنا مميّزين، نودّ منهم أن يتّسموا بما يأتي:

- البراعة في العمل ضمن فريق.
- امتلاك الفضول العلميّ عن العالم من حولهم، والقدرة على البحث عن المعلومات وتوثيق مصادرها.
- القدرة على التّفكير بشكلٍ ناقدٍ وبنّاء.
- الثّقة بقدرتهم على اتّباع طريقة الاستقصاء العلميّ، عبر جمع البيانات وتحليلها، وكتابة التّقارير، وإنتاج الرّسوم البيانيّة، واستخلاص الاستنتاجات، ومناقشة مراجعات الزّملاء.
- الوضوح في تواصلهم مع الآخرين لعرض نتائجهم وأفكارهم.
- التّمرّس في التّفكير الإبداعيّ.
- التّمسّك باحترام المبادئ الأخلاقيّة والقيم الإنسانيّة.

يتجسّد في المنهج الجديد العديد من التّوجّهات مثل:

- تطوير المنهج لجميع المستويات الدّراسيّة بطريقة متكاملة، وذلك لتشكيل مجموعة شاملة من المفاهيم العلميّة الّتي تتوافق مع أعمار الطّلاب، والّتي تسهم في إظهار تقدّمهم بوضوح.
- مواءمة محتوى المصادر الدّراسيّة لتتوافق مع الإطار العامّ للمنهج الوطنيّ القطريّ بغية ضمان حصول الطّلّاب على المعارف والمهارات العلميّة وتطوير المواقف (وهو يُعرف بالكفايات) ممّا يجعل أداء الطّلاب يصل إلى الحدّ الأقصى.
- الانطلاق من نقطة محوريّة جديدة قوامها مهارات الاستقصاء العلميّ، ما أسّس للتّنوّع في الأنشطة والمشاريع في كتاب الطّالب.

www.jnob-jo.com

- تـوزّع المعرفـة والأفـكار العلميّـة المخصّصـة لـكلّ عـام دراسـيٍّ ضمـن وحـدات بطريقـة متسلسـلة مصمّمـة لتحقيـق التّنـوّع والتّطـوّر.
- تعـدّد الـدّروس فـي كلّ وحـدة، بحيـث يعالـج كلّ درس موضوعًـا جديـدًا، منطلقًـا ممّـا تـمّ اكتسـابه فـي الـدّروس السّـابقة.
- إتاحـة الفرصـة للطّـلّاب، فـي كلِّ درسٍ، للتّحقّـق الذّاتـيّ مـن معارفهـم ولممارسـة قدرتهـم علـى حـلّ المشـكلات.
- احتـواء كلّ وحـدة علـى تقويـم للـدّرس وتقويـم الوحـدة الّتـي تمكِّـن الطّـلّاب والأهـل والمدرّسـين مـن تتبّـع التّعلّـم والأداء.

العلـوم مجموعـة مـن المعـارف الّتـي تشـمل الحقائـق والأشـكال والنّظريّـات والأفـكار. ولكـنَّ العالِـم الجيّـد يفهـم أنّ «طريقـة العمـل» فـي العلـوم أكثـر أهمّيّـة مـن المعرفـة الّتـي تحتويهـا.

سـوف يسـاعد هـذا الكتـاب الطُّـلّاب علـى تقديـر جميـع هـذه الأبعـاد واعتمادهـا ليصبحـوا علماء ناجحيـن وليواجهـوا مجموعـة واسـعة مـن التّحدّيـات فـي حياتهـم المهنيّة المسـتقبليّة.

مفتاح كفايات الإطار العام للمنهج التّعليمي الوطني لدولة قطر

- الاستقصاء والبحث
- التّعاون والمشاركة
- التّواصل
- التّفكير الإبداعيّ والناقد
- حلّ المشكلات
- الكفاية العددية
- الكفاية اللغويّة

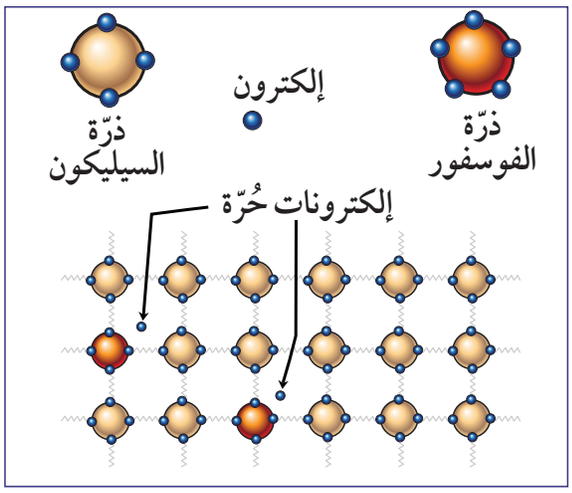
www.jnob-jo.com

الفيزياء

ماذا ستتعلّم من هذا الكتاب

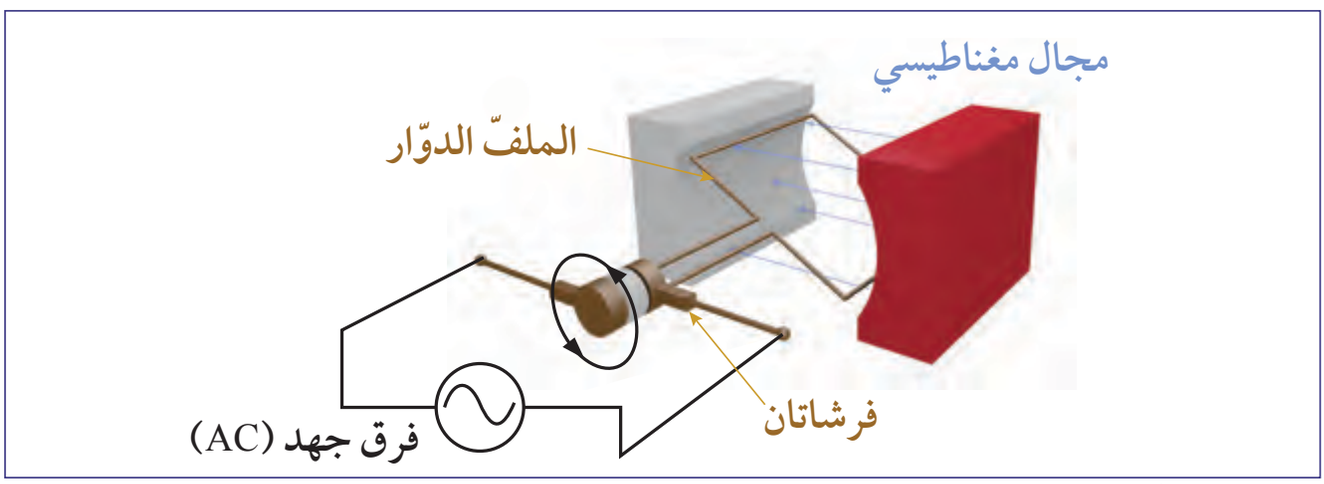
كم من الأشخاص من حولنا لديهم هاتف جوال؟ وكم منهم يعرف كيفية عمل ذلك الهاتف؟ يتناول هذا الكتاب المبادئ الأساسية لمختلف تقنيات الإلكترونيات والموجات، كالتي في الهواتف النقّالة وأجهزة الراديو والضوء.

تعلّمتَ من قبل المبادئ الأساسية للدوائر الكهربائية. تتوسّع الوحدة الأولى في تلك المبادئ لتشمل دوائر المُكثِّفات وأشباه المُوصلات. تُخزِّن المُكثِّفات الشحنة الكهربائية، وتزوِّدنا بدوائر تعتمد قيَمَها على الزمن. وخلافًا 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 مليار مفتاح صغير من أشباه الموصلات.



تستخدم أشباه الموصلات خصائص مواد كالسيليكون والفوسفور.

تقدِّم الوحدة الثانية من الفصل الدراسي الثاني مبادئ كهرباء التيّار المُتردِّد AC والحثّ الكهرومغناطيسي. ويربط التماثل اللافت في الفيزياء بين المجالين الكهربائي والمغناطيسي، ويشكّل أساس الأجهزة الفعّالة كالمولِّدات الكهربائية.



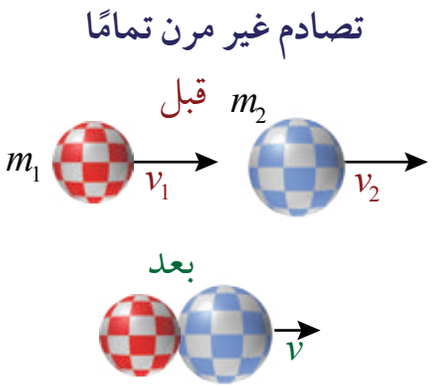
مبدأ عمل المُولِّد الكهربائي.

www.jnob-jo.com

بعض أقسام هذا الكتاب

الرّسوم التّوضيحيّة

مفاهيم مهمّة وبيانات وأمثلة لكل فكرة جديدة معروضة من خلال الإيضاحات المفصّلة والشّروحات



أسئلة للمناقشة

سؤال للمناقشة

ما الذي تتذكّره حول المغانط والمغانط الكهربائية وكثافة الفيض المغناطيسي؟

أسئلة المناقشة تزوّد الصّفّ بفرصة مناقشة المفاهيم والمعلومات الجديدة.

شريط الأفكار المهمّة

مقاوَمة المقاوِمة الضوئية تنخفض بزيادة شدة الضوء.

تحديد وتذكّر النّقاط الرّئيسة.

المسائل الرّياضيّة

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

مثلّت علاقات الكمّيّات الفيزيائيّة من خلال المتغيّرات ووحدات قياسها بشكل واضح.

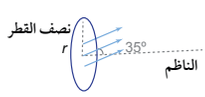
الأمثلة

مثال 4

ملفّ دائري مستوٍ فيه N = 10 لفات مصنوع من سلك موصِّل يبلغ نصف قطره 15 cm، يقع تحت تأثير مجال مغناطيسي منتظم. الزاوية بين المجال المغناطيسي والعمودي على الملفّ هي 35°. إذا ازدادت شدة المجال المغناطيسي من 2T إلى 7T خلال 15 s:

a. احسب قيمة القوة الدافعة الكهربائية الحثيّة حول الملفّ.

b. ما اتجاه التيّار الحثّي؟



تُظهر الأمثلة جميع خطوات الحلّ والتّبرير للحصول على حسابات صحيحة.

العلم والعلماء

الدرس 3-5: المُحوِّلات الكهربائية

ضوء على العلماء

نيكولا تسلا (1856-1943)

الشكل 5-37 نيكولا تسلا.

ساهم كثير من الناس في التكنولوجيا المبكرة لكهرباء التيار المتردِّد AC. وكان نيكولا تسلا واحدًا من أكثر العلماء شهرة ممن شاركوا في بدايات تلك التكنولوجيا. وُلد تسلا في الإمبراطورية النمساوية (التي تُعرف الآن باسم كرواتيا)؛ ولكنه انتقل فيما بعد إلى الولايات المتحدة.

أثارت عروض الفيزياء التي كان يجريها مُدَرّس 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

تمّ تطوير معارفنا العلميّة على مدى أكثر من ثلاثة آلاف عام. تُطلعُنا هذه المقالات على إلهام الإنسان وتبصُّرِه في التعامل مع العلم والتكنولوجيا.

www.jnob-jo.com

الأنشطة

التدرّب العملي من خلال المختبر والمشاريع البحثيّة وغيرها من الأنشطة التي تُرسّخ معاني الأفكار الجديدة وتطوّر العمل المخبري.

نشاط عملي

b3-4 استكشاف دوائر مُجزِّئ الجهد

سؤال الاستقصاء	استكشف كيف تعمل المُكوِّنات المختلفة في دائرة مُجزِّئ الجهد.
الموادّ المطلوبة	مصباح، مجفِّف شعر، مقاوِمات مختلفة ذات قيم ثابتة مثل100kΩ، 150kΩ، مقياس للجهد، مقاوِمة ضوئية، مقاوِمة حرارية، مصدر للطاقة، ملتيميتر. (اختياريًّا: مصابيح وصافرات).

الخطوات

تقويم الدّرس

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

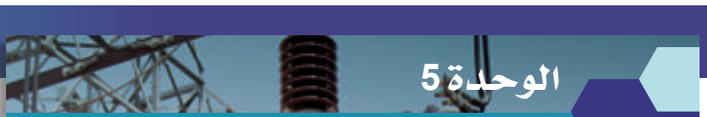
تقويم الدرس 3-5

1. املأ الجدول الآتي لمحوّل مثالي:

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

مراجعة الوحدة

ملخّص قصير عند نهاية كل وحدة وهو مرجع سريع للأفكار والمصطلحات الرئيسة.



الوحدة 5

مراجعة الوحدة

الدرس 5-1: الحث الكهرومغناطيسي

- **الحث الكهرومغناطيسي** هو ظاهرة تولُّد تيار كهربائي حثّي في موصل عند تغيّر الفيض المغناطيسي الذي يقطعه الموصل بالنسبة للزمن.
- **التيار الكهربائي الحثّي** هو التيار الذي يمر في الموصّلات، نتيجة لتغيُّر الفيض المغناطيسي.
- **الفيض المغناطيسي** هو شدّة المجال المغناطيسي، B ، الذي يخترق مساحة A.

تقويم الوحدة

زوّدت كل وحدة بمجموعة من الأسئلة ذات الخيارات المتعددة كعينة تحضّر الطالب لاختبار نموذجي.

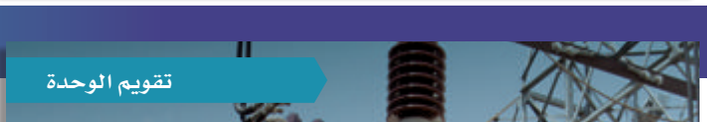
تقويم الوحدة

اختيار من مُتعدّد

1. ماذا تُسمّى المادة التي توصل التيار الكهربائي بسهولة؟
   - a. موصلًا
   - b. عازلًا
   - c. شبه موصل.
   - d. شبه موصل فائقًا.

تقويم الوحدة

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



تقويم الوحدة

29. لماذا لا يستطيع المحوّل أن يعطي 25 V DC، عند وصله ببطارية سيّارة قوة دفعها الكهربائية 9V ؟
30. تنتج إحدى محطّات الطاقة، كهرباء بفرق جهد 13,200 V، ويخفّض محوّل فرق الجهد إلى 240 V للاستخدام المنزلي.
    - a. ما القدرة الابتدائية في الخط الذي يبلغ فرق الجهد فيه 13,200 V إذا كانت شدّة تياره 500 A.

www.jnob-jo.com

مخطّط المادّة

الوحدة 4

الأجهزة الإلكترونية في دوائر التحكُّم العملية

يخزّن المُكثِّف الشحنة الكهربائية، ويُزَوِّدنا بدوائر تعتمد قيمتها على الزمن. الترانزستورات والدايودات هما من أجهزة أشباه الموصلات التي تُستخدَم لبناء دوائر المنطق.

الوحدة 5

الحثّ الكهرومغناطيسي

يُولِّد المجال المغناطيسي الذي يتغيّر مع الزمن تيارًا حثّيًا في ملف سلكي. تعتمد المولِّدات الكهربائية وسواها من التقنيّات على مبدأ الحث هذا.

جدول المحتويات

الوحدة 4

الأجهزة الإلكترونية في دوائر التحكُّم العملية 2

الدرس 4-1 المُكثِّفات 4

الدرس 4-2 أشباه الموصلات 17

الدرس 4-3 مُجزِّئ الجهد 26

الدرس 4-4 البوّابات المنطقية 37

الوحدة 5

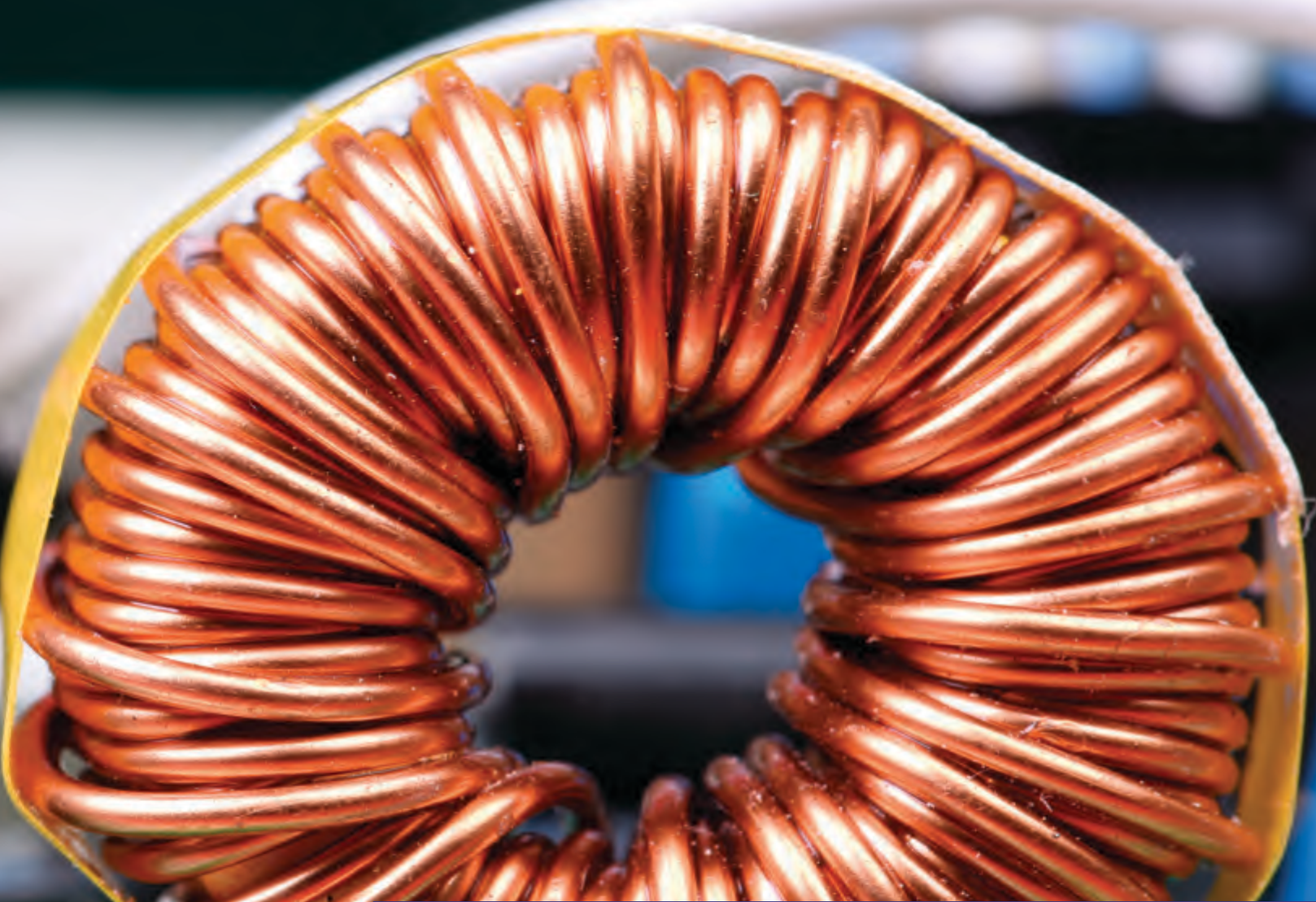
الحثّ الكهرومغناطيسي 54

الدرس 5-1 الحثّ الكهرومغناطيسي 56

الدرس 5-2 مولِّدات التيّار المتردِّد (AC) 72

الدرس 5-3 المُحوِّلات الكهربائية 83

www.jnob-jo.com



الوحدة 4
الأجهزة الإلكترونية في دوائر التحكُّم العملية

في هذه الوحدة

الدرس 4-1: المُكثِّفات
الدرس 4-2: أشباه الموصلات
الدرس 4-3: مُجزِّئ الجهد
الدرس 4-4: البوابات المنطقية

P1109
P1110
P1111

www.jnob-jo.com

الوحدة 4

مقدّمة الوحدة

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

يتغيّر الجهد والتيار الكهربائيّان مع الزمن في دوائر التحكُّم. يعرّفنا الدرس الأوّل بالمكثّفات التي تُخزِّن 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 المكوِّنات الأساسية لدوائر التحكُّم. يتكوّن مُجزّئ الجهد من مقاومات ويقوم بالعمل الذي يدلّ عليه اسمه. البوابات المنطقية هي دوائر أشباه موصلات تحتوي على العديد من الترانزستورات والمقاومات والمكثّفات. وتقوم باتخاذ قرارات التشغيل الإلكترونية لمُنبِّه عند تحفيز مستشعر النافذة، أو مستشعر الباب.

الأنشطة والتجارب

1-4 دوائر المكثفات

a3-4 دائرة مُجزِّئ الجهد

b3-4 استكشاف دوائر مُجزِّئ الجهد

4-4 الدوائر المنطقية

www.jnob-jo.com

الدرس 4-1
المُكثِّفات

يتزايد استخدام السيّارات الكهربائية والهجينة يومًا بعد يوم. ويوظِّف العلماء والمهندسون مزيدًا من الوقت والمال لزيادة كفاءتهما وجعلهما صديقتين للبيئة ما أمكن. لمكثفات الألومنيوم الإلكتروليتية ومُكثِّفات الغشاء الرقيق دور أساسي في السيّارات الكهربائية والهجينة.

الشكل 4-1 سيّارة كهربائية أثناء شحنها.

تُستَعمل المُكثِّفات في عاكس المُحرِّكات، وعاكس التيار AC/DC والشواحن، وكذلك في نظام المكابح التجديدي، حيث يلتقط هذا النظام الطاقة الحركية المفقودة كحرارة، عند انخفاض سرعة السيّارة، ويُحوِّلها إلى كهرباء. يُخزِّن المُكثِّف الطاقة الكهربائية لفترة وجيزة من الوقت، قبل إعادة تدويرها، لزيادة سرعة السيّارة مرّة أخرى. حتى أن بعض السيّارات تستعمل المُكثِّفات الفائقة للحصول على الطاقة المتجدّدة من المكابح.

يقوم العلماء والمهندسون بمحاولات حثيثة، لتوظيف بطاريات الليثيوم الثقيلة والمُكلِفة مع المُكثِّفات الفائقة.

مخرجات التّعلُّم

P1109.1 يصف كيف تصنع المُكثِّفات ويستقصي خصائصها في الدوائر الكهربية.

P1109.2 يعرّف سعة المكثف ويحل مسائل حسابية باستخدام المعادلة: $Q = C.V$ ويشتق الصيغة ويستخدمها في حساب الطاقة المختزنة في المُكثِّف: $U = \frac{1}{2}QV$.

P1109.3 يستقصي شحن المُكثِّف وتفريغه، ويحل مسائل حسابية باستخدام الثابت الزمني: $\tau = RC$.

P1109.4 يشتق صيغ السعة المكافئة لمكثفات متصلة على التوالي والتوازي، ويستخدمها في حل مسائل حسابية.

المفردات

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

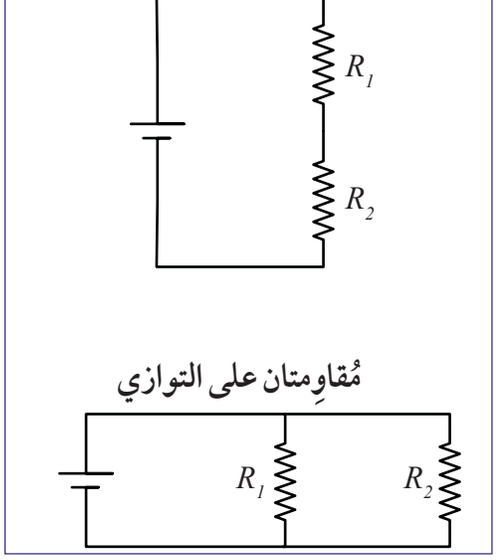
www.jnob-jo.com

مراجعة للدوائر الكهربائية

1. التيار الكهربائي هو تدفُّق الجُسيمات المشحونة، ومثاله حركة الإلكترونات داخل الموصلات. وحدة قياس شدة التيار الكهربائي، هي الأمبير(A).
2. يُعزى تدفُّق التيار إلى فرق الجهد، ووحدة قياس فرق الجهد هي الفولت (V). يقاس فرق الجهد بين نقطتين في الدائرة.
3. تُحدِّد المُقاوِمات الكهربائية كمّية التيار المُتدفِّق نتيجة لفرق جهدٌ معيَّن. وتسمح المقاومة الكبيرة لتيار صغيرفقط بالمرور. بينما تمرِّر المُقاوِمة الصغيرة تيارًا كبيرًا. وحدة قياس المقاوِمة هي الأوم (Ω).

يمكننا توصيل الدوائر الكهربائية على التوالي، أو على التوازي، كما في **الشكل 4-2**. للدوائر المتصلة على التوالي مسار واحد يتبعه التيار.

تتضمّن الدائرة المتصلة على التوازي مسارات متعددة، يمكن أن يسري فيها التيار الكهربائي.



الشكل 4-2 مُقاوِمات على التوالي وعلى التوازي.

صيغ مهمّة:

مُقاوِمات على التوالي

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

مقاومات على التوازي

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

قانون أوم

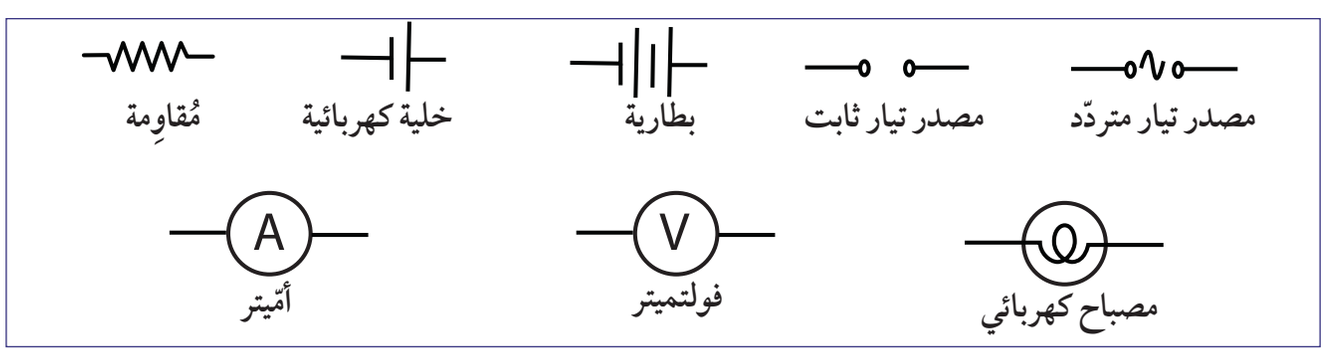
$$V = IR$$

القدرة الكهربائية

$$P = VI$$

الرموز الكهربائية

تُستخدَم الرموز في **الشكل 4-3** إضافة إلى الأدوات الكهربائية والأسلاك، لإتمام رسوم الدوائر الكهربائية.



الشكل 4-3 مراجعة للرموز الكهربائية.

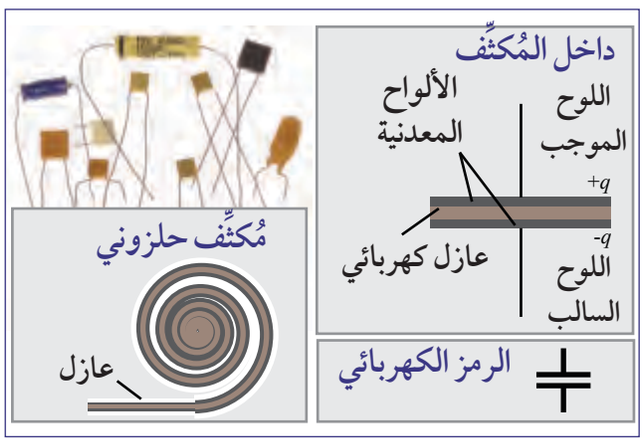
www.jnob-jo.com

المُكثِّف

المُكثِّف Capacitor هو جهاز يخزّن الشحنات الكهربائية، ويولِّد حول طرَفيْه جهدًا يتناسب طرديًّا مع كمّية الشحنة المُختزنة. تُخزّن المُكثِّفات الطاقة الكهربائية، وهي تستعمل في كثير من الأدوات الإلكترونية.

مُكوِّنات المُكثِّف

يتألّف المُكثِّف من لوحين معدنيَّين موصَّلين ومتوازيين، يفصل بينهما عازل كهربائي (**الشكل 4-4**). وعلى الرغم من أن اللوحين المعدنيَّين متقاربان جدًّا، فإن العازل يمنع أي اتصال كهربائي بينهما. تتنوّع الموادّ التي تكون عوازل كهربائية، فمنها الزجاج والمطّاط والسيراميك والورق، ومواد أخرى. لتخزين شحنة أكبر يلجأ المصنِّعون إلى لف الألواح مع العازل بشكل لولبي. ويرمز للمُكثِّف الكهربائي في الدوائر الكهربائية بخطَّين متوازيين يمثّلان اللوحين المعدنيين المتوازيين للمُكثِّف.



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

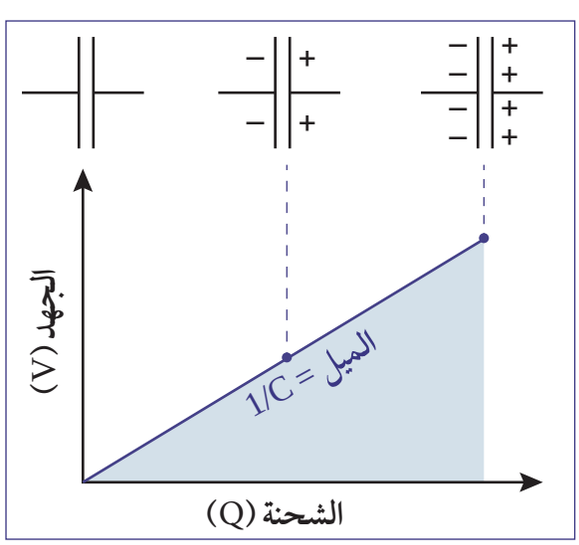
في بعض الدوائر الكهربائية، يمكننا توصيل المُكثِّف على التوالي مع مقاومة وبطّارية. عند إتمام الدائرة وإغلاق المفتاح الكهربائي، يبدأ المُكثِّف بشحن نفسه. تتراكم الشحنات الموجبة على أحد اللوحين، وتتراكم كمية مماثلة من الشحنات السالبة على اللوح الآخر. ينشأ من اختلاف الشحنات على اللوحين فرق جهد كهربائي.

1-4 السعة الكهربائية

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

C	السعة الكهربائية (F)
Q	الشحنة الكهربائية (C)
V	الجهد الكهربائي (V)

السعة الكهربائية Capacitance هي نسبة الشحنة الكهربائية المختزنة في مُكثِّف إلى فرق الجهد بين لوحيه. أما وحدة قياس السعة، فهي الفاراد (F) نسبة إلى مايكل فـاراداي. يستطيع مُكثِّف سعته 1 فاراد تخزين 1 كولوم من الشحنة وحفظه، إذا كان فرق الجهد بين طرفَيه هو 1 فولت. تمثّل المعادلة (4-1) العلاقة بين الشحنة الكهربائية والسعة وفرق الجهد. يعدّ كولوم واحد كمية كبيرة من الشحنات الكهربائية، وبالتالي فإن فارادًا واحدًا هو أيضًا مقدار كبير من السعة. تتراوح السعة المستخدمة في مجال الإلكترونيات بين بيكوفاراد واحد ($1pF = 10^{-12}F$) إلى بضع مئات من الميكروفاراد ($1\mu F = 10^{-6}F$).

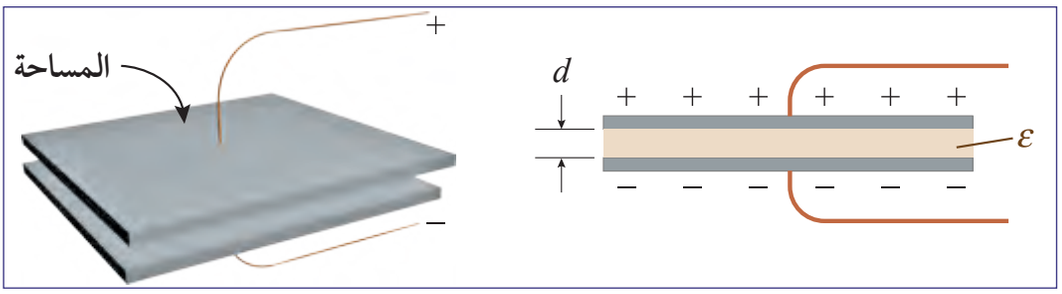


الشكل 4-5 السعة الكهربائية هي معكوس ميل منحى V بدلالة Q.

www.jnob-jo.com

المكثف المتوازي اللوحين

يتألّف أبسط أنواع المكثفات من لوحين موصلين ومتوازيين مساحتهما المشتركة A وتفصل بينهما مسافة d كما في **الشكل 4-6**. تُملأ المنطقة بين اللوحين بمادة عازلة سماحيتها حيث $\varepsilon = \varepsilon_0\varepsilon_r$، ثابت السماحية للوسط ε، سماحية الهواء أو الفراغ ε_0 ، ثابت العزل للمادة العازلة ε_r وإذا كان الوسط العازل فراغًا تكون سماحيته $\varepsilon_o = 8.85 \times 10^{-12}$ F/m و $\varepsilon_r = 1$.



الشكل 4-6 المكثف المتوازي اللوحين.

4-2 الطاقة المختزنة في المُكثِّف

$$C = \varepsilon_0\varepsilon_r\frac{A}{d}$$

C	السعة الكهربائية (C)
A	مساحة اللوحين (m^2)
ε	السماحيّة (F/m)
d	المسافة بين اللوحين (m)

تزداد السعة الكهربائية بازدياد مساحة اللوحين وتنقص بازدياد المسافة بينهما (المعادلة 4-2). تُملأ المنطقة بين اللوحين، في حالة الأجهزة الالكترونية، بمادة عازلة تكون سماحيتها ε أكبر من سماحية الفراغ ε_o وذلك من أجل زيادة السعة الكهربائية. المواد العازلة المعروفة كالزجاج والبلاستيك لها سماحية $\varepsilon = (10 - 20) \times 10^{-12}$ F/m بينما سماحية الماء 708×10^{-12} F/m. يُعرّف 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 $1\ m^2$ والمسافة بينهما 1 mm حيث العازل هو الفراغ .

الحل:

$$C = \varepsilon_0\varepsilon_r\frac{A}{d} = \left(8.85\times10^{-12}\ \text{F/m}\right)(1)\left(\frac{1\ \text{m}^2}{0.001\ \text{m}}\right) = \boxed{8.85\times10^{-12}\ \text{F}}$$

مثال 2

احسب المساحة المشتركة للوحي مكثف إذا كانت سعته الكهربائية 10^{-5} F والمسافة بين لوحيه 0.1 mm وثابت العازل بين لوحيه $\varepsilon_r = 3.5$.

الحل:

$$C = \varepsilon_0\varepsilon_r\frac{A}{d} \rightarrow A = \frac{Cd}{\varepsilon_0\varepsilon_r} = \frac{\left(10^{-5}\ \text{F}\right)\left(0.0001\ \text{m}\right)}{\left(8.85\times10^{-12}\ \text{F}\right)\left(3.5\right)} = \boxed{32.3\ \text{m}^2}$$

www.jnob-jo.com

الطاقة المختزنة في المُكثِّف

أحد لوحي المُكثِّف يُخزِّن شحنات موجبة، بينما يخزّن اللوح الآخر كمية مماثلة من الشحنات السالبة. يؤدي تجمّع شحنة موجبة مقدارها 1 C على أحد لوحي المكثف وأخرى سالبة 1 C– على لوحه الآخر إلى طاقة وضع كهربائية تختزن في المكثف تسمى فرق الجهد بين اللوحين، وحدة قياسها الفولت (volt). تعبّر المعادلة (3-4) عن الطاقة الكهربائية التي يختزنها المُكثِّف لشحنة Q وتقاس هذه الطاقة بالجول.

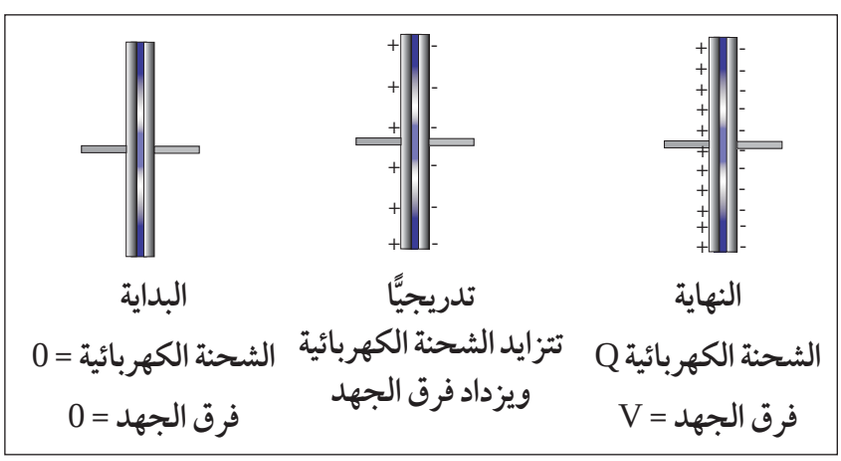
3-4	الطاقة المختزنة في المُكثِّف	E	الطاقة المختزنة (J)
	$E = \frac{1}{2}Q.V$	Q	الشحنة الكهربائية (C)
		V	الجهد الكهربائي (V)

الشغل المبذول والطاقة المختزنة في المكثّف

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

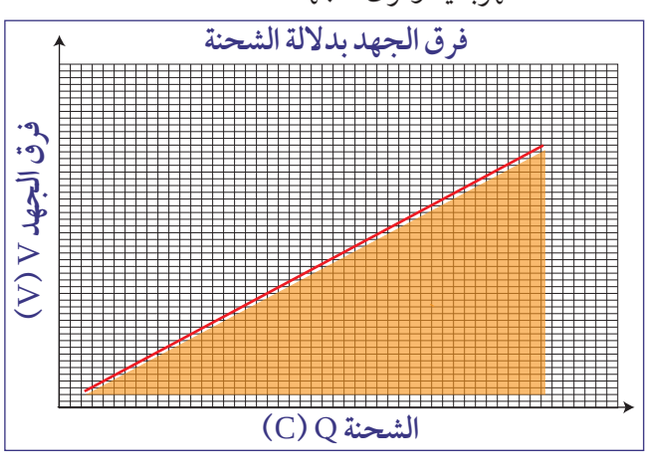
أمّا لتحريك شحنة مقدارها Q تحت فرق جهد V، فإن الطاقة المختزنة تكون E. الأمر الذي يمكننا من كتابة المعادلة: $V = \frac{E}{Q}$

يوضِّح **الشكل 4-7** تزايد الشحنة الكهربائية، وفرق الجهد، تدريجيًّا، في المُكثِّف الفارغ أثناء شحنه. يتطلَّب تخزين الشحنة الأولى شغلًا قليلًا ويكون فرق الجهد قليلًا أيضًا.



الشكل 4-7 ازدياد الشحنة الكهربائية وفرق الجهد.

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



الشكل 4-8 رسم بياني للعلاقة بين الشحنة الكهربائية وفرق الجهد.

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

www.jnob-jo.com

مثال 3

مُكثِّف سعته 50 µF يُراد شحنه ليكون فرق الجهد حول طرفيه 60 V.

1. احسب الشحنة الكهربائية للمُكثِّف.
2. احسب الطاقة المُختزَنة في المُكثِّف.
3. احسب الطاقة المُختزَنة في المُكثِّف إذا تضاعف فرق الجهد بين طرفَيْه إلى 120 V.

المطلوب:

1. الشحنة الكهربائية Q.
2. الطاقة المختزنة E.
3. الطاقة المختزنة E إذا كان فرق الجهد 120V.

المُعطى: $C = 50\ \mu F$

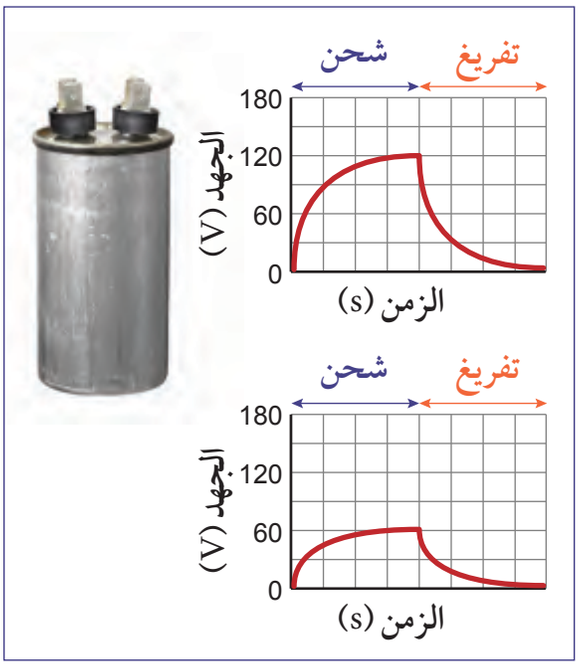
$V = 60V$

$V = 120V$

العلاقات:

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

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



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

الحل:

1. الشحنة الكهربائية للمُكثِّف يُعبَّر عنها بـ:

$$Q = CV = 50\ \mu F(60V) = (50\times10^{-6}F)(60V) = 0.003C$$

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

3. عند تضاعُف فرق الجهد بين طرفَي المُكثِّف فإن شحنته الكهربائية تتغيَّر، لتصبح:

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

الطاقة المُختزَنة في المُكثِّف تصبح عندها:

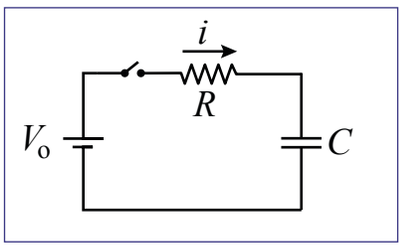
$$E = \frac{1}{2}Q.V = \frac{1}{2}(0.006C)(120V) = 0.36J$$

www.jnob-jo.com

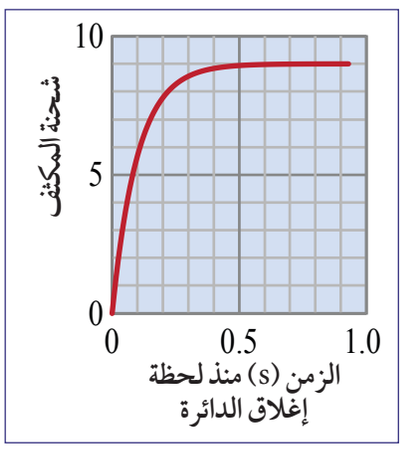
شحن المُكثِّف

يُشحَن المُكثِّف بوصل طرفَيْه بمصدر فرق الجهد (**الشكل 4-10**).

1. عند غلق الدائرة الكهربائية، يمرّ التيّار الكهربائي، حتى يتراكم ما يكفي من الشحنات على طرفَي المُكثِّف لتوليد أقصى فرق جهد V_o.
2. يتوقّف التيّار الكهربائي عن التدفُّق عندما يصل فرق جهد طرفَي المُكثِّف إلى V_o، فيتعادل عندها فرق جهد المصدر مع فرق جهد المُكثِّف.



الشكل 4-10 المُكثِّف في دائرة كهربائية



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

يعتمد معدَّل تراكم الشحنة الكهربائية على سعة المُكثِّف، وعلى المقاوِمة الكلية في الدائرة. تعرّف المعادلة 4-4 **الثابت الزمني τ Time constant**، كحاصل ضرب المقاومة الكلية R للدائرة في سعة المكثف C. وتكون الثانية (s) وحدة قياس الثابت الزمني .

3. نرى في **الشكل 4-11** أن شحنة المُكثِّف تصل الى 63% من قيمتها القصوى، في الفترة الزمنية 1τ(واحد ثابت زمني) من بدء عملية الشحن.

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

يستغرق شحن المُكثِّف بالكامل ما يقارب (5 τ). وهي المدة نفسها التي يحتاج إليها هذا المُكثِّف لتفريغ شحنته في المقاوِمة نفسها.

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

شحن المُكثِّف		تفريغ المُكثِّف	
الشحنة %	τ	الشحنة %	τ
63.2	1	36.8	1
86.5	2	13.5	2
95.0	3	5.0	3
98.2	4	1.8	4
99.3	5	0.7	5

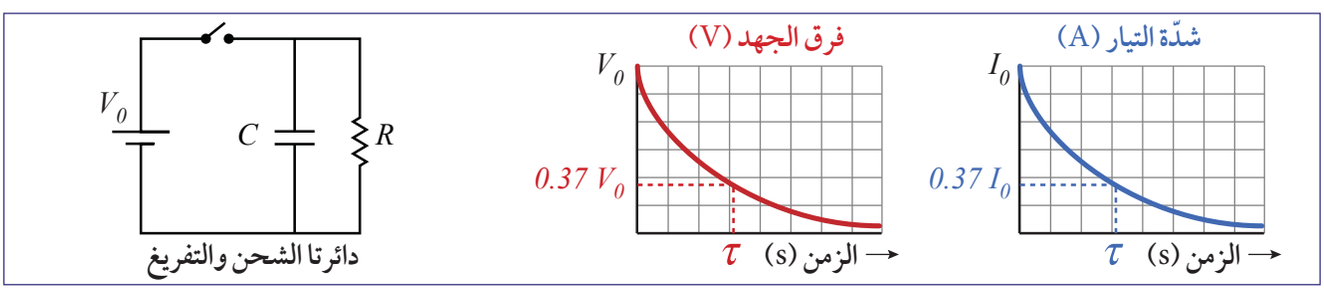
الجدول 4-1 شحن وتفريغ المكثف.

www.jnob-jo.com

تفريغ المُكثِّف

تُعدّ علاقة فرق الجهد بالزمن علاقة أُسّيَّة عند شحن المُكثِّف أو تفريغه. لاحتساب شدّة التيار وفرق الجهد عند أي لحظة زمنية نستخدم المعادلتين 4–4 و 4–5. يُظهر **الشكل 4-12** منحيي شدّة التيار وفرق الجهد عند تفريغ المكثّف.

5-4	فرق الجهد اللحظي أثناء تفريغ مُكثِّف	V	فرق الجهد (V)
$V = V_o e^{-\frac{t}{\tau}}$		V_o	فرق الجهد الابتدائي (V)
		t	الزمن (s)
6-4	التيار الكهربائي أثناء تفريغ المُكثِّف	τ	الثابت الزمني (s)
$I = I_o e^{-\frac{t}{\tau}}$		I	شدّة التيار (A)
		I_o	التيار الابتدائي (A)



الشكل 4-12 دائرتا الشحن والتفريغ لمكثف ومنحنيا فرق الجهد وشدّة التيار بالنسبة للزمن.

مثال 4

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

المطلوب: الثابت الزمني

المُعطى: t = 5s، النسبة المئوية للتفريغ = 10%

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

الحل: فرق جهد المُكثِّف أثناء تفريغ شحنته: $V = V_o e^{-\frac{t}{\tau}}$

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

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

بقسمة طرفَي المعادلة على V_o : $0.10 = e^{-\frac{5}{\tau}}$

احسب لوغاريتم طرفَي المعادلة : $\ln 0.10 = -\frac{5}{\tau} \Rightarrow \tau = \frac{-5}{\ln 0.10} = 2.17\text{s}$

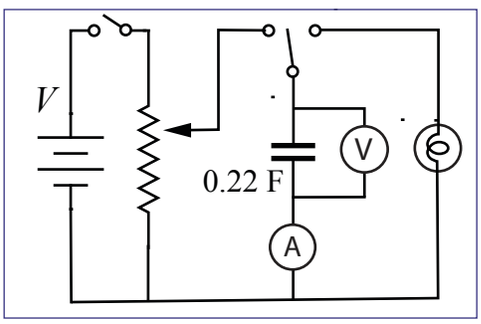
www.jnob-jo.com

نشاط عمليّ

1-4 دوائر المُكثِّفات

سؤال الاستقصاء	ما العلاقة بين شدّة التيار وفرق الجهد حول طرفَي المُكثِّف؟
الموادّ المطلوبة	مستشعر فرق جهد وشدّة تيار، مُكثِّف 0.22 F، مقاوِمة 10 Ω، مصباح، مفتاحان، بطارية 1.5 V، أسلاك توصيل، مقياس جهد وملاقط تمساح.

خطوات التجربة



الشكل 4-13 دائرة النشاط.

1. ركِّب الدائرة واضبط مقياس الجهد (انظر ورقة العمل).
2. اضبط مخرج مقياس الجهد على 0.5V.
3. ابدأ بتسجيل V بدلالة t و I بدلالة t .ثم بدِّل وضع المفتاح لشحن المُكثِّف، وتسجيل البيانات، حتى يصبح فرق الجهد ثابتًا.
4. بدِّل وضع المفتاح لتفريغ المُكثِّف. سجِّل البيانات حتى يصبح فرق الجهد ثابتًا، الأمر الذي يسمح للمُكثِّف بتفريغ شحنته في المصباح.
5. أعد خطوات التجربة مستخدمًا أربع قيم مختلفة لفرق الجهد حتى 3V.

أسئلة

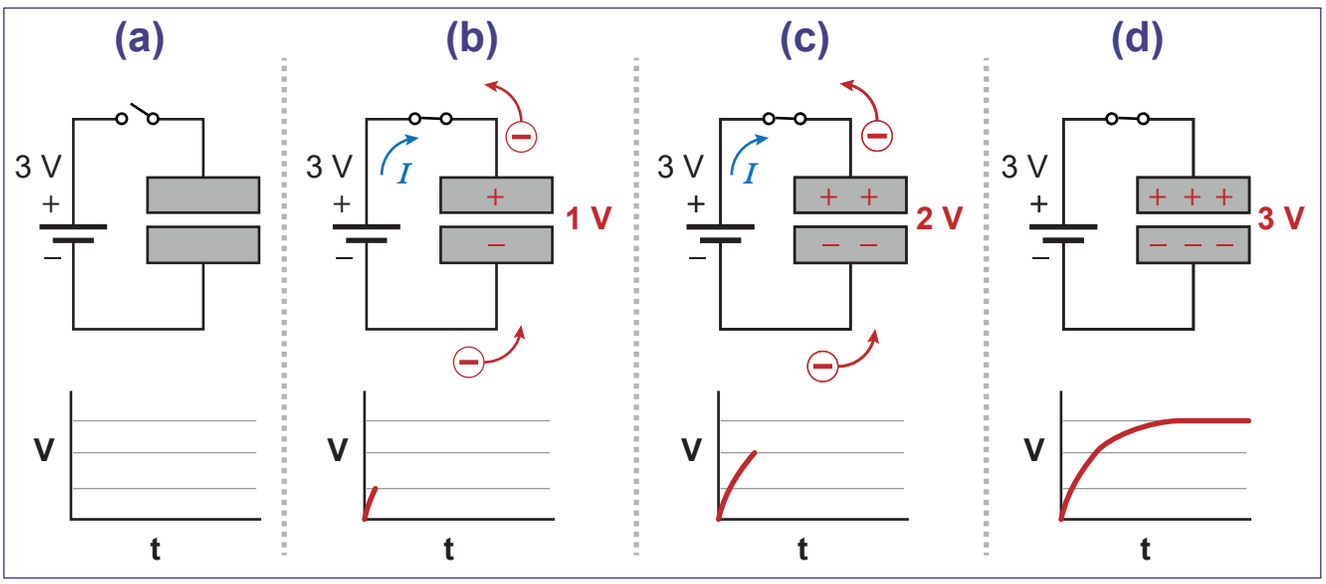
a. صف شدّة التيار وفرق الجهد أثناء شحن المُكثِّف مستعملًا بيانات شدة التيار وفرق الجهد بدلالة الزمن.
b. صف شدة التيار وفرق الجهد أثناء تفريغ المكثف في المصباح. ما هي علاقة شدة التيار وفرق الجهد بشدة إضاءة المصباح؟
c. استعمل الرسم البياني للتيار كي تُقدّر قيمة شحنة المُكثِّف عند فروق جهد مختلفة. (انظر ورقة العمل).
d. أنشئ رسمًا بيانيًا للشحنة بدلالة فرق الجهد. هل يدعم المنحنى فرضية أن الشحنة تتناسب طرديًّا مع فرق الجهد؟
e. استخدم الرسم لحساب الطاقة المُختزَنة في المُكثِّف لكل قيمة من قِيَم فرق الجهد.
f. احسب مَيْل منحنى Q بدلالة V. هل يساوي هذا المَيْل سعة المُكثِّف؟
g. احسب الثابت الزمني لكل وضعية من مقياس الجهد. كيف تعكس بيانات الشحن قِيَم الثابت الزمني؟

www.jnob-jo.com

فهم كيفية تدفق التيار الكهربائي في المُكثِّف

ليس هناك أي توصيل كهربائي بين لوحَي المُكثِّف، فالممر بينهما قد سُدّ بعازل كهربائي. إلا أن التيار الكهربائي يستطيع أن يتدفَّق ولكن ليس عبر المُكثِّف.

انظر إلى الرسوم في **الشكل 4-14**.



الشكل 4-14 مرور الشحنات والتيار في المُكثِّف.

a. البطارية 3V والمفتاح غير مغلق. لا أثر لمرور التيار.

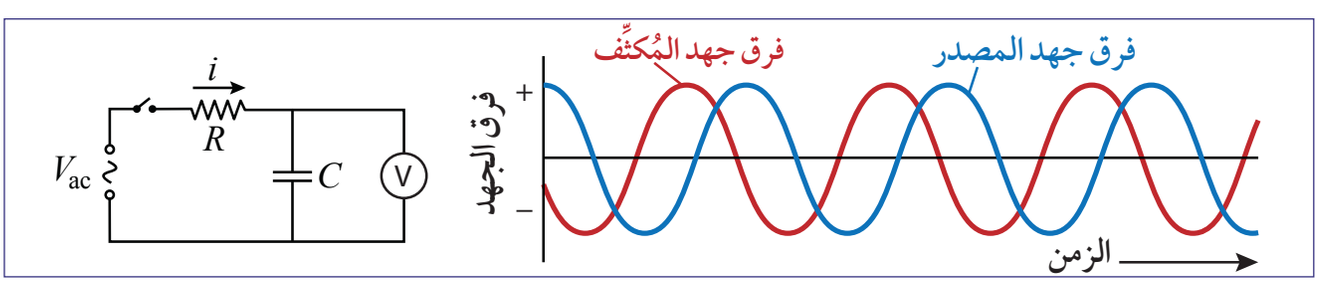
b. المفتاح مغلق والتيار يسري. يجذب القطب الموجب للبطارية الإلكترونات من لوح المُكثِّف الموصول به، فيترك على اللوح شحنات موجبة. تقوم الشحنات الموجبة بجذب الإلكترونات من قطب البطارية السالب، لتتراكم شحنات سالبة على اللوح الآخر للمكثف

c. يزداد فرق جهد المكثف كلما ازداد تراكم الشحنات على لوحَيْه.

d. يتوقَّف مرور التيار عند تراكم ما يكفي من الشحنات، لتوليد فرق جهد بين اللوحين مساوٍ لفرق جهد البطارية.

يعمل المُكثِّف المشحون بالكامل كدائرة مفتوحة، فيتوقَّف مرور التيار فيه. يمر التيار فقط أثناء عمليتي الشحن والتفريغ.

في دوائر التيار المتردّد(AC) ينعكس التيار مرتين في كل زمن دوري. ويحاول جهد المُكثِّف دائما اللحاق بجهد المصدر (**الشكل 4-15**)، الأمر الذي يجعل المُكثِّف في حالة شحن أوتفريغ على الدوام.



الشكل 4-15 فرق جهد المُكثِّف تحت تأثير تيار متردِّد.

www.jnob-jo.com

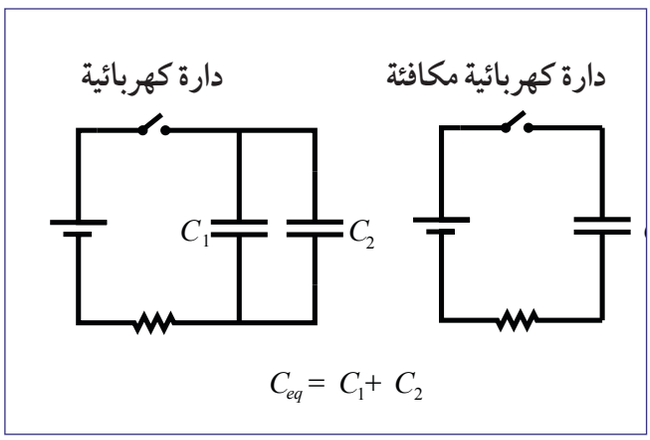
المُكثِّفات في دوائر التيار المُستمرّ

إذا اشتملت الدائرة الكهربائية على أكثر من مُكثِّف، فإن السعة عندها تتمثَّل بنموذج مُكثِّف مُكافِئ لكل المُكثِّفات. تشبه هذه الطريقة نموذج المقاوِمة المُكافِئة لمقاوِمتين أو أكثر في دائرة كهربائية واحدة. نلاحظ أن هذا التحليل يفترض تغذية الدائرة بتيار مستمرّ لا يكاد يتغيَّر مقارنة بالثابت الزمني للمجموعة. أما الدوائر التي تتغذى بتيار متردد سريع التغيُّر فإنها تتصرف بطريقة مختلفة.

المُكثِّفات المتّصلة على التوازي

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

$$Q_{eq} = Q_1 + Q_2$$
$$C_{eq}V = C_1V + C_2V$$
$$\Rightarrow \quad C_{eq} = C_1 + C_2$$



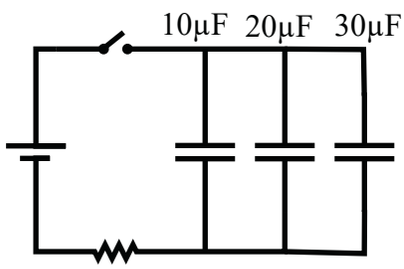
الشكل 4-16 مُكثِّفان متصلان على التوازي.

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

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

مثال 5

ما هي السعة المكافئة عند توصيل مُكثِّف 10 µF ومُكثِّف 20 µF، ومُكثِّف 30 µF 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: لحل هذه المسألة علينا استخدام العلاقة المعطاة:

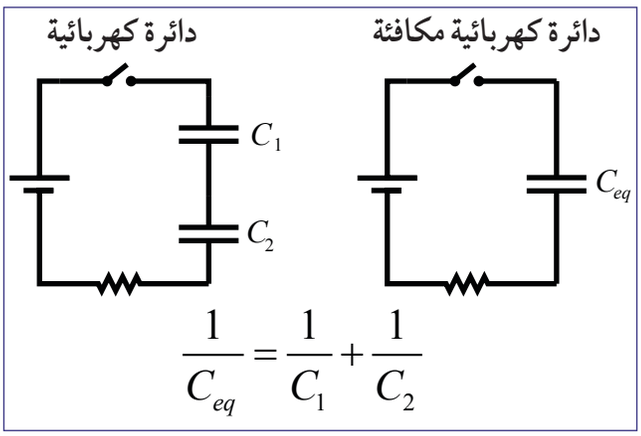
$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 = 10\mu F + 20\mu F + 30\mu F = \boxed{60\mu F}$$

www.jnob-jo.com

المُكثِّفات المتصلة على التوالي

عند توصيل مُكثِّفين على التوالي (**الشكل 4-17**)، فإن الشحنات المتراكمة على لوحي كلّ منهما يجب أن تكون متساوية، بحسب مبدأ **حفظ الشحنات Conservation of charge**. أي إن مقدار الشحنة في الدائرة يبقى ثابتًا.

تتدفق الشحنات لتتوزَّع على الألواح الفارغة للمُكثِّفات بالتساوي، فيزداد جهد كل منهما ليكون الجهد المكافئ حاصل جمع جهدَيْهما $V = V_1 + V_2$.



الشكل 4-17 مكثفان متصلان على التوالي.

وبما أن $Q = C_1V_1$ و $Q = C_2V_2$، ونسبة الشحنة إلى السعة تساوي الجهد المكافئ، فإن:

$$V = V_1 + V_2$$

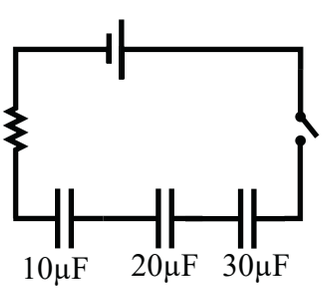
$$\frac{Q}{C_{eq}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

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

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

مثال 6

ما هي السعة المكافئة عند توصيل مُكثِّف 10 µF ومُكثِّف 20 µF، ومُكثِّف 30 µF، على التوالي؟



المطلوب: السعة المكافئة C_{eq}؟

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

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:

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

www.jnob-jo.com

تقويم الدرس 4-1

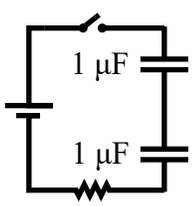
1. ما أقصى شحنة يمكن للمُكثِّف أن يختزنها؟ لا لزوم لإجراء عمليات حسابية لحل هذه المسألة.

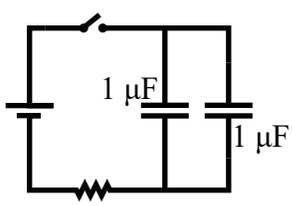
2. يبدأ المُكثِّف بتخزين شحنته بسرعة كبيرة، ولكن معدَّل التخزين يقل كلما ازداد تراكم الشحنات. اشرح بأسلوبك لماذا يحدث ذلك.

3. a. ما الثابت الزمني لمُكثِّف 400μF عند تفريغ شحنته في مُقاوِمة 60kΩ؟

   b. إذا وصلنا المُكثِّف الى بطارية 12V، فما الشحنة القصوى التي يمكن تخزينها؟

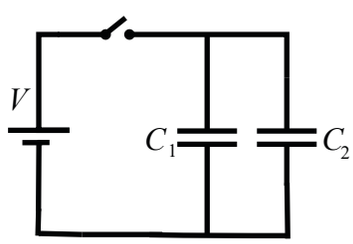
4. أنشأنا دائرتين كهربائيتين من عناصر متشابهة. في إحداهما وضعنا مُكثِّفين سعة كل منهما 1 μF على التوالي، بينما في الثانية المُكثِّفان على التوازي. أي المُكثِّفين المكافئين سيختزن شحنة أكبر؟





ادعم إجابتك بعمليات حسابية.

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



ما السعة المُكافِئة وما الشحنة الكهربائية في الدائرة؟

6. أثناء تفريغ مُكثِّف مثالي، تتغيَّر قيمة التيار بسرعة كبيرة. ارسم منحنى تغيُّر التيّار بدلالة الزمن للمُكثِّف أثناء التفريغ.

7. ما قيمتا السعة الكهربائية والمقاومة الكهربائية اللتان تتيحان الحصول على نظام بثابت زمني 1s؟ ادعم إجابتك بعمليات حسابية.

www.jnob-jo.com

الدرس 2-4

أشباه الموصلات

اجتاحت الوصلات الثنائية الباعثة للضوء، LEDs، العالم بقوة وبشكل عاصف. حيث جرى اكتشافها في العام 1907 لكنها لم تُستخدم حتى العام 1960. وهي أجهزة شبه موصِّلة تضيء عندما يتدفّق تيار كهربائي عبرها. كانت تلك الوصلات مكلفة في فترة استخدامها المبكرة، وكانت تستخدم كمؤشرات فقط. لكن بعد مرور 30 عامًا، أصبحت تستخدم في أجهزة التحكم، وبعض شاشات العرض. لم يعد يُقتصر استخدامها على شاشات التلفاز، بل أصبحت شيئًا فشيئًا بديلة لأجهزة الإضاءة.

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

الشكل 4-18 الأنواع المختلفة للوصلات الثنائية الباعثة للضوء LED والتي تُستخدم في صناعات متعددّة.

مخرجات التّعلُّم

P1110.1 يـذكـر أوجـه التشابه والاختلاف بين الموصلات، وأشباه الموصلات والمواد العازلة، استنادًا إلـى الإلكترونات أو الأيونات المتحرِّكة.

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

المفردات

Electrical conductor	الموصل الكهربائي
Electrical insulator	العازل الكهربائي
Resistivity	المقاومة النوعيّة
Semiconductor	شبه موصل
Conductivity	الموصليّة
Siemens per meter	سيمنس 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

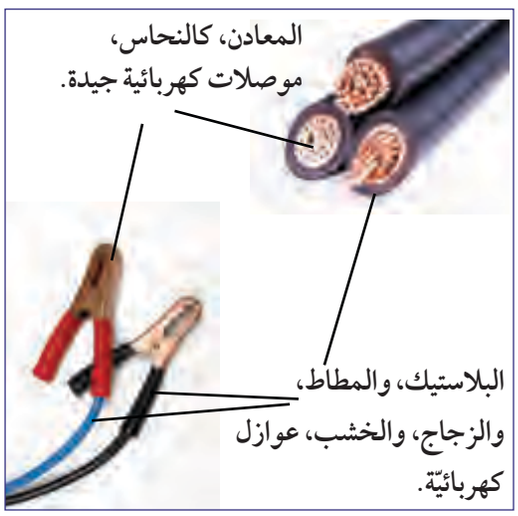
www.jnob-jo.com

الموصلات والعوازل الكهربائية

سؤال للمناقشة

اذكر أمثلة لبعض الموصلات والعوازل الشائعة؟

يمكننا إلى حدٍّ ما تصنيف المواد مُوصلات وعوازل (**الشكل 4-19**). تُعد المعادن، كالنحاس، **موصلًا كهربائيًا Electric conductor** لامتلاكه مقاومة منخفضة. ذلك أن مقاومة سلك نحاسي عيار 20 وطوله 1m، مثلًا، لا تتجاوز 0.03 Ω. لا ترتبط الإلكترونات في المدارات الخارجيّة للمعدن بأي ذرّة محدَّدة، وتكون حرة في الحركة، كما هو مبيّن في **الشكل 4-20**. فالإلكترونات الحُرّة هي التي تجعل النحاس والمعادن الأخرى موصلات كهربائيّة جيّدة.

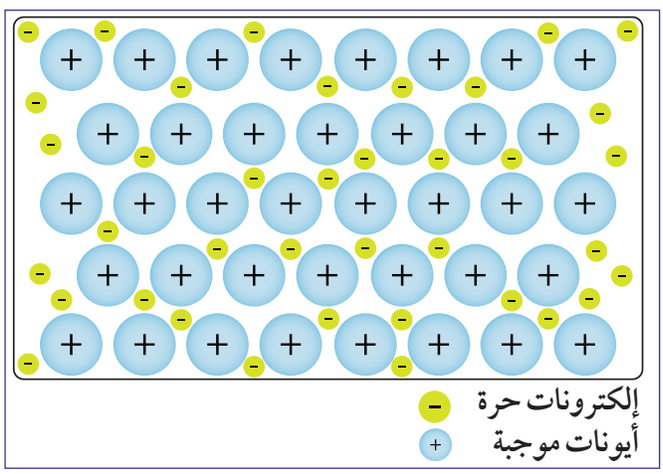


الشكل 4-19 الموصلات والعوازل.

عند وجود فرق للجهد بين طرفَي مُوصل، تنجذب الإلكترونات نحو الجهد الموجب، وتتنافر مع الجهد السالب. يوفّر فرق الجهد قوة تُحرّك الإلكترونات، وتُمرّر التيار الكهربائي. كلما كان فرق الجهد أكبر، تحرّكت الإلكترونات بشكل أسرع، الأمر الذي يزيد من انتقال القُدرة بواسطة الإلكترونات المُتحرّكة إلى الجهاز القادر على الاستفادة من تلك القُدرة، مثل المُحرِّكات الكهربائيّة.

المواد ذات المُقاوَمة الكبيرة، هي **عوازل كهربائيّة Electric insulators**. فحتى الإلكترونات في المدارات الخارجية للذرّة تكون مرتبطة ارتباطًا قويًّا بنواة تلك الذرة. وبما أن الإلكترونات لا تكون قادرة على الحركة، فلا يتدفّق تيار عند تطبيق فرق جهد بين طرفَي العازل.

يمكن أن تتجاوز مقاوَمة طبقة رقيقة من البلاستيك 1,000,000 Ω. تُغطّى الأجهزة الكهربائية والأسلاك عادةً بمادة عازلة، مثل البلاستيك. ويُعدّ الزجاج والخشب من المواد العازلة أيضًا.



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

في الموصلات، تكون بعض الإلكترونات حرَّة في الحركة.
في العوازل، تكون جميع الإلكترونات مرتبطة ارتباطًا قويًّا بنواة الذرة.

المقاومة النوعية ρ لمادّة هي مؤشر يعبّر عن مقاومتها. يمتلك النحاس مقاومة نوعية $\rho = 1.68\times10^{-8}\ \Omega\ m$. وتمتلك العوازل مقاومة نوعيّة بين $10^{9}\ \Omega\ m$ و $10^{15}\ \Omega\ m$، أي أكبر بمليار مليار مرة.

www.jnob-jo.com

أشباه الموصلات

الشكل 4-21 لوحة دائرة مع رقاقات السيليكون الميكرويّة.

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

الموصليّة

الموصليّة Conductivity هي عكس المقاومة النوعية. تعني الموصليّة العالية مقاومة مُنخفضة لتدفُّق التيار. وحدة الموصليّة الكهربائيّة هي **السيمنس لكل متر Siemens per meter (S/m)**. وبما أنّ الموصليّة هي عكس المقاومة النوعية، يكون 1 S 1 مقلوب Ω 1. يُظهر الجدول 4-2 الموصليّة لمواد نقيّة مختلفة عند درجة حرارة الغرفة.

	المادة	الموصليّة (S/m)
الموصلات	الفضة	6.8×10^{7}
	النحاس	6.0×10^{7}
	الحديد	1.0×10^{7}
العوازل	زجاج السيلكا	10^{-10}-10^{-11}
	الخرسانة	10^{-9}
	أكسيد الألومنيوم	$< 10^{-13}$
أشباه الموصلات	السيلكون	4×10^{-4}
	الجيرمينيوم	2×100
	زرنيخ الجاليوم	10^{-6}

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

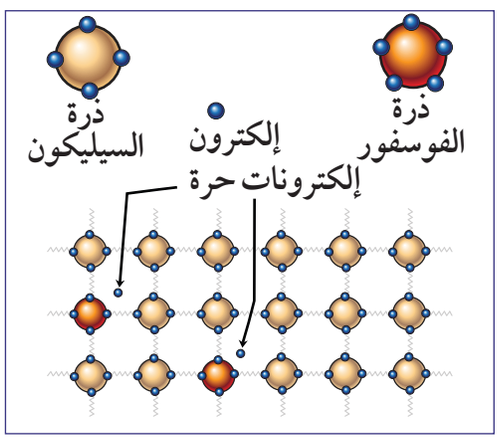
www.jnob-jo.com

التغيُّر في موصليّة السيليكون

تكمن فائدة أشباه الموصلات في الإمكانية الكبيرة لتغيُّر موصليتها بمعامل يفوق 10,000، وذلك عن طريق إضافة كميّة صغيرة من عنصر آخر، كالبورون أو الفوسفور. تقوم إضافة ذرّة واحدة من الفوسفور لكل 10 ملايين ذرّة سيليكون بزيادة الموصليّة بمقدار 20,000. أما إضافة مثل تلك الكمّيات الصغيرة إلى عناصر أخرى لا يكون لها أي تأثير في الموصلات والعوازل العادية.

أشباه الموصلات من النوع السالب

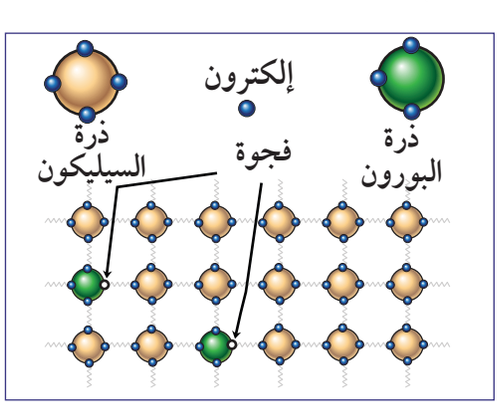
تمتلك ذرّات الفوسفور خمسة إلكترونات تكافؤ، مقارنة بذرّات السيليكون التي تمتلك أربعة منها. عندما ترتبط ذرّات الفوسفور بشبكة ذرّات السيليكون، فإن أربعة من أصل خمسة إلكترونات تكافؤ من ذرّة الفوسفور ترتبط بذرّات السيليكون المجاورة. أما الإلكترون الإضافي فلا يرتبط بأي ذرّة محدَّدة، ويكون حرًّا ليحمل التيار (**الشكل 4-22**). وهكذا فإن إضافة شائبة الفوسفور إلى السيليكون تشكِّل شبه موصل من النوع السالب n الذي تقوم فيه الإلكترونات بحمل التيّار.



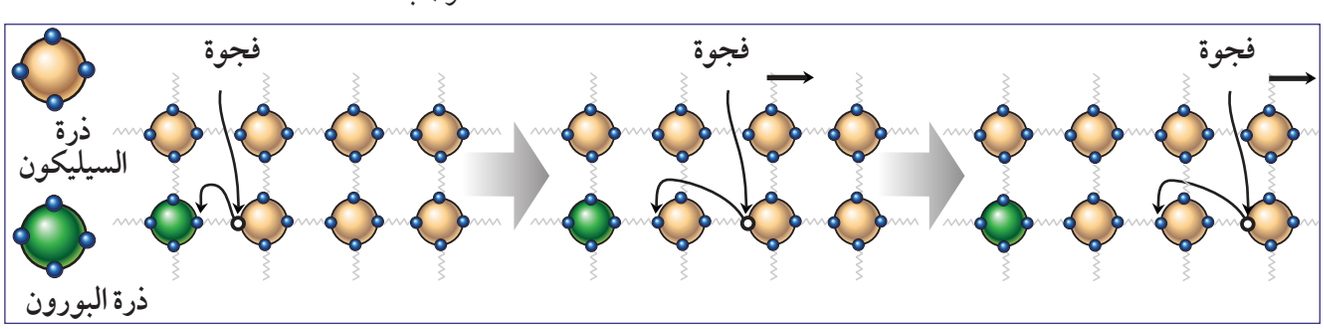
الشكل 4-22 أشباه الموصلات من النوع السالب.

أشباه الموصلات من النوع الموجب

تملك ذرّة البورون ثلاثة إلكترونات تكافؤ، فهي أقل بواحد من إلكترونات السيليكون. عند ارتباط ذرّات البورون بشبكة ذرّات السيليكون، تلتقط ذرّة البورون إلكترونًا من ذرّة السيليكون المجاورة، فتصبح ذرّة السيليكون فاقدة لإلكترون ولها محصِّلة شحنة موجبة تسمى الفجوة (**الشكل 4-23**). وبذلك يشكّل السيليكون مع الشائبة شبه موصل من النوع الموجب والذي تقوم فيه الفجوات بحمل التيّار. تجذب ذرّة السيليكون الموجبة p الإلكترون من الذرّات المجاورة، فتتحرّك الفجوة. تأخذ الفجوة الجديدة الإلكترون من الذرّة المجاورة، لتتحرّك مرة ثانية كما هو مبيّن في **الشكل 4-24**. وبينما تقفز الإلكترونات مبتعدة باتجاه معيّن، تتحرّك الفجوة في الاتجاه المعاكس حاملةً التيّار.



الشكل 4-23 أشباه الموصلات من النوع الموجب.

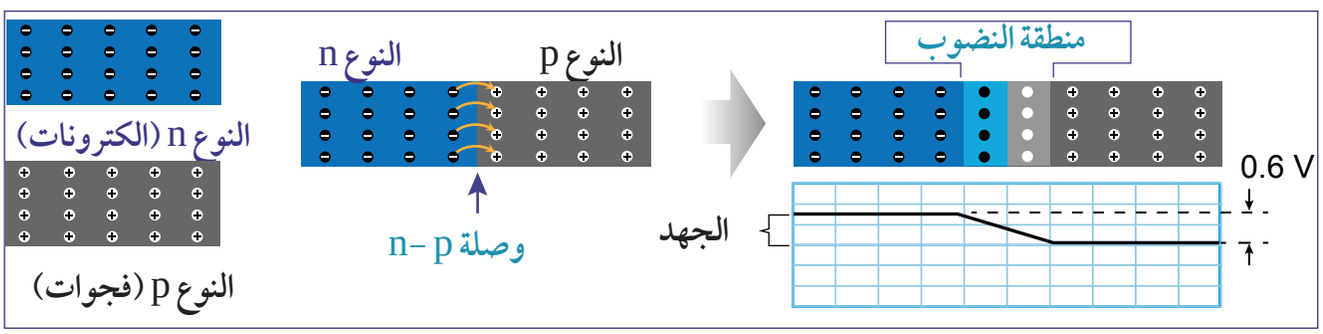


الشكل 4-24 تحرّكات الفجوة في الموصِّل من النوع الموجب.

www.jnob-jo.com

وصلة p-n

تَدمُج الوصلات الثنائية (الدايودات) والترانزستورات نوعَي أشباه الموصلات من النوع n والنوع p. لنرى ما يحدث عند الوصلة الثنائية التي يلتقي فيها كل من النوعين p وn لأشباه الموصلات، والتي تُسمى **وصلة p-n (p-n junction)**. في البداية، يمتلك الطرف n إلكترونات إضافية. أما الطرف p فيمتلك فجوات. تتدفّق الإلكترونات السالبة من الطرف n نحو الطرف p، لتندمج مع الفجوات الموجبة. ويصبح الطرف n ذا شحنة موجبة، والطرف p ذا شحنة سالبة. تتحرّك الإلكترونات في السيليكون، حتى يصبح فرق الجهد 0.6V وهو كافٍ لمنع أي إلكترونات إضافية من الانتقال، ويسمّى حاجز الجهد.

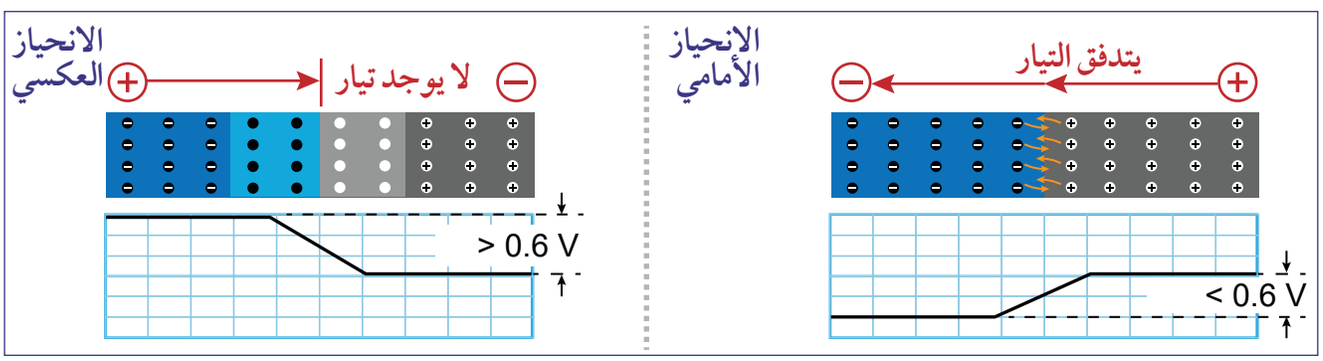


الشكل 4-25 وصلة p–n.

في منطقة الإتصال بين شبه الموصل الموجب والسالب، تتشكّل منطقة نضوب رقيقة جدًّا لا تحمل أي من الإلكترونات أو الفجوات (مبيّنة في **الشكل 4-25**). تعدّ منطقة النضوب، منطقة عازلة، لأنها لا تحتوي على أي شحنة مُتحرِّكة قادرة على حمل التيار.

تكمن الخاصّية المُفيدة لمنطقة النضوب، في إمكانيّة التحكّم بها كهربائيًّا، من أجل تعديل عرضها بسرعة، وفي أقل من 10^{-9} s.

1. إنّ أي جهد مطبّق في الاتّجاه نفسه الذي يكون عليه الجهد 0.6 V سوف يسبّب نموًا في منطقة النضوب، لتصبح تلك المنطقة عازلاً أقوى. وهذا ما يُسمّى بالانحياز العكسي. حيث لا يمكن للتيار التدفّق في الاتجاه العكسي، لأنه سيتوقّف عند منطقة النضوب.
2. أما الجهد المُطبّق في عكس الاتّجاه الذي يكون عليه الجهد 0.6 V فسوف يسبّب ضمور منطقة النضوب لتصبح تلك المنطقة موصِّلة. وهو ما يسمّى الانحياز الأمامي. حيث يتدفّق التيار بسهولة في اتّجاه الانحياز الأمامي.

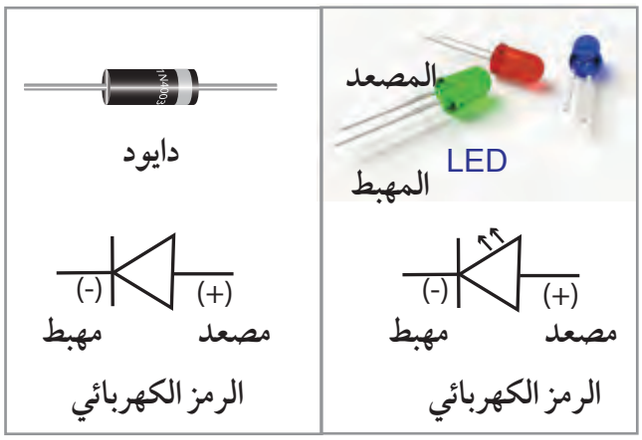


الشكل 4-26 الانحياز الأمامي والانحياز العكسي لوصلة p-n.

www.jnob-jo.com

الدايود

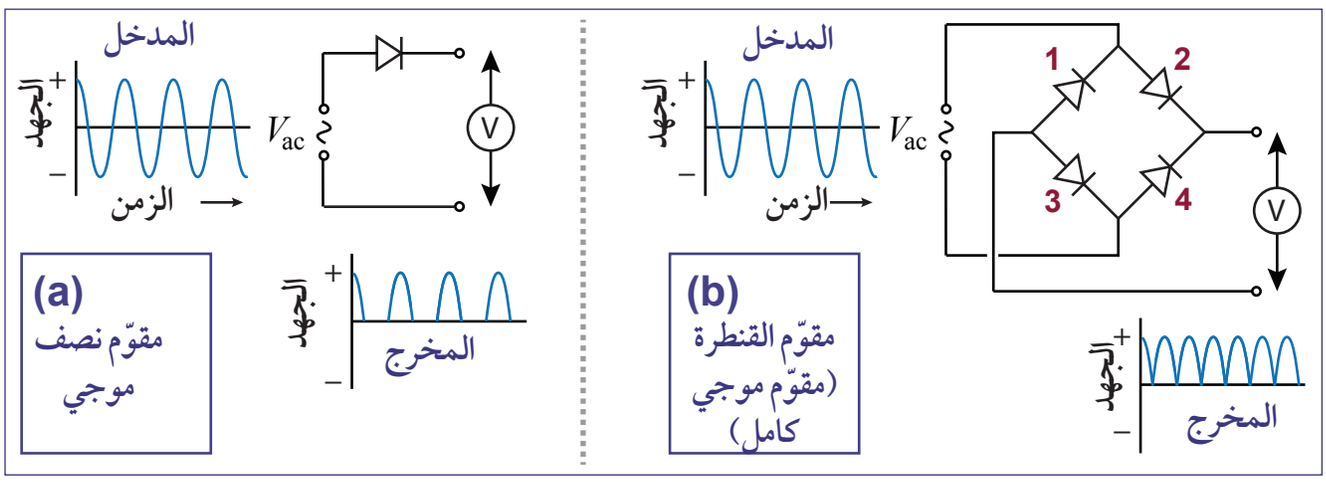
الدايود Diode جهاز شبه موصل، يسمح للتيار بالتدفُّق عبره في اتجاه واحد فقط. يمتلك الدايود وصلة p–n وحيدة داخله. للدايود طرفان: طرف موجب يُعرف باسم المصعد، وطرف سالب يسمّى المهبط. يستطيع التيار التدفُّق عبر المصعد باتجاه المهبط فقط. يُرمز إلى المهبط عادة بخط (كما هو مبيّن في **الشكل 4-27**). في الموصِّل الثنائي الباعث (LED)، يكون المهبط ذا الساق الأطول.



الشكل 4-27 الدايود والـ LED.

من المهم ملاحظة أن طرفَي الدايود يجب وصلهما بشكل صحيح، عندما تكون الدائرة في وضع DC كما هو مبيّن في **الشكل 4-28**، حيث يتم توصيل القطب الموجب للبطارية بمصعد الدايود وقطبها السالب بمهبطه. وإلّا لن يمر أي تيّار. يُستخدم الدايود عادة في دوائر التيار المتردّد AC، وذلك لتقويم التيّار، حتى يتدفّق في اتجاه واحد. يُطلَق على معالجة التحكّم في التيار ليصبح في اتجاه واحد اسم **التقويم Rectification**. يَسمَح مقوّم دايود نصف موجي بالنصف الموجب فقط من تيّار مصدره AC، كما هو مبيّن في **الشكل 4-28**. يُسمى الترتيب الذكي لأربعة دايودات باسم مقوّم القنطرة. حيث يسمح مقوم القنطرة هذا للجزءين الموجب والسالب من تيار AC المدخل بالتدفق، لكنّه يُعطي تيّارًا في الاتجاه الموجب، وأقرب إلى التيار المستمر DC.

1. عندما يكون نصف الدورة AC الداخلة موجبًا، يتدفق التيار عبر الدايود 2، ليعود عبر الدايود 3.
2. عندما يكون نصف الدورة AC الداخلة سالبًا، يتدفق التيار عبر الدايود 4 ليعود عبر الدايود 1.

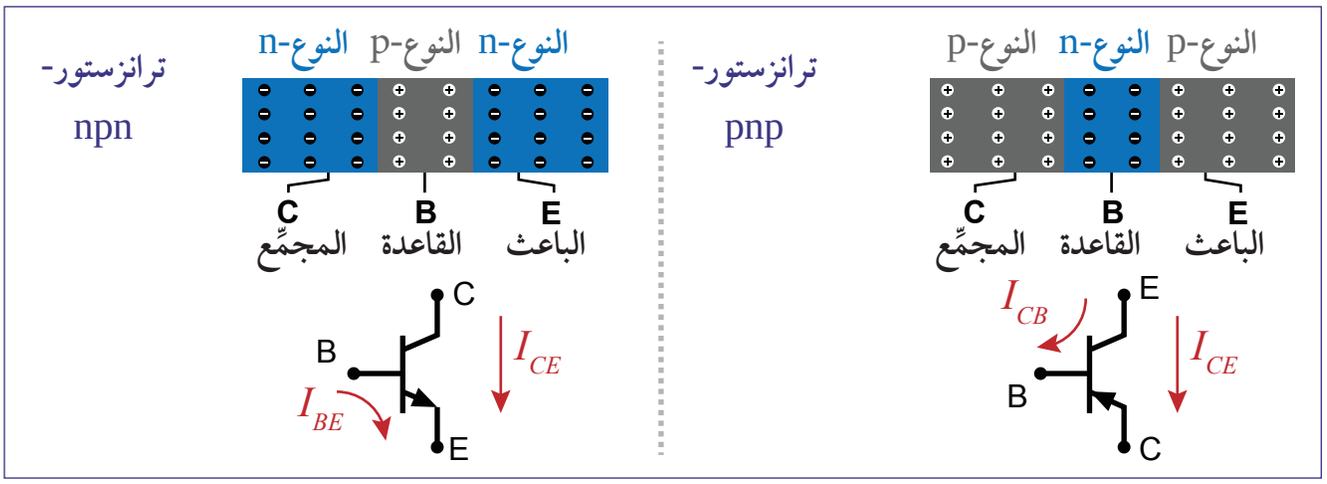


الشكل 4-28 دائرتا الدايود النصف موجي ومقوّم القنطرة.

www.jnob-jo.com

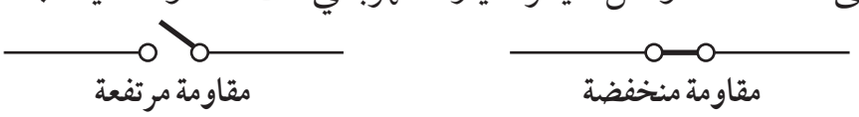
الترانزستور

الترانزستور Transistor جهاز شبه موصل يمتلك وصلتين ثنائيتين p-n وثلاثة أطراف. يُظهر **الشكل 4-29** نوعي الترانزستور npn و pnp ومخطّط دائرتيهما. تسمّى أطراف الترانزستور الثلاثة: المجمِّع والقاعدة والباعث.



الشكل 4-29 ترانزستور من النوع-npn وترانزستور من النوع-pnp.

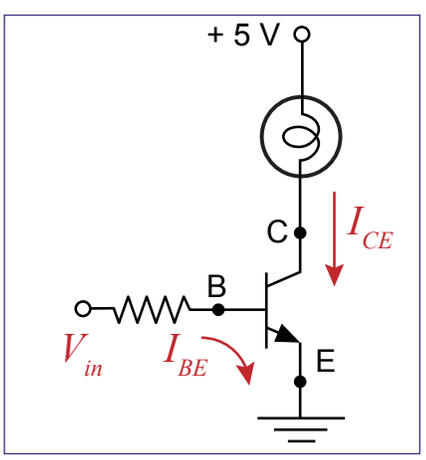
من أجل فهم طريقة عمل الترانزستور، افترض المفتاح الميكانيكي العادي. يكون للمفتاح الميكانيكي مقاومة عالية جدًا عندما يكون مفتوحًا، وعندها لا يمر أي تيار كهربائي. ولكن عند غلقه، تنخفض مقاومة المفتاح إلى 0.001 Ω أو أقل. فيمر التيار الكهربائي لأن المقاومة قليلة جدًا.



يشبه الترانزستور مفتاح الكتروني بين الباعث والمجمّع. يتم التحكّم بالمفتاح بواسطة التيار في القاعدة. تكون مفاتيح الترانزستور سريعة جدًا، يمكن للترانزستور أن يغيّر المقاومة بين المجمّع والباعث من 10^6 Ω إلى 1 Ω خلال 10^{-9} s.

الترانزستور npn

إن تيار كهربائي قليل I_{BE} بين القاعدة والباعث يمكنه تشغيل المصباح. يظهر **الشكل 4-30** ترانزستور npn وظيفته تشغيل المصباح. يتوهج المصباح الكهربائي عندما تُصبِح المقاومة بين المجمّع والباعث قليلة وذلك عند تطبيق الجهد V_{in} في القاعدة. يمكن لتيار قليل جدًا في القاعدة تشغيل تيار كبير جدًا I_{CE} بين المجمِّع والباعث.



الشكل 4-30 دائرة ترانزستور لتشغيل المصباح.

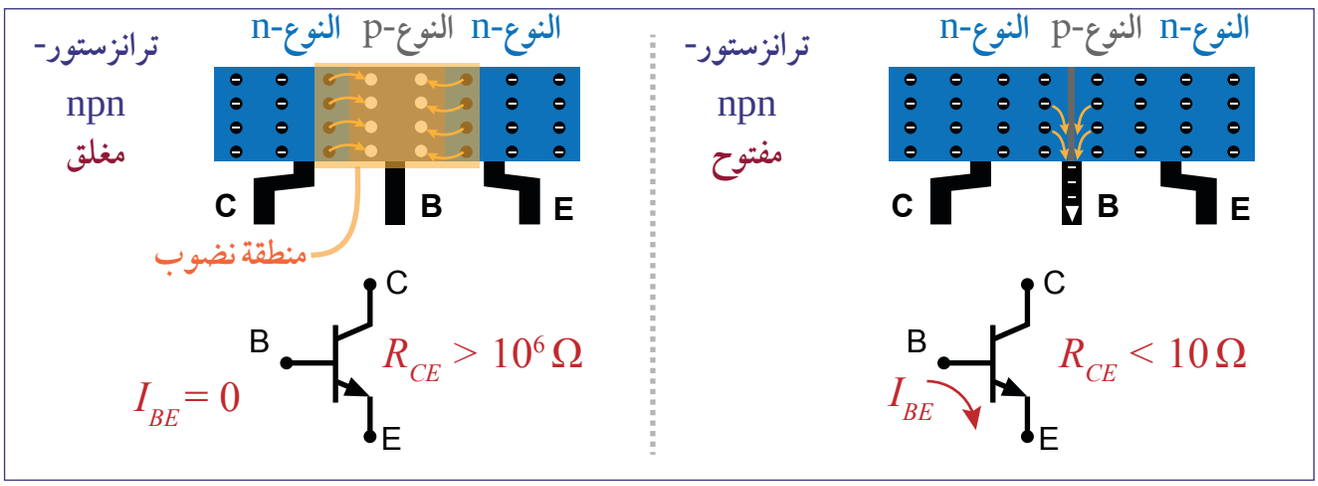
الترانزستور pnp

في ترانزستور pnp يَمرُ تيار التشغيل I_{CB} بين المجمّع والقاعدة. ويمكن لتيار قليل بين المجمّع والقاعدة أن يُقفِل المفتاح.

www.jnob-jo.com

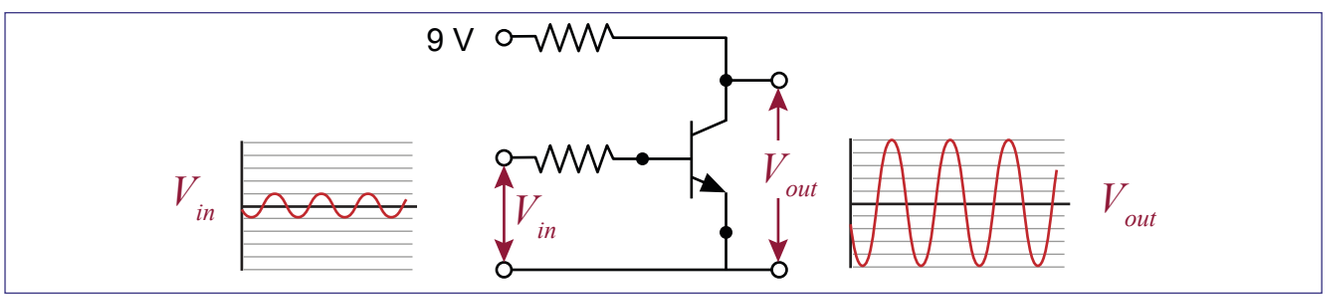
طريقة عمل الترانزستور

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



الشكل 4-31 دائرة ترانزستور بسيط يعمل كمضخم.

يتم تدفق التيار في النوع p (القاعدة) بواسطة الفجوات الموجبة. عندما يتدفق التيار الموجب إلى القاعدة، تتحرك 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 مَرّة من تيار القاعدة.



الشكل 4-32 دائرة ترانزستور بسيط يعمل كمضخم.

إحدى الاستخدامات الهامة الأخرى للترانزستور هو لتضخيم الإشارات. يمكن تضخيم فرق جهد قليل يُطبَّق عند القاعدة إلى فرق جهد أكبر بكثير كما في **الشكل 4-32**. يعمل مُضَخِّم الترانزستور عندما يفتح تيار القاعدة–الباعث I_{BE} الترانزستور بشكل يتناسب مع شدة هذا التيار وليس بشكل كامل. يُشَكِّل الترانزستور ومقاومة القاعدة– الباعث مجزّئ جهد متغيّر. يمكن للإشارة الخارجة أن تكون أكبر بكثير من الإشارة الداخلة دون تغيير في طريقة الاعتماد على الزمن. تُستخدم مضخّمات الترانزستور بشكل واسع في تطبيقات عديدة كمستشعرات السيارات وأجهزة الصوت في الحواسيب وأجهزة التلفاز.

www.jnob-jo.com

تقويم الدرس 4-2

1. يعدّ السيليكون أكثر أشباه الموصلات شيوعًا في الاستخدام. ما المواد الأخرى المعروفة أيضًا، كأشباه موصلات؟ (يمكنك البحث عن ذلك).
2. كم إلكترون تكافؤ تمتلك ذرّة السليكون؟
3. الموصليّة هي قياس لقدرة المادة على توصيل الكهرباء. أجب عن الأسئلة الآتية لكل من الموصلات والعوازل وأشباه الموصلات.
   a. عند درجة حرارة الغرفة، أيُّ نوع من المواد يمتلك موصليّة عالية؟ وأيٌّ منها يمتلك موصليّة مُنخفضة؟
   b. هل تزداد الموصليّة، أم تنقص، أم تبقى كما هي عليه، عند إضافة مقدار ضئيل من العناصر الأخرى، كالبورون 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؟ وأيٌّ منها يمتلك مقاومة نوعية مُنخفضة؟
   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 يُستخدم فيها الدايود، ليحوّل جهدًا متناوبًا بين الموجب والسالب إلى جهد موجب فقط (أو صفري).
8. قمنا بوضع LED في دائرة، بحيث أمكن إضاءته. قرّر طالب إعادة تجهيز الدائرة، فأبدل طرفَي جهاز LED. هل سيبقى جهاز LED مضيئًا؟ اشرح إجابتك.

www.jnob-jo.com

الدرس 4-3
مُجزِّئ الجهد

تخيَّل لو أن مكبِّرات الصوت في المسجد القريب، وفي مركز التسُّوق، لها شدّة صوت واحدة لا يمكن تعديلها. يمكن مثلًا أن يكون الصوت منخفضًا عندما يكون هناك حشد من الناس، أو مرتفعًا عندما لا يكون أحد غيرك. لتغييرشدّة الصوت في أي جهاز، نحتاج إلى مقياس للجهد يطلق عليه المهندسون الكهربائيون اسم «وعاء». مقياس الجهد هو تقنية بسيطة وموثوق بها.

يشتمل جهاز مقياس الجهد على مقاومة تتغيّر عند تدوير المقبض، أو تحريك الذراع. على سبيل المثال، تتغيَّر مقاومة مقياس الجهد في الدوائر الكهربية من 3 Ω إلى 33 Ω.

يُستخدَم تغيير المقاومة لمضاعفة مُعامِل تكبير الصوت في مُضخِّم مُكبِّر الصوت.

الشكل 4-33 مقياس الجهد.

مخرجات التّعلُّم

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

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

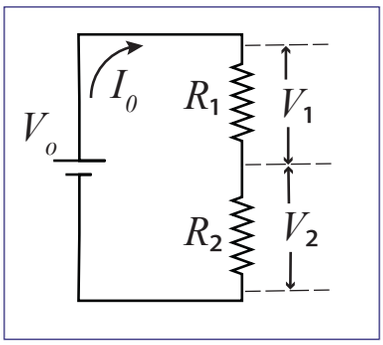
المفردات

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

www.jnob-jo.com

مُجزِّئ الجهد

مُجزِّئ الجهد Potential Divider دائرة تُستخدَم لتحويل جهد (فرق جهد) كبير داخل إلى دائرة، إلى جهد خارج أصغر، باستخدام مقاوِمتَين متصلتين على التوالي.



الشكل 4-34 دائرة بسيطة لمُجزِّئ الجهد.

افترض **الشكل 4-34**. نحن نعلم أن شدّة التيار في الدائرة المتصلة على التوالي تكون متساوية، في حين أن الجهد لا يكون كذلك. ذلك أن الجهد الداخل للبطارية، V_o، ينقسم على المقاومتين R_1 و R_2. وهذا هو سبب تسميته بمجزِّئ الجهد، أو مجزئ الفولتية.

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

9-4	**الجهد 1 للمقاوِمة الأولى**	V_1	جهد المُقاوِمة الأولى (V)
$V_1 = \frac{V_o R_1}{R_1 + R_2}$		V_o	جهد البطّارية (V)
		R_1	المقاوِمة الأولى (Ω)
		R_2	المقاوِمة الثانية (Ω)
10-4	**الجهد 2 للمقاوِمة الأولى**	V_2	جهد المقاوِمة الثانية (V)
$V_2 = \frac{V_o R_2}{R_1 + R_2}$		R_1	المقاوِمة الأولى (Ω)
		V_o	جهد البطّارية (V)
		R_2	المقاوِمة الثانية (Ω)

اشتقاق معادلات مُجزِّئ الجهد

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

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

وبما أن التيار المارّ بكلتا المقاومتين هو نفسه، فإن

$$V_1 = I_o R_1 = \frac{V_o R_1}{\left(R_1 + R_2\right)} \qquad V_2 = I_o R_2 = \frac{V_o R_2}{\left(R_1 + R_2\right)}$$

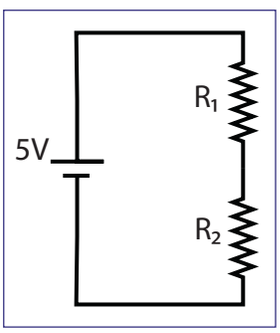
www.jnob-jo.com

نشاط عمليّ

a3-4 دائرة مُجزِّئ الجهد

سؤال الاستقصاء	كيف تتغيَّر قيمة الجهد الناتج بتغيير قيمة المقاومات؟
الموادّ المطلوبة	مقاومات (نفرض قيمها 100kΩ، 75 kΩ، 150 kΩ، 300 kΩ) مصدر طاقة ثابت الشدة (5V). حوامل للمقاومة ذات طرفين، ملتيمتر (مقياس متعدِّد) رقمي، 4 أسلاك كهربائية.

الخطوات



الشكل 4-35

1. ضع كلًّا من المقاومتين في حاملة مقاومة، ثم قم بتوصيلهما، باستخدام الأسلاك الكهربائية، على التوالي، بمصدر الطاقة.
2. توقّع القيمة النظرية لجهد كل من المقاومتين الأولى والثانية، باستخدام المعادلتين 4–9 و 4–10.
3. أدر مقبض الملتيمترالرقمي إلى خانة الفولت، واختر القيمة المناسبة. ثم قِس جهد مصدر الطاقة.
4. قِس الجهد حول طرفَي كل مقاومة.
5. ضعِ النتائج التي حصلت عليها في الجدول.
6. أعد الخطوات من 1 إلى 4 لثلاث مجموعات مختلفة على الأقل من المقاومات.
7. جدول لإحدى المجموعات

المقاومة(KΩ)	R_1 =	R_2 =	$R_1 + R_2$ =
الجهد(V)	V_1 =	V_2 =	V_0 =

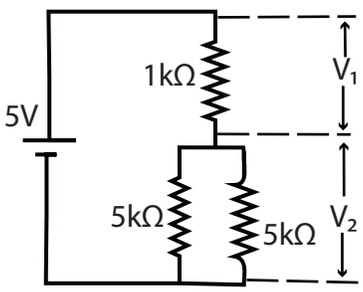
الأسئلة

a. ما الفرق بين القِيَم النظرية المتوقَّعة والقِيَم العملية؟ إذا كان هناك فرق، فما سببه؟
b. متى يمكن أن تكون كل من V_1 او V_2 مساوية لـ V_0؟ هل يمكنك اختبار ذلك؟
c. هل يمكنك التفكير في استخدام عملي لهذه الدائرة؟ يمكنك البحث عن ذلك إذا لزم الامر.
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 مجزِّئ الجهد؟

www.jnob-jo.com

مثال 7

أوجد قيمة الجهد V_1 والجهد V_2 في دائرة مُجزِّئ الجهد في الشكل المجاور.



المطلوب: الجهد V_1 والجهد V_2

المعطى: $V_o = 5\ V$، $R_1 = 1\ k\Omega$، $R_a = 5\ k\Omega$،

$Rb=5\ k\Omega$

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 المقاوَمة المُكافئة R_2 للمقاوِمتين المتَّصلتين 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:

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

كذلك تحسب V_2 باستخدام المعادلة:

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

تستطيع التأكُّد من إجاباتك بجمع V_1 و V_2

$$V_1 + V_2 = 1.43\text{V} + 3.57\text{V} = 5\text{V}$$

الإجابات صحيحة لأن جمع الجهدَيْن يساوي جهد مصدر الطاقة.

ألا يحدث نقص في الجهد في حقيقة الأمر؟ وهل الكفاءة تساوي100%؟

(ملحوظة: ماذا عن مقاومة الأسلاك الكهربائية؟)

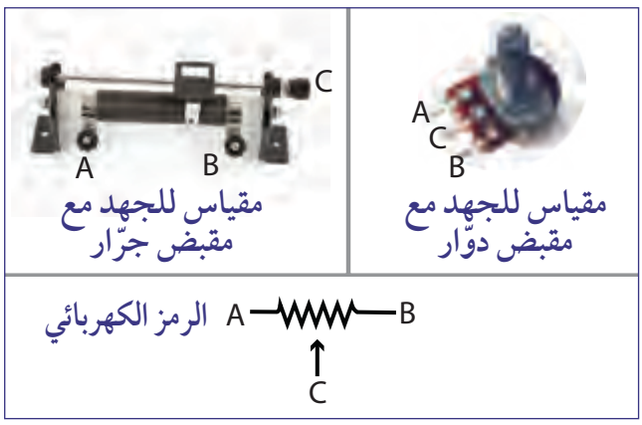
www.jnob-jo.com

المكوِّنات الكهربائية الأساسية

هناك عدّة مكوِّنات كهربائية يمكن استخدامها في الدوائر الكهربائية، لتزويدنا بالوظائف التي نبحث عنها. في ما يأتي بعض المكوِّنات الكهربائية الشائعة التي يمكن أن تعمل كدائرة مُجزِّئ جهد، أو تستخدم ضمن دائرة مُجزِّئ جهد.

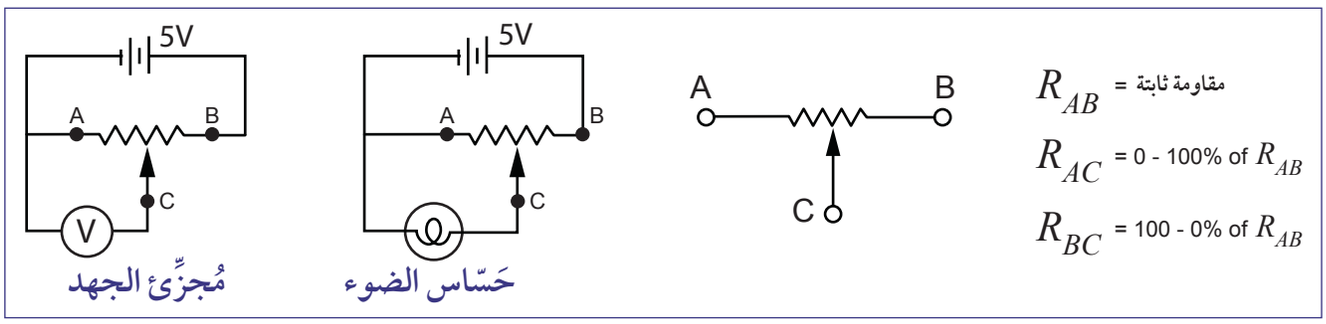
مقياس الجهد

مقياس الجهد Potentiometer هو مُجزِّئ جهد قابل للتعديل. وهو يتألف من ثلاثة أطراف ومقبض منزلق أو دوّار. يمكن رؤية الأطراف الثلاثة في **الشكل 4-36**. النقطتان A وB هما طرفا الجهاز الثابتان في حين أن النقطة C هي النقطة المتحرِّكة التي تقيس نسبة المقاومة بين طرفَي مقياس الجهد.



الشكل 4-36 أنواع مقياس الجهد.

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



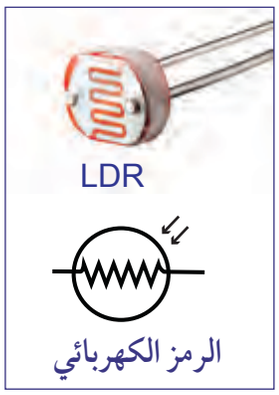
الشكل 4-37 مقياس الجهد في الدوائر.

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

www.jnob-jo.com

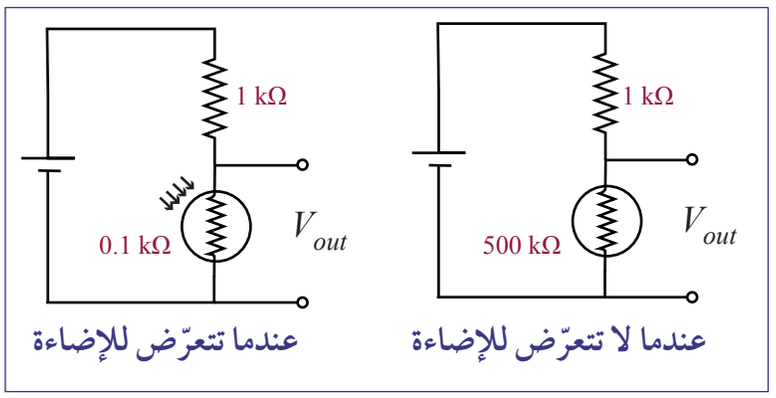
المُقاوِمات الضوئية (LDRs)

المقاوِمة الضوئية Light Dependent Resistor (LDR)، تقوم بما يعبِّر عنها اسمها (**الشكل 4-38**). فهي عبارة عن جهاز يتكوَّن من أشباه الموصلات ذات مقاومة عالية، تعتمد قيمتها على شدّة الضوء. فكلما ازدادت شدة الإضاءة على سطح المقاوِمة الضوئية، تنخفض قيمة مقاوَمتها شيئًا فشيئًا، ما يسمح بمرور تيّار كهربائي أكبر. تستخدم المقاومة الضوئية في أجهزة المستشعرات الضوئية. تُحسَب قيمة مقاوَمة المقاوِمة الضوئية المعتمة بالميجا أوم (MΩ). عندما تتعرّض هذه المقاوِمة لأشعة الشمس، فإن مقاوَمتها تنخفض إلى حوالي 100 Ω.



الشكل 4-38 مقاوِمة ضوئية.

لنفرض أن دائرة مجزِّئ الجهد في (**الشكل 4-39**) مكوَّنة من مقاومة ثابتة متَّصلة على التوالي مع مقاومة ضوئية. ينقسم الجهد بينهما بحسب شدّة الضوء. إذا كانت شدة الضوء قوية، فإن مقاوَمة المقاوِمة الضوئية ستنخفض، ما يؤدي إلى انخفاض جهدها.



الشكل 4-39 مقياس الجهد باستخدام المقاوِمة الضوئية.

عندما تتعرّض الدائرة للضوء، فإن جهد المخرج سينخفض، ذلك أن مقاوَمة المقاوِمة الضوئية تُقدَّر بـ 9% من المقاومة الكلّية للدائرة. وعندما لا يكون هناك ضوء، فإن مقاوَمة المقاوِمة الضوئية تكون مرتفعة، بحيث يصل الجهد الناتج إلى 99% من قيمة جهد البطارية.

مقاوَمة المقاوِمة الضوئية تنخفض بزيادة شدة الضوء.

تطبيقات المقاوِمة الضوئيّة

تُستعمَل المقاوِمة الضوئية في دوائر كهربائية عدّة. يوضّح **الشكل 4-40** بعض الأجهزة التي تستخدم المقاوِمة الضوئية. يستخدم غطاء عدسة الكاميرا المقاوِمة الضوئية لضبط سرعة الإغلاق أوتوماتيكيًّا. ويضيئ مصباح الشارع وينطفئ أوتوماتيكيًّا، بحسب شدة أشعة الشمس. كذلك فإن الشاشات الحديثة تضبط الإضاءة أوتوماتيكيًّا.

الشكل 4-40 أجهزة تستخدم المقاوِمة الضوئية.

www.jnob-jo.com

المقاوَمة الحرارية (الثرمستور)

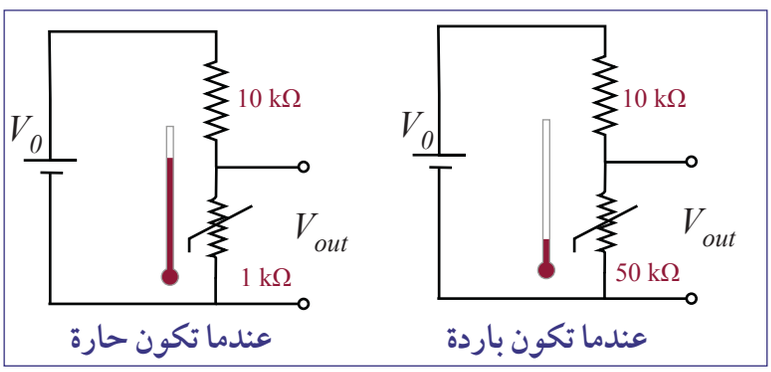
المقاوَمة الحرارية Thermistor مقاوَمة تتغيَّر قيمتُها بتغيُّر درجة الحرارة. هناك نوعان من المقاوَمة الحرارية: مقاومَة معامل درجة الحرارة السالب (NTC) ومعامل درجة الحرارة الموجب (PTC). تنخفض مقاوَمة (NTC) مع ارتفاع درجة الحرارة، بينما ترتفع مقاوَمة (PTC) مع ارتفاع درجة الحرارة. كلا النوعين يستخدمان في دوائر استشعار درجة الحرارة. سنتناول في هذا الكتاب مقاوَمة معامل درجة الحرارة السالب (NTC) فقط.

ثرمستور

الرمز الكهربائي

الشكل 4-41 الثرمستور.

(الشكل 4-42) يحتوي على مُجزِّئ جهد يتكوَّن من مقاوِمة ثابتة ومقاوِمة حرارية متصلتَين على التوالي. في هذه الحالة، ينقسم الجهد بين المقاوِمتَين بحسب درجة الحرارة. تنخفض مقاوَمة المقاوِمة الحرارية، وبالتالي ينخفض جهدها، مع ارتفاع درجة الحرارة.



الشكل 4-42 مجزِّئ جهد يستخدم مقاوِمة حرارية.

الجهد الناتج عند درجات الحرارة المرتفعة يتغيَّر بتغير النسبة بين المقاوَمة الحرارية والمقاوَمة الكلّية. في مثال **الشكل 4-42** إذا كان $V_0 = 5V$، فإن جهد المخرج V_{out} في حالة السخونة يساوي 0.45V، في حين أنه في حالة البرودة يساوي 4.12V.

$$V_{hot} = \frac{1}{11}(5\ \text{V}) = 0.45\text{V} \qquad V_{cold} = \frac{50}{60}(5\ \text{V}) = 4.12\text{V}$$

تقلّ مقاوَمة المقاوِمة الحرارية ذات مُعامِل درجة الحرارة السالب مع ارتفاع درجة الحرارة.

تطبيقات المُقاوِمات الحرارية

توجد المقاوِمة الحرارية في فرن المايكروويف وإنذار الحريق، وحتى في مكيف الهواء كما في **الشكل 4-43**. أحد التطبيقات المهمّة للمقاوِمة الحرارية هي ضبط درجة حرارة الجهاز، ثم خفضها قبل أن تتعطّل. كذلك تستخدم المقاوِمة الحرارية في مراقبة درجة حرارة الزيت، والمبرّد في السيارة.

فرن المايكروويف

إنذار الحريق

مكيّف الهواء

الشكل 4-43 أجهزة تستخدم المقاوِمة الحرارية.

www.jnob-jo.com

مثال 8

صمّم دائرة كهربائية:

a. تضيء مصباحًا في الظلام.

b. تطلق صوت صافرة، عندما تصبح الأشياء ساخنة جدًّا.

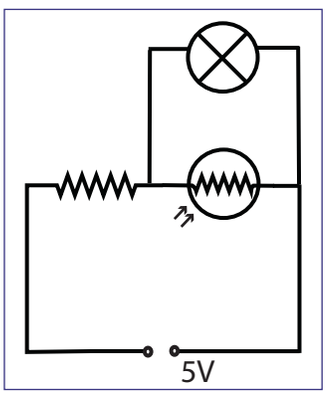
المطلوب: تصميم دائرة

المُعطى: مصباح وصافرة

الحل:

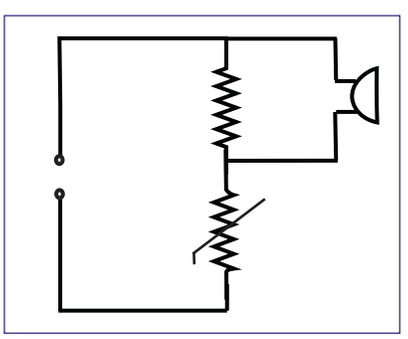
a. بما أننا نريد تصميم دائرة تعمل في الظلام، فإننا نحتاج إلى مقاوِمة ضوئية. نتذكَّر بأن الجهد يتناسب طرديًّا مع المقاوَمة لذلك يكون الجهد مرتفعًا عندما تكون المقاوَمة مرتفعة حول طرفَي مقاوِمة متغيِّرة. علينا تحضير دائرة مجزِّئ جهد مكوَّنة من مقاوِمة ثابتة، بالإضافة إلى مقاوِمة ضوئية متَّصلة بمصدر طاقة جهده 5V.

في حالة الظلام، تكون قيمة المقاوَمة الضوئية عالية جدًّا. وهذا يعني أن معظم الجهد أيضًا سيكون حول طرفي المقاوِمة الضوئية ما يسمح للمصباح بالإضاءة. لكن إذا نقلنا الدائرة إلى مكان مضيء، فإن المصباح سينطفيء لأن قيمة المقاوَمة الضوئية تنخفض، الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض الجهد أيضًا. سيكون معظم الجهد حول طرفَي المقاوِمة الثابتة، كما في **الشكل 4-44**.



الشكل 4-44 مجزِّئ الجهد مع المقاوِمة الضوئية.

b. نريد الآن أن تعمل الدائرة عند درجة حرارة مرتفعة. لذلك نحتاج إلى مستشعر حراري (المقاوِمة الحرارية ذات المُعامِل الحراري السالب). قيمة المقاوَمة 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 4-45**).



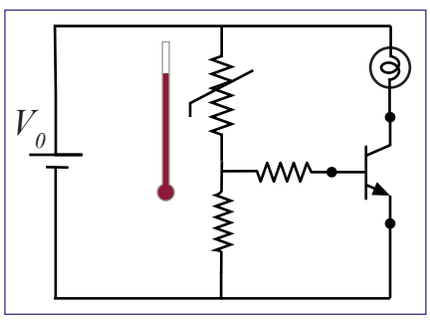
الشكل 4-45 مجزِّئ الجهد مع المقاومة الحرارية.

www.jnob-jo.com

استخدامات الترانزستور في الدوائر الكهربائية

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

المثال 1

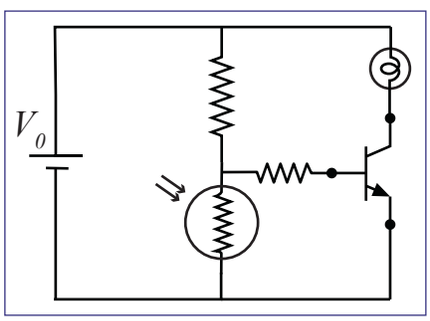


الشكل 4-46 مجزِّئ الجهد مع الترانزستور والمقاوِمة الحرارية.

لنفترض الدائرة في **الشكل 4-46**. عندما ترتفع درجة الحرارة، تتناقص مقاومة المقاومة الحرارية، مسبّبة انخفاض جهدها، ويؤدِّي ذلك إلى زيادة جهد المقاوِمة الثابتة مسبِّبة زيادة الجهد V_{BE}، حيث تجعله أكبر من 0.6V. وهذا يعني أن الترانزستور يعمل ويسمح للتيار بالتدفُّق من المجمِّع 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 جدًّا.

المثال 2



الشكل 4-47 مجزِّئ الجهد مع ترانزستور ومقاومة ضوئية.

لنفترض الآن الدائرة في **الشكل 4-47**، 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 المُجمِّع 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؟

تعلّمنا ممّا سبق استخدام دائرة مُجزِّئ الجهد مع ترانزستور أو من دونه، حيث تعمل الدائرة بطريقتين متشابهتين. فلماذا نستخدم الترانزستور إذًا؟

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

www.jnob-jo.com

نشاط عملي

b3-4 استكشاف دوائر مُجزِّئ الجهد

سؤال الاستقصاء	استكشف كيف تعمل المُكوِّنات المختلفة في دائرة مُجزِّئ الجهد.
الموادّ المطلوبة	مصباح، مجفِّف شعر، مقاوِمات مختلفة ذات قيم ثابتة مثل100kΩ، 150kΩ، مقياس للجهد، مقاوِمة ضوئية، مقاوِمة حرارية، مصدر للطاقة، ملتيميتر. (اختياريًّا: مصابيح وصافرات).

الخطوات

استخدام مُقاوِمة حرارية

وصِّل المقاوِمة الحرارية بمقاومة ثابتة 150 kΩ، لتشكِّل مُجزِّئ جهد حول طرفَيْ مصدر الطاقة.

1. وصِّل المصباح أو الصافرة على التوازي مع المقاومة الحرارية.
2. وصِّل الملتيمتر (أو الفولتمتر) حول طرفَي المقاوِمة الحرارية، وسجّل قراءته.
3. استخدم مجفِّف الشعر لرفع درجة حرارة المقاومة الحرارية ببطء. لاحظ تغيُّر قراءات الفولتمتر.
4. أعد الخطوتين 3 و 4 باحلال مقاومة ثانية 100kΩ محل المقاومة الثابتة.

الأسئلة

a. اشرح لماذا يؤدّي تغيُّر المقاومة إلى تغيُّر قراءة الفولتمتر؟
b. ماذا سيحدث لجهد المقاوِمة إذا رفعنا درجة حرارة المقاوِمة الحرارية؟

استخدام مُقاوِمة ضوئية

1. وصِّل المقاوِمة الضوئية بمقاوِمة ثابتة 150kΩ لتشكل مجزِّئ جهد حول طرفَي مصدر الطاقة.
2. وصِّل الصافرة على التوازي مع المقاوِمة الضوئية.
3. وصِّل الملتيمتر (أو الفولتمتر) حول طرفَي المقاوِمة الضوئية.
4. أضيء المصباح، وقرّبهُ من المقاوِمة الضوئيّة. لاحظ تغيُّر قراءات الفولتمتر.

أعد الخطوات 3 و 4 باحلال مقاومة ثانية 100k Ω محل المقاومة الثابتة.

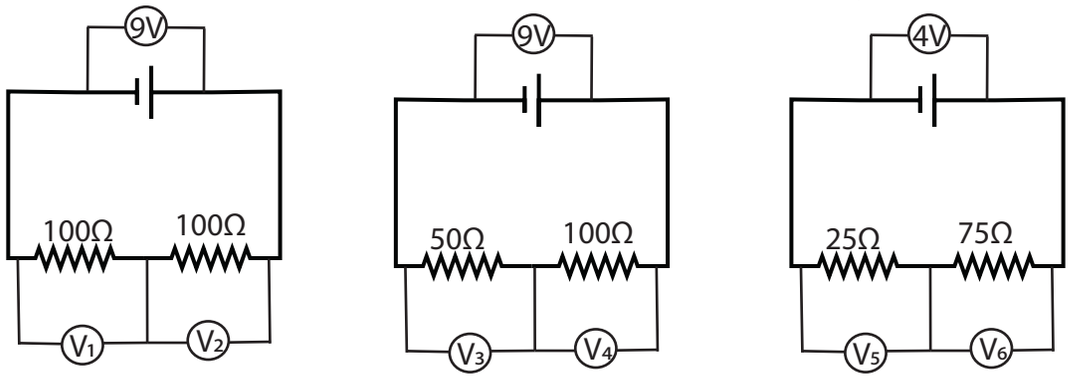
الأسئلة

a. اشرح لماذا يؤدي تغيُّر المقاوِمة إلى تغيُّر قراءة الفولتمتر.
b. ماذا سيحدث لجهد المقاوِمة إذا حرَّكنا الدائرة إلى مكان أشدّ إضاءة؟

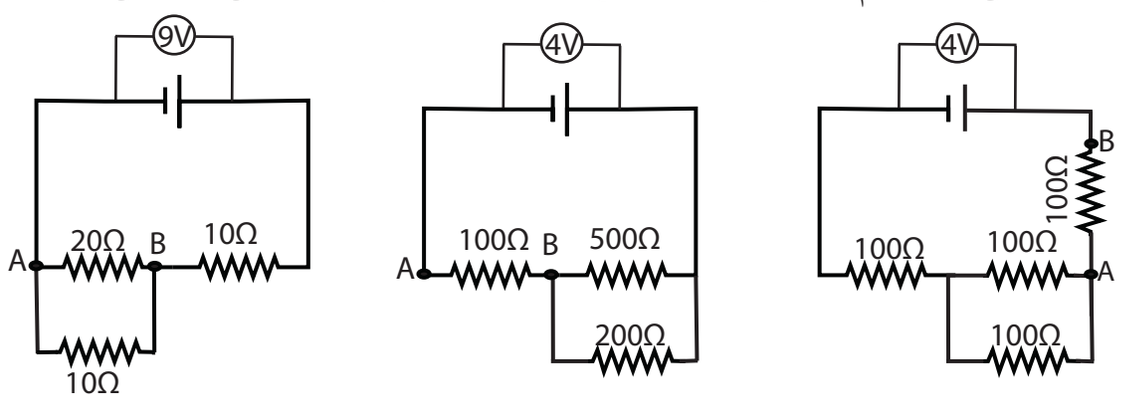
www.jnob-jo.com

تقويم الدرس 4-3

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



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



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

a. عدّد أوجه الشبه بينهما.

b. عدّد أوجه الاختلاف بينهما.

4. المقاوِمتان الحرارية والضوئية مهمّتين جدًّا للدوائر التي تعمل ذاتيًّا. أنشىء رسمًا بيانيًّا لتعرض:

a. كيف تتغيَّر مقاوَمة المقاوِمة الحرارية مع درجة الحرارة.

b. كيف تتغيَّر مقاوَمة المقاوِمة الضوئية مع شدة الضوء.

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

www.jnob-jo.com

الدرس 4-4
البوّابات المنطقية

يمكن لأجهزة الحاسوب التواصل فيما بينها وتنفيذ ملايين المهمّات المتكرِّرة في ثوانٍ. داخليًّا، تعمل أجهزة الحاسوب مع الجبر المنطقي، والبوابات المنطقية. جرى تطوير الجبر المنطقي في عام 1854 على يد جورج بول، عالم الرياضيات الإنجليزي. تُسمّى 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 أيضًا. في الوقت الحاضر، نستخدم المنطق نفسه لإنشاء بوابات منطقية رقمية تؤدّي وظائف مماثلة. توجد البوابات المنطقية داخل أجهزة الحاسوب، وتستخدم الجهد العالي والجهد المنخفض، لتمثيل الرقمَيْن 1 و 0.

تُستخدَم العمليات المنطقية للتواصل والحساب في الدوائر المنطقية. عندما تم تطوير الجبر المنطقي لأول مرة، بدا ذلك عديم الفائدة تمامًا، ولكنه أصبح الآن أساسًا لكل جهاز تقريبًا مزوَّد بدائرة متكاملة.

الشكل 4-48 شريط مخرّم قديم لبرنامج حاسوب.

يُظهر **الشكل 4-48** شريطًا مخرّمًا كان يستخدم في أجهزة الحاسوب القديمة، لتخزين البيانات بعد إجراء عمليات منطقية.

مخرجات التّعلُّم

P1111.3 يستخدم البوابات المنطقية (NOT وAND وOR وNAND وNOR) في الدوائر العملية ويحدد جداول الحقيقة لهذه البوابات بصورة منفردة أو مجمعة.

المفردات

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

www.jnob-jo.com

البوّابات المنطقية

يجري إرسال البيانات أو المعلومات عبر أجهزة الحاسوب، من خلال سلسلة من الآحاد 1 والأصفار 0. تتعامل 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 و1 ثم تعالجها وتنتج 0 أو 1 عند المخرج. يمثّل 0 عادةً بجهد منخفض و1 بجهد مرتفع.

في الدوائر المنطقية، يُمَثَّل الجهد من 0 V إلى 0.8 V بصفر (0) ويُمَثَّل الجهد من 2V إلى 5V بواحد (1). تحتوي وحدة المُعالَجة المركزية الحديثة للحاسوب (CPU) على أكثر من مليار بوابة منطقية تسمح للحاسوب بأن يجمع ويقسم ويضرب ويتَّخذ القرارات.

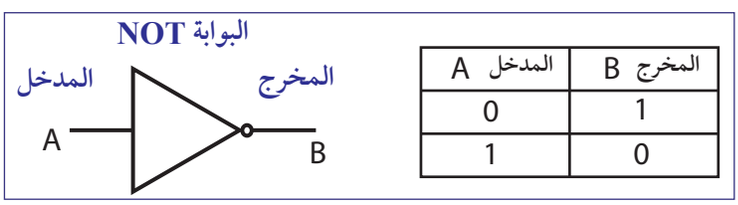
الشكل 4-49 الدوائر المتكاملة للبوابات المنطقية.

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

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

البوابة NOT

تُعرَّف **البوابة NOT** أيضًا باسم العاكس. فهي تحتوي فقط على مدخل واحد. وظيفتها عكس إشارة المدخل. يظهر في **الشكل 4-50** رمز البوابة وجدول الحقيقة العائد إليها.



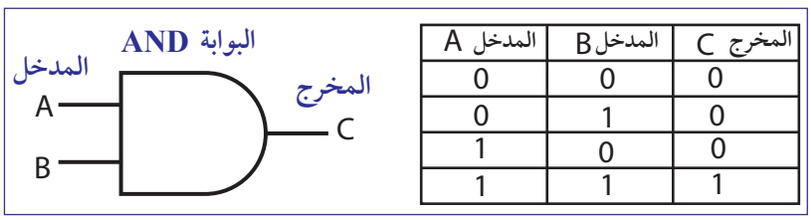
المدخل A	المخرج B
0	1
1	0

الشكل 4-50 جدول الحقيقة للبوابة NOT ورمزها.

جدول الحقيقة هو جدول يمثل جميع المداخل والمخارج الممكنة. يوضِّح 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 وB، وقد تحتوي على أكثر من ذلك. كما يوحي الاسم، يكون الناتج (C) 1 إذا كان كلا المدخلين (A) و (B)1. في أي سيناريو آخر، يكون المخرج 0 (**الشكل 4-51**).



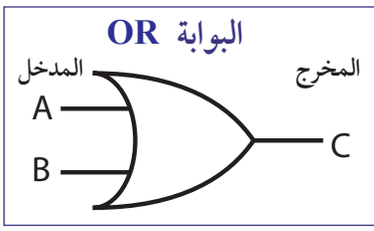
المدخل A	المدخل B	المخرج C
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

الشكل 4-51 رمز البوابة AND وجدول الحقيقة العائد إليها.

www.jnob-jo.com

البوابة OR

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

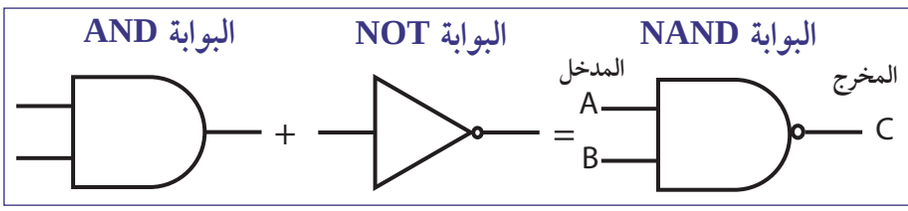


المدخل A	المدخل B	المخرج C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

الشكل 4-52 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 4-53**). يوضح جدول الحقيقة الأمر الآتي: عندما تكون إشاراتا المدخل A و B، 1 يكون المخرج 0. في جميع الحالات الأخرى، يكون المخرج 1.

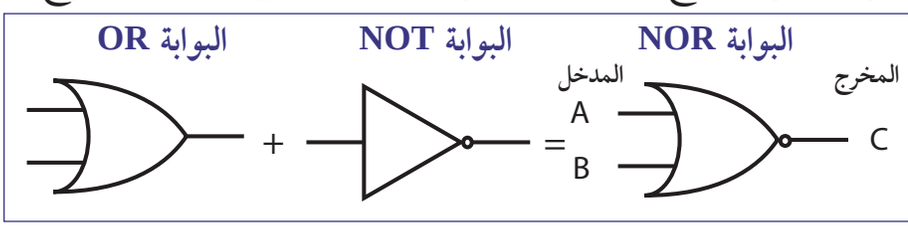


المدخل A	المدخل B	المخرج C
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

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

البوابة NOR

البوابة NOR هي البوابة OR مع عاكس يليها (**الشكل 4-54**). ويتَّضح 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.

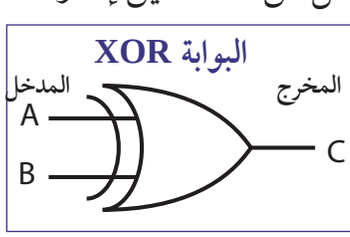


المدخل A	المدخل B	المخرج C
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

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

البوابة XOR

تعني **البوابة XOR** «حصريًّا» البوابة OR (**الشكل 4-55**). وعلى غرار بوابة OR، يحتاج أي من المدخَلين A و B إلى وجود إشارة 1 ليكون المخرج 1، مع ذلك، إذا كان لكل من المدخَلين إشارة 1، يكون المخرج 0. وبعبارة أخرى، يجب أن تكون إشارتا المدخَلين مختلفتَيْن لتكون إشارة الخرج 1. يكون مخرج المدخَلين المتماثلين 0.



المدخل A	المدخل B	المخرج C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

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

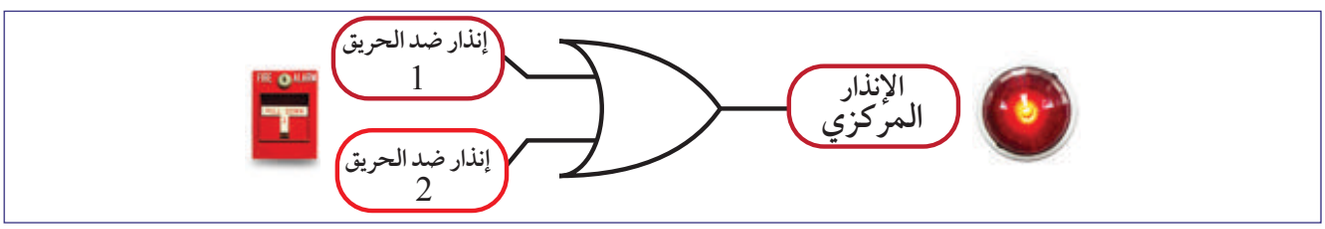
www.jnob-jo.com

تطبيقات البوابات المنطقية

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

نظام الإنذار ضد الحريق، باستخدام البوابة OR

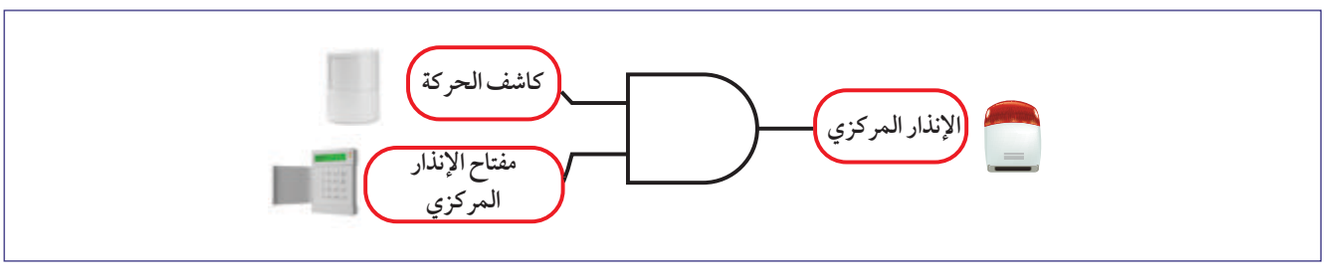
افترض وجود جهازي إنذار ضد الحريق (أو أكثر) في مبنى ما، وكل منهما مرتبط بجهاز الإنذار ضد الحريق المركزي. إذا سُحِب أيٌّ من جهازي الإنذار ضد الحريق، ينطلق نظام الإنذار المركزي، الأمر الذي يؤدي إلى إرسال إشارة بصوت عال، وتشغيل ضوء الطوارئ. في هذه الحالة، البوابة OR وحدها تفي بالغرض. ينبغي أن يكون أحد المدخلين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



الشكل 4-56 نظام إنذار ضد الحريق.

نظام الإنذار ضد السرقة باستخدام بوابة AND

يتكوَّن الإنذار النموذجي ضد السرقة من مفتاح مركزي. يُشغَّل 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 كاشف الحركة (**الشكل 4-57**).

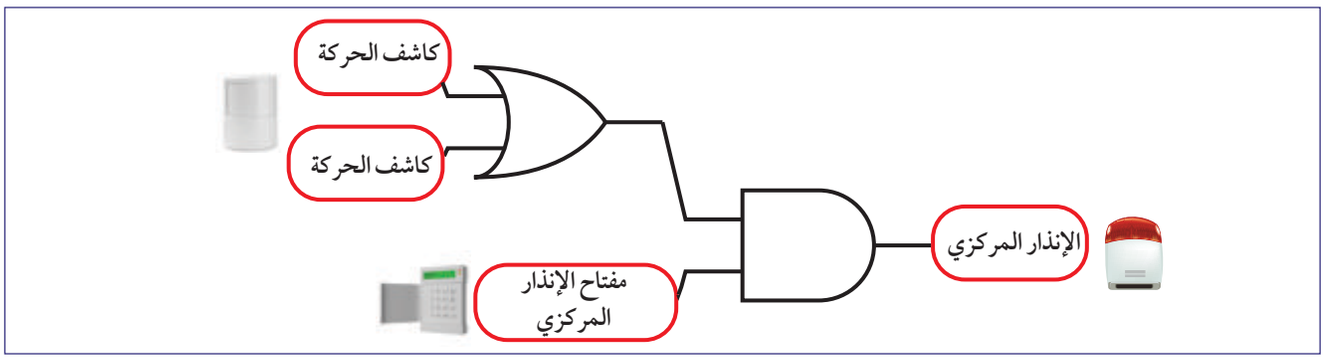


الشكل 4-57 نظام الإنذار ضد السرقة.

www.jnob-jo.com

نظام الإنذار ضد السرقة باستخدام البوابة AND والبوابة OR

يمكن أن يتكون نظام الإنذار ضد السرقة الأكثر تطوراً من مفتاح مركزي واثنين 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

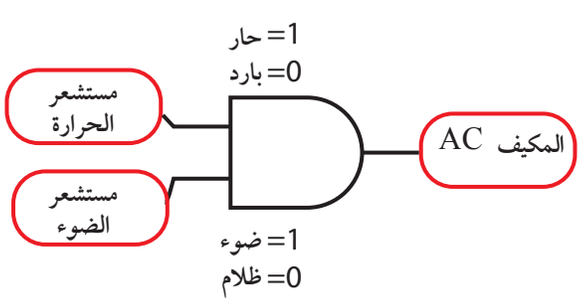
صمِّم دائرة باستخدام بوابات منطقية، تقوم بتشغيل مكيِّف (AC)، عندما يكون الجو حارًّا خلال النهار.

المطلوب: تصميم الدائرة

الحل:

1. لتصميم دائرة، يجب علينا أولاً تحديد المستشعرات التي نحتاج إليها، وما يجب أن تكون عليه المداخل والمخارج. تحتاج الدائرة إلى استكشاف الحرارة والضوء، لذلك نحن بحاجة إلى مستشعر للحرارة، ومستشعر للضوء.
2. وبما أن لدينا مدخلين اثنين ومخرَجًا واحدًا، يمكننا بسهولة كتابة جدول الحقيقة.
3. عندما يرسل مستشعر الحرارة إشارة 1، ويرسل مستشعر الضوء إشارة 1، يجب تشغيل المكيِّف (AC). هذا يعني أنه عندما يكون كلا المدخلين A و B قيمته 1، يكون المخرج أيضًا 1. لدينا بوابة واحدة بإمكانها القيام بذلك فعلًا هي بوابة AND.

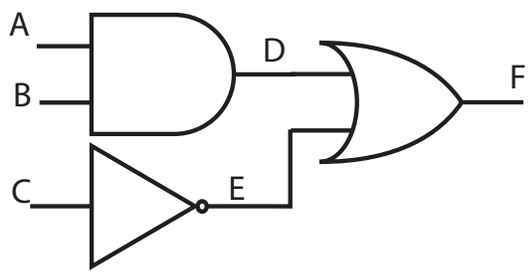
مستشعر الحرارة	مستشعر الضوء	اشغال المكيف AC
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



www.jnob-jo.com

مثال 10

أنشئ جدول حقيقة للدائرة المُقابِلة.



المطلوب: إنشاء جدول الحقيقة.

الحل:

المداخل			المخارج		
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 متعدِّدة، نحتاج إلى إيجاد حل المخرج لكل بوابة على حدة.

الخطوة 1: أولاً، اكتب جميع تركيبات المداخل الممكنة.

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

الخطوة 3: اعكس المدخلC، إلى المخرج E.

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

www.jnob-jo.com

نشاط عمليّ

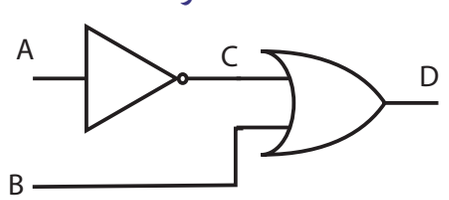
4-4 الدوائر المنطقية

سؤال الاستقصاء	حاول إجراء تركيبات مختلفة من البوابات لإنتاج مخرجات مختلفة.
الموادّ المطلوبة	مفاتيح المداخل (كمفاتيح التبديل) المتصلة ببطارية، صمّام LED، بوّابات منطقية مختلفة.

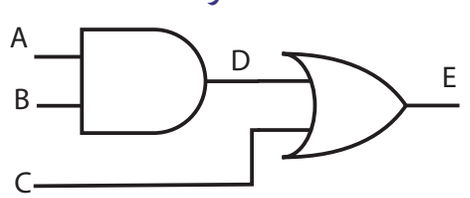
خطوات التّجربة

1. وصِّل البطارية بالمفاتيح.
2. قم ببناء الدائرة 1 ووصِّل كل مدخل بمفتاح لكي تتمكَّن من التحكُّم في المداخل.
3. قم بتوصيل المخرج بالصمّام LED.
4. اجعل جميع المداخل صفرًا 0. كيف يكون مخرج الصمّام LED؟ إذا أضاء الصمّام LED، تكون القراءة 1.
5. جرِّب جميع تركيبات المداخل الواردة في ورقة العمل. قم بملء الجدول.
6. كرِّر الخطوات من 1 إلى 5 للدوائر المتبقية.

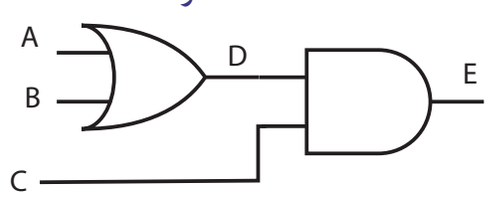
الدائرة 1



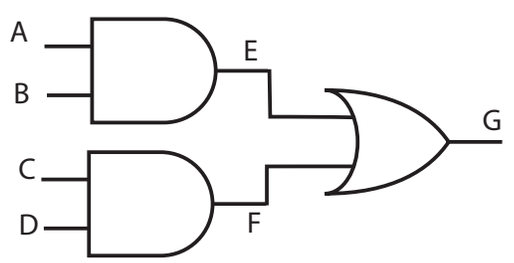
الدائرة 2



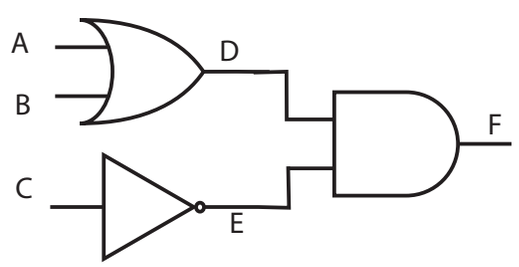
الدائرة 3



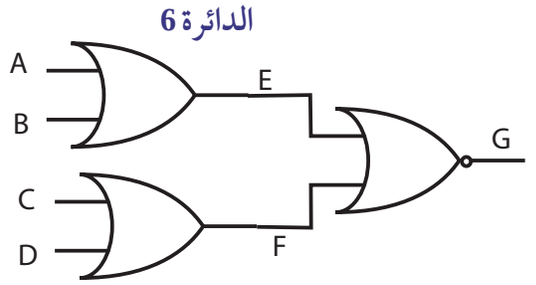
الدائرة 4



الدائرة 5



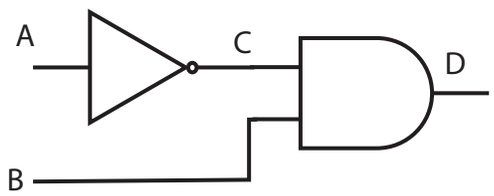
الدائرة 6



www.jnob-jo.com

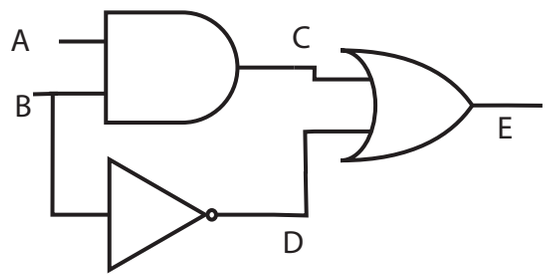
تقويم الدرس 4-4

1. أنشىء جدول الحقيقة للدائرة الآتية:



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

3. افترض الدائرة الآتية:



a. ما الخطأ في توصيل الدائرة؟

b. أنشىء جدول الحقيقة لهذه الدائرة بعد التعديل.

4. تتمثل إحدى طرق التفكير بوظيفة بوابة المنطق الأساسية في النظر إلى حالة المدخل الفردية التي تضمن حالة مخرج معيّنة. يمكننا، مثلًا، وصف وظيفة بوابة OR على النحو الآتي: «أي مدخل عال يضمن مخرجًا عاليًا». حدِّد أي نوع بوابة منطقية تمثِّلها كل من العبارات الآتية:

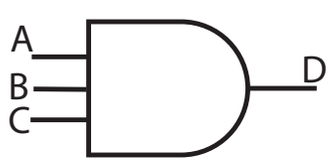
a. أيّ مدخل عالٍ يضمن مخرجًا منخفضًا.

b. أيّ مدخل منخفض يضمن مخرجًا مرتفعًا.

c. أيّ مدخل منخفض يضمن مخرجًا منخفضًا.

(ملاحظة: انظر إلى جداول الحقيقة لكل بوابة)

5. جرى بناء العديد من أنواع دوائر البوابات المنطقية مع أكثر من مدخلين. ذلك مفيد جدًّا، بل ضروري، في بعض تطبيقات الدوائر الرقمية. أنشىء جدول الحقيقة للبوابة مع مداخل للبوّابة AND.



www.jnob-jo.com

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. تلقّى 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، فقصَّر من طول الموجة الميكروية كي يتمكَّن 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 وسواهما. لذلك يمكن إرسال الرسائل عن طريقه من دون الحاجة إلى أسلاك». بدأ بوز، بعد ذلك، بدراسة تأثير الاستقطاب على الضوء في بعض محاليل السكَّر. استخدم وصلات من أشباه الموصلات ككواشف. بعد ذلك، حصل على براءة اختراع أشباه الموصلات، ووصف خصائصها بأنها لا تطيع قانون أوم. حيث استخدم قطعة من المعدن البلوري تسمّى «الجالينا»، وهي كبريتيد الرصاص.

طُوِّر شبه موصل بوز هذا فيما بعد، إلى مكوّن عملي للمذياع (الراديو) طوّره ج. و. بيكارد عام 1906، وكان يعرف باسم كاشف شارب القط وهو يتكوّن 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 يُعرَف باسم المصعد (الأنود) والبلورة الصغيرة بالمهبط (الكاثود). وكان هذا أول كاشف بلوري يجري إنتاجه تجاريًا.

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

www.jnob-jo.com

الوحدة 4

مراجعة الوحدة

الدرس 4-1: المكثِّفات

المكثِّف: جهاز يختزن الطاقة الكهربائية، ويتكوَّن من موصِّلين تفصل بينهما مادة عازلة.

السِّعة: هي قدرة المُكثِّف على حمل الشحنة الكهربائية، وتقاس بوحدة الفاراد F.

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

الدرس 4-2: أشباه الموصلات

الموصل الكهربائي: مادّة تسمح للتيار الكهربائي بالتدفُّق من خلالها.

العازل الكهربائي: مادة تجعل من الصعب على التيار الكهربائي أن يتدفَّق من خلالها.

المقاومة النوعية: هي خاصّية المادة التي تحدِّد ما إن كانت مادة موصلة مقاومتها منخفضة، أو إذا كانت مادة عازلة.

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

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

الدرس 4-3: مجزّئ الجهد

مجزِّىء الجهد: دائرة تَستخدِم المُقاوِمات لتجزئة فرق الجهد الأكبر إلى فروق جهد أصغر.

مقياس فرق الجهد: جهاز يعمل مثل مجزِّىء الجهد بمقاومة متغيرة.

المقاوِمات الضوئية (LDR): والمقاومات الحرارية (الثرمستور): مقاوِمات خاصة تختلف في مقاوَمتها بحسب الضوء الساقط عليها، أو درجة حرارتها. توجد هذه المقاوِمات في العديد من دوائر التحكم للأجهزة الأوتوماتيكية.

الدرس 4-4: البوابات المنطقية

- **البوابات المنطقية:** مكوِّنات 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، وبوابة XOR.
- **جدول الحقيقة:** جدول يستخدم لبيان جميع المداخل والمخارج الممكنة من البوابات المنطقية والدوائر التي تحتوي على البوابات المنطقية.

www.jnob-jo.com

اختيار من مُتعدّد

1. ماذا تُسمّى المادة التي توصل التيار الكهربائي بسهولة؟
   a. موصلًا
   b. عازلًا
   c. شبه موصل.
   d. شبه موصل فائقًا.

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

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

   a. AND
   b. NOR
   c. NOT
   d. OR

3. ما الجهاز الذي يسمح للتيار الكهربائي المستمر بالتدفق من خلاله، ويقوّم التيار المتردِّد؟
   a. الدايود
   b. المكثِّف
   c. المقاوِمة
   d. الترانزستور

4. ما السعة المكافئة للمكثِّفات المتصلة على التوازي؟
   a. حاصل ضرب سعات المكثِّفات الفردية.
   b. مجموع سعات المكثِّفات الفردية.
   c. مقلوب حاصل جمع مقلوب سعات المكثِّفات.
   d. لا شيء ممّا ذكر.

www.jnob-jo.com

5. ما السعة المكافِئة للمكثِّفات المتصلة على التوالي؟

a. مجموع سعات المكثِّفات الفردية.

b. مثل مقدار المقاومة المكافئة للمقاومات المتَّصلة على التوالي.

c. مقلوب حاصل جمع مقلوب سعات المكثِّفات الفردية.

d. لا شيء ممّا ذكر.

6. ما قيمة مقدارها 1 µF بوحدة الفاراد؟

a. 10^{-2} F

b. 10^{-4} F

c. 10^{-6} F

d. 10^{-12} F

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

a. الفجوات

b. البروتونات

c. الإلكترونات

d. النيوترونات

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

a. الفجوات

b. البروتونات

c. الإلكترونات

d. النيوترونات

9. عَلامَ يعتمد فرق الجهد الناتج في مجزّئ الجهد ؟

a. التيار الكهربائي.

b. درجة الحرارة.

c. المقاوَمة المفردة.

d. القيَم النسبية لجميع المقاوَمات.

10. كم تكون السعة الكهربائية لِمُكثِّف إذا كانت الشحنة المختزنة على ألواحه كبيرة؟

a. صفرًا

b. صغيرة

c. كبيرة

d. لانهائية

11. كم تكون الطاقة المختزنة في مكثِّف سعته 2000 µF ومشحون بفرق جهد 10 V؟

a. 0.10 J

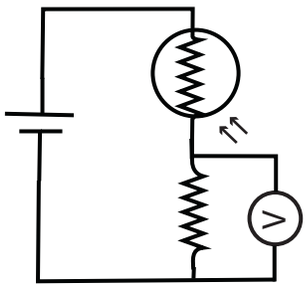
b. 0.12 J

c. 1.3 J

d. 3 J

www.jnob-jo.com

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



	مقاوَمة LDR	تيار المقاوِمة الثابتة	قراءة الفولتمتر
a.	تنقص	يزيد	تنقص
b.	تنقص	يزيد	تزيد
c.	تزيد	ينقص	تنقص
d.	تزيد	ينقص	تزيد

13. ما مجموع الشحنة على لوحي مكثّف مشحونين بشحنتين مختلفتين؟

a. صفرًا **c.** كبيرًا

b. صغيرًا **d.** لانهائيًّا

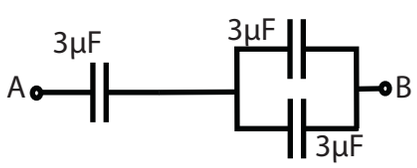
الدرس 4-1: المكثِّفات

14. مُكثِّف سعته 1,000μF، جرى توصيله على التوالي بمقاوِمة.

a. ما الثابت الزمني للمكثِّف، عند تفريغه في مقاوَمة 100kΩ؟

b. إذا كان المكثِّف متَّصلاً ببطارية 3V، فما أقصى شحنة يمكن أن تُختزَن عليه؟

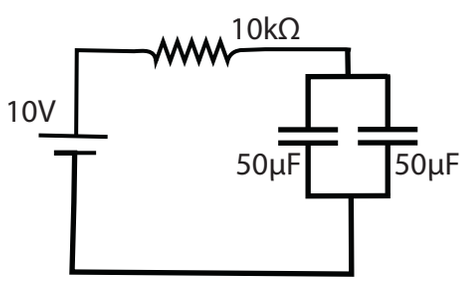
15. ثلاثة مكثِّفات متماثلة ومتصلة، كما هو مبيَّن في الشكل.



احسب السعة المكافئة بين النقطتين A و B.

16. أنشىء رسمًا تخطيطيًا، يمكِّنك من الحصول على سعة مكافئة مقدارها 2.0 μF، باستخدام أربعة مكثفات، سعة كل منها 2.0 μF.

17. احسب الشحنة الكلّية المختزنة في الدائرة الكهربائية في الشكل.



www.jnob-jo.com

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

19. واحدة من معادلات الطاقة المختزنة في مكثِّف، هي:

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

حيث Q هي الشحنة المختزنة، وV هو فرق الجهد عبر المكثّف. بيّن أن هناك تعبيرًا آخر مناسبًا للطاقة المختزنة، هو:

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

حيث C هي سعة المكثّف.

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 الذرّي للسيليكون.

21. الفلّزات تفوق المواد الأخرى في توصيل الكهرباء. وضّح سبب ذلك باستخدام ما تعرفه عن التركيب الذرّي للفلّزات.

22. عرّف المفردتين الآتيتين:

a. الموصلية

b. المقاومة النوعية

23. توجد في الترانزستورات والديودات منطقة، تسمّى طبقة النضوب.

a. عرّف طبقة النضوب.

b. اشرح كيف تكوَّنت طبقة النضوب تلك.

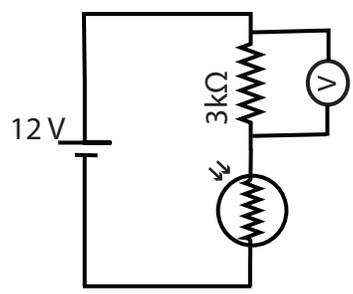
www.jnob-jo.com

24. يتكوّن مقوّم القنطرة من ديودات متَّصلة، على شكل حلقة. أنشىء رسمًا بيانيًّا يبيّن التيار بعد مروره من دائرة مقوّم القنطرة.

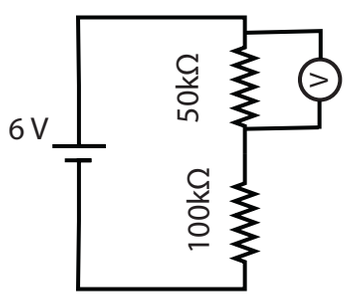
الدرس 4-3: مجزّئ الجهد

25. لخِّص الفرق بين المقاوَمة الحرارية (الثرمستور) NTC والمقاوَمة الحرارية PTC. ضمّن إجابتك رسمًا تخطيطيًّا لكل من المقاومتين الحراريتين، ورسمًا بيانيًّا لفرق الجهد مقابل درجة الحرارة لكلٍّ منهما.

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



27. تتَّصل مقاوِمة 50 kΩ ومقاوِمة 100 kΩ، على التوالي، ببطارية قوّتها الدافعة الكهربائية 6.0 V، ويتَّصل فولتمتر حول طرفَيِ المقاوِمة 50 kΩ. احسب قراءة الفولتمتر.

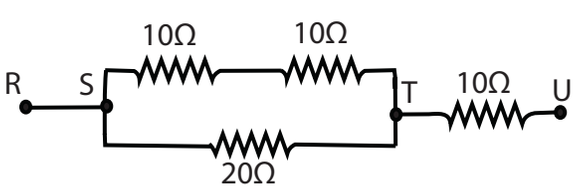


28. ما الفائدة من استخدام المقاوِمة الضوئية (LDR) والمقاوِمات الحرارية (الثرمستورات) والمقاوِمات المتغيّرة في هذه الأيام. اذكر كل واحدة منها مع فوائدها وقدِّم تحليلًا عامًا لسبب توجُّه العالَم نحو التشغيل الآلي أيضًا.

29. ادرس الدائرة الكهربائية المجاورة. إذا كان فرق الجهد بين النقطتين S و T يساوي 9 V، جد فرق الجهد:

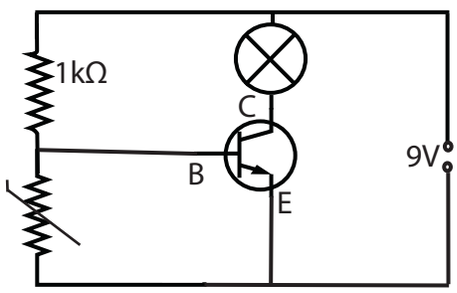
بين النقطتين R وU.

بين النقطتين T وU.



www.jnob-jo.com

30. مقاوِمة حرارية (ثرمستور) مقاوَمتها في دائرة كهربائية معيَّنة عند درجة حرارة 20°C، تبلغ 800Ω، ومقاومتها عند درجة حرارة 100°C تبلغ 25Ω. اشرح ما يحدث في الدائرة الكهربائية من حيث الجهد حول طرفي الثرمستور، عندما تتغيّر درجة الحرارة من 20°C إلى 100°C. اقترح أيضًا استخدامًا عمليًّا لهذه الدائرة.



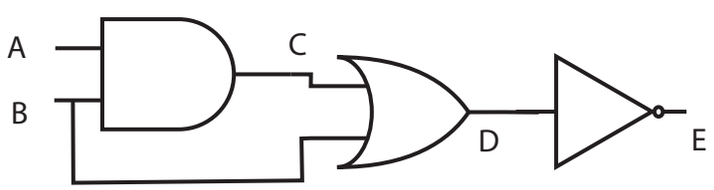
الدرس 4-4: البوابات المنطقية

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

a. أنشيء جدول الحقيقة للبوابة NOR ذات ثلاثة مداخل.

b. أنشيء جدول الحقيقة للبوابة NAND ذات ثلاثة مداخل.

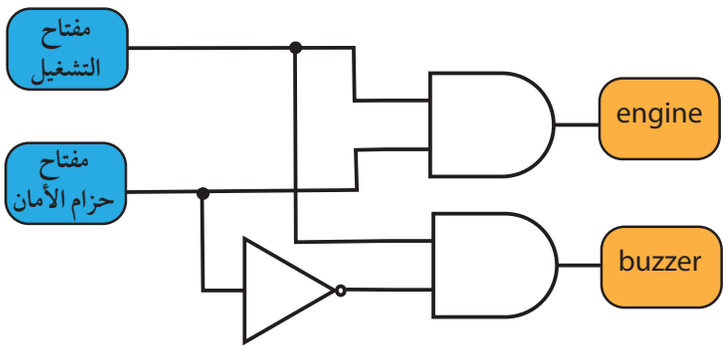
32. أعد الرسم وأكمل جدول الحقيقة للنظام الموضح في الشكل:



المدخل A	المدخل B	المخرج C	المخرج D	المخرج E

www.jnob-jo.com

33. يبيّن الرسم التخطيطي نظامًا للتنبيه إلى ربط حزام الأمان، والمطلوب تركيبه في سيّارة.



أعد الرسم، وأكمل جدول الحقيقة لهذا النظام:

المدخل A	المدخل B	المحرّك	الصافرة

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

a. لا يمكن أن يصدر صوت الصافرة إذا كان المحرِّك مُطفأ.

b. لا يمكن تشغيل كل من صوت الصفارة والمحرِّك في الوقت نفسه.

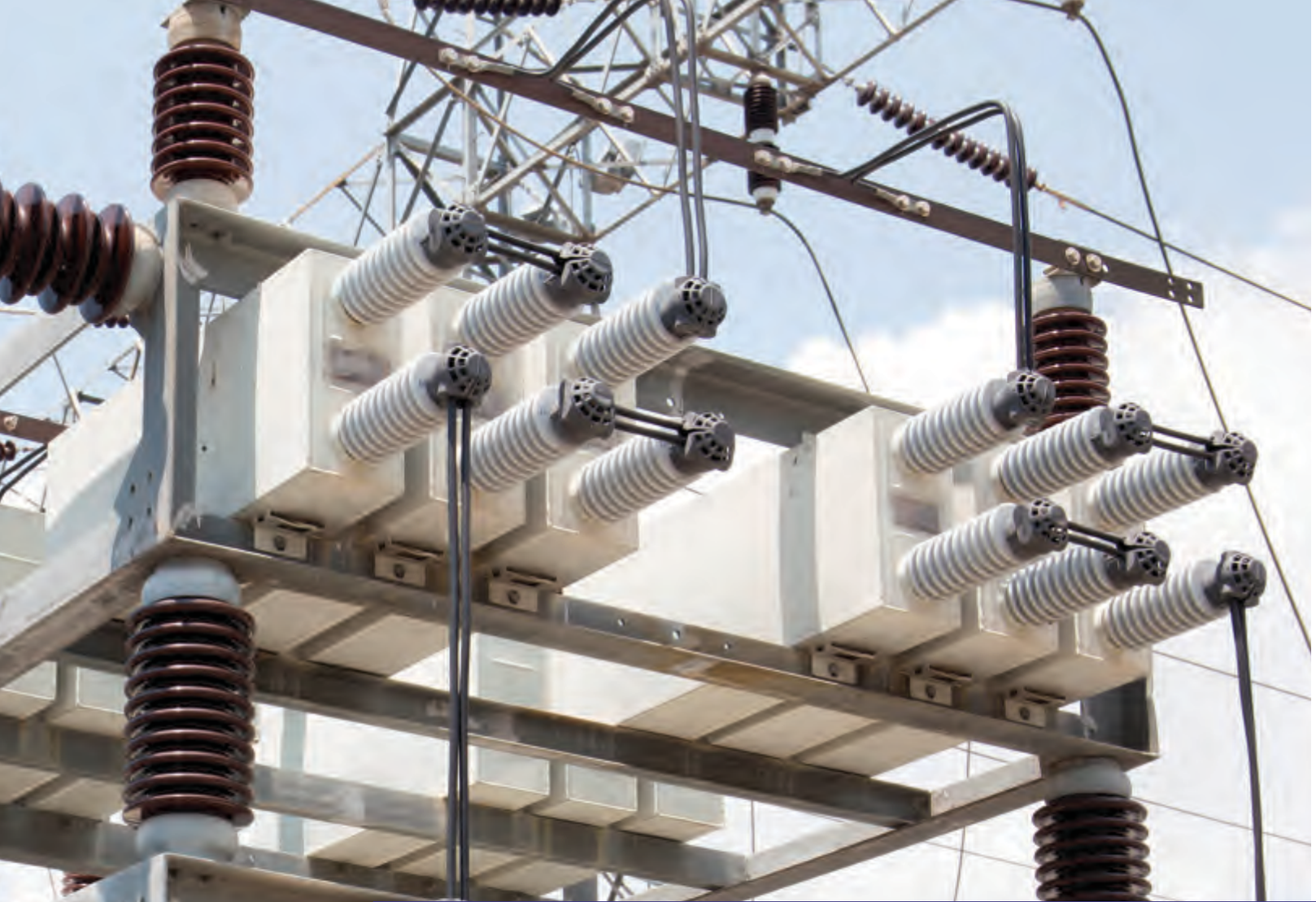
c. يمكن تشغيل المحرِّك وحزام الأمان غير مربوط.

d. يصدر صوت الصافرة فقط، عندما لا يكون حزام الأمان مربوطًا.

35. صمِّم 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 جدًّا. ويعطي مستشعر الرطوبة في المصنع نفسه، مخرج (1)، إذا كانت نسبة الرطوبة في المصنع مرتفعة جدًّا. ويصدر صوت تنبيه، عندما تكون درجة الحرارة منخفضة جدًّا ونسبة الرطوبة مرتفعة جدًا. أنشئ دائرة متصلة بميزان حرارة ومجسّ رطوبة. يجب أن تتكوَّن الدائرة من البوابة NOT والبوابة AND.

www.jnob-jo.com



الوحدة 5

الحث الكهرومغناطيسي

في هذه الوحدة

الدرس 5-1: الحثّ الكهرومغناطيسي

الدرس 5-2: مولِّدات التيّار المتردِّد (AC)

الدرس 5-3: المحوِّلات الكهربائية

P1112
P1113

www.jnob-jo.com

الوحدة 5

مقدّمة الوحدة

كيف يجري إنتاج الكهرباء التي تصل إلى منازلنا ومدارسنا؟ يوضّح أحد القوانين الأساسية في الفيزياء أنّ التغيّر في المجال المغناطيسي قادر على توليد تيار كهربائي. تُسمّى هذه العمليّة الحثّ الكهرومغناطيسي، وتعتبر أساسًا في عمل جميع محطّات توليد الطاقة الكهربائيّة. الكهرباء المُنتَجة بهذه العمليّة تعطي تيارًا مترددًا AC، وهو مُختلف عن التيار المستمر DC، الذي تزوّدنا به البطّارية. يبدّل التيار المتردّد من إشارة الجهد ستّين مرة كل ثانية. سنطّلع، من خلال هذه الوحدة، على السبب الذي يجعل كهرباء التيار المتردِّد أفضل من كهرباء التيار المستمر، في توليد الطاقة الكهربائيّة، 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 يُسمّى المحوّل، قادر على تغيير الجهد والتيار، مع الإبقاء على القُدرة الناتجة كما هي عليه. ومن تلك المحوّلات، ما هو رافع للجهد وما هو خافض للجهد، قبل وصوله إلى المنازل.

الأنشطة والتجارب

a1-5 القوة الدافعة الكهربائية الحثيّة في ملفّ واحد

b1-5 القوة الدافعة الكهربائية الحثيّة في ملفّ لولبي

2-5 صنع مولِّد كهربائي

3-5 المحوِّل الرافع للجهد والمحوِّل الخافض للجهد

www.jnob-jo.com

الدرس 5-1
الحثّ الكهرومغناطيسي

انتشرت مؤخَّرًا في الأسواق هواتف جوّالة قابلة للشحن لاسلكيًّا. وتوافرت أيضًا فرشاة أسنان كهربائيّة تستخدم الشحن اللاسلكي لتدوم بشكل أطول. لكن كيف تعمل الشواحن اللاسلكيّة؟ تعمل بوضع ملف سلكي على مغناطيس. وعند مرور تيّار في الملف، ينشأ مجال مغناطيسي. يستخدم هذا المجال لشحن الأجسام القريبة منه. هل ستتمكَّن في القريب العاجل من استبدال جميع الأجهزة السلكيّة لتحل محلّها أجهزة لاسلكية؟

الشكل 5-1 شحن هاتف ذكي بواسطة شاحن لاسلكي.

مخرجات التّعلُّم

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 النسبيّة بين موصل ومجال مغناطيسي، ويذكر العوامل التي تؤثر في قيمة القوة الدافعة الكهربائية الحثية واتجاهها.

P1112.3 يستخدم قانون فـارادي وقاعدة لنز فـي حـل مسائل حسابيّة على الحث الكهرومغناطيسي، بما في ذلك عندما تكون كثافة الفيض المغناطيسي غير متعامدة مع الموصل الذي يتحرك ويقطع خطوط الفيض المغناطيسي.

P1112.4 يصف بشكل نوعي كيفية تولد التيّارات الدوّامية ويذكر بعض تطبيقاتها.

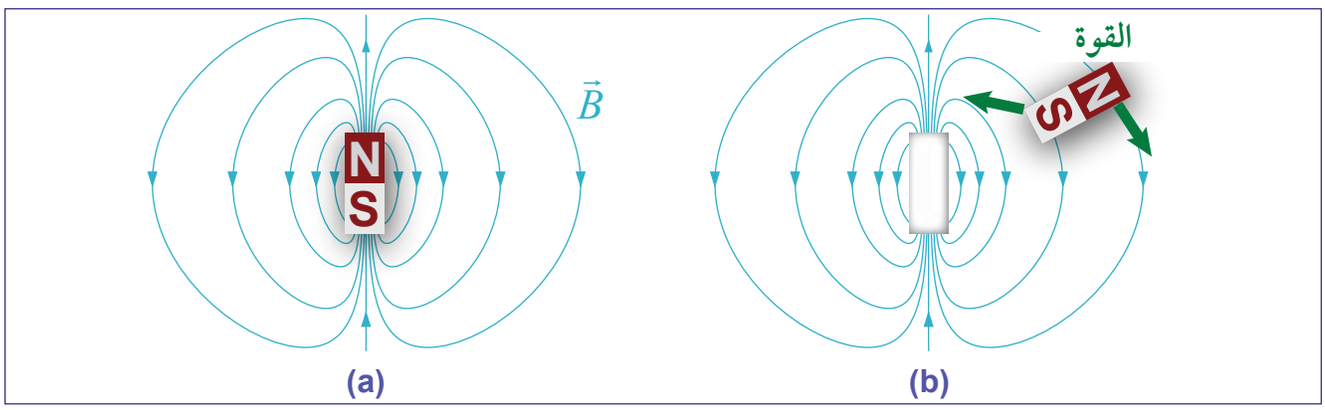
المفردات

الحثّ الكهرومغناطيسي	Electromagnetic induction
التيار الحثّي	Induced current
الفيض المغناطيسي	Magnetic flux
ويبر	Weber
قانون فاراداي للحث	Faraday’s law of induction
الحثّ	Induction
قانون لنز	Lenz’s law
قوة دافعة كهربائية حركيّة	Motional emf
التيّارات الدوّاميّة	Eddy currents

www.jnob-jo.com

المجال المغناطيسي

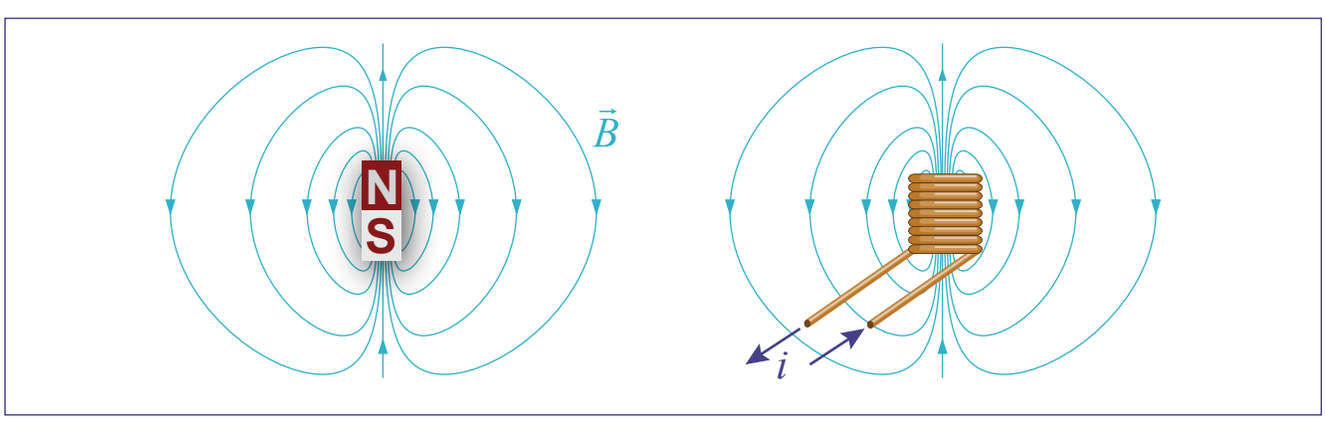
لا تؤثّر القوة الناشئة بين مغناطيسين اثنين تأثيرًا مباشرًا في كل منهما. فبدلًا من ذلك، يُنشئ المغناطيس الأول مجالًا مغناطيسيًّا (**الشكل 5-2a**)، يؤثّر في المغناطيس الثاني (**الشكل 5-2b**). يوفّر المجال المغناطيسي طاقة يمكن أن تُستخدم لتوليد الكهرباء. وهو يُمثَّل بخطوط تكون باتِّجاه القوة المؤثِّرة في قطب شمالي تخيّلي مفرد. يكون اتجاه خطوط المجال من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي.



الشكل 5-2 تفاعل المغانط من خلال المجال المغناطيسي.

وحدة شدّة المجال المغناطيسي B في النظام الدولي للوحدات هي التسلا (T). فمجالٌ شدّته 1 T هو مجال قويٌّ جدًّا. يبلغ المجال المغناطيسي قرب خط الاستواء حوالي 3×10^{-5} T أو 30 μT. وللحصول على مجال بقوة 1 T نحتاج إلى استخدام مغانط قويّة جدًّا، كما هي حال آلة التصوير بالرنين المغناطيسي.

تنشأ المجالات المغناطيسيّة بشكل أساسي من التيّارات الكهربائيّة. فملف سلكي ينقل تيّارًا كهربائيًا ينشأ عنه مجالٌ مغناطيسيٌّ كالذي نحصل عليه من خلال المغانط الدائمة. فالمجال الناشئ من المغانط الدائمة يتولّد بشكل أساسي من الحركة المغزلية للإلكترونات في الذرات. وكما تنشأ المغناطيسية من الكهرباء، تتولّد الكهرباء من المغناطيسية. وبذلك تشكّل كل منهما نصف حالة التناظر المهمّ الموجود في الفيزياء.



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

ينشأ المجال المغناطيسي للأرض من تيّارات كهربائيّة ضخمة تدور داخل لب الكوكب في الحمم المُنصهرة من النيكل والحديد. تتولّد هذه التيّارات نتيجة للحركة المداريّة للأرض، عبر المجال المغناطيسي للشمس.

www.jnob-jo.com

الحثّ الكهرومغناطيسي

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

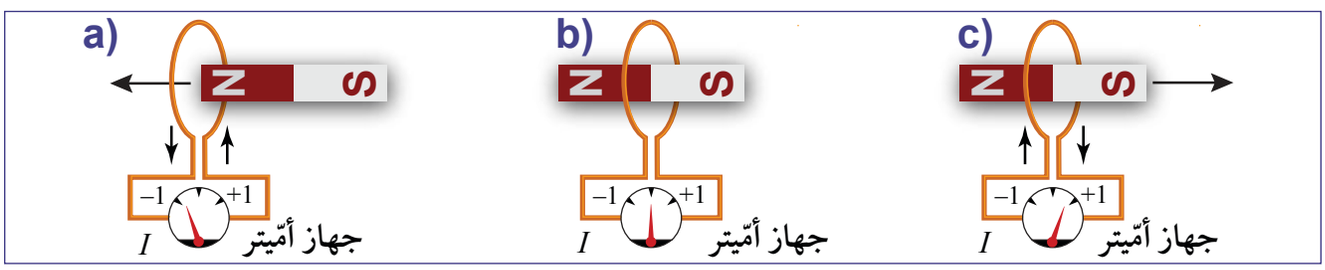
a. عند دخول المغناطيس، يتدفّق التيّار في اتّجاه مُعيَّن.

b. عند توقُّف المغناطيس عن الحركة، يتوقّف التيّار أيضًا.

c. عند سحب المغناطيس، يتدفّق التيّار في الاتجاه المُعاكِس.

سؤال للمناقشة

ما الذي تتذكّره حول المغانط والمغانط الكهربائية وكثافة الفيض المغناطيسي؟



الشكل 5-4 الحثّ الكهرومغناطيسي.

يتولّد تيار حثّي في دائرة نتيجة للحركة النسبية بين موصل ومَجَال مغناطيسي، أو تغير من مقدار شدة المجال وتُسمّى هذه الظاهرة **الحثّ الكهرومغناطيسي Electromagnetic Induction**. عندما يجري تحريك مغناطيس داخل الملف، يُظهر جهاز الأمّيتر الموصول بالدائرة تيارًا كهربائيًا يُسمّى **التيّار الحثيّ Induced current**، لأن المغناطيس يحثّ التيّار في السلك. ولكن هذا يحدث فقط من خلال الحركة النسبيّة بين المغناطيس والموصل.

التيار الحثيّ ينشأ فقط من الحركة النسبية بين المغناطيس والموصل.

يتغيّر اتجاه التيار الحثّي، عندما يتغيّر اتّجاه حركة المغناطيس.

نلاحظ ازدياد كمّية التيار المتدفّق في الملف بإحدى الطرق الآتية:

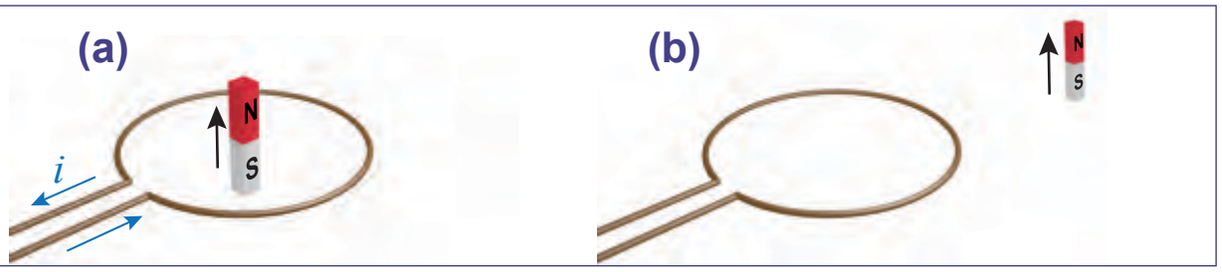
1. زيادة شدّة المجال المغناطيسي.
2. زيادة عدد لفّات الملف.
3. زيادة سرعة الحركة.
4. زيادة مساحة سطح الملف.

وتعدّ جميع هذه العوامل مهمَّة في تصميم المُولِّدات الكهربائيّة، والمُحرِّكات الكهربائيّة.

www.jnob-jo.com

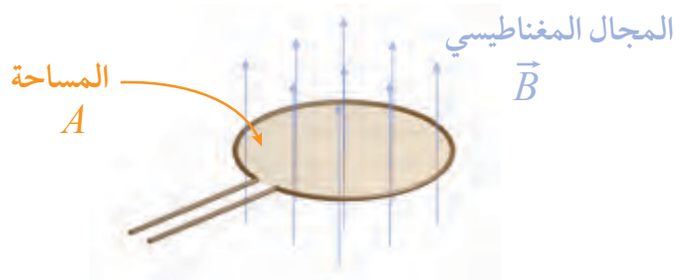
الفيض المغناطيسي

يُظهر **الشكل 5-5** وضعين لمغناطيس مُتحرّك وملف سلكي. الوضع الأول (a) يولّد تيّارًا كبيرًا في الملف، والوضع الثاني (b) لا يولّد تيّارًا. 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 مكانين مختلفين.

الاختلاف بين الوضعين (a) و (b) يكمن في عدد خطوط المجال التي تجتاز سطح الملفّ فعليًّا. فجزء المجال المغناطيسي الذي يمر عبر الملفّ فقط، يستطيع أن يحثّ التيار فيه. لنعتبر أنّ لدينا ملفًّا موجودًا داخل مجال مغناطيسي متعامد مع سطح الملفّ (**الشكل 5-6**). يُعرَّف **الفيض المغناطيسي، Magnetic flux** Φ_B على أنّه حاصل ضرب المساحة في شدّة المجال المغناطيسي العمودي عليها ولتوضيح ذلك، نستخدم المسافة بين خطوط المجال للدلالة على شدّته. تكون هذه الخطوط متقاربة في حالة المجال القوي.



الفيض المغناطيسي، Φ_B	الوحدة
$\Phi_B = AB$	ويبر (Wb)

شدّة المجال المغناطيسي، B	الوحدة
$B = \frac{\Phi_B}{A}$	تسلا (T) $T = \frac{Wb}{m^2}$

الشكل 5-6 ملف سلكي أفقي داخل مجال مغناطيسي مُنتظم عمودي على مستوى الملف.

وحدة قياس الفيض المغناطيسي هي ويبر (Wb) حيث 1 Wb = 1V.s. أما المجال المغناطيسي B فهو كثافة الفيض المغناطيسي، ووحدة قياسه Wb/m^2 أو تسلا حيث $1\ T = 1\ Wb/m^2$.

يُقارِن الجدول 5-1 وحدات قياس شدّة المجال المغناطيسي والفيض المغناطيسي.

الجدول 5-1 الفيض المغناطيسي وشدّة المجال المغناطيسي (كثافة الفيض).

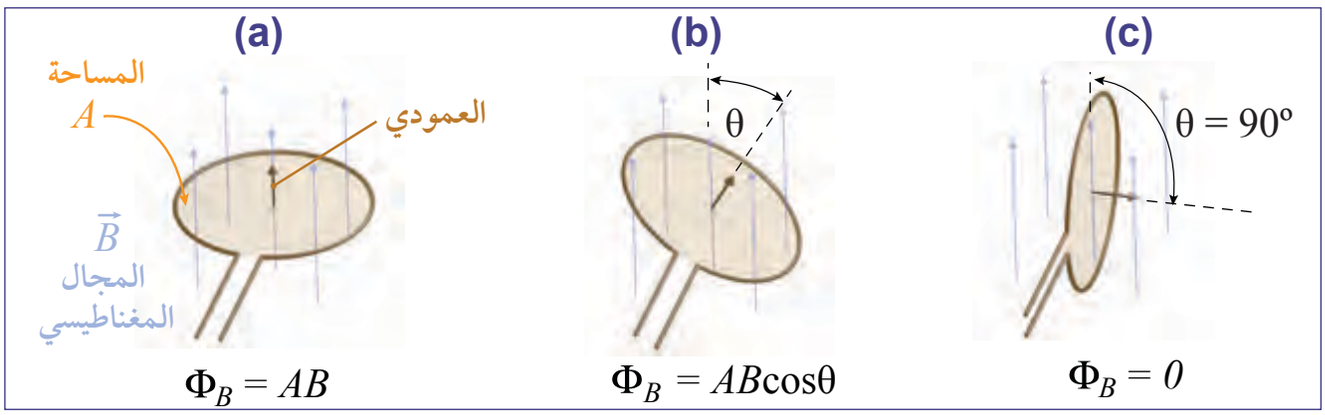
الفيض المغناطيسي	شدّة المجال المغناطيسي (كثافة الفيض)
شدة المجال المغناطيسي خلال مساحة معيّنة	كثافة الفيض المغناطيسي في وحدة مساحة
الرمز: Φ_B	الرمز: B
وحدة القياس: Wb	وحدة القياس: Wb/m^2
كمّية قياسيّة	كمية مُتّجهة

www.jnob-jo.com

تأثير اتِّجاه المجال وعدد اللفّات على الفيض المغناطيسي

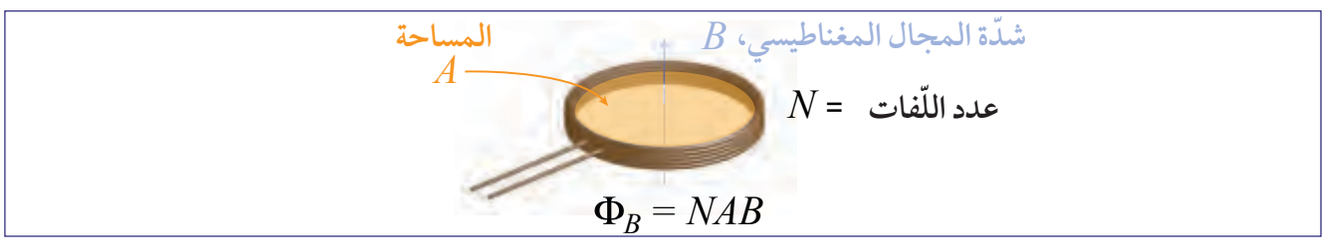
يعتمد الفيض المغناطيسي على ثلاثة عوامل، هي:

1. شدّة المجال المغناطيسي B والزاوية θ بينه وبين العمودي على سطح الملف.
2. مساحة الملفّ A.
3. عدد لفّات الملفّ N.



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

يُظهر **الشكل 5-7** أنّ مُركَّبة المجال المغناطيسي المتعامدة مع سطح الملف هي فقط التي تُسهم في الفيض المغناطيسي. يُعرَّف المستوى الذي يقع فيه الملف بواسطة العمودي على السطح (**الشكل 5-7a**). إذا كانت هناك زاوية بين العمودي والمجال، فإن الفيض سينخفض بمقدار جيب تمام تلك الزاوية، كما في **الشكل 5-7b**. ويكون الفيض صفرًا، عندما تكون الزاوية 90° (**الشكل 5-7c**).



الشكل 5-8 يعتمد الفيض المغناطيسي على عدد اللفات N.

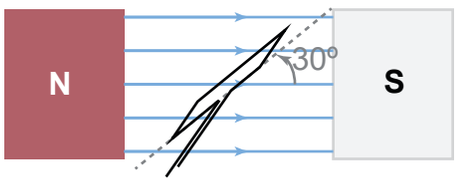
يمر عبر كل لفّة من لفّات الملفّ الفيض المغناطيسي نفسه. يُظهر **الشكل 5-8** أنّ الفيض الكلّي في ملّف مؤلّف من N لَفّة، هو حاصل ضرب N في الفيض عبر لفّة واحدة. تُستنتَجُ العلاقة الكاملة للفيض عبر ملفّ مؤلّف من N لفّة من **المعادلة 5-1**. تفترض هذه المعادلة أن شدّة المجال المغناطيسي ثابت عبر مساحة سطح الملف، وأنّ الزاوية بين العمودي على الملف والمجال المغناطيسي هي θ.

1-5	الفيض المغناطيسي خلال ملفّ		
		Φ_B	الفيض المغناطيسي (Wb)
		N	عدد اللفّات
		B	شدّة المجال المغناطيسي (T)
		A	مساحة سطح الملفّ (m^2)
		θ	الزاوية بين المجال المغناطيسي والعمودي على سطح الملفّ

$$\Phi_B = NAB\cos\theta$$

www.jnob-jo.com

مثال 1



الشكل 5-9 الفيض المغناطيسي عبر ملف.

ملفّ سلكي مربّع الشكل طول ضلعه 0.5 cm. وُضِع بين قُطبَي مغناطيسين في مولّد، كما هو مبيّن في **الشكل 5-9**. إذا كانت قيمة شدّة المجال المغناطيسي 0.1 T، فكم تكون قيمة الفيض المغناطيسي عبر الملفّ، إذا قمنا بتدوير الملف بزاوية 30°، بدءًا من المحور الأفقي؟

المطلوب: الفيض المغناطيسي Φ_B

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

المجال المغناطيسي $B = 0.1\ T$

العلاقات: المساحة، $A = l \times w$ ، $\Phi_B = NBA\cos\theta$

الحل: نحتاج أولًا إلى حساب الزاوية الناشئة بين المجال المغناطيسي والعمودي على الملف السلكي

$$\theta = 90° - 30° = 60°$$

الآن نستخدم العلاقة $\Phi_B = NBA\cos\theta$

$$= (1)(0.1)(0.005)(0.005)\cos 60°$$

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

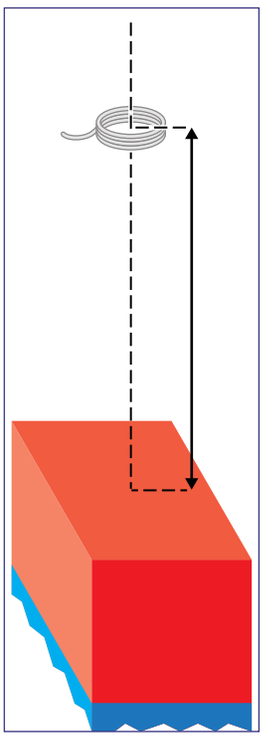
www.jnob-jo.com

مثال 2

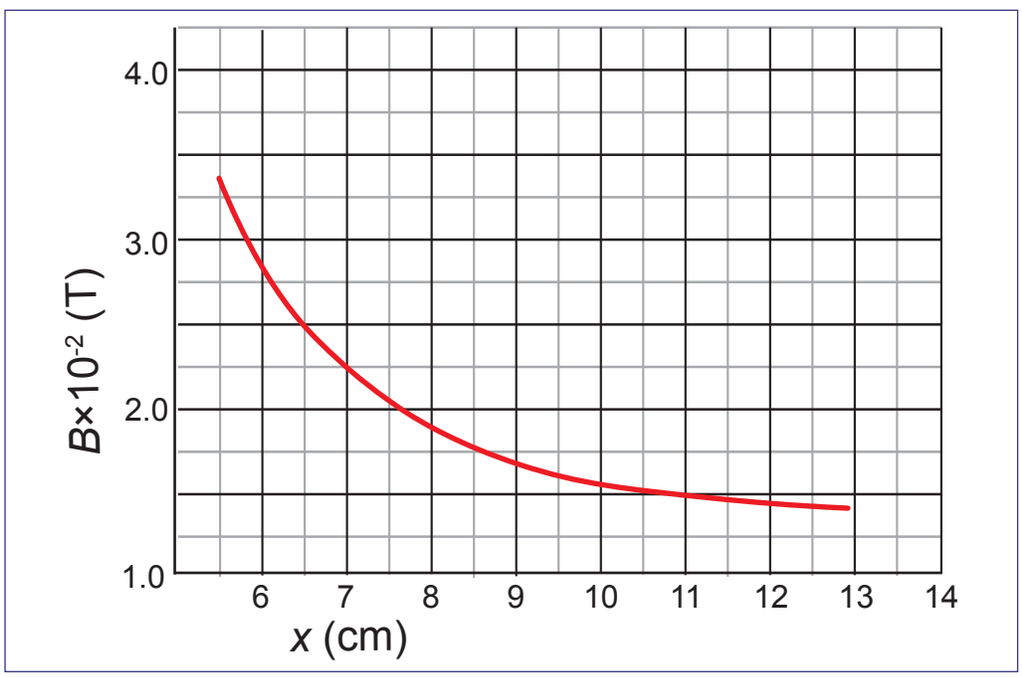
ملفّ دائري صغير، مساحة مقطعه $2.3 \times 10^{-4}\text{m}^2$ يحتوي على 270 لفّة. وُضع الملفّ على مسافة 7 cm بشكل متوازٍ مع قطب مغناطيسي، كما هو مبيّن في **الشكل 5-10**.

a. باستخدام المخطّط، قدّر متوسّط شدّة المجال المغناطيسي B في الملف.

b. احسب الفيض المغناطيسي الكلّي عبر الملف.



الشكل 5-10 الفيض المغناطيسي عبر ملف.



الشكل 5-11 كثافة الفيض المغناطيسي عند نقاط مختلفة.

المطلوب: **a.** شدّة المجال المغناطيسي، B

b. الفيض المغناطيسي، Φ_B

المُعطى: مساحة مقطع الملف $A = 2.3 \times 10^{-4}\ \text{m}^2$

عدد اللفّات، لفّة $N = 270$

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

الزاوية بين المجال والعمودي على الملف، $\theta = 0°$

العلاقات: $\Phi_B = NBA\cos\theta$

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

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

b. الفيض المغناطيسي الكلّي عبر الملفّ هو:

$$\Phi_B = NBA\cos\theta = (270)(2.25 \times 10^{-2})(2.3 \times 10^{-4})\cos 0°$$

$$= 1.4 \times 10^{-3}\ \text{Wb}$$

www.jnob-jo.com

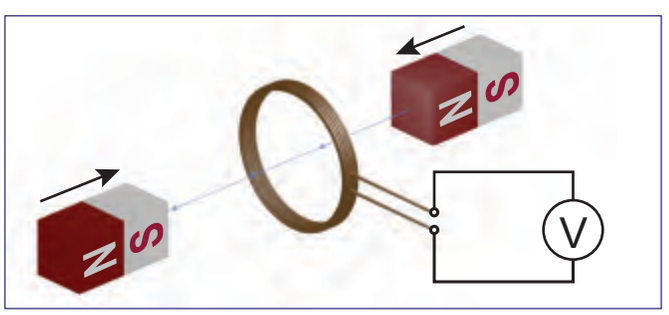
قانون فارادي للحثّ

ينصّ **قانون فارادي للحثّ Faraday's law of Induction** على أن معدّل التغيّر الزمني للفيض المغناطيسي يُحدِثُ فرقًا في الجهد بين طرفَي الموصِّل. يُسمى فرق الجهد هذا بالقوة الدافعة الكهربائيّة الحثِّية (e.m.f). إذا كانت دائرة الموصل مفتوحة، لن يكون هناك تيار حثيٌّ عبره، ويكون فرق الجهد الحثّي مساويًا لمعدّل تغيّر الفيض المغناطيسي بالنسبة إلى الزمن، كما تعطيه **المعادلة 5-2**.

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

مثال 3

ملف من النحاس يحتوي على 50 لفّة، مساحة كل منها $4 \times 10^{-4}\ m^2$. وُضع الملفّ بين مغناطيسين اثنين يتجاذبان. عند تجاذُب المغناطيسين، تزداد قوة المجال المغناطيسي بمعدّل ثابت مقداره $5.0 \times 10^{-2}\ T/s$. احسب فرق الجهد الحثّي بين طرفَي الملف، إذا كان المجال مُنتظمًا وعموديًّا على الملفّ.



الشكل 5-12 الملفّ والمغانط.

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

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

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

العلاقات: $\Phi_B = NAB\cos\theta$ ، $V = \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$

الحل: نقوم أولًا بحساب الفيض، مع ملاحظة أنّ معدّل التغيُّر في الفيض يتناسب طرديًّا مع معدّل التغيّر في شدّة المجال المغناطيسي. بما أنّ المساحة A، وعدد اللفّات N، والزاوية θ، هي ثوابت:

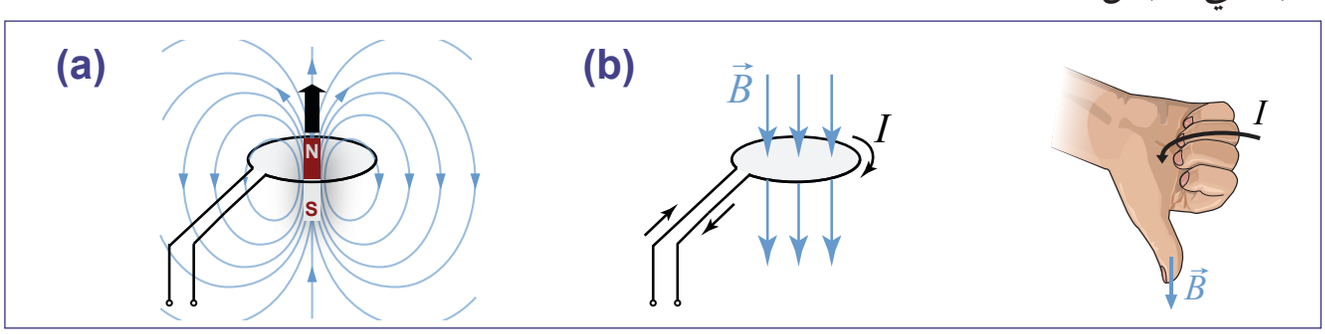
$$V = \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = \frac{1}{\Delta t}\left(NA\cos\theta\right)\Delta B \quad \rightarrow \quad V = NA\cos\theta\frac{\Delta B}{\Delta t}$$

$$V = (50)(4\times10^{-4}\,m^2)(\cos 0°)\left(5\times10^{-2}\,\frac{T}{s}\right) = \boxed{0.001V}$$

www.jnob-jo.com

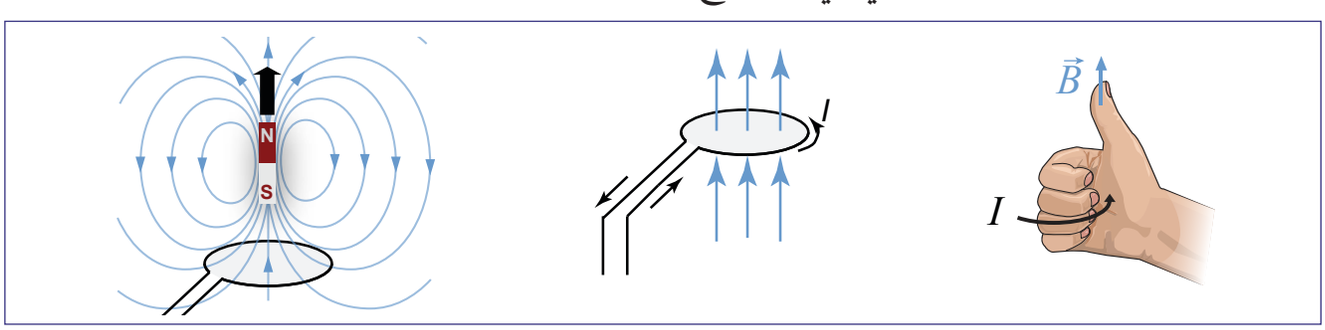
قانون لنز

لماذا توجد إشارة سالبة في قانون فارادي؟ ينص **قانون لنز Lenz's law** على أنّ المجال المغناطيسي الحثّي الناتج من التيار الحثّي يعاكس التغيّر في الفيض المغناطيسي الذي أنشأ هذا التيار. يقوم التيار الحثّي بمقاومة التغيّر في الفيض المغناطيسي، في صورة مشابهة لمقاومة القصور الذاتي لجسم، لأي تغيّر في سرعته. تضاف إلى قانون فارادي إشارة سالبة، لأن التيار الحثّي يُولّد مجالًا مغناطيسيًّا يُعاكس التغيّر في الفيض المغناطيسي. يُظهر **الشكل 5-13a** مرور مغناطيس عبر ملف من مادة موصلة. تتجه خطوط المجال المغناطيسي للمغناطيس إلى أعلى. فخلال دخول المغناطيس اللفّة، يزداد الفيض المغناطيسي داخلها، فيولّد التيّار الحثّي مجالًا مغناطيسيًا يكون ضدّ هذا التغيّر، ويُنقِص من الازدياد الابتدائي للفيض.



الشكل 5-13 اتّجاه التيار المُحتث في ملف.

يكون المجال المغناطيسي الناتج من التيار الحثي موجَّهًا نحو الأسفل، لأن عليه أن يعاكس الازدياد الابتدائي للفيض المغناطيسي. لكن، إذا كان المجال المغناطيسي موجَّهًا نحو الأسفل كما في **الشكل 5-13b**، فسيكون اتجاه التيار الحثّي في اللفّة مع اتّجاه حركة عقارب الساعة.



الشكل 5-14 عند تناقص الفيض المغناطيسي.

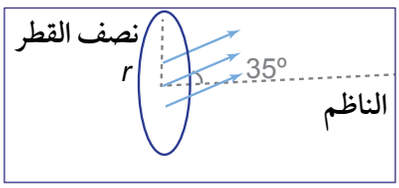
عندما يتناقص الفيض المغناطيسي

لنفترض أنّ المغناطيس يغادر الملفّ السلكي كما هو مبيّن في **الشكل 5-14**. عندها يتناقص الفيض المغناطيسي داخل الملف. يؤدّي ذلك إلى تولّد مجال مغناطيسي يُعاكس هذا التناقص.

يتحقّق ذلك من خلال مجال مغناطيسي متولّد يكون فيضه في اتّجاه الفيض الابتدائي المتناقص. والآن، كيف سيكون اتّجاه التيار الحثي؟ نستخدم قاعدة اليد اليُمنى. إذا كان المجال المغناطيسي موجّهًا نحو الأعلى، يكون التيار الحثّي في اتّجاه معاكس لحركة عقارب الساعة.

www.jnob-jo.com

مثال 4



ملفّ دائري مستوٍ فيه N = 10 لفات مصنوع من سلك موصِّل يبلغ نصف قطره 15 cm، يقع تحت تأثير مجال مغناطيسي منتظم. الزاوية بين المجال المغناطيسي والعمودي على الملفّ هي 35°. إذا ازدادت شدة المجال المغناطيسي من 2T إلى 7T خلال 15 s:

a. احسب قيمة القوة الدافعة الكهربائية الحثيّة حول الملفّ.

b. ما اتجاه التيّار الحثّي؟

المطلوب: **a.** احسب قيمة القوة الدافعة الكهربائية الحثيّة المتولدة بين طرفي الملف .

b. ما اتِّجاه التيار الحثّي؟

المُعطى: عدد اللفّات N = 10.

نصف القطر r = 15 cm.

الزاوية بين المجال والعمودي θ = 35°.

التغيُّر في شدّة المجال المغناطيسي $\Delta B = B_2 - B_1 = 7 - 2 = 5T$.

التغيُّر في الزمن $\Delta t = 15s$.

العلاقات: $A=\pi r^2$

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

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

$$A=\pi r^2$$

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

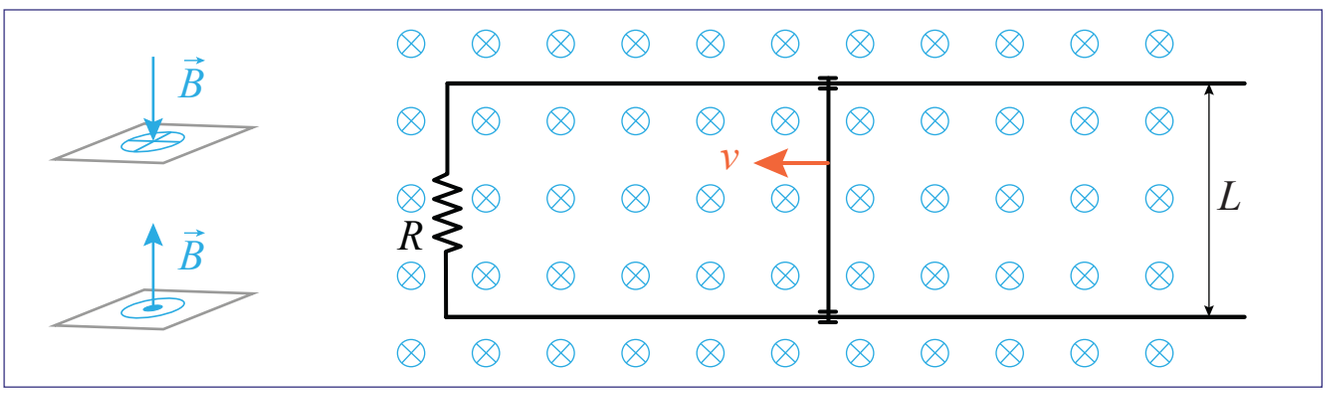
$$e.m.f = N\frac{\Delta\phi_B}{\Delta t} = N\frac{\Delta B(A\cos\theta)}{\Delta t} = 10\frac{5(0.07\cos 35)}{15} = \boxed{0.19V}$$

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

www.jnob-jo.com

القوّة الدافعة الكهربائية الحركيّة

يمكن الحصول على فيض مغناطيسي متغيّر بتحريك موصِّل في منطقة مجال مغناطيسي ثابت. يُسمّى هذا التأثير أحيانًا باسم القوة الدافعة الكهربائية (e.m.f) **الحركيّة Motional e.m.f**. لنفترض دائرة مؤلفَّة من مقاومة وسلكين متوازيين طويلين. يتقاطع سلك صلب موصِّل مع السلكين ليغلق الدائرة، ويُشكّل ملفًّا يكون فيه اتجاه الفيض المغناطيسي إلى داخل الصفحة. عندما يتحرَّك السلك يتغيّر الفيض، لأن مساحة السطح تتغيَّر. هذا التغيُّر يولِّد تيارًا حثّيًّا (**الشكل 5-15**).



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

بحسب قانون فارادي لملف بلفّة واحدة، يمكننا إنشاء معادلة لفرق الجهد الناتج بين طرفَي السلك المتحرِّك. إذا تحرّك السلك بسرعة v، تكون المسافة (Δx) التي يقطعها خلال Δt هي $v\Delta t$. التغيّر في الفيض المغناطيسي ناتج من التغيّر في المساحة:

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

ينتج هذا الجهد، حتى لو لم يكن السلك موصولًا بطرفي الدائرة! والسبب يعود إلى أنّ الإلكترونات تتحرّك داخل الموصِّل بالسرعة نفسها، التي يتحرّك بها السلك. وتتعرَّض هذه الإلكترونات لقوة عموديّة على كل من المجال المغناطيسي وسرعة السلك. النتيجة في **المعادلة 3-5**.

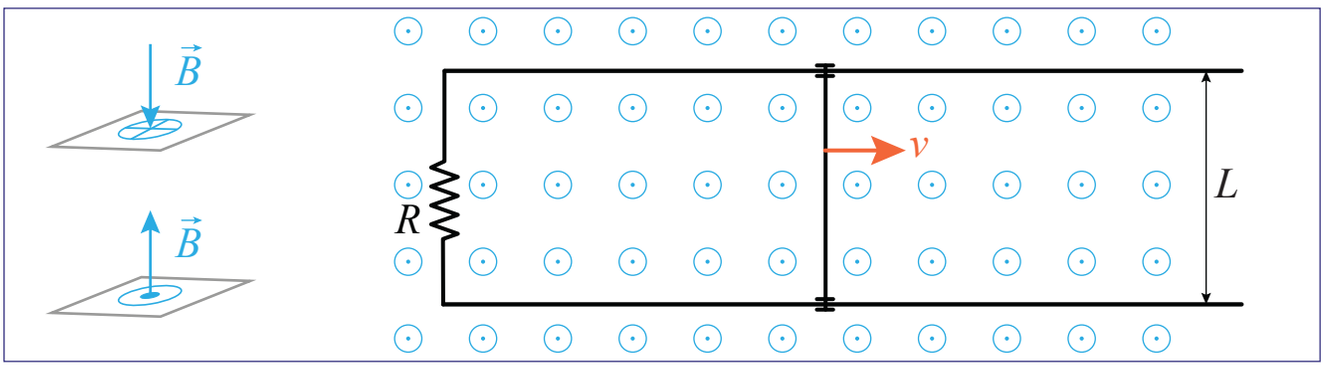
3-5	**قانون فارادي في سلك موصل**	$e.m.f$	القوة الدافعة الكهربائية الحثيّة (V)
	$e.m.f = -BLv\sin\theta$	B	شدّة المجال المغناطيسي (T)
		v	سرعة الموصِّل (m/s)
		L	طول الموصِّل (m)
		θ	الزاوية بين B و v

يكون هذا التأثير ضئيلًا، فسلك طوله متر واحد يتحرّك بسرعة 100 m/s عبر المجال المغناطيسي الأرضي يولّد جهدًا مقداره 0.005 V فقط. إلاّ أن سلكًا طويلًا مُعلقًا بمركبة فضائيّة يمكن أن يولِّد آلافًا من الفولتات، إذا توافرت طريقة عمليّة لإغلاق الدائرة.

www.jnob-jo.com

مثال 5

دائرة على شكل حرف U، مزوَّدة بسلك قابل للحركة، توضع في مجال مغناطيسي قيمته B=0.3 T، يتّجه إلى خارج الصفحة (**الشكل 5-16**). طول السلك المُتحرّك، L=0.25 m، يتحرّك السلك إلى اليمين بسرعة $v = 0.6$ m/s. احسب الجهد الحثّي في الملف الناشئ، ثمّ حدّد اتّجاه التيار.



الشكل 5-16 سلك موصّل يتحرَّك في مجال مغناطيسي.

المطلوب: e.m.f، اتجاه التيّار

المُعطى: شدّة المجال المغناطيسي B= 0.3 T

عرض الملف L = 0.25 m

سرعة السلك $v = 0.6$ m/s

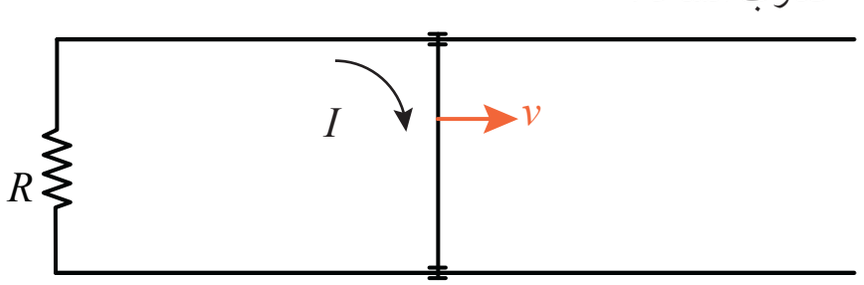
$\theta = 90°$

العلاقات: V=*BLv*

الحل: في هذه الحالة، يتغيّر الفيض المغناطيسي؛ لكن ليس بسبب تغيُّر المجال المغناطيسي، بل بسبب تغيُّرالمساحة.

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

لإيجاد اتِّجاه التيار، نطبّق قانون لنز. فعندما يتحرّك السلك يزداد الفيض المغناطيسي الخارج من الصفحة. وبالتالي يجب أن يولّد التيار الحثّي مجالًا مغناطيسيًّا يتّجه إلى داخل الصفحة. بتطبيق قاعدة اليد اليمنى، نحصل على اتّجاه التيّار، وهو اتِّجاه حركة عقارب الساعة.



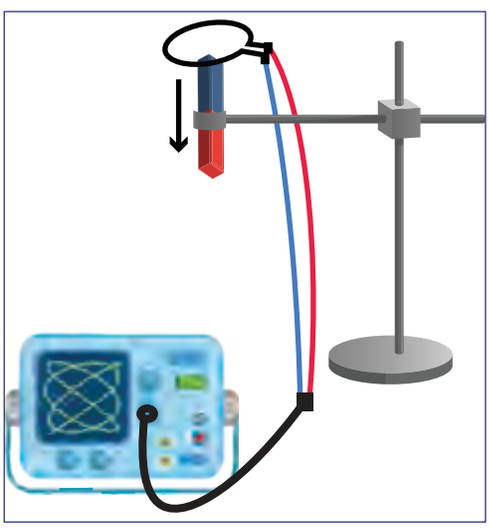
www.jnob-jo.com

نشاط عمليّ

a1-5 القوة الدافعة الكهربائية الحثيّة في ملفّ واحد

سؤال الاستقصاء	مُلاحظة قوة دافعة كهربائية حثيّة في ملف واحد نتيجة لتغيّر المجال المغناطيسي.
الموادّ المطلوبة	موصِّل سلكي نحاسي، مغانط مختلفة، حامل للتعليق، راسم ذبذبات أو مستشعر جهد، سلك راسم الذبذبات مزوَّد بملاقط تمساح، ملاقط بلاستيكيّة.

خطوات التجربة



الشكل 5-17 المجال المغناطيسي عبر ملفّ واحد.

1. ضع المغناطيس على حامل التعليق، كما هو مبيّن في الشكل 5-17.
2. جهّز ملفًّا واحدًا مع سلك موصِّل، ثم قم بتوصيل طرفَي السلك بملاقط التمساح لراسم الذبذبات. صل شريط راسم الذبذبات بالقناة 1 للراسم، ثم اضغط زر التشغيل.
3. احمل الملفّ بزوج من الملاقط البلاستيكيّة، وحرّك الملف إلى الأعلى والأسفل ببطء. شاهد منحنى الجهد الظاهر على شاشة راسم الذبذبات.
4. أعد الخطوة 3، لكن بتحريك الملفّ بشكل أسرع. ارسم منحنى الجهد الظاهر على شاشة راسم الذبذبات.

الأسئلة

a. ما الفرق بين المنحنيين في الخطوة 3 والخطوة 4؟
b. لماذا يظهر جهد سالب وآخر موجب عند مرور المغناطيس عبر الملف؟
c. لماذا تكون القوة الدافعة الكهربائية الحثيّة صفرًا عند مرور الملف عبر مركز المغناطيس؟
d. سجّل طريقتين تجعلان القوة الدافعة الكهربائية الحثيّة أكبر.
e. المجال المغناطيسي في هذا الاستقصاء ثابت، والملف متحرّك. كيف يمكن لهذا الاستقصاء أن يتغيّر إذا كان الملف ثابتًا والمجال المغناطيسي مُتحرّكًا.

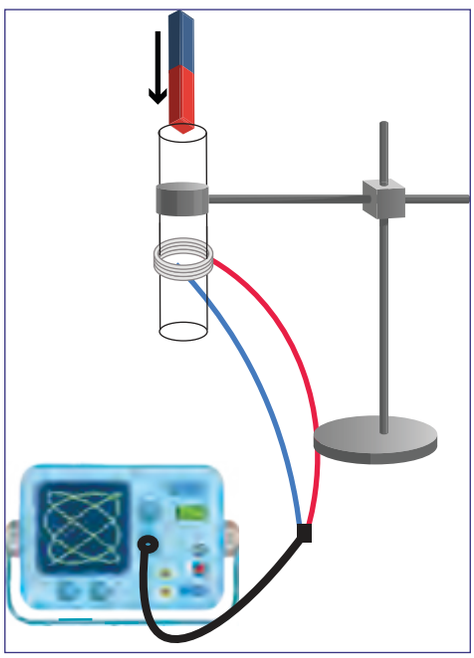
www.jnob-jo.com

نشاط عملي

b1-5 القوة الدافعة الكهربائية الحثيّة في ملف لولبي

سؤال الاستقصاء	مُشاهدة قوة دافعة كهربائية حثيّة في ملف لولبي أثناء تغيير المجال المغناطيسي.
الموادّ المطلوبة	موصِّل سلكي نحاسي، مغانط مختلفة، حامل تعليق، راسم ذبذبات، سلك راسم الذبذبات مزوَّد بملاقط تمساح.

خطوات التجربة



الشكل 5-18 المجال المغناطيسي خلال ملف لولبي.

1. جهّز ملفًّا لولبيًّا مؤلفا من 20 لفّة على الأقل، ومصنوعًا من سلك موصِّل، ثمّ ضعه في أنبوب بلاستيكي. اربط الأنبوب بالملف اللولبي على حامل التعليق، كما هو مبيّن في **الشكل 5-18**.
2. صل طرفي الملف بملاقط التمساح لسلك راسم الذبذبات، ثم صل الطرف الآخر للسلك بالقناة 1 لراسم الذبذبات ثمّ اضغط زر التشغيل.
3. أسقط المغناطيس بحيث يمر داخل الملف (تأكد من أنّ المغناطيس لن يصطدم بالأرض أو الطاولة، إما بإمساكه عند سقوطه، أو بوضع وسادة أسفله).
4. ارسم الموجة التي تشاهدها على شاشة راسم الذبذبات.
5. أعد الخطوات 1 ← 4 عن طريق إنشاء ملفّ مؤلف من 40 لفة، ثم 60 لفة.

الأسئلة

a. سجّل طريقتين تستطيع من خلالهما الحصول على قوة دافعة كهربائية حثيّة أكبر.

b. في هذا الاستقصاء، المجال المغناطيسي ثابت والملفّ متحرّك. كيف تتغيّر نتيجة الاستقصاء إذا كان المغناطيس ثابتًا والملفّ مُتحرّكًا.

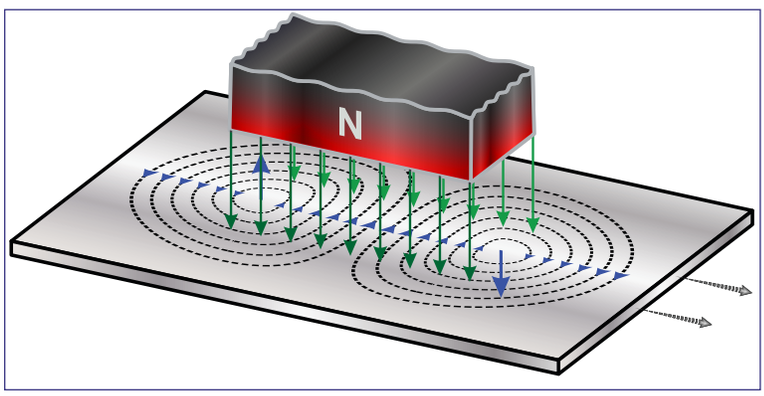
c. كيف تتغيّر قوة دافعة كهربائية حثيّة إذا جعلنا مساحة سطح الملفّ ضعفي ما هي عليه؟ هل سيتغير منحنى الجهد بالنسبة إلى الزمن أيضًا؟

www.jnob-jo.com

التيارات الدوّامية

يمكن للفيض المغناطيسي المتغيّر أن يحثّ تيّارًا في أي نوع من الموصِّلات، مهما يكن شكله أو حجمه. إذا لم يكن الموصِّل سلكًا، يتّخذ التيار الحثّي شكل دوّامات صغيرة، تعرف باسم **التيّارات الدوّامية Eddy currents** . تكون التيّارات الدوّامية أقوى عند سطح الموصِّل.

في **الشكل 5-19**، صفيحة رقيقة من الألومنيوم تتحرّك نحو اليمين. يتحرّك الطرف الأيمن من الصفيحة مُبتعدًا عن المغناطيس، فيتناقص الفيض المغناطيسي. وبالتالي يكون اتِّجاه المجال المغناطيسي الناتج عند الطرف الأيمن للصفيحة نحو الأسفل أيضًا. وهو ما يولّد تيّارًا في اتجاه حركة عقارب الساعة.



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

يتحرّك الطرف الأيسر من الصفيحة نحو المغناطيس. فيزداد الفيض المغناطيسي. ومن أجل مواجهة هذا التغيُّر، يكون اتِّجاه المجال المغناطيسي المتولّد نحو الأعلى، الأمر الذي يولّد تيّارًا دوّاميًا، بعكس اتجاه حركة عقارب الساعة.

الآثار الضارة للتيّارات الدوّامية

a. غالبًا ما تُسبِّب التيّارات الدواميّة فقدًا لجزء من الطاقة الكهربائيّة في الأجهزة المغناطيسية، مثل المُحرِّكات؛ ويكون الفقد على شكل حرارة.

b. تسبّب الحرارة الناتجة تلفًا للعوازل الحرارية والكهربائية.

c. تُنتج التيّارات الدوّامية مجالًا مغناطيسيًّا مُعاكسًا على شكل احتكاك.

تطبيقات التيّارات الدوّامية

1. تُستخدم التيّارات الدّوامية كمكابح للقطارات المُعَلَّقة مغناطيسيًّا، حيث يتحرّك مغناطيس فوق قضبان موصلة. تُنتج هذه الحركة تيارًا حثيًّا في قضبان القطار يُنشئ مجالًا مغناطيسيًّا وفق قانون لنز؛ فيؤدي إلى إبطاء القطار.

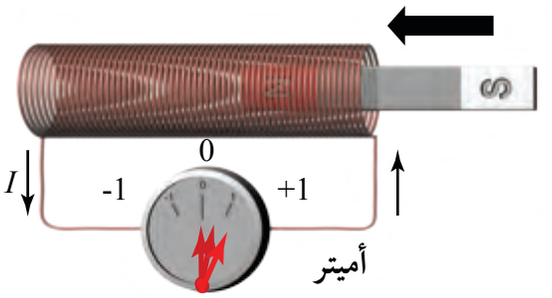
2. في بعض الحالات، يمكننا الاستفادة من الحرارة الناتجة من التيارات الدوامية، حيث تستخدم درجات الحرارة المرتفعة المتولِّدة عن التيارات الدَّوامية في صهر المعادن، وتحضير السبائك في أفران الحث.

3. تُستخدم التيّارات الدوّامية أيضًا للكشف عن وجود عيوب في المعدن. فهي لا تتشكَّل في منطقة العيب. ويفيد ذلك خصوصًا في التحقُّق من العيوب والخلل في متن الطائرات.

www.jnob-jo.com

تقويم الدرس 5-1

1. يُدخِلُ طالب القطب N لمغناطيس في الطرف الأيمن لملف حلزوني ويلاحظ تحرُّك إبرة الأمّيتر نحو اليمين (الاتجاه الموجب) كيف تتحرّك إبرة الأميتر إذا:

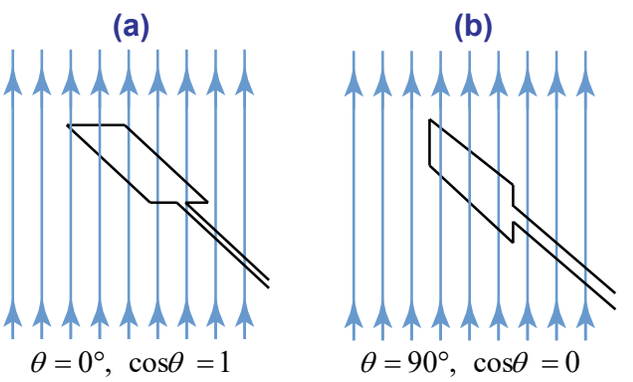


a. توقّفت حركة المغناطيس وبقي قطبه N داخل الملف؟

b. سُحب المغناطيس بالسرعة نفسها التي أُدخِلَ بها؟

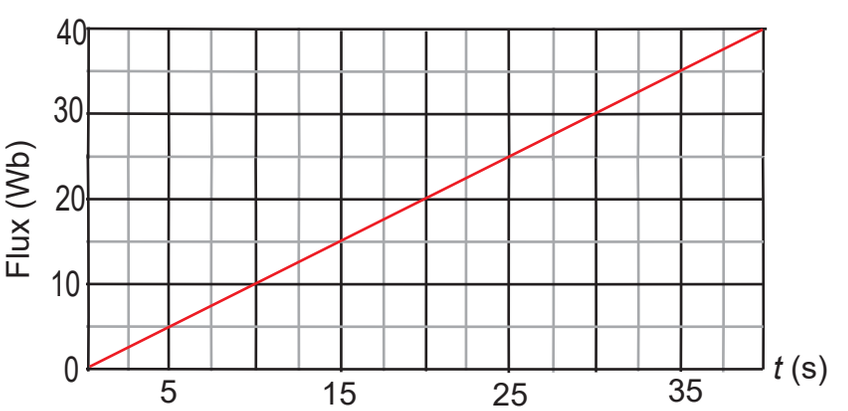
c. أُدخِلَ قطب S للمغناطيس من الطرف نفسه، وبالسرعة عينها؟

2. ملفّ سلكي موضوع بشكل عمودي على مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.1 T يتجه إلى أعلى. عرض الملف 20 cm وطوله 60. cm بدأ الملف بالدوران، ثم توقّف بعد استدارة 90° .



ما قيمة الفيض المغناطيسي عبر الملف في كل من الحالتين؟

3. يُظهر الشكل أدناه تغيُّر الفيض المغناطيسي في ملف من لفّة واحدة بدلالة الزمن، احسب القوة الدافعة الكهربائية الحثيّة في الملف.



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

www.jnob-jo.com

الدرس 5-2
مولِّدات التيّار المتردِّد (AC)

تُستخدَم المولِّدات في محطّات توليد الكهرباء لإنتاج الكهرباء. ويُستخدَم في السيّارات التي تعمل على وقود البنزين جهاز مماثل يُسمّى المبدّل (الدينامو) لتوليد الكهرباء. يعمل الدينامو بشكل مشابه للمولِّد الكهربائي، حيث يقوم بشحن بطّارية السيّارة، ويُوفِّر الطاقة للأنظمة التي تعمل بالكهرباء، مثل أنظمة الصوت والإضاءة.

الشكل 5-20 الدينامو

يحتوي كل من المولِّد الكهربائي والدينامو على ملفّات عدّة من الأسلاك الكهربائية حول قلب حديدي، لأن الحديد يُضخِّم المجالات المغناطيسية؛ فيؤدّي إلى تحسين إنتاج الطاقة الكهربائية. في السيارات الهجينة والسيارات الحديثة التي تعمل على الكهرباء، يعمل محرِّك الدفع الكهربائي كمولِّد، عندما لا تتسارع السيارة. ويجري استخدام جزء من الطاقة الحركية للسيارة في شحن بطاريتها، بدلًا من هدرها كطاقة حرارية.

مخرجات التّعلُّم

P1113.1 يحدد أن التيار الكهربائي المتردد يتولد عند دوران ملف في مجال مغناطيسي منتظم، ويوضح مبدأ عمل مولد كهربائي بسيط للتيار المتردد.

P1113.2 يصف مفاهيم القيمة الفعالة لشدة التيار، والقيمة الفعالة لفرق الجهد، والزمن الدوري، والتردد، والقيمة العظمى لشدة التيار المتردد، ويحل مسائل حسابية حول كل من هذه المفاهيم.

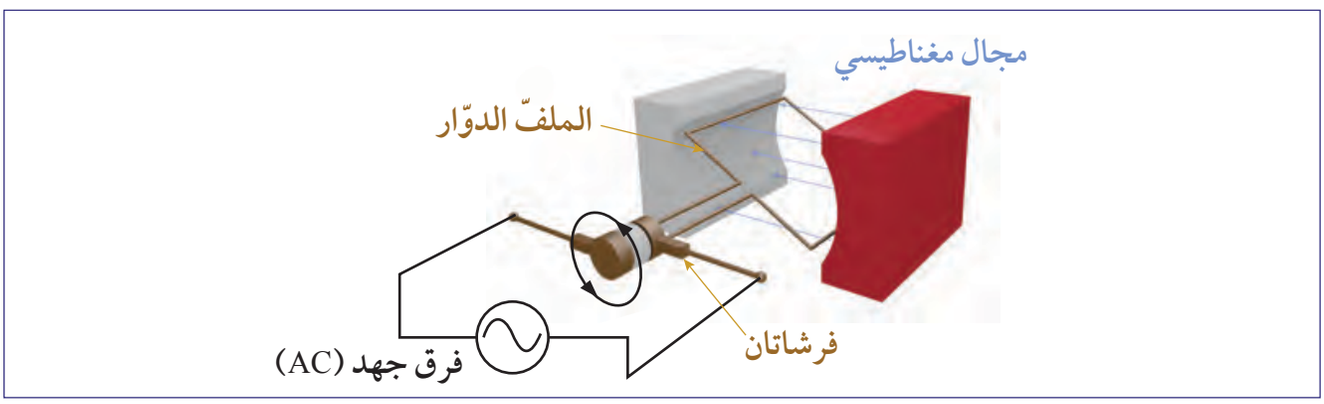
المفردات

مولّد التيار المتردّد (AC)	AC Generator
جهد متردِّد	Alternating voltage
التيار المستمرّ (DC)	Direct current
التيار المتردِّد (AC)	Alternating current
دائرة تيار متردِّد	AC circuit
القيمة الفعَّالة	Root mean square value (Effective value)

www.jnob-jo.com

مولِّد التيّار المتردِّد (AC)

مولِّد التيّار المتردِّد هو آلة تستخدم قانون الحث لفارادي حيث يجري توليد الكهرباء من خلال التغيُّر المستمر للفيض المغناطيسي خلال الملفّ الكهربائي، كما يُظهِر **الشكل 5-21**. نتيجة لدوران الملف حول محوره داخل المجال المغناطيسي، يؤدّي تغيّر الفيض المغناطيسي إلى توليد فرق جهد حول طرفَي الملف. فالارتفاع والانخفاض في الفيض المغناطيسي يولّد فرق جهد يتردَّد بين السالب والموجب. فمصطلح (AC) يعني تيّارًا كهربائيًّا متردِّدًا.



الشكل 5-21 مبدأ عمل المولِّد الكهربائي.

معلوم أن معظم مولِّدات الكهرباء الحديثة في العالم، والتي تنتج جهدًا متردِّدًا، تكون سرعة تغيُّر إشارة الجهد فيها 60 مرّة كل ثانية أي 60Hz. فالملف الظاهر في **الشكل 5-21** يدور بمعدَّل 3600 دورة في الدقيقة. تُستخدَم في بعض البلدان مولّدات بتردُّد 50Hz. من البديهي أن مولِّدات الكهرباء (AC) لا تولِّد الكهرباء من لا شيء. فالمولّد يحوِّل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية؛ فيدفع التيار الكهربائي الحثّي الملف داخل المجال المغناطيسي، والطاقة الميكانيكية الداخلة تُبقي الملف في حالة دوران. تحوِّل المولدات الحديثة 90% من الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية.

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

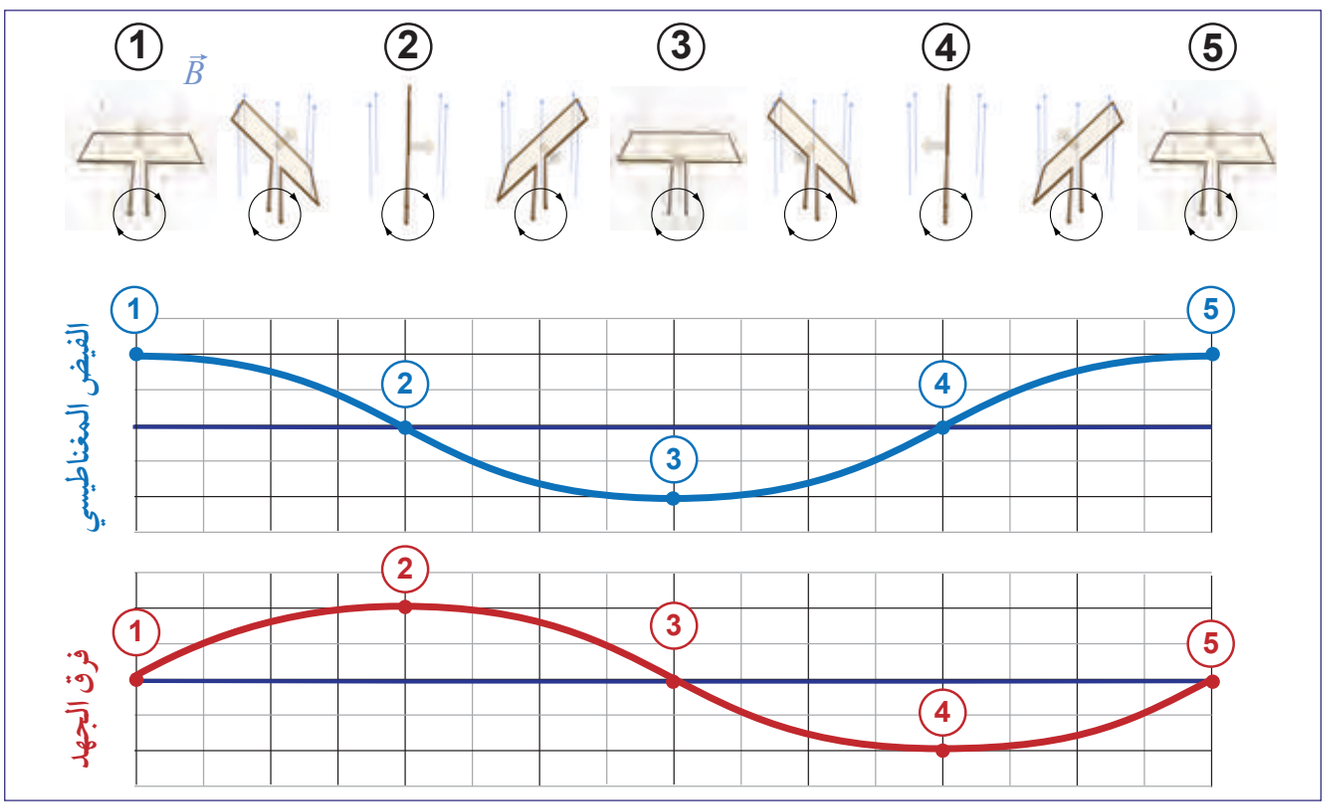
الشكل 5-22 مولِّد كهربائي صناعي مفكَّك للصيانة.

تأتي الطاقة الميكانيكية اللازمة لدوران الملف وتشغيل المولِّد من احتراق الغاز أو البنزين أو الديزل أو الفحم. ويمكن أن يكون مصدرها القدرة النووية أو سقوط الماء أو حركة الرياح.

www.jnob-jo.com

الفيض المغناطيسي في مولِّد التيار المتردِّد (AC)

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



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

لكي نفهم كيف يعمل مولد التيار المتردِّد، ننظر إلى الفترات الزمنية الأربع الموجودة في **الشكل 5-23** خلال دوران الملف في المجال المغناطيسي. ينشأ الجهد الحثّي نتيجة تغيُّر معدَّل الفيض (الميل)، وليس كمية الفيض نفسها.

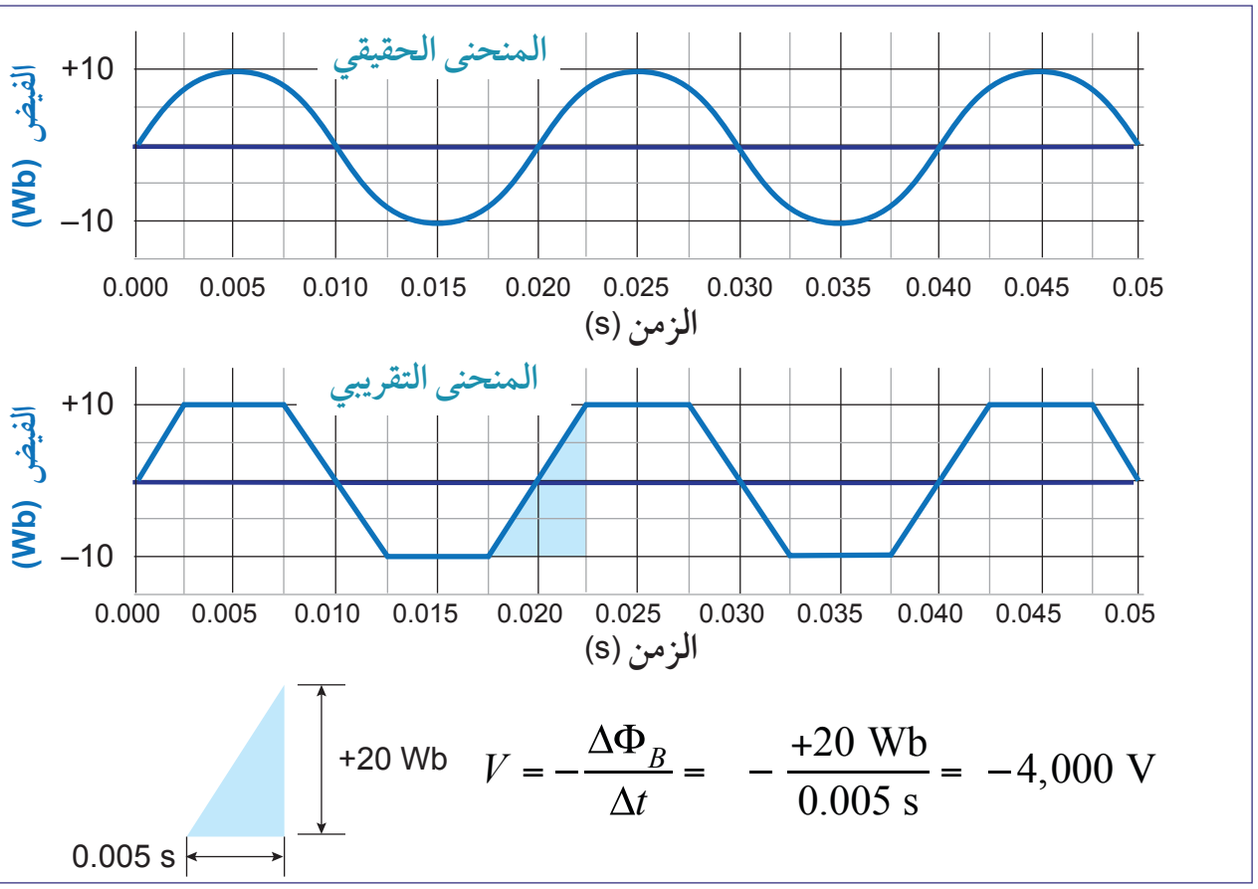
1. عند اللحظة (1)، يكون محور الملف موازيًا لاتّجاه المجال المغناطيسي، ما يعني أن الفيض يصل إلى قيمته العظمى، فيكون ميل المنحنى عند هذه اللحظة يساوي صفرًا، وبالتالي يكون الجهد صفرًا.
2. عند اللحظة (2)، تصل قيمة الفيض المغناطيسي إلى الصفر أثناء تناقصها، فيكتسب ميل المنحنى، وكذلك الجهد، أعلى قيمة موجبة.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

www.jnob-jo.com

حساب القوّة الدافعة الكهربائية الحثيّة

يربط قانون فارادي القوة الدافعة الكهربائية الحثيّة بمعدّل تغيّر الفيض المغناطيسي مع الزمن. ومُعدّل التغيّر هذا هو ميل منحنى الفيض بدلالة الزمن. ولإيضاح كيفية الحساب، يُظهر **الشكل 5-24** دالّة جيبية تقريبية تصف تغيّر الفيض المغناطيس بدلالة الزمن.



الشكل 5-24 حساب تقديري للقوة الدافعة الكهربائية الحثيّة.

مثال 6

احسب القوة الدافعة الكهربائية الحثّية من المنحنى التقريبي المعطى في **الشكل 5-24**.

a. عند اللحظة 0.015 s.

b. عند اللحظة 0.030 s.

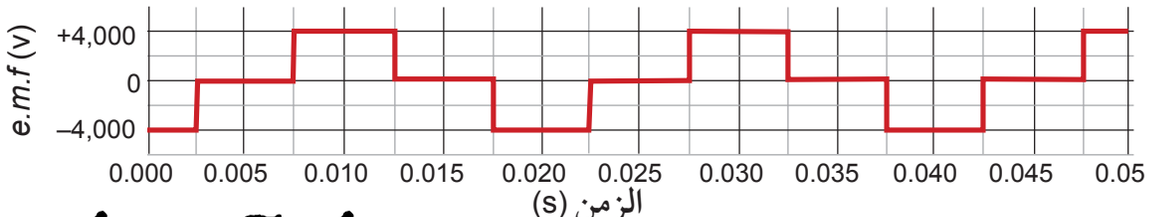
c. ارسم منحنى القوة الدافعة الكهربائية الحثّية بدلالة الزمن.

الحل:

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

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

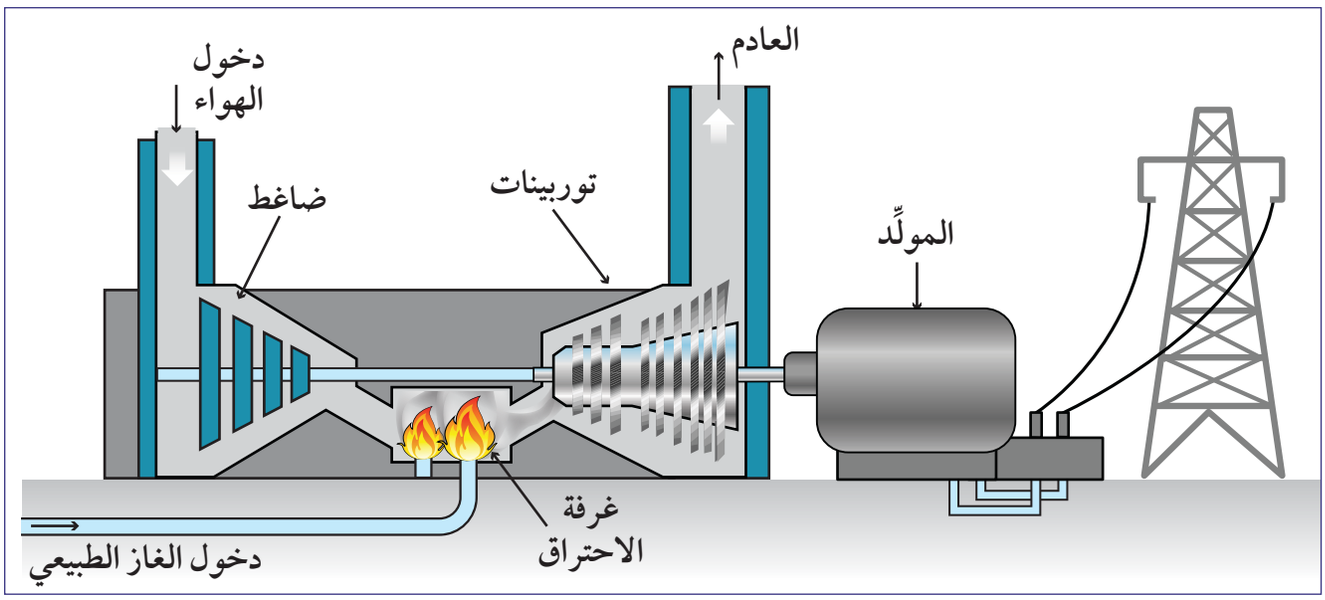
c.



www.jnob-jo.com

محطّات توليد الكهرباء

تُستَخدَم المولِّدات الكهربائية لتوليد الكهرباء من الرياح، ومن السدود الكهرومائية، وفي المفاعلات النووية، وفي محرّكات السيّارات وفي محطّات الغاز والفحم. لمحطّات الطاقة آلات دوران تسمى التوربينات، تولِّد الحركات الدورانية، وتُشغّل المولّدات الكهربائية. تولِّد المولِّدات الكهربائية تيّارًا كهربائيًّا متردِّدًا يُستخدَم في المنازل والشركات.



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

الغاز الطبيعي مصدر شائع للطاقة الكهربائية المُنتَجة في قطر. يحترق الغاز الطبيعي مع الأكسجين في غرفة الاحتراق التي تنتج ثاني أكسيد الكربون (**الشكل 5-25**).

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

الشكل 5-26 تستخدم محطّات توليد الكهرباء المولِّدات الكهربائية.

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

تستخدم السدود الكهرومائية الجاذبية لتدفُّق الماء والتي بدورها تحرِّك التوربينات.

www.jnob-jo.com

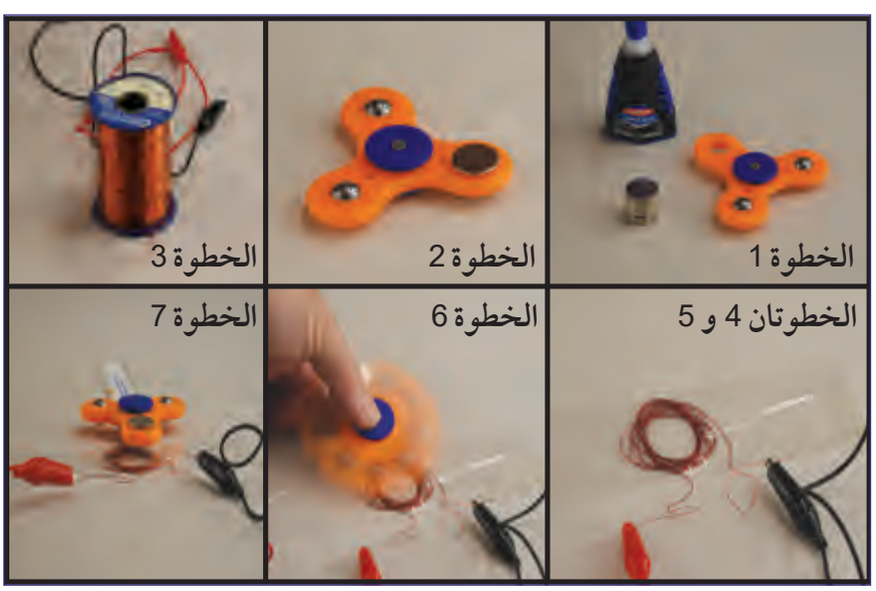
نشاط عملي

5-2 صنع مولِّد كهربائي

سؤال الاستقصاء	كيفية صنع مولِّد كهربائي بسيط.
الموادّ المطلوبة	لعبة الدّوار، مغناطيس قوي دائري الشكل، أسلاك كهربائية مزوَّدة بملاقط تمساح، أسلاك نحاسية رفيعة، راسم الذبذبات.

خطوات التجربة

1. أزل واحدًا من الأوزان الموجودة عند أطراف الدوّار، كما في **الشكل 5-27**.
2. ضع المغناطيس مكان الوزن المُزال، ألصقه جيدًا. مع أن المغناطيس سيلتصق نتيجة لقوة التجاذب، فربّما أفلت أثناء الدوران.
3. استخدم الورق الزجاجي (السنفرة) لإزالة المادة العازلة (الورنيش) الموجودة على السلك النحاسي، لكي يظهر الجزء الموصِّل منه.
4. اصنع ملفًّا عن طريق الأسلاك الكهربائية، حيث يكون الملف رفيعًا، ثم ألصقه بالطاولة. حاول أن يكون الملف مسطّحًا قدر الإمكان.
5. صِل طرفي الملف براسم الذبذبات، عن طريق استخدام الأسلاك الكهربائية المزوَّدة بملاقط تمساح. ثم شغّل راسم الذبذبات.
6. اغزل الدوّار، لكي يدور. ولاحظ الجهد على شاشة راسم الذبذبات.
7. ضع الدوّار فوق مسطرة، حيث يصبح قريبًا جدًّا من الملف.
8. قِس فرق الجهد وتغيُّر فرق الجهد.

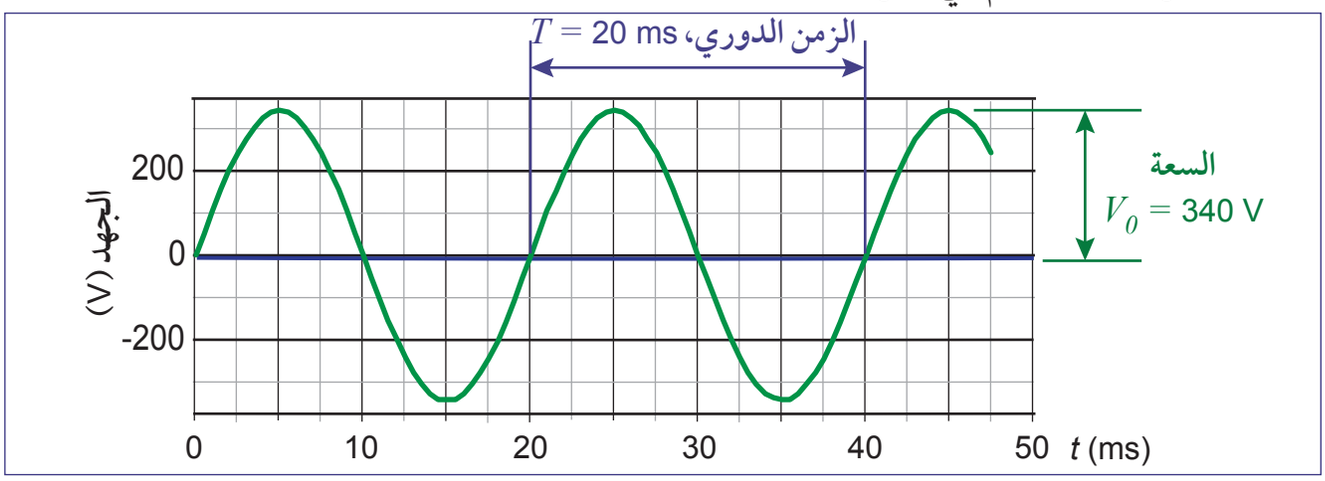


الشكل 5-27 كيفية صنع مولد كهربائي بسيط.

www.jnob-jo.com

الجهد المتردِّد (AC)

يُنتج مولِّد التيّار المتردِّد جهدًا تتردَّد قيمته بين موجبة وسالبة في كل دورة من دورات الملف. يُمثَّل شكل الجهد المتردِّد والتيار المتردِّد على شكل موجة جيبية. يوضح **الشكل 5-28** شكل الموجة الجيبيّة للجهد المتردِّد المستخدم في قَطر.



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

1. الزمن الدوري (T) لموجة هو الزمن بين نقطة على الدورة الأولى وبين النقطة نفسها على الدورة الثانية، الزمن الدوري في المثال: T = 20 ms.
2. التردُّد f هو مقلوب الزمن الدوري، أي عدد الدورات في الثانية الواحدة.
وحدة قياس التردُّد هي الهيرتز Hz، وهي عدد الموجات في الثانية الواحدة. تردُّد التيار المستخدم في قطر ودول أوروبا هو 50Hz.
3. السعة هي أعلى قيمة للموجة (قمّة الموجة). السعة في المثال = 340V ويتردَّد الجهد بين 340V و 340V–. هذه السعة هي المستخدمة في قطر، وغالبية الدول الأوروبية.

مثال 7

احسب تردُّد موجة إذا كان زمنها الدوري 0.0167s

الحل:

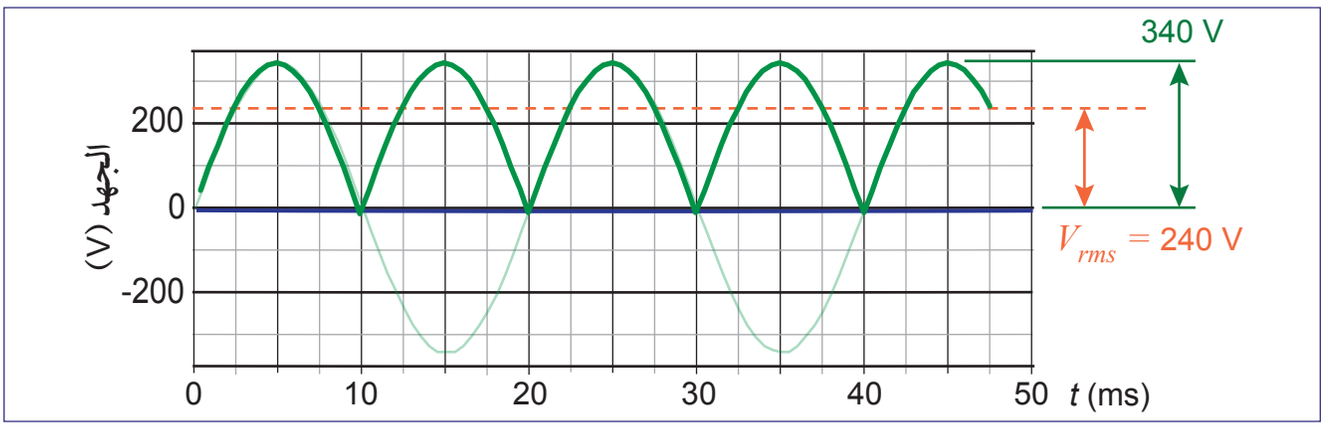
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.01667\ \text{s}} = 60\ \text{s}^{-1} = 60\ \text{Hz}$$

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

www.jnob-jo.com

القيمة الفعّالة للجهد (RMS)

يمكن وصف جهد البطارية برقم واحد، 1.5V على سبيل المثال. هل يمكنك أن تعبّر عن جهد متردِّد برقم واحد؟ الجهد المتردِّد تكون قيَمُه متغيِّرة. تبلغ القيمة الفعالة للجهد المستخدم في قطر، ومعظم الدول الأوروبية، 240V، في حين أن القيمة العظمى للجهد تبلغ 340V. فمن أين أتت 240V؟



الشكل 5-29 القيمة الفعّالة للجهد المتردِّد.

بالنظر إلى أن الأجزاء الموجبة والسالبة للجهد المتردِّد متناظرة، يكون متوسط الجهد لدورة واحدة مساويًا للصفر. ولحساب متوسِّط الجهد المفيد، نقوم بتربيع قيم الجهد حتى تصبح كلها موجبة؛ ثم نحسب متوسِّط هذه القيم المربّعة والموجبة، ثم نحسب جذرها التربيعي. يُسمّى الناتج القيمة الفعّالة للجهد V_{rms} أو $V_{\text{الفعالة}}$. يمثِّل **الشكل 5-29**، القيمة الفعّالة للجهد وهي تساوي 240V، وتكون أقلّ من القيمة العظمى للجهد التي تبلغ 340V. ونحن نستخدم القيمة الفعّالة، وليس القيمة القصوى، للتعبيرعن الجهد المتردِّد.

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

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

مثال 8

احسب القيمة العظمى لجهد قيمته الفعالة 120V.

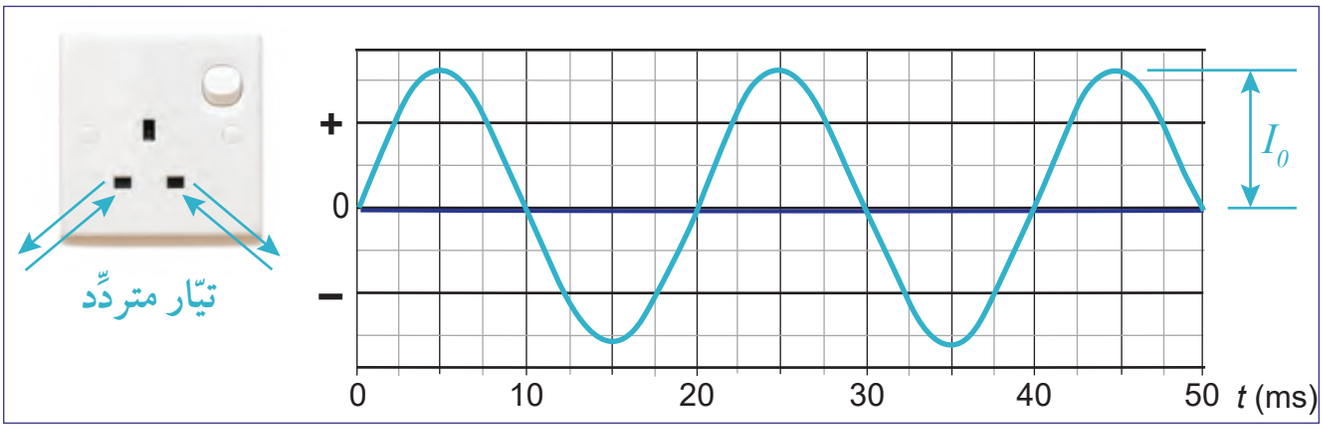
الحل:

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

www.jnob-jo.com

التيّار المتردِّد (AC)

يطلق على التيار الناتج من بطّارية اسم التيار المستمر أو (DC). والتيار المستمر ثابت الشدّة ويتدفَّق باتِّجاه واحد، لأن القطب الموجب والقطب السالب للبطارية لا ينعكسان. أما **التيّار المتردِّد** (AC) **Alternating current** فيتقلّب اتجاه التيار فيه نتيجة لتقلّب إشارة الجهد. لذلك يكون تردُّد التيار مساويًا لتردُّد الجهد المتردِّد. عندما تقوم بتوصيل جهاز بمأخذ التيار، فإن التيار يعكس نفسه 50 مرة في الثانية. (**الشكل 5-29**).



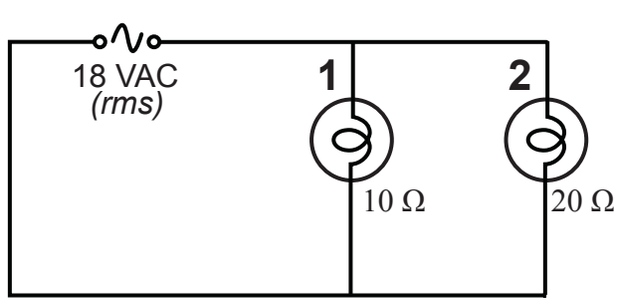
الشكل 5-30 التيار المتردِّد في قطر.

1. تردُّد التيّار المتردِّد يساوي تردُّد الجهد المتردِّد الصادر عنه.

2. القيمة العظمى للتيّار المتردِّد I_o تعتمد على مقاومة الجهاز أو الدائرة الموصول بها. يجري في العادة الحفاظ على جهد التيّار المتردِّد كأساس، وتختلف قيم التيّار باختلاف مقاومة الدائرة.

مثال 9

يجري توصيل مصدر جهد متردِّد، قيمته الفعّالة 18V، بالدائرة المجاورة.



a. احسب القيمة العظمى للتيّار المار في المصباحين (1) و (2).

b. احسب القيمة العظمى للتيّار الكلّي.

الحل:

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

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

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

www.jnob-jo.com

القدرة في دوائر التيار المتردِّد

يمكن حساب القدرة الكهربائية لدائرة كهربائية ثابتة الشدة (DC) باستخدام المعادلة $P = VI$. لكن في الدائرة ذات الجهد المتردِّد، تعتمد القدرة الكهربائية على القيمة الفعّالة للجهد والتيّار. يمكن حساب متوسِّط القدرة للمقاومة في دائرة التيّار المتردّد بالمعادلة 5-5، وحساب القيمة الفعّالة للتيّار المتردِّد بالمعادلة 5-6.

5-5	متوسّط القدرة في مقاومة دائرة التيّار المتردِّد	P	متوسّط القدرة (W)
$P = V_{rms} I_{rms}$		V_{rms}	القيمة الفعّالة للجهد (V)
		I_{rms}	القيمة الفعّالة للتيار (A)
6-5	قانون أوم لدائرة تيار متردِّد تشتمل على مقاومة	I_{rms}	القيمة الفعّالة للتيار (A)
$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R}$		V_{rms}	القيمة الفعّالة للجهد (V)
		R	المقاومة (Ω)

تُطبَّق المعادلة 5-5 في الدوائر التي تحتوي على مقاومات فحسب، أو أجهزة تشتمل على مقاومات فحسب، كالمصابيح. لكن في حالة المكثّف والأجهزة الكهرومغناطيسية الأخرى كالمحرِّك الكهربائي، فإن الوضع يختلف، بالنظر إلى وجود فرق في الطور بين التيّار والجهد. نذكر أن جهد المكثِّف يتخلّف في الطور عن التيار، لأنه يستغرق وقتًا للشحن والتفريغ.

مثال 10

مولِّد كهربائي متردِّد صغير قيمة جهده العظمى $V_o = 314\ V$، يتّصل بدائرة مقاومتها الكلية $10\ \Omega$. احسب القيمة الفعّالة للجهد والتيّار، وكذلك متوسِّط القدرة الناتجة في المولِّد.

المطلوب: القيمة الفعّالة للجهد V_{eff} والتيّار I_{eff}، متوسّط القدرة P_{av}.

المُعطى: $R = 10\Omega$ ؛ $V_o = 314\ V$

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

الحل:

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

لحساب القيمة الفعّالة للتيّار: $I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{222\ V}{10\ \Omega} = \boxed{22\ A}$

لحساب متوسِّط القدرة: $P = V_{rms} I_{rms} = (222\ V)(22\ A) = \boxed{4{,}884\ W}$

www.jnob-jo.com

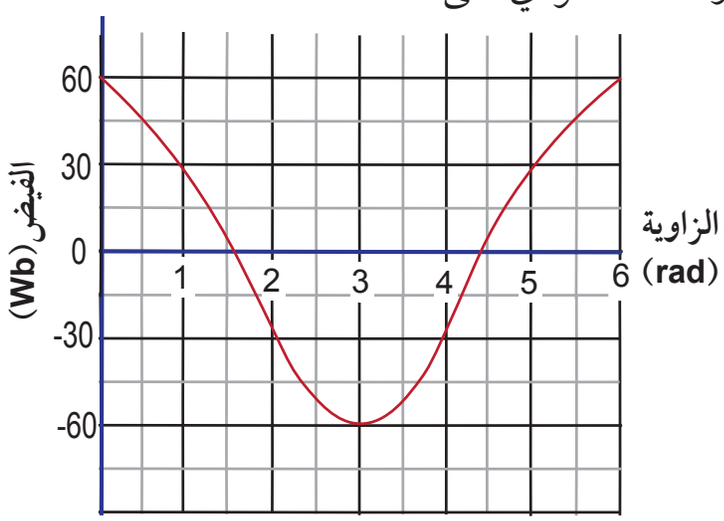
تقويم الدرس 2-5

1. مولِّد كهربائي للتيار المتردِّد يحتوي على ملف عدد لفّاته 400، ومساحة مقطعه $100\ cm^2$، يدور داخل مجال مغناطيسي شدته $3 \times 10^{-2}T$ بسرعة 75 دورة بالدقيقة.

a. احسب القيمة العظمى للجهد الحثّي.

b. احسب القيمة العظمى للتيار، إذا كانت المقاومة تساوي 14Ω.

2. وُضِع ملف داخل مجال مغناطيسي ثابت الشدّة. عندما يدور هذا الملفّ، فإن الزاوية بين الخط العمودي على الملفّ واتجاه المجال المغناطيسي تتغيّر. يوضح الرسم البياني الآتي كيفية تغيُّر الفيض المغناطيسي مع الزاوية بين اتجاه المجال المغناطيسي والخط العمودي على الملف.

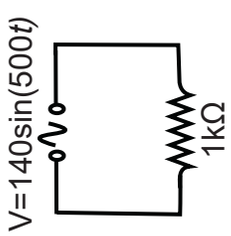


a. أنشىء رسمًا بيانيًّا يوضح تغيُّر القوة الدافعة الكهربائية الحثّية بالنسبة إلى الزاوية.

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

- كيف سيتغيّر الفيض المغناطيسي بالنسبة إلى الزاوية؟ يمكنك أن ترسم التغيّر على ورقة رسم بياني.
- أنشىء رسمًا بيانيًّا يوضِّح تغيُّر القوة الدافعة الكهربائية الحثّية بالنسبة إلى الزاوية.

3. في الدائرة المجاورة، احسب:



a. القيمة الفعّالة للجهد.

b. القيمة الفعّالة للتيّار.

c. القدرة القصوى المفقودة.

d. متوسِّط القدرة المفقودة.

www.jnob-jo.com

الدرس 5-3
المحوِّلات الكهربائية

جعلت المُحوِّلات نقل الكهرباء يجري بفاعلية فائقة. وقبل المحوِّلات، كانت الأنظمة المبكرة من محطّات توليد التيار المستمر تفقد 20% إلى 85% من الطاقة الكهربائية خلال نقلها من محطات توليد الكهرباء إلى المنازل. صمّم ويليام ستانلي أول محوّل كهربائي تجاري عام 1886 بالاستناد إلى عمل هانز كريستيان أورستد. كان أورستد عالمًا ومتحدّثًا شعبيًا معروفًا. 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 المتدفِّق ينتج مجالًا مغناطيسيًّا.

استخدم مايكل فـارادي نتائج أعمال أورستد لإنشاء أول جهاز دوران كهربائي، وهو أساس المحرِّك الكهربائي. واكتشف فـارادي عـام 1831 أن تَغَيُّر المجال المغناطيسي عبر سلك يؤدي إلى توّليد كهرباء فيه أيضًا، فأدرك الآتي: بدلًا من تحريك مغناطيس يمكن تغيير المجال المغناطيسي عبر السلك، فتتولّد فيه الكهرباء أيضًا. وهذا هو المبدأ الأساسي في عمل المحوّلات الكهربائية.

الشكل 5-31 محول جهد عالي للتيار المتردِّد.

مخرجات التّعلُّم

P1113.3 يـصـف مبدأ عمل المحول الكهربائي ويشرح أهميته في نقل الطاقة الكهربائية لمسافات طويلة.

P1113.4 يحل مسائل حسابية حول نقل الطاقة الكهربية.

المفردات

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

www.jnob-jo.com

نقل الطاقة الكهربائية

تُشاد محطّات توليد الكهرباء في العادة بعيدًا عن المنازل التي يستخدم الناس فيها الطاقة الكهربائية. تمتلك الأسلاك الكهربائية مقاومة منخفضة جدًا؛ لكنها ليست صفرًا. يتدفق التيار الكهربائي عبر خطوط التوصيل، فتتبدّد بعض الطاقة كحرارة نتيجة لمقاومة أسلاك خطوط النقل. وتتناسب القدرة الكهربائية P المفقودة بسبب مقاومة الأسلاك، طرديًّا مع مربّع شدّة التيّار المار فيها (**المعادلة 5-7**).

سؤال للمناقشة

لماذا تُستخدم خطوط الجهد العالي لنقل الكهرباء من محطات الطاقة؟

هل يُستخدَم الجهد العالي نفسه لتشغيل منازلنا؟

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

الجدول 5-2 فقد القدرة عند نقل 240 kW.

	المعادلة	240 V	2,400 V
التيّار الكهربائي في خط نقل مقاومته 0.1 Ω	$I = \frac{P}{V}$	1000 A	100 A
القدرة المفقودة في خط النقل	$P_{\text{مفقودة}} = I^2R$	100 kw	1000 W
نسبة القدرة المفقودة من القدرة المنقولة	$\frac{P_{\text{مفقودة}}}{240kW}$	42 %	0.42 %

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

$$P_1 = V_{rms}\, I_{rms} = (240\ V)(1000\ A) = 240{,}000\ W$$
$$P_2 = V_{rms}\, I_{rms} = (2{,}400\ V)(100\ A) = 240{,}000\ W$$

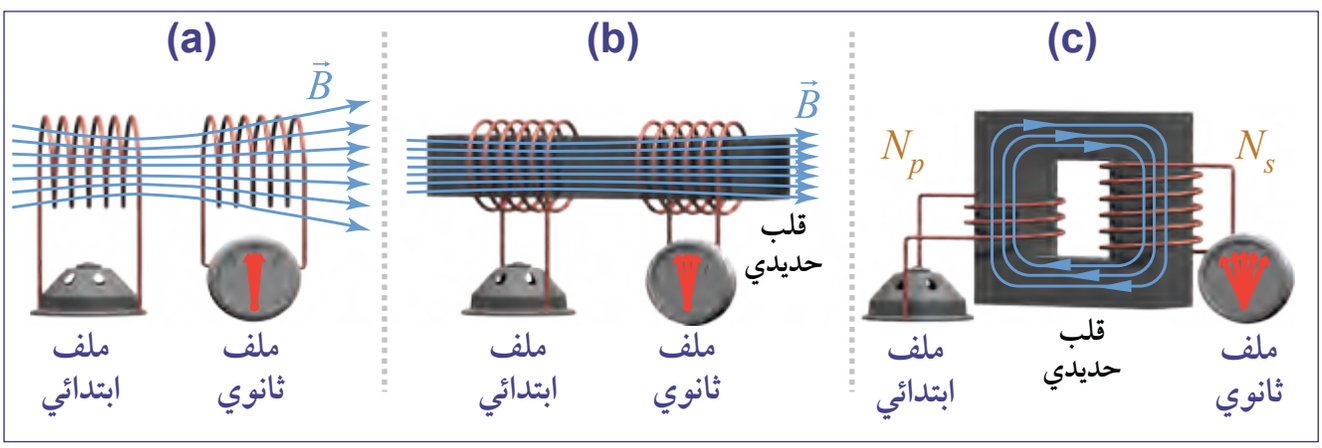
يكون فقد القدرة في خط 240 V مقداره 100 kW كما هو مبيّن في الجدول 5-2، أي بنسبة (42%) من القدرة المنقولة، في حين يكون فقد القدرة في خط 2,400 V مقداره 1,000 W فقط أي بنسبة (0.4%) فقط وهي أقل كثيرًا،لأن الفقد من خلال خط نقل الطاقة يتناسب طرديًا مع مربّع التيار. لذلك يتمتّع استخدام خطوط نقل ذات جهد عال بميزة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

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

www.jnob-jo.com

المُحوِّلات الكهربائية

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



الشكل 5-32 كيفية عمل المحوِّل الكهربائي.

ولفهم طريقة عمل المحوِّلات، افترض الملفَّين في **الشكل 5-32**.

a. يُنتج التيّار المتردِّد في الملف الابتدائي مجالًا مغنطيسيًا متردِّدًا. وهذا المجال المتردِّد ينشىء فيضًا مغناطيسيًا متردِّدًا في الملف الثانوي؛ فيتولّد تيار متردِّد حثّي في الملف الثانوي (الحث المتبادل).

b. أُجريَ تحسين باستخدام قلب حديدي بين الملفين، حيث يتصف الحديد بأنه مادة مغناطيسية تركِّز المجال المغناطيسي وتضخّمه. وبناء على ذلك، أصبح كل الفيض الناتج من الملف الابتدائي تقريبًا يدخل الملف الثانوي من خلال القلب الحديدي.

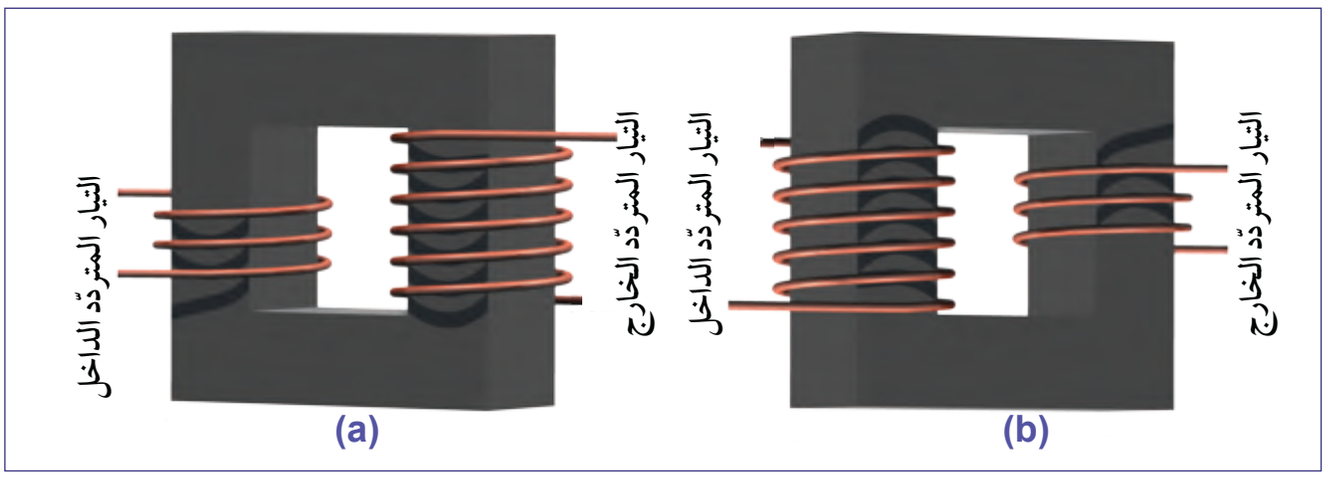
c. إذا كان للملفَّين الابتدائي والثانوي عدد مختلف من اللفات، فسيكون فرق الجهد مختلفًا! فإذا كان عدد اللفات في الملف الثانوي مِثلَيْ عددها في الملف الابتدائي، فإن فرق الجهد فيه سيكون مثلَيْ فرق الجهد في الملف الابتدائي. وبجعل القلب الحديدي مغلقًا على شكل لفّة، فإن المُحوِّل الكهربائي يصبح عندها أكثر كفاءة في تركيز خطوط المجال المغناطيسي وتضخيمها. يرتبط فرق الجهد في كل من الملفَّين الابتدائي والثانوي، وعدد اللفات في كل منهما، بالمعادلة 5-8.

8-5	فرق جهد المحوِّل الكهربائي		
	$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$	V_p	فرق الجهد في الملف الابتدائي (V)
		V_s	فرق الجهد في الملف الثانوي (V)
		N_p	عدد لفّات الملف الابتدائي
		N_s	عدد لفّات الملف الثانوي

www.jnob-jo.com

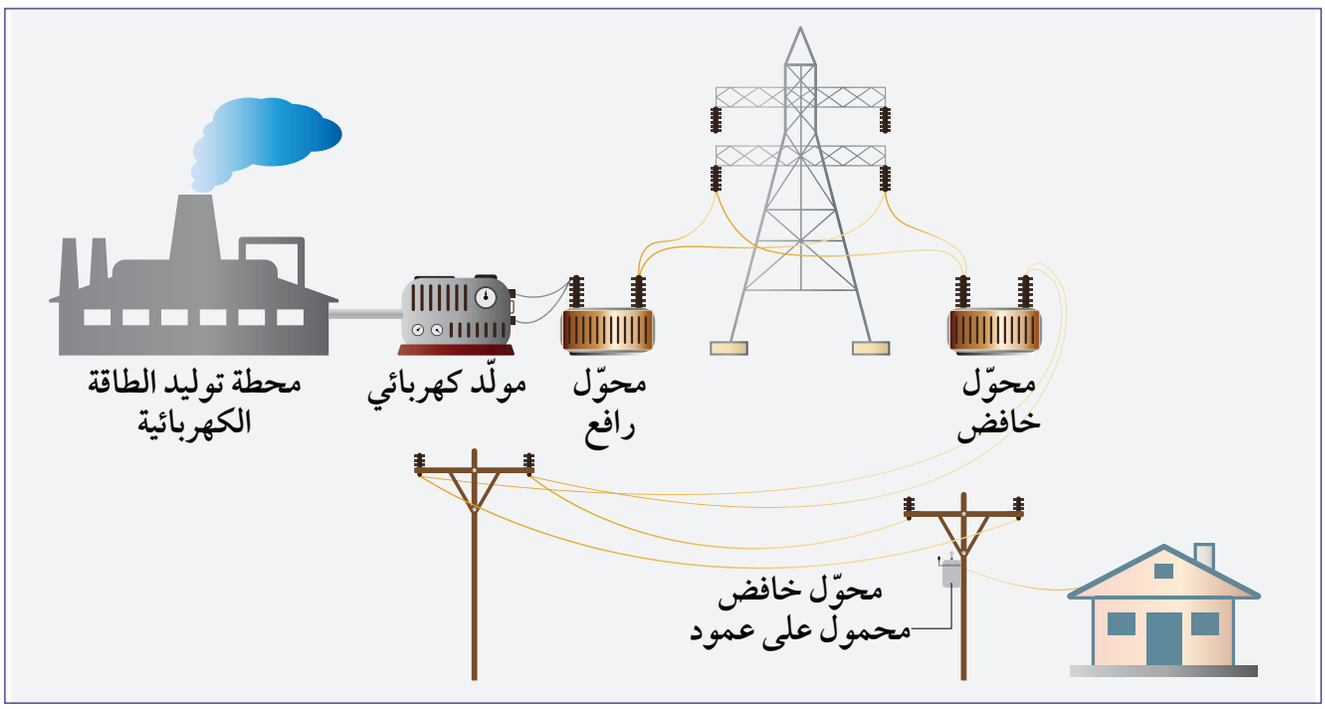
المُحوِّلات الكهربائية الرافعة للجهد والمُحوِّلات الخافضة للجهد

هناك نوعان من المُحوِّلات الكهربائية، هما: **المحوِّل الرافع للجهد Step-up transformer** وعدد لفّاته في ملفّه الثانوي أكبر من عددها في ملفّه الابتدائي؛ وبالتالي فإن فرق الجهد في ملفه الثانوي أكبر من فرق الجهد في ملفّه الابتدائي (**الشكل 5-33a**). و**المحوّل الخافض للجهد Step-down transformer** وعدد لفّات ملفّه الابتدائي أكبر من عددها في ملفّه الثانوي؛ وبالتالي فإن فرق الجهد في ملفّه الابتدائي أكبر مقارنة بفرق الجهد في ملفّه الثانوي (**الشكل 5-33b**).



الشكل 5-33 محوِّل رافع للجهد (a) ومحوِّل خافض للجهد (b).

تُنتِج محطة توليد الطاقة الكهربائية النموذجية فرق جهد قدره 12,000 V. يُستخدَم المُحوِّل الرافع لزيادة فرق الجهد إلى 240,000V من أجل نقله. ويُستخدَم المُحوِّل الخافض لتقليل فرق الجهد إلى 2,400V في محطة الحيّ الفرعية. تُستخدم المُحوِّلات الصغرى لتقليل الجهد من 2,400 V إلى 240 V، قبل الوصول مباشرة إلى المنازل، كما هو مبيّن في **الشكل 5-34**.



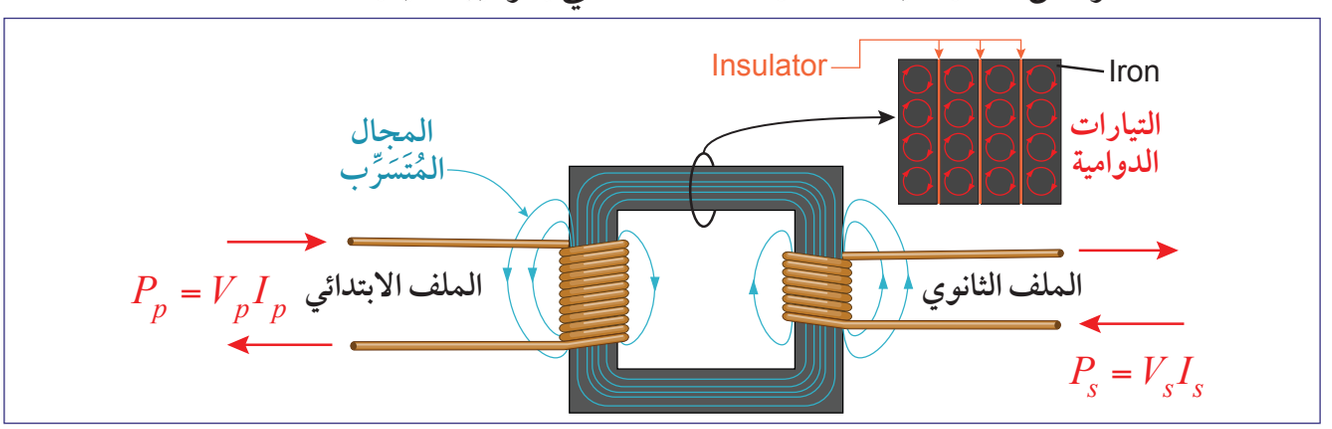
الشكل 5-34 استخدام أنواع مختلفة من المُحوِّلات لتوصيل القدرة الكهربائية إلى المنازل.

www.jnob-jo.com

كفاءة المحوّل

في المحوّل المثالي تتغيّر قيمة كل من شدّة التيار وفرق الجهد بين الملف الابتدائي والملف الثانوي، إلّا أن القدرة هي ذاتها في الملفّين. ففي محوّل 10:1 خافض للجهد قد يكون فرق الجهد 2200V وشدّة التيار 10A في الملف الابتدائي في حين أن فرق الجهد في الملف الثانوي 220V وشدة التيار 100A. لكن في حالة المحوّل الحقيقي، تؤدّي عوامل كثيرة إلى فقد جزء من القدرة وتكوين قدرة في الملف الثانوي أقل منها في الملف الابتدائي (المعادلة 5-9)

1. يؤدّي التيار في الملفّ الابتدائي إلى وجود تيّارات دوّامية في قلب الحديد كما في **الشكل 5-35**. ولذلك يُقسَّم القلب الحديدي إلى شرائح رقيقة لتقليل فقد القدرة نتيجة للتيارات الدواميّة.
2. جزء من شدة المجال المغناطيسي يتسرَّب إلى خارج المحوّل.
3. هناك فقد لجزء من القدرة نتيجة لمقاومة الأسلاك التي يمر فيها التيار.



الشكل 5-35 بعض عوامل خفض كفاءة المحوّل.

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

مثال 11

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

الحل:

فرق الجهد في الملف الثانوي: $\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} \rightarrow V_s = \frac{20}{120}(1920\ \text{V}) = \boxed{320\ \text{V}}$

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

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

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

www.jnob-jo.com

مثال 12

يُستخدم مُحوِّل عدد لفّات ملفّه الابتدائي 2,000 لفّة، لخفض فرق جهد متردّد قيمته الفعالة $V_{rms} = 240\ V$ إلى فرق جهد متردِّد قيمته العظمى 5 V.

a. كم عدد لفّات الملف الثانوي؟

b. إذا كانت نسبة كفاءة المحوِّل 80%، وكانت القيمة الفعالة لشدّة التيار (I_{rms})في ملفّه الابتدائي 0.25 mA، فما القيمة الفعّالة للتيار في الملف الثانوي.

المطلوب: **a.** عدد لفّات الملف الثانوي.

b. القيمة الفعَّالة لشدّة التيار في الملف الثانوي I_{rms}.

المعطى:

عدد لفّات الملف الابتدائي لمُحوِّل $N_p = 2000$؛ والقيمة الفعّالة لفرق الجهد في الملف الابتدائي $V = 240$؛ والقيمة الفعّالة لشدّة التيار في الملفّ الابتدائي $I_{rms} = 0.25\ mA$ ؛ والقيمة العظمى لفرق الجهد في الملفّ الثانوي $V_o = 5\ V$ ؛ وكفاءة المحوّل = 80%.

العلاقات:

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

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

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

الحل:

a. لحساب عدد اللفات في الملف الثانوي يجب أولًا حساب القيمة الفعالة لفرق الجهد في الملف الثانوي. $V_{rms} = \frac{5}{\sqrt{2}} = 3.5 V$

باستخدام معادلة المحول:

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

b. لحساب القيمة الفعالة لشدّة التيار في الملف الثانوي، نحتاج أولًا إلى حساب القدرة في الملف الابتدائي وفي الملف الثانوي. $\overline{P}_p = (240)(0.25\times10^{-3}) = 60\times10^{-3}\ W$

كفاءة المحوّل هي 80 % فقط، لذلك في الملف الثانوي:

$$\overline{P}_s = (60\times10^{-3})(0.8) = 48\times10^{-3}\ W$$

$$\overline{P}_s = V_{rms} I_{rms} \Rightarrow 48\times10^{-3} = 3.5 I_{rms}$$

وهكذا تكون القيمة الفعّالة لشدّة التيار في الملف الثانوي $I_{rms} = 13.7\ mA$

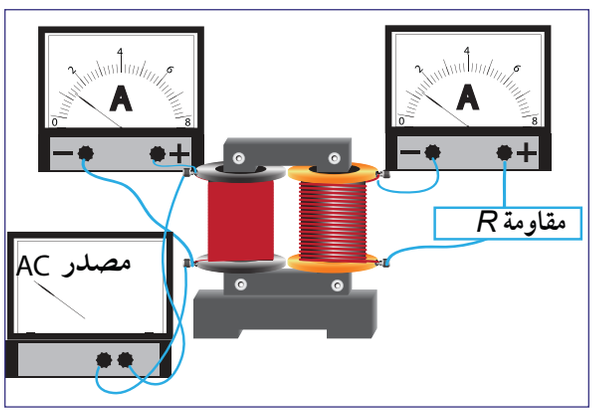
www.jnob-jo.com

نشاط عملي

3-5 المحوِّل الرافع للجهد والمحوِّل الخافض للجهد

سؤال الاستقصاء	لبحث العلاقة بين التيار وفرق الجهد وعدد اللفات في ملفّي المحولات.
الموادّ المطلوبة	قلب حديدي ومجموعة من الملفات قابلة للتركيب، مصدر طاقة تيار متردِّد، أسلاك توصيل، أميتران، وفولتمتر واحد، وثلاث مقاومات كل منها 10 Ω.

خطوات التجربة



الشكل 5-36 قلب حديدي وملفات قابلة للتركيب.

1. كوّن دائرة من الملفات والمقاومة 10Ω والقلب الحديدي، كما هو مبيّن في **الشكل 5-36**.
2. اختر ملفّين 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 وتيّاره.
4. كرّر التجربة بتغيير الملف الثانوي إلى ملف عدد لفاته 200 لفّة، ومرة أخرى عددها 600 لفة.
5. سجّل القراءات في الجدول أدناه.

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

6. كرّر التجربة بوساطة ضبط الملف الابتدائي على 200 لفّة والثانوي على 400 لفّة.

الأسئلة

a. ما العلاقة بين تيّار الملف الابتدائي وتيار الملف الثانوي، عندما تكون المقاومة ثابتة؟
b. هل يؤدّي تغيير المقاومة إلى تغيير العلاقة بين تيار الملف الابتدائي وتيار الملف الثانوي؟
c. هل هذا المحوّل محوِّل مثالي؟ (هل كفاءته 100%؟) إذا كان الجواب لا، احسب كفاءته.

www.jnob-jo.com

تقويم الدرس 5-3

1. املأ الجدول الآتي لمحوّل مثالي:

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

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

3. تنتج محطة الطاقة 480,00 W من القدرة بجهد 2,400 V.

a. احسب القدرة المفقودة في خطوط النقل التي تبلغ مقاومتها 5 Ω على افتراض عدم استخدام أي محوِّلات في النقل.

b. كرّر الحساب عندما تُحوِّل محطة الطاقة الجهد من 2,400 V إلى 24,000 V.

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

5. يوصَّل الملف الابتدائي لمحوِّل بمصدر لتيّار متردِّد، ويوصَّل الملف الثانوي بمصباح يعمل على جهد 12 V وقدرته 36 W. فإذا كان هناك 4,000 لفّة على الملف الابتدائي، و 200 لفّة على الملف الثانوي. احسب:

a. جهد المصدر.

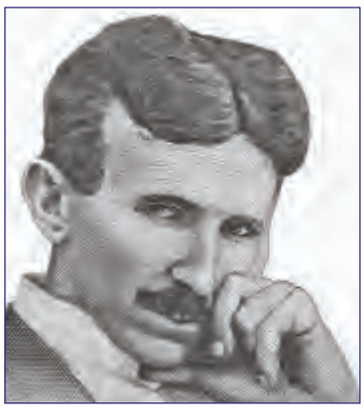
b. القدرة الناتجة من المصدر، إذا كانت كفاءة المحوِّل 100 %.

c. التيار في الملف الابتدائي.

www.jnob-jo.com

ضوء على العلماء

نيكولا تسلا (1856-1943)

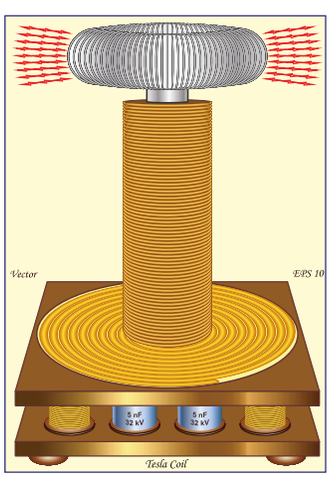


الشكل 5-37 نيكولا تسلا.

ساهم كثير من الناس في التكنولوجيا المبكرة لكهرباء التيار المتردِّد AC. وكان نيكولا تسلا واحدًا من أكثر العلماء شهرة ممن شاركوا في بدايات تلك التكنولوجيا. وُلد تسلا في الإمبراطورية النمساوية (التي تُعرف الآن باسم كرواتيا)؛ ولكنه انتقل فيما بعد إلى الولايات المتحدة.

أثارت عروض الفيزياء التي كان يجريها مُدَرّس 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 يكتبها. قادته قدراته العقلية إلى إنهاء مقررات المدرسة الثانوية التي تستغرق أربع سنوات في ثلاث سنوات. والتحق بعدها بكلية الفنون التطبيقية النمساوية، لكنه في العامَين الأولين لم يكن راضيًا عن نفسه؛ فترك الكلية من أجل الدراسة منفردًا، واختراع بعض الأشياء. وبشخصيته القوية، أصبح لتسلا دور مركزي في المنافسة الشهيرة بين كهرباء التيّار المتردّد وكهرباء التيّار المستمر بين العامين 1880 و 1890.

اختراعاته



الشكل 5-38 ملف تسلا.

هاجر نيكولا تسلا عام 1884 إلى الولايات المتحدة للعمل في شركة إديسون للآلات، وهناك طوّر نظام إضاءة القوس الذي كان يحظى بشعبية كبيرة. كوّن تسلا شركته الخاصة المسماة «شركة تسلا للكهرباء» مع صديق له اسمه ألفريد إس براون؛ فطوّر محرِّكًا كهربائيًّا حثيًّا يعمل على التيار المتردِّد. ثم اخترع دائرة المحوِّل المحَّسنة، التي سُمّيت «ملف تسلا». كان هذا الملف يحتوي على فجوات للهواء بين اللفّات والقلب، لمنع الارتفاع الزائد في درجة الحرارة.

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

www.jnob-jo.com

الوحدة 5

مراجعة الوحدة

الدرس 5-1: الحث الكهرومغناطيسي

- **الحث الكهرومغناطيسي** هو ظاهرة تولُّد تيار كهربائي حثّي في موصل عند تغيّر الفيض المغناطيسي الذي يقطعه الموصل بالنسبة للزمن.
- **التيار الكهربائي الحثّي** هو التيار الذي يتولّد في الموصِّلات، نتيجة لتغيُّر الفيض المغناطيسي.
- **الفيض المغناطيسي** هو شدّة المجال المغناطيسي، B ، الذي يخترق مساحة A.
- **الوِيبر**، Wb هو وحدة الفيض المغناطيسي 1 Wb يساوي $1Tm^2$.
- **قانون فارادي للحث** ينّص على أن فرق الجهد الكهربائي الحثّي يساوي معدَّل تغيُّر الفيض المغناطيسي بالنسبة إلى الزمن.
- **قانون لنز** ينص على أن التيار الكهربائي الحثي يُنشئُ مجالًا مغناطيسيًّا يعاكس تغيّر الفيض الذي أنشأ هذا التيار.
- **التيّارات الدوّامية** هي تيّارات حثّية تتَّخذ شكل دوّامات صغيرة. تتشكَّل التيارات الدوّامية في الأسطح الموصلة التي تختلف عن الأسلاك الرفيعة.

الدرس 5-2: مولِّدات التيار المتردد AC

- **مولد التيار المتردِّد** AC هو أداة لتوليد الطاقة الكهربائية من الطاقة الميكانيكية. ينتج هذا المولد تيارًا متردِّدا.
- **الجهد المتردِّد** هو الجهد الذي يتغيَّر اتجاهه وقيمته مع الزمن.
- **التيّار المستمر** هو التيّار الذي يتدفَّق في اتجاه واحد فقط، وله مقدار ثابت.
- **التيّار المتردد** هو التيّار الذي يتغيّر اتجاهه وقيمته مع الزمن.
- **دوائر التيّار المتردِّد** هي الدوائر التي يمر فيها التيار المتردِّد.
- **القيمة الفعّالة** هي قيم شدّة التيّار المستمر التي تولد التأثير الحراري نفسه الذي تولّدُهُ مثيلاتها في دوائر التيار المتردد خلال الفترة الزمنية نفسها.

الدرس 5-3: المحوِّلات الكهربائية

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

www.jnob-jo.com

الوحدة 5

مراجعة الوحدة

اختيار من مُتعدّد

1. أي التيارات التي تتدفَّق في دوائر داخل قرص؟
   a. التيارات الدّوامية.
   b. تيارات دائرية.
   c. تيار مستمر.
   d. تيار متردِّد.

2. أي من الأسلاك الدائرية الآتية لن تحثّ أي تيار كهربائي؟
   a. سلك دائري ساكن في مجال مغناطيسي ثابت
   b. سلك دائري ساكن في مجال مغناطيسي متغيِّر.
   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 دائرية، بينما لُف جزء آخر من القلب الحديدي نفسه بملف من ستة أسلاك دائرية. مرّرنا تيارًا كهربائيًّا في الملف الأول مع مصباح كهربائي. أضيفُ محرِّك إلى الملف الثاني. ما نوع هذه الأداة؟
   a. محرِّك كهربائي.
   b. مولِّد كهربائي.
   c. محوِّل رافع.
   d. محوِّل خافض.

4. أي من الجمل الآتية أفضل تعريف للحث الكهرومغناطيسي؟
   a. إنتاج مجال مغناطيسي بواسطة تيار كهربائي.
   b. إنتاج قوة دافعة كهربائية (حثيّة) بواسطة مجال مغناطيسي متغيِّر.
   c. القوة المؤثرة في شحنة كهربائية تتحرّك في مجال مغناطيسي.
   d. القوة الناشئة عن موصل حامل لتيّار في مجال مغناطيسي.

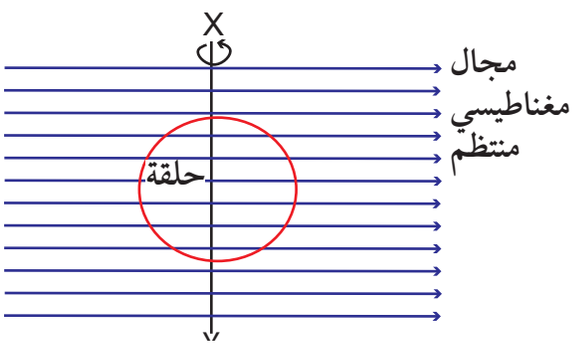
5. ما قيمة الفيض المغناطيسي عندما يكون المجال المغناطيسي موازيًا لسطح الملف؟
   a. صفر
   b. BA
   c. $BA\cos\theta$
   d. لا نهائي.

www.jnob-jo.com

6. مصباح كهربائي قدرته 60 W صُمِّم ليعمل تحت فرق جهد قيمته الفعالة 240 V. كم تبلغ أقصى قيمة لتيار المصدر المتردِّد؟

a. $\frac{1}{4}$A
b. $\frac{1}{2}$A
c. $\frac{\sqrt{2}}{4}$A
d. $\frac{4}{\sqrt{2}}$A

7. لفّة معدنية تدور حول محور رأسي في مجال مغناطيسي منتظم. عندما تصبح اللفّة موازية لاتجاه المجال المغناطيسي كما في الصورة، فأي من العبارات عن الفيض والتيّار الحثّي تكون صحيحة؟



	التيار الحثّي في اللّفة	التدفُّق الكلّي في اللفّة
a.	قيمة قصوى	قيمة قصوى
b.	قيمة قصوى	صفر
c.	صفر	صفر
d.	صفر	قيمة قصوى

8. مولِّد بسيط لتيار متردِّد يحتوي على ملف مسطَّح مستطيل في مجال مغناطيسي منتظم. القيمة القصوى للقوة الدافعة الكهربائية الحثية هي V . إذا ضاعفنا تردُّد الدوران، فكم تبلغ القيمة القصوى الجديدة للقوة الدافعة الكهربائية (ق.د.ك) الناتجة؟

a. V
b. $\sqrt{2}$V
c. 2V
d. 4V

9. جرى توصيل مصدر للتيار المتردِّد بمقاومة R . إذا ضاعفنا الجهد الفعّال الخارج من المصدر، فكم يكون معامل ازدياد القدرة المفقودة في المقاومة؟

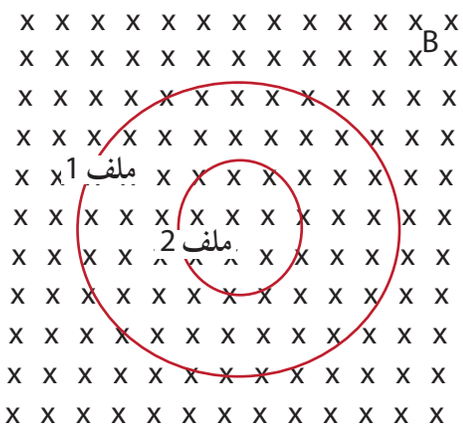
a. 1
b. 1.5
c. 2
d. 4

www.jnob-jo.com

10. يبلغ عدد لفّات الملف الابتدائي لمحوِّل مثالي1000 لفّة، وعدد لفّات الملفّ الثانوي 100 لفّة. يكون تيار الملف الابتدائي 3 A عند تغذيته بقدرة 12W. ما شدة التيار في الملف الثانوي والقدرة فيه؟

	القدرة المُنتَجة	التيار الثانوي
a.	1.2 W	0.3 A
b.	1.2 W	30 A
c.	12 W	0.3 A
d.	12 W	30 A

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



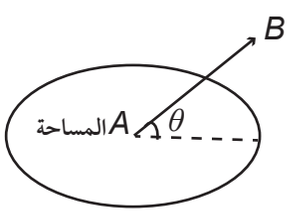
a. الجهد الحثّي هو نفسه في الملفَّين.

b. الجهد الحثّي في الملف1 أكبر.

c. الجهد الحثّي في الملف2 أكبر.

d. الجهدان الحثيّان في الملفَّين متعاكسين في الاتجاه.

12. مجال مغناطيسي منتظم شدَّته B، يخترق كلّيًّا ملفًّا مساحته A، حيث الزاوية بين المجال المغناطيسي وسطح الملف θ .ما هو الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف؟



a. BA

b. BAcosθ

c. BAsinθ

d. BAtanθ

www.jnob-jo.com

الدرس 5-1: الحث الكهرومغناطيسي

13. يحرِّك علي مغناطيسًا شدته 10^{-5} T داخل ملف مساحة مقطعة $0.01\ m^2$ بمعدَّل 56 دورة في الثانية. افترض أن شدّة المجال المغناطيسي تتراوح بين $+10^{-5}$ T و -10^{-5} T في ثانية واحدة.

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

a. ما قيمة فرق الجهد الذي يقيسه أحمد؟

b. سمِّ شيئًا يمكن لعلي أن يفعله ليغيّر قيمة فرق الجهد.

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

15. مجال مغناطيسي يشير إلى داخل الصفحة وشدّته تتزايد. بالنسبة الى سلك دائري على سطح الصفحة، هل يتدفَّق التيار الحثّي باتّجاه دوران عقارب الساعة أم عكسه؟

16. لفّة مساحتها $5.0\ cm^2$، موضوعة في مجال مغناطيسي $B = 0.2$ T. ما مقدار الفيض المغناطيسي النافذ من اللفّة عندما:

a. تكون اللفّة متعامدة مع خطوط المجال المغناطيسي.

b. تكون اللفّة موازية لخطوط المجال المغناطيسي.

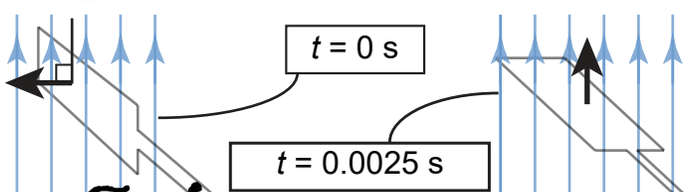
c. تميل اللفّة بزاوية $60°$ مع خطوط المجال.

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

a. عدِّد اللفّات مرتَّبة وفق الفيض المغناطيسي المار بها من الأصغر إلى الأكبر.

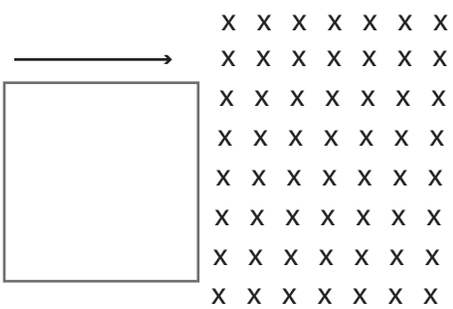
b. في أي من اللفّات، إن وُجدت، يتولّد التيار الكهربائي الحثّي؟

18. يتشكّل المولِّد الموضَّح في الرسم من ملفّ هو عبارة عن سلك مستطيل ($20\ cm \times 60\ cm$) في مجال مغناطيسي منتظم 0.1 T. تدير قوة خارجية اللفّة ربع دورة من ($\theta = 90°$ إلى $\theta = 0°$) خلال 0.0025 s. احسب الجهد الناتج من المولِّد، خلال ربع الدورة.



www.jnob-jo.com

19. ملف مربّع الشكل طول ضلعه (0.2 m)، يتحرّك بسرعة ثابتة (0.05 m/s) ليدخل في منطقة مجال مغناطيسي منتظم شدته 0.3T، مُوجّه إلى داخل الصفحة. يتضمّن الملف 50 لفّة من الأسلاك الموصلة. بافتراض أن الملف سيدخل منطقة المجال المغناطيسي في اللحظة t = 0:



a. بيِّن بالرسم البياني تغيُّر الفيض المغناطيسي في الملف بدلالة الزمن.

b. وضِّح بالرسم البياني الجهد الحثّي في الملف بدلالة الزمن.

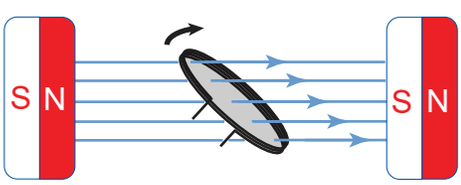
20. سمع هاشم أنك تستطيع توليد الكهرباء بغزل حَبلٍ كحبلِ القفز. افترض أنك تستطيع تدوير لفّة حول نفسها مرة واحدة في الثانية في المجال المغناطيسي للأرض $B = 3\times10^{-5}T$ قرب خط الاستواء.

a. ما القيمة القصوى للفيض المغناطيسي Φ_B، الذي يخترق اللفّة، إذا كان نصف قطرها 1 m؟

b. إذا تغيَّر الفيض من صفر الى هذه القيمة القصوى في ربع ثانية ($\Delta t=0.25s$)، فما القيمة المتوسطة للجهد الحثّي؟

الدرس 5-2: مولِّدات التيار المتردِّد AC

21. تمثِّل الصورة مولّدًا كهربائيًّا بسيطًا. تُسبِّب القوى الميكانيكية (كالهواء) دوران ملف سلكي داخل مجال مغناطيسي.



بافتراض أنك لا تستطيع التحكُّم بسرعة الدوران، وأنك لا تستطيع تعديل خصائص المولِّد نفسه.

أذكر ثلاث طرق لزيادة الجهد الناتج.

22. القيمة الفعّالة للجهد الناتج من مولِّد تبلغ 240 V. الملف مربّع الشكل طول ضلعه 30 cm وعدد لفّاته 200 لفة من الأسلاك، وهو يدور بسرعة 55 دورة في الثانية. احسب شدّة المجال المغناطيسي الذي وُضع فيه الملف.

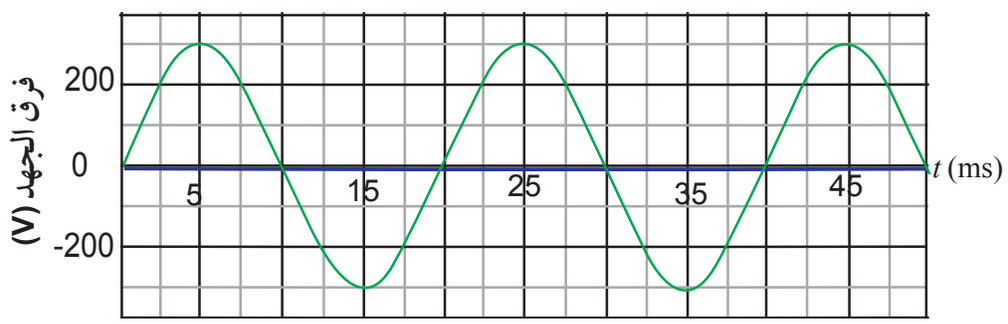
23. احسب متوسِّط القدرة المفقودة في مقاومة (30 Ω) موصولة على التوالي بمصدر للتيار المتردِّد، أقصى قيَم لجهده تبلغ 240 V.

www.jnob-jo.com

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

a. ما قيمة الجهد الفعّال؟

b. إذا كان متوسِّط القدرة المفقودة في الآلة 17 kW، احسب القيمة القصوى للتيّار المار فيها.



25. مصباح كهربائي (60 W) تجري تغذيته من مصدر تيّار تردُّده (50Hz)، تبلغ القيمة الفعّالة لجهد المصدر 240 V .

a. احسب القيمة القصوى للتيّار في سلك المصباح.

b. ما القدرة القصوى المفقودة في المصباح؟

c. أنشىء الرسم البياني للقدرة المفقودة في سلك المصباح بدلالة الزمن. (ارسم دورة واحدة على الأقل).

الدرس 5-3: المُحوِّلات الكهربائية

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

27. يصنع طالب محوّله بِلَفّ 10 دوائر سلك حول أحد طرفَيْ ساق حديدية و20 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 المحوِّلات لا تصل إلى 100%. اذكر اثنين من التأثيرات التي يمكنها عمليًّا تخفيض كفاءة المحوِّل (ملحوظة: تحتوي المحوِّلات على موصِّلات كبيرة).

www.jnob-jo.com

29. لماذا لا يستطيع المحوِّل أن يعطي 25 V DC، عند وصله ببطارية سيّارة قوة دفعها الكهربائية 9V ؟

30. تنتج إحدى محطّات الطاقة، كهرباء بفرق جهد 13,200 V، ويخفّض محوِّل فرق الجهد إلى 240 V للاستخدام المنزلي.

a. ما القدرة الابتدائية في الخط الذي يبلغ فرق الجهد فيه 13,200 V إذا كانت شدّة تياره 500 A.

b. ما شدّة التياد عند فرق الجهد 240V، إذا كانت كفاءة المحوّل 90%؟

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

31. يتكوّن محوِّل من 600 لفّة في ملفّه الابتدائي، و 150 لفّة في ملفه الثانوي.

a. زوَّدنا الملفّ الابتدائي بجهد متردِّد 240 V، وبتردِّد 50 Hz. احسب الجهد والتردُّد الحثّي في الملفّ الثانوي.

b. إذا كان التيار الابتدائي 9.0 A، احسب التيار في الملفّ الثانوي، إذا علمت أن كفاءة المحوِّل 75%.

32. تعمل محطة توليد الكهرباء بطاقة (400 MW) وفرق جهد (75kV)، وتزوِّد البيوت بالطاقة عبر كابلات مقاومتها الكلية 5Ω.

a. احسب نسبة الطاقة المفقودة في الكابلات للطاقة المنتجة.

b. كيف ستتغيَّر الطاقة المفقودة إذا كان فرق الجهد 90 kV ؟

الاستقصاء والبحث

نقل الطاقة بواسطة التيار المتردِّد AC مقابل نقلها بواسطة التيار المستمر DC

وُضعت المحوِّلات الرافعة والخافضة للجهد قيد التطبيق عام 1886 في مساتشوستس USA، رغم أن بلدانًا كهنغاريا وإنكلترا، كانت قد بدأت بالعمل على المحوّلات قبل ذلك الوقت. جعلت المحوِّلات نقل الكهرباء ذات التيار المتردِّد أكثر كفاءة.

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

ابحث عن فوائد نقل الكهرباء بالتيار المتردِّد AC مقابل نقلها بالتيار المستمر DC. ضمّن بحثك أيضًا تحقيقًا عن تاريخ المحوِّلات.

www.jnob-jo.com

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/Stutterstock; 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; FitreaRamli/ 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;

www.jnob-jo.com