آخر تحديث: November 1, 2026

🗺️ خريطة طريق لأربع سنوات · السنة 3, الخريف

عن هذه الدورة

يتضمن هذا المقرر المجاني 10 وحدات و6 مختبرات. هذه الأعداد الحقيقية وليست منهجًا أطول جرى اختصاره.

التحقق هو رقم أو نتيجة برمجية في صفحة مقرر يعيد سكربت حسابها قبل النشر. يجب أن يطابق الرقم المعروض الرقم المعاد حسابه.

هذا مخطط دورة مجانية للتعلّم الذاتي كتبته Saving Planets. وهو ليس مقررًا جامعيًا، ولا يمنح ساعات معتمدة، ولا تشارك فيه أي مؤسسة تعليمية.

يتبع نطاقه مقررًا فصليًا في تحليل الدوائر للسنة الثانية مع مختبر. وهو مبني على موضوعات وعمق MIT 6.002 Circuits and Electronics (مجاني على MIT OpenCourseWare) وGeorgia Tech ECE 2040 Circuit Analysis وPurdue ECE 20001 Electrical Engineering Fundamentals I، وعلى كتاب OpenStax University Physics Volume 2 المجاني ومحاكاة PhET، التي نضع روابطها حيث تفيد. لا يؤيد أيٌّ من هؤلاء المؤلفين أو المؤسسات هذه الصفحة.

ما نضيفه: كل وحدة مرتبطة بعمل حقيقي في الطاقة النظيفة مع مصدر عام موثّق (إضاءة LED، والألواح الشمسية والعواكس، وتخزين البطاريات، وشحن المركبات الكهربائية، ومراكز البيانات وشبكة الكهرباء)، وكل رقم في الصفحة يُعاد حسابه بنص تحقق برمجي قبل نشره، ولكل مختبر محاكاة PhET مجانية أو نسخة منزلية آمنة منخفضة الجهد.

تابعها بالترتيب. في كل وحدة أهداف وأفكار أساسية ومعادلات وأمثلة خطوة بخطوة وتمارين بإجابات كاملة وأخطاء شائعة وبطاقات تعليمية واختبار قصير. يُحفظ تقدّمك في هذا المتصفح فقط.

كيف تساعد هذه الدورة في إنقاذ الكوكب

الدوائر هي الطريقة التي تصل بها الطاقة النظيفة إلى الناس. تنتج الألواح الشمسية تيارًا مستمرًا تحوّله العواكس إلى تيار متردد، وتخزّنه البطاريات، وتنقله المحولات وخطوط الكهرباء، وتستخدمه الإضاءة والمحركات والشواحن الفعّالة.

كل نسبة مئوية من الفقد في سلك أو محول أو مبدّل هي طاقة كان لا بد من توليدها في مكان ما. والتحليل في هذا المقرر هو ما يستخدمه المهندسون لتقليل هذا الفقد. تنتهي كل وحدة بقسم قصير موثّق المصادر. والقيم التي لا تأتي من مصدر موسومة بأنها قيم توضيحية.

للمعلمين

يمكنك تدريس هذا المقرر، أو أن يتابعه الطالب وحده. إنه مجاني. Saving Planets لا تمنح درجة ولا ساعات معتمدة.

- هذه الصفحة هي المقرر كاملًا: 10 وحدات و6 مختبرات (ENGR 214 + ENGR 214L).
- خطّط لخمسة عشر أسبوعًا، نحو 6 إلى 9 ساعات في الأسبوع، بما في ذلك أسابيع المختبر.

- اتبع جدول الخمسة عشر أسبوعًا. اقرأ الوحدة، حلّ التمارين على الورق، ثم افتح الإجابة. في أسبوع المختبر، نفّذ المختبر أو نسخته المنزلية.
- التحقق هو رقم أو نتيجة برمجية في الصفحة يعيد سكربت حسابها قبل النشر. يجب أن يطابق الرقم الظاهر الرقم المعاد حسابه.
- استخدم طباعة هذه الصفحة، أو نزّل دليل الدراسة PDF. ورقة القوانين قرب النهاية.
- اسأل: كيف تساعد هذه الوحدة الناس والكوكب؟ في كل وحدة مربع أخضر فيه حقيقة مع مصدرها.
- انسخ نموذج دليل المعلم واكتب اسم صفك والوقت المتاح والأسئلة التي ستطرحها. افتح نموذج دليل المعلم

قبل أن تبدأ

المتطلبات السابقة

- الفيزياء II: الشحنة والمجال الكهربائي والجهد والتيار والمقاومة والسعة والمحاثة وقانون فاراداي.
- التفاضل والتكامل I وII: المشتقات والتكاملات؛ وتحل الوحدتان 7 و8 معادلات تفاضلية من الرتبتين الأولى والثانية.
- الأعداد العقدية (تُراجع في الوحدة 9) للطورات؛ ويساعد الجبر الخطي في معادلات العقد والحلقات.
- يمكن دراسة المعادلات التفاضلية بالتزامن مع هذا المقرر.

كيف تذاكر

- ارسم الدائرة ووسّمها أولًا: جهود العقد، وتيارات الفروع بأسهم، وعلامات القطبية على كل عنصر.
- استخدم اصطلاح الإشارة السلبي: دخول التيار من الطرف + يعني أن العنصر يمتص القدرة.
- اكتب قانون كيرشوف للتيار عند العقد أو قانون كيرشوف للجهد حول الحلقات، وعدّ المجاهيل والمعادلات، ثم حل (يدويًا لنظام 2 × 2، وبالمصفوفات لما هو أكبر).
- تحقق من كل إجابة: يجب أن تساوي القدرة الممتصة القدرة المورّدة، ويجب أن تكون الحدود ($t = 0$، $t \to \infty$، $\omega \to 0$ أو ∞) منطقية.
- التزم بوحدات SI: V وA وΩ وW وF وH وs، وانتبه للبادئات (mA وkΩ وμF وmH).
- حل كل تمرين على الورق قبل فتح الإجابة، وأعد الاختبارات القصيرة بعد بضعة أيام.

ماذا تحتاج

- حاسوب أو جهاز لوحي لمحاكاة PhET المجانية (تعمل في المتصفح).
- مقياس متعدد رقمي (الطرز الرخيصة تقيس V وA وΩ).
- لوحة توصيل بلا لحام، وأسلاك توصيل، وحامل بطاريات AA × 2 (3 V)، وبطاريات AA.
- مقاومات (100 Ω و1 kΩ و10 kΩ)، ومكثف 1000 µF مقنّن لـ 6.3 V على الأقل، ومصابيح LED.
- اختياري: مقياس قدرة يُوصل بالمقبس لمقارنة المصابيح والأجهزة (يُوصل بالمقبس الجداري؛ لا تفتحه).
- نظارات أمان، وساعة إيقاف أو هاتف، وبرنامج جداول بيانات.

جدول مقترح من 15 أسبوعًا

نحو 6 إلى 9 ساعات أسبوعيًا: قراءة وتمارين، وفي أسابيع المختبر، المختبر.

الأسبوع	الوحدة	الموضوعات	القراءة
1	متغيرات الدوائر وعناصرها: الشحنة والتيار والجهد والقدرة والطاقة وقانون أوم	الشحنة والتيار والجهد والقدرة واصطلاح الإشارة والمصادر	MIT 6.002; OpenStax UP2 9.4

الأسبوع	الوحدة	الموضوعات	القراءة
2	متغيرات الدوائر وعناصرها: الشحنة والتيار والجهد والقدرة والطاقة وقانون أوم	قانون أوم، والمقاومية، والطاقة بوحدة kWh؛ المختبر A	UP2 9.4, 10.1
3	قانونا كيرشوف، والمقاومات على التوالي والتوازي، ومقسّمات الجهد والتيار	قانونا كيرشوف للتيار والجهد، والتوالي والتوازي، والمقسّمات، وأجهزة القياس؛ المختبر B	UP2 10.2–10.3
4	التحليل المنهجي: طريقتا جهود العقد وتيارات الحلقات	طريقة جهود العقد والعقد الفائقة	MIT 6.002
5	التحليل المنهجي: طريقتا جهود العقد وتيارات الحلقات	طريقة تيارات الحلقات، والحلقات الفائقة، والمصادر التابعة	MIT 6.002; UP2 10.3
6	مبرهنات الدوائر: الخطية والتراكب وتحويل المصادر وثيفينين ونورتن وأقصى نقل للقدرة	التراكب وتحويل المصادر وثيفينين ونورتن وأقصى قدرة؛ المختبر C	MIT 6.002
7	مكبّرات العمليات	مكبّرات العمليات؛ تدريب لامتحان منتصف الفصل	MIT 6.002
8	المكثفات والملفات	المكثفات والملفات والطاقة والمكاملات	UP2 8.1, 14.2
9	دوائر الرتبة الأولى: العابرات في دوائر RC وRL	الاستجابات الطبيعية واستجابات الخطوة لدوائر RC وRL	UP2 10.5, 14.4
10	دوائر الرتبة الأولى: العابرات في دوائر RC وRL	مسائل التبديل وطاقة التبديل الرقمي؛ المختبر D	MIT 6.002
11	دوائر الرتبة الثانية: الاستجابة الطبيعية واستجابة الخطوة في دوائر RLC	دوائر RLC على التوالي والتوازي، والتخميد، وتذبذب LC	UP2 14.5–14.6
12	الحالة المستقرة الجيبية: الطورات والممانعة	الإشارات الجيبية والطورات والممانعة	UP2 15.2–15.3
13	الحالة المستقرة الجيبية: الطورات والممانعة	التحليل العقدي وتحليل الحلقات وثيفينين في التيار المتردد، والمرشحات؛ المختبر E	MIT 6.002; UP2 15.3, 15.5
14	قدرة التيار المتردد ومعامل القدرة والرنين والمحولات والأنظمة ثلاثية الطور	قدرة التيار المتردد، ومعامل القدرة، والمحولات، والأنظمة ثلاثية الطور؛ المختبر F	UP2 15.4–15.6
15	المراجعة	مراجعة ومجموعة تمارين نهائية	كل الوحدات

تقدّمك

ضع علامة على الوحدات والمختبرات عند إنهائها، وخص الاختبارات. يُحفظ التقدم ونتائج الاختبارات في هذا المتصفح فقط، ولا تُرسل إلينا أبدًا.

الوحدات

متغيرات الدوائر وعناصرها: الشحنة والتيار والجهد والقدرة والطاقة وقانون أوم

الشحنة والتيار، والجهد بوصفه طاقة لكل وحدة شحنة، والقدرة والطاقة، واصطلاح الإشارة السلبي، والمصادر المثالية المستقلة والتابعة، والمقاومة والمقاومية، وقانون أوم، والقدرة في المقاومات.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- اربط بين الشحنة والتيار والجهد والقدرة والطاقة بالوحدات الصحيحة.
- طبّق اصطلاح الإشارة السلبي لتحديد ما إذا كان العنصر يمتص القدرة أم يوردها.
- استخدم قانون أوم و$R = \rho L/A$.
- احسب استهلاك الطاقة بوحدة kWh وقارن بين الأجهزة.

المفاهيم الأساسية

- التيار هو معدل تدفق الشحنة، $i = dq/dt$، بالأمبير (1 A = 1 C/s). والجهد هو الطاقة لكل وحدة شحنة بين نقطتين، بالفولت (1 V = 1 J/C).
- القدرة $p = vi$. مع اصطلاح الإشارة السلبي (يدخل التيار من الطرف +)، يعني $p > 0$ أن العنصر يمتص القدرة و$p < 0$ أنه يوردها. وفي أي دائرة، مجموع القدرة الممتصة = مجموع القدرة المورّدة.
- مصدر الجهد المثالي يحافظ على جهده مهما كان التيار؛ ومصدر التيار المثالي يحافظ على تياره مهما كان الجهد. والمصادر التابعة يتحكم فيها جهد أو تيار في موضع آخر، وهي تنمذج الترانزستورات والمكبّرات.
- قانون أوم $v = iR$. تمتص المقاومة دائمًا القدرة $p = i^2R = v^2/R$. ومقاومة السلك $R = \rho L/A$ تزداد مع الطول وتقل مع زيادة المقطع؛ والموصلية $G = 1/R$ بوحدة السيمنز.
- الطاقة $w = \int p\,dt$؛ وعند قدرة ثابتة $w = Pt$. تُحاسب شركات الكهرباء بالكيلوواط ساعة: 1 kWh = 3.6 MJ.

المعادلات الأساسية

$$i = \frac{dq}{dt}$$

```
i=dq/dt
```

التيار

$$p = vi$$

```
p=vi
```

القدرة

$$v = iR, \;\; p = i^2R = \frac{v^2}{R}$$

```
v=iR,\ \ p=i^2R=(v^2)/(R)
```

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

R=(ρ L)/(A)

مقاومة موصل

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 1.1 مدفأة مقاومتها 4 Ω موصولة بجهد 12 V. أوجد التيار والقدرة.

1. i = v/R = 12/4 = 3 A.
2. p = vi = 12 × 3.

الإجابة: i = 3 A, p = 36 W.

مثال 1.2 أوجد مقاومة 10 m من سلك نحاسي مقطعه 1 mm² (ρ = 1.68 × 10⁻⁸ Ω·m).

1. A = 1 mm² = 1 × 10⁻⁶ m².
2. R = ρL/A = 1.68 × 10⁻⁸ × 10/10⁻⁶.

الإجابة: R = 0.168 Ω.

مثال 1.3 استُبدل مصباح متوهج قدرته 60 W بمصباح LED يستهلك طاقة أقل بنسبة 75%. يعمل كلاهما 3 ساعات يوميًا لمدة سنة. أوجد الطاقة الموفّرة.

1. قدرة LED = 0.25 × 60 = 15 W.
2. المتوهج: 60 × 3 × 365 = 65700 Wh = 65.7 kWh؛ وLED: 16.4 kWh.

الإجابة: نحو 49.3 kWh موفّرة لكل مصباح سنويًا.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. يسري تيار 2 A لمدة 30 s. ما مقدار الشحنة المارّة؟

   q = it = 60 C.

2. مصباح يسحب 0.5 A من 120 V. أوجد قدرته ومقاومته.

.p = 60 W, R = 240 Ω

3. عنصر فيه v = 5 V و i = −2 A داخلًا من طرفه +. هل يمتص القدرة أم يوردها؟

p = −10 W: إنه يورد 10 W.

4. كم جولًا في 2 kWh؟

.7.2 × 10^6 J

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: المقاومة تستهلك التيار.
في الحقيقة: الشحنة محفوظة؛ يخرج التيار نفسه الذي يدخل. ما يتحول هو الطاقة لا التيار.

خرافة: الجهد موجود عند نقطة.
في الحقيقة: الجهد دائمًا بين نقطتين؛ و«جهد العقدة» يُقاس نسبةً إلى أرضي مختار.

خرافة: القدرة دائمًا vi بإشارة موجبة.
في الحقيقة: استخدم اصطلاح الإشارة السلبي للحصول على الإشارة الصحيحة.

بطاقات تعليمية

التيار

i = dq/dt، بوحدة A.

الجهد

الطاقة لكل وحدة شحنة، بوحدة V = J/C.

القدرة

p = vi.

اصطلاح الإشارة السلبي

التيار داخل من الطرف +: p > 0 يعني الامتصاص.

قانون أوم

v = iR.

kWh

3.6 MJ.

اختبار ذاتي

1 A يساوي...

1 J/s

1 C/s

1 V/s

1 W/V²

1 C/s. شحنة في الثانية.

2. مضاعفة الجهد على مقاومة تضرب قدرتها في…

1

2

4

½

4. $p = v^2/R$.

3. مضاعفة طول سلك (بالمقطع نفسه) تغيّر مقاومته بمعامل…

½

1

2

4

2. $R = \rho L/A$.

4. 1 kWh يساوي…

1000 J

3600 J

3.6 MJ

60 kJ

3.6 MJ. 1000 W × 3600 s.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

الإضاءة أبسط مكان لرؤية القدرة والطاقة أثناء العمل. يقول دليل الإضاءة الموفرة للطاقة الصادر عن وزارة الطاقة الأمريكية إن مصابيح LED تستهلك طاقة أقل بنسبة 75 بالمئة على الأقل من المصابيح المتوهجة، ولا تكاد تبعث حرارة، وتدوم 25 مرة أطول.

باستخدام p = vi وw = Pt، يبيّن المثال المحلول ما يعنيه ذلك لمصباح واحد: استبدال مصباح متوهج قدرته 60 W بمصباح LED قدرته 15 W، يُستخدم 3 ساعات يوميًا، يوفر نحو 49.3 kWh سنويًا. اضرب ذلك في عشرات المصابيح في المنزل وملايين المنازل في البلد، فتظهر محطات الكهرباء التي لن تحتاج إلى التشغيل أبدًا.

على Saving Planets: الفيزياء 2 · الحلول

المصادر: U.S. DOE: Guide to energy-efficient lighting (PDF) (https://www.energy.gov/sites/prod/files/guide_to_energy_efficient_lighting.pdf) · OpenStax UP2, 9.4 Ohm’s law (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/9-4-ohms-law)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP2, 9.4 Ohm’s law (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/9-4-ohms-law): قسم من كتاب مدرسي مجاني.
- MIT OpenCourseWare 6.002 Circuits and Electronics (Spring 2007) (https://ocw.mit.edu/courses/6-002-circuits-and-electronics-spring-2007/): محاضرات عن تجريد الدوائر وقانون أوم.
- PhET: Ohm’s Law (https://phet.colorado.edu/en/simulations/ohms-law): تفاعلي.
- OpenStax UP2, 10.1 Electromotive force (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/10-1-electromotive-force): المصادر والمقاومة الداخلية.

شاهد المحاضرة

Lecture 22: Energy and Power (https://ocw.mit.edu/courses/6-002-circuits-and-electronics-spring-2007/resources/lecture-22/) (باللغة الإنجليزية)

MIT 6.002 Circuits and Electronics (Spring 2007), MIT OpenCourseWare. الترخيص: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · شروط الاستخدام (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). الرابط للدراسة المجانية فقط؛ Saving Planets غير تابع لهذه الجامعة ولا يحظى بتأييدها.

أنهيت هذه الوحدة

قانونا كيرشوف، والمقاومات على التوالي والتوازي، ومقسّمات الجهد والتيار

العقد والفروع والحلقات، وقانونا كيرشوف للتيار والجهد، والتوصيل على التوالي والتوازي، والمقاومة المكافئة، ومقسّمات الجهد والتيار، وتحويلات المثلث–النجمة، والقياس بالفولتميتر والأميتر.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- اكتب قانوني كيرشوف للتيار والجهد لأي دائرة.
- اختزل شبكات التوالي–التوازي إلى مقاومة مكافئة.
- استخدم مقسّمات الجهد والتيار.
- اشرح كيف توصل أجهزة القياس وكيف تحمّل الدائرة.

المفاهيم الأساسية

- قانون كيرشوف للتيار: مجموع التيارات الخارجة من أي عقدة صفر (الشحنة محفوظة). قانون كيرشوف للجهد: مجموع الجهود حول أي حلقة مغلقة صفر (الطاقة محفوظة).
- العناصر على التوالي يمر فيها التيار نفسه؛ والمقاومات تُجمع: R_eq = R₁ + R₂ + …. والعناصر على التوازي تشترك في الجهد نفسه؛ والموصليات تُجمع: 1/R_eq = 1/R₁ + 1/R₂ + …؛ ولمقاومتين R₁R₂/(R₁ + R₂).
- مقسّم الجهد: v₂ = v·R₂/(R₁ + R₂). مقسّم التيار (مقاومتان): i₁ = i·R₂/(R₁ + R₂)؛ والحصة الأكبر تمر في المقاومة الأصغر.
- تحويل المثلث–النجمة (Δ–Y) يعالج الجسور التي ليست على التوالي ولا على التوازي: R_Y = (حاصل ضرب مقاومتي Δ المجاورتين)/(مجموع الثلاث).
- يوصل الفولتميتر على التوازي ويجب أن تكون مقاومته عالية جدًا؛ ويوصل الأميتر على التوالي ويجب أن تكون مقاومته منخفضة جدًا.

المعادلات الأساسية

$$\sum i_{\text{out}} = 0$$

```
i_out=0
```

KCL

$$\sum v = 0 \text{ around a loop}$$

```
v=0\ around a loop
```

KVL

$$R_s = R_1 + R_2, \;\; R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

```
R_s=R_1+R_2,\ \ R_p=(R_1R_2)/(R_1+R_2)
```

التوالي والتوازي

$$v_2 = v\frac{R_2}{R_1+R_2},\ \ i_1 = i\frac{R_2}{R_1+R_2}$$

```
v_2=v(R_2)/(R_1+R_2),\ \ i_1=i(R_2)/(R_1+R_2)
```

مقسّما الجهد والتيار

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 2.1 مقاومات 100 و200 و300 Ω موصولة على التوالي عبر 12 V. أوجد التيار والجهد على المقاومة 200 Ω.

1. R_eq = 600 Ω; i = 12/600 = 0.02 A.
2. v = 0.02 × 200 = 4 V.

الإجابة: i = 20 mA, v_{200} = 4 V.

مثال 2.2 مصدر 9 V يغذي مقسّمًا فيه R_1 = 10 kΩ في الأعلى وR_2 = 5 kΩ في الأسفل. أوجد v_out على R_2.

1. v_out = 9 × 5/(10 + 5) = 3 V.

الإجابة: v_out = 3 V.

مثال 2.3 تيار 6 A ينقسم بين 2 Ω و4 Ω على التوازي. أوجد كل تيار.

1. $i_{2\Omega}$ = 6 × 4/(2 + 4) = 4 A.
2. $i_{4\Omega}$ = 6 × 2/6 = 2 A؛ تحقق: 4 + 2 = 6.

الإجابة: 4 A عبر 2 Ω و2 A عبر 4 Ω.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. أوجد 6 Ω ‖ 3 Ω.

   18/9 = 2 Ω.

2. ثلاث مقاومات 30 Ω على التوازي. أوجد R_eq.

   10 Ω.

3. أوجد R_eq لـ 10 Ω على التوالي مع (20 Ω ‖ 20 Ω).

.10 + 10 = 20 Ω

4. تدخل عقدةً ثلاثة تيارات: 2 A و3 A و−1 A. ما التيار الخارج؟

.4 A

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: المقاومة على التوازي أكبر من أصغر مقاومة.
في الحقيقة: إنها دائمًا أصغر من أصغرها.

خرافة: مقسّم الجهد يعمل مع أي حمل.
في الحقيقة: الحمل على R_2 يكون على التوازي معها ويخفض v_out ما لم تكن مقاومته أكبر بكثير.

خرافة: يوصل الأميتر على طرفي العنصر.
في الحقيقة: الأميتر منخفض المقاومة على طرفي العنصر يكاد يكون قصرًا؛ ويوصل على التوالي.

بطاقات تعليمية

KCL

مجموع التيارات الخارجة من عقدة يساوي 0.

KVL

مجموع الجهود حول حلقة يساوي 0.

متسلسلة

المقاومات تُجمع؛ التيار نفسه.

التوازي

الموصليات تُجمع؛ الجهد نفسه.

مقسّم الجهد

$v_2 = vR_2/(R_1 + R_2)$.

مقسّم التيار

$i_1 = iR_2/(R_1 + R_2)$.

اختبار ذاتي

1. يعبّر قانون كيرشوف للتيار عن حفظ…

الطاقة

الشحنة

القدرة

التدفق

الشحنة. لا يمكن للشحنة أن تتراكم عند عقدة.

2. مقاومتان متساويتان R على التوازي تعطيان...

2R

R

R/2

R^2

.R/2. R·R/(2R)

3. العناصر على التوالي تشترك في...

الجهد نفسه

تياره

القدرة

مقاومته

تياره. مسار واحد.

4. مقاومة الفولتميتر المثالي...

صفر

لانهائيًا

1 Ω

تساوي الحمل

لانهائيًا. يجب ألا يسحب أي تيار.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

الألواح الشمسية دوائر توالٍ وتوازٍ. توضح إدارة معلومات الطاقة الأمريكية (EIA) أن خلية كهروضوئية واحدة لا تنتج إلا 1 أو 2 واط، لذا تُوصل الخلايا كهربائيًا في ألواح محكمة ضد الطقس، وتُوصل الألواح في مصفوفات من لوحين إلى مئات الألواح، ويحدد عدد الألواح مقدار الكهرباء التي تستطيع المصفوفة توليدها. تنتج الخلايا تيارًا مستمرًا، وتحوّله العواكس إلى التيار المتردد المستخدم في الشبكة.

التوصيل على التوالي يجمع الجهود والتوصيل على التوازي يجمع التيارات. على سبيل المثال، خلايا تنتج 0.5 V و3 A (1.5 W، ضمن نطاق 1–2 W الذي تذكره EIA) تعطي 30 V عند 3 A، أي 90 W، عند توصيل 60 منها على التوالي. ويفسّر قانونا كيرشوف أيضًا لماذا قد تُضعف خلية واحدة مظللة في سلسلة توالٍ السلسلةَ كلها، ولهذا تتضمن الألواح ثنائيات تجاوز.

على Saving Planets: الفيزياء 2 · Parker Solar Probe

المصادر: · U.S. EIA: Photovoltaics and electricity (https://www.eia.gov/energyexplained/solar/photovoltaics-and-electricity.php) · OpenStax UP2, 10.2 Resistors in series and parallel (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/10-2-resistors-in-series-and-parallel)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP2, 10.2 Resistors in series and parallel (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/10-2-resistors-in-series-and-parallel): قسم من كتاب مدرسي مجاني.
- OpenStax UP2, 10.3 Kirchhoff's rules (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/10-3-kirchhoffs-rules): قانونا كيرشوف للتيار والجهد.
- MIT OpenCourseWare 6.002 Circuits and Electronics (Spring 2007) (https://ocw.mit.edu/courses/6-002-circuits-and-electronics-spring-2007/): محاضرات في التحليل الأساسي للدوائر.
- PhET: Circuit Construction Kit: DC (https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-dc): تفاعلي.

أنهيت هذه الوحدة

التحليل المنهجي: طريقتا جهود العقد وتيارات الحلقات

اختيار عقدة مرجعية، وكتابة قانون كيرشوف للتيار بدلالة جهود العقد، والعقد الفائقة، وتيارات الحلقات وقانون كيرشوف للجهد، والحلقات الفائقة، والدوائر ذات المصادر التابعة، وحل الأنظمة الخطية الناتجة يدويًا وبالمصفوفات.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- اكتب معادلات جهود العقد وحلها، بما فيها العقد الفائقة.
- اكتب معادلات تيارات الحلقات وحلها، بما فيها الحلقات الفائقة.
- تعامل مع المصادر التابعة في الطريقتين.
- اختر الطريقة التي تعطي معادلات أقل.

المفاهيم الأساسية

- طريقة جهود العقد: اختر عقدة أرضية، وسمِّ جهود العقد الأخرى، واكتب قانون كيرشوف للتيار عند كل عقدة غير مرجعية مستخدمًا قانون أوم (التيار من a إلى b عبر R هو (v_a − v_b)/R)، ثم حل.
- مصدر جهد بين عقدتين غير مرجعيتين يكوّن عقدة فائقة: اكتب معادلة تيار واحدة للمنطقة المدمجة إضافة إلى معادلة المصدر v_a − v_b = V_s.
- طريقة تيارات الحلقات (الدوائر المستوية): أسند تيارًا باتجاه عقارب الساعة لكل نافذة، واكتب قانون كيرشوف للجهد حول كل حلقة؛ والمقاومة المشتركة يمر فيها فرق تياري الحلقتين.
- مصدر تيار مشترك بين حلقتين يكوّن حلقة فائقة: معادلة جهد واحدة حول الحلقة المدمجة إضافة إلى معادلة المصدر.
- تحتاج دائرة من N عقدة إلى N − 1 معادلة عقد؛ وتحتاج دائرة فيها M حلقة إلى M معادلة حلقات. اختر المجموعة الأصغر. وتشكّل المعادلات Gv = i أو Ri = v، وهو نظام خطي.

المعادلات الأساسية

$$\sum_{\text{branches}} \frac{v_n - v_k}{R_{nk}} = i_{\text{source into } n}$$

```
_branches_n-v_kR_nk=i_source into n
```

قانون كيرشوف للتيار عند العقدة n

$$\sum_{\text{mesh}} R\,(i_m - i_{\text{adj}}) = \sum v_{\text{sources}}$$

```
_mesh R (i_m-i_adj)= v_sources
```

قانون كيرشوف للجهد حول الحلقة m

$$G\mathbf{v} = \mathbf{i}$$

الصيغة المصفوفية للعقد

$$R\mathbf{i} = \mathbf{v}$$

الصيغة المصفوفية للحلقات

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 3.1 مصدر 10 V يغذي العقدة 1 عبر 2 Ω. للعقدة 1 مقاومة 4 Ω إلى الأرضي و2 Ω إلى العقدة 2؛ وللعقدة 2 مقاومة 4 Ω إلى الأرضي ومصدر 1 A يدخلها. أوجد v_1 وv_2.

1. العقدة 1: $\frac{v_1 - 10}{2} + \frac{v_1}{4} + \frac{v_1 - v_2}{2} = 0$ (×4)، إذن $5v_1 - 2v_2 = 20$.
2. العقدة 2: $\frac{v_2 - v_1}{2} + \frac{v_2}{4} - 4 = 0$ (×4)، إذن $-2v_1 + 3v_2 = 4$.
3. $\det = 15 - 4 = 11$؛ $v_1 = (60 + 8)/11$، $v_2 = (20 + 40)/11$.

الإجابة: $v_1 = 6.182$ V, $v_2 = 5.455$ V.

مثال 3.2 في الحلقة 1 مصدر 10 V و2 Ω؛ وفي الحلقة 2 مقاومة 6 Ω؛ وتشترك الحلقتان في 4 Ω. أوجد تيارات الحلقات والتيار في المقاومة المشتركة.

1. الحلقة 1: $6i_1 - 4i_2 = 10$. الحلقة 2: $-4i_1 + 10i_2 = 0$.
2. $\det = 60 - 16 = 44$؛ $i_1 = 100/44$، $i_2 = 40/44$.

الإجابة: $i_1 = 2.273$ A، $i_2 = 0.909$ A؛ ويمر في المقاومة المشتركة 1.364 A.

مثال 3.3 مصدر 5 V بين العقدتين a وb ($v_a - v_b = 5$). للعقدة a مقاومة 1 Ω إلى الأرضي، وللعقدة b مقاومة 4 Ω إلى الأرضي، ويُحقن 2 A في العقدة الفائقة. أوجد v_a وv_b.

1. قانون التيار للعقدة الفائقة: $v_a/1 + v_b/4 = 2$.
2. عوّض $v_a = v_b + 5$: $v_b + 5 + v_b/4 = 2$، إذن $1.25v_b = -3$.

الإجابة: $v_b = -2.4$ V, $v_a = 2.6$ V.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. كم معادلة عقد تحتاج دائرة فيها 5 عقد؟

   .4

2. عقدة واحدة جهدها v موصولة عبر 2 Ω بـ 6 V وعبر 2 Ω بالأرضي. أوجد v.

$(v - 6)/2 + v/2 = 0$: $v = 3$ V.

3. حلقتان تشتركان في مقاومة 3 Ω؛ $i_1 = 2$ A و$i_2 = 0.5$ A، كلاهما باتجاه عقارب الساعة. أوجد التيار في المقاومة المشتركة.

1.5 A باتجاه i_1.

4. اكتب $5v_1 - 2v_2 = 20$، $-2v_1 + 3v_2 = 4$ بالصيغة $Gv = i$.

$G = [[5, -2], [-2, 3]]$, $i = (20, 4)$.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: يمكن كتابة قانون التيار عند العقدة المرجعية أيضًا.
في الحقيقة: إنه يعطي معادلة تابعة؛ استخدم $N - 1$ عقدة.

خرافة: تيارات الحلقات هي تيارات الفروع.
في الحقيقة: فقط في الفروع الخارجية؛ أما الفروع المشتركة فيمر فيها الفرق.

خرافة: تيار مصدر الجهد صفر لأنه بلا مقاومة.
في الحقيقة: تياره يحدده باقي الدائرة؛ ولهذا تُستخدم العقد الفائقة.

بطاقات تعليمية

العقدة المرجعية

الأرضي، $v = 0$.

طريقة جهود العقد

قانون التيار عند $N - 1$ عقدة.

عقدة فائقة

مصدر جهد بين عقدتين.

طريقة تيارات الحلقات

قانون الجهد حول كل نافذة.

حلقة فائقة

مصدر تيار مشترك بين حلقتين.

$Gv = i$

معادلات العقد بالصيغة المصفوفية.

اختبار ذاتي

1. كم معادلة جهود عقد تحتاج دائرة فيها 4 عقد؟

2

3

4

5

3. N − 1.

2. مصدر جهد بين عقدتين غير مرجعيتين يستدعي…

حلقة فائقة

عقدة فائقة

قصرًا

التراكب

عقدة فائقة. ادمج العقدتين.

3. التيار في مقاومة مشتركة بين الحلقتين 1 و2 هو…

$i_1 + i_2$

$i_1 - i_2$

$i_1 i_2$

صفر

$i_2 - i_1$. كلاهما يسري باتجاه عقارب الساعة في حلقته.

4. تشكّل معادلات العقد…

معادلة تفاضلية

نظامًا خطيًا $Gv = i$

معادلة تربيعية

محدِّدًا فقط

نظامًا خطيًا $Gv = i$. الدوائر المقاومية الخطية أنظمة خطية.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

شبكة الكهرباء مسألة تحليل عقدي هائلة. توضح EIA أن الشبكة الأمريكية تتكون من آلاف الأميال من خطوط الجهد العالي وملايين الأميال من خطوط الجهد المنخفض التي تربط آلاف محطات التوليد بمئات الملايين من المستهلكين. في بداية القرن 20 كانت تعمل أكثر من 4000 شركة كهرباء معزولة؛ واليوم تعمل الولايات الـ 48 المتجاورة بوصفها ثلاث شبكات ربط رئيسية، الشرقية والغربية وERCOT، مترابطة لتوفير مسارات متعددة لتدفق الكهرباء.

تلاحظ EIA أن العرض يجب أن يطابق الطلب في كل لحظة وأن سلطات الموازنة تحافظ على هذا التطابق. ويفعل مشغلو الشبكات ذلك بنماذج تدفق القدرة التي معادلاتها هي نسخة التيار المتردد من طريقة جهود العقد في هذه الوحدة، محلولةً لآلاف القضبان، والتحليل نفسه يخبر المخططين أين تلزم خطوط جديدة لربط طاقة الرياح والطاقة الشمسية البعيدة عن المدن.

على Saving Planets: الجبر الخطي · الحلول

المصادر: U.S. EIA: Delivery to consumers (the electric power grid) (https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/delivery-to-consumers.php) · OpenStax UP2, 10.3 Kirchhoff's rules (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/10-3-kirchhoffs-rules)

مصادر تعلّم مجانية

- MIT OpenCourseWare 6.002 Circuits and Electronics (Spring 2007) (https://ocw.mit.edu/courses/6-002-circuits-and-electronics-spring-2007/): محاضرات عن طريقة العقد والتراكب.
- OpenStax UP2, 10.3 Kirchhoff's rules (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/10-3-kirchhoffs-rules): دوائر متعددة الحلقات.
- PhET: Circuit Construction Kit: DC (https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-dc): تحقق من جهود العقد لديك.
- Interactive Linear Algebra (Georgia Tech) (https://textbooks.math.gatech.edu/ila/): حل الأنظمة الخطية.

شاهد المحاضرة

Lecture 2: Basic Circuit Analysis Method (https://ocw.mit.edu/courses/6-002-circuits-and-electronics-spring-2007/resources/lecture-2/) (باللغة الإنجليزية)

MIT 6.002 Circuits and Electronics (Spring 2007), MIT OpenCourseWare. الترخيص: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · شروط الاستخدام (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use). الرابط للدراسة المجانية فقط؛ Saving Planets غير تابع لهذه الجامعة ولا يحظى بتأييدها.

أنهيت هذه الوحدة

مبرهنات الدوائر: الخطية والتراكب وتحويل المصادر وثيفينين ونورتن وأقصى نقل للقدرة

الخطية والتراكب، وتحويلات المصادر، والدوائر المكافئة لثيفينين ونورتن، وإيجاد R_Th بإطفاء المصادر أو بمصدر اختبار، ومبرهنة أقصى نقل للقدرة.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- استخدم التراكب لتحليل دوائر فيها عدة مصادر.
- حوّل بين مصادر الجهد ومصادر التيار.
- أوجد مكافئي ثيفينين ونورتن.
- اختر حملًا لأقصى نقل للقدرة واحسب تلك القدرة.

المفاهيم الأساسية

- الخطية: في دائرة من مقاومات ومصادر، كل جهد وتيار تركيب خطي من قيم المصادر. التراكب: أوجد الاستجابة لكل مصدر مستقل وحده (مصادر الجهد الأخرى مقصورة، ومصادر التيار مفتوحة) ثم اجمع.
- تحويل المصادر: مصدر جهد V على التوالي مع R يكافئ، عند طرفيه، مصدر تيار V/R على التوازي مع R.
- مبرهنة ثيفينين: أي شبكة خطية ثنائية الطرفين تبدو كمصدر V_Th على التوالي مع R_Th. V_Th هو جهد الدائرة المفتوحة؛ وR_Th هي المقاومة المرئية عند إطفاء المصادر المستقلة (أو V_oc/i_sc).
- مبرهنة نورتن: الشبكة نفسها مصدر تيار I_N = i_sc على التوازي مع R_N = R_Th؛ وV_Th = I_N R_Th.
- أقصى نقل للقدرة: يتلقى الحمل أكبر قدرة عندما R_L = R_Th، وعندئذ P_max = V_Th²/(4R_Th). والكفاءة عند هذه النقطة 50% فقط، لذا تُصمم أنظمة القدرة بدلًا من ذلك على R_L ≫ R_source.

المعادلات الأساسية

$$v = \sum_{k} v^{(k)}$$

v=_k v^(k)

التراكب

$$V_{Th} = v_{oc}, \;\; R_{Th} = \frac{v_{oc}}{i_{sc}}$$

V_Th=v_oc,\ \ R_Th=_oci_sc

مكافئ ثيفينين

$$I_N = \frac{V_{Th}}{R_{Th}}$$

I_N=_ThR_Th

تيار نورتن

$$P_{\max} = \frac{V_{Th}^2}{4R_{Th}} \text{ at } R_L = R_{Th}$$

P_=_Th^24R_Th\ at\ R_L=R_Th

أقصى نقل للقدرة

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 4.1 مصدر 12 V على التوالي مع 4 Ω يغذي الطرفين a–b، مع 12 Ω بين a وb. أوجد مكافئي ثيفينين ونورتن.

1. V_Th = 12 × 12/(4 + 12) = 9 V (مقسّم).
2. R_Th = 4 ∥ 3 Ω = 48/16 = 3 Ω (المصدر مقصور).
3. I_N = 9/3.

الإجابة: V_Th = 9 V, R_Th = 3 Ω; I_N = 3 A.

مثال 4.2 لتلك الدائرة، أوجد القدرة في حمل 6 Ω وأقصى قدرة ممكنة للحمل.

1. i = 9/(3 + 6) = 1 A; P = 1² × 6 = 6 W.
2. القيمة القصوى عند R_L = 3 Ω: P_max = 9²/(4 × 3).

الإجابة: 6 W؛ وP_max = 6.75 W عند 3 Ω.

مثال 4.3 عقدة موصولة بمصدر 10 V عبر 5 Ω، وبالأرضي عبر 5 Ω، ويغذيها مصدر تيار 2 A. أوجد جهد العقدة بالتراكب.

1. 10 V وحده (2 A مفتوح): المقسّم يعطي 5 V.
2. 2 A وحده (10 V مقصور): 2 × (5 ∥ 5) = 5 V.
3. اجمع الاثنين.

الإجابة: v = 10 V. تحقق بقانون التيار: 10/5 + 2 = (10 − 10)/5.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. حوّل مصدر 6 V على التوالي مع 2 Ω إلى صيغة نورتن.

3 A على التوازي مع 2 Ω.

2. شبكة فيها v_oc = 15 V وi_sc = 5 A. أوجد R_Th.

3 Ω.

3. أي حمل يتلقى أقصى قدرة من V_Th = 20 V وR_Th = 5 Ω، وكم مقدارها؟

R_L = 5 Ω, P = 400/20 = 20 W.

4. هل يمكن للتراكب جمع القدرات؟

لا: القدرة ليست خطية؛ اجمع الجهود أو التيارات ثم احسب القدرة.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: إطفاء مصدر جهد يعني إزالته.
في الحقيقة: استبدله بقصر؛ ومصدر التيار يصبح دائرة مفتوحة.

خرافة: أقصى نقل للقدرة يعني أقصى كفاءة.
في الحقيقة: عند R_L = R_Th يُفقد نصف القدرة في R_Th.

خرافة: تُطفأ المصادر التابعة لإيجاد R_Th.
في الحقيقة: أبقِ المصادر التابعة؛ واستخدم مصدر اختبار لإيجاد R_Th.

بطاقات تعليمية

التراكب

اجمع الاستجابات لكل مصدر وحده.

تحويل المصادر

V على التوالي مع R ↔ V/R على التوازي مع R.

ثيفينين

V_Th على التوالي مع R_Th.

نورتن

I_N على التوازي مع R_N.

R_Th

v_oc/i_sc.

أقصى قدرة

R_L = R_Th عند V_Th²/(4R_Th).

اختبار ذاتي

1. لإيجاد R_Th، تُستبدل مصادر الجهد المستقلة بـ...

دوائر مفتوحة

دوائر قصر

مقاومات

مصادر تيار

دوائر قصر. صفر فولت يعني قصرًا.

2. V_{Th} هو...

تيار القصر

جهد الدائرة المفتوحة

جهد المصدر دائمًا

جهد الحمل

جهد الدائرة المفتوحة. يُقاس دون توصيل أي شيء.

3. يحدث أقصى نقل للقدرة عندما...

$R_L = 0$

$R_L = R_{Th}$

$R_L \to \infty$

$R_L = 2R_{Th}$

$R_L = R_{Th}$. حمل متوافق.

4. الكفاءة عند أقصى نقل للقدرة هي...

25%

50%

75%

100%

50%. قدرة متساوية في R_Th وR_L.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تتصرف الخلايا الشمسية كمصادر تتغير نقطة تشغيلها من نوع ثيفينين مع ضوء الشمس ودرجة الحرارة، لذا تبحث إلكترونياتها باستمرار عن الحمل الذي يسحب أكبر قدرة. وقد تحسنت نسبة ضوء الشمس التي تحوّلها إلى كهرباء باطّراد: تفيد EIA بأن الألواح الكهروضوئية التجارية كانت كفاءتها في المتوسط أقل من 10% في منتصف الثمانينيات (1980s)، ونحو 15% بحلول 2015، وتقترب الآن من 25% للوحدات الأحدث، بينما بلغت الخلايا التجريبية والفضائية نحو 50%.

وتفيد EIA أيضًا بأن محطات الطاقة الكهروضوئية الكبيرة في الولايات المتحدة ولّدت نحو 292 مليار kWh في 2025، مقارنة بـ 6 ملايين kWh في 2004، والأنظمة الصغيرة على الأسطح نحو 93 مليار kWh. ومواءمة كل سلسلة ألواح مع أفضل نقطة تشغيل لها، وهي الفكرة وراء أقصى نقل للقدرة، جزء من كيفية استخلاص تلك الكيلوواط ساعات من كل متر مربع.

على Saving Planets: الفيزياء 2 · الفضاء

المصادر: U.S. EIA: Photovoltaics and electricity (https://www.eia.gov/energyexplained/solar/photovoltaics-and-electricity.php) · MIT OpenCourseWare 6.002 Circuits and Electronics (Spring 2007) (https://ocw.mit.edu/courses/6-002-circuits-and-electronics-spring-2007/)

مصادر تعلّم مجانية

- MIT OpenCourseWare 6.002 Circuits and Electronics (Spring 2007) (https://ocw.mit.edu/courses/6-002-circuits-and-electronics-spring-2007/): محاضرات عن مكافئي ثيفينين ونورتن.
- OpenStax UP2, 10.1 Electromotive force (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/10-1-electromotive-force): المقاومة الداخلية وجهد الطرفين.
- PhET: Circuit Construction Kit: DC (https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-dc): قِس v_oc وi_sc.
- OpenStax UP2, 10.2 Resistors in series and parallel (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/10-2-resistors-in-series-and-parallel): المقاومة المكافئة.

شاهد المحاضرة

Lecture 3: Superposition, Thévenin and Norton (https://ocw.mit.edu/courses/6-002-circuits-and-electronics-spring-2007/resources/lecture-3/) (باللغة الإنجليزية)

MIT 6.002 Circuits and Electronics (Spring 2007), MIT OpenCourseWare. الترخيص: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · شروط الاستخدام (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). الرابط للدراسة المجانية فقط؛ Saving Planets غير تابع لهذه الجامعة ولا يحظى بتأييدها.

أنهيت هذه الوحدة

مكبّرات العمليات

مكبّر العمليات المثالي وقاعدتاه، والمكبّرات العاكسة وغير العاكسة، وتابعات الجهد، ومكبّرات الجمع والفرق، والتشبع، والمراحل المتتالية، ومكبّرات العمليات في المستشعرات والقياس.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- طبّق قواعد مكبّر العمليات المثالي مع التغذية الراجعة السالبة.
- حلّل دوائر العاكس وغير العاكس والتابع والجامع والفرق.
- تعرّف على التشبع وحدوده.
- صمّم مكبّرًا بسيطًا لإشارة مستشعر.

المفاهيم الأساسية

- يكبّر مكبّر العمليات الفرق بين دخليه بكسب كبير جدًا. ومع التغذية الراجعة السالبة تكون القواعد المثالية: لا يدخل أي تيار في أي من الدخلين، والجهدان عند الدخلين متساويان (v₊ = v₋).
- المكبّر العاكس: v_o = −(R_f/R_in)v_in. المكبّر غير العاكس: v_o = (1 + R_f/R_g)v_in. تابع الجهد (عازل): v_o = v_in دون سحب تيار يُذكر من المصدر.
- المكبّر الجامع: v_o = −R_f(v₁/R₁ + v₂/R₂ + …). مكبّر الفرق بنسب متطابقة: v_o = (R₂/R₁)(v₂ − v₁).
- لا يمكن أن يتجاوز الخرج جهدي التغذية؛ وبعدهما يتشبع المكبّر وتتوقف القواعد الخطية عن الانطباق.
- المراحل المتتالية تضرب كسوبها، ولأن خرج مكبّر العمليات يتصرف كمصدر جهد مثالي، فإن المرحلة لا تتحمّل من المرحلة التالية.

المعادلات الأساسية

$$v_+ = v_-,\ \ i_+ = i_- = 0$$

```
v_+=v_-,\ \ i_+=i_-=0
```

قواعد مكبّر العمليات المثالي (تغذية راجعة سالبة)

$$v_o = -\frac{R_f}{R_{in}} v_{in}$$

```
v_o=-_fR_inv_in
```

المكبّر العاكس

$$v_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_g}\right) v_{in}$$

```
v_o=(1+(R_f)/(R_g))v_in
```

المكبّر غير العاكس

$$v_o = -R_f \sum_k \frac{v_k}{R_k}$$

v_o=-R_f_k(v_k)/(R_k)

المكبّر الجامع

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 5.1 مكبّر عاكس فيه R_in = 10 kΩ وR_f = 100 kΩ. أوجد الكسب وv_o عند v_in = 0.2 V.

1. الكسب = −100/10 = −10.
2. v_o = −10 × 0.2 = −2 V.

الإجابة: الكسب −10، v_o = −2 V.

مثال 5.2 صمّم مكبّرًا غير عاكس بكسب 10 باستخدام R_g = 1 kΩ.

1. 1 + R_f/R_g = 10، إذن R_f/R_g = 9.

الإجابة: R_f = 9 kΩ.

مثال 5.3 مكبّر جامع فيه R_f = R₁ = R₂ = 10 kΩ، وv₁ = 1 V وv₂ = 2 V. أوجد v_o. وماذا لو كان جهد التغذية ±12 V ورُفع الكسب بحيث تكون الإجابة المثالية −15 V؟

1. v_o = −10k(1/10k + 2/10k) = −3 V.
2. لا يمكن أن ينخفض الخرج دون جهد التغذية −12 V.

الإجابة: v_o = −3 V؛ وعند الكسب الأعلى يتشبع قرب −12 V.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. أوجد كسب مكبّر عاكس فيه R_f = 47 kΩ وR_in = 4.7 kΩ.

   −10.

2. تابع جهد فيه v_in = 1.5 V. أوجد v_o.

   1.5 V.

3. مرحلتان كسباهما 10− و5 موصولتان على التتالي. أوجد الكسب الكلي.

.−50

4. مكبّر فرق فيه $R_2/R_1 = 4$ و$v_2 = 1.2$ V و$v_1 = 1.0$ V. أوجد v_o.

.$4 \times 0.2 = 0.8$ V

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: دخلا مكبّر العمليات يسحبان تيار الدائرة.
في الحقيقة: مثاليًا لا يدخل أي تيار في الدخلين؛ بل يسري عبر R_f.

خرافة: $v_+ = v_-$ دائمًا.
في الحقيقة: فقط مع التغذية الراجعة السالبة ودون تشبع.

خرافة: يمكن أن يكون الكسب كبيرًا بقدر ما تشاء.
في الحقيقة: الخرج محدود بجهدي التغذية وبعرض نطاق المكبّر الحقيقي.

بطاقات تعليمية

مكبّر العمليات المثالي

$v_+ = v_-$، ولا تيار دخل.

العاكس

$-R_f/R_{in}$.

غير العاكس

$1 + R_f/R_g$.

التابع

عازل بكسب 1.

الجامع

$-R_f \Sigma v_k/R_k$.

التشبع

الخرج محدود بجهدي التغذية.

اختبار ذاتي

1. مع التغذية الراجعة السالبة، يُحدث مكبّر العمليات المثالي…

$v_+ = 0$

$v_+ = v_-$

$v_o = 0$

$i_o = 0$

$v_- = v_+$. قصرًا افتراضيًا.

2. كسب مكبّر عاكس فيه $R_f = 20\ k\Omega$ و$R_{in} = 5\ k\Omega$ هو...

4

−4

5

−5

$-R_f/R_{in}$. −4.

3. يُستخدم تابع الجهد لـ...

جمع الإشارات

عزل مصدر

العكس

التكامل

عزل مصدر. كسب 1، دون تحميل.

4. أدنى كسب لمكبّر غير عاكس هو...

0

1

−1

10

$1 + R_f/R_g \geq 1$. 1.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تبدأ الشبكة الأذكى بالقياس، وقياس الإشارات الصغيرة هو عمل مكبّر العمليات. توضح EIA أن الشبكة الذكية تجمع التقنية الرقمية مع النظام الكهربائي التقليدي كي تتمكن شركات الكهرباء والعملاء من إرسال المعلومات واستقبالها، مما يساعد الشركات على خفض فقد الكهرباء واكتشاف المشكلات وإصلاحها أسرع، وأن الأجهزة الذكية على خطوط الكهرباء وفي المحطات الفرعية تتيح إدارة الجهد بكفاءة أكبر وتحديد موقع الانقطاع بسرعة.

كل عداد ذكي ومستشعر خطوط يكبّر إشارة صغيرة من مستشعر تيار أو مقسّم جهد إلى مدى يستطيع محوّل رقمي قراءته، باستخدام المكبّرات العاكسة وغير العاكسة ومكبّرات الفرق في هذه الوحدة تحديدًا. وتضيف EIA أن الأجهزة الذكية يمكنها إبلاغ العملاء عند ارتفاع الأسعار ليحوّلوا استهلاكهم بعيدًا عن أوقات الطلب المرتفع جدًا.

على Saving Planets: مقدمة في البرمجة · الحلول

المصادر: U.S. EIA: Delivery to consumers (the electric power grid) (https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/delivery-to-consumers.php) · MIT OpenCourseWare 6.002 Circuits and Electronics (Spring 2007) (https://ocw.mit.edu/courses/6-002-circuits-and-electronics-spring-2007/)

مصادر تعلّم مجانية

- MIT OpenCourseWare 6.002 Circuits and Electronics (Spring 2007) (https://ocw.mit.edu/courses/6-002-circuits-and-electronics-spring-2007/): محاضرات عن تجريد مكبّر العمليات.
- PhET: Circuit Construction Kit: DC (https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-dc): شبكات مقاومات لضبط الكسب.
- OpenStax UP2, 10.2 Resistors in series and parallel (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/10-2-resistors-in-series-and-parallel): مقسّمات مستخدمة في التغذية الراجعة.
- OpenStax UP2, 9.4 Ohm's law (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/9-4-ohms-law): مراجعة.

شاهد المحاضرة

Lecture 19: The Operational Amplifier Abstraction (https://ocw.mit.edu/courses/6-002-circuits-and-electronics-spring-2007/resources/lecture-19/) (باللغة الإنجليزية)

MIT 6.002 Circuits and Electronics (Spring 2007), MIT OpenCourseWare. الترخيص: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · شروط الاستخدام (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use). الرابط للدراسة المجانية فقط؛ Saving Planets غير تابع لهذه الجامعة ولا يحظى بتأييدها.

☐ **أنهيت هذه الوحدة**

المكثفات والملفات

السعة والمحاثة، وعلاقتا التيار–الجهد لهما، والطاقة المخزنة، واستمرارية جهد المكثف وتيار الملف، والتوصيل على التوالي والتوازي، والسلوك في الحالة المستقرة للتيار المستمر، والمكاملات والمفاضلات بمكبّر العمليات.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- استخدم i = C dv/dt وv = L di/dt.
- احسب الطاقة المخزنة في المكثفات والملفات.
- اجمع المكثفات والملفات على التوالي والتوازي.
- أوجد الجهود والتيارات في الحالة المستقرة للتيار المستمر في دوائر فيها C وL.

المفاهيم الأساسية

- يخزن المكثف الطاقة في مجال كهربائي: q = Cv، i = C dv/dt، w = ½Cv². لا يمكن لجهده أن يقفز لحظيًا؛ وفي الحالة المستقرة للتيار المستمر يتصرف كدائرة مفتوحة.
- يخزن الملف الطاقة في مجال مغناطيسي: v = L di/dt، w = ½Li². لا يمكن لتياره أن يقفز لحظيًا؛ وفي الحالة المستقرة للتيار المستمر يتصرف كقصر.
- المكثفات على التوازي تُجمع؛ وعلى التوالي تتجمع كالمقاومات على التوازي. والملفات تتجمع كالمقاومات: على التوالي تُجمع، وعلى التوازي تُجمع مقلوباتها.
- مكبّر عمليات بمكثف في التغذية الراجعة يكامل: v_o = −(1/RC)∫v_in dt. وتبديل R وC يعطي مفاضلًا.
- المكثفات والملفات المثالية تخزن الطاقة وتعيدها دون فقد؛ أما الحقيقية فلها مقاومة صغيرة وتسرّب.

المعادلات الأساسية

$$i = C\frac{dv}{dt},\ \ w = \tfrac{1}{2}Cv^2$$

i=Cdv/dt,\ \ w=12Cv^2

المكثف

$$v = L\frac{di}{dt},\ \ w = \tfrac{1}{2}Li^2$$

v=Ldi/dt,\ \ w=12Li^2

الملف

$$C_p = C_1 + C_2,\ \ \frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

C_p=C_1+C_2,\ \ (1)/(C_s)=(1)/(C_1)+(1)/(C_2)

$$v_o = -\frac{1}{RC}\int v_{in}\,dt$$

v_o=-1/RC v_in dt

مكامل بمكبّر العمليات

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 6.1 جهد مكثف 10 µF يرتفع بمعدل 2 V/ms. أوجد تياره.

1. dv/dt = 2000 V/s.
2. i = 10 × 10⁻⁶ × 2000 = 20 mA.

الإجابة: i = 20 mA.

مثال 6.2 أوجد الطاقة في مكثف 1000 µF عند 3 V وفي ملف 0.2 H يمر فيه 3 A.

1. w_C = ½ × 10⁻³ × 3² = 4.5 × 10⁻³ J.
2. w_L = ½ × 0.2 × 3².

الإجابة: 4.5 mJ و0.9 J.

مثال 6.3 مصدر تيار مستمر 12 V يغذي 2 Ω على التوالي مع ملف، مع مقاومة 4 Ω على التوازي مع مكثف عند الخرج (حالة مستقرة). أوجد تيار الملف وجهد المكثف.

1. في التيار المستمر يكون الملف قصرًا والمكثف مفتوحًا.
2. i = 12/(2 + 4) = 2 A; v_C = 2 × 4 = 8 V.

الإجابة: i_L = 2 A, v_C = 8 V.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. أوجد 6 µF و3 µF على التوالي.

2 µF.

2. تيار ملف 50 mH يتغير بمعدل 100 A/s. أوجد جهده.

.5 V

3. أوجد 4 mH و6 mH على التوالي.

.10 mH

4. كم شحنة يحمل مكثف 100 µF عند 9 V؟

.q = 0.9 mC

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: المكثف يمرّر التيار المستمر.
في الحقيقة: في الحالة المستقرة للتيار المستمر يحجب التيار (دائرة مفتوحة).

خرافة: يمكن لتيار الملف أن يتغير لحظيًا.
في الحقيقة: سيحتاج ذلك إلى جهد لانهائي؛ فالتيار مستمر.

خرافة: المكثفات تتجمع كالمقاومات.
في الحقيقة: إنها تتجمع بالعكس: على التوازي تُجمع.

بطاقات تعليمية

المكثف

.i = C dv/dt

الملف

.v = L di/dt

طاقة المكثف

.½Cv²

طاقة المحث

.½Li²

الحالة المستقرة للتيار المستمر

C مفتوح، وL قصر.

المكامل

.v_o = −(1/RC)∫v_in dt

اختبار ذاتي

1. في الحالة المستقرة للتيار المستمر يتصرف الملف كـ…

دائرة مفتوحة

قصر

مقاومة

مصدر

قصر. di/dt = 0 إذن v = 0.

2. مضاعفة جهد مكثف تضرب طاقته في...

2

4

½

1

4. $w \propto v^2$.

3. أيها لا يمكن أن يتغير لحظيًا؟

تيار المكثف

جهد المكثف

جهد الملف

تيار المقاومة

جهد المكثف. سيحتاج ذلك إلى تيار لانهائي.

4. مكثفان سعة كل منهما 10 µF على التوازي يعطيان...

5 µF

10 µF

20 µF

100 µF

20 µF. المكثفات على التوازي تُجمع.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تخزين الطاقة هو ما يتيح استخدام طاقة الشمس والرياح بعد الغروب أو عند هدوء الرياح. أفادت EIA في أغسطس 2026 بأن سعة تخزين البطاريات على نطاق المرافق في الولايات المتحدة نمت بمتوسط 70% سنويًا خلال السنوات الثلاث الماضية، لتبلغ 43.6 GW بنهاية 2025، وأن المشغلين أضافوا 8.3 GW أخرى في النصف الأول من 2026 لتبلغ نحو 52 GW، مع نحو 54 GW إضافية مخطط لها خلال العامين ونصف العام القادمة.

تلاحظ EIA أن محطات الطاقة الشمسية تضم أكبر وحدات البطاريات، وأن الجمع بين الطاقة الشمسية والتخزين يتيح للمشغلين تخزين الكهرباء عند انخفاض الأسعار وتفريغها عند ارتفاعها. تخزّن البطاريات الطاقة كيميائيًا، لكن المكثفات والملفات في هذه الوحدة موجودة في كل عاكس وشاحن بطاريات، تنعّم التيارات وتخزن الطاقة لميكروثوانٍ في كل مرة أثناء تحويل القدرة بين التيار المستمر والمتردد.

على Saving Planets: الفيزياء 2 · الحلول

المصادر: U.S. EIA: Battery storage capacity averaged 70% growth over the last three years (Aug. 7, 2026) (https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=67925) · OpenStax UP2, 8.1 Capacitors and capacitance (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/8-1-capacitors-and-capacitance)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP2, 8.1 Capacitors and capacitance (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/8-1-capacitors-and-capacitance): قسم من كتاب مدرسي مجاني.
- OpenStax UP2, 14.2 Self-inductance and inductors (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/14-2-self-inductance-and-inductors): المحاثة.
- PhET: Capacitor Lab: Basics (https://phet.colorado.edu/en/simulations/capacitor-lab-basics): تفاعلي.
- MIT OpenCourseWare 6.002 Circuits and Electronics (Spring 2007) (https://ocw.mit.edu/courses/6-002-circuits-and-electronics-spring-2007/): محاضرات عن المكثفات وأنظمة الرتبة الأولى.

أنهيت هذه الوحدة

دوائر الرتبة الأولى: العابرات في دوائر RC وRL

الاستجابة الطبيعية واستجابة الخطوة لدوائر RC وRL، وثابت الزمن، والحل العام x(t) = x(∞) + [x(0) − x(∞)]e^(−t/τ)، ومسائل التبديل، والطاقة في التبديل الرقمي.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- أوجد القيم الابتدائية والنهائية عبر حدث تبديل.
- احسب ثوابت الزمن τ = RC وτ = L/R.
- اكتب الحل العام للرتبة الأولى واستخدمه.
- قدّر طاقة التبديل وقدرته في الدوائر الرقمية.

المفاهيم الأساسية

- الدائرة التي فيها مكثف واحد أو ملف واحد (إضافة إلى مقاومات ومصادر تيار مستمر) تخضع لمعادلة تفاضلية من الرتبة الأولى. وتنتقل استجابتها أسيًا من قيمة ابتدائية إلى قيمة نهائية.
- ثابت الزمن: τ = R_Th C لدائرة RC وτ = L/R_Th لدائرة RL، حيث R_Th هي المقاومة التي يراها C أو L.
- الحل العام: x(t) = x(∞) + [x(0⁺) − x(∞)] e^(−t/τ). بعد τ واحد يكتمل 63.2% من التغير؛ وبعد 5τ يكتمل 99.3%.
- استخدم الاستمرارية: v_C(0⁺) = v_C(0⁻) وi_L(0⁺) = i_L(0⁻). وأوجد x(∞) من الحالة المستقرة للتيار المستمر (C مفتوح، وL قصر).
- شحن سعة C إلى V عبر مقاومة يأخذ CV² من المصدر: يُخزَّن ½CV² ويُفقد ½CV² حرارةً. تشحن الرقائق الرقمية سعات ضئيلة مليارات المرات في الثانية، لذا تكون قدرتها الديناميكية نحو P = αCV²f.

المعادلات الأساسية

$$\tau = RC, \;\; \tau = \frac{L}{R}$$

τ=RC,\ \ τ=L/R

ثوابت الزمن

$$x(t) = x(\infty) + [x(0^+) - x(\infty)]e^{-t/\tau}$$

x(t)=x(∞)+[x(0^+)-x(∞)]e^-t/τ

الاستجابة العامة للرتبة الأولى

$$v_C(t) = V\left(1 - e^{-t/RC}\right)$$

v_C(t)=V(1-e^-t/RC)

شحن RC من الصفر

$$P_{dyn} \approx \alpha C V^2 f$$

قدرة التبديل الرقمي

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 7.1 مكثف 1000 µF يُشحن عبر 10 kΩ من مصدر 3 V، بدءًا من 0 V. أوجد τ وv_C عند t = τ والزمن اللازم لبلوغ 99.3% من 3 V.

1. $\tau = 10^{4} \times 10^{-3} = 10$ s.
2. $v_C(\tau) = 3(1 - e^{-1}) = 3 \times 0.632$.
3. بلوغ 99.3% يستغرق 5τ.

الإجابة: τ = 10 s، v_C(τ) = 1.90 V، نحو 50 s.

مثال 7.2 ملف 0.5 H على التوالي مع 10 Ω يُوصل بـ 20 V عند t = 0. أوجد τ والتيار النهائي وi(0.1 s).

1. τ = 0.5/10 = 0.05 s; i(∞) = 20/10 = 2 A.
2. $i(0.1) = 2(1 - e^{-2})$.

الإجابة: τ = 50 ms, i(∞) = 2 A, i(0.1 s) = 1.73 A.

مثال 7.3 مكثف مشحون يُفرَّغ عبر مقاومة بثابت زمن τ = 10 s. متى يبلغ جهده نصف قيمته الابتدائية؟

1. $V_0 e^{-t/\tau} = V_0/2$ تعطي $t = \tau \ln 2$.

الإجابة: t = 6.93 s.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. أوجد τ لـ 2 kΩ و50 µF.

   0.1 s.

2. بعد 3τ، ما الكسر المكتمل من التغير؟

   $1 - e^{-3} = 95.0\%$.

3. أوجد τ لـ 20 mH و4 Ω.

.5 ms

4. رقاقة توضيحية: السعة المبدّلة الفعالة C = 1 nF، وV = 1 V، وf = 1 GHz، وα = 1. أوجد P، وP عند 0.8 V.

1 W؛ و0.64 W، أي أقل بنسبة 36%.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: يقفز جهد المكثف عند إغلاق المفتاح.
في الحقيقة: جهد المكثف مستمر؛ أما تياره فقد يقفز.

خرافة: تكتمل الاستجابة بعد ثابت زمن واحد.
في الحقيقة: τ واحد يعني 63.2%؛ واستخدم نحو 5τ لـ «الاكتمال».

خرافة: τ يستخدم مقاومة المصدر فقط.
في الحقيقة: استخدم مقاومة ثيفينين التي يراها المكثف أو الملف.

بطاقات تعليمية

الثابت الزمني RC

τ = RC.

الثابت الزمني RL

τ = L/R.

الحل العام

x(∞) + [x(0) − x(∞)]e^(−t/τ).

ثابت زمني τ واحد

63.2% من التغير.

خمسة τ

99.3%.

قدرة التبديل

P ≈ αCV²f.

اختبار ذاتي

1. τ لدائرة RC هو...

R/C

RC

1/RC

√(RC)

RC. بوحدة الثواني.

2. بعد ثابت زمن واحد يبلغ المكثف أثناء الشحن نحو...

37%

50%

63%

99%

$1 - e^{-1}$ .63%.

3. خفض جهد تغذية رقاقة بنسبة 20% يقلل قدرتها الديناميكية بنحو...

20%

36%

50%

64%

$0.8^2 = 0.64$ .36%.

4. تيار الملف عند $t = 0^+$ يساوي...

صفرًا دائمًا

قيمته عند 0^-

القيمة النهائية

V/R

قيمته عند 0^-. الاستمرارية.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

كل بت يقلبه الحاسوب يشحن سعة ضئيلة ويفرغها عبر مقاومة، ولهذا تستهلك الحوسبة هذا القدر من الكهرباء. وجد تقرير لمختبر Berkeley Lab لصالح وزارة الطاقة الأمريكية أن مراكز البيانات استهلكت نحو 4.4% من إجمالي كهرباء الولايات المتحدة في 2023، وأن استهلاكها ارتفع من 58 TWh في 2014 إلى 176 TWh في 2023، ويُتوقع أن تستخدم من 325 إلى 580 TWh، أي من 6.7% إلى 12% من كهرباء البلاد، بحلول 2028، بنمو تقوده إلى حد كبير خوادم AI.

تبيّن صيغة قدرة التبديل في هذه الوحدة الرافعة الرئيسية لمصممي الرقائق: تنمو القدرة مع مربع جهد التغذية، لذا فإن جهدًا أقل بنسبة 20% يخفض القدرة الديناميكية بنسبة 36% (مثال توضيحي). ويقول الباحث الرئيسي في التقرير إن معرفة ما يدفع النمو تساعد على تحديد فرص الكفاءة.

على Saving Planets: مقدمة في البرمجة · المعادلات التفاضلية

المصادر: Berkeley Lab: Report evaluates increase in electricity demand from data centers (Jan. 2025) (https://newscenter.lbl.gov/2025/01/15/berkeley-lab-report-evaluates-increase-in-electricity-demand-from-data-centers/) · OpenStax UP2, 10.5 RC circuits (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/10-5-rc-circuits)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP2, 10.5 RC circuits (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/10-5-rc-circuits): قسم من كتاب مدرسي مجاني.
- OpenStax UP2, 14.4 RL circuits (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/14-4-rl-circuits): عابرات الملفات.
- MIT OpenCourseWare 6.002 Circuits and Electronics (Spring 2007) https://ocw.mit.edu/courses/6-002-circuits-and-electronics-spring-2007/): محاضرات عن عابرات الرتبة الأولى وطاقة الدوائر الرقمية.
- PhET: Circuit Construction Kit: AC (https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-ac): شاهد المكثفات وهي تُشحن.

شاهد المحاضرة

Lecture 12: Capacitors and First-Order Systems (https://ocw.mit.edu/courses/6-002-circuits-and-electronics-spring-2007/resources/lecture-12/) (باللغة الإنجليزية)

MIT 6.002 Circuits and Electronics (Spring 2007), MIT OpenCourseWare. الترخيص: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · شروط الاستخدام (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). الرابط للدراسة المجانية فقط؛ Saving Planets غير تابع لهذه الجامعة ولا يحظى بتأييدها.

☐ **أنهيت هذه الوحدة**

دوائر الرتبة الثانية: الاستجابة الطبيعية واستجابة الخطوة في دوائر RLC

دوائر RLC على التوالي والتوازي، والمعادلة المميزة، وتردد النيبر α وتردد الرنين ω₀، والاستجابات فوق المخمّدة والمخمّدة حرجيًا وتحت المخمّدة، ومعامل الجودة، وتبادل الطاقة في LC.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- اكتب معادلة الرتبة الثانية لدوائر RLC على التوالي والتوازي.
- احسب α وω₀ وω_d وصنّف التخميد.
- أوجد شكل الاستجابة وثوابتها من الشروط الابتدائية.
- اربط Q بالرنين المستمر وفقد الطاقة.

المفاهيم الأساسية

- الدائرة التي فيها ملف ومكثف تخضع لمعادلة من الرتبة الثانية. لدائرة RLC على التوالي: α = R/(2L)، ω₀ = 1/√(LC). ولدائرة RLC على التوازي: α = 1/(2RC)، وω₀ نفسها.
- الجذور s = −α ± √(α² − ω₀²). فوق المخمّدة (α > ω₀): جذران حقيقيان، دون تذبذب. المخمّدة حرجيًا (α = ω₀): أسرع عودة دون تجاوز. تحت المخمّدة (α < ω₀): تذبذب متضائل عند ω_d = √(ω₀² − α²).
- دائرة LC المثالية (R = 0) تتبادل الطاقة بين المجال الكهربائي للمكثف والمجال المغناطيسي للملف إلى الأبد عند ω₀.
- معامل الجودة لدائرة RLC على التوالي: Q = ω₀L/R = (1/R)√(L/C). وQ العالي يعني رنينًا حادًا وتذبذبًا طويلًا.
- المقاومة الحرجة لدائرة RLC على التوالي: R = 2√(L/C).

المعادلات الأساسية

$$\alpha = \frac{R}{2L}, \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

α=R/2L,\ \ ω_0=1

معاملات RLC على التوالي

$$s_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}$$

s_1,2=-αα^2-ω_0^2

الجذور المميزة

$$\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$$

ω_d=ω_0^2-α^2

التردد المخمّد

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R}$$

Q=(ω_0L)/(R)

معامل الجودة (توالٍ)

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 8.1 دائرة RLC على التوالي فيها R = 10 Ω وL = 10 mH وC = 10 μF. أوجد ω₀ وf₀ وα ونوع التخميد.

1. $\omega_0 = 1/\sqrt{(10^{-2} \times 10^{-5})} = 1/\sqrt{10^{-7}} = 3162$ rad/s؛ $f_0 = \omega_0/2\pi$.
2. $\alpha = 10/(2 \times 0.01) = 500\ s^{-1} < \omega_0$.

الإجابة: $\omega_0 = 3162$ rad/s، $f_0 = 503.3$ Hz، $\alpha = 500\ s^{-1}$: تحت المخمّدة.

مثال 8.2 للدائرة نفسها أوجد ω_d وQ.

1. $\omega_d = \sqrt{(3162^2 - 500^2)} = \sqrt{(10^7 - 2.5 \times 10^5)}$.
2. $Q = 3162 \times 0.01/10$.

الإجابة: $\omega_d = 3122.5$ rad/s، $Q = 3.16$.

مثال 8.3 ما المقاومة التي تجعل تلك الدائرة مخمّدة حرجيًا؟

1. $R = 2\sqrt{(L/C)} = 2\sqrt{(0.01/10^{-5})} = 2\sqrt{1000}$.

الإجابة: $R = 63.2\ \Omega$.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. دائرة RLC على التوالي فيها $\alpha = 200\ s^{-1}$ و$\omega_0 = 100$ rad/s. صنّفها.

   فوق المخمّدة.

2. أوجد ω_0 لـ $L = 1$ mH وC = 1 μF.

   31623 rad/s (5.03 kHz).

3. دائرة RLC على التوازي فيها R = 1 kΩ وC = 1 μF. أوجد α.

$1/(2 \times 10^{3} \times 10^{-6}) = 500\ s^{-1}$.

4. مضاعفة R في دائرة RLC على التوالي تغيّر Q بمعامل…

بمعامل ½.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: لـ α الصيغة نفسها في RLC على التوالي والتوازي.
في الحقيقة: على التوالي $\alpha = R/2L$؛ وعلى التوازي $\alpha = 1/(2RC)$.

خرافة: المخمّدة حرجيًا تعني التذبذب.
في الحقيقة: إنها الحد الفاصل: لا تذبذب، وأسرع استقرار.

خرافة: ω_d تساوي ω_0.
في الحقيقة: ω_d أقل كلما وُجد تخميد.

بطاقات تعليمية

تردد النيبر

$\alpha = R/2L$ (توالٍ).

تردد الرنين

$\omega_0 = 1/\sqrt{(LC)}$.

فوق المخمّدة

$\alpha > \omega_0$.

ناقص التخميد

$\alpha < \omega_0$، يتذبذب عند ω_d.

المقاومة الحرجة

$2\sqrt{(L/C)}$ (توالٍ).

Q

$\omega_0 L/R$.

اختبار ذاتي

1. تحت المخمّدة يعني…

- $\alpha > \omega_0$
- $\omega_0 = \alpha$
- $\alpha < \omega_0$

R = 0 فقط

$\omega_0 > \alpha$. جذور عقدية.

2. ω_0 لدائرة LC هي...

LC

1/LC

1/√(LC)

√(L/C)

1/√(LC). تردد الرنين.

3. زيادة R في دائرة RLC على التوالي تجعل الاستجابة...

أكثر تذبذبًا

أكثر تخميدًا

دون تغيير

غير مستقرة

أكثر تخميدًا. تزداد α.

4. في دائرة LC مثالية، الطاقة...

تُفقد على شكل حرارة

تتبادل بين C وL

تبقى في C

تزداد

تتبادل بين C وL. لا توجد مقاومة.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

الدوائر الرنينية هي ما يتيح للمركبات الكهربائية الشحن دون سلك. يوضح مركز بيانات الوقود البديل التابع لوزارة الطاقة الأمريكية أن الشحن الحثّي يستخدم مجالًا كهرومغناطيسيًا لنقل الكهرباء إلى المركبة الكهربائية، وأن بعض المحطات اللاسلكية تعمل بالفعل بمستويات قدرة مماثلة للمستوى 2، وأنه أكثر شيوعًا في النقل العام والأساطيل بقدرات أعلى، وأن الوزارة تجري أبحاثًا على الشحن اللاسلكي عالي القدرة.

تضبط الشواحن اللاسلكية ملفًا (L) ومكثفًا (C) على كل جانب على التردد نفسه $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ لكي تتبادل الطاقة بكفاءة عبر الفجوة الهوائية، ويُبقي Q العالي الفقد منخفضًا. هذه هي فكرة الدائرة وراء شواحن النقل العام والأساطيل اللاسلكية التي يصفها المركز.

على Saving Planets: الفيزياء 2 · المعادلات التفاضلية

المصادر: U.S. DOE Alternative Fuels Data Center: Electric vehicle charging stations (https://afdc.energy.gov/fuels/electricity-stations) · OpenStax UP2, 14.6 RLC series circuits (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/14-6-rlc-series-circuits)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP2, 14.5 Oscillations in an LC circuit (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/14-5-oscillations-in-an-lc-circuit): قسم من كتاب مدرسي مجاني.
- OpenStax UP2, 14.6 RLC series circuits (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/14-6-rlc-series-circuits): التذبذبات المخمّدة.
- MIT OpenCourseWare 6.002 Circuits and Electronics (Spring 2007) (https://ocw.mit.edu/courses/6-002-circuits-and-electronics-spring-2007/): محاضرات عن أنظمة الرتبة الثانية.
- PhET: Circuit Construction Kit: AC (https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-ac): ابنِ دائرة LC.

شاهد المحاضرة

Lecture 15: Second-Order Systems (part 1) (https://ocw.mit.edu/courses/6-002-circuits-and-electronics-spring-2007/resources/lecture-15-part-1/) (باللغة الإنجليزية)

MIT 6.002 Circuits and Electronics (Spring 2007), MIT OpenCourseWare. الترخيص: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · شروط الاستخدام (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). الرابط للدراسة المجانية فقط؛ Saving Planets غير تابع لهذه الجامعة ولا يحظى بتأييدها.

☐ **أنهيت هذه الوحدة**

الحالة المستقرة الجيبية: الطورات والممانعة

الموجات الجيبية، والسعة والتردد والطور والقيم الفعالة، والأعداد العقدية، والطوريات، ومعاوقة R وL وC ومسامحتها، وتحليل دوائر التيار المتردد بقانون أوم وقانون كيرشوف للتيار وقانون كيرشوف للجهد وطريقتي العُقد وثيفينين بالصيغة الطورية، وأساسيات الاستجابة الترددية.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- حوّل بين الموجات الجيبية في المجال الزمني والطوريات.
- احسب معاوقات R وL وC عند تردد معيّن.
- حلّل دوائر التيار المتردد بالصيغ الطورية لطرق التيار المستمر.
- صِف كيف تتغير المعاوقة مع التردد في المرشحات البسيطة.

المفاهيم الأساسية

- للموجة الجيبية v(t) = V_m cos(ωt + ϕ) سعة V_m وتردد زاوي ω = 2πf وطور ϕ. وقيمتها الفعالة V_m/√2؛ وجهد المنازل الأمريكي 120 V قيمة فعالة عند 60 Hz، بقيمة قصوى نحو 170 V.
- الطوري هو العدد العقدي V = V_m∠ϕ الذي يحمل السعة والطور. في الحالة الجيبية المستقرة يصبح d/dt ضربًا في jω.
- المعاوقة Z = V/I: Z_R = R، Z_L = jωL، Z_C = 1/(jωC) = −j/(ωC). تبدو الملفات كدوائر قصر عند التردد المنخفض وكدوائر مفتوحة عند التردد العالي؛ والمكثفات تفعل العكس.
- كل أدوات التيار المستمر (التوالي/التوازي، ومقسمات الجهد، وتحليل العُقد والحلقات، وثيفينين ونورتن) تعمل مع المعاوقات والحساب العقدي.
- مرشح RC منخفض التمرير يمرر الترددات المنخفضة ويوهن العالية؛ وتردد القطع (نصف القدرة) له هو ω_c = 1/(RC).

المعادلات الأساسية

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

```
V_rms=(V_m)/(2)
```

القيمة الفعالة لموجة جيبية

$$Z_R = R,\ Z_L = j\omega L,\ Z_C = \frac{1}{j\omega C}$$

```
Z_R=R,\ Z_L=jω L,\ Z_C=(1)/(jω C)
```

المعاوقات

$$\mathbf{V} = \mathbf{I}Z$$

قانون أوم بالطوريات

$$\omega_c = \frac{1}{RC}$$

ω_c=1/RC

قطع مرشح RC

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 9.1 عبّر عن $v(t) = 170\cos(377t)$ V كطوري وأوجد قيمتها الفعالة وترددها.

1. $V = 170\angle 0^\circ$ V (القيمة القصوى).
2. $V_{rms} = 170/\sqrt{2}$؛ $f = 377/(2\pi)$.

الإجابة: $V_{rms} = 120.2$ V عند $f = 60.0$ Hz.

مثال 9.2 عند 60 Hz أوجد معاوقة ملف 0.1 H ومكثف 100 μF.

1. $\omega = 2\pi \times 60 = 377.0$ rad/s.
2. $Z_L = j \times 377.0 \times 0.1$; $Z_C = -j/(377.0 \times 10^{-4})$.

الإجابة: $Z_L = j37.70\ \Omega$, $Z_C = -j26.53\ \Omega$.

مثال 9.3 مصدر 120 V (فعالة) و60 Hz يغذي 30 Ω على التوالي مع 0.1 H. أوجد التيار وطوره.

1. $Z = 30 + j37.70\ \Omega$; $|Z| = \sqrt{(30^2 + 37.70^2)} = 48.18\ \Omega$, $\angle 51.49^\circ$.
2. $I = 120/48.18$ عند -51.49°.

الإجابة: $I = 2.491$ A فعالة، متأخرًا عن الجهد بـ 51.49°.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. أوجد القيمة الفعالة لموجة جيبية قيمتها القصوى 10 V.

   7.071 V.

2. أوجد معاوقة 1 μF عند $\omega = 1000$ rad/s.

   $-j1000\ \Omega$.

3. أوجد تردد القطع لمرشح RC فيه $R = 1$ kΩ و$C = 1$ μF.

$\omega_c = 1000$ rad/s (159.2 Hz).

4. حوّل $3 + j4$ إلى الصيغة القطبية.

$5\angle 53.13°$.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: 120 V متردد تعني قيمة قصوى 120 V.
في الحقيقة: إنها القيمة الفعالة؛ والقيمة القصوى نحو 170 V.

خرافة: المعاوقات تُجمع كمقادير.
في الحقيقة: اجمع الأعداد العقدية: مقدار $40j + 30$ هو 50 وليس 70.

خرافة: الطوريات تصلح لأي شكل موجي.
في الحقيقة: تنطبق على الحالة الجيبية المستقرة عند تردد واحد.

بطاقات تعليمية

طوري

$V_m\angle\phi$.

RMS

$V_m/\sqrt{2}$.

Z_L

$j\omega L$.

Z_C

$1/(j\omega C)$.

قانون أوم بالطوريات

$V = IZ$.

قطع RC

$\omega_c = 1/RC$.

اختبار ذاتي

1. معاوقة الملف هي…

$j\omega L$

$1/(j\omega L)$

ωL

L/ω

.jωL. v = L di/dt → jωL

2. عند تردد عالٍ جدًا يتصرف المكثف مثل...

دائرة مفتوحة

قصر

مقاومة

ملف

قصر. 0 → (ωC)/1 = |Z_C|.

3. القيمة الفعالة للموجة الجيبية هي قيمتها القصوى مضروبة في...

0.5

0.637

0.707

1.414

.0.707. 1/√2

4. في دائرة RL، التيار...

يتقدم على الجهد

يتأخر عن الجهد

متوافق في الطور

صفر

يتأخر عن الجهد. زاوية طور حثّية.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

شحن المركبة الكهربائية في المنزل مسألة دوائر تيار متردد. يوضح مركز بيانات الوقود البديل أن الشحن المتردد من المستوى 1 يستخدم مقبسًا بجهد 120 V، ويفترض نحو 1.9 kW، ويضيف نحو 5 أميال من المدى في الساعة، لذا يمكن لـ 8 ساعات أن تعيد نحو 40 ميلًا لمركبة متوسطة الحجم. ويستخدم المستوى 2 المتردد 240 V (المنازل) أو 208 V (التجاري)؛ ومعظم شواحن المستوى 2 المنزلية تعمل حتى 30 A، فتقدم 7.2 kW ونحو 25 ميلًا من المدى في الساعة، وتحتاج دائرة مخصصة بـ 40 A وفق المادة 625 من National Electrical Code.

هذه قيم فعالة: 1.9 kW عند 120 V تعني نحو 15.8 A، و7.2 kW عند 240 V تعني 30 A. ويضيف المركز أنه في 2023 كان نحو 80% من منافذ الشحن العامة من المستوى 2، وأن وحدات المستوى 2 تتراوح من 2.9 إلى 19.2 kW. ويجري معظم مالكي المركبات الكهربائية أغلب شحنهم في المنزل.

على Saving Planets: الفيزياء 2 · الحلول

المصادر: U.S. DOE Alternative Fuels Data Center: Electric vehicle charging stations (https://afdc.energy.gov/fuels/electricity-stations) · OpenStax UP2, 15.2 Simple AC circuits (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/15-2-simple-ac-circuits)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP2, 15.2 Simple AC circuits (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/15-2-simple-ac-circuits): قسم من كتاب مدرسي مجاني.
- OpenStax UP2, 15.3 RLC series circuits with AC (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/15-3-rlc-series-circuits-with-ac): المعاوقة والطور.
- MIT OpenCourseWare 6.002 Circuits and Electronics (Spring 2007) (https://ocw.mit.edu/courses/6-002-circuits-and-electronics-spring-2007/): محاضرات عن الحالة الجيبية المستقرة والمعاوقة.
- PhET: Circuit Construction Kit: AC (https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-ac): تفاعلي.

شاهد المحاضرة

Lecture 16: Sinusoidal Steady State (https://ocw.mit.edu/courses/6-002-circuits-and-electronics-spring-2007/resources/lecture-16/) (باللغة الإنجليزية)

MIT 6.002 Circuits and Electronics (Spring 2007), MIT OpenCourseWare. الترخيص: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · شروط الاستخدام (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). الرابط للدراسة المجانية فقط؛ Saving Planets غير تابع لهذه الجامعة ولا يحظى بتأييدها.

☐ **أنهيت هذه الوحدة**

قدرة التيار المتردد ومعامل القدرة والرنين والمحولات والأنظمة ثلاثية الطور

القدرة اللحظية والمتوسطة، والقدرة الفعلية والردية والظاهرية، ومثلث القدرة، ومعامل القدرة وتصحيحه، والرنين على التوالي وعرض النطاق، والمحولات المثالية، والأنظمة ثلاثية الطور المتزنة، ولماذا تنقل الشبكة الكهرباء بجهد عالٍ.

أهداف التعلّم

في نهاية هذه الوحدة ستستطيع أن:

- احسب القدرة الفعلية والردية والظاهرية ومعامل القدرة.
- حدّد سعة مكثف لتصحيح معامل القدرة.
- حلّل المحولات المثالية والأحمال ثلاثية الطور المتزنة.
- فسّر فقد النقل باستخدام I^2R.

المفاهيم الأساسية

- القدرة المتوسطة (الفعلية) $P = V_{rms} I_{rms} \cos\theta$ بالواط، حيث θ الزاوية بين الجهد والتيار. القدرة الردية $Q = V_{rms} I_{rms} \sin\theta$ بوحدة VAR. القدرة الظاهرية $S = V_{rms} I_{rms}$ بوحدة VA، و$S^2 = P^2 + Q^2$.
- معامل القدرة $\text{pf} = \cos\theta = P/S$. المحركات حثّية (pf متأخر). يزود مكثف على التوازي القدرة الردية محليًا، فيرفع pf ويخفض التيار الذي يجب أن تقدمه شركة الكهرباء: $C = Q/(\omega V^2)$ للتصحيح الكامل.
- عند الرنين على التوالي $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ تلغي المفاعلات بعضها، فتصبح المعاوقة R فقط ويكون التيار في أقصاه؛ وعرض النطاق ω_0/Q.
- المحول المثالي بنسبة لفات $N_1{:}N_2$ يحقق $V_2/V_1 = N_2/N_1$ و$I_2/I_1 = N_1/N_2$، لذا القدرة الداخلة تساوي الخارجة.
- ثلاثي الطور المتزن: ثلاث موجات جيبية بينها 120°. القدرة الكلية $P = \sqrt{3}\, V_L I_L \cos\theta$، ثابتة مع الزمن. فقد الخط هو I^2R، لذا رفع الجهد k مرة للقدرة نفسها يخفض التيار k مرة والفقد k^2 مرة.

المعادلات الأساسية

$$P = V_{rms} I_{rms} \cos\theta, \;\; Q = V_{rms} I_{rms} \sin\theta$$

```
P=V_rmsI_rmsθ,\ \ Q=V_rmsI_rmsθ
```

القدرة الفعلية والردية

$$S^2 = P^2 + Q^2, \;\; \text{pf} = \frac{P}{S}$$

```
S^2=P^2+Q^2,\ \ pf=P/S
```

مثلث القدرة

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

```
(V_2)/(V_1)=(N_2)/(N_1)=(I_1)/(I_2)
```

المحول المثالي

$$P_{3\phi} = \sqrt{3}\, V_L I_L \cos\theta$$

P_3=3 V_LI_Lθ

القدرة ثلاثية الطور المتزنة

أمثلة محلولة خطوة بخطوة

مثال 10.1 محرك يسحب 20 A فعالة من 240 V فعالة بمعامل قدرة 0.8 متأخر. أوجد S وP وQ.

1. S = 240 × 20 = 4800 VA.
2. P = 4800 × 0.8؛ sin θ = 0.6، إذن Q = 4800 × 0.6.

الإجابة: S = 4.8 kVA, P = 3.84 kW, Q = 2.88 kVAR.

مثال 10.2 ما المكثف على التوازي الذي يصحح ذلك المحرك إلى معامل قدرة واحد عند 60 Hz؟

1. يجب أن يزود المكثف Q = 2880 VAR.
2. C = Q/(ωV²) = 2880/(377.0 × 240²).

الإجابة: C = 132.6 μF؛ وينخفض تيار الخط من 20 A إلى 16 A.

مثال 10.3 خط مقاومته 5 Ω ينقل 10 MW. قارن فقد I²R عند 100 kV وعند 20 kV (معامل قدرة واحد، مثال أحادي الطور).

1. عند 100 kV: I = $10^7/10^5$ = 100 A، الفقد = 100² × 5 = 50 kW (0.5%).
2. عند 20 kV: I = 500 A، الفقد = 500² × 5 = 1.25 MW (12.5%).

الإجابة: مضاعفة الجهد 5 مرات تخفض الفقد 25 مرة.

تمارين

حلّ كلًّا منها على الورق أولًا، ثم تحقق.

1. حمل فيه P = 6 kW وQ = 8 kVAR. أوجد S وpf.

   S = 10 kVA, pf = 0.6.

2. محول يخفض 7200 V إلى 240 V. أوجد $N_1{:}N_2$.

   30:1.

3. أوجد قدرة حمل ثلاثي الطور متزن بجهد 480 V يسحب 100 A عند pf 0.9.

$\sqrt{3} \times 480 \times 100 \times 0.9 = 74.8$ kW.

4. دائرة RLC على التوالي فيها $\omega_0 = 1000$ rad/s و$Q = 20$. أوجد عرض النطاق.

50 rad/s.

مفاهيم خاطئة شائعة

خرافة: القدرة الردية لا تبذل شغلًا، لذا لا أهمية لها.
في الحقيقة: لا تزال ترفع التيار، والتيار يسبب فقد I^2R في الأسلاك والمحولات.

خرافة: المحول يعمل على التيار المستمر.
في الحقيقة: يحتاج إلى فيض متغير؛ والتيار المستمر لا يعطي ذلك.

خرافة: القدرة ثلاثية الطور ثلاثة أضعاف الأحادية بجهد الخط.
في الحقيقة: $P = \sqrt{3}\, V_L\, I_L \cos\theta$.

بطاقات تعليمية

القدرة الفعلية

$P = VI\cos\theta$ (W).

القدرة الردية

$Q = VI\sin\theta$ (VAR).

القدرة الظاهرية

$S = VI$ (VA).

معامل القدرة

P/S.

المحول

$V_2/V_1 = N_2/N_1$.

ثلاثي الطور

$P = \sqrt{3}\, V_L\, I_L \cos\theta$.

اختبار ذاتي

1. معامل القدرة يساوي...

Q/S

P/S

S/P

P/Q

P/S. cos θ.

2. رفع جهد النقل 10 مرات (للقدرة نفسها) يخفض فقد I^2R بمقدار…

10×

100×

√10×

لا شيء

100×. ينخفض التيار 10×؛ الفقد $\propto I^2$.

3. يُصحَّح الحمل الحثّي باستخدام…

مقاومة على التوالي

مكثف على التوازي

ملف على التوازي

محول

مكثف على التوازي. المكثفات تزود القدرة الردية.

4. محول خافض بنسبة لفات 10:1 يجعل تيار الملف الثانوي…

أصغر 10×

أكبر 10×

متساويان

أكبر 100×

أكبر 10×. القدرة محفوظة.

أعد هذا الاختبار

كيف يساعد هذا في إنقاذ الكوكب

تنقل الشبكة القدرة بجهد عالٍ لتقليل فقد I^2R. توضح EIA أن خطوط النقل عالية الجهد تحمل الكهرباء لمسافات طويلة لأن الجهد الأعلى يجعل النقل لمسافات طويلة أكثر كفاءة وأقل تكلفة، وأن خطوط التوزيع منخفضة الجهد توصلها إلى المستهلكين، وأن المحولات في المحطات الفرعية ترفع الجهد وتخفضه بين المراحل. وتقدّر EIA أن فقد النقل والتوزيع بلغ في المتوسط نحو 5% من الكهرباء المنقولة والموزعة في الولايات المتحدة من 2018 إلى 2022.

يبيّن المثال المحلول الفيزياء: مضاعفة الجهد خمس مرات تخفض الفقد خمسًا وعشرين مرة. وتصحيح معامل القدرة، والمحولات الكفؤة، والخطوط الجديدة طويلة المسافة للوصول إلى موارد الرياح والشمس، التي تذكرها EIA ضمن تحديات الشبكة، كلها تقتطع من تلك الـ 5%. ويشير مركز بيانات الوقود البديل إلى أن الجهود ثلاثية الطور الشائعة في الولايات المتحدة هي 208/120 V و480/277 V، وهي شائعة في المواقع التجارية والصناعية، وأن شواحن التيار المستمر السريعة تأخذ عادة دخلًا مترددًا ثلاثي الطور.

على Saving Planets: الحلول · الفيزياء 2

المصادر: U.S. EIA: Delivery to consumers (the electric power grid) (https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/delivery-to-consumers.php) · U.S. EIA: How much electricity is lost in transmission and distribution? (https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=105&t=3) · OpenStax UP2, 15.6 Transformers (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/15-6-transformers)

مصادر تعلّم مجانية

- OpenStax UP2, 15.4 Power in an AC circuit (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/15-4-power-in-an-ac-circuit): قسم من كتاب مدرسي مجاني.
- OpenStax UP2, 15.5 Resonance in an AC circuit (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/15-5-resonance-in-an-ac-circuit): الرنين وعرض النطاق.
- OpenStax UP2, 15.6 Transformers (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/15-6-transformers): المحولات والنقل.
- PhET: Faraday’s Law (https://phet.colorado.edu/en/simulations/faradays-law): الحث وراء المحولات.

أنهيت هذه الوحدة

مجموعات المسائل

هذه التمارين داخل كل وحدة. حلّها على الورق أولًا، ثم افتح الإجابة.

1. متغيرات الدوائر وعناصرها: الشحنة والتيار والجهد والقدرة والطاقة وقانون أوم
   4 مسائل
2. قانونا كيرشوف، والمقاومات على التوالي والتوازي، ومقسّمات الجهد والتيار
   4 مسائل
3. التحليل المنهجي: طريقتا جهود العقد وتيارات الحلقات
   4 مسائل
4. مبرهنات الدوائر: الخطية والتراكب وتحويل المصادر وثيفينين ونورتن وأقصى نقل للقدرة
   4 مسائل
5. مكبّرات العمليات
   4 مسائل

6. المكثفات والملفات
   4 مسائل
7. دوائر الرتبة الأولى: العابرات في دوائر RC وRL
   4 مسائل
8. دوائر الرتبة الثانية: الاستجابة الطبيعية واستجابة الخطوة في دوائر RLC
   4 مسائل
9. الحالة المستقرة الجيبية: الطورات والممانعة
   4 مسائل
10. قدرة التيار المتردد ومعامل القدرة والرنين والمحولات والأنظمة ثلاثية الطور
    4 مسائل

المختبر (Circuits lab)

المختبر هو الجزء العملي من المقرر. وهو هنا مجاني وللتدريب فقط، دون ساعات معتمدة.

يمكن إجراء كل مختبر في محاكاة PhET مجانية أو بحزمة بطاريات 3 V. لا تعمل أبدًا على أسلاك المنزل أو مقابس الجدار: جهد الشبكة قد يقتل. لا تقصر دائرة بطارية، وركّب المكثفات الإلكتروليتية بالاتجاه الصحيح.

مرجع السلامة: OpenStax University Physics Volume 2, 10.6 Household wiring and electrical safety (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/10-6-household-wiring-and-electrical-safety)

المختبر A: قانون أوم والمقياس المتعدد

الأسبوع 2

الهدف: قِس الجهد والتيار والمقاومة بشكل صحيح، وبيّن أن التيار يتناسب مع الجهد في المقاومة، وأوجد R من الميل.

$$v = iR, \quad p = vi$$

```
v=iR, p=vi
```

قانون أوم والقدرة

الإجراء

1. افتح PhET Ohm’s Law وCircuit Construction Kit: DC؛ ابنِ بطارية ومقاومة وأضف فولتميتر (على التوازي) وأميتر (على التوالي).
2. في المنزل: على لوحة توصيل، صِل مقاومة 1 kΩ بخلية AA واحدة (1.5 V) ثم باثنتين (3 V). قِس v عبر المقاومة وi على التوالي مع المقياس على نطاق mA.
3. قِس المقاومة وحدها بنطاق Ω (مع فصل التغذية) وقارنها بـ v/i.
4. ارسم i مقابل v؛ الميل هو 1/R. احسب القدرة في كل حالة.

جدول البيانات

v (V)	i (mA) لـ 1 kΩ	p (mW)
1.5	1.5	2.25
3.0	3.0	9.0

قيم مثالية لمقاومة 1 kΩ؛ الخلايا الجديدة تقرأ أكثر قليلًا من 1.5 V لكل منها، والمقاومات ضمن تفاوتها (غالبًا ±5%).

مثال حسابي

1. R = v/i = 3.0/0.003 = 1000 Ω.
2. p = vi = 3.0 × 0.003 = 9 mW، أقل بكثير من تصنيف مقاومة ¼ W.

السلامة

- استخدم فقط حزم بطاريات 3–1.5 V؛ لا توصل أبدًا بمقبس الجدار.
- لا توصل المقياس على نطاق التيار مباشرة عبر بطارية أبدًا: هذا قصر دائرة.

بديل منزلي أو افتراضي

- نسخة لوحة التوصيل هي المختبر المنزلي.

PhET: Ohm’s Law (https://phet.colorado.edu/en/simulations/ohms-law) · PhET: Circuit Construction Kit: DC (https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-dc)

الصلة بالكوكب: قياس i٧٠ نفسه هو ما يجريه مقياس القابس أو العداد الذكي لإظهار أين تذهب الطاقة؛ وتقول وزارة الطاقة إن مصابيح LED تستهلك أقل بنسبة 75% على الأقل من المصابيح المتوهجة. U.S. DOE: Guide to energy-efficient lighting (PDF) (https://www.energy.gov/sites/prod/files/guide_to_energy_efficient_lighting.pdf)

- [ ] **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

المختبر B: قوانين كيرشوف، والتوالي والتوازي، ومقسمات الجهد

الأسبوع 3

الهدف: تحقق من قانوني كيرشوف للجهد وللتيار بالقياس، وافحص المقاومة المكافئة على التوالي والتوازي، وشاهد هبوط مقسم الجهد تحت الحمل.

$$\sum v = 0, \quad \sum i = 0, \quad v_2 = v\frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

```
v=0, i=0, v_2=v(R_2)/(R_1+R_2)
```

قانون كيرشوف للجهد وللتيار والمقسم

الإجراء

1. ابنِ 1 kΩ و2 kΩ على التوالي عبر 3 V (PhET أو لوحة توصيل). قِس التيار وكل جهد؛ وتحقق من أن مجموع الجهود يساوي جهد المصدر.
2. أعد بناء مقاومتين 1 kΩ على التوازي عبر 3 V. قِس التيار في كل فرع وفي سلك المصدر؛ وتحقق من قانون كيرشوف للتيار.
3. اعتبر الزوج على التوالي مقسمًا وقِس v عبر المقاومة 2 kΩ.
4. صِل «حملًا» 2 kΩ عبر المقاومة 2 kΩ وقِس مجددًا؛ وفسّر الهبوط بالتركيب على التوازي.

جدول البيانات

الدائرة	التيار	الجهود
1 kΩ + 2 kΩ على التوالي	1.0 mA	1.0 V و2.0 V
1 kΩ ‖ 1 kΩ	3.0 mA لكل منهما، 6.0 mA إجمالًا	3.0 V
مقسم محمّل بـ 2 kΩ	1.5 mA من المصدر	خرج 1.5 V

قيم مثالية لمصدر 3 V.

مثال حسابي

1. التوالي: i = 3/3000 = 1 mA؛ 1 V + 2 V = 3 V (قانون كيرشوف للجهد).
2. المقسم المحمّل: 2 kΩ ‖ 1 kΩ = 2 kΩ، إذن v_out = 3 × 1/(1 + 1) = 1.5 V بدلًا من 2 V.

السلامة

- حزم بطاريات منخفضة الجهد فقط؛ انزع البطارية قبل إعادة التوصيل.

بديل منزلي أو افتراضي

- نسخة لوحة التوصيل هي المختبر المنزلي.

PhET: Circuit Construction Kit: DC (https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-dc)

الصلة بالكوكب: توضح EIA أن الخلايا الكهروضوئية توصل في ألواح ومصفوفات؛ السلاسل على التوالي تجمع الجهد والسلاسل على التوازي تجمع التيار، كما هنا. U.S. EIA: Photovoltaics and electricity (https://www.eia.gov/energyexplained/solar/photovoltaics-and-electricity.php)

☐ **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

المختبر C: مكافئ ثيفينين للبطارية والقدرة القصوى

الأسبوع 6

الهدف: نمذج بطارية حقيقية بوصفها V_Th على التوالي مع R_Th بقياس جهدها في الدائرة المفتوحة وتحت الحمل، ثم تنبأ بالحمل الذي يعطي أقصى قدرة.

$$R_{Th} = \frac{v_{oc} - v_L}{i_L}, \quad P_{\max} = \frac{V_{Th}^2}{4R_{Th}}$$

R_Th=_oc-v_Li_L, P_=_Th^24R_Th

ثيفينين من قياسين

الإجراء

1. في PhET Circuit Construction Kit: DC، أعطِ البطارية مقاومة داخلية وقِس جهدها دون حمل ومع مقاومة حمل.
2. في المنزل: قِس جهد الدائرة المفتوحة لحزمة AA × 2. ثم صِل مقاومة Ω 22 بتصنيف W 1 على الأقل لبضع ثوانٍ فقط واقرأ الجهد.
3. احسب i_L = v_L/22 Ω وR_Th، وتنبأ بـ P_max.
4. في PhET، غيّر مقاومة الحمل وتأكد من أن القدرة تبلغ ذروتها عندما R_L = R_Th.

جدول البيانات

الكمية	قيمة نموذجية
v_oc	3.20 V
v_L (22 Ω)	3.10 V
i_L	0.141 A
R_Th	0.71 Ω

قيم نموذجية لخلايا قلوية جديدة؛ الخلايا المستهلكة تُظهر R_Th أكبر بكثير.

مثال حسابي

1. i_L = 3.10/22 = 0.1409 A; R_Th = 0.10/0.1409 = 0.71 Ω.
2. قدرة الحمل 0.437 W = 3.10 × 0.1409 =، لذا استخدم مقاومة 1 W. مواءمة R_L = 0.71 Ω ستقارب قصر الدائرة وتسخّن الخلايا: لا تجربها في المنزل، بل في PhET فقط.

السلامة

- صِل حمل Ω 22 لبضع ثوانٍ فقط؛ تسخن المقاومة والخلايا.
- لا تقصر أطراف البطارية أبدًا.

بديل منزلي أو افتراضي

- خطوة القياسين هي المختبر المنزلي؛ ومسح القدرة في PhET فقط.

· PhET: Circuit Construction Kit: DC (https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-dc)
OpenStax UP2, 10.1 Electromotive force (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/10-1-electromotive-force)

الصلة بالكوكب: تذكر EIA أن كفاءة الوحدات الكهروضوئية ارتفعت من أقل من 10% في منتصف الثمانينيات (1980s) إلى نحو 25% الآن؛ وتشغيل كل لوح عند أفضل حمل له جزء من الاستفادة من ذلك الناتج. U.S. EIA: Photovoltaics and electricity (https://www.eia.gov/energyexplained/solar/photovoltaics-and-electricity.php)

☐ **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

المختبر D: شحن RC وثابت الزمن

الأسبوع 10

الهدف: شاهد مكثفًا يُشحن عبر مقاومة، وقِس ثابت الزمن، وقارنه بـ τ = RC.

$$v_C(t) = V\left(1 - e^{-t/RC}\right)$$

`v_C(t)=V(1-e^-t/RC)`

شحن RC

الإجراء

1. في PhET Circuit Construction Kit: AC، ابنِ بطارية ومقاومة ومكثفًا ومفتاحًا؛ واستخدم مخطط الجهد لمتابعة v_C.
2. في المنزل: ضع مكثفًا 1000 µF (بتصنيف 6.3 V أو أكثر، والطرف السالب إلى − البطارية) على التوالي مع 10 kΩ عبر 3 V. اقرأ v_C بالمقياس المتعدد كل 10 s.
3. أوجد الزمن الذي تبلغ فيه v_C نسبة 63.2% من الجهد النهائي؛ ذلك هو τ.
4. ارسم ln(1 − v_C/V) مقابل t؛ الميل هو −1/τ. فرّغ المكثف عبر المقاومة قبل تخزينه.

جدول البيانات

t (s)	0	10	20	30	50
v_C (V)	0	1.90	2.59	2.85	2.98

قيم مثالية لـ R = 10 kΩ وC = 1000 µF وV = 3 V. المكثفات الإلكتروليتية غالبًا ضمن ±20%، والمقياس نفسه يحمّل الدائرة قليلًا.

مثال حسابي

1. τ = $10^{4} \times 10^{-3}$ = 10 s.
2. v_C(10 s) = 3(1 − e^{-1}) = 1.90 V; v_C(50 s) = 3(1 − e^{-5}) = 2.98 V.

السلامة

- ركّب المكثفات الإلكتروليتية بالقطبية الصحيحة ودون جهدها المقنن؛ فالمعكوسة قد تنفجر. ارتدِ نظارات واقية.

بديل منزلي أو افتراضي

- نسخة لوحة التوصيل هي المختبر المنزلي.

PhET: Circuit Construction Kit: AC (https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-ac) · PhET: Capacitor Lab: Basics (https://phet.colorado.edu/en/simulations/capacitor-lab-basics)

الصلة بالكوكب: يذكر Berkeley Lab أن مراكز البيانات استهلكت نحو 4.4% من كهرباء الولايات المتحدة في 2023؛ وكل تبديل منطقي داخلها هو شحنة RC ضئيلة مثل هذه. Berkeley Lab: Report evaluates increase in electricity demand

from data centers (Jan. 2025) (https://newscenter.lbl.gov/2025/01/15/berkeley-lab-report-evaluates-increase-in-electricity-demand-from-data-centers/)

- [ ] **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

المختبر E: رنين RLC

الأسبوع 13

الهدف: غذِّ دائرة RLC على التوالي بمصدر متردد عند ترددات مختلفة، وأوجد ذروة الرنين، وقارنها بـ $\omega_0 = 1/\sqrt{(LC)}$.

$$|I| = \frac{V}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}}$$

```
|I|=^2+(ω L-1/ω C)^2
```

تيار RLC على التوالي

الإجراء

1. في PhET Circuit Construction Kit: AC (أو Virtual Lab الخاص به)، ابنِ مصدرًا مترددًا ومقاومة وملفًا ومكثفًا على التوالي مع أميتر.
2. اضبط R = 10 Ω وL = 10 mH وC = 10 µF إن أمكن، أو سجّل القيم التي يستخدمها PhET، واحسب f_0.
3. غيّر تردد المصدر تدريجيًا حول f_0 وسجّل سعة التيار.
4. ارسم |I| مقابل f، وأوجد الذروة ونقطتي نصف القدرة، وقارن عرض النطاق بـ ω_0/Q.

جدول البيانات

f (Hz)	|I| (A) لـ 10 V	400	503	600
	0.563	1.000	0.667	

قيم محسوبة لـ R = 10 Ω وL = 10 mH وC = 10 µF ومصدر سعته 10 V.

مثال حسابي

1. $f_0 = 1/(2\pi\sqrt{(10^{-2} \times 10^{-5})}) = 503.3$ Hz؛ وعند f_0 تكون $|Z| = R = 10\ \Omega$، إذن $|I| = 1$ A.
2. At 400 Hz: $X_L = 25.13\ \Omega$, $X_C = 39.79\ \Omega$, $|Z| = 17.76\ \Omega$, $|I| = 0.563$ A.

السلامة

- محاكاة فقط: لا تبنِ دوائر تيار متردد من كهرباء الجدار.

بديل منزلي أو افتراضي

- هذا المختبر في PhET فقط حفاظًا على السلامة؛ لا توصيلات منزلية.

PhET: Circuit Construction Kit: AC (https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-ac) · PhET: Circuit Construction Kit: AC – Virtual Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab)

الصلة بالكوكب: يقول مركز بيانات الوقود البديل إن شواحن المركبات الكهربائية الحثّية تنقل القدرة عبر مجال كهرومغناطيسي؛ ودوائر LC المضبوطة مثل هذه تجعل ذلك النقل فعالًا. U.S. DOE Alternative Fuels Data Center: Electric vehicle

charging stations (https://afdc.energy.gov/fuels/electricity-stations)

- [ ] **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

المختبر F: قياس القدرة الفعلية في المنزل والمحولات في PhET

الأسبوع 14

الهدف: استخدم مقياس قدرة يوصل بالمقبس لمقارنة القدرة الفعلية للمصابيح والأجهزة، وقدّر الطاقة السنوية، واستكشف نسب جهد المحولات في PhET.

$$w = Pt, \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

w=Pt, (V_2)/(V_1)=(N_2)/(N_1)

الطاقة والمحول المثالي

الإجراء

1. صِل مقياس القدرة بمقبس الجدار وصِل مصباحًا بالمقياس (لا تفتح المقياس أو المصباح أبدًا). سجّل الواطات مع مصباح متوهج أو هالوجيني ثم مع مصباح LED بسطوع مماثل.
2. إذا عرض المقياس VA ومعامل القدرة، فسجّلهما أيضًا لشاحن هاتف ومروحة.
3. قدّر الاستهلاك السنوي بالـ kWh بمعدل 3 ساعات يوميًا وقارن.
4. في PhET Faraday’s Law، غيّر عدد لفات الملف وسرعة المغناطيس، واربط الجهد المستحث بـ N وبمعدل تغير الفيض.

جدول البيانات

المصباح	P (W)	kWh/سنة عند 3 h/يوم
متوهج	60	65.7
LED (إضاءة مماثلة)	9	9.9

قراءات نموذجية؛ يقول دليل وزارة الطاقة إن مصابيح LED تستهلك طاقة أقل بنسبة 75% على الأقل من المتوهجة. مصابيحك تحدد أرقامك.

مثال حسابي

1. 60 W × 3 h × 365 = 65.7 kWh؛ و9 W تعطي 9.86 kWh.
2. التوفير 85% = لمصباح LED النموذجي هذا، بما يتفق مع «75% على الأقل».

السلامة

- استخدم فقط مقياسًا تجاريًا يوصل بالمقبس وأجهزة توصل بالمقبس؛ لا تلمس أبدًا تلامسات المقبس ولا تفتح الأجهزة. اترك المصابيح الساخنة تبرد قبل لمسها.

بديل منزلي أو افتراضي

- خطوة مقياس المقبس هي المختبر المنزلي؛ وتُستكشف المحولات في PhET.

PhET: Faraday’s Law (https://phet.colorado.edu/en/simulations/faradays-law) · OpenStax UP2, 15.6 Transformers (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/15-6-transformers)

الصلة بالكوكب: تقدّر EIA فقد النقل والتوزيع بنحو 5%؛ وكل واط يُوفَّر عند المصباح يتجنب أيضًا ذلك الفقد في المراحل السابقة. U.S. DOE: Guide to energy-efficient lighting (PDF) (https://www.energy.gov/sites/prod/files/guide_to_energy_efficient_lighting.pdf) · U.S. EIA: How much electricity is lost in transmission and distribution? (https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=105&t=3)

☐ **أكملت هذا المختبر (عمليًا أو افتراضيًا)**

مجموعات تدريب للامتحان

وقّت نفسك: نحو 10 دقائق لكل مسألة. ثم قارن بالحلول الكاملة.

مجموعة تمارين منتصف الفصل (الوحدات 1–5)

1. أوجد المقاومة المكافئة لـ 12 Ω على التوازي مع (4 Ω + 2 Ω).

   1. 12 × 6/(12 + 6).

   الإجابة: 4 Ω.

2. مصدر 24 V يغذي 3 kΩ و1 kΩ على التوالي. أوجد الجهد عبر 1 kΩ.

   1. المقسم: 1/4 × 24.

   الإجابة: 6 V.

3. عقدة متصلة بـ 12 V عبر 4 Ω، وبالأرضي عبر 12 Ω، وتستقبل 2 A من مصدر تيار. أوجد جهدها.

   1. (v − 12)/4 + v/12 = 2، إذن 4v = 60.

   الإجابة: 15 V.

4. شبكة فيها v_oc = 18 V وi_sc = 6 A. أوجد R_Th وأقصى قدرة يمكنها تقديمها.

   1. R_Th = 3 Ω; P = 18²/(4 × 3).

   الإجابة: 3 Ω و27 W.

5. مضخم عاكس فيه R_f = 33 kΩ وR_in = 3.3 kΩ. أوجد v_o عندما v_in = −0.4 V.

   1. الكسب = −10.

   الإجابة: +4 V.

مجموعة التدريب النهائية (كل الوحدات)

1. مكثف 20 µF يُشحن من 0 V عبر 5 kΩ نحو 10 V. أوجد τ وv_C عند 0.2 s.

   1. τ = 0.1 s; 10(1 − e⁻²).

الإجابة: τ = 0.1 s, v_C = 8.65 V.

2. دائرة RLC على التوالي فيها R = 40 Ω وL = 0.1 H وC = 100 µF. صنّف الاستجابة وأوجد ω_d إن كانت تتذبذب.

.ω₀ = 316.2 rad/s ؛α = 200 s⁻¹ .1

الإجابة: تحت المخمّدة، ω_d = 244.9 rad/s.

3. أوجد معاوقة Ω 20 على التوالي مع µF 100 عند 60 Hz.

.Z_C = −j26.53 Ω .1

الإجابة: Z = 20 − j26.53 Ω = 33.22 ∠−52.99° Ω.

4. حمل يسحب A 12 فعالة من V 120 فعالة عند pf 0.85 متأخر. أوجد P وQ.

.sin θ = 0.5268 ؛S = 1440 VA .1

الإجابة: P = 1224 W, Q = 758.6 VAR.

5. محول 20:1 على ملفه الابتدائي V 2400 وحمل ثانوي A 10. أوجد V_2 وI_1.

.$V_2 = 2400/20$; $I_1 = 10/20$ .1

الإجابة: V 120 وA 0.5.

6. أوجد قدرة حمل ثلاثي الطور متزن بجهد V 208 يسحب A 50 بمعامل قدرة واحدي.

.√3 × 208 × 50 .1

الإجابة: 18.01 kW.

ورقة الصيغ

$$i = dq/dt,\ p = vi,\ v = iR$$

$$R = \rho L/A,\ p = i^2R = v^2/R$$

$$\sum i = 0,\ \sum v = 0$$

$$R_s = \sum R,\ 1/R_p = \sum 1/R$$

$$v_2 = vR_2/(R_1 + R_2)$$

$$V_{Th} = v_{oc},\ R_{Th} = v_{oc}/i_{sc},\ P_{\max} = V_{Th}^2/(4R_{Th})$$

$$v_o = -(R_f/R_{in})v_{in},\ v_o = (1 + R_f/R_g)v_{in}$$

$$i = C\,dv/dt,\ v = L\,di/dt,\ w = \tfrac{1}{2}Cv^2,\ \tfrac{1}{2}Li^2$$

$$\tau = RC,\ L/R;\ x(t) = x(\infty) + [x(0) - x(\infty)]e^{-t/\tau}$$

$$\alpha = R/2L,\ \omega_0 = 1/\sqrt{LC},\ \omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$$

$$P = VI\cos\theta,\ Q = VI\sin\theta,\ S^2 = P^2 + Q^2 \qquad Z_L = j\omega L,\ Z_C = 1/(j\omega C),\ V_{rms} = V_m/\sqrt{2}$$

$$V_2/V_1 = N_2/N_1,\ P_{3\phi} = \sqrt{3}V_L I_L \cos\theta$$

الثوابت

الثابت	القيمة
1 كيلوواط ساعة (kWh)	3.6×10^6 J
1 حصان (كهربائي)	746 W
الشحنة الأولية e	1.602×10^{-19} C
التغذية المنزلية في الولايات المتحدة	120 V و240 V عند 60 Hz
القيمة الفعالة لموجة جيبية	V_rms = V_peak/√2 ≈ 0.7071 V_peak
1 أمبير ساعة (Ah)	3600 C

المصدر: NIST Guide to the SI, Appendix B.9: conversion factors (https://www.nist.gov/pml/special-publication-811/nist-guide-si-appendix-b-conversion-factors/nist-guide-si-appendix-b9)

نصوص ومحاكاة مجانية

استخدم هذه الكتب والمحاضرات والمحاكاة المجانية إلى جانب المقرر.

- MIT OpenCourseWare 6.002 Circuits and Electronics (Spring 2007) (https://ocw.mit.edu/courses/6-002-circuits-and-electronics-spring-2007/): فيديوهات محاضرات وملاحظات ومسائل ومختبرات مجانية من MIT.
- OpenStax University Physics Volume 2, 10.3 Kirchhoff's rules (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/10-3-kirchhoffs-rules): فصل مجاني من كتاب عن دوائر التيار المستمر.
- OpenStax University Physics Volume 2, 15.3 RLC series circuits with AC (https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/15-3-rlc-series-circuits-with-ac): فصل مجاني من كتاب عن دوائر التيار المتردد.
- PhET: Circuit Construction Kit: DC (https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-dc): ابنِ دوائر التيار المستمر وقِسها.
- PhET: Circuit Construction Kit: AC (https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-ac): المكثفات والملفات ومصادر التيار المتردد.
- PhET: Ohm's Law (https://phet.colorado.edu/en/simulations/ohms-law): V = IR بشكل تفاعلي.

مسرد المصطلحات

القدرة الظاهرية
S = V_rms I_rms، بوحدة VA.

المكثف
عنصر فيه i = C dv/dt يخزن الطاقة في مجال كهربائي.

المعاوقة
النسبة العقدية V/I في الحالة الجيبية المستقرة.

الملف
عنصر فيه v = L di/dt يخزن الطاقة في مجال مغناطيسي.

KCL
مجموع التيارات الخارجة من عقدة يساوي صفرًا.

KVL
مجموع الجهود حول حلقة يساوي صفرًا.

الشبكة الحلقية
حلقة لا تحتوي على حلقة أخرى.

العقدة
نقطة يتصل فيها عنصران أو أكثر.

مكافئ نورتن
مصدر تيار I_N على التوازي مع R_N.

المضخم التشغيلي
مضخم تفاضلي عالي الكسب يُستخدم مع التغذية الراجعة.

اصطلاح الإشارة السلبي
يدخل التيار من الطرف + لعنصر يمتص القدرة.

طوري
عدد عقدي يعطي سعة الموجة الجيبية وطورها.

معامل القدرة
$\cos\theta = P/S$.

معامل الجودة
$Q = \omega_0 L/R$، حدة الرنين.

RMS
قيمة الجذر التربيعي لمتوسط المربعات؛ $V_m/\sqrt{2}$ للموجة الجيبية.

القدرة الردية
$Q = V_{rms} I_{rms} \sin\theta$، بوحدة VAR.

عقدة فائقة
عقدتان يصل بينهما مصدر جهد، تُعاملان معًا في قانون كيرشوف للتيار.

مكافئ ثيفينين
مصدر جهد V_{Th} على التوالي مع R_{Th}.

الثابت الزمني
$\tau = RC$ أو L/R.

المحول
ملفات مقترنة تغيّر الجهد المتردد وفق نسبة اللفات.

معايير التقييم الذاتي

لا تُمنح درجة ولا ساعات معتمدة. استخدم هذا لتقيّم بصدق أين أنت في كل وحدة.

المستوى	كيف يبدو
4 · إتقان	يعنون الدوائر بالكامل، ويختار طريقة فعالة (المقسمات، العُقد، الحلقات، ثيفينين، الطوريات)، ويتحقق من توازن القدرة والحالات الحدية، ويعمل بأمان في المختبر.
3 · متمكن	يحل مسائل التدريب مع أخطاء عرضية في الإشارة أو الوحدات.
2 · قيد التطور	يتبع الأمثلة المحلولة لكنه يخلط بين التوالي والتوازي، أو اصطلاح الإشارة.
1 · مبتدئ	يعوّض الأرقام في الصيغ دون مخطط معنون؛ يحتاج إلى مراجعة الوحدة.

الأوزان المقترحة إذا أردت درجة

الجزء	الوزن
تمارين	20%
المختبرات	25%
مجموعة تدريب منتصف الفصل	25%
مجموعة التدريب النهائية	30%

استهدف المستوى 3 أو أعلى في كل وحدة قبل الانتقال إلى الدورة التالية.

دورات ذات صلة

- الجبر الخطي MATH 230
- الديناميكا الهوائية 1 AERO 310
- التفاضل والتكامل 3 MATH 210
- كل الدورات