

☆ بسيطة

الفيزياء، البكالوريا، الفرع العلمي

الدارة التسلسلية والطين

مقاومة ووشيعّة ومكثّفة على التسلسل: إنشاء فرينل، وممانعة الدارة، وعامل الاستطاعة، وظاهرة الطنين الكهربائي والمغناطيسيّة . الوحدة 2 . الدرس 5 (3 من 4)

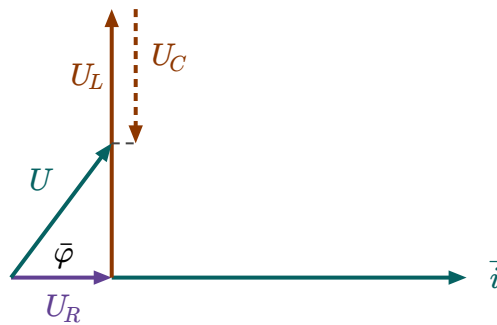
حين نضع المقاومة والوشيعّة والمكثّفة معاً على التسلسل لا تُجمع توتراتها المنتجة كما في التّيار المتواصل، لأنّ كلّاً منها يزيح التوتّر عن الشدّة بقدرٍ مختلف. وإذا تساوت رديّة الوشيعّة واتّساعيّة المكثّفة بلغ التّيار أكبر قيمة: هذا هو الطنين الذي تُوالّف به أجهزة الاستقبال. نتابع مع الكتاب في الصفحات 144 إلى 146.

مقاومة ووشيعّة ومكثّفة على التسلسل

نتبع الكتاب، الصفحة 144: دائرة على التسلسل فيها مقاومة أوميّة R ، ووشيعّة ذاتيّةتها L مقاومتها مهملة، ومكثّفة سعتهها C . يمرّ في العناصر الثلاثة التّيار نفسه $i = I_{\max} \cos \omega t$ ، والتوتّرات اللحظيّة تُجمع جبريّاً:

$$\bar{u} = \bar{u}_R + \bar{u}_L + \bar{u}_C$$

لكنّها مختلفة في الطور: $\bar{\varphi}_R = 0$ ، و $\bar{\varphi}_L = +\frac{\pi}{2}$ ، و $\bar{\varphi}_C = -\frac{\pi}{2}$. لذلك «التوتّرات المُنتجة تُجمع هندسيّاً» الكتاب، الصفحة 144، بإنشاء فرينل:



إنشاء فرينل للتوتّرات المنتجة، بقيم المسألة الخامسة، الكتاب، الصفحة 152. الرسم من عندنا، على نمط الصفحة 144.

نتبع الكتاب، الصفحة 144: من الرسم بحسب فيثاغورث، بفرض $U_L > U_C$.

$$U_{\text{eff}} = ?$$

1. فيثاغورث الضلعان القائمان U_R و $U_L - U_C$:

$$U_{\text{eff}}^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2$$

2. قوانين أوم $U_R = R I_{\text{eff}}$ ، $U_L = X_L I_{\text{eff}}$ ، $U_C = X_C I_{\text{eff}}$:

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} I_{\text{eff}}$$

«وهو قانون أوم في الحالة العامة» الكتاب، الصفحة 144، ومنه ممانعة الدارة وعامل استطاعتها:

$$\begin{aligned} U_{\text{eff}} &= Z I_{\text{eff}} \\ Z &= \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \\ \cos \bar{\varphi} &= \frac{U_R}{U_{\text{eff}}} = \frac{R}{Z} \end{aligned}$$

انتبه: لا تجمع التوتّرات المنتجة جمعاً عادياً: $U_{\text{eff}} \neq U_R + U_L + U_C$. توتّر الوشيعة وتوتّر المكثّفة متعاكسان، وكلاهما عموديّ على توتّر المقاومة.

في دائرة على التسلسل $U_R = 30 \text{ V}$ و $U_L = 80 \text{ V}$ و $U_C = 40 \text{ V}$ ، المسألة الخامسة، الكتاب، الصفحة 152. ما التوتّر المنتج الكلّي؟

كيف أبدأ؟ $U_{\text{eff}} = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$.

(أ) $U_{\text{eff}} = 150 \text{ V}$

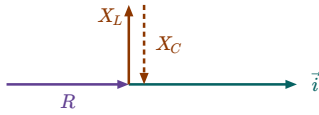
(ب) $U_{\text{eff}} = 50 \text{ V}$

(ج) $U_{\text{eff}} \approx 94 \text{ V}$

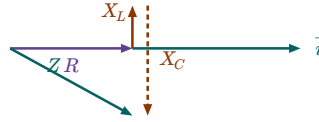
ب. نعم: $\sqrt{30^2 + 40^2} = 50 \text{ V}$.

ثلاث حالات

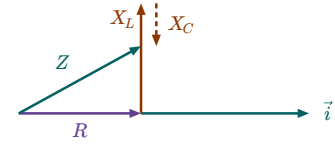
نمّثل الممانعات بالطريقة نفسها: R على امتداد الشدّة، و X_L إلى الأعلى، و X_C إلى الأسفل، و Z الوتر. وحسب الفرق $X_L - X_C$ ثلاث حالات، الكتاب، الصفحة 145:



3. الظنين: $X_L = X_C$: يكون التوتّر متّفقاً بالطور مع الشدّة، و $Z = R$.
«وتُسمى هذه الحالة الظنين الكهربائيّ أو التّجاوب الكهربائيّ».



2. المكثّفة تغلب: $X_L < X_C$: يكون التوتّر متأخراً بالطور عن الشدّة، والدائرة ذات ممانعةٍ سعويّة.



1. الوشيعة تغلب: $X_L > X_C$: يكون التوتّر متقدّماً بالطور على الشدّة، والدائرة ذات ممانعةٍ ذاتيّة.

الحالات الثلاث، الكتاب، الصفحة 145، الرسم من عندنا.

في دائرة على التسلسل $X_L = 20 \Omega$ و $X_C = 50 \Omega$. التوتّر بالنسبة للشدّة:

كيف أبدأ؟ قارن X_C بـ X_L .

(أ) متقدّم بالطور، والدائرة ذاتيّة

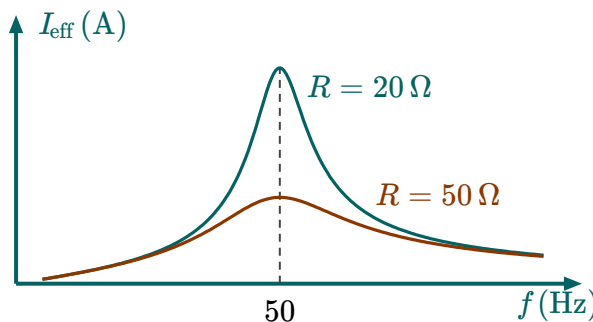
(ب) على توافقٍ بالطور

(ج) متأخّر بالطور، والدائرة سعويّة

ج. نعم: $X_L < X_C$ ، فالمكثّفة تغلب.

ظاهرة الظنين

في تجربة الكتاب، الصفحة 145، نغيّر تواتر المولّد ونقيس الشدّة المنتجة، مرّةً بمقاومةٍ كليّةٍ صغيرة ومرّةً بكبيرة. الشدّة تكبر ثمّ تصغر، وتبلغ أكبر قيمة عند تواترٍ واحد. وفي جدول الكتاب أرقاماً لا يتّسق بعضها مع بعض، فرسمنا المنحنيين بقيمٍ من عندنا:



الشدّة المنتجة بدلالة التواتر لدائرة فيها $L = \frac{1}{\pi} \text{ H}$ و $C = \frac{10^{-4}}{\pi} \text{ F}$ و $U_{\text{eff}} = 10 \text{ V}$ ، بمقاومتين. قيمٍ من عندنا.

تذكر: «تحدث حالة التجاوب الكهربائي (الطينين الكهربائي) في دائرة تحوي على التسلسل مقاومة R ، ووشيعة ذاتيتها L ، ومكثفة سعتها C ، إذا كان النبض الخاص لاهتزاز الإلكترونات الحرة يساوي النبض القسري الذي يفرضه المولد.» الكتاب، الصفحة 146.

ويتحقق في حالة الطنين، كما في الكتاب، الصفحة 146: رديّة الوشيعة تساوي اتساعية المكثفة $X_L = X_C$ ؛ ممانعة الدارة أصغر ما يمكن $Z = R$ ؛ الشدة المنتجة أكبر ما يمكن $I_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{eff}}}{R}$ ؛ التوتّر على توافقٍ بالطور مع الشدة، فعامل الاستطاعة يساوي الواحد؛ الاستطاعة المتوسطة أكبر ما يمكن؛ والتوتّر بين طرفي المنبع يساوي توتّر المقاومة، لأنّ توتّر الوشيعة يساوي توتّر المكثفة ويعاكسه، وقد يكون كلّ منهما كبيراً جداً بالنسبة لتوتّر المنبع.

نتبع الكتاب، الصفحة 146: في حالة الطنين $X_L = X_C$.

$$\omega_r, T_r = ?$$

$$1. \text{ تساوي الممانعتين } \omega_r L = \frac{1}{\omega_r C}$$

$$\omega_r^2 = \frac{1}{LC}$$

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$2. \text{ الدور } \omega_r = \frac{2\pi}{T_r}$$

$$T_r = 2\pi\sqrt{LC}$$

وهي علاقة طومسون نفسها: الدارة تطنّ حين يفرض المولد نبضها الخاص. ونستخدم هذه الخاصية في التوليف في أجهزة الاستقبال. في مثال الرسم:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{1}{\pi} \cdot \frac{10^{-4}}{\pi}}} = 50 \text{ Hz}$$

في مثال الرسم، $U_{\text{eff}} = 10 \text{ V}$ و $R = 20 \Omega$. ما الشدة المنتجة عند الطنين؟

كيف أبدأ؟ عند الطنين $Z = R$.

$$I_{\text{eff}} = 0.5 \text{ A} \quad (\text{أ})$$

$$I_{\text{eff}} = 0 \quad (\text{ب})$$

$$I_{\text{eff}} \approx 0.71 \text{ A} \quad (\text{ج})$$

أ. نعم: $\frac{10}{20} = 0.5 \text{ A}$ ، قمة المنحني الأول.

من الكتاب: مسائل

المسألة الخامسة، الكتاب، الصفحة 152: مأخذ تواتره 50 Hz نربط بين طرفيه على التسلسل مقاومة R ، ووشيعة مقاومة مهملة، ومكثفة سعتها $C = \frac{1}{2000\pi} \text{ F}$. التوترات المنتجة 30 V و 80 V و 40 V على الترتيب.

$$U_{\text{eff}}, I_{\text{eff}}, Z, L, \cos \varphi = ?$$

1. التوتر الكلي بإنشاء فرينل:

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{30^2 + (80 - 40)^2} = 50 \text{ V}$$

$$2. \text{ الشدة } X_C = \frac{1}{C\omega} = \frac{2000\pi}{100\pi} = 20 \Omega$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{U_C}{X_C} = \frac{40}{20} = 2 \text{ A}$$

$$3. \text{ الممانعة والمقاومة } R = \frac{U_R}{I_{\text{eff}}} \text{ و } Z = \frac{U_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}}$$

$$Z = \frac{50}{2} = 25 \Omega$$

$$R = \frac{30}{2} = 15 \Omega$$

$$4. \text{ الذاتية } X_L = \frac{U_L}{I_{\text{eff}}} = 40 \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{40}{100\pi} = \frac{0.4}{\pi} \text{ H}$$

5. عامل الاستطاعة $\cos \bar{\varphi} = \frac{U_R}{U_{\text{eff}}}$:

$$\cos \bar{\varphi} = \frac{30}{50} = 0.6$$

ولتصبح الشدّة أكبر ما يمكن نضيف مكثفَةً C' على التسلسل حتّى تساوي الاتّساعيّة الكلّيّة رَدّيّة الوشيعة $X_L = 40 \Omega$ ، أي
 $X_{C'} = 20 \Omega$ و $C' = \frac{1}{2000\pi} \text{ F}$. عندئذٍ $Z = R$:

$$P_{\text{avg}} = \frac{U_{\text{eff}}^2}{R} = \frac{2500}{15} \approx 167 \text{ W}$$

المسألة السادسة، الكتاب، الصفحة 152: مأخذ $U_{\text{eff}} = 100 \text{ V}$ و 50 Hz على دائرة فيها على التسلسل مقاومة R ومكثفَةً $C = \frac{1}{4000\pi} \text{ F}$ ، وتوتر المقاومة 60 V . ثمّ نضيف وشيعةً مقاومتها مهملة فتبقى الشدّة نفسها.

$$R, L, f_r = ?$$

1. المقاومة $X_C = 40 \Omega$ و $U_C = \sqrt{100^2 - 60^2} = 80 \text{ V}$:

$$I_{\text{eff}} = \frac{80}{40} = 2 \text{ A}$$

$$R = \frac{60}{2} = 30 \Omega$$

2. الذاتية الشدّة نفسها فالممانعة نفسها: $(X_L - X_C)^2 = X_C^2$ ، و $X_L \neq 0$:

$$X_L = 2X_C = 80 \Omega$$

$$L = \frac{80}{100\pi} = \frac{0.8}{\pi} \text{ H}$$

3. تواتر الطنين $LC = \frac{0.8}{\pi} \cdot \frac{1}{4000\pi} = \frac{2 \times 10^{-4}}{\pi^2}$:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\sqrt{2} \times 10^{-2}} \approx 35.4 \text{ Hz}$$

الطين لا يكون عند تواتر المأخذ هنا: الدارة سعويّة قبل إضافة الوشيعة، وذاتيّة بعدها، بالممانعة نفسها:

$$Z = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50 \Omega$$

المسألة الأولى، الطلب الثالث، الكتاب، الصفحة 151: $U_{\text{eff}} = 130 \text{ V}$ و 50 Hz على التسلسل مع مقاومة $R = 30 \Omega$ ، ومكثفة $C = \frac{1}{4000\pi} \text{ F}$ ، ووشيعةٍ مقاومتها مهملة. ما ذاتية الوشيعة لتكون الشدة أكبر ما يمكن، وما هذه الشدة؟

$$L, I_{\text{eff}} = ?$$

1. شرط الطين $X_C = 40 \Omega$ ، والشدة أكبر ما يمكن حين $X_L = X_C$:

$$L = \frac{40}{100\pi} = \frac{2}{5\pi} \text{ H} \approx 0.127 \text{ H}$$

2. الشدة $Z = R$:

$$I_{\text{eff}} = \frac{130}{30} \approx 4.33 \text{ A}$$

في كل مسألة طين نبدأ بالشرط نفسه. ومع وشيعةٍ مهملة المقاومة $Z = R$ ، وإن كانت للوشيعة مقاومة r فالمقاومتان على التسلسل:

$$\begin{aligned} X_L &= X_C \\ Z &= R + r \end{aligned}$$

دائرة على التسلسل $R = 30 \Omega$ و $X_L = 80 \Omega$ و $X_C = 40 \Omega$. ممانعتها:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \text{ كيف أبدأ؟}$$

$$Z = 50 \Omega \text{ (أ)}$$

$$Z = 150 \Omega \text{ (ب)}$$

$$Z \approx 94 \Omega \text{ (ج)}$$

$$\text{أ. نعم: } \sqrt{30^2 + 40^2} = 50 \Omega$$

في الدارة نفسها، $R = 30 \Omega$ و $Z = 50 \Omega$. عامل الاستطاعة:

كيف أبدأ؟ $\cos \bar{\varphi} = \frac{R}{Z}$

(أ) $\cos \bar{\varphi} \approx 1.67$

(ب) $\cos \bar{\varphi} = 0.8$

(ج) $\cos \bar{\varphi} = 0.6$

ج. نعم: $\frac{30}{50} = 0.6$

نضعف تواتر المولد في دائرة على التسلسل كانت في حالة ظنين. الدارة تصبح:

كيف أبدأ؟ $X_L = L\omega$ تكبر، و $X_C = \frac{1}{C\omega}$ تصغر.

(أ) ذات ممانعة سعوئية

(ب) ذات ممانعة ذاتية

(ج) في حالة ظنين أيضاً

ب. نعم: X_L تتضاعف و X_C تنقص إلى النصف، فتغلب الوشيعة.

المصدر: الفيزياء، الصفحات 144 إلى 146 من الطبعة الرسمية 2025 / 2026.