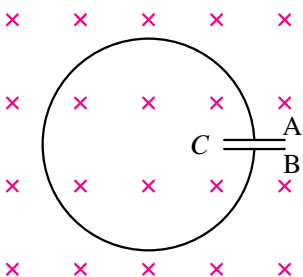


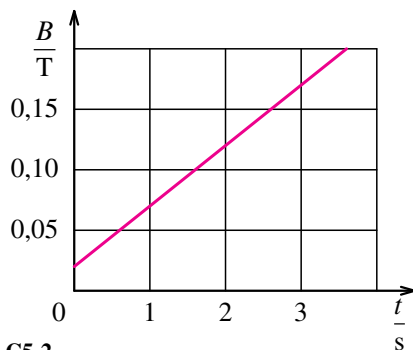
Cvičení 5 NESTACIONÁRNÍ MAGNETICKÉ POLE

Příklad 1

Vodič vytváří elektrický obvod ve tvaru kroužku (obr. C5-1) o ploše 400 cm^2 . V obvodu je zapojen kondenzátor o kapacitě $10 \mu\text{F}$. Obvod je v homogenním magnetickém poli, jehož vektor magnetické indukce $\mathbf{B}$ je kolmý k ploše kroužku a jeho velikost se mění podle grafu na obr. C5-2. Určete maximální náboj na deskách kondenzátoru a maximální energii elektrického pole kondenzátoru. Která deska kondenzátoru má kladný náboj?



C5-1



C5-2

Řešení

$$S = 400 \text{ cm}^2 = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2, C = 10 \mu\text{F} = 10^{-5} \text{ F}; Q_{\max} = ?, E_{\text{e max}} = ?$$

Magnetická indukce se mění rovnoměrně (je lineární funkcí času) a z grafu na obr. C5-2 je patrné, že pro velikost magnetické indukce platí vztah

$$B = (2 + 5t) \cdot 10^{-2} \text{ T}.$$

To znamená, že indukované napětí U_i má konstantní velikost a je to současně maximální napětí kondenzátoru. Platí

$$\begin{aligned} |U_i| &= \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta B S}{\Delta t} = \\ &= \frac{5,0 \cdot 10^{-2} \cdot 4,0 \cdot 10^{-2}}{1} \text{ V} = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ V}. \end{aligned}$$

Maximální náboj kondenzátoru

$$Q_{\max} = C U_i = 10^{-5} \cdot 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ C} = 2,2 \cdot 10^{-8} \text{ C}$$

a maximální energie elektrického pole kondenzátoru

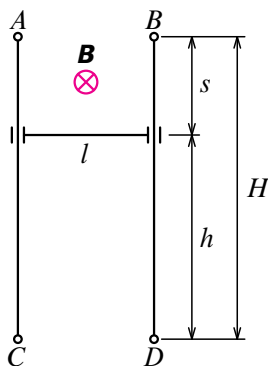
$$E_{e \max} = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{(2,0 \cdot 10^{-8})^2}{2 \cdot 10^{-5}} \text{ J} = 2,0 \cdot 10^{-11} \text{ J}.$$

Maximální náboj na deskách kondenzátoru je $2,0 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ a maximální energie elektrického pole kondenzátoru je $2,0 \cdot 10^{-11} \text{ J}$.

Poněvadž se magnetická indukce magnetického pole zvětšuje a magnetické indukční čáry míří za nákretnu, indukuje se ve vodiči proud takového směru, že jeho magnetické indukční čáry míří opačným směrem. To znamená, že proud v kroužku má směr proti pohybu hodinových ručiček a tímto proudem se kladně nabíjí deska B kondenzátoru.

Příklad 2

Po dvou rovnoběžných svislých vodičích (obr. C5-3) klouže bez tření, ale s dokonalým vodivým dotykem vodič délky l o hmotnosti m . Vodiče jsou umístěny v homogenním magnetickém poli o magnetické indukci $\mathbf{B}$, jejíž vektor je kolmý k nákretně. Určete napětí mezi body A, B jako funkci výšky h . Jak se vodič bude pohybovat, jestliže k bodům A, B připojíme rezistor o odporu R ?



C5-3

Řešení

Indukované napětí na koncích vodiče je určeno vztahem $U_i = Blv$. Poněvadž se vodič pohybuje volným pádem, má jeho rychlost velikost $v = gt$. Pomocí vztahu pro dráhu volného pádu

$$s = H - h = \frac{1}{2}gt^2$$

dostaneme

$$v = \sqrt{2g(H - h)}$$

a pro indukované napětí platí vztah

$$|U_i| = Bl\sqrt{2g(H - h)}.$$

Jestliže k bodům A , B připojíme rezistor, vznikne indukovaný proud

$$I = \frac{U_i}{R} = \frac{Blv}{R}$$

a na vodič působí magnetická síla o velikosti

$$F_m = BIl = \frac{B^2 l^2 v}{R}.$$

Tato síla má opačný směr než tíhová síla $F_G = mg$, která vodič uvádí do pohybu. Podle druhého pohybového zákona $ma = F_G - F_m$ a pro velikost zrychlení a vodiče platí po dosazení a úpravě

$$a = g - \frac{B^2 l^2 v}{mR}.$$

Příklad 3

Cívka o indukčnosti $0,5 \text{ H}$ je připojena ke zdroji stejnosměrného napětí $3,0 \text{ V}$. Odpor R vinutí cívky i vnitřní odpor R_i zdroje je velmi malý. Určete dobu, za kterou proud v cívce po jejím připojení ke zdroji vzroste o $2,4 \text{ A}$.

Řešení

$$L = 0,5 \text{ H}, U_e = 3,0 \text{ V}, \Delta I = 2,4 \text{ A}; t = ?$$

Po připojení cívky ke zdroji napětí se proud začne zvětšovat a vzhledem k tomu, že odpor celého obvodu je velmi malý, bude proud narůstat přibližně rovnoměrně. Indukované napětí

$$U_i = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

svými účinky působí proti napětí zdroje, takže Ohmův zákon pro celý obvod napíšeme ve tvaru

$$I = \frac{U_e - L \frac{\Delta I}{\Delta t}}{R + R_i}.$$

Poněvadž $(R + R_i) \approx 0$, je také $I(R + R_i) \approx 0$, a tedy $U_e \approx L \Delta I / \Delta t$. Odtud

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{U_e}{L}$$

a doba Δt , za kterou proud vzroste o 2,4 A, bude

$$\Delta t = \frac{\Delta IL}{U_e} \approx \frac{2,4 \cdot 0,5}{3,0} \text{ s} = 0,4 \text{ s}.$$

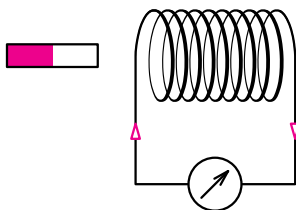
Proud v cívce vzroste o 2,4 A za 0,4 s.

Úlohy

První tři úlohy řešte samostatně ve skupinách

Skupina A

- 1 Kterým směrem se pohyboval magnet na obr. C5-4a, jestliže se v cívce indukoval proud, který má směr šipek? Severní pól magnetu je vyznačen barvou.



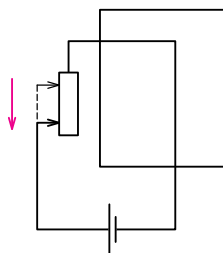
C5-4a

- 2 Magnetický indukční tok procházející cívkou s 80 závitů se za dobu 5 s rovnoměrně změnil z $3,0 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$ na $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Wb}$. Určete střední hodnotu indukovaného napětí na koncích cívky.

- 3 Proud procházející cívkou rovnoměrně vzrostl z 0,2 A na 2,4 A za dobu 0,44 s. Střední indukované napětí na cívce je $-0,18 \text{ V}$. Určete indukčnost cívky.

Skupina B

- 1 Změnou odporu reostatu naznačenou na obr. C5-4b se změnil velikost proudu v obvodu. Určete směr indukovaného proudu v uzavřené vodivé smyčce rovnoběžné s rovinou obvodu.



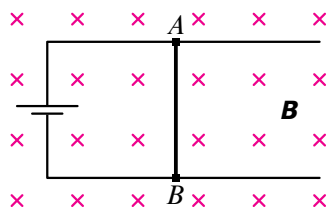
C5-4b

- 2 V kterém případě bude indukované napětí ve vodivé smyčce větší? Zmenší-li se magnetický indukční tok smyčkou z 1,0 Wb na nulovou hodnotu za 0,5 s, nebo zvětší-li se z nulové hodnoty na 1,0 Wb za 0,1 s? Jaká bude polarita indukovaných napětí?

- 3 Proud procházející cívkou o indukčnosti 0,8 H se za dobu 60 ms zmenšil o 1,8 A. Určete elektromotorické napětí, které se v cívce indukovalo.

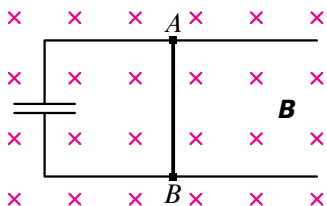
- 4 Rovinná cívka kruhového tvaru má 200 závitů o poloměru 10 cm. Cívka je připojena ke kondenzátoru o kapacitě $20 \mu\text{F}$ a je umístěna v homogenním magnetickém poli, jehož magnetická indukce se rovnoměrně zmenšuje o $10^{-2} \text{ T} \cdot \text{s}^{-1}$. Indukční čáry magnetického pole jsou kolmé k ploše závitů cívky. Určete náboj na deskách kondenzátoru.
- 5 V homogenním magnetickém poli o magnetické indukci $12,5 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ je umístěn čtvercový rámeček o délce strany 2 cm. Magnetické indukční čáry jsou kolmé k ploše rámečku. Odpor vodiče, z něhož je rámeček zhotoven, je 1Ω . Určete proud, který projde vodičem, jestliže rámeček rovnoměrně vysuneme rychlostí $0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ z magnetického pole ve směru kolmém k indukčním čarám. Pole je ostře ohraničeno a dvě strany rámečku jsou rovnoběžné s touto hranicí.
- 6 V homogenním magnetickém poli je kolmo k indukčním čarám umístěn rovinný kruhový závit, jehož vnitřní plocha má obsah 1 cm^2 . Odpor závitů je $10^{-3} \Omega$. Určete teplo, které vzniklo v závitě, jestliže se za dobu 1 s magnetická indukce zmenšila o $10^{-2} \text{ Wb} \cdot \text{m}^{-2}$. Odpor závitů se s teplotou nemění.
- 7 Měděný kroužek o poloměru 4,8 cm je umístěn v homogenním magnetickém poli o magnetické indukci 12 mT, jehož indukční čáry jsou kolmé k rovině kroužku. Kroužek je rovnoměrným pohybem za dobu 25 ms vysunut z magnetického pole. Určete střední hodnotu proudu v kroužku. Kroužek je zhotoven z vodiče o průměru 2 mm. Rezistivita mědi je $1,8 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$.

- 8 Přímý vodič délky 1 m (AB na obr. C5-5) o odporu 2Ω se nachází v homogenním magnetickém poli o magnetické indukci $0,1 \text{ T}$. Napětí zdroje je 1 V. Vektor magnetické indukce je kolmý k vodiči. Určete proud procházející vodičem, jestliže a) vodič je v klidu, b) vodič se pohybuje vpravo rychlostí $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, c) vodič se pohybuje rychlostí $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ vlevo. Kterým směrem a jakou rychlostí se vodič musí pohybovat, aby jím neprocházela žádný proud? Kterým směrem se musí vodič pohybovat, aby jím procházel stejný proud jako v klidu?

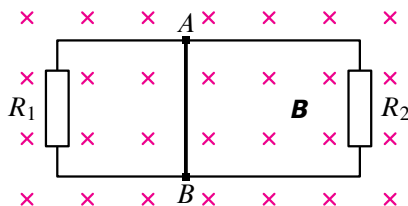


C5-5

- 9** Podél rovnoběžných vodičů ve vzájemné vzdálenosti 20 cm se bez tření, ale s vodivým kontaktem pohybuje rychlostí $0,50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ vodič AB (obr. C5-6). Ke koncům vodičů je připojen kondenzátor o kapacitě $20 \mu\text{F}$. Vzniklý obvod je umístěn v homogenním magnetickém poli o magnetické indukci $0,10 \text{ T}$ tak, že magnetické indukční čáry jsou kolmé k rovině vymezené obvodem. Určete náboj kondenzátoru a polaritu napětí kondenzátoru, jestliže se vodič AB pohybuje vpravo a vektor $\mathbf{B}$ míří za nůžku.

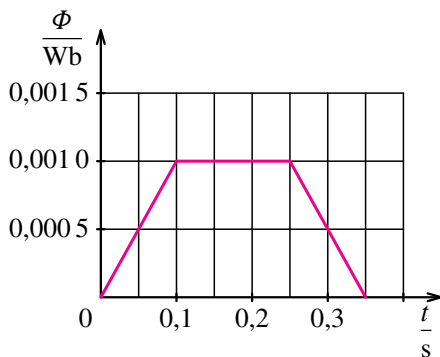


C5-6



C5-7

- 10** Vodič délky $0,30 \text{ m}$ o odporu $1,0 \Omega$ se pohybuje bez tření a v kontaktu podél rovnoběžných vodičů, k jejichž koncům jsou připojeny rezistory o odporu $R_1 = 3,0 \Omega$ a $R_2 = 6,0 \Omega$ (obr. C5-7). Vzniklý obvod je umístěn v homogenním magnetickém poli tak, že vektor magnetické indukce o velikosti $0,40 \text{ T}$ je kolmý k rovině obvodu. Určete proud v pohyblivém vodiči, který se pohybuje rychlostí $5,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a proudy v rezistorech R_1 a R_2 . Jaký mechanický výkon je nutný k udržení pohybu vodiče?
- 11** Magnetický indukční tok cívky se 400 závitů se v závislosti na čase mění podle grafu na obr. C5-8. Nakreslete graf závislosti napětí indukovaného na koncích cívky na čase.



C5-8

- 12** Zvětšením proudu procházejícího cívkou o 2,0 A se energie magnetického pole zvětšila o 10 mJ. Určete indukčnost cívky, jestliže střední hodnota proudu byla 5 A.