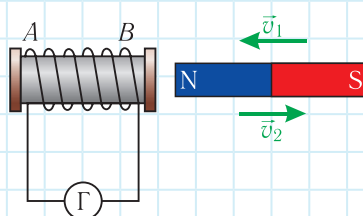


**Прыклад рашэння задачы**

Вызначце напрамак індукцыйнага току ў саленоідзе, які паказаны на малюнку 183.

Рашэнне. Пры набліжэнні паўночнага полюса магніта да саленоіда ў ім індукцыруецца электрычны ток такога напрамку, пры якім бліжэйшы да магніта канец саленоіда набывае ўласцівасці паўночнага магнітнага полюса. Вызначыўшы напрамак току паводле правіла свярдзёлка (правіла гадзіннікавай стрэлкі), бачым, што ток у саленоідзе накіраваны ад пункта *A* да пункта *B*. Пры аддаленні паўночнага полюса магніта ад саленоіда ў ім узнікае індукцыйны ток, накіраваны ад пункта *B* да пункта *A*.



Мал. 183

**Практыкаванне 23**

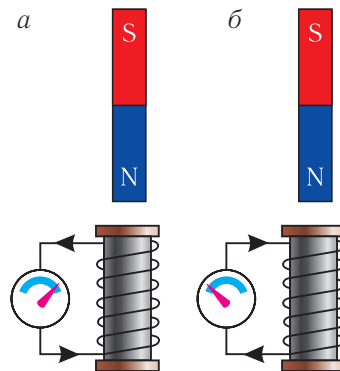
1. На малюнку 184, *a*, *б* стрэлкамі паказаны напрамкі індукцыйных токаў у саленоідзе. Вызначце напрамкі руху магнітаў у кожным выпадку.

2. Кругавы контур радыусам  $r = 12$  см знаходзіцца ў аднародным магнітным полі, модуль індукцыі якога  $B = 0,40$  Тл. Вызначце магнітны паток праз паверхню, абмежаваную контурам, калі: а) лініі індукцыі магнітнага поля паралельныя нармалі да гэтай паверхні; б) паверхня, абмежаваная контурам, паралельная лініям індукцыі магнітнага поля; в) лініі індукцыі магнітнага поля ўтвараюць вугал  $\alpha = 30^\circ$  з гэтай паверхняй.

3. Вось саленоіда, які складаецца з  $N = 100$  віткаў, паралельная лініям індукцыі аднароднага магнітнага поля, модуль індукцыі якога  $B = 0,20$  Тл. Вызначце магнітны паток праз паверхню, абмежаваную ўсімі віткамі саленоіда, калі плошча кожнай з іх  $S = 16$  см<sup>2</sup>.

4. Вызначце прамежак часу, на працягу якога магнітны паток праз паверхню, абмежаваную замкнутым правадніком, раўнамерна зменшыўся на  $|\Delta\Phi| = 0,20$  Вб, калі індукцыраваная ў правадніку ЭРС  $\mathcal{E}_{\text{інд}} = 0,80$  В.

5. Вызначце магнітны паток праз паверхню, абмежаваную вітком саленоіда, які складаецца з  $N = 100$  віткаў, калі пры раўнамерным памяншэнні да нуля модуля індукцыі аднароднага магнітнага поля ў саленоідзе на працягу прамежку часу  $\Delta t = 5,0$  мс індукцыруецца ЭДС  $\mathcal{E}_{\text{інд}} = 20$  В.



Мал. 184



### § 33. З'ява самаіндукцыі. Індуктыўнасць. Энергія магнітнага поля шпулі з токам

*Фарадэй доследным шляхам вызначыў, што электрамагнітная індукцыя праяўляецца ва ўсіх выпадках змянення магнітнага патоку праз паверхню, абмежаваную контурам. Сучаснік Фарадэя амерыканскі фізік Джозэф Генры (1797–1878) незалежна ад свайго англійскага калегі адкрыў некаторыя з электрамагнітных эфектаў. У 1829 г. Генры выявіў, што ЭРС індукцыі ўзнікае ў нерухомым контуры і пры адсутнасці змянення знешняга магнітнага поля. Які механізм узнікнення ЭРС індукцыі ў гэтым выпадку?*

**Самаіндукцыя.** Калі электрычны ток, які праходзіць у замкнутым праводным контуры, па якіх-небудзь прычынах змяняецца, то змяняецца і магнітнае поле, створанае гэтым токам. Гэта цягне за сабой змяненне магнітнага патоку праз паверхню, абмежаваную контурам. Паколькі магнітны паток  $\Phi$  прапарцыянальны модулю магнітнай індукцыі  $B$  поля, які, у сваю чаргу, прапарцыянальны сіле току  $I$  ў контуры, то

$$\Phi \sim I.$$

Каэфіцыенту прапарцыянальнасці паміж магнітным патокам  $\Phi$  і сілай току  $I$  Томсан (лорд Кельвін) у 1853 г. прапанаваў даць назву «каэфіцыент самаіндукцыі»:

$$\Phi = LI. \quad (33.1)$$

Каэфіцыент самаіндукцыі  $L$  часта называюць *індуктыўнасцю* контуру. У СІ індуктыўнасць вымяраюць у генры (Гн). Індуктыўнасць контуру роўная 1 Гн, калі пры сіле току ў контуры 1 А магнітны паток праз паверхню, абмежаваную гэтым контурам, роўны 1 Вб. Індуктыўнасць залежыць ад памераў і формы контуру, а таксама ад магнітных уласцівасцей асяроддзя, у якім знаходзіцца гэты контур.

Калі электрычны ток, які праходзіць у контуры, змяняецца, то ён стварае зменлівы магнітны паток, што прыводзіць да з'яўлення ЭРС індукцыі. Гэтую з'яву назвалі *самаіндукцыяй*.

**Самаіндукцыя** — з'ява ўзнікнення ЭРС індукцыі ў электрычным ланцугу ў выніку змены сілы току ў гэтым ланцугу.

ЭРС, якая ўзнікае ў гэтым выпадку, назвалі *электрарухаючай сілай самаіндукцыі*. Згодна з законам электрамагнітнай індукцыі

$$\mathcal{E}_c = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta(LI)}{\Delta t}.$$

Калі індуктыўнасць контуру не змяняецца з цягам часу, гэта значыць  $L = \text{const}$ , то

$$\mathcal{E}_c = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

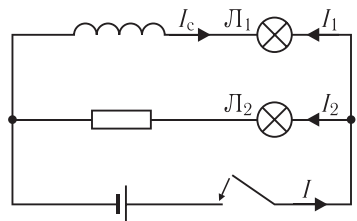
Паколькі контур замкнуты, ЭРС самаіндукцыі стварае ў ім ток самаіндукцыі. Сілу току самаіндукцыі можна вызначыць паводле закона Ома  $I_c = \frac{\mathcal{E}_c}{R}$ , дзе  $R$  — супраціўленне контуру. Паводле правіла Ленца ток самаіндукцыі заўсёды накіраваны так, каб супрацьдзейнічаць змене току, створанага крыніцай. Пры ўзрастанні сілы току ток самаіндукцыі накіраваны супраць току крыніцы, а пры памяншэнні — напрамкі току крыніцы і току самаіндукцыі супадаюць.

### Ад тэорыі да практыкі

Якой павінна быць скорасць змянення сілы току, каб у шпулі з індуктыўнасцю  $L = 0,20$  Гн узнікла ЭРС самаіндукцыі  $\mathcal{E}_c = 4,0$  В?

**Назіранне самаіндукцыі.** Для назірання з'явы самаіндукцыі з'яром электрычны ланцуг, які складаецца са шпулі з вялікай індуктыўнасцю, рэзістара з электрычным супраціўленнем, роўным супраціўленню абмоткі шпулі, дзвюх аднолькавых лямпачак, ключа і крыніцы пастаяннага току. Схема ланцуга прыведзена на малюнку 185. Пры замыканні ключа лямпачка  $L_2$  пачынае святціцца практычна адразу, а лямпачка  $L_1$  — з прыкметным спазненнем. Пры ўзрастанні сілы току  $I_1$ , створанага крыніцай на ўчастку, утвораным шпуляй і лямпачкай  $L_1$ , ЭРС самаіндукцыі ў шпулі мае такую палярнасць, што створаны ёю ток самаіндукцыі  $I_c$  накіраваны насустрач току крыніцы. У выніку рост сілы току  $I_1$  крыніцы запавольваецца, і сіла току  $I = I_1 - |I_c|$  не адразу дасягае свайго максімальнага значэння.

**Энергія магнітнага поля.** З'яву самаіндукцыі можна назіраць і пры размыканні электрычнага ланцуга. Калі ўключыць лямпачку паралельна шпулі



Мал. 185



ў электрычным ланцуг пастаяннага току, то пры размыканні ланцуга можна ўбачыць, што лямпачка ярка ўспыхвае. Чаму гэта адбываецца? Пры размыканні ланцуга сіла току ў шпулі памяншаецца, што прыводзіць да ўзнікнення ЭРС самаіндукцыі. Ток самаіндукцыі, які ўзнікае ў ланцугу, паводле правіла Ленца, супадае па напрамку з токам у шпулі, не дазваляючы яму рэзка змяншаць сілу току. Гэта і забяспечвае ўспышку лямпачкі.

Адкуль бярэцца энергія, якая забяспечвае ўспышку лямпачкі? Гэта не энергія крыніцы току, бо яна ўжо адключана. Успышка лямпачкі адбываецца адначасова з памяншэннем сілы току ў шпулі і створанага токам магнітнага поля. Можна меркаваць, што назапашаная ў шпулі ў працэсе самаіндукцыі энергія магнітнага поля ператвараецца ва ўнутраную энергію спіралі лямпачкі і энергію яе выпраменьвання.



Разлікі пацвярджаюць, што энергію магнітнага поля можна вызначыць па формуле

$$W_m = \frac{LI^2}{2},$$

дзе  $L$  — індуктыўнасць контуру;  $I$  — сіла току.

### Ад тэорыі да практыкі

Якая індуктыўнасць шпулі, калі пры сіле току  $I = 2,0$  А энергія магнітнага поля шпулі  $W_m = 1,2$  Дж?



Самаіндукцыя — з'ява ўзнікнення ЭРС індукцыі ў электрычным ланцугу ў выніку змены сілы току ў гэтым ланцугу

ЭРС самаіндукцыі прама прапарцыянальная індуктыўнасці контуру (шпулі) і скорасці змянення сілы току ў ім:

$$\mathcal{E}_c = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

З'ява самаіндукцыі адбываецца пры змене сілы току ў ланцугу, які змяшчае індуктыўнасць

Энергія магнітнага поля шпулі з токам прапарцыянальная квадрату сілы току:

$$W_m = \frac{LI^2}{2}$$

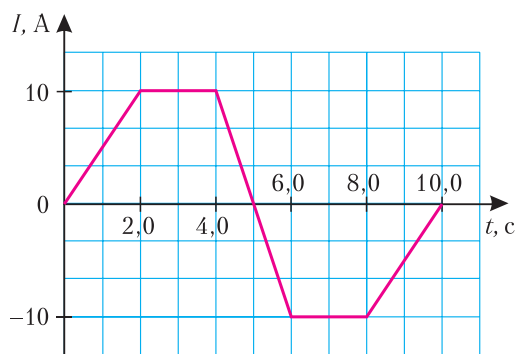


1. Што называюць самаіндукцыяй?
2. У якіх доследах можна назіраць з'яву самаіндукцыі?
3. Ад чаго залежыць ЭРС самаіндукцыі?
4. Што называюць індуктуйнасцю? У якіх адзінках у СІ яе вымяраюць?
5. Як вылічыць энергію магнітнаго поля шпулі з токам?



### Прыклады рашэння задач

**Прыклад 1.** На малюнку 186 прыведзены графік залежнасці сілы току, які праходзіць па саленоідзе, ад часу. Вызначце максімальнае значэнне модуля ЭРС самаіндукцыі ў саленоідзе, калі яго індуктуйнасць  $L = 40$  мГн.



Мал. 186

Дадзена:

$$L = 40 \text{ мГн} = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ Гн}$$

$$|\mathcal{E}_c|_{\max} = ?$$

Рашэнне. ЭРС самаіндукцыі  $\mathcal{E}_c = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ .  
Аналізуючы графік (мал. 186), можна зрабіць выснову, што сіла току, які праходзіць па саленоідзе, змяняецца на трох участках:

- 1) ад моманту часу  $t_1 = 0,0$  с да моманту часу  $t_2 = 2,0$  с сіла току змяняецца на  $\Delta I_1 = 10$  А за прамежак часу  $\Delta t_1 = 2,0$  с;
- 2) ад моманту часу  $t_3 = 4,0$  с да моманту часу  $t_4 = 6,0$  с сіла току змяняецца на  $\Delta I_2 = -20$  А за прамежак часу  $\Delta t_2 = 2,0$  с;
- 3) ад моманту часу  $t_5 = 8,0$  с да моманту часу  $t_6 = 10,0$  с сіла току змяняецца на  $\Delta I_3 = 10$  А за прамежак часу  $\Delta t_3 = 2,0$  с.

Паколькі прамежкі часу  $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_3 = 2,0$  с, то відавочна, што максімальнае значэнне модуля скорасці змянення сілы току, а значыць, і

максімальнае значэнне модуля ЭРС самаіндукцыі, створанай у саленоідзе, адпавядае прамежку часу  $\Delta t_2 = 2,0$  с (ад  $t_3 = 4,0$  с да  $t_4 = 6,0$  с):

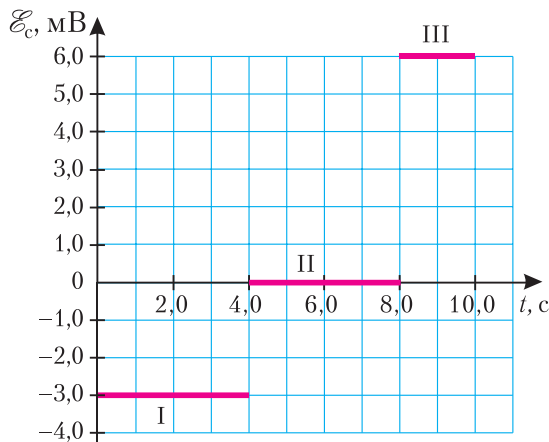
$$|\mathcal{E}_c|_{\max} = L \left| \frac{\Delta I_2}{\Delta t_2} \right|.$$

Такім чынам,

$$|\mathcal{E}_c|_{\max} = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ Гн} \cdot \frac{|-20 \text{ А}|}{2,0 \text{ с}} = 0,40 \text{ В}.$$

Адказ:  $|\mathcal{E}_c|_{\max} = 0,40 \text{ В}.$

**Прыклад 2.** На малюнку 187 прыведзены графік залежнасці ЭРС самаіндукцыі, якая ўзнікае ў шпулі з індуктыўнасцю  $L = 2,0$  мГн, ад часу. Вызначце змяненне сілы току на ўчастках I, II і III графіка. Чаму роўная энергія магнітнага поля ў момант часу  $t = 4,0$  с, калі ў пачатковы момант часу сіла току ў шпулі  $I = 0$ ?



Мал. 187

Дадзена:  
 $L = 2,0$  мГн =  
 $= 2,0 \cdot 10^{-3}$  Гн  
 $t = 4,0$  с

$\Delta I_I$  — ?  $\Delta I_{II}$  — ?  
 $\Delta I_{III}$  — ?  $W_M$  — ?

Рашэнне. Аналізуючы графік, можна зрабіць выснову, што на ўчастку I ЭРС самаіндукцыі  $\mathcal{E}_{сI} = -3,0$  мВ, на ўчастку III —  $\mathcal{E}_{сIII} = 6,0$  мВ. Змену сілы току на гэтых участках графіка можна вызначыць, выкарыстаўшы закон электрамагнітнай індукцыі для з'явы самаіндукцыі:

$$\mathcal{E}_c = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}; \Delta I = -\frac{\mathcal{E}_c \Delta t}{L}.$$

$$\Delta I_I = -\frac{-3,0 \cdot 10^{-3} \text{ В} \cdot 4,0 \text{ с}}{2,0 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}} = 6,0 \text{ А}; \Delta I_{III} = -\frac{6,0 \cdot 10^{-3} \text{ В} \cdot 2,0 \text{ с}}{2,0 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}} = -6,0 \text{ А}.$$

На ўчастку II графіка  $\mathcal{E}_{cII} = 0$ , значыць, сіла току не змянялася:  $\Delta I_{II} = 0$ .

У момант часу  $t = 4,0$  с энергія магнітнага поля шпулі  $W_M = \frac{LI^2}{2}$ .

Такім чынам,  $W_M = \frac{2,0 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \cdot (6,0 \text{ А})^2}{2} = 36 \cdot 10^{-3} \text{ Дж} = 36 \text{ мДж}$ .

Адказ:  $\Delta I_I = 6,0 \text{ А}$ ;  $\Delta I_{II} = 0$ ;  $\Delta I_{III} = -6,0 \text{ А}$ ;  $W_M = 36 \text{ мДж}$ .



### Практыкаванне 24

1. Сіла току, які праходзіць па замкнутым праводным контуры,  $I = 1,2$  А. Магнітнае поле гэтага току стварае магнітны паток  $\Phi = 3,0$  мВб праз паверхню, абмежаваную контурам. Вызначце індуктыўнасць контуру.

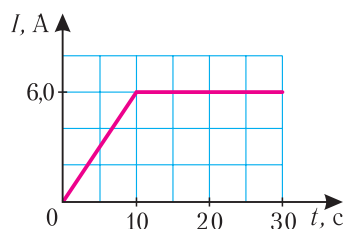
2. Пры раўнамерным змяненні сілы току ў шпулі на  $\Delta I = -4,0$  А за прамежак часу  $\Delta t = 0,10$  с у ёй узнікае ЭРС самаіндукцыі  $\mathcal{E}_c = 20$  В. Вызначце індуктыўнасць шпулі.

3. Вызначце ЭРС самаіндукцыі, якая ўзнікае ў шпулі, індуктыўнасць якой  $L = 1,2$  Гн, пры раўнамерным змяненні сілы току ад  $I_1 = 2,0$  А да  $I_2 = 6,0$  А за прамежак часу  $\Delta t = 0,60$  с. Вызначце прырашчэнне энергіі магнітнага поля пры дадзенай змене сілы току.

4. На малюнку 188 прыведзены графік залежнасці сілы току ў шпулі, індуктыўнасць якой  $L = 10$  мГн, ад часу. Вызначце ЭРС самаіндукцыі праз прамежкі часу  $t_1 = 10$  с і  $t_2 = 20$  с ад моманту пачатку адліку часу.

5. Сіла току ў шпулі раўнамерна паменшылася ад  $I_1 = 10$  А да  $I_2 = 5,0$  А. Пры гэтым энергія магнітнага поля змянілася на  $\Delta W_M = -3,0$  Дж. Вызначце індуктыўнасць шпулі і першапачатковае значэнне энергіі магнітнага поля.

6. Вызначце ЭРС самаіндукцыі, што ўзнікае ў шпулі, індуктыўнасць якой  $L = 0,12$  Гн, пры раўнамерным памяншэнні сілы току ад  $I_1 = 8,0$  А, калі за прамежак часу  $t_1 = 0,20$  с энергія магнітнага поля паменшылася ў  $\alpha = 2,0$  раза.



Мал. 188



## Абагульненне і сістэматызацыя ведаў

## МАГНІТНАЕ

## Магнітнае поле току

Модуль індукцыі магнітнага поля

$$B = \frac{F_{\max}}{I\Delta l}$$

Прынцып суперпазіцыі магнітных палёў

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n$$

Напрамак індукцыі магнітнага поля  $\vec{B}$ :

- правіла свядзёлка;
- правіла правай рукі;
- правіла гадзіннікавай стрэлкі

## Сіла, якой аднароднае магнітнае поле дзейнічае

на прамалінейны ўчастак  
правадніка з токам.

Модуль:  $F_A = B I \Delta l \sin \alpha$

Напрамак: правіла левай рукі:

калі левую руку размясціць так, каб перпендыкулярны да правадніка складнік індукцыі магнітнага поля ўваходзіў у далонь, чатыры выцягнутыя пальцы былі накіраваныя па току, то адагнуты на  $90^\circ$  у плоскасці далоні вялікі палец пакажа напрамак сілы Ампера, якая дзейнічае на прамалінейны ўчастак правадніка з токам

на зараджаную часціцу, якая рухаецца.

Модуль:  $F_L = |q|vB \sin \alpha$ .

Напрамак: правіла левай рукі:

калі левую руку размясціць так, каб складнік індукцыі магнітнага поля, перпендыкулярны скорасці руху зараду, уваходзіў у далонь, а чатыры пальцы былі накіраваныя па руху дадатнага зараду (супраць руху адмоўнага), то адагнуты на  $90^\circ$  у плоскасці далоні вялікі палец пакажа напрамак дзеючай на зарад сілы Лорэнца



## ПОЛЕ

## Электрамагнітная індукцыя

Магнітны паток

$$\Phi = BS \cos \alpha$$

Каэфіцыент самаіндукцыі  
(індуктыўнасць)

$$L = \frac{\Phi}{I}$$

Закон электрамагнітнай індукцыі

$$\mathcal{E}_{\text{інд}} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Сіла індукцыйнага току

$$I_{\text{інд}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{інд}}}{R}$$

ЭРС самаіндукцыі

$$\mathcal{E}_c = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Напрамак  
індукцыйнага току:  
правіла Ленца

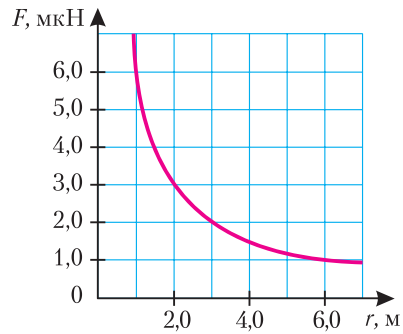
Энергія магнітнага поля контуру з токам

$$W_M = \frac{LI^2}{2} = \frac{\Phi I}{2} = \frac{\Phi^2}{2L}$$



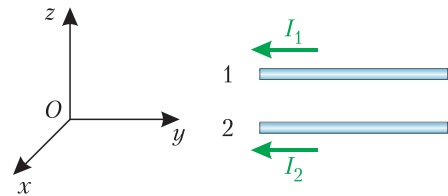
## Задання для самоконтролю

1. На малюнку 189 приведений графік залежності модуля сил магнітного взаємодіяння двох дощіг розміщаних паралельно один одному прамалінейних провідників, по яких протікають постійні електричні токи, від відстані між ними. Визначте модуль сил магнітного взаємодіяння провідників, коли, не змінюючи сил току у провідниках, збільшите відстань між ними до  $r = 10$  м, зберігши довжину прамалінейних паралельних часток незмінною.



Мал. 189

2. Коли тонкі дощіги прамалінейних провідників 1 і 2, по яких протікають постійні електричні токи (мал. 190), паралельно один одному, то напрямки сил Ампера, що діють на провідник 1 з боку магнітного поля провідника 2:



Мал. 190

1) супадає з додатним напрямком осі  $z$ ;

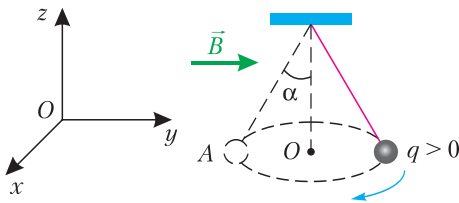
2) супрацьлеглы додатному напрямку осі  $z$ ;

3) супадає з додатним напрямком осі  $y$ ;

4) супрацьлеглы додатному напрямку осі  $y$ ;

5) супадає з додатним напрямком осі  $x$ .

3. При переміщенні прамалінейного участка провідника на відстань  $s = 17$  см перпендикулярно ліній індукції однорідного магнітного поля зовнішня сила виконана робота  $A = 38$  мДж. Модуль індукції однорідного магнітного поля  $B = 0,56$  Тл, а сила току в провіднику  $I = 4,0$  А. Визначте довжину участка провідника, коли силу току в ньому і швидкість його руху підтримували постійними.



Мал. 191

4. Маленькі додатні заряджені шарики, підвешані на легкій нерозтягній неізоляційній нитці, рухаються по колу в горизонтальній площині (мал. 191) у однорідному магнітному полі.

Як накіравана сіла Лорэнца, якая дзейнічае на шарык у момант праходжання ім пункта  $A$ :

- 1) супадае з дадатным напрамкам восі  $z$ ;
- 2) накіравана супрацьлегла дадатнаму напрамку восі  $z$ ;
- 3) супадае з дадатным напрамкам восі  $y$ ;
- 4) накіравана супрацьлегла дадатнаму напрамку восі  $y$ ;
- 5) супадае з дадатным напрамкам восі  $x$ ?

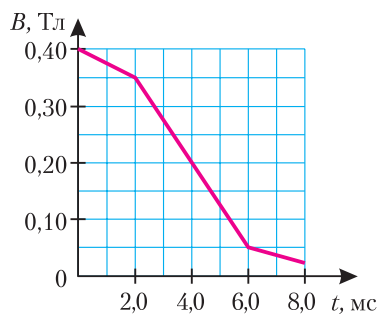
5. Дзве часціцы, масы якіх  $m_1$  і  $m_2 = \frac{m_1}{16}$ , рухаюцца ў аднародным магнітным полі перпендыкулярна лініям магнітнай індукцыі. Кінетычныя энергіі часціц аднолькавыя, а суадносіны паміж радыусамі траекторый, якія апісваюць часціцы,  $R_2 = 2R_1$ . Вызначце адносіны модуляў зарадаў часціц.

6. Пратон улятае ў аднароднае магнітнае поле перпендыкулярна лініям магнітнай індукцыі. Вызначце, праз які прамежак часу напрамак скорасці руху пратона зменіцца на вугал  $\alpha = 90^\circ$ , калі модуль магнітнай індукцыі поля  $B = 0,50$  мТл. Маса пратона  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$  кг.

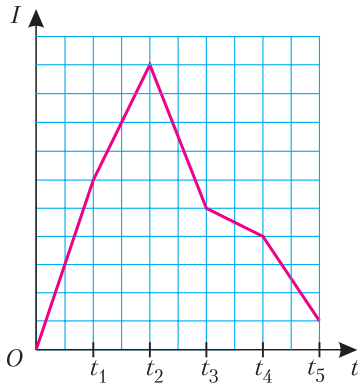
7. Вось саленоіда складае з індукцыяй аднароднага магнітнага поля вугал  $\alpha = 30^\circ$ . Плошча паверхні, абмежаванай кожным з  $N = 100$  вітоў саленоіда,  $S_1 = 12$  см<sup>2</sup>. Вызначце ЭРС індукцыі, якая ўзнікае ў саленоідзе, калі модуль індукцыі магнітнага поля раўнамерна змяняецца са скорасцю  $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 18 \frac{\text{Тл}}{\text{с}}$ .

8. На малюнку 192 прыведзены графік залежнасці модуля індукцыі аднароднага магнітнага поля ад часу. Вызначце максімальнае значэнне ЭРС індукцыі, якая ўзнікае ў вітку, калі лініі індукцыі магнітнага поля перпендыкулярныя плоскасці вітка і плошча паверхні, абмежаванай вітком,  $S = 24$  см<sup>2</sup>.

9. Магнітны паток праз паверхню, абмежаваную контурам, вырабленым з правадніка, змяняецца з цягам часу па законе  $\Phi = A - Ct$ , дзе  $A = 2,5$  Вб,  $C = 0,20 \frac{\text{Вб}}{\text{с}}$ . Вызначце сілу індукцыйнага току ў контуры, калі яго супраціўленне  $R = 5,0$  Ом.



Мал. 192



Мал. 193

10. На малюнку 193 прыведзены графік залежнасці сілы току, які праходзіць па замкнутым праводным контуры з пастаяннай індуктыўнасцю, ад часу. Пакажыце інтэрвал часу, у межах якога значэнне модуля ЭРС самаіндукцыі  $|\mathcal{E}_c|$  мінімальнае.

11. Сіла току  $\dot{I}$  контуры з пастаянным каэфіцыентам самаіндукцыі змяняецца з цягам часу па законе  $I = C + Dt$ , дзе  $C = 5,0 \text{ A}$ ,  $D = -1,0 \frac{\text{A}}{\text{с}}$ . Вызначце магнітны паток у канцы чацвёртай секунды, калі ў момант пачатку адліку часу магнітны паток праз паверхню, абмежаваную контурам,  $\Phi_0 = 85 \text{ мВб}$ .

12. На працягу прамежку часу  $\Delta t = 10 \text{ мс}$  сіла току ў шпулі індуктыўнасці раўнамерна ўзрастала ад  $I_1 = 2,0 \text{ A}$  да  $I_2 = 6,0 \text{ A}$ . Пры гэтым у шпулі ўзнікала ЭРС самаіндукцыі  $\mathcal{E}_c = -20 \text{ В}$ . Вызначце ўласны магнітны паток у канцы працэсу нарастання сілы току.

