

Фізика 11

Урок 37 Змінний струм. Генератори змінного струму

Мета уроку:

Навчальна: Формувати знання про вимушені електромагнітні коливання, змінний струм; з'ясувати механізм виникнення змінного струму, будову та принцип дії генератора змінного струму; продовжити формування навичок і умінь розв'язування якісних, кількісних фізичних задач.

Розвивальна. Розвивати пізнавальні навички учнів; вміння аналізувати навчальний матеріал, умову задачі, хід розв'язання задачі; вміння стисло і грамотно висловлювати свої міркування та обґрунтовувати їхню правильність.

Виховна. Виховувати уважність, зібраність, спостережливість.

Тип уроку: комбінований.

Наочність і обладнання: навчальна презентація, комп'ютер, підручник.

Хід уроку

I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ

Коли ви вмикаєте вдома світло, кімната осягається рівним яскравим світлом. Навіть якщо придивитися до волоска лампи розжарювання, то не помітно, що його світіння змінюється.

Чому струм, яким ми користуємося називають змінним?

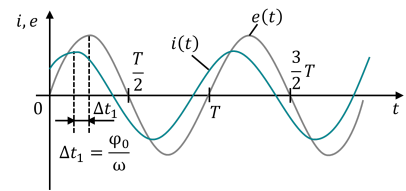
III. ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Змінний електричний струм

Вимушені електромагнітні коливання – це незгасаючі коливання заряду, напруги та сили струму, які спричинені електрорушійною силою, що періодично змінюється.

$$e = \varepsilon_{\max} \sin \omega t$$

e – значення ЕРС у даний момент часу (миттєве значення ЕРС); $\varepsilon_{\max}$ – амплітудне значення ЕРС; ω – циклічна частота змінної ЕРС.



Яскравим прикладом вимушених коливань є *змінний електричний струм*.

Змінний електричний струм – електричний струм, сила якого змінюється за гармонічним законом.

$$i = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0)$$

i – миттєве значення сили струму; $I_{\max}$ – амплітудне значення сили струму; ω – циклічна частота змінного струму, що збігається із частотою змінної ЕРС; φ_0 – зсув фаз між коливаннями струму та коливаннями ЕРС.

На відміну від постійного струму *змінний струм увесь час періодично змінює свої значення й напрямки*.

2. Як одержати змінну ЕРС

Проблемне питання

- Як одержати змінну ЕРС?

Генератор змінного струму – це джерело електричної енергії, яке створює ЕРС, що періодично змінюється.

Генератором змінного струму може слугувати дротяна рамка, яка обертається з деякою незмінною кутовою швидкістю ω в однорідному магнітному полі індукцією $\vec{B}$. Доведемо, що за цих умов у рамці індукується змінна ЕРС, яка змінюється за гармонічним законом.

За означенням магнітний потік Φ , що пронизує рамку, обчислюється за формулою:
 $\Phi = BS \cos \alpha$

Нехай у момент початку відліку часу t_1 площина рамки перпендикулярна до ліній магнітної індукції (положення 1), тобто кут між нормаллю $\vec{n}$ до площини рамки та вектором магнітної індукції дорівнює нулю ($\alpha_0 = 0$). Якщо рамку обертати в магнітному полі, кут α буде змінюватися за законом: $\alpha = \omega t$. Отже, відповідно змінюватиметься і магнітний потік: $\Phi = BS \cos \omega t$

Згідно із законом Фарадея, в рамці виникне ЕРС індукції:

$$e(t) = - \Phi'(t) = - (BS \cos \omega t)' = - (-BS\omega \sin \omega t) = BS\omega \sin \omega t = \varepsilon_{\max} \sin \omega t$$

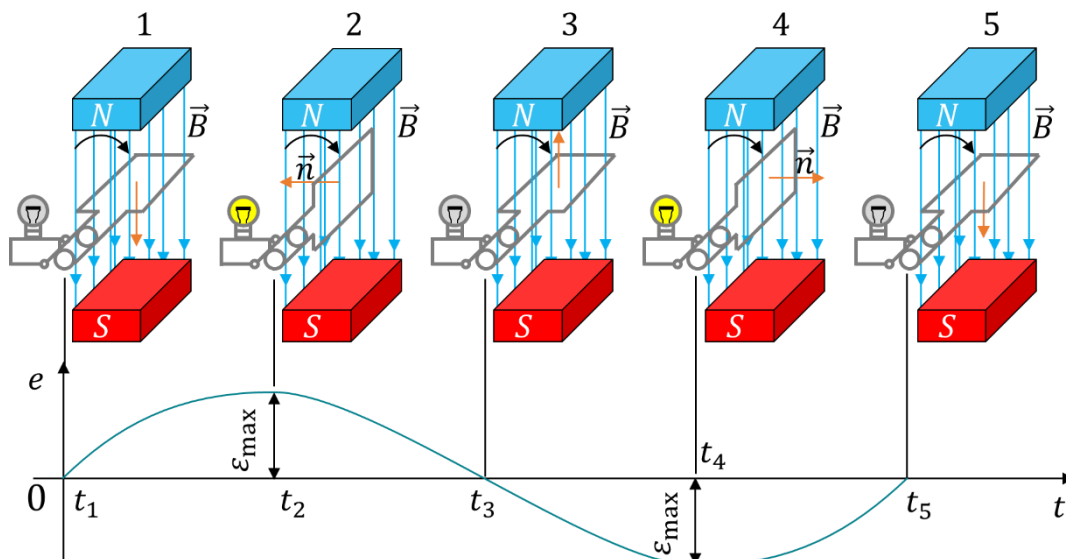
$\varepsilon_{\max} = BS\omega$ – амплітудне значення ЕРС індукції.

ЕРС індукції сягатиме максимального значення в моменти часу t_2 і t_4 , коли рамка буде розташована вздовж ліній магнітної індукції, тобто коли $\alpha = 90^\circ$ (положення 2 і 4), і перетворюватиметься на нуль у моменти часу t_1, t_3, t_5 , коли рамка буде розташована перпендикулярно до ліній магнітної індукції, тобто коли $\alpha = 0$ або коли $\alpha = 180^\circ$ (положення 1, 3, 5).

Якщо рамка містить не один, а N витків дроту, то ЕРС індукції дорівнюватиме:

$$e(t) = - N\Phi'(t) = NBS\omega \sin \omega t = \varepsilon_{\max} \sin \omega t$$

$\varepsilon_{\max} = NBS\omega$ – амплітудне значення ЕРС індукції.



3. Як одержати змінний струм

Проблемне питання

- Як одержати змінний струм?

Якщо до дрітної рамки, що обертається в магнітному полі, за допомогою спеціальних ковзних контактів підключити активне навантаження (наприклад, лампу розжарювання), то електричне коло буде замкненим і в колі виникне змінний електричний струм. Джерелом струму в колі слугуватиме обертова рамка, а споживачем – лампа.

Згідно із законом Ома для повного кола сила струму в лампі визначається за формулою:

$$i(t) = \frac{e}{R+r} = \frac{\varepsilon_{\max} \sin \omega t}{R+r} = \frac{\varepsilon_{\max}}{R+r} \sin \omega t = I_{\max} \sin \omega t$$

R – опір активного навантаження; r – опір джерела (рамки); $I_{\max} = \frac{\varepsilon_{\max}}{R+r}$ – амплітудне значення сили струму.

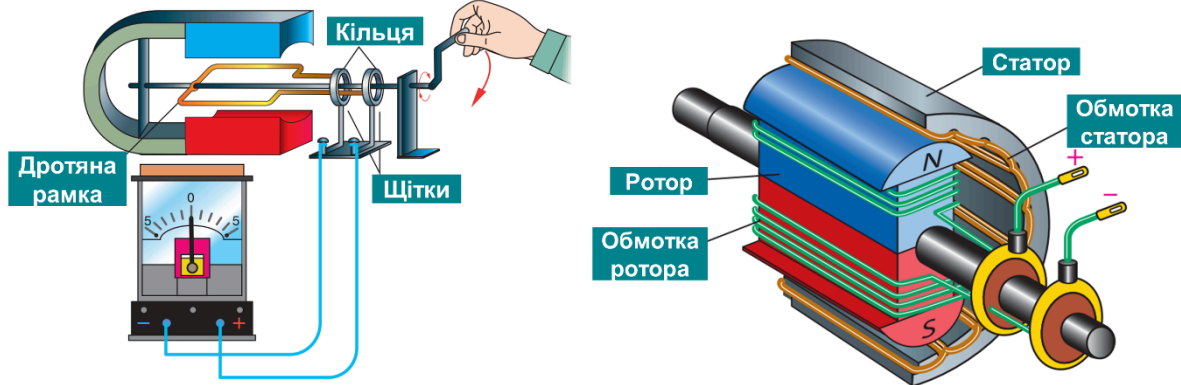
Оскільки струм змінний, волосок лампи має розжарюватись періодично. Однак, якщо частота зміни струму є досить великою, око людини не буде вловлювати змін розжарення, що ми й спостерігаємо в побутовій електричній мережі.

Зверніть увагу: в колах, які мають ємність та індуктивність, фази коливань сили струму та ЕРС не збігаються, тому в загальному випадку миттєве значення сили струму обчислюють за формулою:

$$i(t) = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0)$$

4. Генератор змінного струму

Найпростіший індукційний генератор змінного струму складається з металевого осердя, в пази якого вкладено обмотку; кінці обмотки з'єднані з кільцями, до кожного з яких притиснута щітка для відведення напруги до споживача; осердя з обмоткою обертається в магнітному полі нерухомого постійного магніту або електромагніту. Обертову частину генератора називають *ротором*, нерухому частину – *статором*.



Швидкість обертання ротора можна зменшити, якщо використати електромагніт, що має декілька пар магнітних полюсів. Частота ν змінного струму, який виробляє генератор, пов'язана з обертовою частотою n ротора генератора співвідношенням: $\nu = pn$

p – кількість пар магнітних полюсів генератора.

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАНЬ І ВМІНЬ

1. За графіком залежності ЕРС індукції від часу (див. рисунок) визначте максимальне значення ЕРС, період і частоту її коливань.

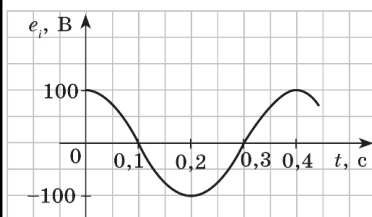
$\varepsilon_{\max}$ – ?

T – ?

ν – ?

Розв'язання

$$\varepsilon_{\max} = 100 \text{ В} \quad T = 0,4 \text{ с}$$



$$\nu = \frac{1}{T} \quad [\nu] = \frac{1}{\text{с}} = \text{Гц}$$

$$\nu = \frac{1}{0,4} = 2,5 \text{ (Гц)}$$

Відповідь: $\varepsilon_{\max} = 100 \text{ В}$; $T = 0,4 \text{ с}$; $\nu = 2,5 \text{ Гц}$.

2. Залежність напруги в колі змінного струму від часу виражена рівнянням $u = 220 \sin 100\pi t$ (В). Визначте амплітуду, період і частоту коливань напруги, а також її значення в момент часу 2,5 мс. Побудуйте графік залежності напруги від часу.

Дано:

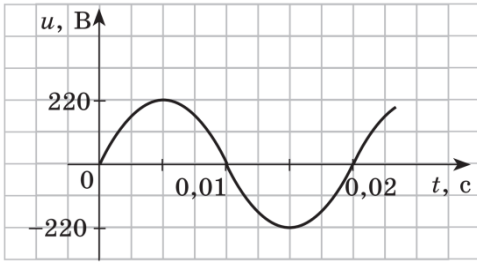
$$u = 220 \sin 100\pi t \text{ (В)}$$

$$t_1 = 2,5 \text{ мс} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

Розв'язання

$$u = 220 \sin 100\pi t$$

$$u(t) = U_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$U_{max} - ?$	$U_{max} = 220 \text{ В}$	$\omega = 100\pi \text{ с}^{-1}$
$T - ?$	$\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega}$	
$\nu - ?$	$[T] = \frac{1}{\text{с}^{-1}} = \text{с}$	$T = \frac{2\pi}{100\pi} = 0,02 \text{ (с)}$
$u(t_1) - ?$	$\nu = \frac{1}{T}$	$[\nu] = \frac{1}{\text{с}} = \text{Гц}$
$u(t) - ?$	$\nu = \frac{1}{0,02} = 50 \text{ (Гц)}$	
	$u(t_1) = 220 \cdot \sin \sin 100\pi \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \approx 156 \text{ (В)}$	
		
	Відповідь: $U_{max} = 220 \text{ В}; T = 0,02 \text{ с}; \nu = 50 \text{ Гц};$ $u(t_1) \approx 156 \text{ В}.$	

3. Рамка площею 200 см^2 , що складається з 100 витків проводу, обертається в однорідному магнітному полі з індукцією 10 мТл. Визначте максимальне значення ЕРС, що виникає в рамці, якщо кут між нормаллю до площини рамки та вектором магнітної індукції дорівнює нулю. Період обертання 0,1 с.

Дано:

$$S = 200 \text{ см}^2 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$$

$$N = 100$$

$$B = 10 \text{ мТл} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$$

$$T = 0,1 \text{ с}$$

$$\alpha = 0$$

Розв'язання

Оскільки у початковий момент часу магнітний потік, що пронизує контур, є максимальним, то рівняння коливальних магнітного потоку має вигляд:

$$\Phi(t) = BS \cos \omega t$$

Згідно із законом Фарадея, в рамці виникне ЕРС індукції:

$$e(t) = -N\Phi'(t) = -N(BS \cos \omega t)'$$

$$= -N(-BS\omega \sin \omega t) = NBS\omega \sin \omega t = \varepsilon_{max} \sin \omega t$$

$$\varepsilon_{max} = NBS\omega \quad \omega = \frac{2\pi}{T} \quad \varepsilon_{max} = \frac{2\pi NBS}{T}$$

$$[\varepsilon_{max}] = \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}^2}{\text{с}} = \frac{\frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} \cdot \text{м}^2}{\text{с}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{Дж}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \text{В}$$

$$\varepsilon_{max} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 100 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-2}}{0,1} = 1,256 \text{ (В)}$$

Відповідь: $\varepsilon_{max} = 1,256 \text{ В}.$

4. Амплітуда змінного струму 100 мА, період коливальних сили струму 4 с. Запишіть рівняння залежності сили струму від часу $i = i(t)$. Визначте силу струму при фазі $\pi/3$, а також у момент часу 0,25 с.

Дано:

$$I_{max} = 100 \text{ мА} = 0,1 \text{ А}$$

$$T = 4 \text{ с}$$

$$\varphi_1 = \frac{\pi}{3}$$

$$t_1 = 0,25 \text{ с}$$

$$\varphi_0 = 0$$

$$i = i(t) - ?$$

$$i(\varphi_1) - ?$$

$$i(t_1) - ?$$

Розв'язання

$$i(t) = I_{max} \sin \sin (\omega t + \varphi_0)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad i = 0,1 \sin \sin \frac{2\pi}{4} t = 0,1 \sin \sin \frac{\pi t}{2} \text{ (А)}$$

$$i(\varphi) = I_{max} \sin \sin \varphi \quad i(\varphi_1) = 0,1 \cdot \sin \sin \frac{\pi}{3} = 0,0866 \text{ (А)}$$

$$i(t_1) = 0,1 \sin \sin \frac{\pi \cdot 0,25}{2} = 0,038 \text{ (А)}$$

$$\text{Відповідь: } i = 0,1 \sin \sin \frac{\pi t}{2} \text{ (А); } i(\varphi_1) = 87 \text{ мА;}$$

$$i(t_1) = 38 \text{ мА.}$$

5. Частота змінного струму, який виробляє генератор, 300 Гц. З якою частотою (в об/хв) повинен обертатися ротор генератора такого струму, якщо він має: а) одну пару полюсів; б) 5 пар полюсів?

Дано:

$$\nu = 300 \text{ Гц}$$

$$p_1 = 1$$

$$p_2 = 5$$

$$n_1 - ?$$

$$n_2 - ?$$

Розв'язання

Частота ν змінного струму, який виробляє генератор, пов'язана з обертовою частотою n ротора генератора співвідношенням: $\nu = pn$
 p – кількість пар магнітних полюсів генератора.

$$n = \frac{\nu}{p} \quad [n] = \text{Гц} = \frac{1}{\text{с}}$$

$$n_1 = \frac{300}{1} = 300 \left(\frac{1}{\text{с}} \right) \quad n_2 = \frac{300}{5} = 60 \left(\frac{1}{\text{с}} \right)$$

$$\text{Відповідь: } n_1 = 18000 \frac{\text{об}}{\text{хв}}; n_2 = 3000 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

6. Індукція магнітного поля між полюсами двополюсного генератора 1 Тл. Обмотка ротора генератора має 100 витків проводу і обмежує площу 600 см². З якою частотою обертається ротор генератора, якщо максимальне значення ЕРС індукції 200 В? Якою буде частота обертання ротора, якщо він матиме 8 полюсів?

Дано:

$$B = 1 \text{ Тл}$$

$$N = 100$$

$$S = 600 \text{ см}^2$$

$$= 6 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$$

$$\varepsilon_{max} = 200 \text{ В}$$

$$p_1 = 1$$

$$p_2 = 4$$

$$n_1 - ?$$

Розв'язання

Нехай магнітний потік через кожен виток рамки змінюється за законом:

$$\Phi(t) = BS \cos \cos \omega t$$

Згідно із законом Фарадея, в рамці виникне ЕРС індукції:

$$e(t) = -N\Phi'(t) = -N(BS \cos \cos \omega t)' = -N(-BS\omega \sin \sin \omega t) = NBS$$

$$\varepsilon_{max} = NBS\omega \quad \omega = 2\pi\nu \quad \varepsilon_{max} = 2\pi\nu NBS$$

$$\nu = \frac{\varepsilon_{max}}{2\pi NBS}$$

Частота ν змінного струму, який виробляє генератор, пов'язана з обертовою частотою n ротора генератора співвідношенням: $\nu = pn$

p – кількість пар магнітних полюсів генератора.

$$pn = \frac{\varepsilon_{max}}{2\pi NBS} \Rightarrow n = \frac{\varepsilon_{max}}{2\pi NBS p}$$

$$n_2 - ?$$

$$[n] = \frac{B}{T \cdot M^2} = \frac{\frac{Дж}{Кл}}{\frac{Н}{А \cdot м} \cdot M^2} = \frac{\frac{Н \cdot м}{А \cdot с}}{\frac{Н \cdot м}{А}} = \frac{1}{с}$$

$$n_1 = \frac{200}{2 \cdot 3,14 \cdot 100 \cdot 1 \cdot 6 \cdot 10^{-2} \cdot 1} \approx 5,3 \left(\frac{1}{с} \right)$$

$$n_2 = \frac{200}{2 \cdot 3,14 \cdot 100 \cdot 1 \cdot 6 \cdot 10^{-2} \cdot 4} \approx 1,33 \left(\frac{1}{с} \right)$$

$$\text{Відповідь: } n_1 \approx 318,5 \frac{\text{об}}{\text{хв}}; n_2 \approx 79,6 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

V. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ

Бесіда за питаннями

1. Дайте означення вимушених електромагнітних коливань.
2. Який струм називають змінним?
3. Чому в рамці, що обертається в магнітному полі, виникає змінна ЕРС?
4. Чи залежить, і якщо залежить, то як, максимальне значення змінної ЕРС від кутової швидкості обертання рамки? площі рамки? кількості витків у рамці? опору рамки?
5. Чому в рамці, якщо її замкнути, виникає струм? Від яких чинників залежить сила цього струму? Що в такому колі є джерелом струму?
6. Опишіть будову найпростішого генератора змінного струму. Чому такі типи генераторів не набули широкого застосування?
7. Опишіть будову й основні особливості сучасних генераторів змінного струму.

VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Опрацювати § 19, Вправа № 19 (1, 2)

Додаткові задачі

1. За графіком залежності сили змінного струму від часу (див. рисунок) визначте амплітуду, період і частоту коливань сили струму.

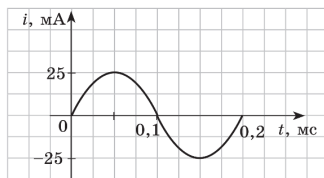
$$I_{\max} - ?$$

Розв'язання

$$I_{\max} = 25 \text{ мА} \quad T = 0,2 \text{ мс}$$

$$T - ?$$

$$\nu - ?$$



$$\nu = \frac{1}{T} \quad [\nu] = \frac{1}{с} = \text{Гц}$$

$$\nu = \frac{1}{0,2 \cdot 10^{-3}} = 5 \cdot 10^3 \text{ (Гц)}$$

$$\text{Відповідь: } I_{\max} = 25 \text{ мА}; T = 0,2 \text{ мс}; \nu = 5 \text{ кГц}.$$

2. Сила струму змінюється відповідно до рівняння $i = 5 \cos \cos 200\pi t$ (А). Визначте максимальне значення сили змінного струму, період і частоту його коливань, а також силу струму в момент часу 2,5 с. Побудуйте графік коливань сили струму.

Дано:

$$i = 5 \cos \cos 200\pi t$$

Розв'язання

$$i = 5 \cos \cos 200\pi t \quad i(t) = I_{\max} \cos \cos (\omega t + \varphi_0)$$

$$t_1 = 2,5 \text{ с}$$

$$I_{\max} = 5 \text{ А} \quad \omega = 200\pi \text{ с}^{-1}$$

$$I_{\max} - ?$$

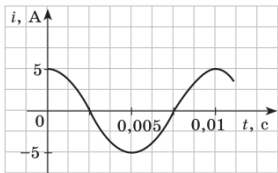
$$\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$[T] = \frac{1}{с^{-1}} = \text{с} \quad T = \frac{2\pi}{200\pi} = 0,01 \text{ (с)}$$

$$T - ? \quad \nu - ?$$

$$\nu = \frac{1}{T} \quad [\nu] = \frac{1}{с} = \text{Гц} \quad \nu = \frac{1}{0,01} = 100 \text{ (Гц)}$$

$$i(t_1) = 5 \cos \cos 200\pi \cdot 2,5 = 5 \text{ (А)}$$



$i(t_1) = ?$ $i(t) = ?$

Відповідь: $I_{max} = 5 \text{ A}$; $T = 0,01 \text{ c}$; $\nu = 100 \text{ Гц}$; $i(t_1) = 5 \text{ A}$.

3. Скільки витків проводу треба намотати на рамку площею 400 см^2 , що обертається зі швидкістю 300 об/хв в однорідному магнітному полі з індукцією $0,5 \text{ Тл}$, щоб максимальне значення ЕРС індукції дорівнювало $31,5 \text{ В}$?

Дано:

$$S = 400 \text{ см}^2 = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$$

$$n = 300 \frac{\text{об}}{\text{хв}} = 5 \frac{\text{об}}{\text{с}}$$

$$B = 0,5 \text{ Тл}$$

$$\varepsilon_{max} = 31,5 \text{ В}$$

$N = ?$

Розв'язання Нехай магнітний потік через кожен виток рамки

змінюється за законом: $\Phi(t) = BS \cos \omega t$

Згідно із законом Фарадея, в рамці виникне ЕРС індукції:

$$e(t) = -N\Phi'(t) = -N(BS \cos \omega t)' = -N(-BS\omega \sin \omega t)$$

$$\varepsilon_{max} = NBS\omega \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi n \quad \varepsilon_{max} = 2\pi NBSn$$

$$N = \frac{\varepsilon_{max}}{2\pi BSn}$$

$$N = \frac{31,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \cdot 4 \cdot 10^{-2} \cdot 5} \approx 50$$

Відповідь: $N \approx 50$.

4. У колі змінного струму із частотою 2 кГц амплітудне значення напруги 50 В . Через який мінімальний проміжок часу після нульового значення напруга дорівнюватиме 25 В ?

Дано:

$$\nu = 2 \text{ кГц} = 2 \cdot 10^3 \text{ Гц}$$

$$U_{max} = 500 \text{ В}$$

$$u(t_1) = 25 \text{ В}$$

$t_1 = ?$

Розв'язання $u(t) = U_{max} \sin(\omega t + \varphi_0)$

$$\omega = 2\pi\nu \quad [\omega] = \text{Гц} = \text{с}^{-1} \quad \omega = 2\pi \cdot 2 \cdot 10^3 = 4 \cdot 10^3 \pi (\text{с}^{-1})$$

$$u = 50 \sin \sin 4 \cdot 10^3 \pi t \text{ (В)}$$

$$25 = 50 \sin \sin 4 \cdot 10^3 \pi t_1 \quad \sin \sin 4 \cdot 10^3 \pi t_1 = 0,5$$

$$4 \cdot 10^3 \pi t_1 = \frac{\pi}{6} \quad t_1 = \frac{1}{6 \cdot 4 \cdot 10^3} \approx 0,04 \cdot 10^{-3} (\text{с})$$

Відповідь: $t_1 \approx 0,04 \text{ мс}$.

5. Дванадцятиполюсний ротор генератора змінного струму обертається із частотою 1200 об/хв . Визначте частоту струму, який виробляє генератор.

Дано:

$$p = 6$$

$$n = 1200 \frac{\text{об}}{\text{хв}} = 20 \frac{1}{\text{с}}$$

$\nu = ?$

Розв'язання

Частота ν змінного струму, який виробляє генератор, пов'язана з обертовою частотою n ротора генератора співвідношенням: $\nu = pn$

p – кількість пар магнітних полюсів генератора.

$$[\nu] = \frac{1}{\text{с}} = \text{Гц} \quad \nu = 6 \cdot 20 = 120 (\text{Гц})$$

Відповідь: $\nu = 120 \text{ Гц}$.