

Тема уроку: *Змінний струм.*

Мета уроку: *навчальна* – ознайомити учнів з поняттям змінного струму

розвивальна – формувати в учнів вміння користуватися науково-популярною літературою та виявлення творчих здібностей при розв'язуванні вправ;

виховна – виховати точність і чіткість при відповідях і розв'язуванні завдань.

Тип уроку: урок вивчення нового матеріалу

План уроку

1. Обертання прямокутної рамки в однорідному магнітному полі.
2. Змінний струм
3. Діючі значення сили струму
4. Потужність у колі змінного струму
5. Розв'язування задач

I. Організаційна частина (привітання, перевірка д/з)

II. Мотивація пізнавальної діяльності

Оголошення теми і мети уроку

III. Вивчення нового матеріалу

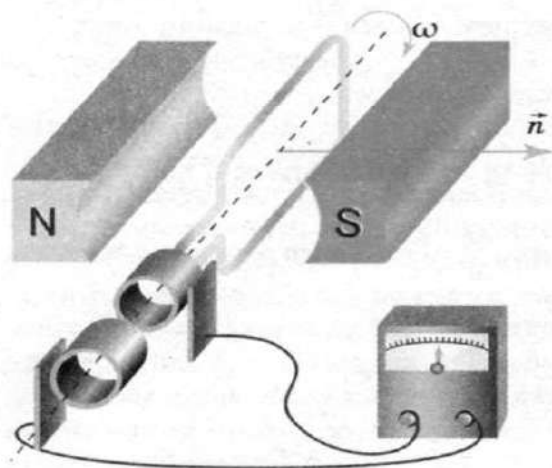
Обертання прямокутної рамки в однорідному магнітному полі. Розглянемо рамку, розміщену в однорідному магнітному полі. Досліджуючи явище електромагнітної індукції, ми з'ясували, що, у випадку обертання рамки в магнітному полі, в ній виникає індукційний струм. Дослідимо це явище детальніше.

Нехай у початковий момент часу рамка розташована так, що напрям нормалі \vec{n} до неї збігається з напрямом індукції магнітного поля \vec{B} , в якому рамка обертається (мал.147, а). Магнітний потік, який при цьому пронизує рамку, $\Phi_0 = BS$, має максимальне значення. Рамка обертається рівномірно з кутовою швидкістю ω за годинниковою стрілкою, отже у будь-який момент часу t кут повороту φ рамки $\varphi = \omega t$. Відповідно значення магнітного потоку, який про-

низує рамку, змінюється за законом $\Phi = BS \cos \omega t = \Phi_0 \cos \omega t$. Ця формула визначає зміну магнітного потоку через контур рамки площею S , яка рівномірно обертається в однорідному магнітному полі індукцією B з кутовою швидкістю ω .

Згідно із законом електромагнітної індукції в разі зміни магнітного потоку, що пронизує контур, виникає електрорушійна сила індукції $\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$.

Для швидкозмінних процесів слід брати $\Delta t \rightarrow 0$, тоді за означенням похідної: $\mathcal{E}_i = -\Phi'$. Формула для обчислення ЕРС індукції, що виникає в рамці, у будь-який момент часу t набуває вигляду $\mathcal{E}_i = -\Phi' = BS\omega \sin \omega t$.



Мал. 147. Обертання рамки в магнітному полі

Отже, за умови рівномірного обертання рамки в однорідному магнітному полі в ній виникає ЕРС індукції, яка з часом змінюється за синусоїдальним законом. Якщо рамка має N витків, то ЕРС індукції на її клеммах буде відповідно в N разів більшою, $\mathcal{E}_i = BSN\omega \sin \omega t$. Зрозуміло, що максимальних значень \mathcal{E}_i досягає в ті моменти, коли $\sin \omega t = \pm 1$. Тоді максимальне значення ЕРС індукції $\mathcal{E}_m = BS\omega$. За один оберт рамки електрорушійна сила змінює своє значення і знак двічі, тобто здійснює одне повне коливання.

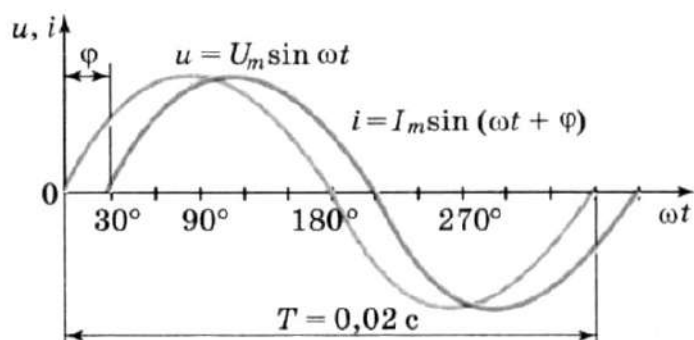
У 10 класі ми вивчали закони механічних коливань. Математичний опис електромагнітних коливань здійснюється аналогічно. Пригадаймо, у випадку коливальних рухів максимальні значення величин ще називають *амплітудними*, а значення, що вимірюються у будь-який момент часу – *миттєвими*. Зазвичай амплітудні значення величин записують великими літерами, миттєві – малими. Тоді закон зміни ЕРС можна записати так: $e = \mathcal{E}_m \sin \omega t$, де колова (циклічна) частота ω збігається з кутовою швидкістю обертання рамки у магнітному полі. Для кутової частоти справджуються формули: $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$, де ν – частота коливань, T – період коливань.

Змінний струм. Якщо рамку замкнути яким-небудь провідником, то в цьому провіднику виникне змінний струм.

➔ **Змінними** вважають струми, які змінюються як за значенням, так і за напрямком.

Такими, наприклад, є промислові струми (частота яких $\nu = 50$ Гц, тому їх ще називають низькочастотними), високочастотні струми, які використовуються в радіозв'язку тощо. Змінними, взагалі, називають будь-які струми, що змінюються з часом. Найпоширенішими і найважливішими в техніці є змінні струми, сила струму і напруга яких змінюються за законами синуса або косинуса. Найпростішим способом одержання низькочастотних змінних струмів є обертання рамки з провідників в однорідному магнітному полі (або навпаки – обертання магнітного поля, яке перетинає нерухомі провідники). Цей принцип закладено у роботу генераторів змінного струму (індукційних генераторів).

Якщо до генератора змінного струму, напруга на полюсах якого змінюється за законом $u = U_m \sin \omega t$, під'єднати будь-яке навантаження (наприклад, електричний двигун, батарею конденсаторів, нагрівальний прилад і т.і.), по колу проходить змінний струм $i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$, де φ – *зсув фаз* між коливаннями сили струму та напруги (мал. 148). Причиною виникнен-



Мал. 148. Графіки зміни напруги та сили змінного струму

ня зсуву фаз між струмом та напругою у загальному випадку є різний опір кола змінного струму (про це детальніше в наступних параграфах).

Діючі значення сили струму та напруги. У колі змінного струму напруга й сила струму весь час змінюються. Виникає запитання: якими значеннями сили струму чи напруги характеризувати цей струм? Середні значення сили струму й напруги за період дорівнюють нулю і не можуть бути їх характеристиками. Проте середнє значення квадрата сили струму за період відмінне від нуля. Пригадаємо, що кількість виділеного у провіднику тепла під час проходження по ньому постійного струму змінюється пропорційно квадрату сили струму, $Q \sim I^2$. Якщо сконструювати вимірювальний прилад (тепловий амперметр), відхилення стрілки якого буде пропорційним квадрату сили струму, то будучи включеним у коло змінного струму, він покаже певне значення. Який фізичний зміст цього показу?

Оскільки шкала приладу відградуєвана для постійного струму, то можна зробити висновок, що змінний струм за своїм тепловим ефектом еквівалентний постійному струму, силу якого показує стрілка приладу. Це дає змогу ввести характеристику змінного струму – *ефективне (або діюче) значення сили змінного струму*.



Ефективним (або діючим) значенням сили змінного струму називають силу такого постійного струму, який за один період змінного струму виділяє стільки ж тепла, скільки й змінний струм за той самий час.

Усі амперметри, призначені для змінного струму, показують ефективне значення сили струму.

Оскільки середнє за період значення квадрата сили струму становить $\frac{I_m^2}{2}$,

то корінь квадратний з цього виразу і буде визначати діюче значення сили струму $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$. Так само визначаються і діючі значення напруги та ЕРС

змінного струму: $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$, $\mathcal{E} = \frac{\mathcal{E}_m}{\sqrt{2}}$.

У США та Канаді, наприклад, стандартна напруга мережі змінного струму дорівнює 120 В, що відповідає 170 В амплітудного значення. У Європі ефективна напруга 240 В, амплітудна відповідно – 340 В. У нашій країні ефективна напруга 220 В, амплітудна – 310 В. Усі вольтметри, призначені для змінного струму, показують ефективні значення ЕРС і напруги.

Потужність у колі змінного струму. Як підрахувати потужність струму у цьому випадку? У колі постійного струму потужність визначається за формулою $P = UI$. Для кола змінного струму ця формула не застосовна, оскільки сила струму і напруга змінюються. Але сила струму і напруга мають постійні амплітудні значення і змінюються за однаковими законами, отже і середнє значення потужності за будь-який період і за будь-яке число періодів буде однаковим. Внаслідок чого і середня потужність у колі змінного струму буде постійною. Отже, щоб знайти потужність змінного струму, достатньо визначити середньою потужність за один період $P = \frac{A}{T}$,

де A – середня робота струму за період T .

Щоб визначити роботу змінного струму за період скористаємось таким способом. Розіб'ємо період на велику кількість дуже маленьких інтервалів часу Δt . Тоді на кожному такому інтервалі силу струму і напругу можна вважати постійними і середнє значення потужності струму буде визначатись миттєвими значеннями сили струму і напруги, $P = iu$.

Робота струму ΔA за малий інтервал часу Δt дорівнює $\Delta A = iu\Delta t = I_m \sin(\omega t + \varphi) \cdot U_m \sin \omega t \cdot \Delta t$.

Скориставшись формулою добутку синусів

$$\sin \alpha \sin \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) \cos(\alpha + \beta)],$$

можна записати

$$\Delta A = \frac{1}{2} I_m U_m \left[\cos \varphi - \cos 2\left(\omega t + \frac{\varphi}{2}\right) \right] \Delta t.$$

Робота струму за весь період дорівнює сумі робіт ΔA .

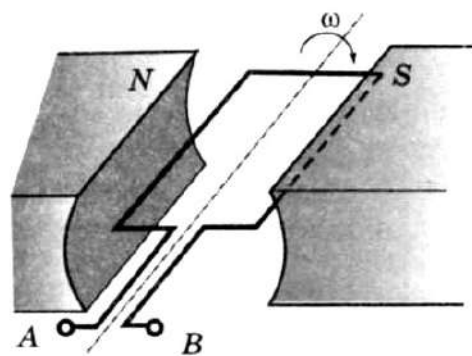
$$\begin{aligned} A &= \sum \frac{1}{2} I_m U_m \left[\cos \varphi - \cos 2\left(\omega t + \frac{\varphi}{2}\right) \right] \Delta t = \\ &= \sum \frac{1}{2} I_m U_m \Delta t \cos \varphi - \sum \frac{1}{2} I_m U_m \Delta t \cos 2\left(\omega t + \frac{\varphi}{2}\right). \end{aligned}$$

У цьому виразі $\frac{1}{2} I_m U_m \cos \varphi$ стала, і її можна винести за знак суми; сума косинусів подвійного кута за період дорівнює нулю, і $\sum \Delta t = T$. Отже робота струму за період становить $A = \frac{1}{2} I_m U_m T \cos \varphi$. Тоді середня потужність струму за період $P = \frac{1}{2} I_m U_m \cos \varphi$.



Дайте відповіді на запитання

1. Як можна отримати ЕРС, яка б змінювалась за законом синуса?
2. На мал. 149 зображено миттєве положення рамки, що обертається в магнітному полі. Визначити знаки потенціалів на виводах A і B рамки. Чи можна сказати, що чим більший миттєвий магнітний потік проходить через площу рамки, тим більша ЕРС індукується в ній?
3. Який струм називають змінним? Що таке діючі значення сили струму та напруги?



Мал. 149

Приклади розв'язування задач

Задача. В однорідному магнітному полі з індукцією $0,1$ Тл розміщено виток із провідника, площа контуру якого $0,1$ м², а опір 2 Ом, таким чином, що його площина перпендикулярна до ліній індукції. Виток замкнено на гальванометр. Повний заряд, що пройшов через гальванометр під час повороту витка, дорівнює $7,5 \cdot 10^{-3}$ Кл. На який кут повернули виток?

Дано:
 $B = 0,1 \text{ Тл}$
 $S = 0,1 \text{ м}^2$
 $R = 0,1 \text{ Ом}$
 $\Delta q = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ Кл}$
 $\alpha = ?$

Розв'язання

Заряд $\Delta q = I \Delta t$. За законом Ома сила струму $I = \frac{\mathcal{E}_1}{R}$.

ЕРС індукції \mathcal{E}_1 визначаємо за законом Фарадея:

$$\mathcal{E}_1 = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -\frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\Delta t} = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{\Delta t},$$

де $\Phi_1 = BS$ – потік магнітної індукції через площу контуру, що охоплює виток, на початку повороту; $\Phi_2 = BS \cos \alpha$ – кінцевий потік. Для індукційного заряду маємо вираз

$$\Delta q = \frac{(BS - BS \cos \alpha) \Delta t}{R \Delta t} = \frac{BS(1 - \cos \alpha)}{R},$$

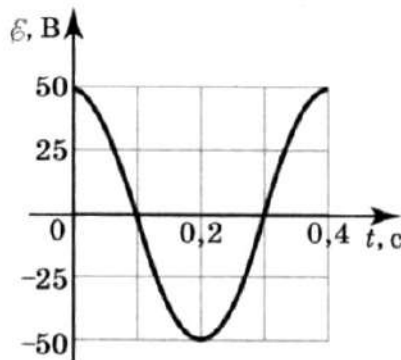
$$\cos \alpha = 1 - \frac{R \Delta q}{BS},$$

$$\cos \alpha = 1 - \frac{2 \text{ Ом} \cdot 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ Кл}}{0,1 \text{ Тл} \cdot 0,1 \text{ м}^2} = -0,5, \quad \alpha = 120^\circ.$$

Відповідь: 120° .

Вправа 18

- Під час обертання дротяної рамки в однорідному магнітному полі потік магнітної індукції, який пронизує її, змінюється залежно від часу за законом $\Phi = 0,01 \cos 10\pi t$ (усі величини задано в одиницях СІ). Обчислити похідну (Φ') і написати формулу залежності ЕРС від часу $e = e(t)$. В якому положенні була рамка на початку відліку часу? Яка частота обертання рамки? Чому дорівнюють максимальні значення магнітного потоку та ЕРС?
- Рамка, що має площу 200 см^2 , обертається з кутовою швидкістю 50 рад/с в однорідному магнітному полі, індукція якого $0,4 \text{ Тл}$. Написати формули залежності магнітного потоку та ЕРС від часу, якщо при $t = 0$ нормаль до площини рамки перпендикулярна до ліній індукції поля.
- За графіком (мал. 150) визначити амплітудне значення змінної ЕРС, її період та частоту. Записати формулу зміни ЕРС з часом.
- Зміну сили струму залежно від часу задано рівнянням $i = 5 \cos 200\pi t$. Визначити частоту та період коливань, амплітуду сили струму, а також значення сили струму при фазі $\frac{\pi}{3}$ рад.
- Яке значення напруги через 10 , 15 та 30 мс , якщо амплітуда напруги становить 200 В , а період 60 мс ?
- Неонова лампа починає світити, коли напруга на її електродах досягне строго визначеного значення. Яку частину періоду світитиме лампа, якщо її включити в мережу, діюче значення напруги в якій дорівнює цій напрузі?



Мал. 150



I

V. Підсумок уроку.

V. Домашнє завдання: опрацювати § 32 ст. 136-140, дати в-ді на питання після параграфа, впр. 18.1