

Змістовий модуль № 3. Змінний струм. Електромагнітні коливання
Тема 3.1 «Змінний струм»
Лекція № 8

План лекції

- 1 Змінний струм та його характеристики.
2. Трансформатор

1. Змінний струм та його характеристики

Явище електромагнітної індукції застосовується для перетворення механічної енергії в енергію електричного струму. Для цієї мети використовуються генератори, принцип дії яких можна розглянути на прикладі плоскої рамки, що обертається в одноріднім магнітнім полі (мал. 3.1).

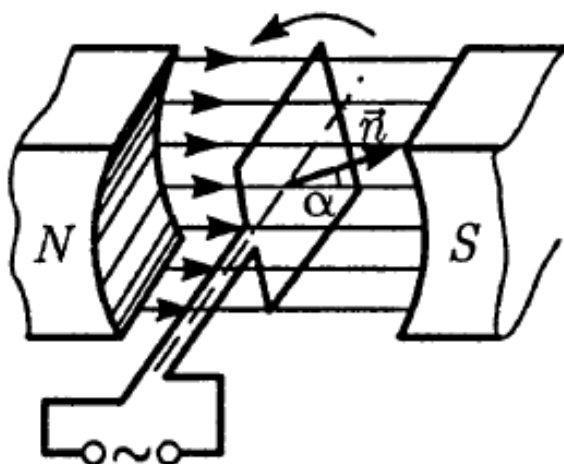


Рис. 3.1. Обертання рамки в магнітнім полі

Нехай рамка обертається в одноріднім магнітнім полі ($B = \text{const}$) рівномірно з кутовою швидкістю $\omega = \text{const}$. Магнітний потік, зчеплений з рамкою площею S , у будь-який момент часу t , рівний

$$\Phi = B_n S = BS \cos \alpha = BS \cos \omega t, \quad (3.1)$$

де $\alpha = \omega t$ - кут повороту рамки в момент часу t (початок відліку обраний так, щоб при $t = 0$ було $\alpha = 0$).

При обертанні рамки в ній буде виникати змінна ЕРС індукції

$$E_i = -\frac{d\Phi}{dt} = BS\omega \sin \omega t, \quad (3.2)$$

мінлива в часі за гармонійним законом.

ЕРС максимальна при $\sin \omega t = 1$, тобто

$$E_{\max} = BS\omega \quad (3.3)$$

Враховуючи (3.3), вираз (3.2) можна записати у вигляді

$$E_i = E_{\max} \sin \omega t . \quad (3.4)$$

Таким чином, якщо в одноріднім магнітнім полі рівномірно обертається рамка, то в ній виникає змінна ЕРС, що змінюється за гармонійним законом.

Електричний струм, який виникає під дією ЕРС, що змінюється за гармонійним законом, називається змінним струмом. Змінні ЕРС, струм, напруга міняють у часі свою величину й напрямок з певною частотою.

З формули (3.3) випливає, що E_{\max} (отже, і ЕРС індукції) перебуває в прямої залежності від величин ω , B й S . В Україні та решті Європи прийнята стандартна частота струму $f = \frac{\omega}{2\pi} = 50$ Гц (у США і Японії – 60 Гц), тому

можливе лише зростання двох інших величин. Для збільшення B застосовують потужні постійні магніти або в електромагнітах пропускають значний струм, а також усередину електромагніту поміщають сердечники з матеріалів з великою магнітною проникністю μ . Якщо обертати не один, а багато витків, з'єднаних послідовно, то тим самим збільшується S .

Процес перетворення механічної енергії в електричну оборотний. Якщо по рамці, поміщеній у магнітне поле, пропускати струм, то на неї буде діяти обертаючий момент і рамка почне обертатися. На цьому принципі заснована робота електродвигунів, призначених для перетворення електричної енергії в механічну.

2. Трансформатори

Принцип дії трансформаторів - обладнань, застосовуваних для підвищення або зниження напруги змінного струму, заснований на явищі взаємної індукції. Принципова схема трансформатора показана на мал. 3.2.

Первинна й вторинна котушки (обмотки), що мають відповідно N_1 й N_2 витків, укріплені на замкненому залізному сердечнику.

Через те, що кінці первинної обмотки приєднані до джерела змінної напруги з ЕРС, то в ній виникає змінний струм I_1 , що створює в сердечнику трансформатора змінний магнітний потік Φ , який практично повністю локалізований у залізному сердечнику й, отже, майже цілком пронизує витки вторинної обмотки. Зміна цього потоку викликає у вторинній обмотці появу ЕРС взаємної індукції, а в первинній - ЕРС самоіндукції.

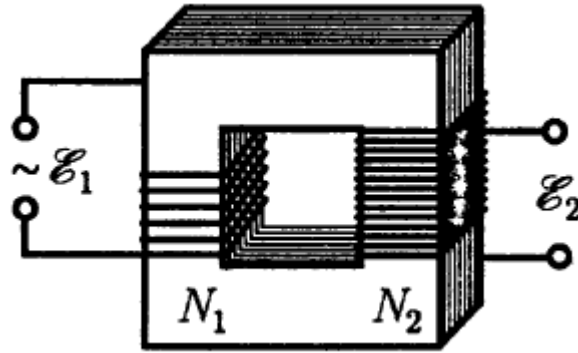


Рис. 3.2. Трансформатор

Струм первинної обмотки визначається згідно із законом Ома:

$$E_1 - \frac{d(N_1\Phi)}{dt} = I_1 R_1,$$

де R_1 - опір первинної обмотки. Спадання напруги на опорі при швидкоплинних полях мало в порівнянні з кожною із двох ЕРС, тому

$$E_1 \approx N_1 \frac{d\Phi}{dt}. \quad (3.5)$$

ЕРС взаємної індукції, що виникає у вторинній обмотці,

$$E_2 = -\frac{d(N_2\Phi)}{dt} = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (3.6)$$

Порівнюючи вираження (3.5) і (3.6), одержимо, що ЕРС, що виникає у вторинній обмотці, зменшується (або збільшується) порівняно з ЕРС первинної обмотки у кількість разів, що визначається співвідношенням

$$\frac{E_1}{E_2} = -\frac{N_1}{N_2} \quad (3.7)$$

де знак «-» показує, що ЕРС у первинній і вторинній обмотках протилежні по фазі.

Відношення числа витків $\frac{N_1}{N_2}$, що показує, у скільки разів ЕРС у вторинній обмотці трансформатора менше (або більше), чім в первинній, називається коефіцієнтом трансформації.

Зневажаючи втратами енергії, які в сучасних трансформаторах не перевищують 2 % і зв'язані в основному з виділенням в обмотках джоулевої теплоти й появою вихрових струмів, і застосовуючи закон збереження енергії, можемо вважати ЕРС обмоток приблизно рівними напругам на них ($E \approx U$) і

записати, що потужності струму в обох обмотках трансформатора практично однакові:

$$U_2 I_2 \approx U_1 I_1, \quad (3.8)$$

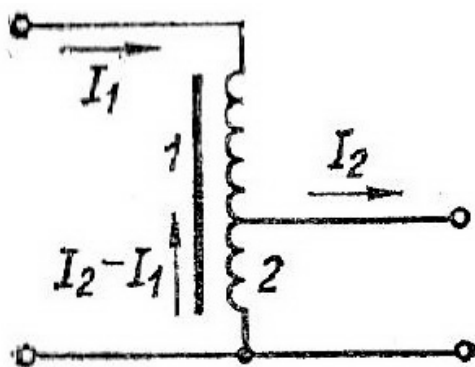
звідки, враховуючи співвідношення (10), знайдемо

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}, \quad (3.9)$$

т. ч. струми в обмотках обернено пропорційні числу витків у цих обмотках.

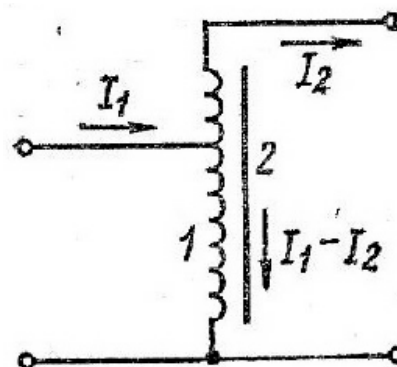
Якщо $\frac{N_1}{N_2} > 1$, то маємо справу з понижувальним трансформатором, що зменшують напругу і підвищують струм (застосовуються, наприклад, при електрозварюванні, тому що для неї потрібен великий струм при низькій напрузі); якщо $\frac{N_1}{N_2} < 1$, то маємо справу з підвищувальним трансформатором, що збільшують напругу і понижують струм (застосовуються, наприклад, для передачі електроенергії на великі відстані, тому що в цьому випадку втрати на джоулеву теплоту, пропорційні квадрату сили струму, знижуються).

Ми розглядали трансформатори, що мають тільки дві обмотки. Однак трансформатори, використовувані в радіопристроях, мають 4 - 5 обмоток, що мають різні робочі напруги. Трансформатор, що складається з однієї обмотки, називається автотрансформатором. У понижувальному автотрансформаторі (мал. 3.3 а) напруга мережі подається на всю обмотку, а вторинна ЕРС знімається із частини обмотки. У випадку підвищувального автотрансформатора (мал. 3.3 б) напруга підводиться до частини обмотки, а вторинна ЕРС знімається з усієї обмотки.



Мал. 3.3 а.

Понижувальний автотрансформатор



Мал. 3.3 б

Підвищувальний автотрансформатор

Питання для самоконтролю

1. Виведіть вираження для ЕРС індукції в плоскій рамці, що рівномірно обертається в одноріднім магнітнім полі. За рахунок чого її можна збільшити?
2. Приведіть співвідношення між струмами в первинній і вторинній обмотках підвищувального трансформатора.

Список літератури

1. Фирсов А.В. Физика для профессий и специальностей технического и естественно-научного профилей: учебник для образоват. учреждений нач. и сред. проф. образования / А.В.Фирсов; под ред. Т.И.Трофимовой. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 352 с. (§§ 146, 148, 151).
2. Трофимова Т.И. Курс физики. Учеб. пособие для вузов / Т.И.Трофимова. – Изд. 9-е, перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 560 с. (§§ 124, 129, 149).