Фізика 11

Урок 42 Виробництво, передача та використання енергії змінного струму. Трансформатор

Мета уроку:

Навчальна: Формувати уявлення про передачу електроенергії на відстань, пов'язані з цим проблеми та труднощі; формувати знання учнів про будову та принцип дії трансформатора, способи зменшення його втрат енергії; продовжити формувати навички і вміння учнів розв'язувати якісні, кількісні фізичні задачі.

Розвивальна. Розвивати пізнавальні навички учнів; вміння аналізувати навчальний матеріал, умову задачі, хід розв'язання задач; 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

Однією з основних переваг електричної енергії є те, що її можна передавати на великі відстані, наприклад, за допомогою проводів. Але під час передавання енергії неминучі її втрати, зокрема на нагрівання. Згідно із законом Джоуля – Ленца кількість теплоти, що виділяється в провідниках, дорівнює: $Q = I^2Rt$. Отже, зменшити втрати енергії на нагрівання можна: 1) зменшивши опір проводів; 2) зменшивши силу струму. Розглянемо, як ці можливості реалізують на практиці.

III. ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Чому напругу потрібно змінювати

Активний опір проводу визначається матеріалом, з якого він виготовлений, його *довжиною* та площею *поперечного перерізу*: $R = \rho\frac{l}{S}$. Для зменшення опору проводу слід зменшити питомий опір ρ матеріалу, або збільшити площу S поперечного перерізу проводу.

Збільшення площі поперечного перерізу призводить до значного збільшення маси проводів. Можна зменшити питомий опір, замінивши сталевий провід алюмінієвим, що й роблять у разі передавання електроенергії на великі відстані. Але це не розв'язує проблеми повністю: по-перше, порівняно зі сталлю алюміній досить дорого коштує; по-друге, передавання значної потужності ($P = UI$) за відносно невеликої напруги потребує досить великої сили струму.

Якщо ту саму потужність передавати за великої напруги (відповідно за малої сили струму), то втрати енергії значно зменшуються. Наприклад, збільшення напруги в 10 разів приведе до зменшення в 10 разів і сили струму, отже, кількість теплоти, що виділиться в проводах під час передавання, зменшиться в 100 разів.

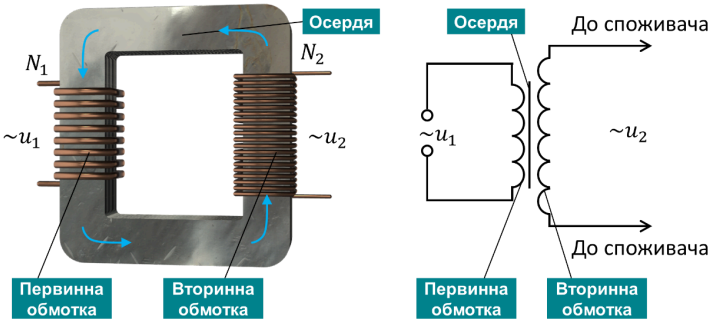
Саме тому *перед тим, як передати енергію на великі відстані, потрібно підвищити напругу*. І навпаки: *після того як енергія дійшла до споживача, напругу потрібно знизити.* Така зміна напруги здійснюється за допомогою *трансформаторів.*

2. Трансформатор. Принцип дії трансформатора

Проблемне питання

• Як побудований трансформатор і яким є принцип його дії?

Трансформатор – електромагнітний пристрій, що перетворює змінний струм однієї напруги на змінний струм іншої напруги за незмінної частоти.



Дія трансформатора ґрунтується на явищі електромагнітної індукції. Якщо первинну обмотку трансформатора підключено до джерела змінного струму, то струм, який іде в її витках, утворює в замкненому осерді змінний магнітний потік Ф. Пронизуючи витки первинної та вторинної обмоток, змінний магнітний потік створює ЕРС самоіндукції e_1 в первинній обмотці та ЕРС індукції e_2 у вторинній обмотці.

$$e_1 = -N_1\Phi'(t) \qquad e_2 = -N_2\Phi'(t)$$

Оскільки ЕРС створюється тим самим магнітним потоком, то різниця фаз між ЕРС індукції первинної та вторинної обмоток дорівнює нулю. Тому в будь-який момент часу:

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$$

e_1 і e_2 – миттєві значення ЕРС;

ε_1 і ε_2 – діючі значення ЕРС в первинній і вторинній обмотках відповідно.

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{-N_1\Phi'(t)}{-N_2\Phi'(t)} = \frac{N_1}{N_2}$$

Відношення діючих значень ЕРС, індукованих у первинній і вторинній обмотках трансформатора, дорівнює відношенню кількості витків в обмотках:

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2} = k$$

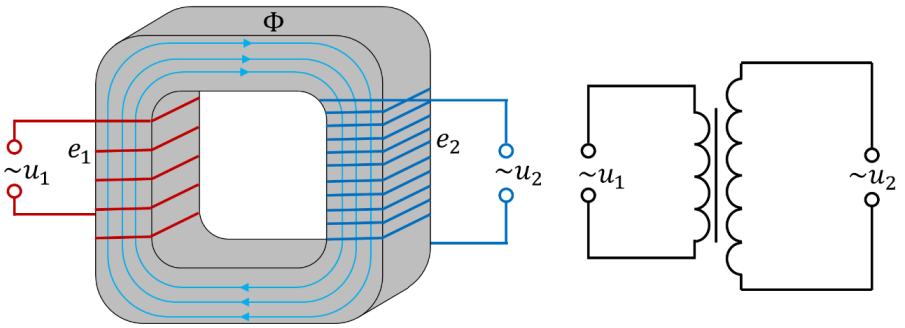
k – коефіцієнт трансформації.

Знижувальний трансформатор – це трансформатор в якого коефіцієнт трансформації більший за одиницю ($k > 1$). У знижувальних трансформаторах вторинна обмотка містить менше витків дроту, ніж первинна.

Підвищувальний трансформатор – це трансформатор в якого коефіцієнт трансформації менший за одиницю ($k < 1$). У підвищувальних трансформаторах вторинна обмотка містить більше витків дроту, ніж первинна.

3. Холостий хід трансформатора

Холостий хід трансформатора – це робота ненавантаженого трансформатора.



Первинна обмотка трансформатора підключена до джерела змінного струму напругою u_1. При цьому в обмотці виникає ЕРС самоіндукції e_1. Падіння напруги на первинній обмотці дорівнює: $i_1 r_1 = u_1 + e_1$, де r_1 – опір обмотки, який ми будемо вважати дуже маленьким. Тому в будь-який момент часу: $u_1 \approx -e_1$, отже, для діючих значень можна записати: $U_1 \approx \varepsilon_1$.

Для вторинної обмотки: $u_2 + e_2 = 0$, $u_2 = -e_2$, $U_2 \approx \varepsilon_2$.

Таким чином, у режимі холостого ходу виконується рівність:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2} = k$$

Якщо кількість витків у первинній обмотці більша, ніж у вторинній ($k > 1$), то трансформатор понижує напругу $(U_1 > U_2)$.

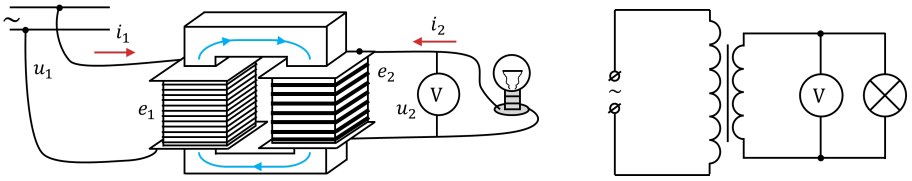
Якщо кількість витків у первинній обмотці менша, ніж у вторинній ($k < 1$), то трансформатор підвищує напругу $\left(U_1 < U_2\right)$.

4. Робота трансформатора під навантаженням

Проблемне питання

• Як працює навантажений трансформатор?

Якщо вторинну обмотку трансформатора замкнути на навантаження, то в ній виникне електричний струм. Цей струм спричинить зменшення магнітного потоку в осерді і, як наслідок, зменшення ЕРС самоіндукції в первинній обмотці. У результаті сила струму в первинній обмотці збільшиться і магнітний потік зросте до попереднього значення. Чим більшими є сила струму у вторинній обмотці й потужність, яка віддається споживачеві, тим більшими є струм у первинній обмотці й потужність, яка споживається від джерела.



Під час роботи навантаженого трансформатора для діючих значень напруги і сили струму справджується приблизна рівність:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1}$$

Це означає, що в підвищувальному трансформаторі сила струму більша в первинній обмотці $\left(U_1 < U_2 \Rightarrow I_1 > I_2\right)$, а в понижувальному трансформаторі сила струму більша у вторинній обмотці $\left(U_1 > U_2 \Rightarrow I_2 > I_1\right)$.

Якщо трансформатор ідеальний (втрати енергії дорівнюють нулю), то у скільки разів він збільшує напругу, у стільки ж разів він зменшує силу струму, і навпаки.

5. ККД трансформатора

У трансформаторі, як і в будь-якому іншому технічному пристрої, існують певні втрати енергії.

Коефіцієнт корисної дії трансформатора – це відношення потужності P_2, яку трансформатор віддає споживачеві електричної енергії, до потужності P_1, яку трансформатор споживає з електричної мережі.

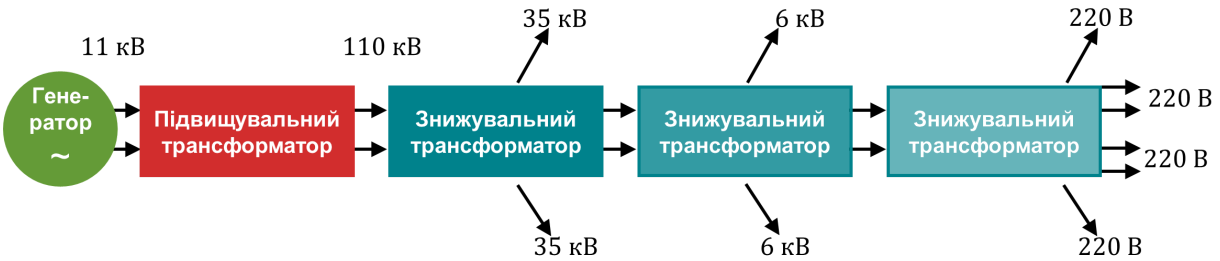
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%$$

6. Застосування трансформаторів

Підвищувальні трансформатори розташовують поблизу генераторів змінного струму, встановлених на електростанціях. Це дозволяє передавати електроенергію на великі відстані за високих напруг (понад 500 кВ), завдяки чому втрати енергії в проводах значно зменшуються.

У місцях споживання електроенергії встановлюють знижувальні трансформатори, в яких висока напруга, що подається від високовольтних ліній електропередачі, знижується до порівняно невеликих значень, за яких працюють споживачі електричної енергії.

Окрім систем передачі та розподілу електроенергії трансформатори застосовують у випрямних пристроях, у лабораторіях, для живлення радіоапаратури, приєднання електровимірювальних приладів до кіл високої напруги, електрозварювання тощо.



IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАНЬ І ВМІНЬ

1. Трансформатор підвищує напругу від 220 до 660 В і містить у первинній обмотці 840 витків. Визначити коефіцієнт трансформації. Скільки витків міститься у вторинній обмотці?

Дано:

$U_1 = 220$ В

$U_2 = 660$ В

$N_1 = 840$

k – ?

N_2 – ?

Розв'язання

$$k = \frac{U_1}{U_2} \qquad [k] = \frac{\text{В}}{\text{В}} = 1 \qquad k = \frac{220}{660} = \frac{1}{3}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \qquad => \qquad N_2 = \frac{U_2 N_1}{U_1}$$

$$[N_2] = \frac{\text{В}}{\text{В}} = 1 \qquad N_2 = \frac{660 \cdot 840}{220} = 2520$$

Відповідь: $k = \frac{1}{3}$; $N_2 = 2520$.

2. Первинна обмотка підвищувального трансформатора ввімкнена в мережу змінного струму з напругою 120 В. Напруга на вторинній обмотці 2400 В, а сила струму в ній 2 А. Визначте силу струму в первинному колі, а також вхідну й вихідну потужності, вважаючи, що втрат енергії в трансформаторі немає.

Дано:

$U_1 = 120$ В

$U_2 = 2400$ В

$I_2 = 2$ А

I_1 – ?

P_1 – ?

P_2 – ?

Розв'язання

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \qquad => \qquad I_1 = \frac{U_2 I_2}{U_1}$$

$$[I_1] = \frac{\text{В}\cdot\text{А}}{\text{В}} = \text{А} \qquad => \qquad I_1 = \frac{2400 \cdot 2}{120} = 40 \text{ (А)}$$

$$P = UI \qquad [P] = \text{В}\cdot\text{А} = \text{Вт}$$

$$P_1 = 120 \cdot 40 = 4800 \text{ (Вт)}$$

$$P_2 = 2400 \cdot 2 = 4800 \text{ (Вт)}$$

Відповідь: $I_1 = 40$ А; $P_1 = P_2 = 4,8$ кВт.

3. Сила струму в первинній обмотці понижувального трансформатора 0,6 А, а напруга на вході 120 В. Визначите ККД трансформатора, якщо напруга на вторинній обмотці 12 В, а сила струму в ній 4,8 А.

Дано:

$I_1 = 0,6$ А

$U_1 = 120$ В

$U_2 = 12$ В

$I_2 = 4,8$ А

η – ?

Розв'язання

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \qquad P_1 = U_1 I_1 \qquad P_2 = U_2 I_2$$

$$\eta = \frac{U_2 I_2}{U_1 I_1} \qquad [\eta] = \frac{\text{В}\cdot\text{А}}{\text{В}\cdot\text{А}} = 1 \qquad \eta = \frac{12 \cdot 4,8}{120 \cdot 0,6} = 0,8$$

Відповідь: $\eta = 80$ %.

V. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ

Бесіда за питаннями

1. У чому перевага електричної енергії порівняно з іншими видами енергії?

2. Які основні способи зменшення втрат енергії під час її передачі?

3. Що таке трансформатор? Яка його будова? На якому явищі ґрунтується його дія?

4. Опишіть фізичні процеси, що відбуваються в трансформаторі в режимі холостого ходу; в режимі навантаження.

5. Як визначити коефіцієнт трансформації?

6. Який трансформатор називають знижувальним? підвищувальним? Де застосовують такі трансформатори?

7. Чому трансформатори не можна під'єднувати до джерел постійного струму?

8. Які основні втрати енергії під час роботи трансформатора? Як їх зменшити?

9. Як визначити ККД трансформатора?

VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Опрацювати § 21, Вправа № 21 (2, 3)

Додаткові задачі

1. Який коефіцієнт трансформації має трансформатор, що підвищує напругу з 380 В до 1900 В?

Дано: $U_1 = 380$ В $U_2 = 1900$ В	***Розв'язання*** $k = \frac{U_1}{U_2}$ $[k] = \frac{\text{В}}{\text{В}} = 1$ $k = \frac{380}{1900} = 0,2$ ***Відповідь:*** $k = 0,2$.
$k - ?$	

2. Вхідна потужність трансформатора 1,1 кВт. Визначте силу струму у вторинній обмотці, якщо напруга на ній 400 В, а втратами енергії можна знехтувати.

Дано: $P_1 = 1,1$ кВт $= 1100$ Вт $U_2 = 400$ В	***Розв'язання*** $P_1 = P_2 = U_2 I_2 \quad => \quad I_2 = \frac{P_1}{U_2}$ $[I_2] = \frac{\text{Вт}}{\text{В}} = \frac{\text{В·А}}{\text{В}} = \text{А}$ $I_2 = \frac{1100}{400} = 2,75$ (А)
$I_2 - ?$	***Відповідь:*** $I_2 = 2,75$ А.