

Урок 1: Загальні відомості про трансформатори

Трансформатор — статичний електромагнітний пристрій, що має дві або більше індуктивно зв'язані обмотки і призначений для перетворення за допомогою електромагнітної індукції однієї або кількох систем (напруг) змінного струму в одну або декілька інших систем (напруг) змінного струму без зміни частоти системи (напруги) змінного струму

Трансформатори широко застосовуються в лініях електропередач, в розподільних та побутових пристроях. На високій напрузі й з малою силою струму передавання електроенергії відбувається з меншими втратами. Тому, зазвичай лінії електропередач є високовольтними. Водночас побутові й промислові машини вимагають великої сили струму й невеликої напруги, тож перед споживанням електроенергія перетворюється на низьковольтну. Трансформатори знайшли застосування також у різних випрямних, підсилювальних, сигналізаційних та інших пристроях.

Призначення та принцип дії

Перетворення напруги: Основна функція трансформатора – змінювати напругу змінного струму (збільшувати або зменшувати), що дозволяє передавати електроенергію з мінімальними втратами лініями електропередач, а потім знижувати її для споживання споживачами.

Електромагнітна індукція: Робота трансформатора базується на явищі електромагнітної індукції, коли змінний струм в первинній обмотці створює змінний магнітний потік у магнітопроводі, який індукуює електрорушійну силу (ЕРС) у вторинній обмотці.

Конструкція та компоненти

Найпростіший трансформатор складається з:

Магнітопровід: Це замкнута сталева основа, яка створює шлях для магнітного потоку, зв'язуючи обмотки.

Обмотки: Дві або більше індуктивно зв'язаних обмоток з ізольованого проводу, розташованих на магнітопроводі.

Первинна обмотка: До неї підключається джерело змінного струму.

Вторинна обмотка: Втворює напругу, яка використовується споживачами.

Застосування

Трансформатори мають широке застосування в:

Енергетиці: Для передачі та розподілу електроенергії на великі відстані та підключення до побутових мереж.

Побутовій техніці: В блоках живлення, зарядних пристроях та інших електронних пристроях.

Промисловості: В різноманітних установках для перетворення напруги.

Основні характеристики

Частота: Трансформатор не змінює частоту змінного струму.

Коефіцієнт корисної дії (ККД): Сучасні трансформатори, особливо великої потужності, мають дуже високий ККД, який може досягати 0,95–0,996.

Однією з важливих переваг електричної енергії є зручне і просте передавання її від генератора до споживача.

Проте воно пов'язане із значними втратами в проводах внаслідок їх нагрівання.

Потужність струму, яка йде на нагрівання проводів, дорівнює $P = I^2 R$, де I — сила струму в лінії, R — опір проводів лінії.

Ця формула вказує на два можливі шляхи зменшення теплових втрат у проводах лінії передач:

- 1) зменшення опору проводів;
- 2) використання струму меншої сили.

Істотно зменшити опір проводів лінії можна лише за рахунок збільшення їх поперечного перерізу. А це веде до збільшення вартості ліній, тому такий спосіб зменшення втрат неприйнятний. На практиці ефективно зменшення втрат енергії на нагрівання проводів досягається зменшенням сили струму.

Нехай, наприклад, необхідно передати електроенергію потужністю 10^5 кВт по лінії, опір якої $R = 50$ Ом (такий опір має двопровідна лінія передачі з мідного дроту діаметром 1 см завдовжки приблизно 150 км), з втратами на нагрівання проводів лінії 1 % ($P_{\text{вт}} = 10^3$ кВт). У цьому випадку потужність має передаватися струмом силою:

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} \approx 140 \text{ A}$$

Отже, напруга в лінії має бути :

$$U = \frac{P}{I} \approx 700000 \text{ В}$$

Цей приклад показує, що для передачі великої потужності за допомогою порівняно слабких струмів напруга має бути дуже високою. Однак конструювати генератори (а також різні споживачі електричної енергії), розраховані на високі напруги, дуже складно, оскільки необхідно забезпечити добру ізоляцію обмоток, не кажучи вже про те, що широке споживання електричної енергії за такої високої напруги взагалі неприпустиме через небезпеку враження людини струмом. Тому електричні генератори будують на напругу 6—25 тисяч вольт, а потім цю напругу підвищують за допомогою трансформаторів. У місцях споживання електроенергії

струм високої напруги перетворюють в струми низької напруги (110 В, 220 В, 380 В і т. д.

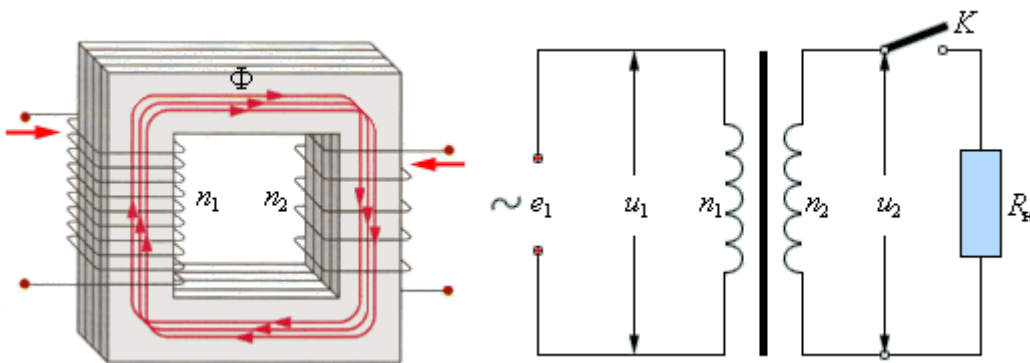
Електричний струм ніколи би не дістав такого широкого використання, якби його не можна було перетворювати майже без втрат енергії.

Перетворення змінного струму, за якого напруга збільшується або зменшується в кілька разів практично без втрати потужності, здійснюється за допомогою трансформаторів.

Трансформатор – пристрій для зміни величини сили струму і напруги змінного струму при незмінній частоті.

2. Будова трансформатора.

У найпростішому випадку трансформатор складається з двох котушок (обмоток), надітих на замкнуте осердя. Одна з обмоток – первинна – з'єднана з джерелом змінної напруги. Друга обмотка – вторинна – до якої приєднують навантаження, тобто прилади й пристрої, які споживають електроенергію (мал.1).



мал.1

Осердя набирається з тонких ізольованих листів трансформаторної сталі для боротьби із струмами Фуко.

3. Трансформатор на холостому ході.

Режим роботи трансформатора, при якому вторинна обмотка розімкнута, називається режимом холостого ходу.

Дія трансформатора ґрунтується на явищі електромагнітної індукції. Під час проходження змінного струму по первинній обмотці в осердді виникає змінний магнітний потік. Магнітний потік, пронизуючи витки вторинної обмотки трансформатора, індукуює в ній ЕРС. Під дією ЕРС по вторинній обмотці і через приймач енергії протікатиме струм. Отже, електрична енергія, трансформуючись, передається з первинного кола у вторинне, але з іншою напругою, на яку розрахований приймач енергії, ввімкнений у вторинне коло. Осердя з трансформаторної сталі концентрує магнітне поле, і магнітний потік існує практично тільки в самому осердді; він однаковий в усіх його перерізах.

Миттєве значення ЕРС індукції у будь-якому витку первинної чи вторинної обмотки є однаковим. У первинній обмотці, що має n_1 витків, повна ЕРС індукції $\mathcal{E}_1$ дорівнює $n_1 \cdot \mathcal{E}$. У вторинній обмотці повна ЕРС $\mathcal{E}_2$ дорівнює $n_2 \cdot \mathcal{E}$. Звідси випливає, що

$$\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Звичайно активний опір обмоток трансформатора малий, і ним можна знехтувати. У такому випадку модуль напруги на затискачах котушки приблизно дорівнює модулю ЕРС індукції: $|U_1| \approx |\mathcal{E}_1|$

Якщо коло вторинної обмотки розімкнуте, то струму в ній немає і

$$|U_2| \approx |\mathcal{E}_2|$$

Таким чином, для діючих значень напруг можна записати

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} = k$$

Коефіцієнт трансформації – величина, що дорівнює відношенню напруг у первинній і вторинній обмотках трансформатора під час холостого ходу (без навантаження):

$$k = \frac{U_1}{U_2}$$

Якщо $k < 1$, трансформатор називається підвищувальним. Підвищувальний трансформатор збільшує напругу. У ньому кількість витків n_2 у вторинній обмотці має бути більшою за кількість витків у первинній обмотці, тобто $n_1 < n_2$.

Якщо $k > 1$, трансформатор називається понижувальним. Понижувальний трансформатор зменшує напругу.

У ньому $n_1 > n_2$.

Будь-який трансформатор можна використати як підвищувальний, так і понижувальний.

4. Робота трансформатора під навантаженням.

Якщо до вторинної обмотки трансформатора приєднати споживач електроенергії, то сила струму у вторинній обмотці вже не буде дорівнювати нулю. Струм, що з'явився, створює в осерді свій змінний магнітний потік, який за правилом Ленца має зменшити зміни магнітного потоку в осерді. Це приводить до автоматичного збільшення сили струму у вторинній обмотці.

Збільшення сили струму в колі первинної обмотки відбувається згідно із законом збереження енергії. Потужність у первинному колі за навантаження трансформатора, близького до номінального, приблизно дорівнює потужності у вторинному колі $U_1 I_1 \approx U_2 I_2$. Звідси

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

Це означає, що, підвищуючи за допомогою трансформатора напругу в кілька разів, ми в стільки ж разів зменшуємо силу струму (та навпаки).

Отже, трансформатор перетворює змінний електричний струм таким чином, що добуток сили струму на напругу приблизно однаковий і первинній і вторинній обмотках.

5. ККД трансформатора.

ККД трансформатора визначається за такою формулою:

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

У сучасних потужних трансформаторах сумарні втрати енергії не перевищують 2 – 3%, їх ККД досягає 97 – 98%.

Контрольні питання:

1. Яке явище лежить в основі принципу дії трансформатора?
2. Що таке коефіцієнт трансформації (k)?
3. Як називається режим роботи трансформатора, при якому його вторинна обмотка розімкнута?
4. Як змінюються сила струму та напруга в ідеальному трансформаторі (без втрат)?