

Урок 3: «Режими роботи трансформаторів»

Розрізняють три основних режими роботи трансформатора:

1. **Робочий режим (номінальний режим, режим навантаження).**
2. **Режим холостого ходу.**
3. **Режим короткого замикання.**

Крім них, ми також розглянемо особливий випадок — **паралельну роботу трансформаторів**.

2.1. Режим холостого ходу

Режим холостого ходу — це такий режим роботи трансформатора, при якому вторинна обмотка **розімкнута**, і струм у ній дорівнює нулю ($I_2 = 0$). До первинної обмотки підведена номінальна напруга U_1 .

Що відбувається в цьому режимі?

Струм I_0 , що протікає в первинній обмотці, дуже малий (становить 3-10% від номінального струму) і витрачається на створення магнітного потоку в осерді. Оскільки вторинна обмотка розімкнута, трансформатор не віддає потужність у мережу. Вся потужність, що споживається з мережі, йде на покриття втрат у сталі магнітопроводу (P_0). Коефіцієнт трансформації розраховується просто:

$$k = U_1 / U_{20}$$

де U_{20} — напруга на розімкнених затискачах вторинної обмотки.

Увага, безпека! Для електромонтера важливо пам'ятати, що навіть у режимі холостого ходу на вторинній обмотці є **небезпечно висока напруга**. Роботи біля таких установок проводяться з дотриманням всіх правил охорони праці.

2.2. Режим короткого замикання

Режим короткого замикання (КЗ) — це режим, при якому вторинна обмотка **замкнута накоротко** ($Z_n = 0$). До первинної обмотки підводиться знижена напруга (U_{13}), якої достатньо для того, щоб у обох обмотках протікали номінальні струми ($I_1 = I_{1ном}$, $I_2 = I_{2ном}$).

Що відбувається в цьому режимі?

Напруга U_{13} становить лише 5-15% від номінальної. Вся підведена потужність витрачається на нагрівання провідників первинної та вторинної обмоток ($P_{кз} = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2$). Магнітний потік в осерді невеликий, тому втратами у сталі можна знехтувати.

Напруга короткого замикання ($U_{кз\%}$) — це дуже важливий параметр, який вказується на шильдику трансформатора. Він показує, яку напругу потрібно підвести до первинної обмотки, щоб при замкненій вторинній у обмотках протікав номінальний струм. Він визначає, як трансформатор веде себе під навантаженням і під час аварійного КЗ.

Аварійний режим КЗ — це найнебезпечніший режим, коли до первинної обмотки підведена **повна номінальна напруга $U_{1ном}$** , а вторинна замкнена. Струми в обмотках перевищують номінальні в десятки разів, що призводить

до катастрофічного нагрівання та електродинамічних руйнувань. Завдання електромонтера — усунути таку аварію в найкоротші терміни за допомогою систем релейного захисту (вимикачів, запобіжників).

2.3. Робочий режим (номінальний режим, режим навантаження)

Це основний експлуатаційний режим, коли до первинної обмотки підведена номінальна напруга $U_{1ном}$, а до вторинної підключений споживач (навантаження) з номінальним опором Z_n .

У цьому режимі трансформатор виконує свою основну функцію — трансформує енергію. Струм у вторинній обмотці I_2 не дорівнює нулю. Він створює власний магнітний потік, який за правилом Ленца намагається зменшити основний потік в осерді. Це призводить до збільшення струму I_1 у первинній обмотці. Відбувається автоматичне перерозподілення енергії.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) трансформатора в робочому режимі дуже високий (97-99.5%) і розраховується як:

$$\eta = (P_2 / P_1) \cdot 100\% = (P_2 / (P_2 + P_{стали} + P_{міди})) \cdot 100\%$$

де:

- P_2 — потужність на виході (корисна потужність),
- P_1 — потужність на вході,
- $P_{стали}$ — втрати у сталі (практично не залежать від навантаження),
- $P_{міди}$ — втрати у міді (залежать від струму навантаження у квадраті I^2).

Завдання електромонтера — стежити за тим, щоб навантаження на трансформатор не перевищувало номінальне, контролювати температуру охолоджуючого середовища (масла, повітря) та рівень масла, щоб забезпечити максимальний ККД та довговічність обладнання.

2.4. Паралельна робота трансформаторів

Для підвищення надійності електропостачання та можливості проводити ремонти або відключати частину потужності трансформатори часто працюють паралельно.

Умови успішної паралельної роботи:

1. **Однакова група з'єднання обмоток.** Найважливіша умова. Її порушення призводить до рівності ЕРС, що знаходяться у протифазі, і виникнення великого рівноважного струму, який може зруйнувати трансформатори.
2. **Рівні номінальні напруги первинних та вторинних обмоток ($U_{1ном}$, $U_{2ном}$).** Коефіцієнти трансформації повинні бути однаковими.
3. **Однакові напруги короткого замикання ($U_{кз\%}$).** Якщо ця умова не виконується, трансформатори будуть навантажені непропорційно своїй потужності. Трансформатор з меншим $U_{кз\%}$ візьме на себе більше навантаження.
4. **Відношення потужностей трансформаторів не повинно перевищувати 1:3.** Це дозволяє уникнути значних перекосів у навантаженні навіть при однакових $U_{кз\%}$.

3. Висновок

Підсумовуючи, знання режимів роботи трансформатора є обов'язковим для кваліфікованого електромонтера:

- **Холостий хід** використовується для випробувань та контролю стану магнітної системи.
- **Коротке замикання** як дослід дозволяє визначити експлуатаційні характеристики, а як аварія — є найнебезпечнішим режимом, який потрібно швидко ліквідувати.
- **Робочий режим** — це те, для чого призначений трансформатор; його потрібно експлуатувати в межах номінальних параметрів.
- **Паралельна робота** вимагає дотримання ряду умов для безпечної та ефективної роботи.

Контрольні питання:

1. Яка основна мета проведення дослідів холостого ходу трансформатора?
2. Що таке напруга короткого замикання ($U_{кз\%}$)?
3. Яка умова є **НАЙВАЖЛИВІШОЮ** для успішної паралельної роботи двох трансформаторів?
4. Що характеризує аварійний режим короткого замикання?
5. На що витрачається потужність, що споживається трансформатором у режимі холостого ходу?
6. Чому струм холостого ходу (I_0) у трансформатора є відносно малим?