

Урок №7: «Магнітопроводи трансформатора»

Серце будь-якого трансформатора — це не обмотки, а його магнітна система, яку називають **магнітопроводом** або **осердям**. Саме він створює шлях для магнітного потоку, який пов'язує обмотки між собою и робить можливим сам принцип трансформації енергії. Якість магнітопроводу безпосередньо впливає на ККД, рівень шуму, нагрівання та загальну надійність трансформатора. Сьогодні ми детально розберемо, з чого і як він складається.

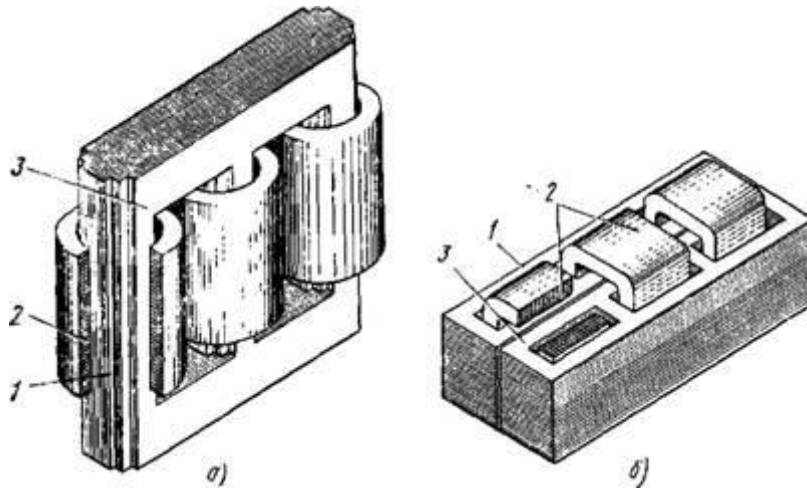


Рис. 1. Складання магнітопроводу трансформатора. Видно пластини, які утворюють стержень і ярма.

2. Призначення та функції магнітопроводу

Магнітопровод виконує кілька ключових функцій:

1. **Створення магнітного ланцюга:** Забезпечує замкнутий шлях з низьким магнітним опором для основного магнітного потоку, який створюється струмом у первинній обмотці. Це дозволяє максимально ефективно зв'язувати обмотки між собою.
2. **Механічна основа:** Служить каркасом (основою) для кріплення обмоток, пристрою регулювання напруги (ПБВ), відведень та інших елементів активної частини трансформатора.
3. **Відведення тепла:** Через свою масу та контакт з маслом (у масляних трансформаторах) магнітопровод сприяє відведенню тепла, що виділяється в сталі від втрат, до системи охолодження.

3. Матеріали для виготовлення магнітопроводу

Вимоги до матеріалу дуже високі. Він повинен мати:

- **Високу магнітну проникність:** Щоб створювати великий магнітний потік при малій силі струму намагнічування.
- **Низькі втрати потужності на перемагнічування (гістерезис) та на вихрові струми:** Це безпосередньо впливає на ККД.
- **Високу електроопір:** Для зменшення вихрових струмів.
- **Хороші механічні властивості:** Для зручності штампування та складання.

Відповідно до цих вимог, основним матеріалом є **електротехнічна (трансформаторна) сталь** — легований марганецьм і кремнієм листовий прокат. Кремній підвищує питомий опір і зменшує втрати на вихрові струми. Сучасні трансформатори використовують **холоднокатану сталь з азоткованою текстурою**. Цей матеріал має ще кращі магнітні властивості вздовж напрямку прокату, що дозволяє ще більше знизити втрати.

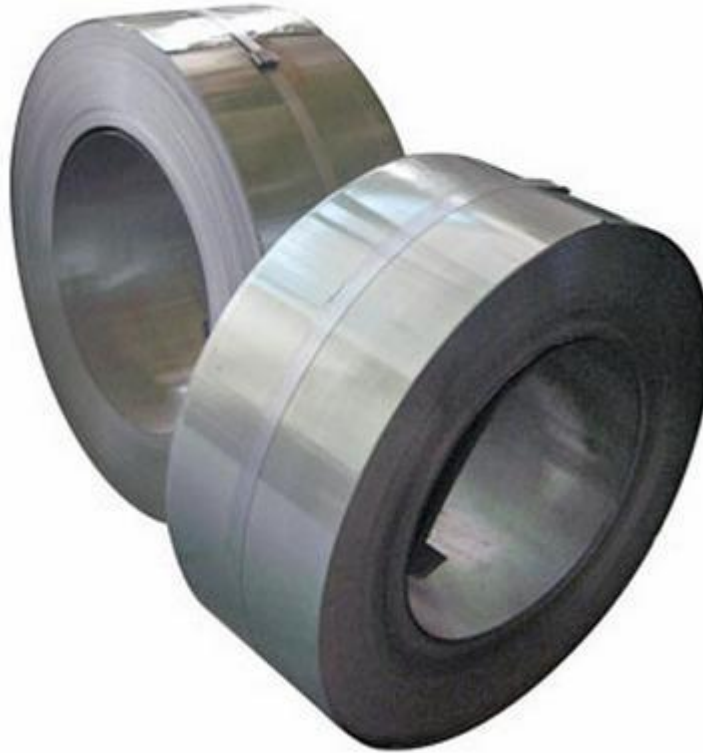


Рис. 2. Рулон холоднокатаної текстурованої електротехнічної сталі]

4. Конструкція та складання магнітопроводу

Щоб зменшити втрати від вихрових струмів, магнітопровод НІКОЛИ не роблять суцільним. Його збирають з окремих тонких листів (пластин) товщиною **0,3 мм або 0,35 мм**, ізольованих один від одного.

Види ізоляції пластин:

- **Гартована ізоляція:** Наноситься на метал на металургійному комбінаті. Стійка, але крихка.
- **Лакова ізоляція:** Наноситься на трансформаторному заводі. Менш стійка до нагрівання, але гнучка.

Пластини штампують із заданим профилем, а потім складають у пакети, зміщуючи стики у суміжних шарах. Це додатково зменшує магнітний опір у місцях стиків.

5. Основні типи конструкцій магнітопроводів

Існує два основних типи конструкцій магнітних систем:

1. Стержневий тип:

- **Опис:** Вертикальні частини, на які одягаються обмотки, називаються **стержнями**. Горизонтальні частини, що замикають

магнітний ланцюг, називаються **ярмами**. Обмотки розташовані на стержнях.

- **Переваги:** Краще охолодження обмоток, зручність ремонту та обслуговування.
- **Недоліки:** Дещо більша витрата матеріалу.
- **Застосування:** Найпоширеніший тип для силових трансформаторів середньої та великої потужності.

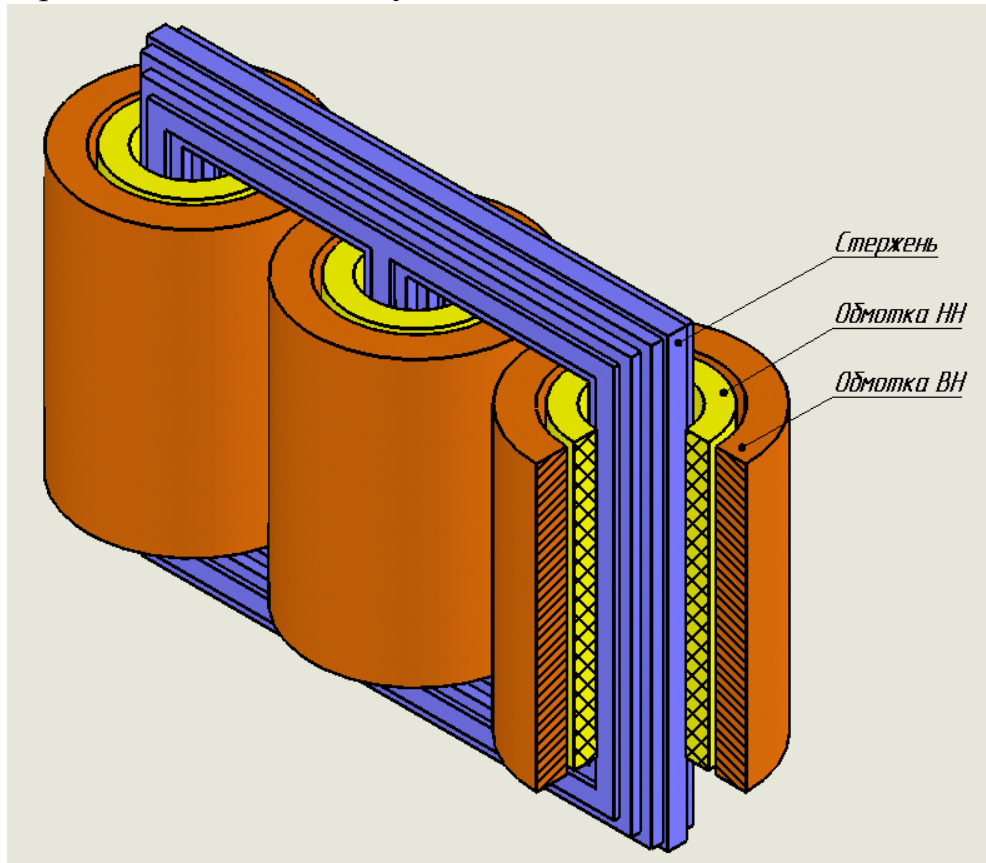


Рис. 3 Схема стержневого магнітопроводу

2. Броньовий тип:

- **Опис:** Ярмо не тільки з'єднують стержні, але і частково "прикривають" (бронюють) обмотки зверху та знизу, ніби охоплюючи їх.
- **Переваги:** Менша витрата стали, менші габарити, кращий захист обмоток від механічних пошкоджень.
- **Недоліки:** Гірші умови охолодження обмоток, складніший ремонт.
- **Застосування:** Часто використовується в однофазних трансформаторах невеликої потужності, трансформаторах для побутової техніки.

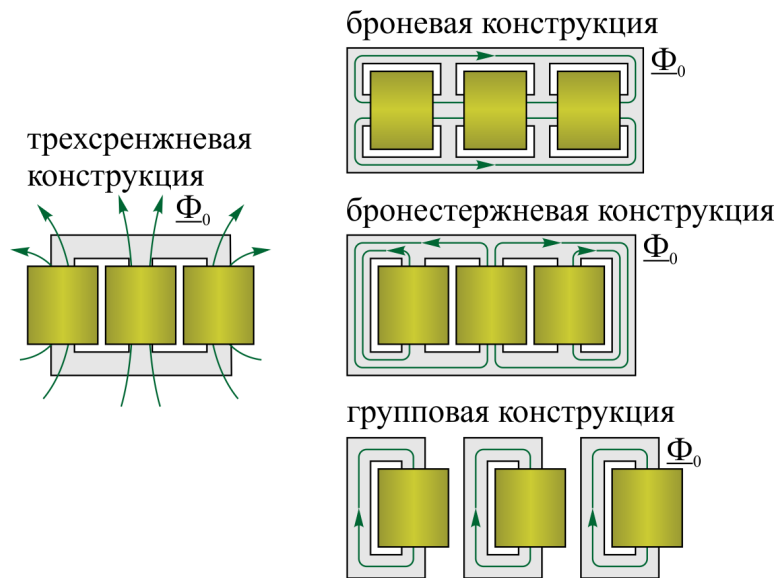


Рис. 4. Схема броньового магнітопроводу.

6. Дефекти магнітопроводу та методи їх усунення

Електромонтер повинен вміти ідентифікувати та усувати найпоширеніші проблеми:

1. **Ослаблення кріплення:** З часом стяжні шпильки можуть відпуститися, а пакети стали — розвітритися. Це призводить до **підвищення гуміння (шуму)** трансформатора.
 - **Усунення:** Підтягнути гайки стяжних шпильок (якщо вони виведені на верхню кришку) або, при серйозному ремонті, зняти верхнє ярмо і додати **сторонні ізолювані стяжки** для підтягування пакету.
2. **Замикання пластин:** Пошкодження ізоляції між окремими листами призводить до появи **місцевих перегрівань** і збільшення втрат на вихрові струми. Може виникнути через механічне пошкодження під час ремонту, корозію або заводський дефект.
 - **Усунення:** **Продування стисненим повітрям** для видалення металевої тріски. Місце замикання знаходять за слідом перегріву або за допомогою тепловізійної камери. Потім ізоляцію відновлюють, **вставляючи ізолювані підкладки** (електрокартон, текстоліт) або промазуючи дефектний стик **ізоляційним лаком**.
3. **Замикання ярмових балок:** Стяжні шпильки, що проходять крізь пакет стали, ізолювані від нього **ізоляційними гільзами та шайбами**. Якщо ця ізоляція пошкоджується, шпилька замикає пластини на себе, створюючи короткозамкнений виток.
 - **Усунення:** При капітальному ремонті необхідно **витягнути шпильку** та замінити пошкоджену ізоляційну гільзу.
4. **Намагніченість магнітопроводу:** Може виникнути після КЗ або неправильного випробування постійним струмом. Призводить до **підвищення струму холостого ходу** і нагрівання.

- **Усунення: Розмагнічування** шляхом пропускання через обмотку змінного струму, що плавно зменшується від більшого значення до нуля.

7. Контроль стану магнітопроводу

Під час експлуатації та ремонту проводять такі перевірки:

- **Вимірювання втрат холостого ходу:** Порівнюють з паспортними даними. Збільшення втрат прямо вказує на проблеми в магнітопроводі (замикання пластин, погана збирання стиків).
- **Вимірювання струму холостого ходу:** Також порівнюється з паспортом.
- **Візуальний огляд:** При капітальному ремонті – на наявність задирок, іржі, пошкоджень ізоляції.
- **Вимірювання опору ізоляції стяжних шпильок:** Мегомметром на 1000-2500 В. Опір повинен бути не менше 2-5 МОм.

8. Висновок

Магнітопровод — це складний та критично важливий вузол трансформатора. Його правильне виготовлення, складання та обслуговування є запорукою довгої та економічної роботи всього апарата. Розуміння його будови, типів, можливих дефектів та методів їх усунення дозволяє електромонтеру ефективно діагностувати проблеми, проводити якісний ремонт та підтримувати обладнання в належному технічному стані, запобігаючи аваріям та простоям.

Тестові питання

1. Чому магнітопровод трансформатора збирають з окремих тонких ізольованих пластин?
2. Який основний матеріал використовується для виготовлення магнітопроводів сучасних трансформаторів?
3. Який тип магнітопроводу має кращі умови для охолодження обмоток і зручніший для ремонту?
4. Який дефект магнітопроводу найімовірніше призводить до локального перегріву та збільшення втрат холостого ходу?

Домашнє завдання:

Принц М.В., Цимбалістий В.М. «Трансформатори. Монтаж, обслуговування та ремонт» стор. 10.