

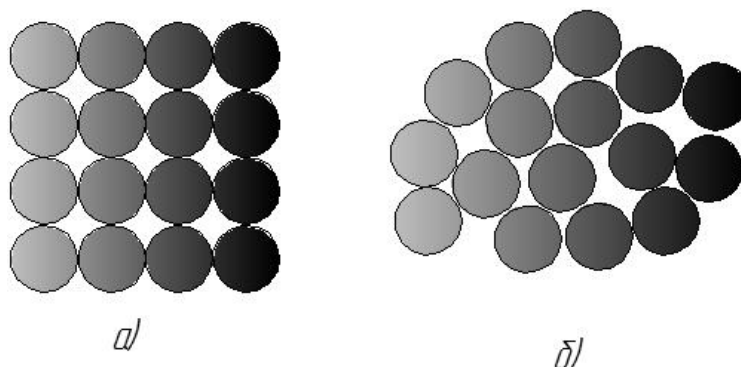
УДК 621.314

Кулагін Д.О., к.т.н. професор,
Запорізький національний технічний університет
Волков М.А., інженер-конструктор
ПАО «ВІТ»

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТРАНСФОРМАТОРІВ З МАГНІТОПРОВОДОМ З АМОРФНОЇ СТАЛІ ПРИ МОДЕРНИЗАЦІЇ РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖ

Перш ніж дійти до споживача, електрична енергія зазнає багаторазової трансформації у підвищувальних та знижувальних трансформаторах. Незважаючи на відносно великий ККД трансформаторів, вартість електроенергії, яка в них втрачається є досить великою, що пояснює прагнення до створення нових, енергоефективних типів трансформаторів. Одним із методів зменшення втрат у трансформаторі є використання матеріалів з кращими характеристиками. Втрати, які мають місце у трансформаторі поділяються на втрати короткого замикання та неробочого ходу. Втрати короткого замикання пропорційні квадрату струму навантаження та опору обмоток. Але для міді та алюмінію, які на даний момент використовуються у обмоткових проводах, не існує вигідної альтернативи. Використання матеріалів з більшими значеннями питомої провідності, такими як срібло та золото є абсурдним, а трансформатори з обмотками на основі високотемпературних надпровідників ще не вийшли з дослідної експлуатації. У свою чергу, втрати неробочого ходу дуже залежать від характеристик сталі, яка використовується для виготовлення магнітопроводів. Перехід від гарячекатаної електротехнічної сталі до анізотропної електротехнічної сталі холодного прокату дозволив зменшити втрати холостого ходу приблизно на 30%. На даний момент, для трансформаторів невеликої потужності є можливість переходу на магнітопроводи виготовлені з аморфної електротехнічної сталі, з надзвичайно низькими питомими втратами.

Аморфна електротехнічна сталь є матеріалом, який не має кристалічної структури та отримується завдяки швидкому охолодженню розплаву. Розплав виливається на диск, який обертається з високою швидкістю. При потрапленні на поверхню диску, розплав охолоджується зі швидкістю близько 100 К/с та перетворюється на металеву стрічку. Через відсутність періодичності у розташуванні атомів, ці сталі мають надзвичайно малі втрати на гістерезис. А через малу товщину стрічок з аморфної сталі (15-60 мкм), зменшуються і втрати на вихрові струми. На рис. 1 проілюстровано різницю у орієнтації атомів звичайної та аморфної електротехнічних сталей.



а – анізотропна електротехнічна сталь, б – аморфна сталь
Рис. 1 – атомарна будова анізотропної та аморфної електротехнічних сталей

Характеристики типові для холоднокатаної анізотропної та аморфної сталей зведено до табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння характеристик анізотропної та аморфної електротехнічних сталей

Матеріал	Індукція насичення, Тл	Питомий опір, мкОм*см	Питомі втрати, Вт/кг	Товщина пластини (стрічки)
Анізотропна сталь	2.03	50	0.440	0.23
Аморфна сталь	1.56	130	0.070	0.025

На даний момент українські розподільні мережі є однією з найменш енергоефективних ланок енергосистеми України. Великий вклад у втрати вносить застаріле трансформаторне обладнання, експлуатація якого продовжується значно довше гарантованого строку служби. Втрати у таких трансформаторах перевищують нормативні у 1.5-2 рази. Вартість цих втрат є одним з факторів на користь заміни трансформаторів, які відпрацювали свій строк, на трансформатори з магнітопроводами з аморфної сталі. Зниження витрат, досягнуте за рахунок переходу на аморфну сталь (трансформатори фірми «АВВ») у порівнянні з вітчизняними трансформаторами, які виготовляються ОАО «Електрозавод» відображене у табл. 2.

Таблиця 2 – Зниження втрат неробочого ходу досягнуте через використання аморфної сталі

Потужність трансформатора, кВА	Втрати неробочого ходу, Вт		% зниження втрат
	Анізотропна сталь	Аморфна сталь	
100	320	65	80
250	630	110	83
400	900	170	81

На сучасних промислових підприємствах набули значного розповсюдження нелінійні електроприймачі. Нелінійне навантаження викликає викривлення форми струму та появу вищих гармонійних складових. Чисельні дослідження показали, що вищі гармонійні складові не чинять суттєвого впливу на трансформатори з магнітопроводами виконаними з аморфної сталі, що зменшує втрати від несинусоїдності та є суттєвою перевагою. Варто зазначити, що на даний момент заміни потребує колосальна кількість розподільчих трансформаторів, що потребує їх масового виробництва на території України. Основними перепонами у масовому виробництві трансформаторів такого типу є недостатньо низька вартість аморфної сталі у порівнянні зі звичайною електротехнічною. Аморфна сталь повинна бути дещо дешевшою, ніж анізотропна, тому що, так як аморфна сталь має більш низьку робочу індукцію, це призводить до збільшення розмірів активної частини трансформатору. До недоліків можна віднести те, що магнітопроводи виготовлені з аморфної сталі мають прямокутну форму поперечного перерізу, а відповідно, і прямокутні обмотки. Прямокутні обмотки є більш уразливими до струмів КЗ та електродинамічних деформацій ніж циліндричні. Окрім цього аморфний сплав є дуже крихким матеріалом. Магнітопровід виготовлений з метгласової стрічки не допускає надмірного механічного навантаження. Через ці особливості, на даний момент існують деякі обмеження у потужностях, на які можуть бути виготовлені магнітопроводи з аморфної сталі. Компанія «Hitachi» виготовляє маслонаповнені аморфні трансформатори потужністю до 3000 кВА. Отже, оптимальною сферою застосуванням таких трансформаторів можна назвати цехові трансформаторні підстанції, потужність одиниці трансформаторного обладнання яких рідко перевищує 2500 кВА.

Висновок. Розглянуто переваги заміни застарілих трансформаторів на трансформатори з магнітопроводами з аморфної сталі, недоліки конструкції таких трансформаторів та окреслена оптимальна сфера їх застосування.

Список використаних джерел:

1. Islam A. Prospective analysis of energy efficient amorphous metal distribution transformer (AMDT) / A. Islam// Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2012 Asia-Pacific. – 2012. – 4 p.