

УДК 621.311.001.57

СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТРАНСФОРМАТОРІВ З ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИМИ НАДПРОВІДНИКОВИМИ ОБМОТКАМИ

А. О. Осипов¹, В. В. Шевченко²

¹ студент бакалавріата кафедри електричних машин, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

² проф. кафедри електричних машин, канд. техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Україна
zurbagan8454@gmail.com

Сучасний стан економіки і електроенергетики, безперервний розвиток енергетичних систем вимагає підвищення їх енергоефективності та технічного вдосконалення. Силові трансформатори мають досить високий коефіцієнт корисної дії, однак збільшення вартості електричної енергії, сучасна економічна криза стимулює інтенсивні пошуки шляхів зниження втрат, в тому числі і в силових трансформаторах, втрати в яких складають близько половини втрат в «ланцюзі» передача-розподілі електроенергії. Отримання в 1987 році високотемпературних надпровідників (ВТНП) відкрило дорогу реалізації нових технічних ідей. Використання надпровідникових матеріалів дозволяє створювати різноманітні електротехнічні вироби, що мають дуже високі показники при надзвичайно малих габаритах, масі і споживаній потужності. Поява ВТНП, які переходять в надпровідний стан при температурах, що перевищують температуру рідкого азоту (77 К), відкрило шлях до розробки нових конструкцій трансформаторів з унікальними параметрами, які функціонують при досить простих і дешевих системах азотного охолодження замість дорогого гелієвого обладнання. Так, відкриття в 1986 р. Беднорцем і Мюллером ВТНП, що мають робочу температуру вище 77 К, дало новий поштовх в створенні і використанні ВТНП трансформаторів. Різновид конструкцій НПТ і їх окремих елементів значно ширший в порівнянні з аналогічними варіантами традиційних (теплих) силових трансформаторів. Магнітопровід надпровідникових трансформаторів (НПТ) може мати як «холодне» виконання (цілком занурений в рідкий азот разом з обмотками), так і «тепле» (магнітопровід працює при кімнатній температурі) [1].

Зниження притоків тепла можна досягти використанням для магнітопроводу аморфних сталей, що мають низькі показники тепловиділення (0,2 Вт/кг при індукції магнітного поля 1,4 Тл і температурі 100 К), що знижує теплове навантаження на холодоагент. Матеріал для виготовлення магнітопроводу з нанокристалічної аморфної сталі дозволяє знизити питомі втрати неробочого ходу. Разом з тим використання рідкого азоту дозволить, крім основної функції холодоагенту, отримати більш надійну, високоефективну ізоляцію. При цьому потужність, що витрачається на охолодження НПТ, знижується в 20 разів у порівнянні з потужністю охолодження силових масляних трансформаторів. Особливостями конструкції є використання надпровідникових обмоток, наприклад, зі стрічки другого покоління SCS-12050 на основі ітрієвої кераміки з мідним стабілізатором, (додаткова ізоляція з каптана). Примітно, що час охолодження стрічок, ізольованих каптаном, менший. Пояснюється це тим, що їх поверхня має меншу шорсткість, тобто більшу поверхню охолодження. Для того щоб уникнути втрат на вихрові струми, в конструкції кріостату, згідно існуючим дослідженням [2], можна використовувати ізоляційний кожух зі склопластику, просоченого епоксидним наповнювачем, з вакуумною ізоляцією, яка має додаткові екрани від притоків тепла.

Принцип пристрою ВТНП трансформатора приведений на рис. 1. Обмотки занурюють в рідкий азот, що одночасно ізолює і охолоджує. Осердя трансформатора

працює при температурі навколишнього середовища і його охолодження призведе тільки до зайвих навантажень криогенної системи, а не до поліпшення характеристик. Обмотки термічно ізольовані від осердя і навколишнього середовища за допомогою двохстінних контейнерів (кріостатів), між стінками яких підтримується вакуум, який забезпечується безперервною роботою насоса.

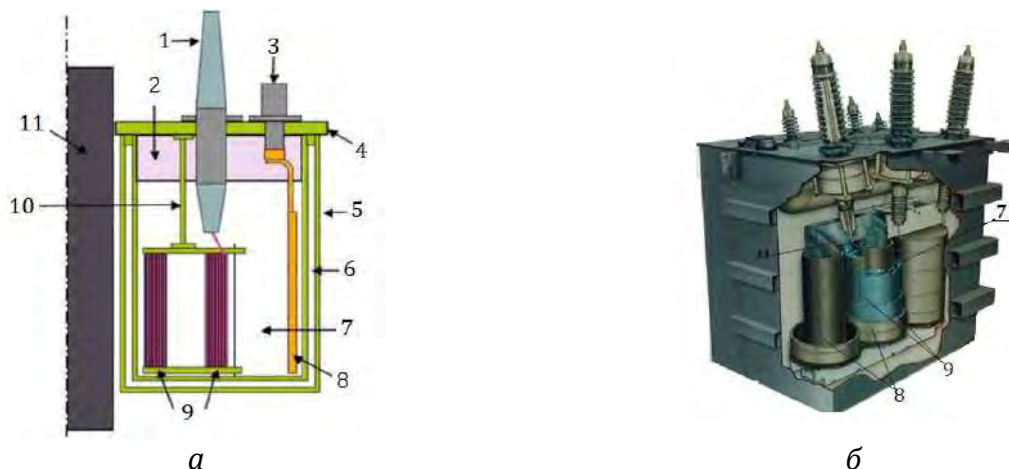


Рис. 1 – Ескіз (а) і конструкція ВТНП трансформатора (б)

- 1 – Струміввід первинної обмотки; 2 – газова подушка; 3 – кріокулер; 4 – кришка; 5 – кріостат; 6 – вакуумована зона; 7 – рідкий азот; 8 – охолоджуюча оболонка; 9 – обмотки; 10 – підтримуюча трубка; 11 – магнітопровід

Досліджуються різні конструкції осердь ВТНП трансформаторів: з повітряним магнітопроводом, частково-повітряним, тороїдальним і ін. При цьому виділяють також способи розміщення магнітопроводу в охолоджуючому середовищі: поза кріостату («теплий» магнітопровід), всередині кріостату («холодний» магнітопровід). Переваги і недоліки «теплого» і «холодного» магнітопроводів наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння «теплого» і «холодного» магнітопроводів трансформаторів

Показник	«Теплий» магнітопровід	«Холодний» магнітопровід
Переваги	Менші витрати потужності на охолодження системи - поміщений в кріосередовище, магнітопровід створює додаткове навантаження на кріосистему через втрати неробочого ходу, які нагрівають холодоагент	Простота кріостату; менше індуктивність розсіювання
Недоліки	Більш складна конструкція кріостату: стрижні магнітопроводу повинні бути ізольовані від обмоток, кріостат виконується з отворами, що ускладнює конструкцію; велика індуктивність розсіювання - наявність шару теплоізоляції між стрижнем магнітопроводу і обмоткою призводить до погіршення магнітної зв'язку між ними і до зниження ККД.	Велике навантаження на систему, що охолоджує

Вдосконалення технологій виробництва ВТНП трансформаторів дозволить вивести їх на великий ринок на заміну традиційним трансформаторам

Список літератури:

1. Батенин В.М. Сверхпроводниковая электроэнергетика / В. М. Батенин, В. В. Желтов, С. С. Иванов и др. // Энергетика. Известия академии наук. – 2011. – №3. – С. 21-26.
2. Шевченко В. В. Использование сверхпроводников в электромашиностроении, как фактор энергосбережения / В. В. Шевченко, Д. В. Потоцкий // Электроэнергетика и электромеханика. Сборник трудов международной НТК. – Воронеж, Международный институт компьютерных технологий. – 2014. – С. 142-146.