

В.Г. ДАНЬКО, д-р техн. наук, проф., зав. каф., НТУ "ХПІ"
Є.В. ГОНЧАРОВ, м.н.с., НТУ "ХПІ"

ВИКОРИСТАННЯ ЯВИЩА ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОЇ НАДПРОВІДНОСТІ У СТРУМООБМЕЖУЮЧОМУ РЕАКТОРІ

У статті проаналізована конструкція струмообмежуючого реактора з надпровідним екраном і обмоткою. Теоретично розглянуто роботу такого надпровідного обмежувача струму короткого замикання в основних режимах. Проведений аналіз критеріїв вибору основних параметрів такого пристрою.

Ключові слова: обмежувач струму короткого замикання, надпровідність, основні параметри.

В статье проанализирована конструкция токоограничивающего реактора со сверхпроводящим экраном и обмоткой. Теоретически рассмотрена работа такого сверхпроводящего ограничителя тока короткого замыкания в основных режимах. Проведен анализ критериев выбора основных параметров такого устройства.

Ключевые слова: ограничитель тока короткого замыкания, сверхпроводимость, основные параметры.

In the paper the design of a current-limiting reactor with a superconducting shield and a winding is analyzed. Work of such superconducting fault current limiter in the basic modes is theoretically considered. The criteria of a choice of basic parameters of such a device are analyzed.

Index terms: fault current limiter, superconducting, basic parameters.

Вступ. Виникнення аварійних струмів короткого замикання в електромережах спричиняє руйнацію електрообладнання, і захист від цього негативного явища є досить важливою задачею. Для обмеження струмів і підтримання напруги на шинах при аварійному режимі використовуються багато різновидів реакторів – електричних апаратів, що виконані у вигляді котушки з незмінною індуктивністю. По виду магнітної системи розрізняють реактори без осердя, з феромагнітним осердям, підмагнічуванні постійним струмом, із замкнутою системою магнітопроводу та ін.; за конструктивними особливостями обмотки відомі реактори з кабельною обмоткою, дисковою, обмоткою зі стрічкового провідникового матеріалу, з радіальним або аксіальним напрямком намотування.

По виду ізоляції також розрізняють сухі й маслонаповнені реактори.

Основні споживачі струмообмежувальних реакторів – електричні станції, розподільні підстанції, електричні мережі, великі промислові підприємства, енергоємні об'єкти інфраструктури. У своїй більшості реактори використовуються у розподільних мережах напругою 6-10 кВ. Основним недоліком традиційних реакторів є значні втрати потужності у номінальному режимі роботи.

Метою роботи є аналіз роботи надпровідного обмежувача струму короткого замикання і вибор його основних параметрів.

Одним з новітніх напрямів в електроенергетиці є використання явища високотемпературної надпровідності при азотному рівні температур (~77 К). Розробка таких обмежувачів струму короткого замикання базується на використанні фізичних властивостей високотемпературних надпровідників. Надпровідний обмежувач струму короткого замикання послідовно вмикається в частину електромережі, яка передбачає захист від аварійних струмів. Такий реактор має близький до нуля опір в номінальному режимі на відміну від традиційних струмообмежувальних реакторів.

За конструктивними особливостями можна виділити дві основні схеми надпровідного обмежувача: резистивну і індуктивну. На них ґрунтується більшість інших пропонуваніх конструкцій, які повинні задовольняти тим же вимогам [1]. В той же час об'єднання цих схем в єдину конструкцію дає можливість скористатися перевагами кожної з них.

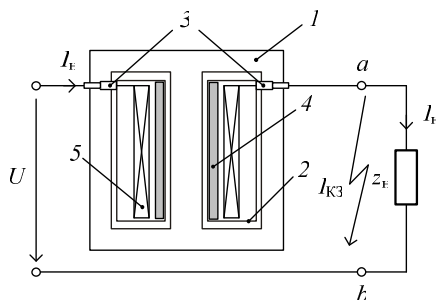


Рис. – Схематичне зображення НП обмежувача струму КЗ з екраном.

При нормальному режимі роботи по основній обмотці 5 обмежувача протікає номінальний струм I_n , надпровідний (НП) екран 4 знаходиться у надпровідному докритичному стані і не пропускає магнітний потік в осердя 1. Обмотка 5 виготовлена з НП проводу, який не має активного опору. Таким чином обмотка 5 має незначну індуктивність.

Індуктивність обмотки за надпровідного стану екрана [2]:

На рис. подана конструктивна схема такого надпровідного реактора. В загальному кріостаті 2, що охоплює центральний стержень осердя 1 розташовані надпровідні екрани 4 і обмотка 5.

При нормальному режимі роботи по основній обмотці 5 обмежувача протікає номінальний струм I_n , надпровідний (НП) екран 4 знаходиться у надпровідному докритичному стані і не пропускає магнітний потік в осердя 1. Обмотка 5 виготовлена з НП проводу, який не має активного опору. Таким чином обмотка 5 має незначну індуктивність.

$$L_{\text{НП}} = \frac{\Psi}{I_{\text{НОМ}}} = \mu_0 w^2 \frac{2\pi r_{\text{ср}} b_{\text{обм}}}{3h_{\text{обм}}}, \quad (1)$$

де μ_0 – магнітна стала; w – кількість витків обмотки; $r_{\text{ср}}$ – середній радіус надпровідної обмотки; $b_{\text{обм}}$ – ширина обмотки; $h_{\text{обм}}$ – висота обмотки.

Падіння напруги на обмежувачі струму у номінальному режимі [3]

$$U_{\text{м ос}} = k_{\text{ос}} \cdot U_{\text{м н}} = 2 \pi f w \Phi_{\text{м ос}}, \quad (2)$$

де f – частота змінного струму; w – число витків обмотки; $\Phi_{\text{м ос}}$ – амплітуда магнітного потоку, зчепленого з обмоткою у номінальному режимі; $k_{\text{ос}}$ – коефіцієнт, що визначає падіння напруги на обмежувачі струму по відношенню до напруги електричної мережі.

Критичне значення індукції магнітного потоку $B_{\text{кр}}$ на зовнішній поверхні стінки ВТНП екрана:

$$B_{\text{кр}} = \mu_0 \cdot H_{\text{кр}} \quad (3)$$

Наступним чином $B_{\text{кр}}$ пов'язане з параметрами НП обмотки і номінальним струмом:

$$H_{\text{кр}} = \frac{B_{\text{кр}}}{\mu_0} = \frac{w k_{\text{Іе}} I_{\text{НОМ}}}{h_{\text{обм}}}, \quad (4)$$

де $k_{\text{Іе}}$ – коефіцієнт перевищення номінального струму, за якого втрачається надпровідність екрана; w – кількість витків обмотки; $h_{\text{обм}}$ – висота обмотки.

При виникненні КЗ зростає напруженість магнітного поля на поверхні НП екрана 4 від основної НП обмотки 5. Як тільки магнітне поле перевищить критичне значення $B_{\text{кр}}$ для НП екрана 4, він втратить надпровідність та діаманетизм. Магнітний потік перейде в середній стержень магнітопроводу 1, відповідно зростає індуктивність основної обмотки 5 та її індуктивний опір, що і обмежує струм КЗ.

При втраті надпровідного стану ВТНП екраном магнітні потоки розсіяння можна не враховувати і прийняти індуктивність [2]:

$$L_{\text{кр}} = \frac{B_{\text{ст}} \pi r_{\text{ст}}^2 w}{k_{\text{зІ}} \cdot I_{\text{НОМ}}}, \quad (5)$$

де $k_{\text{зІ}}$ – коефіцієнт перевищення номінального струму; $B_{\text{ст}}$ – індукція насичення сталі магнітопроводу; $r_{\text{ст}}$ – радіус центрального стержня осердя.

У режимі короткого замикання обмежувач повинен узяти на себе номінальну напругу електромережі

$$U_{\text{м н}} = 2 \pi f w B_{\text{кз}} \pi r_{\text{ст}}^2, \quad (6)$$

де $B_{\text{кз}} = k_B B_{\text{н ст}}$ – індукція в осерді ($H = wI_{\text{кр}}/l_{\text{ос}}$); $B_{\text{н ст}}$ – індукція насичення сталі осердя магнітопроводу; k_B – коефіцієнт запасу індукції за

кривою намагнічування матеріалу; I_{oc} – середня довжина магнітної силової лінії в осерді.

Висновки. У номінальному режимі індуктивність надпровідного реактора незначна, отже падіння напруги на реакторі, відповідно, буде близько декількох відсотків від номінальної напруги, що задовольняє вимогам. Відсутність активного опору надпровідної обмотки забезпечить енергозбереження у номінальному режимі.

При виборі параметрів надпровідного обмежувача струму короткого замикання визначальними є величини критичної індукції надпровідного екрана та індукції насичення осердя.

Розробка надпровідних пристроїв, зокрема надпровідних реакторів є перспективним напрямком електроенергетиці.

Список літератури: 1. Тенденції розвитку і використання високотемпературних надпровідникових струмообмежувачів / *Данько В.Г., Гончаров Є.В., Лисенко Л.І.* та ін. // Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Прилади та методи неруйнівного контролю. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2006. – № 38. – С. 35-44. 2. *Данько В.Г., Гончаров Є.В.* Аналіз роботи високотемпературного надпровідникового обмежувача струму короткого замикання // Східно-європейський журнал передових технологій. Енергозберігаючі технології і обладнання. – Харків: Технологічний центр. – Харків: Технологічний центр, 2007. – № 6/5 (30). – С. 45-48. 3. *Данько В.Г., Гончаров Є.В.* Теоретичні засади і вибір основних параметрів електромагнітного надпровідного обмежувача струму / *Данько В.Г., Гончаров Є.В.* // Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – № 48. – С. 30-36.

Надійшла до редколегії 27.11.2012



Данько Володимир Григорович – доктор технічних наук, професор. Завідувач кафедри загальної електротехніки Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут".

Наукові інтереси пов'язані з проблемами у галузі нагрівання і охолодження традиційних електричних машин та розроблення надпровідних машин.



Гончаров Євген Вікторович, захистив диплом інженера в Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" за фахом електричні машини й апарати в 2004 р. Молодший науковий співробітник кафедри загальної електротехніки НТУ "ХПІ".

Наукові інтереси пов'язані з проблемами використання високотемпературної надпровідності в електричних пристроях.