

Є.В. ГОНЧАРОВ, мол. наук. співроб., НТУ "ХПІ", Харків

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО НАДПРОВІДНОГО ОБМЕЖУВАЧА СТРУМУ

В статті запропоновано використання електромагнітного обмежувача струму для захисту від короткого замикання. Розглянута конструкція та принцип дії обмежувача струму короткого замикання.

В статье предлагается использование электромагнитного ограничителя тока для защиты от короткого замыкания. Рассмотрена конструкция и принцип действия ограничителя тока короткого замыкания.

Вступ. Дуже небезпечним явищем в електромережах є виникнення аварійних струмів короткого замикання, яке спричиняє руйнацію електрообладнання. Для забезпечення захисту від струмів короткого замикання використовуються різні пристрої, такі як: вимикачі, плавкі запобіжники, традиційні струмообмежуючі реактори. За останні роки розробляються обмежувачі струму короткого замикання з надпровідними елементами.

Надпровідний обмежувач струму короткого замикання вмикається в частину мережі, яка передбачає захист від аварійних струмів. Такий пристрій має близький до нуля опір в номінальному режимі на відміну від традиційних струмообмежувальних реакторів. За рахунок використання властивостей надпровідних матеріалів можливо створити струмообмежувачі, що не мають аналогів серед традиційних пристроїв. Вмикання струмообмежувачів у певні вузли енергосистеми дозволить продовжити строк роботи комутаційної апаратури і створить умови для її поступової заміни сучасним устаткуванням.

Але для впровадження надпровідникового обмежувача струму необхідно вирішити ряд технічних задач.

Метою роботи є покращення параметрів існуючих надпровідних обмежувачів струму (НПОС) за рахунок конструкції, що запропонована.

За принципом дії можна виділити два класи НПОС: резистивний і індуктивний. Відповідно, до яких струм короткого замикання обмежується завдяки послідовному введенню активного або індуктивного опору у коло. Вони є базовими, на них заснована більшість інших запропонованих конструкцій, які повинні задовольняти тим же вимогам [1].

Але для ефективного використання схем заснованих на цих ти-

пах необхідно врахувати, що надпровідні елементи повинні мати як можливо більшу величину критичного струму, для запобігання руйнування надпровідних властивостей елементів. При виникненні і протіканні струму короткого замикання необхідно ефективно відводити тепло, від надпровідника, забезпечити його швидкий та однорідний перехід в нормальний стан. Після усунення аварійного струму необхідно забезпечити швидке відновлення приладу для роботи у номінальному режимі.

Конструкція і принцип дії електромагнітного НПОС.

На рис. 1 представлена конструктивна схема обмежувача струму, яка представляє загальний вигляд приладу для увімкнення у фазу електромережі.

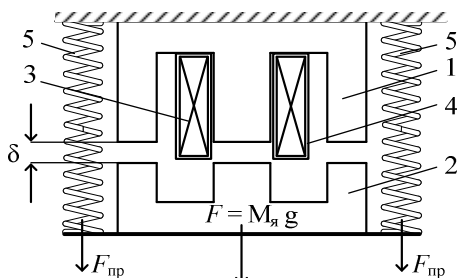


Рис. 1. Схематичне зображення НПОС.

НПОС зображений на рис. 1. містить: магнітопровід 1 і його від'ємну частину – якір 2, закріплений до пружин 5; основну обмотку 3, яка міститься у криостаті 4, що розміщений на середньому стержні магнітопроводу 1.

Основна обмотка виготовлена з високотемпературного надпровідника 2-го покоління, криостат в свою чергу заповнюється холодоагентом, у даному випадку азотом.

При номінальному режимі роботи мережі струм протікає по основній обмотці 3 обмежувача струму короткого замикання. З огляду того, що обмотка виготовлена з ВТНП проводу 2-го покоління який, при охолодженні до температури відповідній надпровідному стану (~ 77 K), не має опору, прилад не має активних втрат на нагрів. Магнітопровід 1 знаходиться у розімкненому стані, завдяки повітряним проміжкам у магнітопроводі котушка 3 має незначну індуктивність.

При виникненні короткого замикання магніторухісна сила котушки 3 зростає, а отже зростає магнітний потік у магнітопроводі, відповідно зростає електромагнітна сила, яка притягує якір 2 до магнітопроводу 1. Таким чином магнітний опір магнітопроводу 1 зменшується, а індуктивний опір котушки 3 зростає, що в свою чергу і обмежує струм короткого замикання [2, 3].

При КЗ котушка повинна зберігати надпровідність, тоді номіна-

При КЗ котушка повинна зберігати надпровідність, тоді номіна-

льна напруга буде дорівнювати падінню напруги на обмежувачі струму $U_H = X_L I_{K3} = 4,44 f w B_{K3} S_{oc}$.

Для того, щоб при зростанні струму КЗ індукція осердя не опинилась в зоні насичення (B_{max}), приймаємо $B_{K3} = (0,8...0,85)B_{max}$ для прийняттого матеріалу осердя.

$$S_{oc} = \frac{U_H}{4,44 f w B_{K3}},$$

де S_{oc} – площа перерізу осердя, яка визначає його розміри і масу рухомого якоря (M_y); w – кількість витків визначає розміри ВТНП котушки і, відповідно, кріостата; f – частота коливань.

З іншого боку, кількість витків визначається початковими умовами протягування якоря:

$$B_\delta = \mu_0 H \approx \mu_0 \frac{w I_{ном}}{2\delta};$$

$$w = \frac{2\delta B_\delta}{\mu_0 I_{ном}},$$

де μ_0 – магнітна стала; H – напруженість магнітного поля; $I_{ном}$ – номінальний струм; B_δ – індукція у повітряному зазорі; δ – повітряний проміжок між якорем і осердя.

Приймаємо $2B'_\delta S'_{oc} = B_\delta S_{oc}$ ($2S'_{oc} = S_{oc}$), де B'_δ – індукція у повітряних зазорах бокових стержнів, S'_{oc} – площа перерізу бокових стержнів. Початкова електромагнітна сила протягування якоря:

$$F_{ем} = 0,4 [B_\delta^2 S_{oc} + 2(B'_\delta)^2 S'_{oc}] \cdot 10^6 = 0,4 \cdot 2 B_\delta^2 S_{oc} 10^6 \approx M_y g.$$

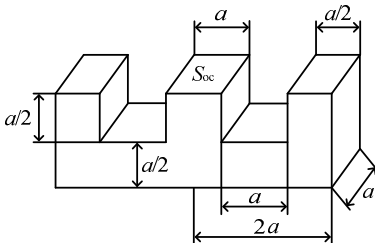


Рис. 2. Якір НПОС.

$$M_y = \rho_{ст} V_y = 3\rho_{ст} S_{oc} \sqrt{S_{oc}};$$

$$V_y = 3a^3 = 3S_{oc} \sqrt{S_{oc}};$$

$$w^2 = \frac{4\delta^2 \cdot 3\rho_{ст} g \sqrt{U}}{\mu_0 I_H^2 \sqrt{4,44 f B_{K3}} \cdot \sqrt{w}};$$

$$w = \left(\frac{4\delta^2 3\rho_{ст} g \sqrt{U}}{\mu_0 I_H^2 \sqrt{4,44 f B_{K3}}} \right)^{0,4}.$$

Площина осердя (S_{oc}) і кількість витків (w) є визначальними для розрахунку розмірів обмежувача струму.

Висновки. Завдяки використанню такого НПОС можна підвищити ефективність та надійність захисту електричної мережі та електроукомплектування від струмів КЗ, а також знизити енерговитрати шляхом використання високотемпературної надпровідникової обмотки з провуду 2-го покоління, який перевершує параметри попередніх і має більшу критичну щільність струму [4]. Такий підхід дозволяє виключити перехід ВТНП обмотки з надпровідного до нормального стану, що видаляє недоліки та негативні ризики пов'язані з цим.

Використання НПОС в енергетичних системах дозволить зменшити кількість і параметри пристроїв та апаратів захисту електромережі.

Список джерел інформації: 1. Тенденції розвитку і використання високотемпературних надпровідникових струмообмежувачів / *Данько В.Г., Гончаров Є.В., Лисенко Л.І.* та ін. // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Тем. вип.: Прилади та методи неруйнівного контролю. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2006. – № 38. – С. 35-44. 2. Електромагнітний обмежувач струму короткого замикання з високотемпературною надпровідниковою обмоткою [Текст]: патент 48214 : МКЗ Н02Н 9/00 / *Данько В.Г., Гончаров Є.В.*; власник патенту Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут". – № u 200909564; заявл. 18.09.09; опубл. 10.03.10, Бюл. № 5. – 4 с. 3. *Данько В.Г., Гончаров Є.В.* Електромагнітний надпровідний обмежувач струму короткого замикання / *Данько В.Г., Гончаров Є.В.* // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XVIII міжн. наук.-практична конф. (MicroCAD-2010), 12-14 травня 2010 р.: Тези доп. / НТУ "ХПІ" – Харків, 2010. – С. 160. 4. Study of HTS Wires at High Magnetic Fields/ D. Turrioni, E. Barzi, M.J. Lamm et al. // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. – 2009. – Vol. 19. – № 3. – P. 3057-3060.



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.

Надійшла до редколегії 25.09.2010