

УДК 621.316.9

В.Г. ДАНЬКО, Є.В. ГОНЧАРОВ, І.В. ПОЛЯКОВ

АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЕКРАНОВАНОГО ІНДУКТИВНОГО ОБМЕЖУВАЧА СТРУМУ З ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОЮ НАДПРОВІДНІСТЮ

Розглянуто принцип роботи та конструкцію екранованого високотемпературного надпровідного обмежувача струму короткого замикання індуктивного типу. Проведено порівняльний аналіз конструктивних особливостей обмежувачів струму з високотемпературними надпровідними екранами, мідною або надпровідною обмоткою.

Ключові слова: обмежувач струму, коротке замикання, високотемпературний надпровідник, індуктивність, магнітне поле, магнітопровід.

Рассмотрен принцип работы и конструкция экранированного високотемпературного сверхпроводящего ограничителя тока короткого замыкания индуктивного типа. Проведен сравнительный анализ конструктивных особенностей ограничителей тока с високотемпературными сверхпроводящими экранами, медной или сверхпроводящей обмоткой.

Ключевые слова: ограничитель тока, короткое замыкание, високотемпературный сверхпроводник, индуктивность, магнитное поле, магнитопровод.

The principle of operation and design of a shielded high-temperature superconducting short-circuit current limiter of inductive type are considered. Comparative analysis of the design features of current limiters with high-temperature superconducting screens, copper or superconducting winding is carried out.

Key words: current limiter, short-circuit, high temperature superconductor, inductance, magnetic field, ferromagnetic core.

Вступ. Надпровідний обмежувач струму короткого замикання (ОСКЗ) є аналогом традиційних струмообмежувальних реакторів. Перші розробки обмежувачів струму використовували фазовий перехід при втраті надпровідності для обмеження струму короткого замикання [1].

Розробка обмежувачів струму на рівні низькотемпературних надпровідників (4 К) була ускладнена через енергетичні витрати на охолодження. З появою високотемпературних надпровідних матеріалів у 1986 р., які охолоджуються рідким азотом (77 К), розпочалися розробки надпровідного обмежувача струму [2].

Таким чином, були розроблені резистивна та індуктивна конструкції високотемпературного надпровідного обмежувача струму, на яких у подальшому було засновано більшість інших [3].

Мета та задача дослідження. Метою статті є проведення порівняльного аналізу конструктивних особливостей індуктивного обмежувача струму короткого замикання з надпровідним екраном.

Задача роботи – аналіз впливу конструктивних особливостей на ефективність роботи обмежувача струму.

Аналіз базових прототипів конструкцій ОСКЗ.

Резистивна конструкція обмежувача струму (рис. 1) заснована на нелінійності опору надпровідника.

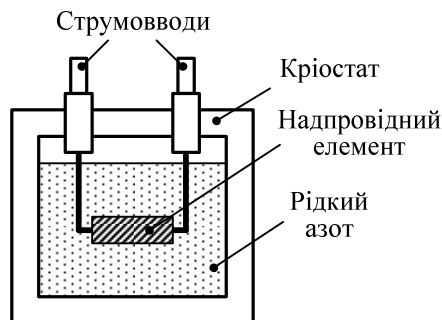


Рис. 1 – Схематична конструкція резистивного обмежувача струму

При короткому замиканні струм збільшується і досягає критичного значення для надпровідного елемента, який втрачає надпровідність та його опір багаторазово збільшується. Однак основним недоліком резистивного надпровідного обмежувача струму є тепловиділення і перегрів в режимі короткого замикання.

Компанія ABB (Швейцарія) розробила і протестувала конструкцію екранованого індуктивного трифазного надпровідного обмежувача струму фірми ABB потужністю 1,2 МВ·А (10,5 кВ, 70 А), який був встановлений у Женевській енергосистемі на електростанції в Lontsch (рис. 2) і експлуатувався протягом року [4].



Рис. 2 – Індуктивний обмежувач струму (підстанція Kraftwerk am Lontsch)

Індуктивний надпровідний обмежувач струму з мідною обмоткою. В індуктивних екранованих обмежувачах струму використовуються діамантні властивості надпровідного екрана 1, що перешкоджає проникненню магнітного поля в осердя 2.

Надпровідний екран 1 індуктивного обмежувача струму, що екранує магнітне поле обмотки 3, знаходиться у криостаті 4, який заповнено рідким азотом, та виготовляється з високотемпературних надпровідників (ВТНП), найчастіше у вигляді набору кілець або циліндрів (рис. 3).

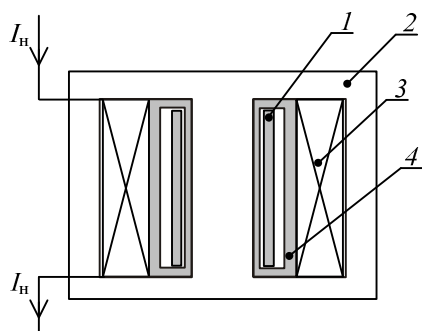


Рис. 3 – Схематична конструкція індуктивного обмежувача струму з мідною обмоткою

При номінальному режимі роботи високотемпературний надпровідний екран 1 екранує феромагнітне осердя 2 від магнітного поля (рис. 4 а), що створює первинна обмотка 3, таким чином, забезпечується дуже низький опір проходженню струму навантаження I_n . Спад напруги на обмежувачі при номінальному режимі суттєво не зменшує напругу на навантаженні (до 1–3 %) [5].

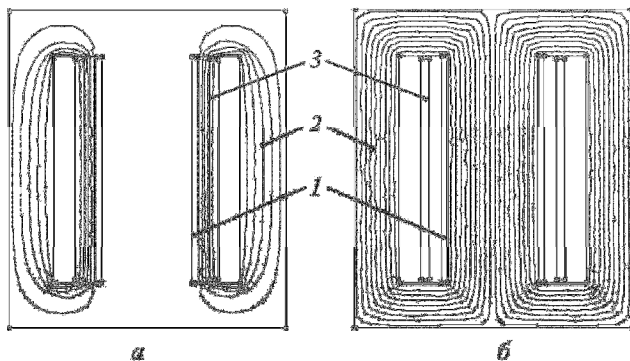


Рис. 4 – Розподіл магнітного поля у ОСКЗ:
а – номінальний режим; б – коротке замикання;
1 – екран; 2 – осердя; 3 – обмотка.

При виникненні короткого замикання струм в обмотці 3 збільшується та досягає значення, при якому напруженість магнітного поля для екрана 1 досягає критичного значення $H_{кр}$, та втрачаються надпровідні властивості екрана 1 (вторинної обмотки), магнітний потік проникає в осердя магнітопроводу 2 (рис. 4 б), що на два порядки збільшує індуктивність обмотки 3. Багаторазове збільшення індуктивності призводить до зростання індуктивного опору, що дозволяє обмежити струм короткого замикання. Обмежувач струму з мідною обмоткою має малу постійну часу і перехідний процес швидко закінчується [6]. Але наявність мідної обмотки характеризується небажаними втратами потужності у номінальному режимі.

Індуктивний надпровідний обмежувач струму з надпровідною обмоткою. У обмежувачі струму з надпровідною обмоткою при збереженні надпровідного стану обмотки індуктивність переважає активний опір $X_{L_{обм}} \gg R_{обм}$ і перехідний процес сповільнюється. В результаті можливе як зростання струму, так і його зменшення відносно того значення, при якому була втрачена надпровідність екрана. При цьому конструкція обмежувача струму з надпровідною обмоткою аналогічна конструкції з мідною, але екран 1

разом з обмоткою 3, яка з'єднана з електромережею струмоводами 5, розміщені всередині кріостата 4 на середньому стержні осердя 2, що забезпечує зменшення втрат потужності у номінальному режимі (рис. 5) [7].

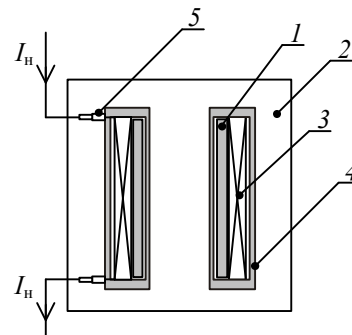


Рис. 5 – Схематична конструкція індуктивного обмежувача струму з надпровідною обмоткою

Можливі варіанти спрацьовування обмежувача струму з надпровідною обмоткою [8]:

1) при досягненні критичної напруженості магнітного поля $H_{кр}$ на поверхні високотемпературного надпровідного екрана (втрата діаманітних властивостей екраном) суттєво збільшується індуктивний опір і починається перехідний процес при початкових умовах ($t = 0$) $i = i_{кр} (H_{кр})$ зі сталою часу $\tau = \frac{L_{обм}}{R_{обм}}$.

Якщо високотемпературна надпровідна обмотка зберігає надпровідність ($R_{обм} \rightarrow 0$), то усталений струм визначається повним опором обмежувача струму

$$I_y = \frac{U_n}{Z_{ос}}$$

а повний опір практично дорівнює реактивному ($Z_{ос} \approx X$), відповідно, стала часу $\tau \rightarrow \infty$, тобто перехідний процес триває від $I_{кр}$ до I_y дуже повільно;

2) надпровідний екран залишається надпровідним, а струм досягає значення $I_{кр}$ для надпровідної обмотки ($R_{обм} \gg 0$), тоді усталений струм $I_y = \frac{U_n}{R_{обм}}$, а реактивний опір практично відсутній ($X_L \rightarrow 0$), відповідно стала часу $\tau = \frac{L}{R_{обм}} \rightarrow 0$, тобто перехідний процес швидко завершується. Це найбільш динамічний процес, з великими інерційними складовими;

3) значення критичного струму $I_{кр}$ близьке і для надпровідного екрана, і для надпровідної обмотки, тому надпровідність і діаманетизм обмотки втрачаються одночасно. Це дає найменший усталений струм

$$I_y = \frac{U_n}{\sqrt{R^2 + X^2}} (R \gg 0) \text{ і стала часу } \tau \rightarrow 0, \text{ але перехідний процес триває більш повільно, ніж для другого випадку.}$$

Перехідний процес ускладнюється тим, що при збільшенні струму короткого замикання до критичного значення $I_{кр}$, що відповідає критичній напруженості магнітного поля $H_{кр}(I_{кр})$ на поверхні ВТНП екрана, втрачаються надпровідні якості ВТНП екрана, а також втрачається надпровідність обмотки. І перше, і друге змінює як індуктивність обмежувача струму, так й

резистивний опір його обмотки, а це, в свою чергу, призводить до зміни повного опору і сталої часу обмежувача струму.

Таким чином, перехідний процес у електричному колі з індуктивним надпровідним обмежувачем струму з надпровідною обмоткою при виникненні короткого замикання може відбуватися у декілька етапів:

1) від початкового значення струму:

$i_{н0} = I_{нм} \sin(\psi_u - \varphi_n)$, де $I_{нм} = U_{нм} / Z_n$, ψ_u – початкова фаза короткого замикання, φ_n – кут навантаження, до втрати надпровідних властивостей екрана (або до втрати надпровідності обмотки);

2) від втрати надпровідних властивостей екрана до втрати надпровідності обмотки (або навпаки від втрати надпровідності обмотки до втрати надпровідних властивостей екрана);

3) від втрати надпровідності екраном і обмоткою до усталеного значення струму в електричній мережі.

Тривалість часу перехідного процесу у більшій мірі залежить від початкової фази короткого замикання ψ_u . На першому та другому етапі перехідного процесу тривалість часу зменшується в залежності від початкової фази короткого замикання, найменший час при $\psi_u = \pi/2$. Тривалість третього етапу перехідного процесу залежить від опору обмотки $R_{обм}$ при втраті надпровідності [9].

Таким чином, реалізація того чи іншого варіанта спрацювання визначається характеристиками ВТНП матеріалів для екрана і обмотки відповідно їх критичних параметрів.

Індуктивний надпровідний обмежувач струму з додатковим екраном. Конструкція обмежувача струму короткого замикання з надпровідним подвійним екраном і надпровідною обмоткою (рис. 6), на відміну від попередньої, забезпечує зменшення магнітних полів розсіяння у номінальному режимі [10].

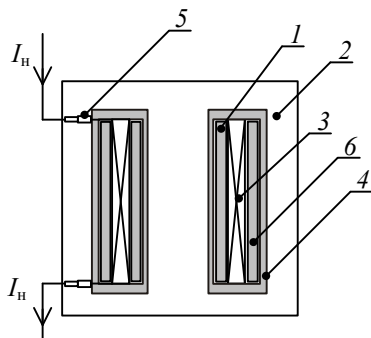


Рис. 6 – Схематична конструкція індуктивного обмежувача струму з додатковим екраном

У конструктивній схемі струмообмежувача короткого замикання основний надпровідний екран 1, надпровідна обмотка 3, яка з'єднана з мережею струмовводів 5, і додатковий надпровідний екран 6, розташований зовні обмотки 3, аксіально розміщені у криостаті 4 на середньому стержні круглого перерізу магнітопроводу 2 [11].

При номінальному режимі надпровідна обмотка 3 послідовно з'єднана з навантаженням і крізь неї проходить струм навантаження I_n . Надпровідний екран 1 екранує середній стержень магнітопроводу від

магнітного поля, яке створює обмотка 3. Магнітні поля розсіяння ззовні обмотки 3 екрануються додатковим надпровідним екраном 6, що зменшує потужність втрат у осерді при номінальному режимі (до 0,5 % від загальних втрат), хоча при цьому декілька збільшиться маса (до 1 %).

Можливі варіанти спрацювання обмежувача струму з додатковим екраном при виникненні короткого замикання [5]:

1) струм в обмотці зростає до втрати надпровідності додатковим надпровідним екраном, при якому напруженість магнітного поля досягає критичного значення $H_{кр}$ і магнітний потік проходить ззовні поверхні основного надпровідного екрана та проникає у крайні стержні магнітопроводу;

2) надпровідність втрачається основним екраном, тоді магнітний потік розсіяння розпоршується у вікні магнітопроводу, але проникає тільки у середній стержень осердя магнітопроводу.

Коли аварійний струм зростає до критичного значення, обмотка 3 втрачає надпровідність і набуває активний опір, що прискорює завершення перехідного процесу.

Індуктивний надпровідний обмежувач струму з повним кріогенним охолодженням. Конструктивна схема обмежувача струму з повним кріогенним охолодженням відрізняється від попередніх тим, що надпровідний екран 1, осердя 2 разом з надпровідною обмоткою 3, яка з'єднана з мережею струмовводів 5, потрапляють в зону кріогенного охолодження – криостат 4 (рис. 7) [12].

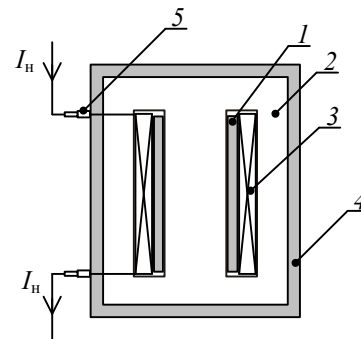


Рис. 7 – Схематична конструкція індуктивного обмежувача струму з повним кріогенним охолодженням

Винесення криостата із зони дії магнітних полів дозволяє виготовляти його з високоміцних металевих матеріалів. Крім цього, надпровідний екран 1, який максимально наближено до осердя, знаходиться безпосередньо на середньому стержні осердя, а не відділений від нього стінкою криостата, як у вище поданих конструкціях, що покращує екранування осердя [13].

Втрати на охолодження індуктивного надпровідного обмежувача струму з повним кріогенним охолодженням пов'язані як із зовнішніми припливами тепла:

- по струмовводах;
- крізь стінки криостата;
- так і внутрішніми:
- гістерезисні втрати;
- втрати потужності у осерді.

Потужність тепловиділень має такі складові:

$$P_{\text{тепл}} = P_{\text{ос}} + P_{\text{зовн}} + P_{\text{гіст}} + P_{\text{св}},$$

де $P_{\text{ос}}$ – магнітні втрати в осерді магнітопровода;

$P_{\text{зовн}}$ – зовнішні припливи тепла крізь стінки криостата;

$P_{\text{гіст}}$ – гістерезисні втрати;

$P_{\text{св}}$ – приплив тепла по струмоводах.

Для того, щоб вивести тепло з криостата і підтримувати в ньому температуру рідкого азоту (до 77 К), необхідно витратити на охолодження потужність на порядок більшу (12 Вт) потужності тепловиділень [14].

При нормальній роботі магнітна індукція в осерді 2 буде дуже мала, а втрати в магнітопроводі пропорційні квадрату індукції, при цьому істотних тепловиділень можна не очікувати [15].

За порівняльним аналізом обмежувачів струму короткого замикання традиційного, резистивного та розглянутих індуктивних типів у залежності від конструктивного виконання подано діаграму втрат потужності у процентах (рис. 8) [4, 8, 16].

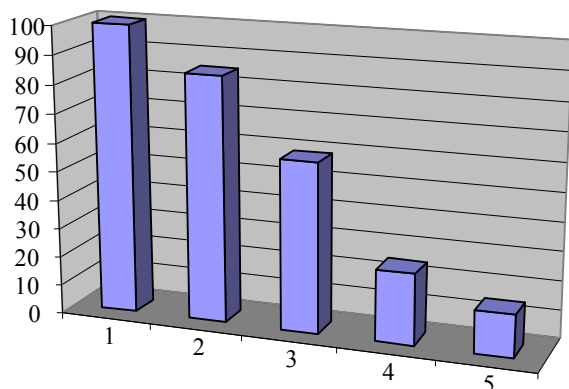


Рис. 8 – Втрати потужності ОСКЗ:

1 – традиційний реактор; 2 – резистивний ОСКЗ;

3 – індуктивний ОСКЗ з мідною обмоткою; 4 – індуктивний ОСКЗ з надпровідною обмоткою; 5 – індуктивний ОСКЗ з повним криогенним охолодженням

Висновки. Поперечні розміри середнього стержня у всіх варіантах екранованої індуктивної конструкції обмежувача струму однакові, але відсутність криостата на середньому стержні осердя обмежувача струму з повним криогенним охолодженням призводить до зменшення розмірів і маси осердя магнітопровода, а також втрат потужності при одній і тій же висоті надпровідного екрана.

Список літератури

1. Leung E. M. Superconducting fault current limiters / E.M. Leung // IEEE Power Engineering Review. – 2000. – Vol. 20, № 8. – P. 1955–1960.
2. Fault current limiter based on high temperature superconductors – different concepts, test results, simulations, applications / W. Paul, M. Chen, M. Lakner, et al. // Physica C. – 2001. – Vol. 354, № 1/4. – P. 27–33.
3. Данько В.Г. Використання високотемпературної надпровідності в електроенергетичному обладнанні: монографія / Данько В.Г., Полянська І.С., Гончаров Є.В.; за ред. В. Г. Данько. – Х.: НТМТ, 2011. – 248 с.
4. Test of 1.2 MVA high- T_c superconducting fault current limiter / W. Paul, M. Lakner, J. Rhyner, et al. // Superconductor Science and Technology. – 1997. – Vol. 10, № 12. – P. 914–918.
5. Данько В.Г. Аналіз особливостей роботи надпровідного індуктивного обмежувача струму з додатковим надпровідним екраном / В.Г. Данько, Є.В. Гончаров, І.В. Поляков // Електротехні-

ка і електромеханіка. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2017. – № 4. – С. 16–20.

6. Данько В.Г. Аналіз роботи високотемпературного надпровідного обмежувача струму короткого замикання / В.Г. Данько, Є.В. Гончаров // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2007. – № 6/5 (30). – С. 45–48.
7. Пат. 74741 Україна, МПК H02H 9/00. Надпровідний обмежувач струму короткого замикання з екраном / Данько В.Г., Гончаров Є.В.; власник патенту НТУ “ХПІ”. – № у 201204751; заявл. 17.04.12; опубл. 12.11.12, Бюл. № 21. – 4 с.: 3 іл.
8. Гончаров Є.В. Підвищення експлуатаційних показників надпровідного обмежувача струму короткого замикання індуктивного типу [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.09.01 / Гончаров Євген Вікторович; НТУ “ХПІ”. – Харків, 2016. – 20 с.
9. Данько В.Г. Особливості роботи надпровідного обмежувача струму при раптовому КЗ / Данько В.Г., Гончаров Є.В. // Електротехніка і електромеханіка. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2014. – № 6. – С. 30–33.
10. Пат. 112671 Україна, МПК H02H 9/00. Струмообмежуючий реактор з надпровідним комбінованим екраном / Гончаров Є.В. – № у 201606722; заявл. 21.06.16; опубл. 26.12.16, Бюл. № 24. – 4 с.: 1 іл.
11. Гончаров Є.В. Удосконалення екранування надпровідного індуктивно-резистивного струмообмежувача / Гончаров Є.В. // Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування: Матеріали наук.-техн. конф., м. Київ 14-18 листопада – м. Київ: НУБіП – 2016. – С. 107–108.
12. Пат. 107531 Україна, МПК H02H 9/00. Високотемпературний надпровідний обмежувач струму короткого замикання з повністю криогенним охолодженням / Данько В.Г., Гончаров Є.В.; власник патенту НТУ “ХПІ”. – № а 201312286; заявл. 21.10.13; опубл. 12.01.15, Бюл. № 1. – 4 с.: 1 іл.
13. Dan'ko V.G. Synthesis aspects of cryogenic high-temperature superconducting shielding inductive short-circuit current limiter / V.G. Dan'ko, E.V. Goncharov // Вісник НТУ “ХПІ”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2016. – № 32 (1204). – С. 3–7.
14. Gubser Donald U. Superconductivity: an emerging power-dense energy-efficient technology / U. Gubser Donald // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. – 2004. – Vol. 14, № 4. – P. 2037–2046.
15. Dan'ko V.G. Analysis of energy efficiency of a superconducting short circuit current limiter / V.G. Dan'ko, E.V. Goncharov, I.V. Polyakov // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2016. – Т. 6, № 5(84). – С. 4–12.
16. CURL 10: development and field-test of a 10 kV/10 MVA resistive current limiter based on bulk MCP-BSCCO 2212 / J. Bock, F. Breuer, H. Walter, et al. // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. – 2005. – Vol. 15, № 2. – P. 1955–1960.

References (transliterated)

1. Leung E.M. Superconducting fault current limiters. E. M. Leung. IEEE Power Engineering Review. – 2000. – Vol. 20, № 8. – P. 1955–1960.
2. Fault current limiter based on high temperature superconductors – different concepts, test results, simulations, applications. W. Paul, M. Chen, M. Lakner, et al. Physica C. – 2001. – Vol. 354, No 1/4. – P. 27–33.
3. Dan'ko V.G. Vykorystannya vysokotemperaturnoyi nadprovidnosti v elektroenergetychnomu obladnanni [Use of high-temperature superconductivity in electric power equipment]: monograph. V.G. Dan'ko, I.S. Polyanska, E.V. Goncharov; edited by V.G. Dan'ko. – Kh.: NTMT, 2011. – 248 p.
4. Test of 1.2 MVA high- T_c superconducting fault current limiter / W. Paul, M. Lakner, J. Rhyner, et al. Superconductor Science and Technology. – 1997. – Vol. 10, No 12. – P. 914–918.
5. Dan'ko V.G. Analiz osoblyvostey roboty nadprovidnoho induktyvnoho obmezhuвача струму z dodatkovym nadprovidnym ekranom [Analysis of the functioning modes of the superconducting inductive current limiter]. V.G. Dan'ko, E.V. Goncharov, I.V. Polyakov. Electrical engineering & electromechanics. – Kharkiv: NTU «KhPI». – 2017. – No 4. – P. 16–20.
6. Dan'ko V. G Analiz roboty vysokotemperaturnoho nadprovidnykovooho obmezhuвача струму korotkoho zamykannya [Analysis of high-temperature superconducting short-circuit current limiter]. V.G. Dan'ko, E.V. Goncharov. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2007. – Vol. 6/5 (30). – P. 45–48.

7. Dan'ko V.G., Goncharov E.V. Nadprovidnyy obmezhuвач strumu korotkoho zamykannya z ekranom [Superconducting short-circuit current limiter with screen]. Patent UA, no 74741.
8. Goncharov E.V. Improving Operational Performance of Superconducting Fault Current Limiter of the Inductive Type [Text] : abstract diss cand. tech. sci : 05.09.01. Goncharov Evgen Victorovich; NTU "KhPI". – Kharkiv, 2016. – 20 с.
9. Dan'ko V. G. Osoblyvosti roboty nadprovidnoho obmezhuвачa strumu pry raptovomu KZ [Features of the superconducting current limiter at the sudden short-circuit]. V.G. Dan'ko, E.V. Goncharov. Electrical engineering & electromechanics. – Kharkiv: NTU "KhPI" – 2014. – No 6. – P. 30–33.
10. Goncharov E. V. Strumoobmezhuuyuchy reaktor z nadprovidnym kombinovanim ekranom [Superconducting current-limiting reactor combined screen]. Patent UA, no 112671.
11. Goncharov E. V. Udoskonalennya ekranuvannya nadprovidnoho induktyvno-rezystyvnoho strumoobmezhuвачa [Improving shielding of superconducting inductively resistive short-circuit current limiter]. E.V. Goncharov. Problems of modern energy and automation system of nature: Materialy nauk.-tekhn. konf., Kyiv 14-18 November – Kyiv: NUBiP – 2016. – P. 107–108.
12. Dan'ko V.G., Goncharov E.V. Vysokotemperaturnyy nadprovidnyy obmezhuвач strumu korotkoho zamykannya z povnistyu kriohen-
nym okholodzhennyam [High-temperature superconducting short-circuit current limiter with a fully cryogenic cooling]. Patent UA, no 107531, 2015.
13. Dan'ko V.G. Synthesis aspects of cryogenic high-temperature superconducting shielding inductive short-circuit current limiter. V.G. Dan'ko, E.V. Goncharov. Visnik NTU «KhPI». Kharkiv: NTU «HPI» – 2016. – No 32(1204). – P. 3–7.
14. Gubser Donald U. Superconductivity: an emerging power-dense energy-efficient technology. U. Gubser Donald. IEEE Transactions on Applied Superconductivity. – 2004. – Vol. 14, No 4. – P. 2037–2046.
15. Dan'ko V.G. Analysis of energy efficiency of a superconducting short circuit current limiter. V.G. Dan'ko, E.V. Goncharov, I.V. Polyakov. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 6, No 5(84). – C. 4–12.
16. CURL 10: development and field-test of a 10 kV/10 MVA resistive current limiter based on bulk MCP-BSCCO 2212. J. Bock, F. Breuer, H. Walter, et al. IEEE Transactions on Applied Superconductivity. – 2005. – Vol. 15, No 2. – P. 1955–1960.

Поступила (received) 31.08.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Аналіз конструктивних особливостей екранованого індуктивного обмежувача струму з високотемпературною надпровідністю / В. Г Данько, Є. В. Гончаров, І. В. Поляков // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – Х. : НТУ "ХПІ", 2017. – № 34 (1256). – С. 9–13. – Библиогр.: 16 назв. – ISSN 2079-3944.

Анализ конструктивных особенностей экранированного индуктивного ограничителя тока с высокотемпературной сверхпроводимостью / В. Г Данько, Е. В. Гончаров, И. В. Поляков // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. – Х. : НТУ "ХПІ", 2017. – № 34 (1256). – С. 9–13. – Библиогр.: 16 назв. – ISSN 2079-3944.

Analysis of design features of shielded inductive current limiter with high-temperature superconductivity / V. G. Dan'ko, E. V. Goncharov, I. V. Polyakov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems of Electrical Machines and Apparatus Perfection. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2017. – No. 34 (1256). – P. 9–13. – Bibliography: 16. – ISSN 2079-3944.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Данько Володимир Григорович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", професор кафедри загальної електротехніки, м. Харків; тел.: (057) 707-64-27.

Данько Владимир Григорьевич – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", профессор кафедры общей электротехники; г. Харьков, тел.: (057) 707-64-27.

Dan'ko Vadymir Grigorovich – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor of Department of general electrical engineering, Kharkiv; tel.: (057) 707-64-27.

Гончаров Євген Вікторович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", доцент кафедри загальної електротехніки; м. Харків, тел.: (057) 707-64-27.

Гончаров Евгений Викторович – кандидат технических наук, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", доцент кафедры общей электротехники, г. Харьков; тел.: (057) 707-64-27.

Goncharov Yevgen Viktorovich – Candidate of Engineering Science (Ph. D.), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of General electrical engineering, Kharkiv; tel.: (057) 707-64-27.

Поляков Ігор Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", доцент кафедри загальної електротехніки, м. Харків; тел.: (057) 707-64-27.

Поляков Игорь Владимирович – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт", доцент кафедры общей электротехники, г. Харьков; тел.: (057) 707-64-27.

Polyakov Igor Vladimirovich – Candidate of Engineering Science (Ph. D.), Associate Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of General electrical engineering, Kharkiv, tel.: (057) 707-64-27.