

УДК 621.316.9
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-1/05>

Гончаров Є.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ІНДУКЦІЙНОГО ОБМЕЖУВАЧА СТРУМУ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

У статті проведено технічний аналіз наявних схем та конструктивних рішень щодо обмеження надвисоких струмів короткого замикання. Проаналізовано будову та умови роботи індукційних обмежувачів струму короткого замикання. Проаналізовано вимоги електромереж до струмообмежувальних реакторів у якості індукційних обмежувачів струму короткого замикання. Проаналізовано особливості використання надпровідників у індукційних обмежувачів струму короткого замикання. Встановлено переваги використання традиційних та надпровідникових реакторів, як індукційних обмежувачів струму короткого замикання.

Проаналізовано особливості режимів роботи індукційних обмежувачів струму короткого замикання з мідною або надпровідниковою обмоткою. Відповідно до конструктивних особливостей індукційних обмежувачів струму короткого замикання наведено розрахунок основних параметрів магнітної системи, що враховує коефіцієнт обмеження струму, ударний коефіцієнт, коефіцієнт реагування. Застосування високотемпературного надпровідника, завдяки підвищеним критичним параметрам, забезпечує збереження надпровідного стану обмотки у режимі короткого замикання. Використання індукційних обмежувачів струму короткого замикання з надпровідниковою обмоткою забезпечує енергоощадження у номінальному режимі. Застосування індукційних обмежувачів струму короткого замикання знижує вимоги до апаратів захисту, полегшує роботу електроустановок, у тому числі генераторів електростанцій, а також знижує вартість обладнання і розподільчих електромереж.

На підрунті проведеного аналізу визначені достатні та необхідні вимоги до параметрів застосування індукційних обмежувачів струму. Отримані результати аналізу можуть використовуватися для дослідження методів з удосконалення експлуатаційних характеристик індукційних обмежувачів струму.

Ключові слова: коротке замикання, струмообмежувальний реактор, обмежувач струму, високотемпературний надпровідник, реактивний опір, індуктивність, магнітопровід.

Постановка проблеми. Розвиток електроенергетичної галузі потребує підвищення якості електроенергії та застосування електричних апаратів відповідного рівня призначених для керування та захисту в мережах електропередачі. Освоєння та створення нових енергетичних комплексів великої потужності, зростання генерації електроенергії, зумовлює появу надвисоких класів напруг.

Збільшення споживаної потужності в електромережах, спричиняє зростання рівня аварійних струмів короткого замикання. Що, зі свого боку, призводить до збільшення ризиків значної руйнації електрообладнання, і потребує ефективний захист. У разі реконструкції та переустаткування наявних енергосистем необхідне застосування ефективних засобів захисту від аварійних режимів виникнення струму короткого замикання.

Таким чином, одним з визначальних параметрів під час вибору встаткування підстанцій і ліній електропередачі є захист ліній електропередачі та споживачів електроенергії від струмів короткого замикання, що є досить актуальним завданням. Відомі

різні традиційні пристрої захисту електромереж і електрообладнання від надмірних струмів такі як, плавкі запобіжники, вимикачі, струмообмежуючі реактори та різні пристрої обмеження струму.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для обмеження струмів і для деяких інших цілей використовуються багато різновидів індукційних обмежувачів струму (далі – ІОС) реакторів, які за своїм призначенням підрозділяються на струмообмежувальні реактори, загороджувачі зв'язку, що згладжують (наприклад, у мережах електрифікованого залізничного транспорту), пускові для синхронних компенсаторів та інше. Реактор, що являє собою котушку з великим незмінним індуктивним і малим активним опором, встановлюють на кабельних лініях, що відходять, або в колі понижуючих трансформаторів потужних станцій і підстанцій. Він призначений для обмеження струмів короткого замикання і підтримки напруги на шинах під час аварійного режиму.

При короткому замиканні за реактором струм короткого замикання значно менше, чим у мережі

нереактованій, оскільки загальний індуктивний опір у першому випадку більше (завдяки опору реакторів).

За конструктивними особливостями обмотки відомі реактори з кабельною обмоткою, дисковою, обмоткою зі стрічкового провідникового матеріалу, з радіальним або аксіальним напрямом намотування. За видом ізоляції також розрізняють сухі та маслонаповнені реактори. Відомі також струмообмежувальні реактори з покращеними характеристиками завдяки використанню надпровідних обмоток [1].

Постановка завдання. Метою статті є аналіз наявних схемних і конструктивних рішень та особливостей використання індукційних обмежувачів струму короткого замикання.

Завдання роботи – аналіз необхідних та достатніх вимог до основних параметрів індукційного обмежувача струму короткого замикання, зокрема з використанням надпровідників та феромагнетику у магнітній системі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Найбільше поширення одержали бетонні реактори з повітряним охолодженням, прості за конструкцією та надійні в роботі. Обмотку реактора 1 виконують з гнучкого багатожильного ізольованого проводу. Витки обмотки укладають на спеціальному каркасі та скріплюють бетонними колонками 2, просоченими лаком. Кожна колонка реактора встановлюється на опорні ізолятори 3, які забезпечують ізоляцію від землі та між фазами (рис. 1). У трифазних установках застосовують реактори, що складаються з трьох котушок, ізольованих один від одного та від заземлених частин [2].

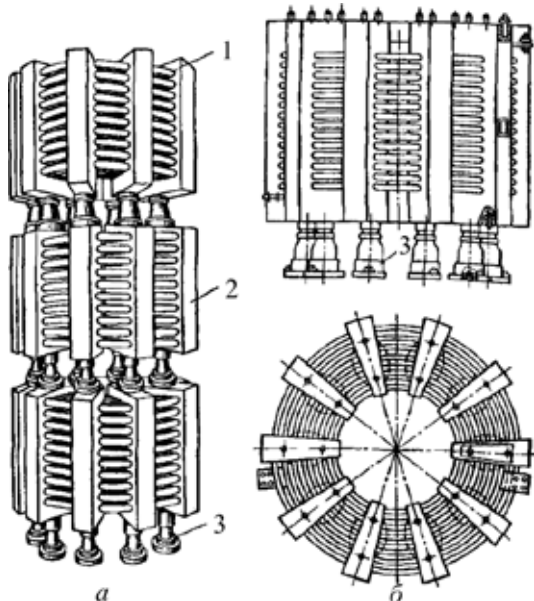


Рис. 1. Бетонний реактор РБА-6-400-4: а – загальний вид; б – фаза реактора; 1 – обмотка, 2 – бетонна колонка, 3 – опорний ізолятор

Основні параметри реактора: 1) номінальна напруга $U_{ном}$; 2) номінальний струм $I_{ном}$; 3) реактивний опір $x_{р\%}$; 4) струм термічної стійкості I_t для часу t ; 5) струм динамічної стійкості $i_{уд}$. На рис. 1 показано бетонний реактор РБА-6-400-4, де букви та цифри означають: Р – реактор; Б – бетонний; А – з алюмінієвою обмоткою; 6 – номінальна напруга [кВ]; 400 – номінальний струм [А]; 4 – індуктивний опір (%).

При номінальних струмах $I_{ном} = 1500$ А зазвичай застосовують вертикальну установку фаз (котушок) реактора, при струмах $I_{ном} > 1500$ А – горизонтальну установку. Напрямок намотування витків середньої фази повинне бути протилежним напрямку витків верхньої та нижньої фаз (за вертикальної установки) і крайніх фаз (за горизонтальної установки). Це необхідно для того, щоб під час протікання струму короткого замикання котушки притягалися, а не відштовхувалися.

Основні споживачі струмообмежувальних реакторів це електричні станції, що генерують, ТЕС, ГЕС, ГрЕС, ФЕС, ВЕС, розподільні підстанції, електричні мережі, великі промислові підприємства, енергомісткі об'єкти інфраструктури. У своїй більшості ІОС використовуються як сухі бетонні реактори у розподільних електромережах напругою 6-10 кВ та струми до 4 кА при індуктивному опорі $x_{р\%} = 4-12$ для внутрішньої й зовнішньої установки. Струмообмежувальні ІОС реактори напругою 35 кВ і більше застосовують масляну ізоляцію, мають каркас стрижневої або тороїдальної форми з ізоляційного матеріалу і сталевий бак. На рис. 2 подані схеми приєднання до мережі одинарних реакторів.

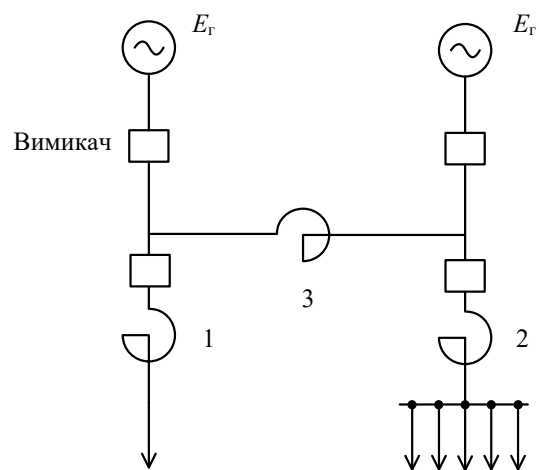


Рис. 2. Основні схеми розміщення струмообмежувальних реакторів: 1 – лінійний реактор; 2 – груповий; 3 – секційний

Залежно від місця установки реактора в тій або іншій схемі з'єднань розрізняють лінійні, групові

та секційні реактори (рис. 2). Використання реакторів у всіх наведених вище випадках забезпечує зменшення (обмеження) струмів КЗ. Застосування реакторів також дає змогу підтримувати в момент КЗ рівень напруги неущкоджених з'єднань. Номінальною напругою $U_{\text{ном}}$ реактора називається номінальна лінійна напруга мережі, у яку включений реактор.

При трифазному короткому замиканні без використання реактора струм визначається здебільшого індуктивним опором генератора:

$$I_{\text{КЗГ}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}X_{\text{Г}}}, \quad (1)$$

Таким чином, струм короткого замикання у лінії з увімкненим реактором визначається сумарним опором генератора та реактора:

$$I_{\text{КЗР}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}(X_{\text{Г}} + X_{\text{Р}})}, \quad (2)$$

де $U_{\text{ном}}$ – номінальна напруга реактора; $X_{\text{Г}}$ – реактивний опір генератора; $X_{\text{Р}}$ – реактивний опір реактора.

Реактивний індуктивний опір реактора:

$$X_{\text{Р}} = \omega L, \quad (3)$$

де $\omega = 2\pi f$ – кутова частота; f – частота коливань напруги; L – індуктивність реактора.

Основною величиною, що визначає призначення реактора, є його номінальна реактивність, що являє собою виражене у відсотках відношення індуктивного падіння напруги у фазі трифазного комплексу реакторів під час проходження через нього симетричного трифазного номінального струму до номінальної фазної напруги:

$$x_{\text{Р}\%} = \sqrt{3} \frac{I_{\text{ном}} X_{\text{Р}}}{U_{\text{ном}}} 100, \quad (4)$$

де $X_{\text{Р}}$ – реактивний опір реактора; $I_{\text{ном}}$ – номінальний струм навантаження реактора.

Відповідно до частоти електромереж в Україні ($f = 50$ Гц) з рівняння (4) номінальна відсоткова реактивність реактора:

$$x_{\text{Р}\%} = \sqrt{3}\pi \cdot 10^4 \frac{I_{\text{ном}} L}{U_{\text{ном}}}, \quad (5)$$

Номінальний струм $I_{\text{ном Р}}$ навантаження реактора визначається з умов припустимого нагрівання обмотки реактора або за економічною щільністю струму. Найчастіше один генератор обслуговує кілька десятків споживачів, тому номінальний струм лінії менший за номінальний струм генератора. Струм реактора обирається рівним струму лінії, таким чином $I_{\text{ном}} \ll I_{\text{ном Г}}$. Якщо вважати, що $x_{\text{Р}\%} = x_{\text{Г}\%}$, тоді впливає що $X_{\text{Р}} \gg X_{\text{Г}}$, відповідно $I_{\text{КЗР}} \ll I_{\text{КЗГ}}$ таким чином

$$I_{\text{КЗР}} \approx \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}X_{\text{Р}}} = I_{\text{ном}} \frac{100}{x_{\text{Р}\%}}, \quad (6)$$

Таким чином, бажано щоб ІОС мав нульовий опір за нормальних умов функціонування електричного кола і швидко змінював його (до першого піка струму КЗ) від нуля до передбачуваного значення, необхідного для обмеження струму КЗ. Достатньо, щоб падіння напруги на обмежувачі струму при нормальних умовах функціонування кола було менше декількох відсотків $\sim 5\%$ від номінальної напруги мережі. У цьому випадку обмежувач струму не порушує стабільної роботи електроенергетичної системи та не впливає на технологічні властивості ліній.

Особливості використання надпровідників у реакторах. Розглянемо струмообмежувальні реактори, що використовують високотемпературні надпровідникові (далі – ВТНП) обмотки. За конструктивними особливостями можна виділити дві основні схеми ІОС з надпровідниковими обмотками на яких засновані інші конструкції: резистивна та індуктивна [1].

Резистивна конструкція ґрунтується на нелінійності опору надпровідника. Індукційний обмежувач струму використовує нелінійність вольт-амперної характеристики надпровідника, але введенням у коло індуктивного опору. За видом виконання магнітної системи ІОС розрізняють: без сталевих осердя; з магнітним осердям; з підмагнічуванням осердя постійним струмом; із замкнутою системою магнітопроводу та інше. Цей тип конструкції можна розглядати на прикладі схеми трансформатора з надпровідниковим резистором як навантаження вторинної обмотки [3].

Вплив ІОС на роботу електромережі в нормальному режимі характеризуються такими параметрами та коефіцієнтами:

- коефіцієнт обмеження струму $k_{\text{т}} = \frac{I_{\text{КЗР}}}{I_{\text{ном}}}$, де $I_{\text{КЗР}}$ та $I_{\text{ном}}$ – струми КЗ з реактором і номінальний;
- ударний коефіцієнт $k_{\text{уд}} = \frac{i_{\text{уд}}}{i_{\text{КЗ max}}}$, де $i_{\text{уд}}$ – ударний струм КЗ без реактора, а $i_{\text{КЗ max}}$ – максимальний ударний струм з ІОС;
- коефіцієнт реагування $k_{\text{р}} = \frac{i_{\text{р}}}{\sqrt{2}I_{\text{ном}}}$, де $i_{\text{р}}$ – миттєве значення порога спрацьовування ІОС;
- час початку реагування ІОС на струм короткого замикання t_0 ;
- час існування КЗ $t_{\text{КЗ}}$;
- час відновлення $t_{\text{відн}}$ вихідних властивостей ІОС.

Використання ІОС на наявних підстанціях виявляється доцільним у випадку зміни схеми живлення підстанції з істотно збільшеним очікуваним струмом КЗ на її шинах і з'єднаннях 6-10 кВ. При збільшенні класу напруги на шинах ВН або при зміні числа живильних ліній електро-

передачі, струм КЗ може перевищити припустиме для наявного устаткування значення. Зниження струму КЗ з допомогою традиційних бетонних реакторів струму у низці випадків виявляється недостатнім за умови збереження прийнятної падіння напруги на ньому.

Використання ІОС може виявитися також доцільним при живленні навантаження від власних електростанцій невеликої потужності з резервуванням електропостачання від мереж єдиної енергосистеми. Параметри ІОС для високовольтних електромереж представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри ІОС для високовольтних електромереж

Місце установки ІОС	Параметр ІОС					
	k_t	$k_{уд}$	k_p	$t_{0,c}$	$t_{КЗ,c}$	$t_{відн,c}$
Розподільча мережа 6–10 кВ	7	3	2	0	1,8	0,1
Розподільча мережа власних потреб	7	5	5	0	0,5	0,1
Мережі 110 кВ і вище	3	5	2	0	0,2	0,1

У цьому випадку ІОС є таким видом устаткування, яке дає змогу скоротити витрати на спорудження таких електростанцій.

За сучасного розвитку електромереж рівень струмів КЗ у мережах 110 кВ і вище може досягати 100 кА. Використання ІОС на підстанціях у колах вимикачів ВН дасть змогу скоординувати висхідний рівень струмів КЗ у мережах ВН з вимикальною здатністю вимикачів, що відпрацювали свій ресурс або потребують заміни за значенням струму відключення.

Порівнюючи параметри ІОС для високовольтних і розподільчих мереж можна зробити висновок, що умови роботи ІОС у мережах 6-10 кВ є найважливішим [4].

Вимоги електромереж до надпровідникового реактора. Швидке приведення до дії ІОС необхідно для того, щоб обмежити перший пік струму КЗ. З іншого боку, дуже швидкий ріст повного опору призводить до появи небезпечних кидків напруги в мережі. Час зміни опору 2-4 мс достатній для обмеження першого піка струму КЗ і не викликає перенапруг [5]. Тому, важливими параметрами обмежувача струму є його повний опір за нормальних умов та в умовах КЗ, активаційний струм, час спрацьовування та час відновлення. Прийнятні значення цих параметрів лежать у межах, встановлених характеристиками нормального режиму та режиму КЗ електроенергетичної системи. Так

наприклад, для розрахунків питомий опір ВТНП проводу при надпровідному стані можна прийняти $\rho_a \approx 10^{-15}$ Ом·м, на відміну від питомого опору ρ_r у нормальному стані (табл. 2) [6].

Таблиця 2

Параметри високотемпературних надпровідних проводів при нормальному стані (77 К)

ВТНП провід	Виробник	$J_c, A/M^2$	$\rho_r, Ом \cdot м$
Bi-2223/Ag стрічка	American Superconductor	10^8	$1,23 \cdot 10^{-8}$
Bi-2223/AgAu стрічка	TRITHOR	10^8	$5,6 \cdot 10^{-8}$
YBCO (344/Fe) стрічка	American Superconductor	$92 \cdot 10^6$	$56 \cdot 10^{-8}$
Bi-2212	NEXANS	$17 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^{-6}$
Bi-2223	CAN Superconductor	$5 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^{-5}$

Нормальному режиму відповідає струм електричного кола менший, чим максимальний струм у нормальному режимі. Якщо струм вище цього максимуму не менш, чим удвічі, настає режим перевантаження. Цей режим триває не більше декількох хвилин. Режим КЗ настає, коли струм перевищує максимальне значення номінального струму нормального режиму більш, чим удвічі.

Мінімальне значення сталого струму КЗ дорівнює подвоєному значенню номінального струму $I_{ном}$, на цій максимум $I_{КЗ max}$ досягається при КЗ поблизу шин. Все електроенергетичне устаткування, встановлене в системі, спроектовано на певні значення припустимих перехідних струмів КЗ $I_{дин}$ (припустимий динамічний вплив) і на певні значення припустимих сталих струмів КЗ $I_{нагр}$ (припустиме нагрівання). У кожному разі струм КЗ повинен бути менше цих значень і також менше максимально припустимого струму автоматичного вимикача $I_{вим}$. Застосування ІОС дає змогу встановити силове устаткування з набагато більше низькими припустимими значеннями $I_{вим}$, $I_{дин}$ та $I_{нагр}$.

Установка ІОС в наявну електроенергетичну систему дає змогу використати таку конфігурацію системи, що у відсутності ІОС призвела б до високих струмів КЗ. Реактор містить активний R_p ($R_p \ll X_p$) та реактивний X_p опір, що може бути заданий комплексним повним опором

$$\underline{Z}_p = R_p + jX_p, \quad (7)$$

Якщо максимально припустимий струм автоматичного вимикача $I_{вим}$ менше струмів $I_{дин}$ і $I_{нагр}$, ІОС повинен обмежувати будь-який струм КЗ до

значення нижче $I_{\text{вим}}$. Для випадку трифазного КЗ ця умова призводить до такого обмеження для повного опору ІОС в режимі обмеження Z_p :

$$\underline{Z}_p > \frac{U_\phi}{I_{\text{вим}}} - Z_{\text{КЗ min}}, \quad (8)$$

де U_ϕ – напруга фази; $Z_{\text{КЗ min}} = U_\phi / I_{\text{КЗ min}}$ – мінімальний опір кола при КЗ.

Автоматика захисту не спрацює, якщо струм КЗ менше $2I_{\text{ном}}$, тому:

$$\frac{U_\phi}{(\underline{Z}_p + \underline{Z}_{\text{КЗ}})} > 2I_{\text{ном}}, \quad (9)$$

де $\underline{Z}_{\text{КЗ}}$ – повний опір електричного кола при короткому замиканні.

З умови (9) визначаємо співвідношення між опором \underline{Z}_p ІОС і максимальним значенням $\underline{Z}_{\text{КЗ max}}$, при якому ІОС повинен спрацювати:

$$\underline{Z}_{\text{КЗ max}} < \frac{U_\phi}{2I_{\text{ном}}} - \underline{Z}_p. \quad (10)$$

Це дозволяє співвіднести i_p активаційний струм реагування ІОС з його повним опором \underline{Z}_p . Дійсно, максимальне миттєве значення струму КЗ дорівнює $\sqrt{2}k_{\text{уд}}U_\phi / Z_{\text{КЗ max}}$, де коефіцієнт ударного струму $k_{\text{уд}} \approx 1,8$ [7]. Виразивши $Z_{\text{КЗ max}}$ з (10), одержимо умову для діючого струму реагування [8]:

$$\underline{I}_p > 2k_{\text{уд}} \frac{S_{\text{ном}}}{U_\phi - 2\underline{Z}_p I_{\text{ном}}}, \quad (11)$$

де $S_{\text{ном}}$ – повна потужність фази.

Межа активаційного струму задається з умови:

$$\underline{I}_p < I_{\text{вим}}. \quad (12)$$

Також, необхідно щоб коефіцієнт корисної дії ІОС відповідав вимогам електромережі. Відповідно, втрати потужності в ІОС, бажано, щоб перебували у межах близько до 1% від його номінальної потужності, як наприклад у трансформаторі.

Втрати потужності надпровідникового ІОС на охолодження містять зовнішні припливи тепла [9] (по струмоводах; крізь стінки кріостата) та внутрішні припливи тепла (гістерезисні втрати від змінного струму у провідниках ВТНП обмотки; втрати потужності у магнітопроводі).

Таким чином, потужність тепловиділень має такі складові частини:

$$P_{\text{тепл}} = P_{\text{ос}} + P_{\text{зовн}} + P_{\text{гіст}} + 2P_{\text{св}}, \quad (13)$$

де $P_{\text{ос}}$ – магнітні втрати в осерді магнітопровода; $P_{\text{зовн}}$ – зовнішні припливи тепла крізь стінки кріостата; $P_{\text{гіст}}$ – гістерезисні втрати в проводах надпровідної обмотки при перемагнічуванні; $P_{\text{св}}$ – приплив тепла по струмоводу.

Висновки. Отже, застосування індукційних обмежувачів струму короткого замикання дозволяє знизити вимоги до електродинамічної та термічної стійкості провідників та апаратів; полегшити роботу низки елементів електроустановок, у тому числі генераторів електростанцій, при перехідних процесах; знизити вартість електроустановок і розподільних мереж. Установка індукційних обмежувачів струму дасть змогу як тимчасово реконструювати підстанцію, так і у вигляді остаточного технічного рішення.

Переваги застосування індукційних обмежувачів струму з надпровідниковими обмотками полягають у відсутності активного опору у нормальному режимі. Швидкість втрати надпровідної фази обмотки дає змогу майже безінерційно збільшувати опір індукційних обмежувачів струму під час виникнення короткого замикання та обмежувати струм до певної величини. Також, можливо досягти зниження падіння напруги та потужності втрат реактора завдяки використанню високотемпературних надпровідників.

Список літератури:

1. Данько В.Г., Полянська І.С., Гончаров Є.В. Використання високотемпературної надпровідності в електроенергетичному обладнанні. Харків : НТМТ, 2011. 248 с.
2. Стернин В.Г., Карпенский А.К. Сухие токоограничивающие реакторы. Москва : Л., изд. Энергия, 1965, 256 с.
3. Koki Omura, Hiroki Kojima, Naoki Hayakawa, et al. Current Limiting Characteristics of Parallel-Connected Coated Conductors for High-Tc Superconducting Fault Current Limiting Transformer (HTc-SFCLT). *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 2009. Vol. 19. No 3. P. 1880–1883.
4. Алексеев М.П., Кейлин В.Е., Микляев С.А., и др. Сверхпроводящий ограничитель тока короткого замыкания. *Электричество*. 2003. № 9. С. 20–26.
5. Meerovich V., Sokolovsky V., Goren S., Jung G. AC losses in HTSC BSCCO hollow cylinders with induced current. *Physica C : Superconductivity*, 1999, Vol. 319. No. 3. P. 238–248.
6. Janowski T., S. Kozak, B. Kondratowicz-Kucewicz, et al. Analysis of transformer type superconducting fault current limiters. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*. 2007. Vol. 17. No 2. P. 1788–1790.
7. Реакторы токоограничивающие бетонные : ГОСТ 14794-79. Москва : Издательство стандартов, 1986, 36 с. (Межгосударственный стандарт).
8. Sokolovsky V., Meerovich V., Vajda I., et al. Superconducting FCL : Design and Application. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*. 2004. Vol. 14. No. 3. P. 1890–1899.
9. Dan'ko V.G., Goncharov E.V., Polyakov I.V. Analysis of energy efficiency of a superconducting short circuit current limiter. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 6. No. 5 (84). P. 4–12.

Honcharov E.V. ANALYSIS OF APPLICATION OF THE INDUCTIVE SHORT CIRCUIT CURRENT LIMITER

In paper technical analysis of existing circuit designs and constructive solutions concerning restriction of ultrahigh currents of short-circuit is spent. The structure and operation conditions of inductive short-circuit current limiters are analyzed. Demands of networks to current-limiting coils in the capacity of inductive short-circuit current limiters are analyzed. Application peculiarities of superconducting materials in inductive short-circuit current limiters are analyzed. Application advantages of traditional and superconducting current-limiting coils, as inductive short-circuit current limiters are determined.

Peculiarities of operation modes of inductive short-circuit current limiters with a copper or superconducting winding are analyzed. According to design features of inductive short-circuit current limiters it is resulted calculation of key parameters of magnetic system which considers factor of restriction of a current, shock factor, reaction factor. Application of a high-temperature superconductor, thanks to the raised critical parameters, provides preservation of a superconducting condition of a winding in a short-circuit mode. Application of inductive short-circuit current limiters with a superconducting winding will provide power savings in a nominal mode. Application of inductive short-circuit current limiters reduces requirements to protection devices, facilitates work of electric devices, including generators of power stations, and also reduces cost of electric equipment and distributive electric systems.

On the basis of the spent analysis of sufficient and necessary demands to parameters of inductive current limiters application are obtained. The gained results of analysis can be used in research of methods to advance operation characteristics of inductive current limiters.

Key words: *short-circuit, current-limiting coil, current limiter, high-temperature superconductor, reactance, inductance, magnetic circuit.*