

# Ograniczniki prądu z wysokotemperaturowymi elementami nadprzewodnikowymi

## Streszczenie.

Szczególna cecha nadprzewodników- skokowy wzrost rezystancji elementu nadprzewodnikowego przy przekroczeniu jego wartości krytycznej prądu umożliwia budowę ograniczników prądów zwarciovych w sieciach elektroenergetycznych. W pracy przedstawiono różne rozwiązania konstrukcyjne ograniczników prądu z wysokotemperaturowymi elementami nadprzewodnikowymi. Omówiono także zbudowane modele fizyczne ograniczników z elementami wysokotemperaturowymi oraz wyniki badań eksperymentalnych.

**Abstract. (Fault current limiters with HTS elements).** The special feature of superconductors – resistance jumping growth of superconducting element beyond the critical current can be use to build the superconducting fault current limiter for power systems. The different constructions of high temperature superconducting fault current limiter are presented. The physical models of FCL with HTS elements and the experimental results are also presented in this paper. (Fault current limiters with HTS elements)

**Słowa kluczowe:** nadprzewodnik wysokotemperaturowy, prąd zwarciovowy, nadprzewodnikowy ogranicznik prądu, ogranicznik indukcyjny

**Key words:** high temperature superconductors, fault current limiter, inductive limiter

## Wstęp

Udoskonalenie technologii wytwarzania nadprzewodników niskotemperaturowych II rodzaju i nadprzewodników wysokotemperaturowych o dobrych parametrach w silnych polach magnetycznych, stworzyło warunki do wykorzystania ich w elektroenergetyce.

Zastosowanie w urządzeniach elementów z nadprzewodników wysokotemperaturowych, o temperaturze krytycznej przekraczającej temperaturę wrzenia azotu (77 K), pozwala na znaczne zmniejszenie kosztów układu chłodzenia. Powoduje to dalszy rozwój technologii zmierzających do szerszego zastosowania nadprzewodników. Obecnie najbardziej realne staje się wykorzystanie do zastosowań silnopiędowych nadprzewodników Bi-2223 ( $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}$ ), YBCO ( $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ ) oraz niedawno odkrytego dwuborku magnezu  $\text{MgB}_2$ .

Szczególne cechy nadprzewodników umożliwiają budowę urządzeń elektrycznych o parametrach nieosiągalnych przy stosowaniu materiałów konwencjonalnych. Właściwość skokowego wzrostu rezystancji elementu nadprzewodnikowego przy przekroczeniu jego wartości krytycznej prądu umożliwia budowę ograniczników prądów zwarciovych w sieciach elektroenergetycznych.

Szybkie i niezawodne ograniczenie prądów zwarciovych mogą zapewnić ograniczniki nadprzewodnikowe, bowiem czas przejścia nadprzewodnika ze stanu nadprzewodzącego do rezystywnego wynosi kilkadziesiąt mikrosekund, a ich powrót do pracy po zadziałaniu jest natychmiastowy i nie wymaga wykonywania jakichkolwiek działań [1].

## Idea działania nadprzewodnikowego ogranicznika prądu

Ograniczenie prądu zwarciovego, który wystąpi w obwodzie chronionym można osiągnąć przez skokowe wprowadzenie dużego spadku napięcia na elemencie nieliniowym włączonym w obwód.

Ogranicznik prądu pracujący w oparciu o element nieliniowy, powinien charakteryzować się następującymi cechami:

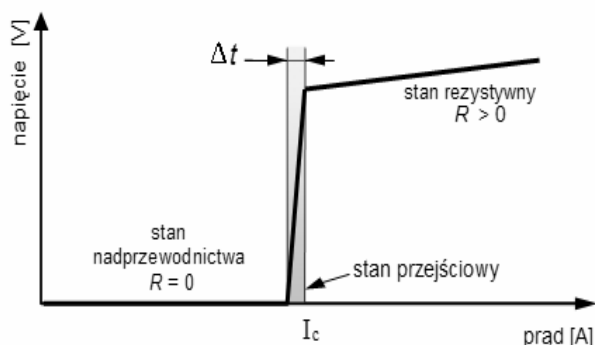
- zerową lub minimalną impedancją podczas normalnych warunków pracy systemu,
- dużą impedancją podczas zwarcia,
- szybkim czasem odpowiedzi na zaistniałe zwarcie, krótszym od czasu trwania jednej czwartej okresu prądu

zwarciovego,

- zerowymi lub minimalnymi stratami podczas normalnych warunków pracy systemu,
- możliwością ograniczania serii następujących po sobie zwarcí,
- możliwością samoczynnego powrotu (bez konieczności obsługi) do stanu początkowego, po ustąpieniu zwarcia,
- wysoką niezawodnością i minimalnymi kosztami utrzymania [1].

Materiałami, które posiadają silnie nieliniową charakterystykę napięciowo – prądową, spełniającymi powyższe wymagania są nadprzewodniki [2]. Koncepcja nadprzewodnikowych ograniczników prądu z ang. Superconducting Fault Current Limiter (SFCL), bezpośrednio wynika z właściwości nadprzewodników. Przekroczenie krytycznej wartości prądu nadprzewodnika powoduje gwałtowne przejście elementu nadprzewodnikowego do stanu rezystywnego. Rysunek 2 przedstawia idealną charakterystykę napięciowo – prądową nadprzewodnikowego elementu ogranicznika prądu.

Nadprzewodniki wykazują całkowity zanik rezystywności jedynie w warunkach, gdy ich parametry, tj. temperatura, gęstość prądu i gęstość strumienia magnetycznego nie przekraczają pewnych wartości nazywanych krytycznymi. Przekroczenie wartości krytycznej któregośkolwiek parametru powoduje gwałtowne przejście ze stanu nadprzewodzenia do stanu rezystywnego.



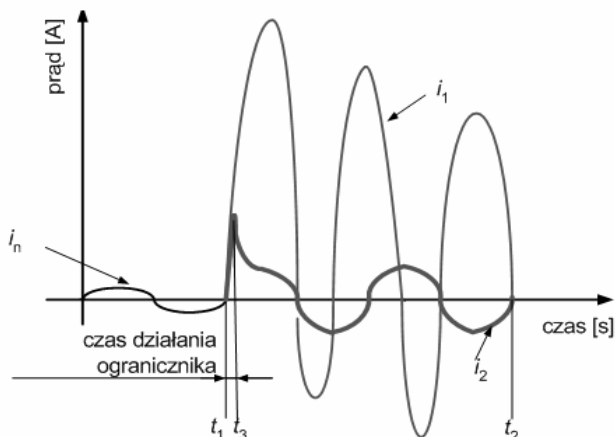
Rys.2. Stany pracy elementu nadprzewodnikowego w ograniczniku prądu

Stan pracy nadprzewodnikowego elementu ogranicznika prądu można podzielić na trzy fazy :

- faza pierwsza, kiedy ogranicznik jeszcze nie ogranicza prądu a  $I < I_c$ ,

- faza druga, kiedy następuje wzrost rezystancji ogranicznika - element nadprzewodnikowy znajduje się częściowo w stanie rezystywnym, a częściowo w stanie nadprzewodzącym,
- faza trzecia, kiedy nadprzewodnik znajduje się w stanie rezystywnym,  $I > I_c$ , trwa ona aż do zadziałania wyłącznika lub rozłącznika konwencjonalnego o mocy znamionowej niższej od mocy zwarciowej.

Ideę pracy nadprzewodnikowego ogranicznika prądu ilustrują przebiegi prądu przedstawione na rysunku 3.



Rys.3. Przebiegi prądu w ograniczniku

- $i_1$  - spodziewany przebieg prądu zwarciowej bez ogranicznika
- $i_2$  - prąd ograniczony przez ogranicznik
- $i_n$  - przebieg prądu znamionowego
- $t_1$  - zwarcie;  $t_3$  - zadziałanie ogranicznika
- $t_2$  - zadziałanie konwencjonalnego wyłącznika prądowego

W chwili wystąpienia zwarcia w obwodzie elektroenergetycznym (w  $t_1$ ), następuje gwałtowny, kilku, kilkunasto lub kilkudziesięciokrotny wzrost prądu od  $i_n$  do  $i_1$ . Prąd zwarciowej  $i_1$  musi zostać wyłączony przez konwencjonalny wyłącznik prądowy, dobrany odpowiednio do spodziewanej jego wartości. Jednak rozłączenie obwodu następuje w chwili przejścia prądu zwarcia przez wartość zerową (w  $t_2$ ), ale dopiero po kilku okresach od chwili powstania zwarcia. W tym czasie nadmierne wartości amplitudy prądu zwarcia mogą spowodować uszkodzenie lub zniszczenie urządzeń elektroenergetycznych. W celu ograniczenia wartości już pierwszej amplitudy prądu zwarciowej można zastosować element ograniczający ten prąd do wartości  $i_2$ , kilkakrotnie mniejszej od wartości spodziewanej  $i_1$ . Ograniczenie prądu do wartości  $i_2$ , następuje w czasie  $t_3$ , znacznie krótszym od czasu trwania 1/4 okresu przebiegu prądu zwarciowej i zależy od parametrów ogranicznika. Ograniczony prąd zwarciowej  $i_2$ , który nie stanowi już tak dużego zagrożenia dla obwodu elektroenergetycznego, może być wyłączony w czasie  $t_2$ , przez konwencjonalny wyłącznik lub rozłącznik, dobrany jednak na znacznie mniejszą wartość prądu ( $i_2 \ll i_1$ ).

### Materiały nadprzewodnikowe stosowane do budowy ograniczników prądu

Materiały nadprzewodnikowe, które mogą zostać zastosowane do wykonania elementów ograniczników prądu, powinny spełniać następujące wymagania:

- podczas normalnych warunków pracy (w stanie nadprzewodnictwa), w celu zminimalizowania kosztów chłodzenia, straty przeniennoprowodowe powinny być jak najmniejsze,
- duża wytrzymałość mechaniczna - w celu uniknięcia uszkodzenia lub zniszczenia nadprzewodnika, na skutek działania sił dynamicznych oraz magnetycznych,

powstających podczas procesu ograniczania prądu

- dobra stabilność cieplna w celu zapewnienia równomiernego nagrzewania się materiału [1].

Początkowo, nadprzewodnikowe ograniczniki prądu budowano w oparciu o nadprzewodniki niskotemperaturowe (LTS). Nadprzewodniki te charakteryzują się dobrymi parametrami mechanicznymi oraz małymi stratami zmiennoprowodowymi, a ze względu na bardzo dobrą przewodność cieplną matrycy oraz małą wartość ciepła właściwego nadprzewodnika, charakteryzują się także dużą równomiernością nagrzewania.

Ze względu na swoje właściwości nadprzewodniki niskotemperaturowe preferowane są do budowy ograniczników pracujących z „szybkim nagrzewaniem”. Wadą stosowania nadprzewodników niskotemperaturowych jest konieczność chłodzenia ich ciekłym helem (4,2 K), co znacznie komplikuje i podraża układ chłodzenia [1].

Obecnie do budowy nadprzewodnikowych ograniczników prądu wykorzystuje się nadprzewodniki wysokotemperaturowe (HTS). Ze względu na ceramiczną strukturę materiały te charakteryzują się małą wytrzymałością mechaniczną. W celu jej poprawienia stosuje się stabilizację mechaniczną w postaci matryc wykonanych ze srebra i jego stopów, lub odpowiedniej izolacji. Przewodność cieplna nadprzewodników wysokotemperaturowych jest bardzo mała, natomiast ciepło właściwe w temperaturze 77 K jest duże. Powoduje to nierównomierne nagrzewanie, mogące prowadzić do lokalnego przegrzewania się nadprzewodnika, a w efekcie do lokalnego zaniku stanu nadprzewodzącego.

Poprawienie właściwości cieplnych nadprzewodników wysokotemperaturowych uzyskuje się przez zastosowanie mostków cieplnych lub cienkiej powłoki z metali o bardzo wysokiej przewodności cieplnej jak złoto lub srebro. Przewaga nadprzewodników wysokotemperaturowych nad niskotemperaturowymi polega na pracy w wyższych temperaturach, co wpływa na uproszczenie układu chłodzenia i obniżenie jego kosztów.

Nadprzewodniki wysokotemperaturowe stosowane do budowy ograniczników prądu to elementy masywne (cylindry), taśmy nadprzewodnikowych lub cienkie warstwy (Rys. 4) [1], [3].



Rys.5. Elementy nadprzewodnikowe stosowane do budowy ograniczników prądu [1].

Nadprzewodniki masywne Bi-2223, Bi-2212 oraz YBCO wykonywane w postaci pierścieni i cylindrów, stosowane są do produkcji nadprzewodnikowych ograniczników prądu typu indukcyjnego. Materiały te charakteryzują się wysoką temperaturą krytyczną,  $T_c > 85$  K, dużą gęstością prądu krytycznego,  $J_c$  od 0,1 do 0,5 GA/m<sup>2</sup> przy 77 K, oraz bardzo

dużą rezystywnością,  $\rho$ , ok.  $10 \mu\Omega\text{m}$  w temperaturze 77 K. Ze względu jednak na technologię produkcji, najlepszym materiałem na pierścienie i cylindry o grubości ścianek do 8 mm oraz średnicy do 400 mm przy dowolnej wysokości, jest nadprzewodnik Bi-2212.

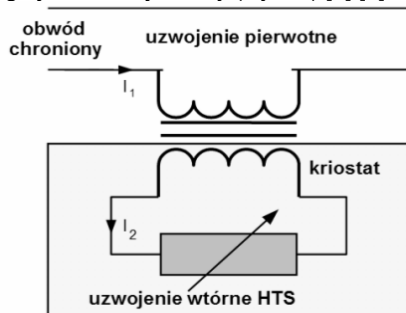
Cienkowarstwowe nadprzewodniki YBCO na podłożu krystalicznym, wykonywane w postaci płytek lub krążków, wykorzystywane są najczęściej w nadprzewodnikowych ogranicznikach typu rezystancyjnego. Charakteryzują się one bardzo wysokimi gęstościami prądu krytycznego. Dla przykładu, krytyczna gęstość prądu warstwy nadprzewodnika YBCO o grubości 200 nm na podłożu  $\text{CeO}_2$  wynosi około  $30 \text{ GA/m}^2$ . Obecnie produkowane są płytki cienkowarstwowego nadprzewodnika YBCO o maksymalnych wymiarach  $200 \times 200 \text{ mm}$ .

Nadprzewodniki Bi-2223 wykonywane w postaci taśm i przewodów, składających się z wielu włókien nadprzewodnikowych otoczonych matrycą z czystego srebra lub jego stopów, nie znalazły jak dotąd zastosowania w obecnie budowanych ogranicznikach prądu.

#### Budowa i praca nadprzewodnikowych ograniczników prądu

Ze względu na sposób ograniczania prądu ograniczniki nadprzewodnikowe dzieli się na: rezystancyjne, indukcyjne oraz hybrydowe. Wśród wielu konstrukcji na szczególną uwagę zasługują ograniczniki indukcyjne ze względu prostą budowę niewymagającą przepustów prądowych.

Nadprzewodnikowy ogranicznik prądu typu indukcyjnego, zwany także ogranicznikiem z ekranowanym rdzeniem, ma budowę transformatora. Składa się z rdzenia magnetycznego oraz dwóch uzwojeń: pierwotnego i wtórnego. Uzwojenie pierwotne, wykonane z miedzi, włączone jest bezpośrednio do obwodu chronionego, podczas gdy nadprzewodnikowe uzwojenie wtórne jest zwarte. Uzwojenie to wykonane jest najczęściej z nadprzewodnika Bi-2212 lub Bi-2223 w postaci cylindra, stanowiącego jeden zwój zwarty (Rys. 6) [3],[4]

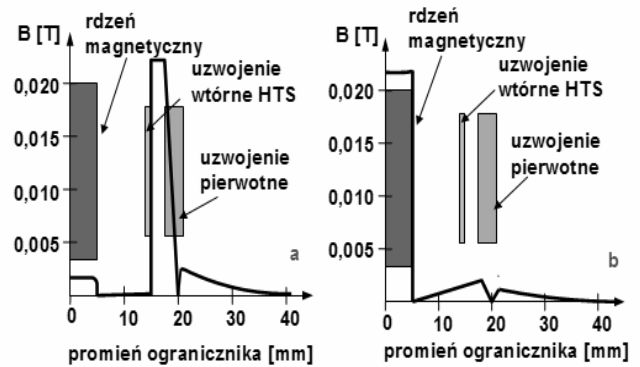


Rys.6. Schemat elektryczny ogranicznika indukcyjnego [1]

W ograniczniku indukcyjnym, obwód z elementem nadprzewodnikowym nie jest połączony galwanicznie z obwodem chronionym przez ogranicznik, a więc prąd zwarcia nie przepływa przez nadprzewodnik [5].

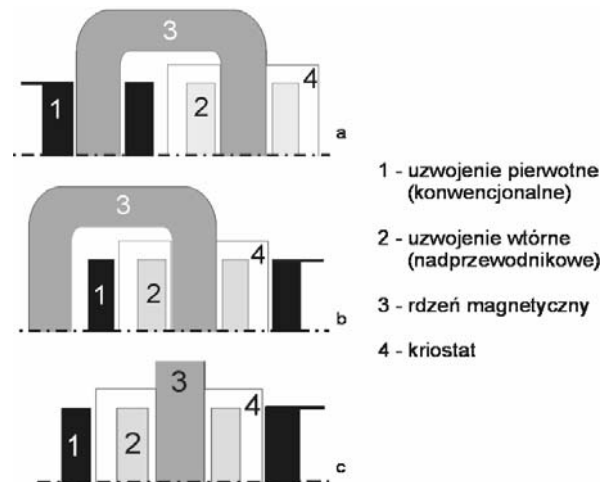
W warunkach pracy znamionowej, a więc przy prądzie mniejszym od prądu wyzwalań ogranicznika, cylinder nadprzewodnikowy znajduje się w stanie nadprzewodzącym, pełniąc rolę ekranu magnetycznego kolumny rdzenia magnetycznego, na której współosiowo umieszczone są oba uzwojenia. Strumień magnetyczny, indukowany przez uzwojenie pierwotne, nie może przeniknąć do rdzenia, co objawia się niską impedancją układu. Ogranicznik zachowuje się jak przekładnik prądowy. Z chwilą wystąpienia zwarcia w obwodzie chronionym, prądy w uzwojeniu pierwotnym konwencjonalnym i wtórnym nadprzewodnikowym gwałtownie rosną. Po przekroczeniu wartości krytycznej w uzwojeniu nadprzewodnikowym

(wtórnym), jego rezystancja gwałtownie rośnie i jego przepływ zanika. Strumień magnetyczny indukowany przez uzwojenie pierwotne nie jest kompensowany przez przeciwnie skierowany strumień uzwojenia wtórnego i ogranicznik dla obwodu chronionego pełni rolę dławika. Gwałtowny wzrost impedancji uzwojenia pierwotnego, ogranicza prąd zwarcia. Po ustąpieniu zwarcia uzwojenie wtórne powraca do stanu nadprzewodzącego, i ogranicznik jest gotowy do pracy bez wymiany jakiegokolwiek elementu. Zasadę pracy nadprzewodnikowego ogranicznika prądu typu indukcyjnego ilustruje rysunek 7.



Rys.7 Zasada pracy ogranicznika indukcyjnego: a – normalny stan pracy – ekranowanie strumienia magnetycznego, b – praca w stanie zwarcia – zanik nadprzewodzenia i ekranowania.[1]

Obwód magnetyczny, nadprzewodnikowego ogranicznika prądu typu indukcyjnego może być w postaci rdzenia zamkniętego (Rys.8 a,b) lub otwartego (Rys.8 c).



Rys.8 Ograniczniki indukcyjne (przekroje) a) z zamkniętym rdzeniem, uzwojenie pierwotne i wtórne umieszczone na dwóch kolumnach rdzenia; b) z zamkniętym rdzeniem, uzwojenie pierwotne i wtórne umieszczone współosiowo na jednej kolumnie rdzenia; c) z otwartym rdzeniem magnetycznym, uzwojenie pierwotne i wtórne umieszczone współosiowo na rdzeniu

Miarą skuteczności działania ograniczników prądu typu indukcyjnego z uzwojeniem pierwotnym miedzianym i wtórnym nadprzewodnikowym jest wzrost impedancji mierzonej na zaciskach uzwojenia pierwotnego wywołany utratą nadprzewodnictwa przez uzwojenie wtórne. W stanie nadprzewodzącym uzwojenia wtórnego rdzeń ferromagnetyczny jest całkowicie ekranowany, nie przewodzi strumienia magnetycznego i jego wpływ na wartość impedancji można pominąć, natomiast po przejściu do stanu rezystywnego całkowicie zanika ekranowanie.

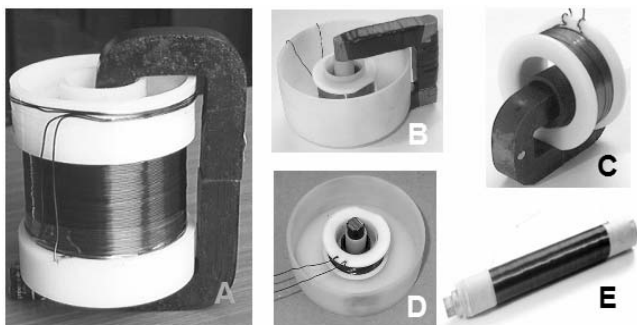
Można przyjąć, że porównanie impedancji ogranicznika bez rdzenia i z rdzeniem jest miarą ograniczania prądu. Ponieważ napięcia są proporcjonalne do impedancji, stopień ograniczania prądu można określić przez porównanie napięcia ogranicznika z rdzeniem i bez rdzenia:

$$(1) \quad \text{wsp\_ogr} = \frac{U - U_{br}}{U_{br}}$$

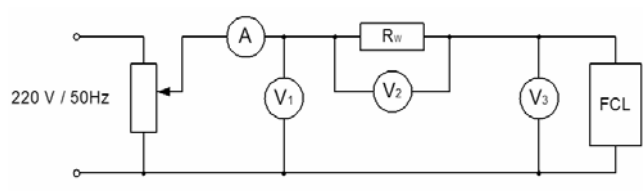
gdzie:  $U$  – spadek napięcia na ograniczniku kompletnym,  $U_{br}$  – spadek napięcia na ograniczniku bez rdzenia magnetycznego [1].

### Badania modeli fizycznych ograniczników prądu

Do budowy modeli fizycznych ograniczników wykorzystano cylindry nadprzewodnikowe Bi-2223 o prądach krytycznych 112 A, 625 A i 1210 A w temperaturze 77 K przy braku zewnętrznego pola magnetycznego, oraz kilka zamkniętych i otwartych rdzeni magnetycznych zblachowanych i zwijanych o różnych wymiarach [1]



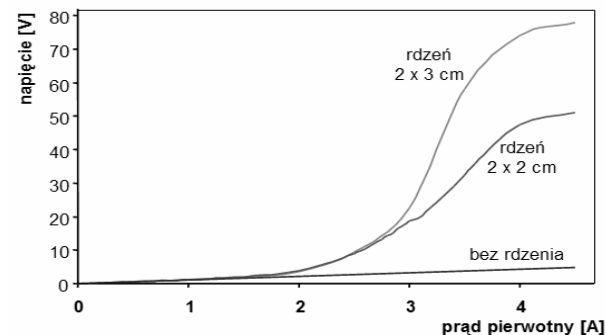
Rys.9 Widok modeli fizycznych nadprzewodnikowych ograniczników prądu poddanych badaniom eksperymentalnym [1]



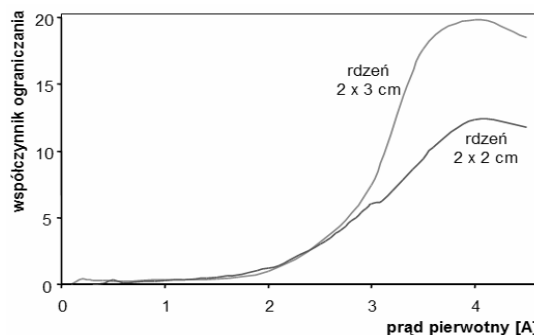
Rys.10 Schemat układu pomiarowego charakterystyk napięciowo-prądowych modeli fizycznych ograniczników nadprzewodnikowych

Poniżej przedstawiono wybrane wyniki badań eksperymentalnych modeli fizycznych pracujących w temperaturach azotowych (77 K) oraz temperaturze pokojowej (295 K)

#### A. Model ogranicznika prądu typu indukcyjnego z cylindrem Bi-2223 o prądzie krytycznym 625 A

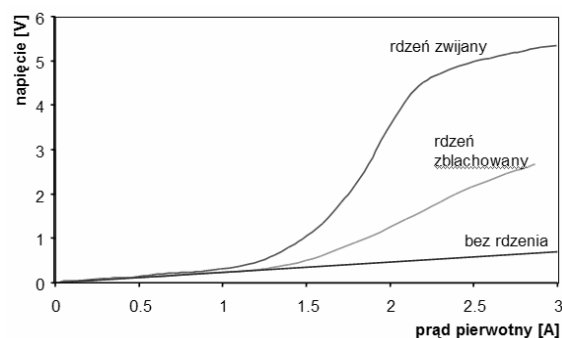


Rys.11 Charakterystyki napięciowo-prądowe nadprzewodnikowych ograniczników prądu z cylindrem Bi-2223 o  $I_c = 625$  A (77 K) w temperaturze 77 K [1]

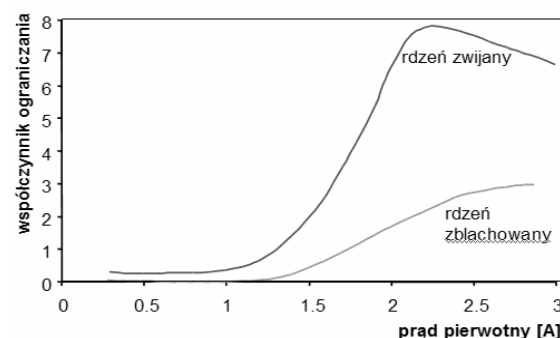


Rys.12 Współczynniki ograniczania nadprzewodnikowych ograniczników prądu z cylindrem Bi-2223 o  $I_c = 625$  A (77 K) w temperaturze 77 K [1]

#### B. Model ogranicznika z zamkniętym rdzeniem i z cylindrem o prądzie krytycznym 112 A (77 K)

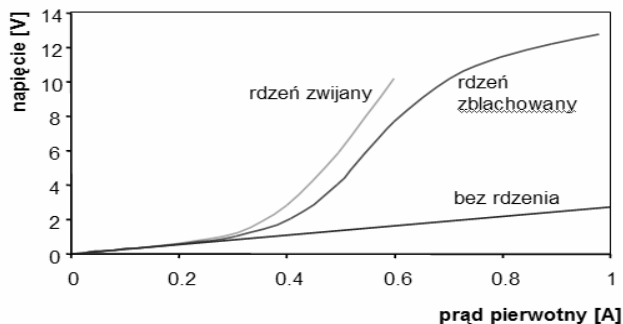


Rys.13 Charakterystyki napięciowo-prądowe nadprzewodnikowych ograniczników prądu z cylindrem o  $I_c = 112$  A (77 K) w temperaturze 77 K z 112 zwojami w uzwojeniu pierwotnym [1]

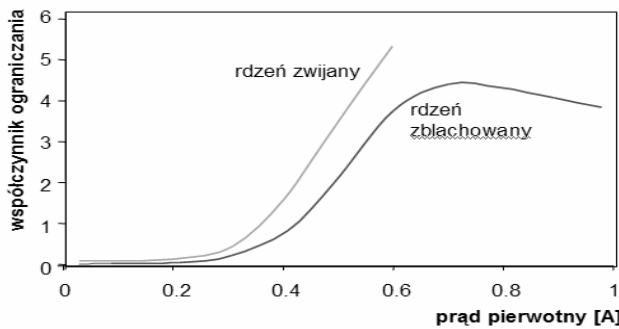


Rys.14 Współczynniki ograniczania nadprzewodnikowych ograniczników prądu z cylindrami o  $I_c = 112$  A (77 K) w temperaturze 77 K z 112 zwojami w uzwojeniu pierwotnym [1]

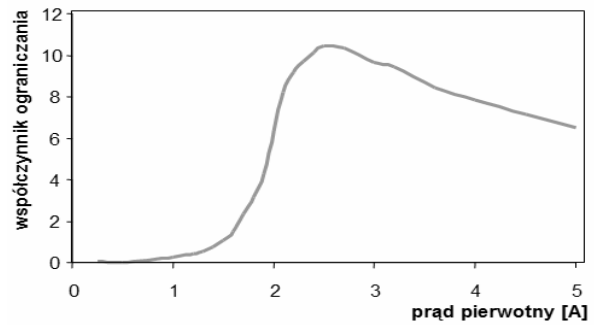
#### C. Model ogranicznika z zamkniętym rdzeniem zwijanym, i cylindrem nadprzewodnikowym o $I_c=112$ A (77K) i uzwojeniem pierwotnym o liczbie zwojów 448



Rys.15 Charakterystyki napięciowo-prądowe nadprzewodnikowych ograniczników prądu z cylindrem o  $I_c = 112$  A (77 K) w temperaturze 77 K z 448 zwojami w uzwojeniu pierwotnym [1]

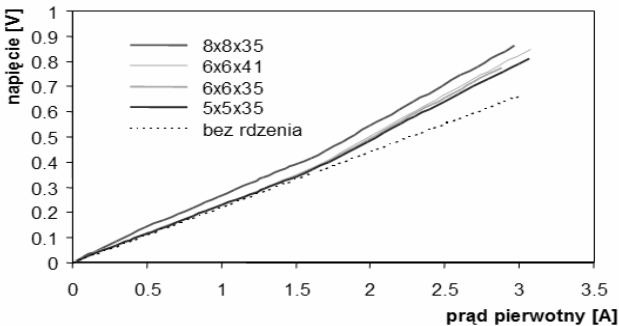


Rys.16 Współczynniki ograniczania nadprzewodnikowych ograniczników prądu z cylindrami o  $I_c = 112$  A (77 K) w temperaturze 77 K z 448 zwojami w uzwojeniu pierwotnym [1].

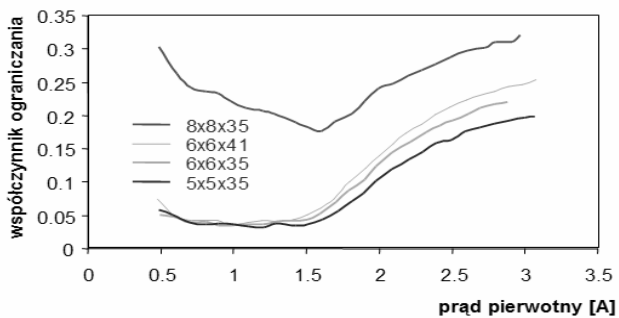


Rys.20. Współczynnik ograniczania nadprzewodnikowego ogranicznika prądu z otwartym rdzeniem magnetycznym i cylindrem o  $I_c = 1210$  A (77 K) w temperaturze 77 K [1].

**D. Ogranicznik prądu z otwartym rdzeniem magnetycznym zblachowanym, uzwojeniem pierwotnym o liczbie zwojów 448 i cylindrem nadprzewodnikowym o  $I_c=112$  A (77K)**

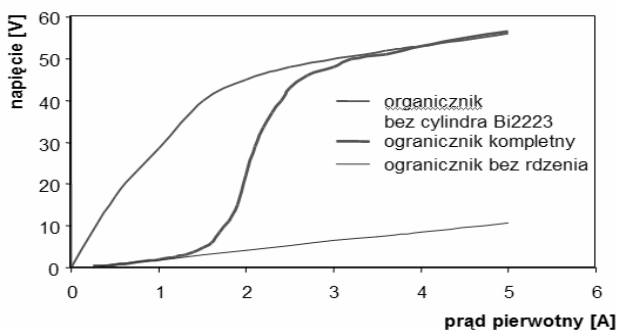


Rys.17 Charakterystyki napięciowo-prądowe nadprzewodnikowych ograniczników prądu z cylindrem o  $I_c = 112$  A (77 K) w temperaturze 77 K z 112 zwojami w uzwojeniu pierwotnym [1]



Rys.18. Współczynniki ograniczania nadprzewodnikowych ograniczników prądu z cylindrem o  $I_c = 112$  A (77 K) w temperaturze 77 K z 112 zwojami w uzwojeniu pierwotnym [1]

**E. Ogranicznik z otwartym rdzeniem magnetycznym i cylindrem 1210 A (77 K)**



Rys.19. Charakterystyki napięciowo-prądowe nadprzewodnikowego ogranicznika prądu z cylindrem o  $I_c = 1210$  A (77 K) w temperaturze 77 K [1]

**Podsumowanie**

Idea wykorzystania elementów nadprzewodnikowych do budowy ograniczników prądu powstała 20 lat temu, ale warunki do jej realizacji powstały z chwilą wytworzenia nadprzewodników wysokotemperaturowych oraz nowoczesnych układów chłodzenia opartych na kriochłodziarkach kontaktowych. W wielu ośrodkach na świecie prowadzone są badania naukowe oraz prace wdrożeniowe nadprzewodnikowych ograniczników prądu.

Badania eksperymentalne zbudowanych w Pracowni Krioelektromagnesów w Lublinie modeli fizycznych nadprzewodnikowych ograniczników prądu potwierdziły skuteczność ograniczania prądów za pomocą ograniczników typu indukcyjnego o różnych konfiguracjach.

Cylindry z nadprzewodnika Bi-2223 o prądach krytycznych 112 A (77 K), 625 A (77 K) oraz 1210 A (77 K) umożliwiają budowanie nadprzewodnikowych indukcyjnych ograniczników prądu o zadowalających parametrach zarówno z zamkniętym jak i otwartym rdzeniem magnetycznym. W ogranicznikach indukcyjnych z zamkniętym rdzeniem magnetycznym zastosowanie rdzeni o większych przekrojach poprzecznych oraz o lepszych parametrach magnetycznych poprawia charakterystyki napięciowo-prądowe ograniczników indukcyjnych i zwiększa współczynniki ograniczania prądu. W ogranicznikach z otwartym rdzeniem magnetycznym decydującym parametrem jest kształt cylindra nadprzewodnikowego, który musi być możliwie wydłużony.

**LITERATURA**

- [1] Janowski T., Stryczewska H.D., Kozak S., Malinowski H., Wojtasiewicz G., Surdacki P., Kondratowicz-Kucewicz B., Kozak J.: Nadprzewodnikowe ograniczniki prądu. Wyd. Liber, Lublin 2002
- [2] Norris W. T., Powers A., „Fault current limiters using superconductors,” Cryogenics 1997, vol. 37, no. 10, pp. 657-665.
- [3] Materiały ze strony [www.can.cz/limiters.htm](http://www.can.cz/limiters.htm)
- [4] Meggs C., Dolman G., Shields T. C., Abell J. S., Button T. W., „HTS thick film components for fault current limiter applications,”
- [5] Onishi T., Nii A., „Investigations on current limiting performances in magnetic shield type high TC superconducting fault current limiter,” Cryogenics 1997, vol. 37, no. 4, pp. 181-185.

Autorzy: mgr inż. Beata Kondratowicz-Kucewicz, dr Henryk Malinowski, mgr inż. Grzegorz Wojtasiewicz, Instytut Elektrotechniki, Zakład Badań Podstawowych Elektrotechniki – Pracownia w Lublinie, ul. Nadbystrzycka.38a, 20-618 Lublin E-mail: [beatakk@eltecopol.lublin.pl](mailto:beatakk@eltecopol.lublin.pl)