

Ograniczanie prądów zwarciovych

- największe prądy zwarciovowe (zwarcia 3-fazowe):
 - kilkanaście...kilkadziesiąt kiloamperów;
- nagrzewanie i uszkodzenie przewodów:
 - zniszczenie izolacji,
 - topienie żył,
 - kolejne zwarcia,
 - pożary, wybuchy,
- działanie dynamiczne:
 - uszkodzenia mechaniczne elementów sieci:
 - izolatorów i przewodów,
 - wyginanie lub łamanie szyn zbiorczych,
 - rozerwanie uzwojeń transformatorów, przekładników,
- obniżenie napięcia na szynach i w innych odpływach;

- zwarcia jednofazowe doziemne (izolowany punkt neutralny):
 - przepięcia dorywcze i łączeniowe,
 - niebezpieczeństwo porażenia,
 - uszkodzenia słupów żelbetowych.

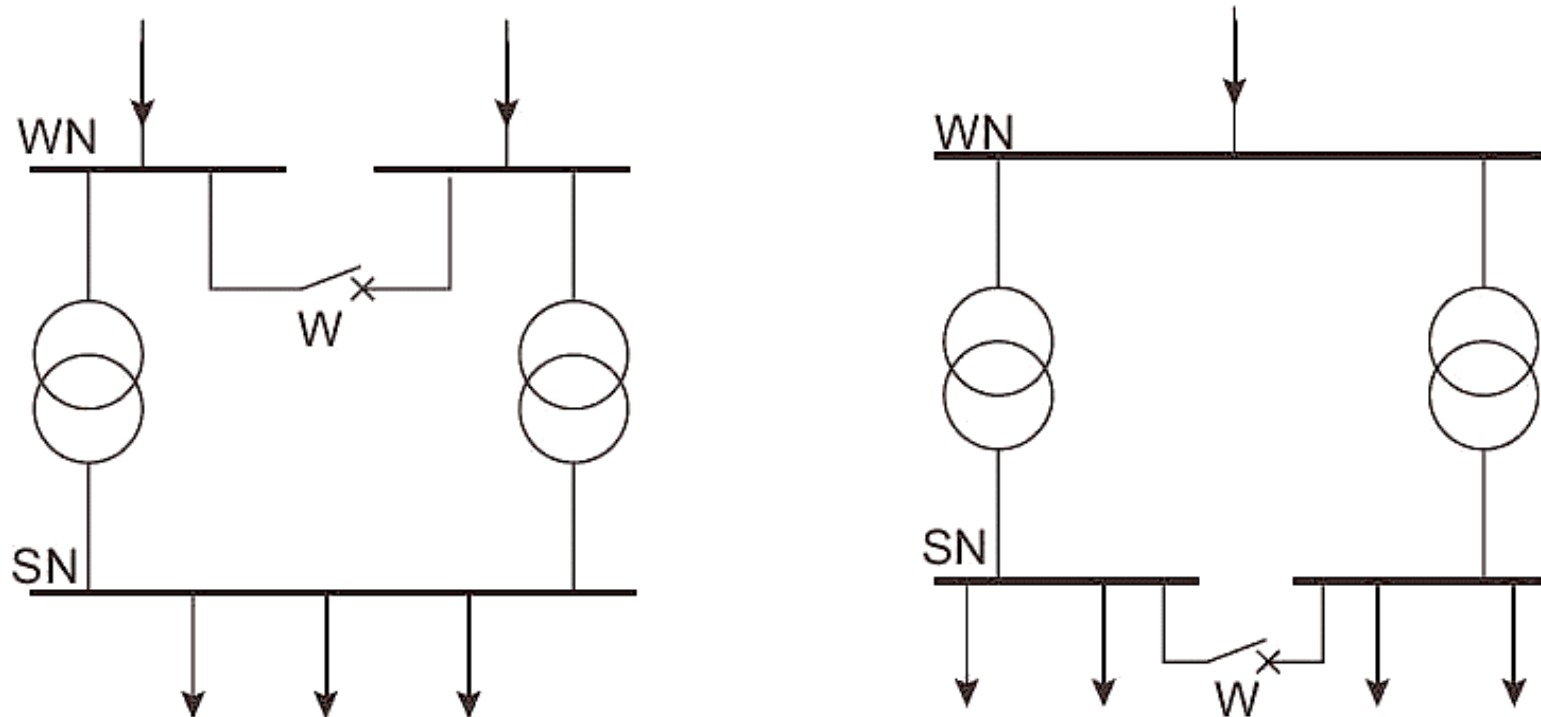
Poziom prądów zwarciovych w sieciach SN można skutecznie ograniczać zarówno środkami biernymi, jak i czynnymi.

Bierne środki ograniczania prądów zwarciovych

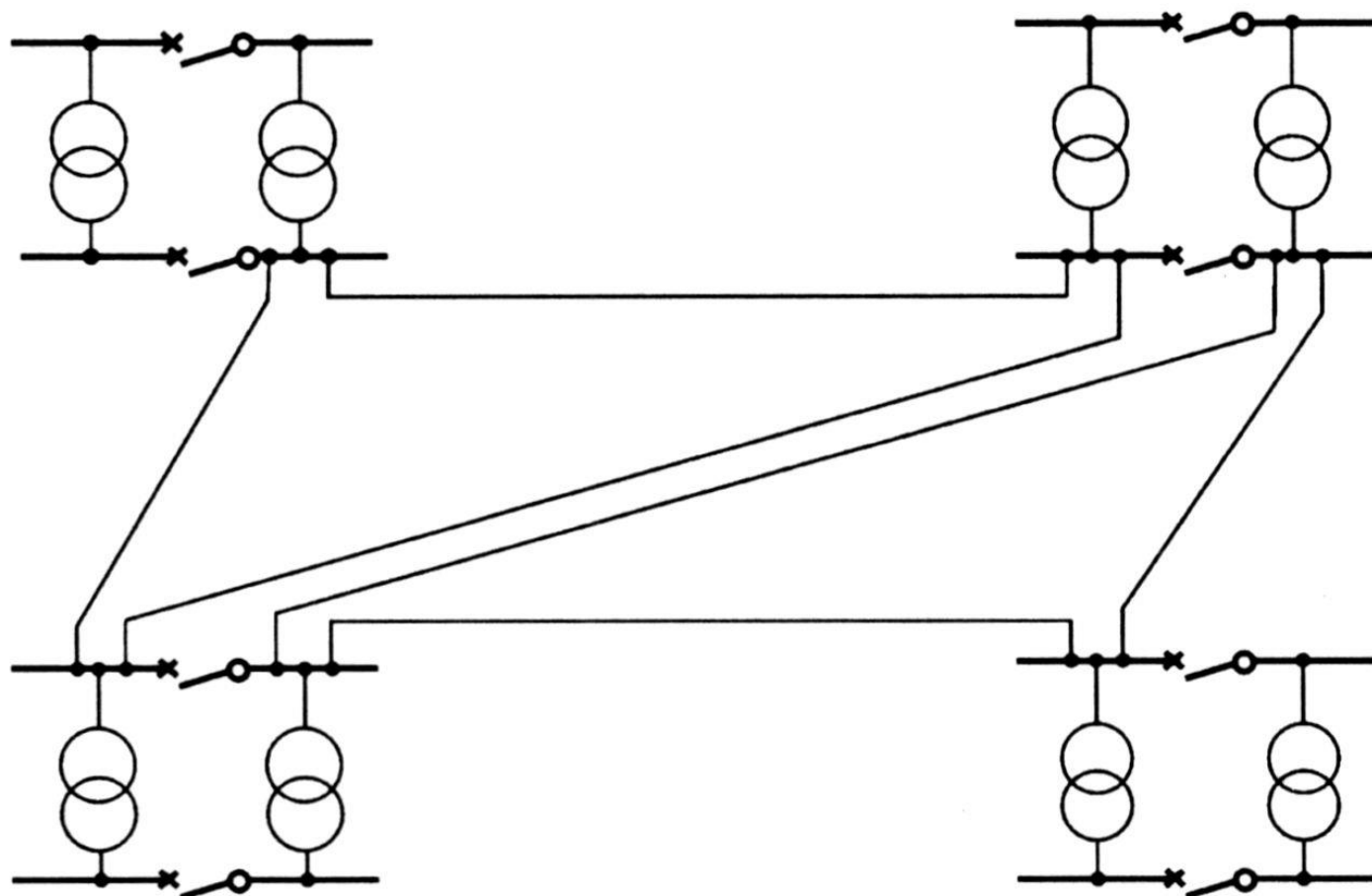
- sekcjonowanie szyn zbiorczych,
- instalowanie transformatorów z podwyższonymi wartościami napięcia zwarcia,
- stosowanie transformatorów z dzielonymi uzwojeniami strony wtórnej,
- wykorzystanie bezrdzeniowych dławików ograniczających (zwanych przeciwzwarciovymi),
- instalowanie wyłączników, zdolnych do realizowania łączy synchronizowanych.

Sekcjonowanie szyn zbiorczych prowadzi do zmniejszenia wartości mocy zwarciowej i ograniczenia prądu zwarciowego oraz do zwiększenia niezawodności zasilania odbiorców.

Dzięki zmianie konfiguracji układu elektroenergetycznego, w przypadku uszkodzenia jednej sekcji szyn, druga sekcja umożliwia zasilanie, jeśli nie wszystkich, to najważniejszych odbiorników energii elektrycznej.



Wybór miejsca sekcjonowania szyn zbiorczych



Podział sieci 110 kV na sekcje stosowany w sieciach miejsko-przemysłowych

Instalowanie transformatorów z podwyższonymi wartościami napięcia zwarcia

Transformatory o większych napięciach zwarcia skuteczniej ograniczają wartości prądów zwarciovych.

Reaktancja dla składowej symetrycznej zgodnej transformatora X_{T1} wzrasta proporcjonalnie ze wzrostem wartości jego napięcia zwarcia $\Delta U_{k\%}$.

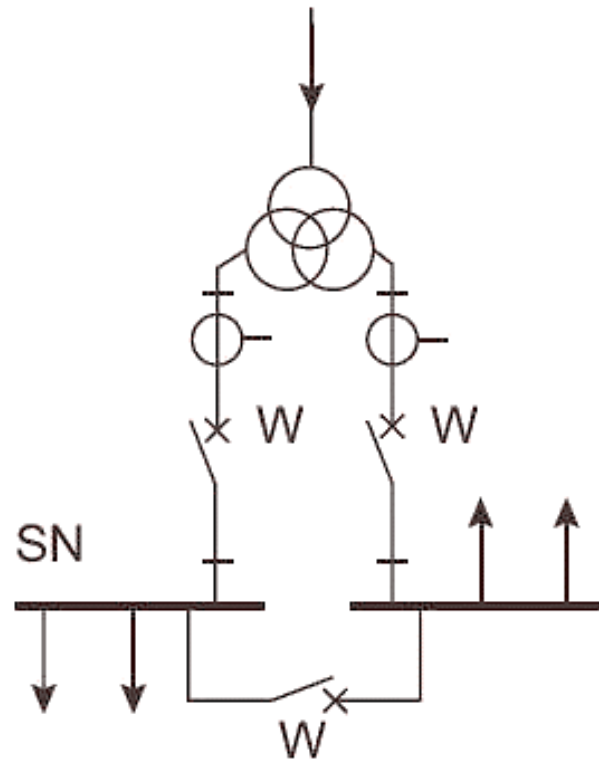
Transformatory takie są jednak źródłem zwiększonych strat obciążeniowych mocy i energii biernej:

$$X_{T1} \approx Z_{T1} = \frac{\Delta U_{k\%} U_N^2}{100 S_{NT}}$$

Stosowanie transformatorów z dzielonymi uzwojeniami strony wtórnej na dwie części

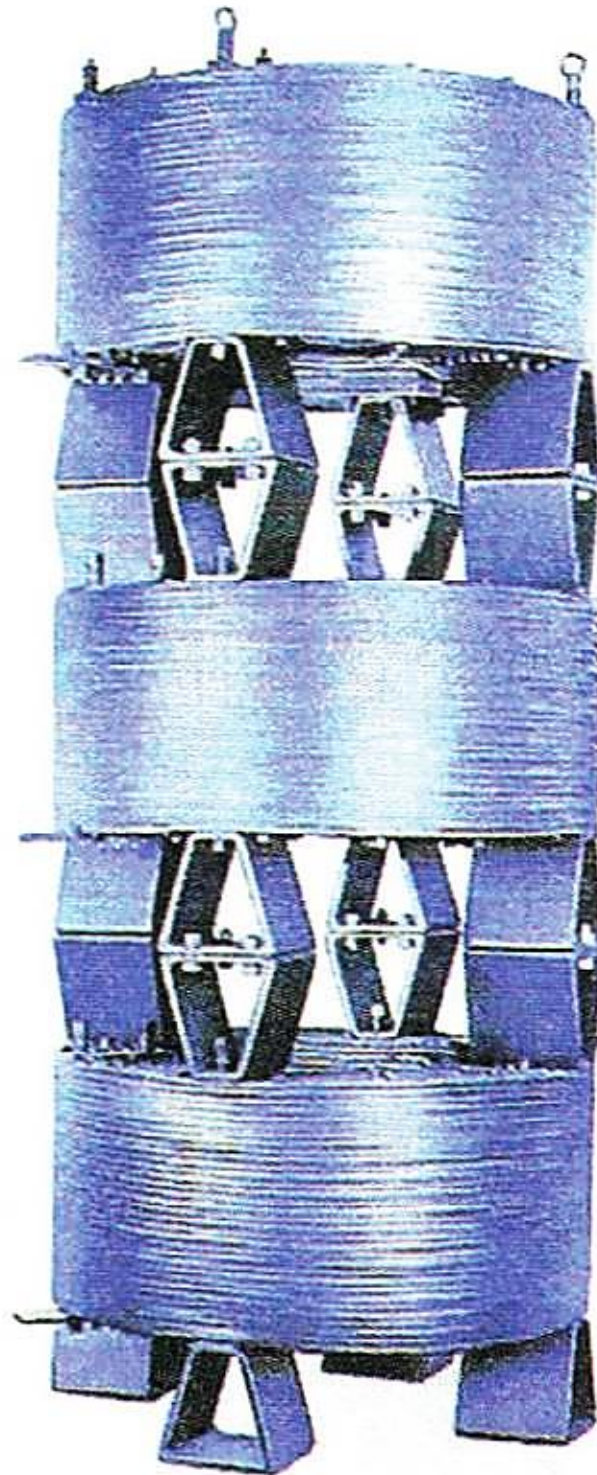
Rozwiązanie takie jest zalecane zwłaszcza w stacjach elektrownianych i dużych stacjach elektroenergetycznych.

Każda część uzwojenia strony wtórnej ma moc równą połowie mocy uzwojenia pierwotnego górnego napięcia, co istotnie wpływa na zmniejszenie mocy zwarciowej na szynach rozdzielni średniego napięcia.



Dławiki ograniczające

Dławiki bezrdzeniowe o stałej wartości indukcyjności (reaktancji), niezależnej od wartości przepływającego prądu, są stosowane do ograniczania prądów zwarciowych w stacjach SN, w celu zwiększenia impedancji (reaktancji) obwodów zwarciowych.



Trójbiegunowy dławik bezrdzeniowy SN
do ograniczania prądów zwarciovych

Dławiki do ograniczania prądów zwarciovych, poza parametrami właściwymi dla aparatów elektrycznych, charakteryzują się przede wszystkim:

- znamionowym procentowym napięciem zwarcia $\Delta U_{\%}$ lub
- reaktancją procentową względną dławika $X_{d\%}$.

W praktyce rezystancja dławika R_d jest znacznie mniejsza od jego reaktancji ($X_d \gg R_d$), stąd $\Delta U_{\%} \cong X_{d\%}$.

Wartość znamionowego procentowego napięcia zwarcia dławika $\Delta U_{d\%}$ wyznacza się z zależności:

$$\Delta U_{d\%} \cong X_{d\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot X_d \cdot I_{Nd}}{U_{Nd}} \cdot 100$$

gdzie:

I_{Nd} – prąd znamionowy ciągły dławika, w kA,

U_{Nd} – napięcie znamionowe dławika, w kV,

X_d – reaktancja dławika przy częstotliwości znamionowej, w Ω ,

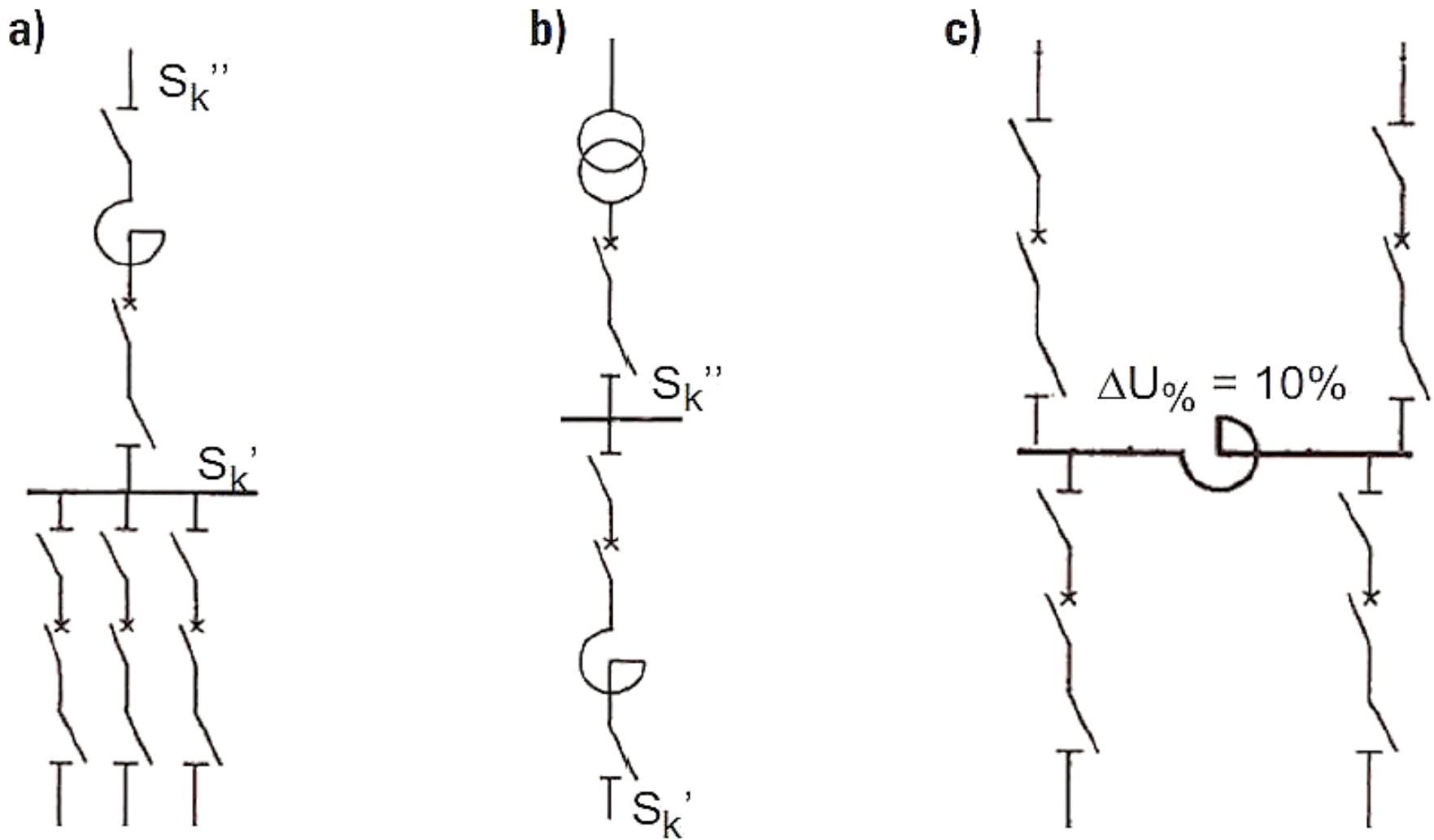
$X_{d\%}$ – reaktancja względna dławika, w procentach.

W zależności od stopnia zmniejszenia prądu zwarciovego, dławiki budowane są na różne znamionowe procentowe napięcia zwarcia, od kilku do kilkunastu procent.

Są instalowane (rysunek na str. 173):

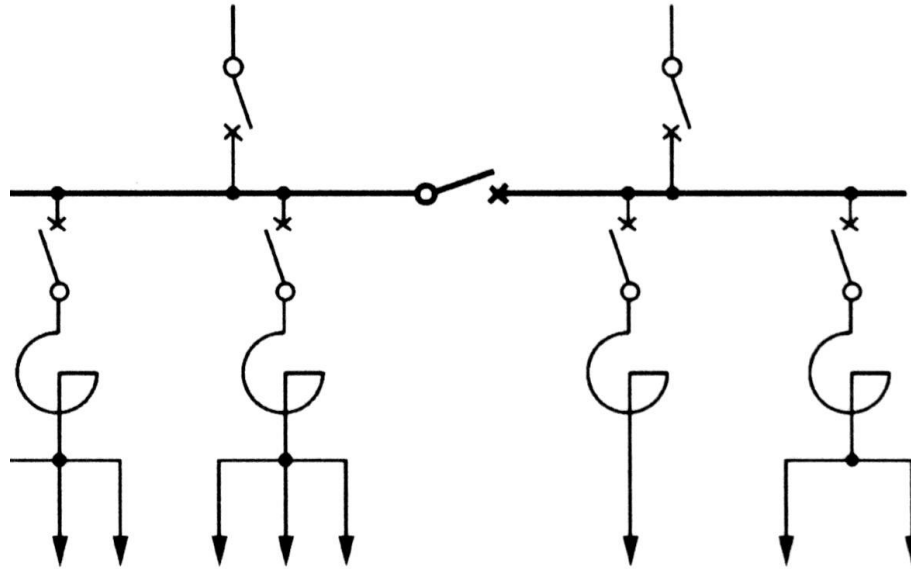
- a) na dopływach linii,
- b) na odpływach (głównie linii kablowych),
- c) jako dławiki szynowe (sekcyjne) dzielące szyny zbiorcze.

Na skutek zwiększenia impedancji (reaktancji) obwodów zwarciovych, uzyskuje się zarówno ograniczenie prądu zwarciovego w danym obwodzie, jak również podtrzymywanie napięcia na szynach zbiorczych na ustalonym poziomie, przy zwarciach w liniach za dławikiem (b).

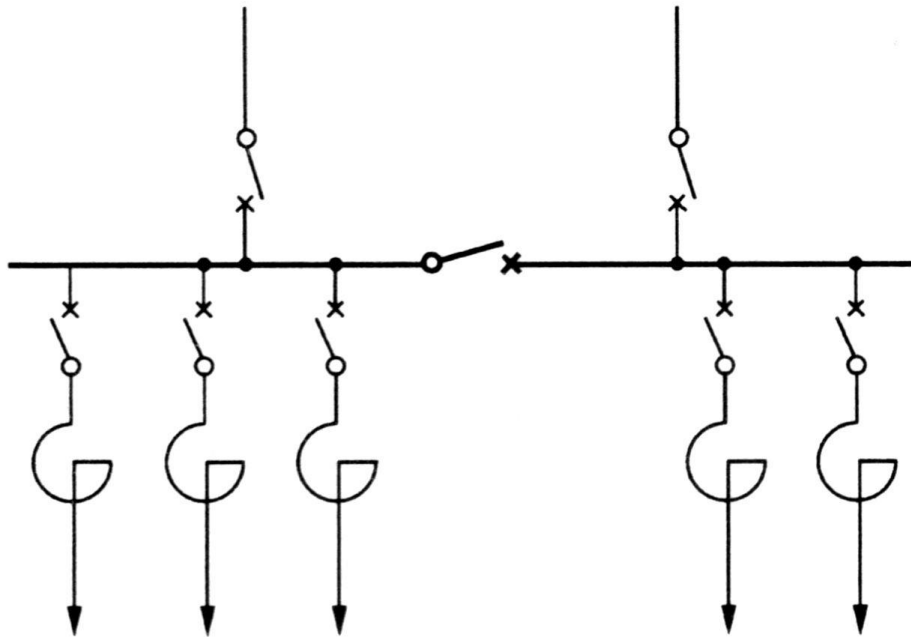


Sposoby ograniczania prądów zwarciovych za pomocą dławików ograniczających zwarcie:

- a) układ z dławikiem dla kilku linii,
- b) układ z dławikiem liniowym,
- c) układ z dławikiem sekcyjnym (szynowym)



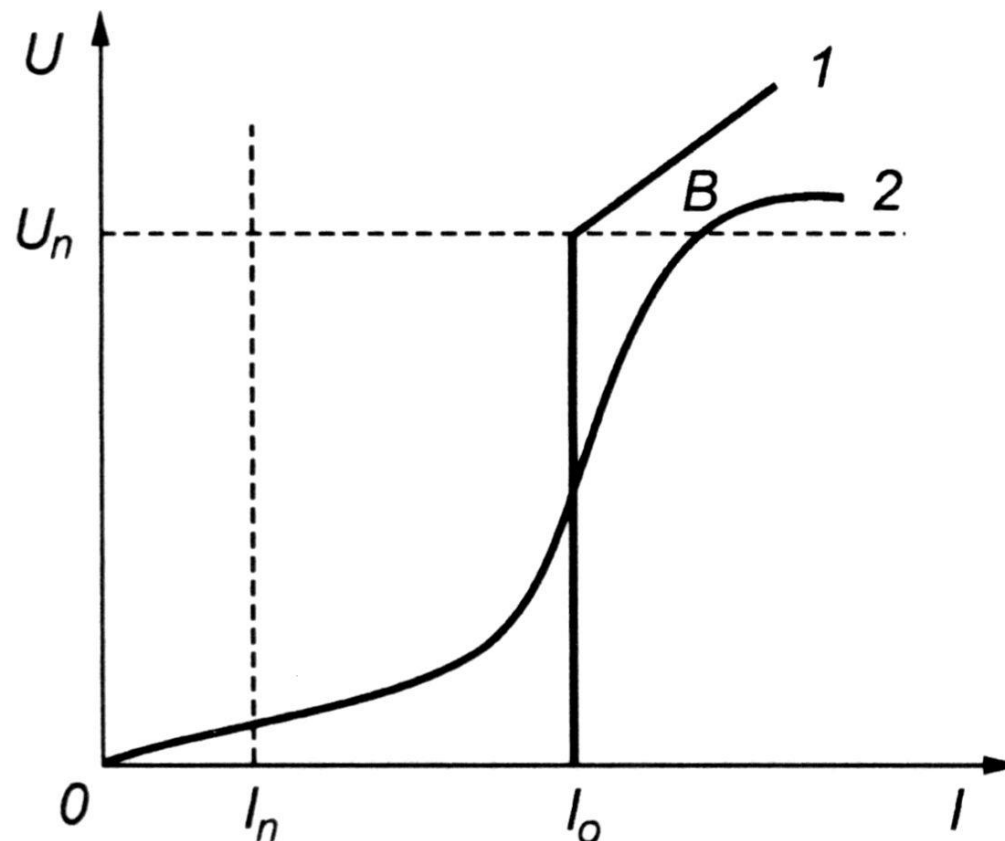
Dławiki zwarciove grupowe, stosowane tam, gdzie jest więcej odplywów malej mocy o niewielkich wymaganiach niezawodnościowych



Dławiki zwarciove na wszystkich odplywach, stosowane przy znacznej mocy zwarcia i krótkich liniach kablowych

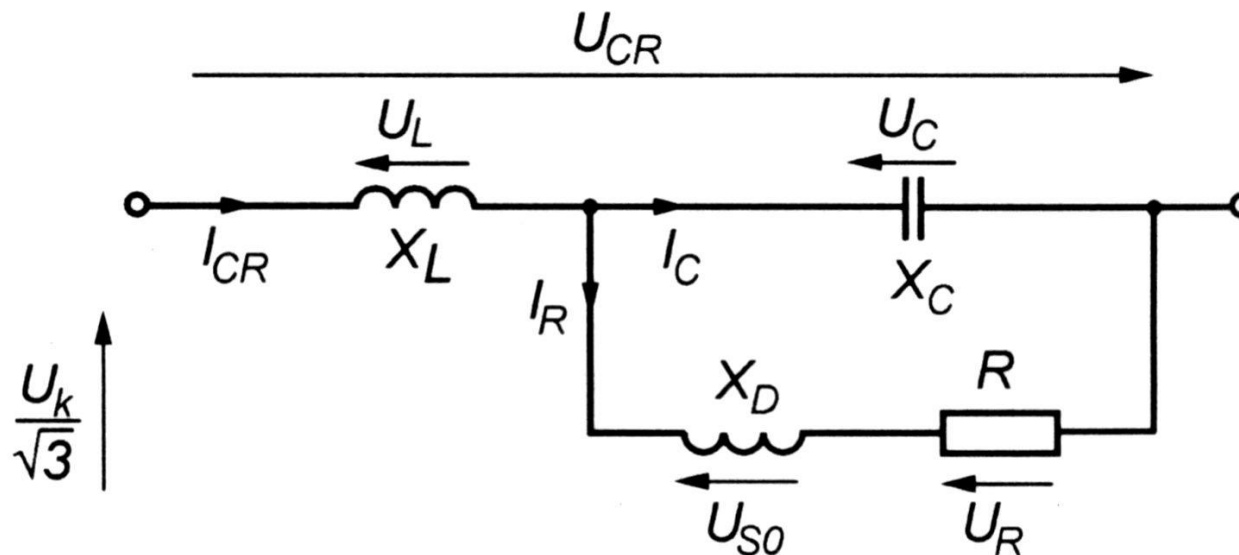
dławik idealny

- reaktancja bliska zeru przy prądzie roboczym,
- duża reaktancja przy prądzie zwarciovym,
- realizacja:
 - dławik załączany w chwili zwarcia, czas załączania krótszy od 0,25 okresu prądu zwarciovego,
 - dławik z podmagnesowanym rdzeniem.



sprzęgło rezonansowe

- rezonans przy prądzie roboczym $X_L = X_C$,
- odstrojenie od rezonansu przy prądzie zwarciovym,
- ograniczenie prądu zwarciovego.



Przy przepływie prądu zwarciovego napięcie U_C wzrasta do napięcia nasycenia dławika nieliniowego X_D i rezonans szeregowy zostaje rozstrojony.

Duża impedancja sprzęgła ogranicza prąd zwarcia.

Łączenie synchronizowane

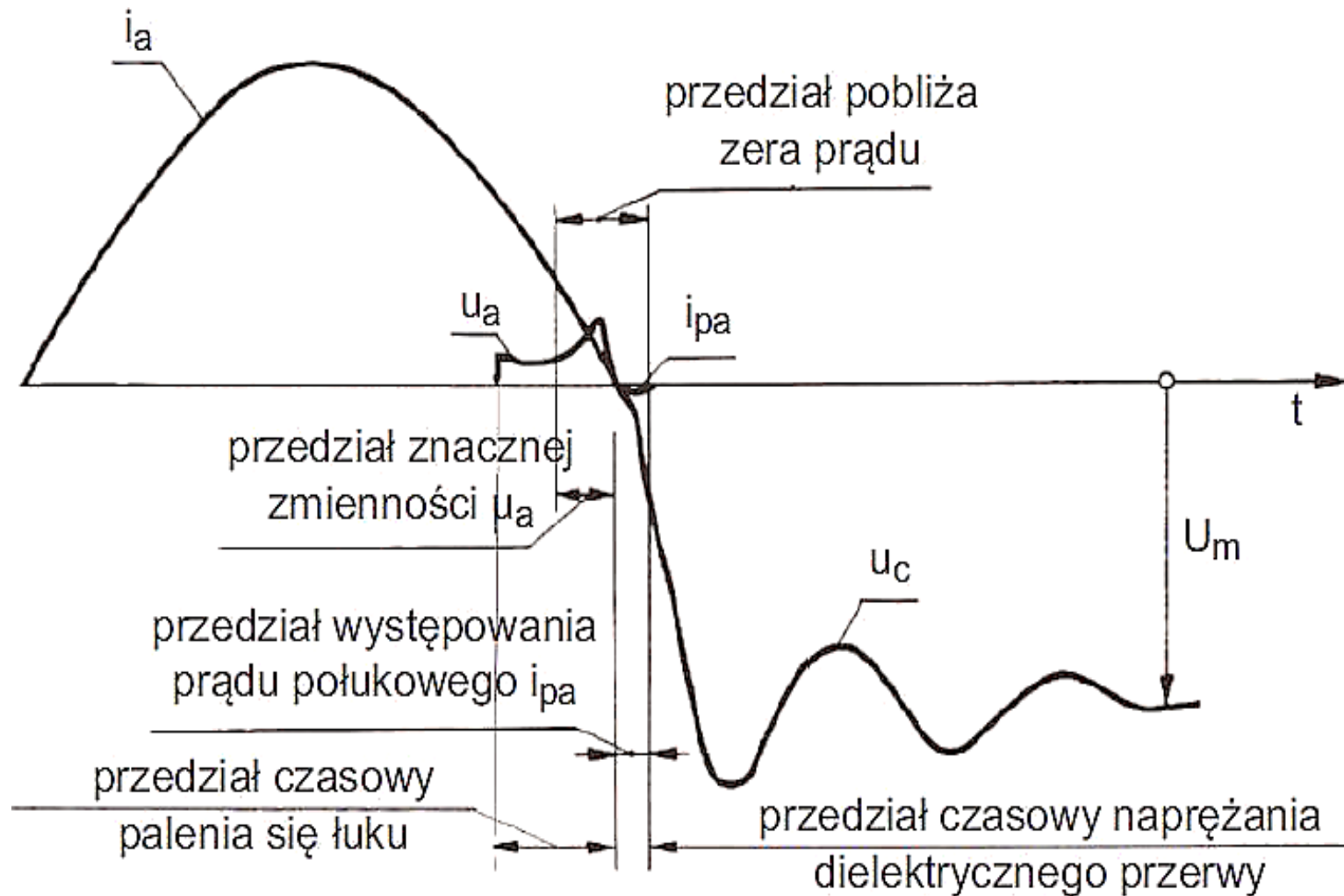
Synchronizowane wyłączenie prądu zwarciovego łącznikiem zestykowym ma miejsce np. w sytuacji, gdy chwila utraty styczności styków występuje z wyprzedzeniem 1...3 ms względem chwili przechodzenia prądu przez zero (rysunek na str. 158).

Umożliwia to zgaszenie łuku elektrycznego przy pierwszym przejściu prądu przez zero.

Wyłączniki przeznaczone do łączy synchronizowanych powinny w zasadzie być wyposażone w osobne napędy dla poszczególnych biegunów.

Stosowane napędy elektromagnesowe są zasilane najczęściej z baterii kondensatorowych o dużych pojemnościach, co zapewnia mały rozrzut czasów otwierania w poszczególnych biegunach łącznika.

Sumaryczny rozrzut wartości czasów własnych przy otwieraniu styków nie powinien przekraczać ± 1 ms.



Przebieg wyłączenia prądu przemiennego wyłącznikiem synchronizowanym, gdzie: i_a , u_a – prąd i napięcie łuku, i_{pa} – prąd połukowy, u_c – napięcie powrotne

Czynne środki ograniczania prądów zwarciovych

- bezpieczniki topikowe,
- ograniczniki prądu typu IS Limiter,
- nadprzewodnikowe ograniczniki prądu.

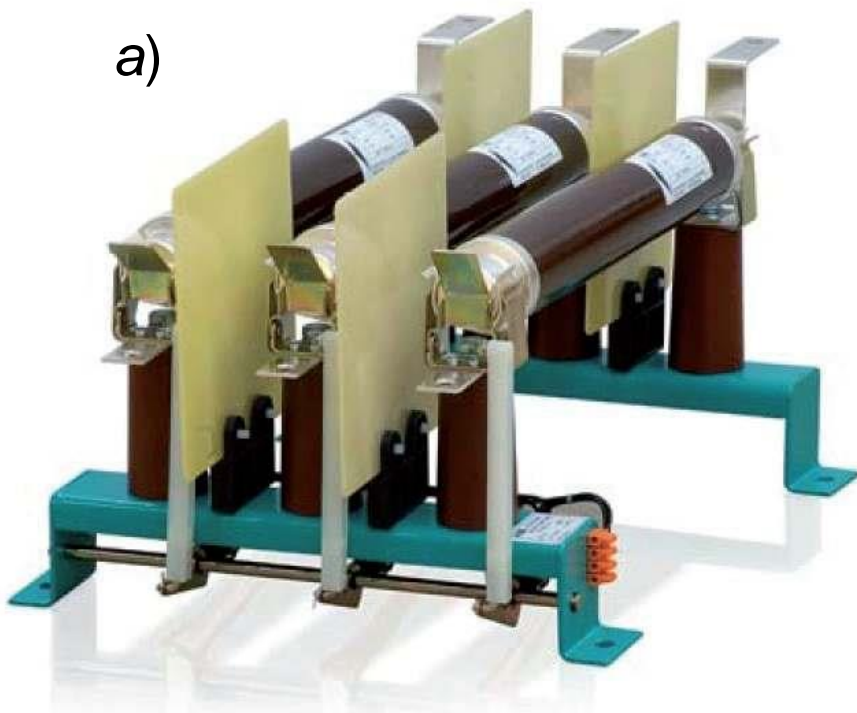
Bezpieczniki SN

Łączniki bezstykowe do zabezpieczenia przed skutkami zwarć urządzeń o niewielkich prądach:

- transformatorów,
- silników,
- baterii kondensatorów,
- przekładników,
- linii elektroenergetycznych.

Zadaniem bezpiecznika jest przerwanie obwodu po przekroczeniu określonej wartości prądu zwarciovego.

Wkładki bezpiecznikowe są elementami jednorazowego działania.



Bezpieczniki topikowe SN:

- a) widok wkładek bezpiecznikowych w podstawie bezpiecznikowej,
 b) element topikowy w postaci cienkiej taśmy z przewężeniami

Bezpieczniki charakteryzują się zdolnością wyłączenia prądu zwarciovego o znacznych wartościach, przed osiągnięciem amplitudy pierwszej półfali tego prądu (skracając tym samym czas trwania zwarcia), a także względnie niskimi przepięciami łączeniowymi przy przerywaniu prądu zwarciovego.

Prądy znamionowe ciągłe bezpieczników SN na ogół nie przekraczają 315 A, stąd nie mogą być stosowane w obwodach o znacznych prądach roboczych.

Ograniczniki prądu zwarcioviego typu IS limiter

Są łącznikami ograniczającymi wartości szczytowe i czas trwania prądu zwarcioviego w sieciach SN.

Aparat taki składa się z dwóch równoległych torów prądowych:

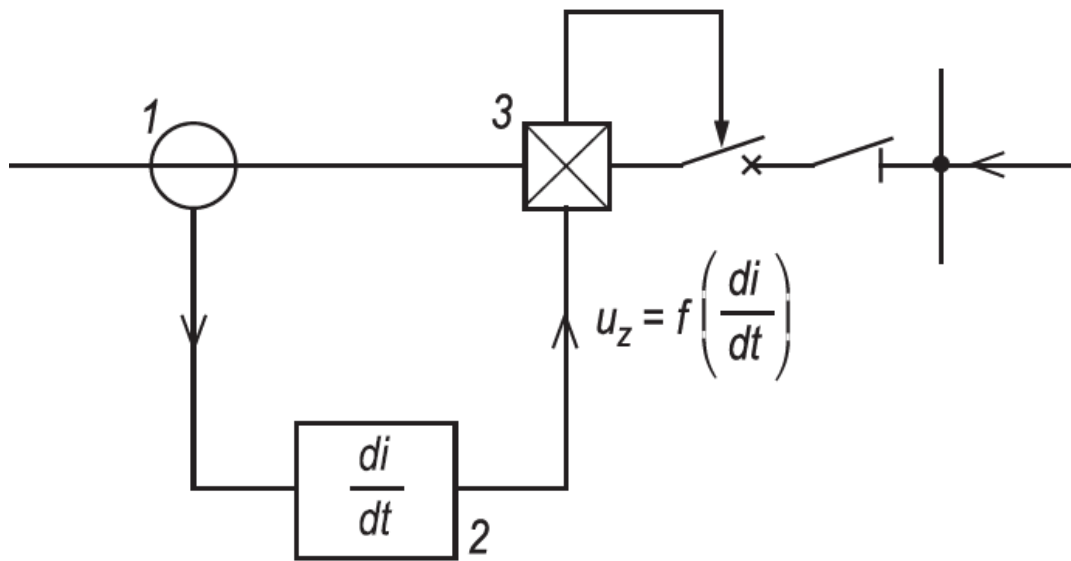
- głównego, przewodzącego prądy robocze,
- dodatkowego, wyposażonego w bezpiecznik z piaskiem kwarcowym.

Tor główny wyposażony jest w ładunek wybuchowy, który eksploduje po podaniu sygnału z układu sterującego mierzącego szybkość narastania prądu.

W wyniku tego działania następuje przerwanie toru głównego.

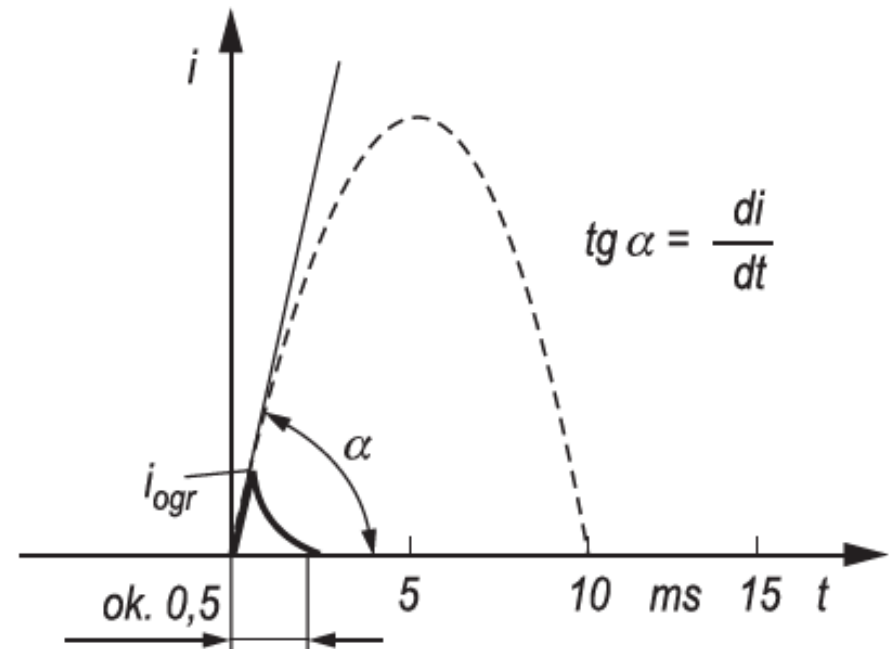
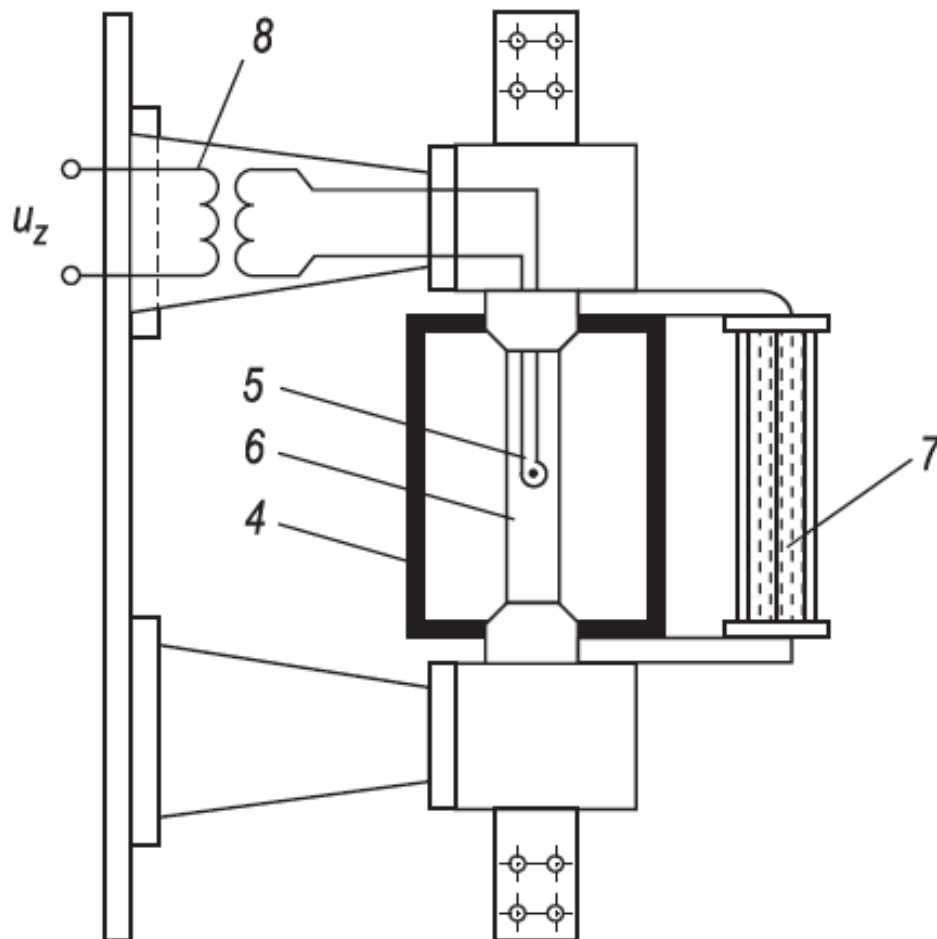
Prąd zwarcioviy płynąc z kolei przez bezpiecznik bocznikujący tor główny jest ograniczany i ostatecznie wyłączany.

Całkowite przerwanie obwodu zwarcioviego, od chwili wystąpienia zwarcia do chwili wyłączenia prądu, trwa poniżej 5 ms, tj. przed osiągnięciem przez prąd zwarcioviy wartości szczytowej.



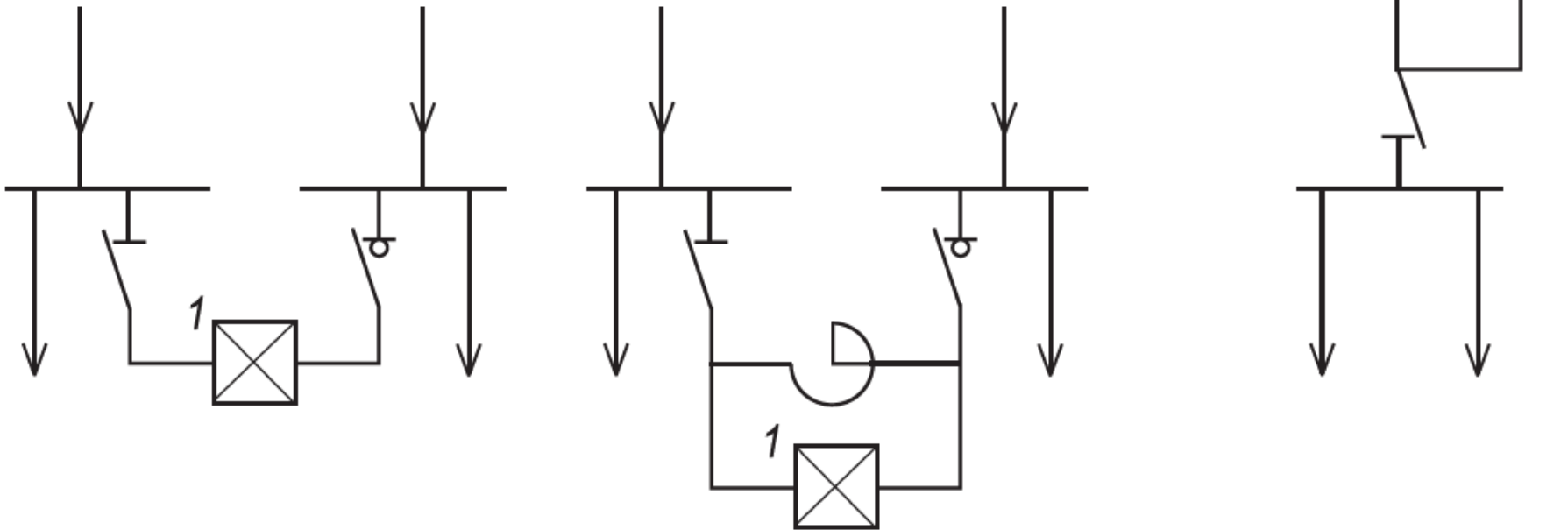
Ogranicznik prądu zwarciovego:

- 1 – przekładnik prądowy,
- 2 – urządzenie mierzące szybkość narastania prądu,
- 3 – ogranicznik,
- 4 – osłona izolacyjna,
- 5 – mikroładunek wybuchowy,
- 6 – tor prądowy główny,
- 7 – bezpiecznik,
- 8 – przekładnik izolujący



Łączniki tego typu są aparatami jednokrotnego działania, stąd istnieje konieczność wymiany wkładek bezpiecznikowych po każdorazowym zadziałaniu łącznika.

Szkice pokazujące przykładowe miejsca instalowania ograniczników prądu zwarciovego 1 w rozdzielnicach średniego napięcia



Nadprzewodnikowe ograniczniki prądu

Nadprzewodnikowy ogranicznik prądu typu indukcyjnego, zwany także ogranicznikiem z ekranowanym rdzeniem, ma budowę transformatora.

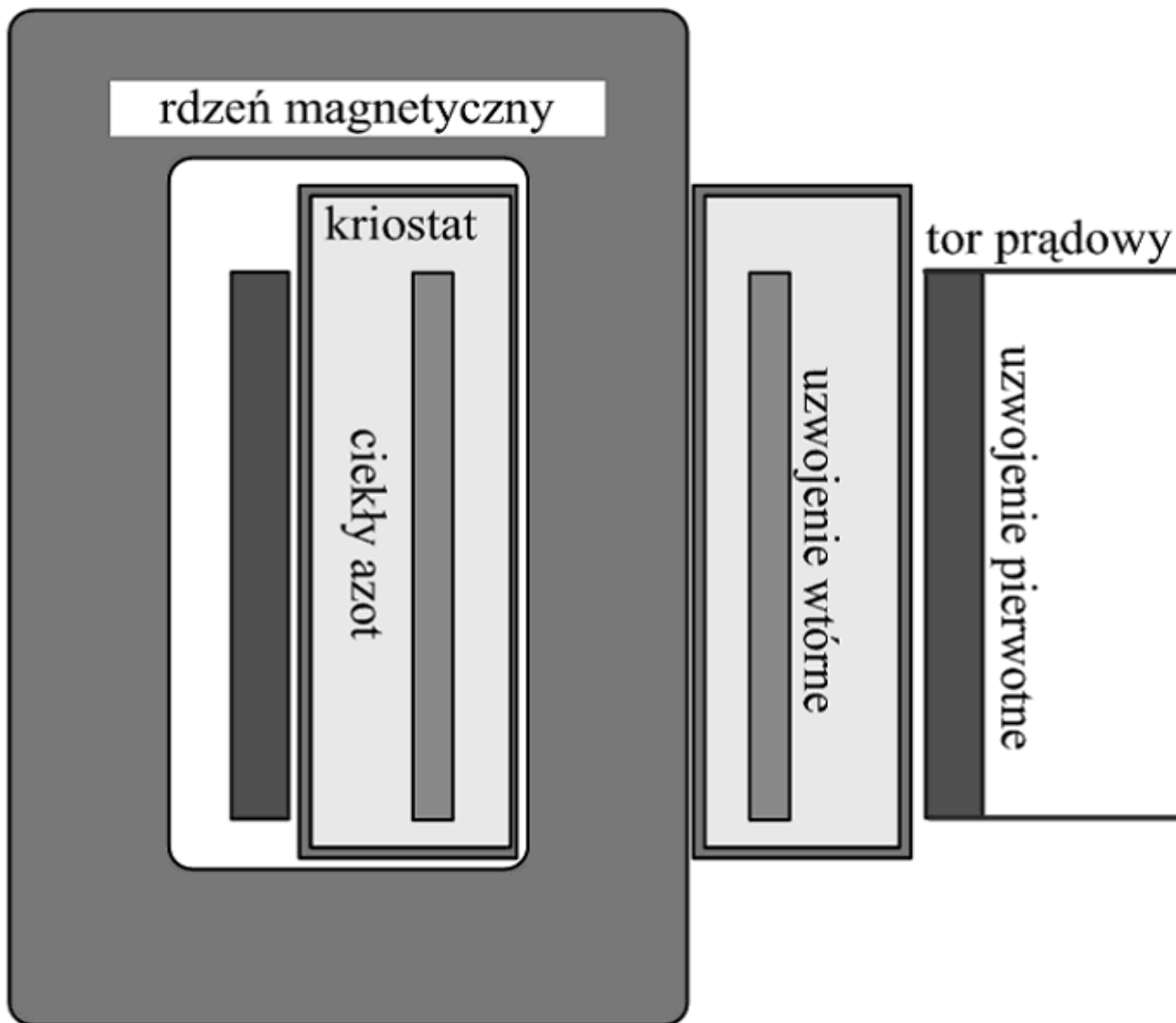
Składa się z rdzenia magnetycznego oraz dwóch uzwojeń: pierwotnego i wtórnego.

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 w postaci cylindra, stanowiącego jeden zwój zwarty.

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

W warunkach pracy znamionowej cylinder nadprzewodnikowy znajduje się w stanie nadprzewodzącym, pełniąc rolę ekranu magnetycznego kolumny rdzenia magnetycznego, na której współosiowo umieszczone są oba uzwojenia.



Szkic ogranicznika;

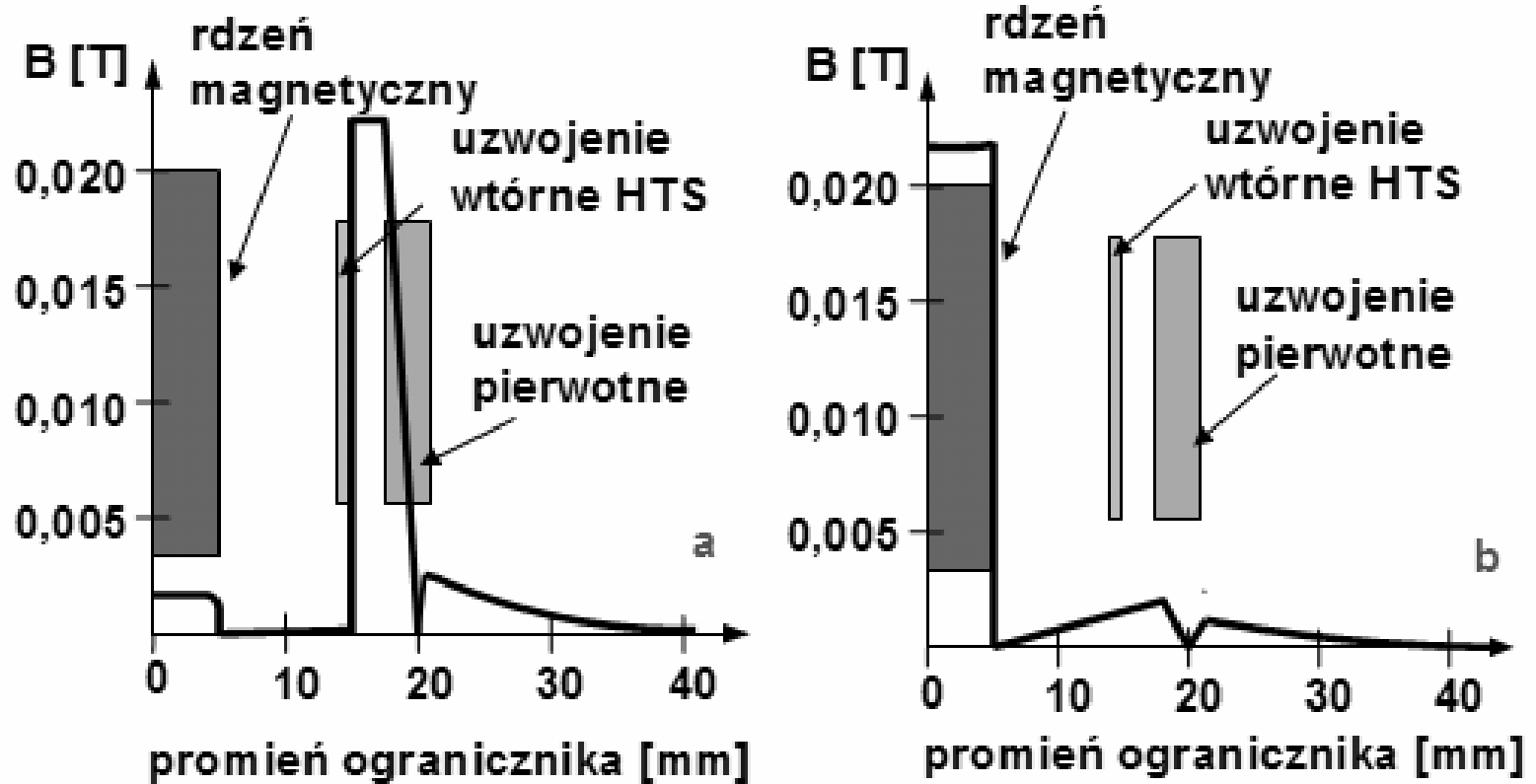
HTS:

$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$,

110 K

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.



Zasada pracy ogranicznika indukcyjnego: a – normalny stan pracy – ekranowanie strumienia magnetycznego, b – praca w stanie zwarcia – zanik nadprzewodzenia i ekranowania

Po przekroczeniu wartości krytycznej prądu w uzwojeniu wtórnym, jego rezystancja gwałtownie rośnie.

Strumień magnetyczny indukowany przez uzwojenie pierwotne nie jest kompensowany przez strumień uzwojenia wtórnego i ogranicznik dla obwodu chronionego pełni rolę dławika.

Gwałtowny wzrost impedancji uzwojenia pierwotnego, ogranicza prąd zwarciovowy.

Po ustąpieniu zwarcia uzwojenie wtórne powraca do stanu nadprzewodzącego, i ogranicznik jest gotowy do pracy bez wymiany jakiegokolwiek elementu.

