

## *Bezpieczniki topikowe wysokiego napięcia w zestawie rozłącznika z bezpiecznikami*

Heinz – Ulrich Haas  
Ralf Löffler

Bezpieczniki topikowe wysokiego napięcia typu SSK produkcji firmy SIBA, rozszerzają zakres stosowania zestawów rozłącznika z bezpiecznikami do transformatorów o większej mocy. W połączeniu z czułym na temperaturę wybijakiem, który zapobiega zniszczeniu rozdzielnic wskutek wysokich temperatur, bezpieczniki topikowe wysokiego napięcia umożliwiają prawidłową i korzystną ekonomicznie ochronę transformatorów rozdzielczych za pomocą zestawów rozłącznika z bezpiecznikami.

Gdy prądy znamionowe bezpiecznika topikowego dobierane są do zabezpieczania transformatorów rozdzielczych, mogą pojawić się wątpliwości, jeżeli inżynier bierze pod uwagę stosowane normy. Podczas gdy zalecenia producentów bezpieczników zazwyczaj odnoszą się do DIN VDE 0670-402 (VDE 0670 część 402): 1988-05 [1], wytwórcy zestawów rozłączników z bezpiecznikami zalecają prądy bezpieczników na podstawie przeprowadzonych prób typu, wykonanych na zestawie rozłącznika z bezpiecznikami zgodnie z wymaganiami DIN EN 60420 (VDE 0670 część 303):1994-09 [3], odpowiednio IEC 60420 [4] i niejednokrotnie prądy te będą znacznie mniejsze.

W rezultacie zastosowanie obydwu norm prowadzi do dwóch różnych prądów znamionowych bezpiecznika. Można by więc odnieść wrażenie, że ochrona bezpiecznikami na podstawie wymagań obydwu norm jest praktycznie niemożliwa. Rozwiązanie tego problemu jest jednak możliwe poprzez zastosowanie nowo opracowanych przez firmę SIBA, wkładek bezpiecznikowych wysokiego napięcia [5], które uwzględniają cechy szczególne oraz praktyczne zalety obydwu norm.

### ***Zabezpieczanie bezpiecznikiem transformatorów rozdzielczych***

Ponieważ bezpieczniki wysokiego napięcia są powiązane z transformatorem (i najczęściej z rozłącznikiem), ich zakres zabezpieczania rozciąga się do bezpiecznika po stronie wtórnej transformatora. Oznacza to, że wzrost prądów przetężeniowych, spowodowany zwarciami na szynach zbiorczych niskiego napięcia wskutek zwarców uzwojenia lub zwarców doziemnych wewnątrz transformatorów, jest niezawodnie przerywany przez bezpieczniki wysokiego napięcia, umieszczone po stronie pierwotnej transformatora, zanim efekty dynamiczne wywrą wpływ na sieć rozdzielczą średniego napięcia.

Prądy i czasy zadziałania bezpieczników topikowych wysokiego napięcia są skoordynowane z transformatorem, bezpiecznikiem niskiego napięcia (wkładki topikowe niskiego napięcia NH, klasy gTr lub gG) oraz odpowiednio z urządzeniem zabezpieczającym średniego napięcia. Rysunki 1a, 1b, 1c pokazują typowe warianty zabezpieczenia transformatorów. Współzależność wszystkich komponentów takich jak: wkładek topikowych transformatorowych wysokiego napięcia, urządzeń zabezpieczających stronę wtórną transformatora i zabezpieczenia prądowego po stronie pierwotnej, przedstawiają charakterystyki pokazane na rys. 2.

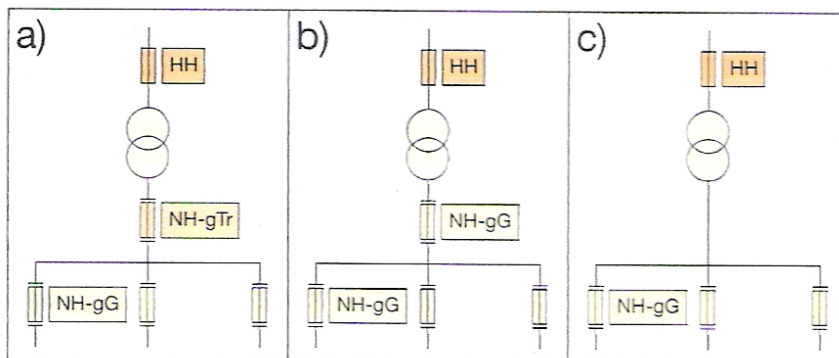
Bezpiecznik topikowy wysokiego napięcia powinien spełniać następujące kryteria:

- Bezpiecznik topikowy wysokiego napięcia powinien wytrzymać magnesujący prąd załączania transformatora (rys. 2, punkt A), który może mieć wartość od 6 do 20 razy większą od prądu znamionowego transformatora (w ciągu 0,1 s), zależnie od mocy transformatora.
- Maksymalny prąd zwarciový, określony na podstawie napięcia zwarcia transformatora  $u_k$  musi być wyłączony w czasie dopuszczanym przez normę DIN 57532-5 (VDE 0532 część 5): 1985-05 [6].
- Bezpiecznik topikowy wysokiego napięcia musi być zdolny do przewodzenia w sposób ciągły prądu roboczego transformatora (prądu znamionowego transformatora).
- Przy przeciążeniu transformatora do 150% (przeciążenie dozwolone) nie może być przekroczona dopuszczalna temperatura dla aparatury rozdzielczej.
- Charakterystyka czasowo-prądowa, czasy i prąd zadziałania bezpiecznika topikowego wysokiego napięcia muszą być selektywne z bezpiecznikami topikowymi niskiego napięcia. Ewentualne punkty przecięcia obydwu charakterystyk prądowych mogą być zaakceptowane tylko powyżej maksymalnego prądu zwarciový (rys. 2, punkt B).
- Po stronie wysokiego napięcia transformatora musi być zachowana selektywność z zabezpieczeniem prądowym sieci zasilającej.

### ***Unikanie niepożądanych wysokich temperatur***

Wkładki topikowe wysokiego napięcia wyposażone są w wybijaki, które spełniają jednocześnie rolę wskaźników zadziałania. Wkładki te, umieszczone w zestawie rozłącznika z bezpiecznikami, dzięki wybijakom otwierają rozłącznik poprzez jego mechanizm wyzwalający i wyłączają wszystkie trzy fazy.

W celu uniknięcia niepożądanych, wysokich temperatur w rozdzielnicy, wkładki topikowe wysokiego napięcia firmy SIBA, wyposażone są w zintegrowane wybijaki ograniczające temperaturę. Wysokie temperatury mogą wystąpić, na przykład wtedy, gdy bezpieczniki pracują w tzw. niedozwolonych zakresach, tzn. poniżej minimalnego prądu wyłączeniowego. Wyższe temperatury mogą także pojawiać się gdy wyładowanie atmosferyczne wpływa na wkładkę topikową.



Rys.1. Transformator rozdzielczy z typowymi wariantami zabezpieczenia (a-c)

Zadziałanie wrażliwego na temperaturę wybijaka prowadzi do niezawodnego przzerwania obwodu przez zestaw rozłącznika z bezpiecznikami, co zapobiega termicznemu uszkodzeniu rozdzielnicy [7].

### ***Wkładki topikowe wysokiego napięcia zgodne z VDE 0670 część 402***

Aby dobór wkładek topikowych stał się łatwiejszy dla użytkownika, charakterystyki czasowo-prądowe bezpieczników wysokiego napięcia zostały w roku 1988 ujednoczone w normie DIN VDE 0670-402 (VDE 0670 część 402): 1988-05 [1]. W zakresie między 10 milisekund a 10 sekund, zostały określone dolne i górne graniczne linie dla bezpieczników na poszczególne prądy znamionowe. W połączeniu z wyżej wymienionymi kryteriami dla bezpieczników topikowych wysokiego napięcia, przewidzianych do zabezpieczenia transformatorów rozdzielczych, podano tabelę doboru bezpieczników. Tabela ułatwia użytkownikowi dobór odpowiednich prądów znamionowych bezpieczników, bez konieczności porównywania charakterystyk czasowo-prądowych, analizowania różnic oraz bez uwzględniania właściwości bezpieczników różnych wytwórców. Wykazane są transformatory o mocach do 1 MVA i napięciu znamionowym do 36 kV z odpowiednimi dla nich wkładkami topikowymi. W celu spełnienia życzenia użytkowników, dotyczącego szerokiego zakresu stosowania bezpieczników topikowych, zalecenia powyższe podają kilka prądów znamionowych dla określonej mocy transformatora.

Zalecenia dotyczące bezpiecznika podane w DIN VDE 0670-402 (VDE 0670 część 402): 1988-05 [1] spotkały się z szeroką aprobatą przedsiębiorstw użyteczności publicznej oraz przemysłu. Zalecenia te obejmują nie tylko bezpieczniki topikowe NH klasy gTr (rys. 1a), ale również bezpieczniki klasy gG (rys. 1b), a nawet przypadki, gdy po stronie wtórnej użyte są tylko wkładki odcinające (rys. 1 c).

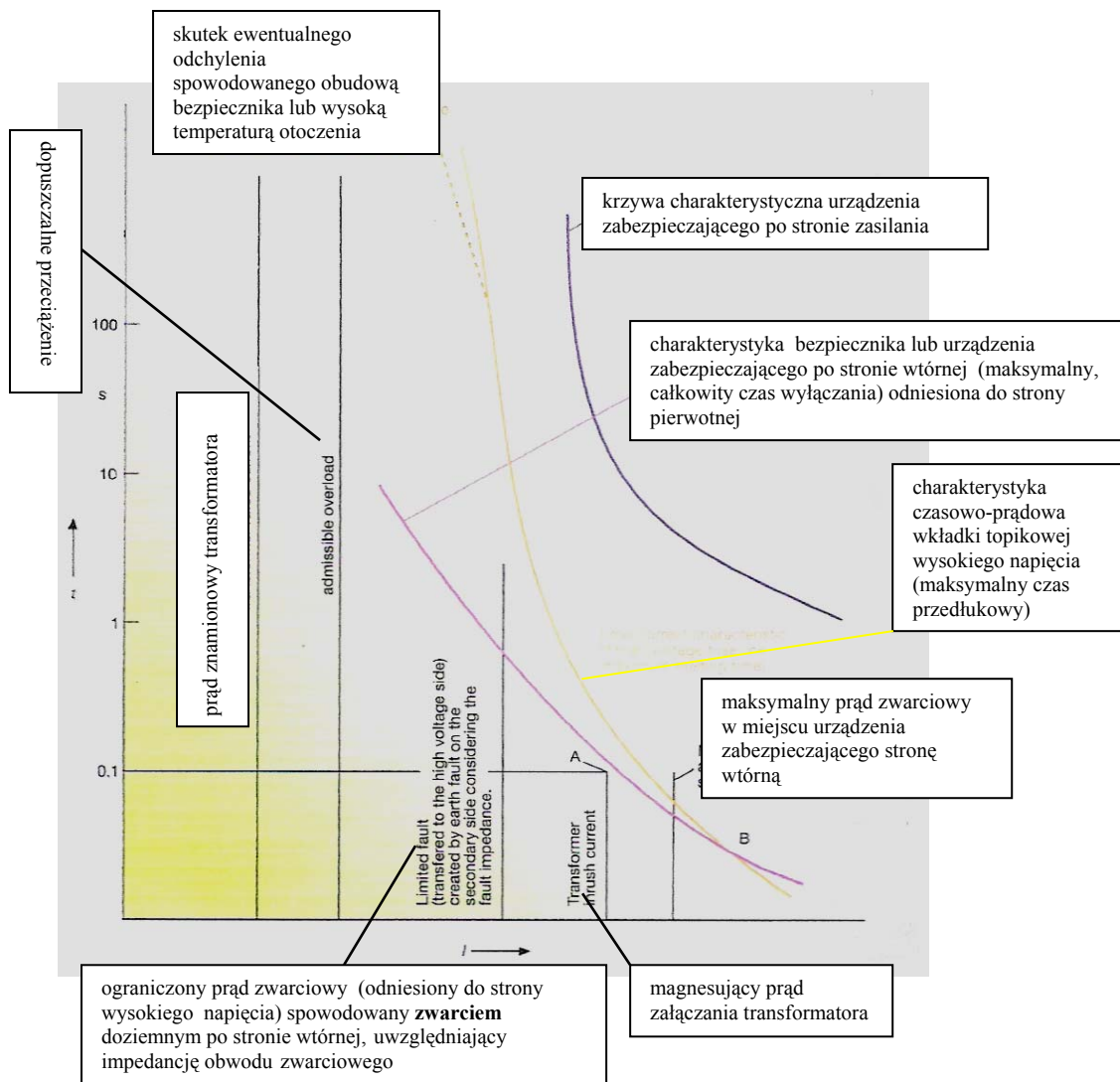
### ***Zestaw rozłącznika z bezpiecznikami według VDE 0670 część 303***

Norma DIN EN 60420 (VDE 0670 część 303): 1994-09 [3] opisuje oficjalnie przyjętą podstawę współdziałania bezpieczników topikowych wysokiego napięcia i rozłączników. Precyzuje kilka badań mechanicznych i elektrycznych. Poniżej omówimy tylko próby z prądem przechodnim przy działaniu wybijaka jak również wyłączenie po stronie pierwotnej, wynikające ze zwarcia na zaciskach strony wtórnej transformatora. [3,4].

### ***Prąd przechodni w czasie działania wybijaka***

Znamionowy prąd przechodni przy działaniu wybijaka, jest największym prądem zakłóceniovym jaki może wyłączyć rozłącznik. Odnosi się to do zakresu prądowego, gdzie obowiązek przzerwania prądu zostaje przeniesiony, z bezpiecznika topikowego na rozłącznik. Bezpiecznik topikowy wysokiego napięcia przerywa wszystkie prądy powyżej tej wartości, aż do maksymalnego prądu zwarciovego. W rezultacie wybijak bezpiecznika topikowego uruchamia rozłącznik i oddziela wadliwy transformator od sieci (funkcja separująca rozłącznika).

Prądy poniżej znamionowego prądu przechodniego będą przzerwane przez rozłącznik. W tym przypadku wybijak bezpiecznika topikowego, który zadziała pierwszy będzie wyzwalać rozłącznik. Podczas gdy bezpieczniki w pozostałych dwóch fazach pozostają jeszcze w fazie przerywania prądu, rozłącznik będzie otwarty i w rezultacie tego będzie oddzielać obwód (funkcja łączeniowa rozłącznika).



Rysunek 2. Charakterystyki zabezpieczenia obwodów transformatora według norm DIN VDE 0670-402 (VDE 0670 Część 402): 1988-05 [1] oraz IEC 60787:1983-01 [2]

W celu zapewnienia bezpiecznego działania zestawu rozłącznika z bezpiecznikami, norma DIN EN60420 (VDE 0670 część 303): 1994-09 [3] wymaga, aby prąd zadziałania bezpiecznika topikowego wysokiego napięcia był mniejszy niż prąd znamionowy przechodni aparatury rozdzielczej. Prąd przechodni jest określony przez koordynację charakterystyki bezpiecznika i czasu własnego otwierania rozłącznika wskutek działania wybijaka i jest wartością charakterystyczną zestawu rozłącznika z bezpiecznikami. Praktyka pokazuje, że szczególnie do zabezpieczania transformatorów o większych mocach znamionowych, w zestawie rozłącznika z bezpiecznikami stosuje się bezpieczniki topikowe wysokiego napięcia na inne prądy znamionowe niż prądy zalecane przez normę DIN VDE 0670-402 (VDE 0670 część 402): 1988-05 [1].

### **Zwarcie na zaciskach strony wtórnej**

W przypadku zwarcia na zaciskach strony wtórnej, powinny być użyte bezpieczniki topikowe, które gwarantują wyłączenie samodzielne, bez pomocy rozłącznika [3]. Oznacza to, że prąd przechodni zestawu rozłącznika z bezpiecznikami topikowymi wysokiego napięcia musi być mniejszy niż prąd zwarcia po stronie pierwotnej. Prąd zwarcia po stronie pierwotnej,

który odpowiada maksymalnemu prądowi zwarciovemu obwodu, odnosi się w VDE 0670-402 (VDE 0670 część 402): 1988-05 do najdłuższego dozwolonego czasu trwania równego dwie sekundy.

Napięcie znamionowe kV	Moc znamionowa transformatora w kVA										
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000
	$u_z = 4\%^{*}$									$u_z = 5\%^{*}$	
	Najdłuższy, dopuszczalny czas trwania zwarcia 2s <sup>*)</sup>										
Prądy znamionowe wkładek topikowych wysokiego napięcia w A											
6/7,2	20 i 25	25 i 31,5	31,5 i 40	40 i 50	50 i 63	63 i 80	80 i 100	100 i 125	125i 160	160	160i 200
10/12	16	16	20 i 25	25 i 31,5	31,5 i 40	40 i 50	50 i 63	63 i 80	80 i 100	100 i 125	125i 160
20/24	10	10	16	16	16 aż do 25	25	25 i 31,5	31,5 i 40	40 i 50	63	63 i 80
30/36	6,3	10	10	16	16 aż do 25	20 i 25	25	25 i 31,5	31,5 i 40	40 i 50	40 i 50

*\*) Napięcie znamionowe zwarcia  $u_z$  i najdłuższy, dopuszczalny czas trwania zwarcia zgodnie z normą DIN 57532-5 (VDE 0532 Część 5): 1984-05 [6]  
Zalecany bezpiecznik topikowy wg normy DIN VDE 0670-402 (VDE 0670 Część 402): 1988-05 [1]*

Jednakże atesty aparatury rozdzielczej niektórych producentów przedstawiają wartości w zakresie milisekund (czas własny otwierania rozłącznika wskutek działania wybijaka) według normy DIN EN 60420 (VDE 0670 część 303): 1994-09. Uwzględniając wymagania obydwu norm, możliwe są prądy znamionowe bezpieczników topikowych wysokiego napięcia o różnych wartościach.

Aby rozwiązać powyższy problem, odpowiedzialni za eksploatację sieci mają do wyboru dwie alternatywy: przeprowadzić własne obliczenia i porównać charakterystyki czasowo-prądowe bezpieczników HH w celu dostosowania ich do kryteriów zabezpieczenia obwodów transformatora, albo zastosować wkładki topikowe wysokiego napięcia nowszej konstrukcji typu SSK, które spełnią wymagania obydwu norm.

### **Wkładki topikowe wysokiego napięcia typu SSK**

Aby bezpieczniki topikowe wysokiego napięcia były zgodne z wyżej wymienionymi wymaganiami [8], SIBA opracowała nową konstrukcję wkładek W rezultacie przeprowadzonych badań powstały wkładki topikowe wysokiego napięcia typu SSK.

Nowe wkładki topikowe wyglądają identycznie jak dotychczasowe wzory, lecz mają oznaczenie „SSK – Type ” oraz „VDE 0670 part 402”, co wskazuje na ich specjalne zastosowanie. Elementy topikowe charakteryzują się dobrze znanym profilem. Jednakże wymiary przewężeń i współzależność całkowitego przekroju zostały zoptymalizowane i zmodyfikowane.

Celem nowego rozwiązania było skrócenie czasów przedłukowych w zakresie poniżej 100 milisekund, bez negatywnego wpływu na inne wartości znamionowe bezpiecznika topikowego. Spełnione zostały również wymagania producentów aparatury rozdzielczej dotyczące niskich przyrostów temperatury: strata mocy w nowych wkładkach topikowych przy obciążeniu znamionowym transformatorów wynosi odpowiednio tylko  $70 \div 75$  W.

Uzyskano niskie wartości prądu wyłączalnego najmniejszego, dobrze znanych klasycznych (typowych) bezpieczników topikowych wysokiego napięcia, wynoszące 3.5 razy prąd znamionowy bezpiecznika. W zakresie czasów przedłukowych poniżej 100 milisekund, charakterystyka czasowo-prądowa nowej wkładki topikowej wysokiego napięcia SSK znajduje się w dolnym limicie czasów podanych w DIN VDE 0670-402 (VDE 0670 część 402): 1988-05 [1]. Spełnia to w pełni wymagania producentów aparatury rozdzielczej. Selektywność wkładek topikowych wysokiego napięcia z wkładkami niskiego napięcia NH klasy gTr lub gG została zapewniona tam, gdzie bardzo stromy przebieg charakterystyki czasowo-prądowej jest istotny.

Wymagania normy DIN EN 60420 (VDE 0670 część 303): 1994-09 [3] brane są również pod uwagę przy szybkiej charakterystyce w zakresie poniżej 100 milisekund. Następstwem są małe prądy zadziałania wkładki topikowej, co jest zgodne z wymaganiami normalizacyjnymi:

- prąd przechodni znamionowy zestawu rozłącznika z bezpiecznikami  $\geq$  prąd wyłączalny bezpiecznika topikowego w pobliżu punktu przechodniego
- maksymalny prąd zwarciovowy po stronie pierwotnej  $>$  prąd przechodni zestawu wyposażonego w bezpieczniki.

Bezpieczniki topikowe wysokiego napięcia typu SSK stanowią poszerzenie istniejącego zakresu produktów. Znajdują one głównie zastosowanie do aparatury rozdzielczej, ze stosunkowo niskimi wartościami czasów własnych otwierania i prądów przechodnich zestawu, która jest użyta do zabezpieczania transformatorów  $\geq$  630 kVA. W przypadku transformatorów o niższych mocach, stosuje się dobrze znane, standardowe wkładki topikowe firmy SIBA, z powodu lepszych zależności między prądem wyłączalnym wkładki topikowej w zestawie i znamionowym prądem przechodnim zestawu.

Literatura:

[1] DIN VDE 0670-402 (VDE 0670 Teil 402): 1988-05 Wechselstromschaltgeräte für Spannungen über 1 kV – Auswahl von strombegrenzenden Sicherungseinsätzen für Transformatorstromkreise.

[2] IEC 60787: 1983-01 Application guide for the selection of fuse links of high-voltage fuses for transformer circuit application.

[3] DIN EN 60420 (VDE 0670 Teil 303): 1994-09 Hochspannungs-Lastschalter-Sicherungs-Kombinationen.

[4] IEC 60420: 1990-10 High-voltage alternating current switch-fuse combinations

[5] [www.siba.de](http://www.siba.de)

[6] DIN 57532-5 (VDE 0532 Teil 5): 1984-05 Transformatoren und Drosselspulen – Teil 5: Kurzschlussfestigkeit.

[7] Haas, H.-U.: Thermal system protection of switchgear through high voltage fuse-links with integrated temperature limiter under consideration of IEC 420:1990 S.66-70. Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Electrical Fuses and their Application (ICEFA) 25.-27.9.1995, TU Ilmenau.

[8] DIN EN 60282-1: 1998-02 Hochspannungssicherungen – Teil 1: Strombegrenzende Sicherungen.

**Dr inż. Ralf Löffler** (35) Dyrektor Techniczny w SIBA Sicherungen Bau GmbH w Lünen.  
E-mail: [ralf.loeffler@siba.de](mailto:ralf.loeffler@siba.de)

**Mgr inż. Heinz-Urlich Haas** (46) Dyrektor Biura Badawczo-Rozwojowego w SIBA Sicherungen-Bau GmbH w Lünen.  
E-mail: [ulrich.haas@siba.de](mailto:ulrich.haas@siba.de)