

Marek Bartosik, Ryszard Lasota, Franciszek Wójcik

## DCN 3/1600, 2500, 3150

# – wielkoproudowe wyłączniki próżniowe prądu stałego

*Wielkoproudowe wyłączniki próżniowe prądu stałego DCN, ze względu na krótkie czasy otwierania, znacznie mniejsze od 1 ms oraz krótkie czasy procesów wyłączeniowych, osiągające w granicznych przypadkach wartości poniżej 4 ms, można zakwalifikować do grupy wyłączników typu V [1]. Są to wyłączniki nie spolaryzowane, przeznaczone głównie do kolejowych podstacji i sieci trakcyjnych o napięciu 3 kV. W artykule opisano jedynie wybrane zagadnienia różniące budowę wyłączników wielkoproudowych od wcześniej opisanej budowy ultraszybkich wyłączników próżniowych na prądy znamionowe do 1000 A. Pokazano przebiegi łączeniowe przy wyłączeniu prądów wstecznych oraz przy wyłączeniu prądów zwarciovych w cyklu łączeniowym.*

Wyłączniki DCN 3/1600;2500;3150 (3 kV 1600 A, 2500 A lub 3150 A), podobnie jak wyłączniki DCU 3/400; 630 działają na zasadzie wyłączenia przeciwprądem. Wyłączniki DCU to zmodernizowana wersja wyłączników DCV, których budowę, działanie i cykl łączeniowy opisano [2], dlatego artykuł nie będzie zawierał podstawowych informacji tam podanych a jedynie do nich nawiązywał. Wzrost wartości prądu znamionowego wyłącznika ma istotny wpływ nie tylko na zjawiska łączeniowe, ale również wpływa na budowę i strukturę wyłącznika. Dlatego struktura wyłącznika silnoproudowego i funkcje podzespołów zestykowych mogą być zupełnie inne niż w wyłącznikach na prądy znamionowe poniżej 1000 A.

### Uproszczony schemat ideowo-blokowy wyłącznika DCN

Wyłącznik składa się z kilku zasadniczych podzespołów, które w zależności od wykonania całego aparatu mogą być rozmieszczone przestrzennie w różny sposób. Uproszczony schemat ideowo-blokowy wyłącznika pokazano na rysunku 1.

Do zasadniczych podzespołów wyłącznika DCN (rys. 1) należą: próżniowy człon zestykowy CZ, próżniowy załącznik przeciwprądu ZP, powietrzny odcinacz napięcia OG oraz mikroprocesorowy sterownik wyłącznika MSW (rys. 2) i interfejs IWW (rys. 3).

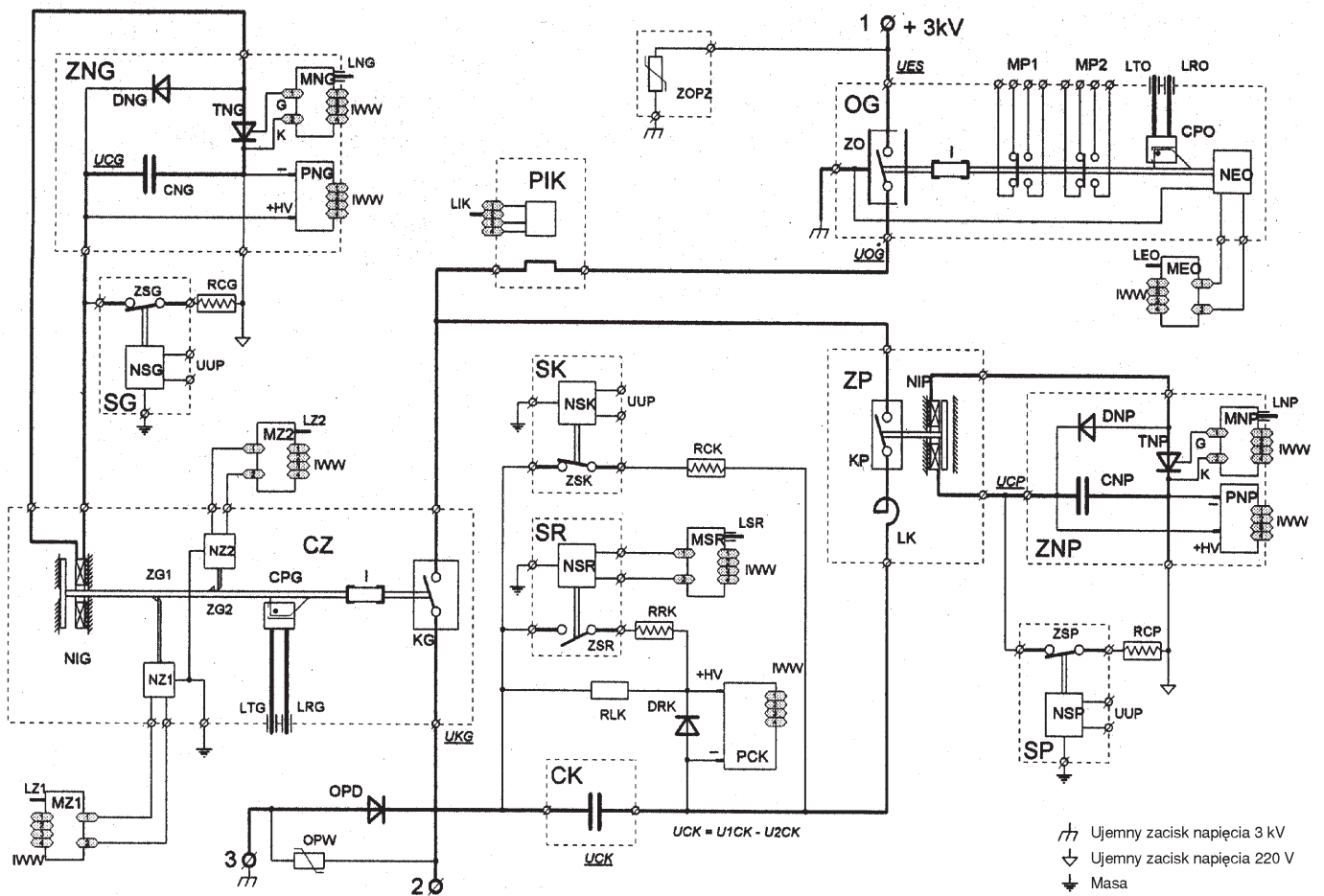
Obwód główny wyłącznika stanowią dwa łączniki zestykowe połączone szeregowo, mianowicie odcinacz napięcia OG ze swymi stykami ZO oraz człon zestykowy CZ z komorą próżniową KG. W procesie załączania zachowana jest kolejność zamykania: ZO –  $t_1$  – KG, natomiast przy wyłączeniu obowiązuje kolejność odwrotna, tzn.: KG –  $t_2$  – ZO. Czasy  $t_1$  i  $t_2$  zadawane są przez sterownik MSW. W obu procesach dynamicznych, elementem załączającym i wyłączającym prąd jest komora KG członu CZ, co stwarza szczególnie trudne warunki dla jego pracy.

### Warunki pracy członu zestykowego CZ

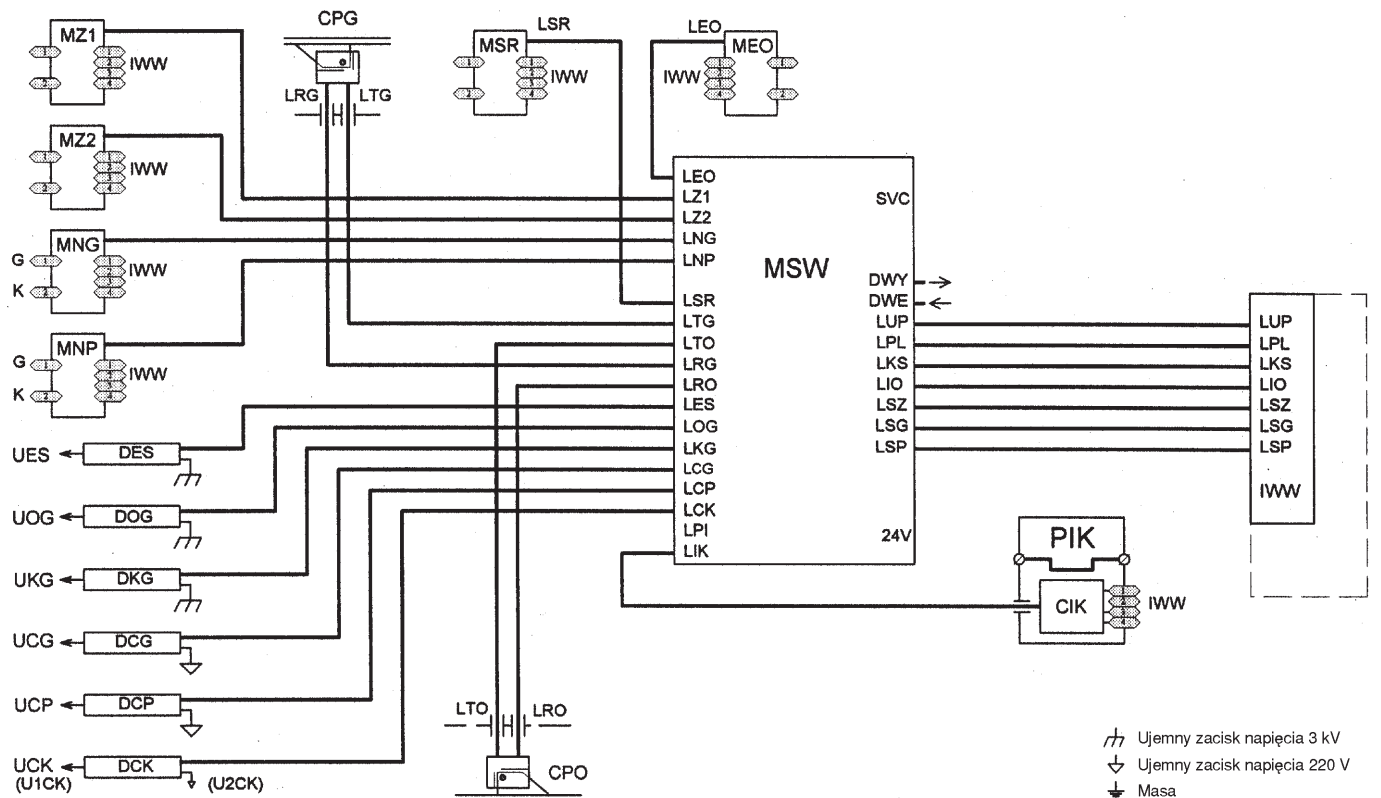
Z przyjętego cyklu łączeniowego wynikającego również z dodatkowych uwarunkowań wynika, że w wyłącznikach wielkoproudowych główny człon zestykowy CZ pełni funkcje łączeniowe we wszystkich stanach pracy łącznika, a więc przy załączaniu, przewodzeniu i wyłączeniu. Komora próżniowa KG jest zamknięta jedynie podczas pracy przepustowej. W wyłącznikach słaboproudowych komora próżniowa główna członu zestykowego pozostaje w stanie zamkniętym praktycznie cały czas, a otwiera się jedynie na krótki, zadany czas podczas procesu wyłączenia. Ta zmiana funkcji spełnianej przez człon zestykowy CZ stawia nowe wymagania dla osprzętu współpracującego z komorą. Organ ruchomy członu zestykowego CZ w stanie otwartym jest utrzymywany na zamku ZG1. Zamykanie wyłącznika jest dwustopniowe. Po zwolnieniu zamka ZG1, pod wpływem sprężyn zwrotnych organ ruchomy przemieszcza się na pewną odległość i zostaje zatrzymany na zamku ZG2. Po zadanim czasie opóźnienia, niezbędnym do uzyskania gotowości zamka ZG1 do ponownego zatrzymania w stanie otwarcia styków KG, następuje zwolnienie zamka ZG2 i zamknięcie styków komory KG. W stanie zamknięcia, dla zagwarantowania właściwego spadku napięcia na zestyku przy dużej wartości prądu znamionowego wyłącznika, niezbędne jest wytworzenie dużych sił docisku zestykowego rzędu tysięcy niutonów. Siły te są wytwarzane przez sprężyny zwrotne nie pokazane na rysunku 1. Zatem czas własny członu CZ przy zamykaniu, zależny od tych sił, jest stosunkowo krótki, rzędu milisekund. W przypadku załączenia na zwarcie następuje zadziałanie napędu NIG i otwarcie komory głównej KG w czasie krótszym niż 2 ms. Łączny czas własny przy zamykaniu i czas własny przy otwieraniu członu zestykowego CZ jest znacznie krótszy od 10 ms, czyli maksymalny czas do uzyskania gotowości zamka do ponownego zatrzymania w stanie otwarcia styków KG nie przekracza 10 ms. Uzyskanie tak krótkich czasów i dużej pewności działania zamka jest dość trudne. Dlatego obecnie wykorzystano dwa zamki kolejno działające, stosowane i sprawdzone w innych konstrukcjach wyłączników. Prace nad nową konstrukcją zamka do wyłączników silnoproudowych, zamienną ze stosowanymi dotychczas, są nadal prowadzone. Z tych analiz jasno wynika pierwsza z istotnych różnic między członami zestykowymi wyłączników silnoproudowych i słaboproudowych, druga – to załącznik przeciwprądu.

### Warunki pracy załącznika przeciwprądu ZP

Przy wyłączeniu obwodów prądu stałego za pomocą przeciwprądu konieczne jest dokładne zachowanie kolejności działania członów zestykowych CZ i ZP [2]. Po otwarciu się komory głównej KG można załączyć obwód przeciwprądu dopiero wówczas, gdy przerwa zestykowa w komorze KG osiągnie wartość gwarantującą właściwą wytrzymałość napięciową po zgaszeniu łuku. W wyłączni-



Rys. 1. Uproszczony schemat ideowo-blokowy wyłącznika DCN



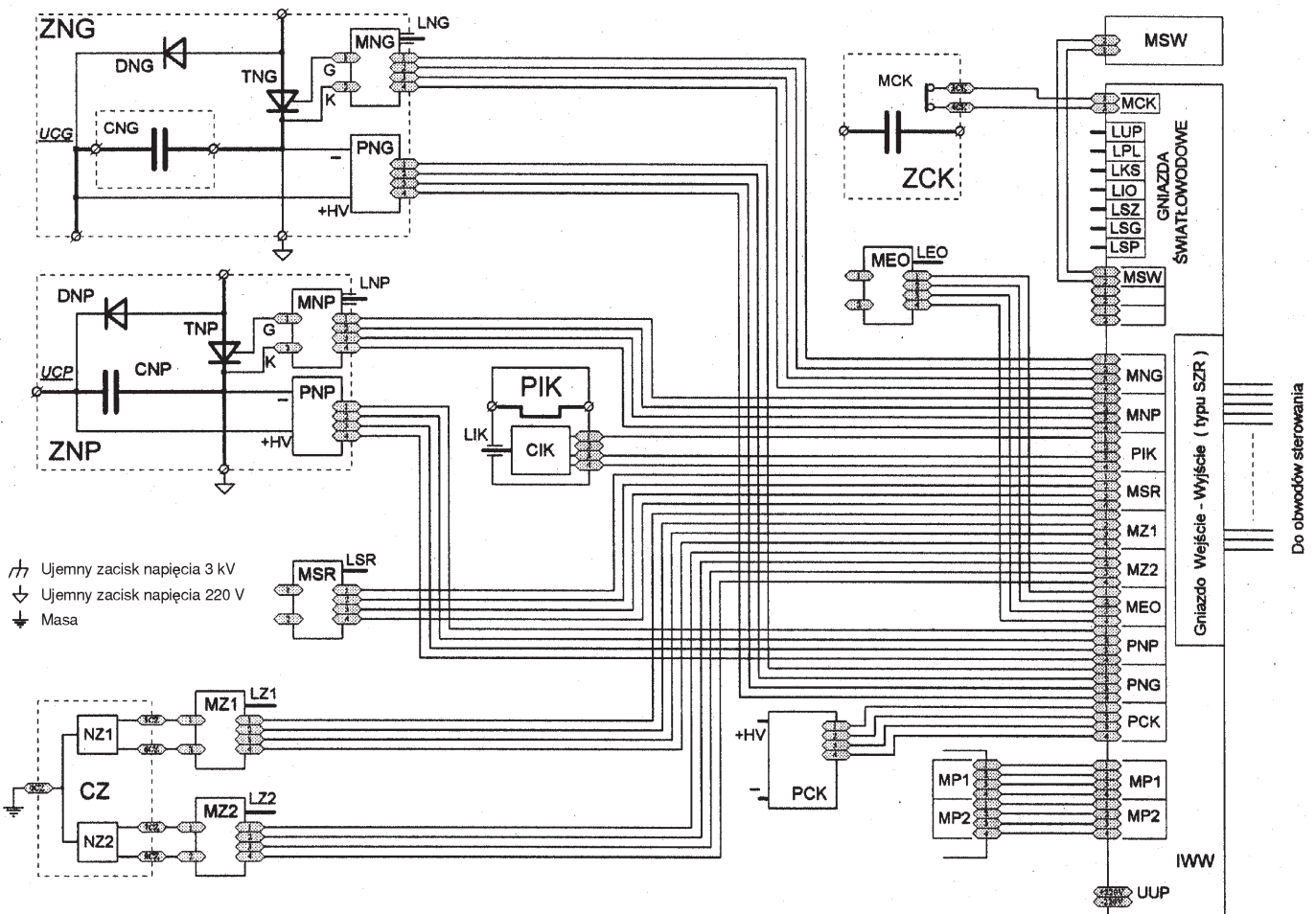
Rys. 2. Schemat instalacji światłowodowej wyłącznika DCN

Rys. 1. Uproszczony schemat ideowo-blokowy wyłącznika DCN (s. 54)

CZ - czcion zestykowy; KG - komora próżniowa główna (wyłączająca i załączająca prąd główny); NIG - napęd indukcyjno-dynamiczny; ZG1, ZG2 - zamki napędu NIG; NZ1, NZ2 - elektromagnesy zamków ZG1 i ZG2; MZ1, MZ2 - zasilacze elektromagnesów zamków; CPG - czujnik położenia styków komory KG; ZNG - zespół zasilania napędu NIG; PNG - przetwornica do ładowania kondensatora CNG; CNG - kondensator napędu NIG; MNG - moduł sterowania tyrystora TNG; CK - zespół kondensatorów komutacyjnych; ZP - załącznik przeciwprądu; KP - komora próżniowa pomocnicza (załączająca przeciwprąd); LK - dławik komutacyjny; NIP - napęd indukcyjno-dynamiczny komory KP; ZNP - zespół zasilania napędu NIP; CNP - kondensator napędu KP; PNP - przetwornica do ładowania kondensatora CNP; MNP - moduł sterowania tyrystora TNP; OG - odcinacz obwodu głównego; ZO - powietrzny zestyk odcinacza OG; NEO - napęd elektromagnesowy; MEO - przetwornica zasilająca napęd NEO; CPO - czujnik położenia styków ZO odcinacza OG; PIK - układ kontaktronowego przełącznika nadprądowego; PCK - przetwornica ładowania kondensatorów CK; RLK - rezystor podtrzymania napięcia na kondensatorze CK; DRK - układ ochrony przetwornicy PCK; SR - stycznik szybkiego rozładowania i ładowania CK; MSR - moduł sterowania napędu NSR; ZSR - zestyk załączający rezystor RRR, przyspieszający ładowanie kondensatora CK; SK - stycznik rozładowania kondensatora CK przy wyłączonym napięciu pomocniczym; RCK - rezystor rozładowujący; ZOPZ - zespół ogranicznika przepięć zewnętrznych; OPW - zespół ogranicznika przepięć wewnętrznych; OPD - diodowy ogranicznik przepięć

Rys. 2. Schemat instalacji światłowodowej wyłącznika DCN (s. 54)

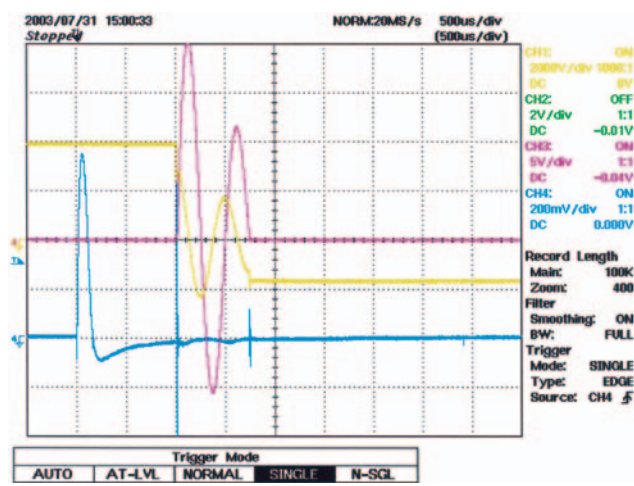
MSW - mikroprocesorowy sterownik wyłącznika; UES, UOG, UKG, UCG, UCP, UCK - monitorowane napięcia; DES, DOG, DKG, DCG, DCP, DCK - wysokonapięciowe dzielniki monitorowanych napięć (miejsca przyłączenia dzielników pokazano na rys. 1.); LES, LOG, LKG, LCG, LCP, LCK - światłowody przekazujące sygnały do sterownika z odpowiednich dzielników napięć; LTG, LRG - światłowodowa pętla przetwornicy CPG położenia styków komory głównej; LTO, LRO - światłowodowa pętla przetwornicy CPO położenia styków odcinacza napięcia; LIK - światłowodowy przekazujący sygnał do sterownika z przełącznika nadprądowego; LEO, LZ1, LZ2, LNG, LNP, LSR - światłowody przekazujące sygnały sterujące do modułów odpowiednio MEO, MZ1, MZ2, MNG, MNP, MSR; LUP, LPL, LKS, LIO, LSZ, LSG, LSP - światłowody przekazujące sygnały między interfejsem IWW i sterownikiem MSW; pozostałe oznaczenia jak na rysunku 1



Rys. 3. Uproszczony schemat ideowo-blokowy instalacji napięcia pomocniczego wyłącznika DCN

MCK - mikrołącznik przetwornicy ciśnieniowego kondensatora przeciwprądu CK; pozostałe oznaczenia jak na rysunkach 1 i 2

kach słaboprądowych mechaniczne sprzężenie styków ruchomych komór głównej i pomocniczej gwarantowało właściwą kolejność działania. Tak wygodne rozwiązanie ma jednak pewne niedogodności, uwydatniające się szczególnie w wyłącznikach silnoprądowych. Wobec tego zastosowano oddzielne napędy obu styków, uruchamiane w odpowiednich chwilach czasowych ze sterownika MSW. Załącznik przeciwprądu ZP jest wyposażony w samodzielny napęd NIP, zamykający komorę pomocniczą KP jedynie impulsowo, gdyż organ ruchomy załącznika ZP nie ma zamka. Styki komory KP są utrzymywane w stanie otwarcia przez siły sprężyn zwrotnych. Zadziałanie napędu NIP powoduje zamknięcie styków KP jedynie na czas rzędu kilkuset mikrosekund, po czym następuje ich powrót do stanu otwarcia pod wpływem sił sprężyn zwrotnych. Czas trwania zamknięcia jest tak dobrany, aby umożliwić przepływ trzech półokresów przeciwprądu. Na rysunku 4 pokazano oscylogram prądów w obwodzie komutacyjnym dla przypadku zamkniętej komory głównej KG.



Rys. 4. Przebiegi prądów i napięcia w obwodzie przeciwprądu  
CH3 - prąd przeciwprądu 5 kA/dz; CH1 - napięcie na kondensatorze CK 2 kV/dz; CH4 - prąd napędu NIP 1 kA/dz.

Dzięki temu, że obwód przeciwprądu może wygenerować kilka półokresów prądu, wyłącznik jest wyłącznikiem nie spolaryzowanym, czyli ma zdolność wyłączania prądów o dowolnym kierunku jego przepływu. Kolejną istotną zaletą takiej dynamiki pracy załącznika ZP jest rozdzielenie, w końcowej fazie wyłączania, obwodu ogranicznika przepięć ZOPZ i obwodu przeciwprądu z przeładowanym kondensatorem CK. Jest to możliwe, ponieważ po zmaleniu prądu obwodu do wartości prądu ucięcia komory KP, gaśnie łuk elektryczny palący się na jej otwartych stykach. Wówczas przez ogranicznik przepięć ZOPZ rozładowuje się jedynie energia magnetyczna obwodu, zaś energia elektryczna zgromadzona w przeładowanym kondensatorze CK zostanie rozładowana poprzez rezystor RCK po wystereowaniu stycznika SK przez mikroprocesorowy sterownik MSW.

### Sterownik mikroprocesorowy MSW

Ze względu na dużą liczbę sterowanych podzespołów, wyłączniki typu DCN wyposażone są w sterowniki mikroprocesorowe z układami Atmel AT89C8582. Sterowniki mają aluminiową obudowę, a wszystkie sygnały we-wy prowadzone są światłowodami, co radykalnie eliminuje wpływ wewnętrznych i zewnętrznych zakłóceń na pracę wyłącznika. Nigdy nie stwierdzono również wpływu pól magnetycznych na pracę sterownika. Zespół MSW zasilany jest

odseparowanym galwanicznie napięciem po dwustopniowej filtracji i stabilizacji.

Sterownik ma serwisowe gniazdo SVC do współpracy z komputerem oraz światłowodowy port szeregowy DWY-DWE, umożliwiający dzięki opracowanemu oprogramowaniu komunikację z wyłącznikiem w trybie *on-line*, we wszystkich stanach jego pracy.

W celu zagwarantowania współpracy wyłącznika DCN z istniejącymi systemami sterowania w podstacjach, został on wyposażony w interfejs IWW, sprzężony ze sterownikiem MSW torami światłowodowymi.

### Interfejs IWW

Zespół interfejsu umożliwia obustronne przesyłanie sygnałów między zewnętrznym układem sterowania a sterownikiem MSW. Z wyłącznika wysyłany jest sygnał gotowości do załączenia – LSG i sygnał wyłączenia zwarcia przez wyłącznik – LSZ. Oba te sygnały dostępne są w postaci nie spolaryzowanych, przełączalnych zestyków przekaźników R15.

Do interfejsu wyłącznika doprowadzany jest sygnał sterowania – LIO i sygnał kasowania sygnalizacji wyłączenia zwarcia – LKS. Wejścia dla obu sygnałów są nie spolaryzowane, rozdzielone i mają rezystancję 10 K. Przystosowane są do sterowania napięciem pomocniczym 220 V DC z tolerancją zgodną z PN.

Z wyłącznika, poprzez interfejs IWW wyprowadzone są przewody połączone ze stykami pomocniczych łączników migowych MP1 i MP2, umieszczonych w zespole odcinacza OG (rys. 1 i 3). Łączniki te przekazują bezpośrednio do zewnętrznego układu sterowania informację o stanie wyłącznika DCN.

Z czterozłączowych gniazd interfejsu IWW zasilane są wszystkie moduły układu sterowania. Podawane jest do nich napięcie pomocnicze 220 V DC, a w przypadku modułów zawierających przetwornice również napięcie sterujące 24 V DC powodujące ich uruchomienie.

### Badania wyłączników DCN

Badania wyłączników DCN były prowadzone przez laboratorium Instytutu Aparatów Elektrycznych Politechniki Łódzkiej oraz Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa CNTK w zwarciowni sieciowej w Mińsku Mazowieckim.

### Wyłączanie prądów wstecznych

W przypadku wyłączania przez wyłącznik DCN prądu wstecznego, zerowanie prądu w komorze głównej KG członu zestykowego CZ następuje przy drugim półokresie przeciwprądu, gdyż w pierwszym półokresie przeciwprądu i prąd obwodu głównego mają kierunki zgodne. Przebiegi prądów przy wyłączaniu pokazano na rysunku 5, zaś w tzw. lupie czasowej na rysunku 6.

Dla uzyskania lepszej czytelności oscylogramu na rysunku 6 pokazano jedynie dwa przebiegi prądów. Zgodnie z oczekiwaniem widoczny jest pierwszy półokres przeciwprądu o kierunku przepływu zgodnym z kierunkiem prądu obwodu głównego.

### Wyłączanie prądów zwarciovych w cyklu probierczym

Jedną z cięższych prób dla wyłącznika jest próba zdolności łączenia prądów zwarciovych w cyklu probierczym  $0 - t_1 - CO - t_1 - CO - t_2 - CO$ , gdzie:  $t_1 = 15$  s,  $t_2 = 60$  s. Wyłącznik DCN poprawnie przeszedł cykl probierczy w zwarciowni sieciowej CNTK w Mińsku Mazowieckim. Podczas cyklu probierczego obwód

zwarcioowy zasilano poprzez cztery zespoły zasilaczy:  $2 \times PK17$  i  $2 \times PD 1,7$ . Przykładowy oscylogram przebiegu prądu zwarcioowego i napięcia na wyłączniku DCN przy realizacji wyłączenia w cyklu probierczym pokazano na rysunku 7.

### Ocena uzyskanych wyników badań

Z pokazanych przebiegów wynika, że wyłącznik DCN ma dużą zdolność ograniczania prądów zwarcioowych – współczynnik ograniczania prądu bliski 0,2. Stosunkowo duża wartość przepięć, sięgająca maksymalnie poziomu 10 kV, nie stanowi zagrożenia dla izolacji odbiorników, gdyż czas trwania przepięć jest poniżej 2 ms. W analizie podanej w [3] w obwodach trakcyjnej kolejowej o napięciu znamionowym 3 kV dopuszczalne są przepięcia o wartościach: 14 kV w czasie do 1ms; 11 kV w czasie do 2 ms; 7,75 kV w czasie 5 ms oraz 5,075 kV w czasie do 20 ms. Z przytoczonych danych wynika, że maksymalne przepięcia występujące podczas wyłączenia zwarć w warunkach granicznych osiągnęły wartości znacznie poniżej wartości dopuszczalnych. Nieco później – po ok. 40 ms osiągnięta jest wartość 5,075 kV.

### Parametry znamionowe wyłączników DCN

Na podstawie przeprowadzonych badań wynikają następujące parametry wyłącznika DCN.

Napięcie znamionowe izolacji $U_i$	[V_]	3000
Napięcie znamionowe łączeniowe $U_e$	[V_]	3000
Napięcie znamionowe pomocnicze $U_p$	[V_]	220
Prąd znamionowy ciągły $I_n$	[A]	1600; 2500; 3150
Prąd znamionowy wyłączalny $I_{cn}$ przy stałej czasowej $\vartheta: I_{cn}/\vartheta$	[kA/ms]	60/20; 90/30
Największa stromość prądu zwarcioowego $S_i = di/dt$	[A/s]	5
Prąd ograniczony $i_p$ przy $S_i = 2$ A/dz	[A]	$I_{nast} + 3600$
Przepięcie łączeniowe	[kV]	ok. 10
Trwałość łączeniowa	[łączeń]	$\geq 1000$
Trwałość mechaniczna	[cykli]	$\geq 20\ 000$
Czas własny otwierania	[ms]	$\leq 0,5$
Czas wyłączenia przy stromości $S_i = 2$ A/s	[ms]	$\leq 5$
Zakres prądów krytycznych		nie występuje
Strefa ochronna		nie występuje

### Literatura

- [1] Polska Norma PN-EN 50123-2. *Urządzenia stacjonarne. Aparatura łączeniowa prądu stałego. Wyłączniki prądu stałego.*
- [2] Bartosik M., Lasota R., Wójcik F.: *DCV 3/400; 250 Ultraszybkie wyłączniki próżniowe prądu stałego.* Technika Transportu Szynowego 11/1996.
- [3] Rojek A.: *Ograniczanie przepięć w układach zasilania trakcji elektrycznej prądu stałego.* SEMTRAK 2002. Zakopane 2002.

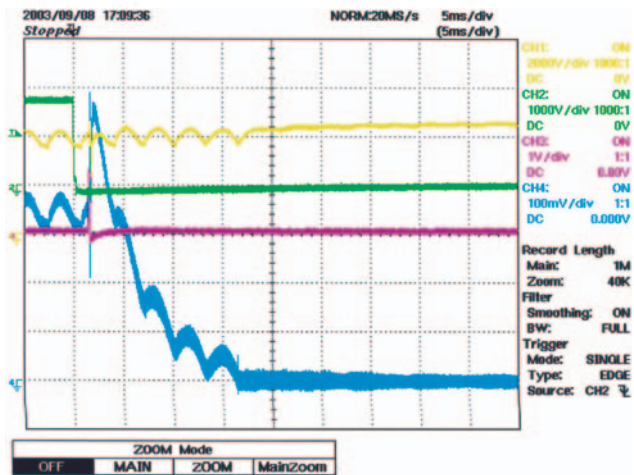
### Autorzy

prof. dr hab. inż. Marek Bartosik

dr inż. Ryszard Lasota

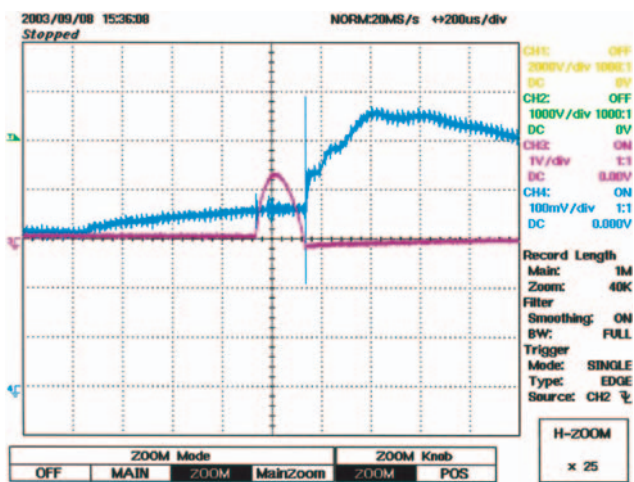
dr inż. Franciszek Wójcik

Inżynier Aparatów Elektrycznych Politechniki Łódzkiej



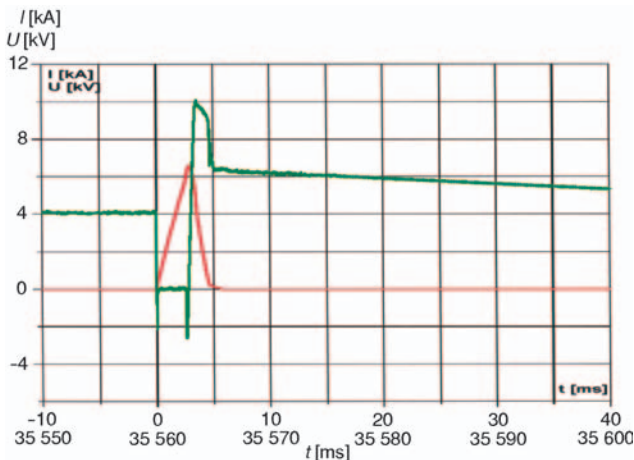
Rys. 5. Przebiegi prądów i napięć przy wyłączeniu prądu wstecznego (wyk. w IAE PL)

CH4 – prąd obwodu głównego 100 A/dz; CH3 – przeciwpąd 10 kA/dz; CH2 – napięcie na kondensatorze CNP 1 kV/dz; CH1 – napięcie zasilające 2 kV/dz



Rys. 6. Przebiegi prądów z rysunku 5. w skali czasowej 25x mniejszej

CH4 – prąd obwodu głównego 100 A/dz; CH3 – przeciwpąd 10 kA/dz



Rys. 7. Oscylogram przebiegu prądu zwarcioowego i napięcia na wyłączniku DCN przy realizacji wyłączenia w cyklu probierczym



Zakład Aparatury Elektrycznej WOLTAN Sp. z o.o.

90-536 Łódź, ul. Gdańska 138

tel. (42) 636 61 62, fax (42) 636 14 03

e-mail: woltan@woltan.com.pl

## Producent nowej generacji ultraszybkich wyłączników próżniowych dla trakcji elektrycznej

Nasza oferta obejmuje pełną gamę wyłączników do wszystkich zastosowań w pojazdach trakcyjnych, tramwajach i podstacjach trakcyjnych systemu prądu stałego:

### ■ trakcja kolejowa

- wyłączniki do zespołów trakcyjnych i lokomotyw małej mocy typu: DCU3/800; 630; 400; 250;
  - wyłączniki do lokomotyw typu: DCN-L3/1,2; 1,6; 2,5;
  - wyłączniki stacyjne dla trakcji 3 kV: DCN3/1,6; 2,5; 3,15;
- są to wyłączniki z komora próżniową, z zasadą działania opartą na wyłączeniu przeciwprądem.

### ■ trakcja miejska

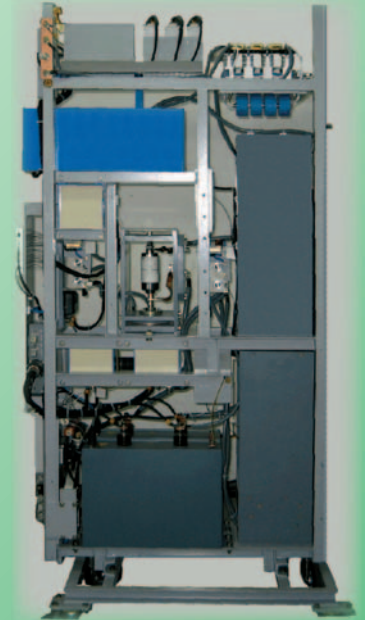
- wyłączniki pojazdowe typu: DCH 0,8/400; 250;
  - wyłączniki stacyjne typu: DCN-T 0,8/1,25; 2,5; 3,15
- są to wyłączniki hybrydowe-próżniowo tranzystorowe
- wyłączniki pojazdowe DCH-S 0,8/400

są to wyłączniki hybrydowe powietrzno-tranzystorowe (hybryda szeregową – tranzystor zarówno łączy prądy, jak również przewodzi).

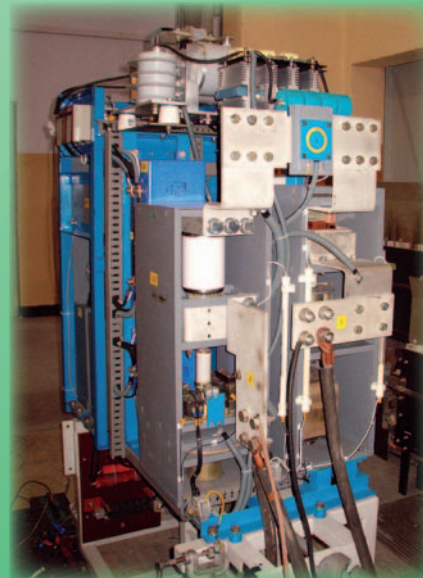
Dla napięć 0,8 kV; 1,5 kV; 3 kV mogą być wyprodukowane wyłączniki na prądy ciągłe od 250 A do 3150 A zgodnie z życzeniem klienta.

Wyłączniki nasze, w porównaniu z dotychczasowymi wyłącznikami mechanicznymi, charakteryzują się:

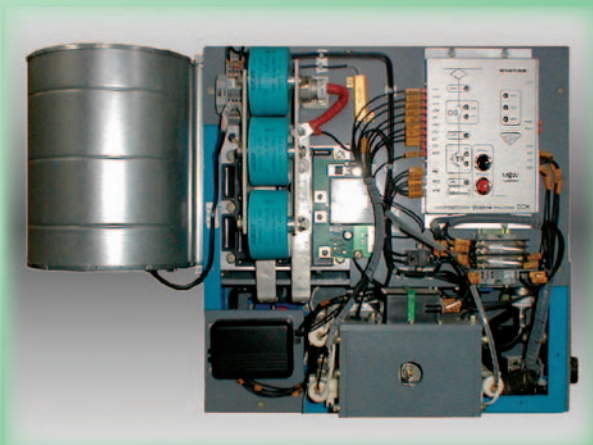
- lepszymi parametrami technicznymi (czasy wyłączenia, współczynniki ograniczania prądu zwarciovego),
- wielokrotnie wyższą trwałością łączeniową,
- minimalnymi nakładami na ich utrzymanie,
- atrakcyjną ceną.



DCN-L



DCN



DCH1