

MATERIAŁY INFORMACYJNE O WYŁĄCZNIKACH DCU-HM

REALIZATORZY PROJEKTU DCU-HM



Politechnika Łódzka
Katedra Aparatów Elektrycznych K21
PL, 90-537 Łódź, Stefanowskiego 18/22
E-mail: k-21@adm.p.lodz.pl
Tel. 4842 6312661

KONSORCJUM W SKŁADZIE

← LIDER

PARTNER →



Zakład Aparatów Elektrycznych
WOLTAN Sp. Z o.o.
PL, 90-536 Łódź, Gdańska 138
E-mail: woltan@woltan.com.pl
Tel: 4842 636 61 22

URZĄD PATENTOWY RP, Patent nr P. 429285, 18.03.2019

FINANSOWANIE PROJEKTU DCU-HM



Fundusze Europejskie
Inteligentny Rozwój



Rzeczpospolita
Polska



Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju

Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego



Projekt nr POIR.04.01.04-00-0061/17-00, akronim DCU-HM. Realizacja: 1.10.2018÷30.09.2021.

CHARAKTERYSTYKA PROJEKTU DCU-HM PROJEKT BADAWCZO-WDROŻENIOWY W LATACH 2018 – 2021.

DCU-HM

ULTRASZYBKIE WYŁĄCZNIKI HYBRYDOWE DCU-HM
DO ZABEZPIECZANIA SYSTEMÓW DC1 I DC2 TRAKCJI KOLEJOWEJ

Materiały informacyjne z podziałem na części P1 – P8

Spis treści:

- P1 – PODSTAWOWY OPIS DCU-HM
- P2 – PRZYKŁADOWE FOTOSY DCU-HM
- P3 – NAGRODY DLA TWÓRCÓW DCU-HM
- P4 – SZCZEGÓŁOWY OPIS DCU-HM
- P5 – KOMORY PRÓŻNIOWE DLA DCU-HM
- P6 – ULTRASZYBKIE NAPĘD KOMORY PRÓŻNIOWEJ W DCU-HM
- P7 – CHARAKTERYSTYKA KONSORCJUM WSPÓŁREALIZUJĄCEGO PROJEKT DCU-HM
- P8 – FOLDER DCU-HM



Część P1

Podstawowy opis DCU-HM



Politechnika Łódzka
Katedra Aparatów Elektrycznych
Lodz University of Technology
Department of Electrical Apparatus

KONSORCJUM
← LEADER PARTNER →
CONSORTIUM



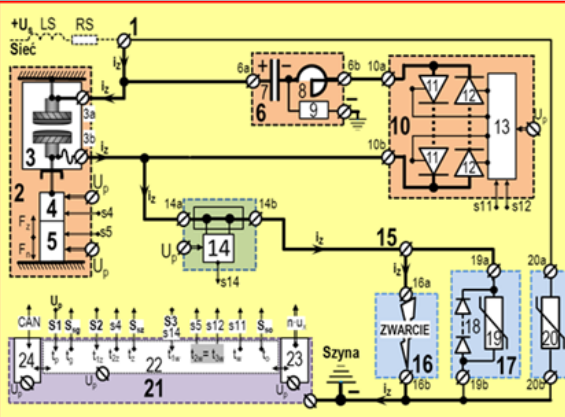
Zakład Aparatów Elektrycznych
WOLTAN Sp. Z o.o.
Electrical Apparatus Factory
WOLTAN Ltd.

DCU-HM

4 kV, 1,6 kA, 60 kA
2 kV, 1,6 kA, 60 kA

ULTRASZYBKE, HYBRYDOWE (PRÓŻNIOWO - TYRYSTOROWE) WYŁĄCZNIKI DLA SYSTEMÓW DC1 I DC2 TRAKCJI KOLEJOWEJ

ULTRA-FAST HYBRID (VACUUM – THYRISTOR) CIRCUIT BREAKERS FOR DC1 (3 kV) AND DC2 (1,5 kV) RAILWAY TRACTION SYSTEM



Rys. 1. Uproszczony schemat DCU-HM. 1 - sieciowy zacisk przyłączowy, 2 - zespół łącznika próżniowego: 3 - komora próżniowa, 4 - zamek elektromagnesowy, 5 - napęd indukcyjno-dynamiczny; 6 - generator przeciwprądu; 7 - kondensator komutacyjny, 8 - dławik komutacyjny, 9 - opornik; 10 - zespół tyristorowy; 11, 12 - gałęzie tyristorów, 13 - sterownik tyristorów; 14 - przekaźnik nadprądowy; 15 - odbiomnikowy zacisk przyłączowy, 16 - odbiorniki pojazdu; 17 - zespół ograniczników przepięć wewnętrznych; 18 - o. diodowy, 19 - o. warystorowy; 20 - warystorowy ogranicznik przepięć zewnętrznych; 21 - zespół sterowania; 22 - interfejs wejście/wyjście, 23 - zasilacz napięć wewnętrznych, 24 - moduł sieci CAN. U_p - sieć napięcia pomocniczego; i_z - prąd główny. S, s - sygnały światłowodowe lub elektryczne; Parametry zastępcze sieci trakcyjnej: LS - indukcyjność, RS - rezystancja.

Fig. 1. DCU-HM simplified diagram. 1 - network terminal, 2 - vacuum switch assembly: 3 - vacuum chamber, 4 - electromagnetic lock, 5 - induction-dynamic drive; 6 - countercurrent generator; 7 - commutation capacitor, 8 - commutation reactor, 9 - resistor; 10 - thyristor assembly; 11, 12 - thyristor branches, 13 - thyristor controller; 14 - overcurrent relay; 15 - receiver terminal, 16 - vehicle receivers; 17 - set of internal surge arresters; 18 - diode s. a., 19 - varistor s. a.; 20 - varistor external surge arrester; 21 - control unit; 22 - input / output interface, 23 - internal voltage supply, 24 - CAN network module. U_p - auxiliary voltage network; i_z - main current. S, s - optical fiber or electric signals (including CAN); Replacement parameters of the overhead contact line: LS - inductance, RS - resistance.

Zasada działania DCU-HM: topologia hybrydy równoległej z komutacją wymuszoną, tj. przy sprowadzeniu do zera prądu stałego w próżni wymuszonego przez impuls prądu o kierunku przeciwnym, uzyskany z dodatkowego źródła, zasilanego z sieci trakcyjnej i załączanego za pomocą tyristorów.

DCU-HM operating principle: parallel hybrid topology with forced commutation, i.e. when the direct current is forced to zero in vacuum by a current pulse of opposite direction, obtained from an additional source, powered from the overhead contact line and connected with thyristors.

FUNKCJE SPECJALNE

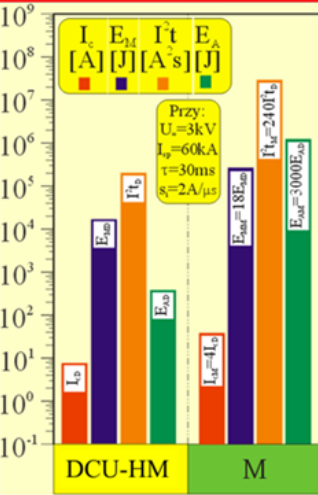
- Obustronne ograniczanie przepięć, dwa poziomy dla DC1 i DC2.
- Zabezpieczanie półprzewodników o prądach $I_{th} \geq 150$ A.
- Komputerowa diagnostyka i regulacja nastaw, pomiary energii, rejestracja, przetwarzanie i archiwizacja danych, podgląd historii zdarzeń, komunikacja z użytkownikami, transmisja światłowodowa.
- Budowa modułowa, adaptowalność do przestrzeni montażowych w elektrowozach, Wersje: dachowa, pokładowej i podpokładowa.

SPECIAL FUNCTIONS

- Double-sided surge suppression, two levels for DC1 and DC2.
- Protection of semiconductors with currents $I_{th} \geq 150$ A.
- Computer diagnostics and adjustment of settings, Energy measurement, recording, processing and archiving of data, preview of event history, communication with users, optical fibre transmission.
- Modular design, adaptability to installation spaces in electric locomotives, roof, on-board and sub-deck versions.

SKUTECZNOŚĆ DCU-HM W PORÓWNANIU Z WYŁĄCZNIKAMI TYPU M
EFFECTIVENESS DCU-HM COMPARED WITH M TYPE CIRCUIT BREAKERS

M – wyłączniki magnetowidmowe; M – magnetic blow-out circuit breakers



◀ Porównanie skutków wyłączania zwarcia przez wyłączniki DCU-HM i M. I_c - prąd ograniczony, E_M - maksymalna energia magnetyczna obwodu zwarcia, I^2t - całka Joule'a, E_A - energia łuku w wyłączniku; indeksy: $_D$ - dla DCU-HM, $_M$ - dla wyłącznika M.

◀ Comparison of the effects of short-circuit breaking by DCU-HM and M circuit breakers. I_c - limited current, E_M - maximum magnetic energy of the short circuit, I^2t - Joule integral, E_A - arc energy in the circuit breaker; indexes: $_D$ - for DCU-HM, $_M$ - for M circuit breaker.

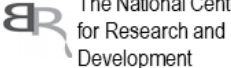
$\frac{E_{MD}}{E_{AM}} \leq 0.05$
 $\frac{I^2t_D}{I^2t_M} \leq 0.004$
 $\frac{E_{AD}}{E_{AM}} \leq 0.0003$

$\frac{t_{bD}}{t_{bM}} \leq 0.1$
 $\frac{I_{cD}}{I_{cM}} \leq 0.25$
 $\frac{C_D}{C_M} \leq 0.25$

Wyłączanie zwarc przez DCU-HM i M. Disabling short circuits via DCU-HM and M.
Jeden DCU-HM jest eksploatacyjnym równoważnikiem ok. 100 wyłączników M.
One DCU-HM is the operational equivalent of approx. 100 M circuit breakers.
Zamiast ok. 100 wyłączników M, wystarczy kupić 1 DCU-HM.
Instead of approx. 100 M circuit breakers, you only need to buy 1 DCU-HM.



Republic of Poland



The National Centre for Research and Development



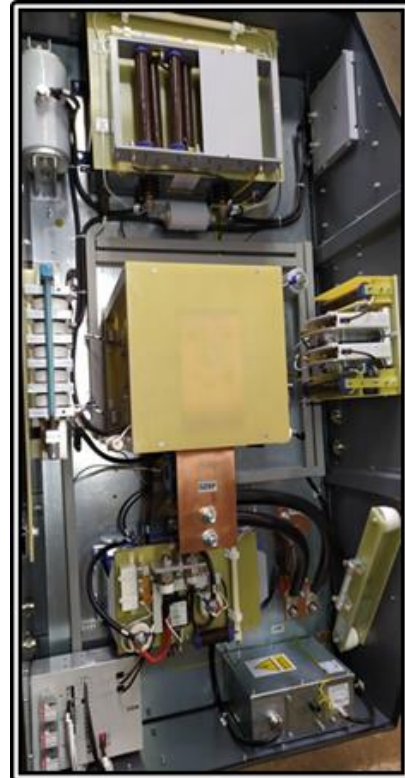
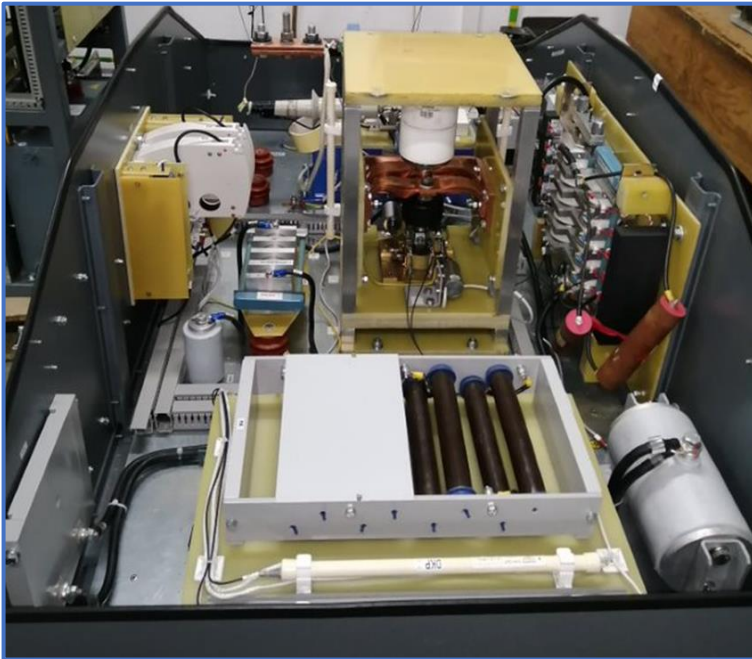
European Funds Smart Growth

Project No POIR.04 01 04-00-0061/17-00. Patent P 429285, 2019

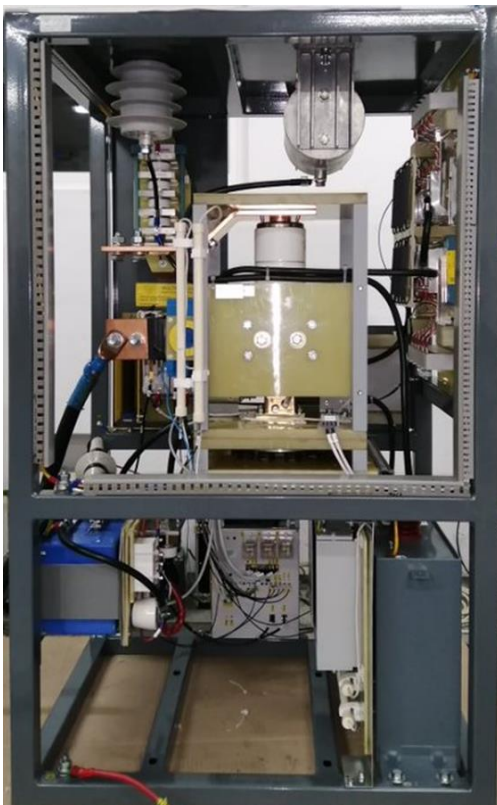
Część P2

PRZYKŁADOWE FOTOSY DCU-HM

▼ Wyłącznik DCU-HM 3/1,6 w wersji dachowej. ►



Widok panoramiczny z przodu skrzyni ▲ oraz z góry ►



Wyłącznik DCU-HM 3/1,6 w wersji pokładowej. VCS – ultraszybki łącznik próżniowy.

Część P3

ZESTAWIENIE NAGRÓD UZYSKANYCH PRZEZ ZESPÓŁ TWÓRCÓW DCU-HM

XIII MIĘDZYNARODOWE TARGI WYNALEZKÓW I INNOWACJI INTARG 2020 ONLINE GRAND PRIX INTARG® 2020,



PLATYNOWY MEDAL INTARG® 2020



TYTUŁ "LIDER INNOWACJI® 2020" w kategorii "Produkt".



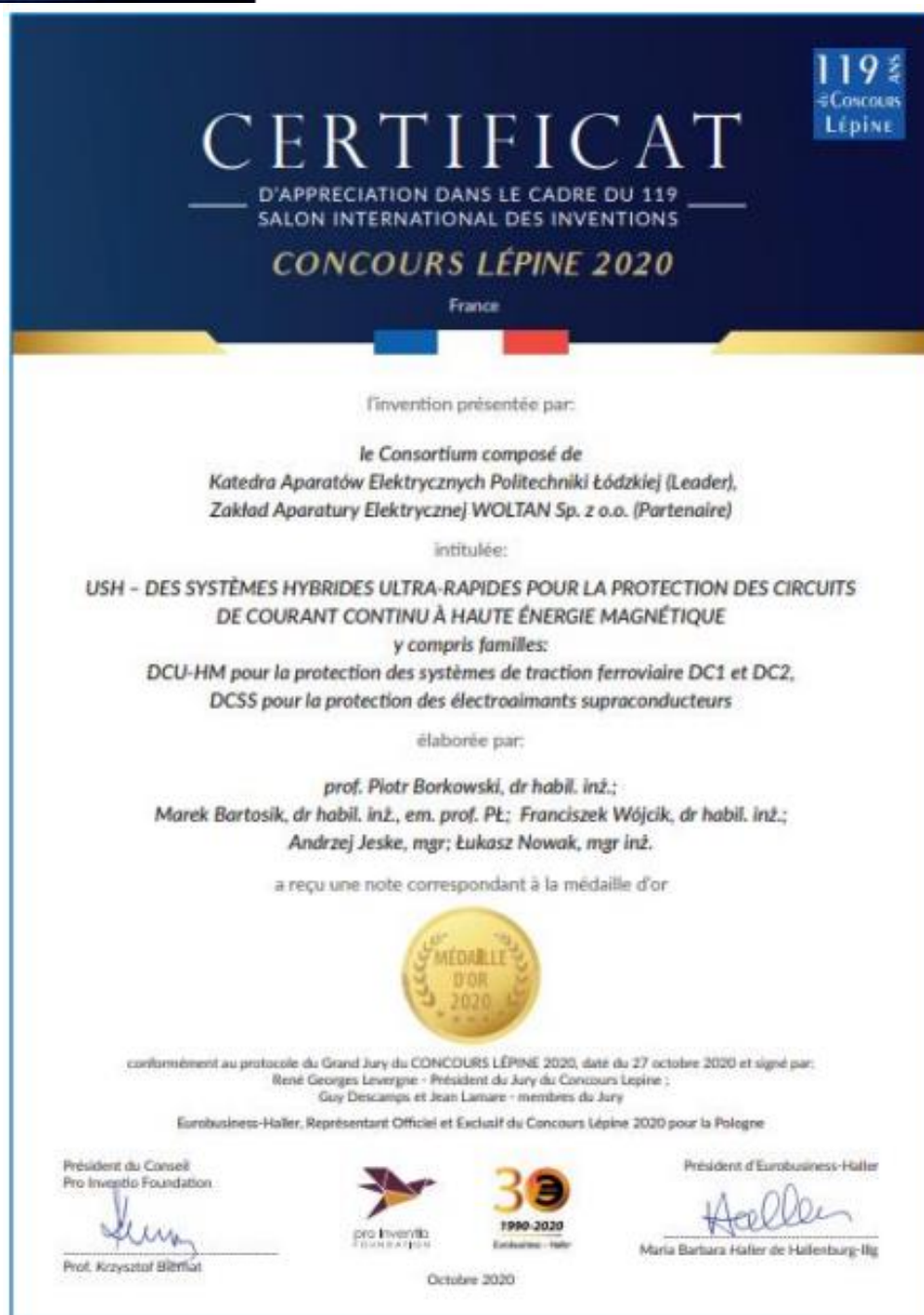
8. PODWÓJNE WYRÓŻNIENIE MINISTRA FUNDUSZY I POLITYKI REGIONALNEJ RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ.



119 MIĘDZYNARODOWY SALON WYNALEZCZOŚCI
CONCOURS LÉPINE, PARYŻ, 2020.



ZŁOTY MEDAL 2020.



MIĘDZYNARODOWY SALON NR 11 INNOVATION WEEK 2020 ONLINE
Pod Honorowym Patronatem Międzynarodowej Federacji Stowarzyszeń Wynalazców IFIA
GRAND PRIZE IWA 2020.



ZŁOTY MEDAL Z WYRÓŻNIENIEM, IWA 2020



DWIE NAGRODY INDYWIDUALNE "MASTER OF INNOVATION" (P. Borkowski; M. Bartosik)





Ministerstwo
Edukacji i Nauki

DYPLOM

za wysokiej rangi nagrody uzyskane w związku z prezentacją wynalazków
na Międzynarodowych Targach Wynalazczości w 2020 roku

otrzymuje

**Konsorcjum Katedry Aparatów Elektrycznych
Politechniki Łódzkiej (Lider)
oraz ZAE WOLTAN (Partner)**

za projekt pod nazwą

*USH ultraszybkie systemy hybrydowe do zabezpieczania obwodów
prądu stałego o dużych energiach magnetycznych*

14. Międzynarodowe Targi Wynalazków i Innowacji INTARG® 2021

Przemysław Czarnek
Minister Edukacji i Nauki
Warszawa, czerwiec 2021 r.

Dyplom

WYRÓŻNIENIE SITK RP

im. prof. Czesława Jaworskiego

kategoria: INFRASTRUKTURA

dla firmy

**Z.A.E. „Woltan”
i Politechnika Łódzka
Katedra Aparatów Elektrycznych**

za ultraszybki wyłącznik hybrydowy DCU-HM

14. Międzynarodowe Targi Kolejowe

TRAKO 2021

Andrzej Bojanowski


Przes Zarządu
Międzynarodowe Targi Gdańskie SA



Jan Boryczka


Przewodniczący Kapituły
Konkursowej

prof. Janusz Dyduch


Prezes Stowarzyszenia Inżynierów
i Techników Komunikacji RP



Gdańsk, 21.09.2021

Część P4

SZCZEGÓŁOWY OPIS DCU-HM



ULTRASZYBKIE WYŁĄCZNIKI HYBRYDOWE DCU-HM DO ZABEZPIECZANIA SYSTEMÓW DC1 I DC2 TRAKCJI KOLEJOWEJ

1. INFORMACJE I UWAGI WSTĘPNE

Technologia ultraszybkiego wyłączania DC zaczęła być rozwijana po 1930 r. (ASEA, Szwecja), w zakresie wysokich napięciach stałych (HVDC), stosowanych w systemach przesyłania wielkiej mocy na duże odległości lub liniach sprężgowych systemów AC. Stosowane wówczas rodzaje wyłączników DC oceniano jako zbyt mało skuteczne. Były to zazwyczaj wyłączniki o dostatecznie dużych zdolnościach wyłączalnych, ale o długich czasach wyłączania i współczynnikach ograniczania prądu¹ $C_o \approx 1$. Skuteczne ograniczanie szkodliwych skutków prądów zwarciovych wymaga skutecznego ograniczania tych prądów, tj. wyłączników możliwie szybkich o jak najmniejszych wartościach C_o . Podobne potrzeby występują w zakresie średnich napięć stałych (MVDC) wykorzystywanych w systemach elektrycznej trakcji kolejowej DC1 (3 kV) i DC2 (1,5 kV) oraz w niektórych urządzeniach napędowych albo elektrotermicznych, a także przy niskich napięciach stałych (LVDC, do 1250 V=) stosowanych we wszelkich rodzajach elektrycznej trakcji miejskiej lub górniczej oraz licznych układach przemysłowych (przekształtnikowych, napędowych, etc.).

Do zabezpieczania układów MVDC i LVDC zazwyczaj stosowane są wyłączniki magnetowydmuchowe M WPS o łuku gaszonym w powietrzu atmosferycznym, znane od ponad 120 lat, doskonalone przez wiele 10-leci.

Wyłączanie prądów zwarciovych przez M WPS następuje wskutek wzrostu rezystancji łuku R_l w ceramicznej komorze gaszeniowej, pochłaniającej energię źródła zasilania i energię magnetyczną obwodu. Gdy po rozpoczęciu wyłączania zwarcia rezystancja łuku wzrośnie dostatecznie, by dla każdej następnej chwili t był spełniony warunek: $R_l > U_z / i(t) - R_z$, gdzie U_z jest napięciem zasilającym, $i(t)$ przebiegiem prądu, R_z rezystancją zwarciovą, to pochodna prądu di/dt będzie zawsze ujemna aż do dojścia prądu do zera.

MWPS osiągnęły szczyt możliwości technicznych wynikających z zasady ich działania, także w zastosowaniach kolejowych. Poszukiwania nowych, znacznie szybszych od M WPS rozwiązań technicznych wyłączników prądu stałego są wymuszane przez wzrastające potrzeby transportu kolejowego w systemach DC1 i DC2, a zwłaszcza:

- tendencję do wzrostu przyspieszeń i prędkości taboru, a więc i mocy pojazdów silnikowych,
- tendencję do wzrostu mocy podstawy zasilających i stosowania układów wzmacniania sieci dla ograniczania spadków napięć,
- tendencję do wzrostu, po stronie prądu przemiennego, napięć zasilania podstawy trakcyjnych,
- tendencję do zwiększenia mocy zwarciovych i stromości wzrostu prądów zwarciovych po stronie prądu stałego, będącą skutkiem trzech ww. czynników,
- tendencję do wprowadzania układów półprzewodnikowych w napędach trakcyjnych dla m.in. rozruchu i hamowania impulsowego oraz rekuperacji energii,
- tendencję do wprowadzania napędów przekształtnikowych z silnikami prądu przemiennego, zasilanych z sieci prądu stałego,
- tendencję do wprowadzania zasobnikowych systemów zasilania w trakcji kolejowej.

Wymagania te w coraz mniejszym stopniu mogą być spełniane przez MWPS, mające zbyt małą szybkość wyłączania zwarć i zbyt duże wartości całki Joule'a (I^2t), zwłaszcza dla skutecznego zabezpieczania układów półprzewodnikowych. Jest to jedna z barier rozwojowych dla trakcji kolejowej.

Z tych względów w dekadzie lat 1990 ÷ 2000 zrealizowano wielostronny program badawczo-wdrożeniowy nad ultraszybkimi metodami wyłączania zwarciovych prądów stałych. Uwarunkowania rynkowe w Polsce umożliwiły dotychczas skuteczne wprowadzenie na polski rynek kolejowy (w systemie DC1) wyłączników próżniowych DC dwóch kategorii: głównie DCU (dla EZT) i w mniejszym zakresie DCL (dla lokomotyw). Obecnie reprezentują one poziom sprzed ok. 20 lat. Częściowo są zdezaktualizowane wskutek szybkiego postępu technicznego w kolejnictwie oraz pojawienia się nowych potrzeb i wymagań. Nowa rodzina ultraszybkich wyłączników hybrydowych prądu stałego DCU-HM jest efektem głębokiego retrofitu² tych wyłączników. DCU-HM są przeznaczone dla pojazdów trakcji kolejowej użytkowanych w obu systemach DC1 i DC2, a nadto w innych systemach DC NN.

Mają zoptymalizowaną zasadę działania i nową topologię układu wyłączającego oraz zwiększoną konkurencyjność rynkową. Wzięto pod uwagę najnowsze warunki i kryteria techniczne oraz ekonomiczne.

2. BUDOWA I DZIAŁANIE WYŁĄCZNIKA DCU-HM v.1

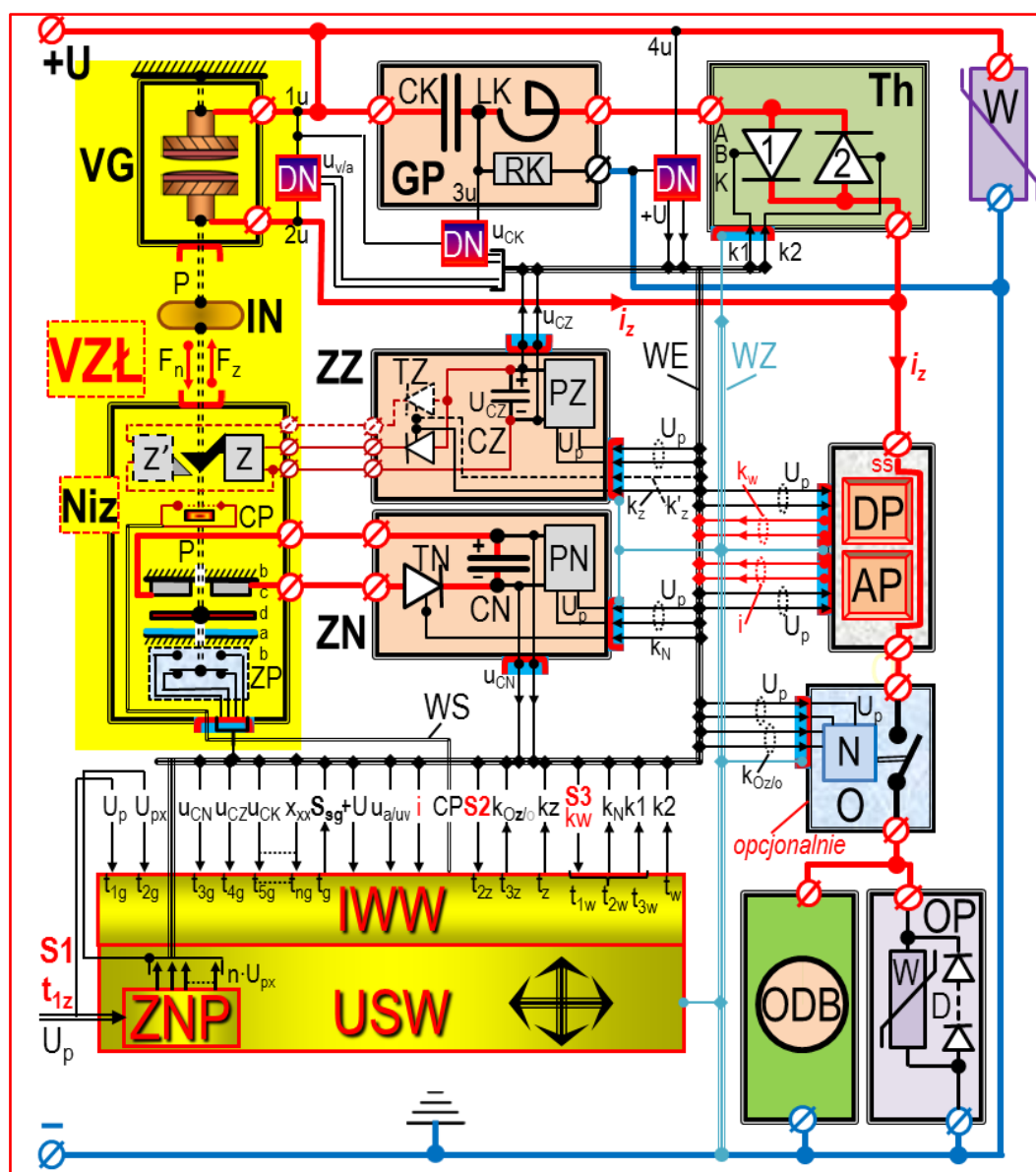
Spośród możliwych typów układów wyłączających DC, w pracach nad rodziną DCU-HM uwzględniono tylko te zasady działania i topologie, których przydatność do celów praktycznych w trakcji kolejowej została zweryfikowana eksperymentalnie co najmniej w skali laboratoryjnej, ew.

¹ Współczynnik ograniczania prądu $C_o = i_o / I_u$, gdzie i_o – prąd ograniczony, I_u – spodziewany prąd zwarciov ustalony.

² Retrofit – generalna modernizacja dla nowej jakości technicznej, eksploatacyjnej i konkurencyjności rynkowej, (wprowadzająca hybrydyzację, modularyzację, funkcje specjalne i adaptowalność wyłączników do nowych wymagań użytkowników krajowych i zagranicznych).

jednostkowej, lub przemysłowej. Wyłączanie DC metodą komutacji naturalnej (wersja v.2) jest przydatne tylko w zakresie napięć niskich. Wyłączanie DC metodą komutacji wymuszonej (wersja v.1), tj. wyłączanie przeciwprądem WPP, jest bezpośrednio przydatne w całym zakresie napięć trakcyjnych (patrz załącznik 1).

Uproszczony schemat ideowo-blokowy wyłącznika DCU-HM v.1 pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Główny schemat ideowo- blokowy nowego wyłącznika DCU-HM v.1 ilustrujący podstawowe zasady budowy i działania. **VZŁ** – próżniowy zespół łączeniowy: **VG** – główna komora próżniowa, **P** – prostowód napędowy; **IN** – izolator napędowy; **Niz** – napęd indukcyjno-dynamiczny zamkowy (b – baza, c – cewka, d – dysk, a – amortyzator); F_z – siła zwrotna, F_n – siła napędowa; **Z** – zamek (główny; alternatywnie drugi zamek pomocniczy/przechwytyjący Z'); **CP** – optyczny czujnik położenia **VZŁ**, **ZP** – łącznik pomocniczy, **WS** – wiązka światłowodów przewodząca sygnały położenia zestyków; **ZN** – zasilacz napędu: **CN** – kondensator napędu, **TN** – tyrystor napędu, **PN** – przetwornica napędu; **ZZ** – zasilacz zamka/ów: **PZ** – przetwornica zamka, **CZ** – kondensator zamka, **TZ** – tyrystor/ły zamka/ów; **GP** – generator przeciwprądu: **CK** – kondensator komutacyjny, **LK** – dławik komutacyjny, **RK** – opornik komutacyjny; **Th** – moduł tyrystorów głównych **1 i 2**: **A** – anoda, **B** – bramka, **K** – katoda; **DP/AP** – przełącznik nadprądowy: **ss** – szyna specjalna, **DP** – dyskryminator prądu, **AP** – analizator prądu z przetwornikiem analogowo-cyfrowym **ADC**. **O** – odcinacz izolacyjny (opcjonalnie): **N** – napęd odcinacza; **Ograniczniki przepięć**: zewnętrznych **W** (warystor tlenkowy) oraz wewnętrznych **OP** (**W** jw. oraz **D** – diody zwrotne); **ODB** – odbiorniki w pojeździe trakcyjnym; **DN** – dzielniki napięcia. „+” i „-” – zaciski przyłączeniowe główne. Zacisk „-” skutecznie uziemiony (szyna). **USW** – sterownik centralny wyłącznika: **IWW** – interfejs wejście – wyjście, **ZNP** – zasilacz napięć pomocniczych, **Napięcia**: $+U$ – n. sieci, U_p – n. pomocnicze; $n \cdot U_{px}$ – n. pomocnicze wyłącznika (wewnętrzne, wg potrzeb), u_v – n. za komorą próżniową (u_a – n. łuku); napięcia na kondensatorach: u_{CK} – n. na **CK**, u_{CN} – n. na **CN**, u_{CZ} – na **CZ**; $1u$, $2u$, $3u$, $4u$, – punkty pomiarów napięć za pomocą dzielników **DN**; i_z – prąd główny (zwarciaowy), i – sygnał pomiarowy prądu z **AP**. **Sygnały sterujące**: ► zewnętrzne (ssz.) (elektryczne, wejściowe): **S1** – ssz. załączenia napięcia U_p i autostartu wyłącznika, **S2** – ssz. załączenia wyłącznika, **S3** – ssz. wyłączenia wyłącznika; ► wewnętrzne (ssw.): k_z (lub też k'_z) – ssw. załączenia **TN** i otwarcia **Z** (tj. zamknięcia **VG**), k_w – ssw. wyłączenia wyłącznika (wejściowy z **DP/AP**, jak **S3**); k_N – ssw. załączenia **TN** i zadziałania **Niz** (tj. otwarcia **VG**), k_1 – ssw. załączenia gałęzi **Th1** i zmiany polaryzacji u_{CK} , k_2 – ssw. załączenia gałęzi **Th2** i wyłączenia przeciwprądem; x_{xx} – łącza rezerwowe (w miarę potrzeb); **Ssg** – sygnał informacyjny stanu gotowości (inne sygnały informacyjne pominięto). $k_{Oz/o}$ – ssw. zamknięcia (k_{Oz}) lub otwarcia (k_{Oo}) odcinacza **O** (jeśli jest stosowany). **Wybrane chwile cyklu łączeniowego**: t_{1z} , t_{2z} , t_{3z} , t_z – ch. sekwencji łączeniowej (s.z.), w tym $t_{1g} \div t_{ng}$, t_g – ch. jej części przygotowawczej; t_{1w} , t_{2w} , t_{3w} , t_w – ch. sekwencji wyłączeniowej (s.w.). Wiazki sterujące: **WE** – elektryczna, **WZ** – światłowodowa.

W wyłącznikach dla systemów DC1 i DC2, tj. dla zakresu napięć średnich MVDC, stosowany jest **hybrydowy układ wyłączający** DCU-HM v. 1 o topologii wg rys. 1. Spośród alternatywnych wersji GP oraz ZN najbardziej racjonalna jest wersja o zasilaniu mieszanym: GP ładowany jest z sieci trakcyjnej, a ZN ładowany jest z przetwornicy, zasilanej dowolnym napięciem pomocniczym $24 \div 110$ V, używanym w pojazdach trakcyjnych.

Hybrydyzacji układu wyłączającego, tj. zastąpienie układu próżniowego przez układ próżniowo-tyrystorowy ładowany bezpośrednio z sieci trakcyjnej, jest główną zmianą w zakresie retrofitu. Nadto obejmuje on niżej podane nowe zasady budowy i działania głównych zespołów DCU-HM v.1.

► **Modularyzacja i standaryzacja wybranych podzespołów silnoprządowych:**

- budowa modułowa wszystkich zespołów (adaptowalność do dowolnej przestrzeni montażowej),
- optymalizacja próżniowego zespołu łączeniowego dla minimalizacji czasu otwierania, w tym:
 - wariantowy dobór komór próżniowych VG dla dwóch wielkości bazowych DCU-HM v.1,
 - zmiany adaptacyjne napędu (wariantowo, dla VG jw.),
- standaryzacja zespołów silnoprządowych dla wszystkich wielkości prądowych i napięciowych:
 - jednakowy poziom izolacji głównej; wariant: dwa poziomy dla systemów DC1 lub DC2,
 - jednakowy przekrój elementów głównego toru prądowego,
 - ujednolicone: zaciski przyłączowe i złącza sterujące elektryczne i światłowodowe.

► **Nowy układ sterujący, realizujący nową zintegrowaną sekwencję łączeniową i nowe funkcje specjalne (p. 3).**

► **Adaptowalność DCU-HM v.1 do nowych wymagań użytkowników krajowych i zagranicznych:**

- identyfikacja warunków zainstalowania w różnych typach pojazdów nowych lub remontowanych, w tym, odpowiednio, wersje dachowa, pokładowa albo podpokładowa, dla:
 - elektrycznych zespołów trakcyjnych **EZT**,
 - pociągów zespołowych **PZ** (w tym pojazdy dwugłowicowe dla KDP)
 - elektrowozów **EW** (głównie lokomotyw).

W systemach **DC1 (3 kV)** i **DC2 (1,5 kV)** trakcji kolejowej eksploatowane są wszystkie podstawowe kategorie pojazdów trakcyjnych: elektryczne zespoły trakcyjne **EZT**, pociągi zespołowe **PZ** (w tym pojazdy dwugłowicowe dla kolei dużych prędkości **KDP**) i inne elektrowozy **EW** (głównie lokomotywy).

Wyłączniki DCU-HM w wykonaniu standardowym są przeznaczone do pracy w typowym zakresie mocy tych pojazdów, do ok. 5 MW w systemie DC1 oraz do ok. 2,5 MW w systemie DC2. Odpowiada to znamionowym prądom ciągłym do 1,6 kA. Wyłączniki dla lokomotyw dużej mocy, do ~12 MW, a także wyłączniki podstawcyjne, muszą mieć prądy znamionowe do 4 kA, co wymaga zastosowania innych komór próżniowych. Rodzina DCU-HM v.1 będzie więc miała **dwie konstrukcyjne wielkości bazowe**:

- dla PZ, EZT oraz EW o mocy do 5 MW: **3 kV / 1,6 kA**, przy szeregu prądów $I_{th} = 0,8; 1,25; 1,6$ kA,
- dla lokomotyw dużej mocy (ponad 5 MW): **3 kV / 4 kA**, przy szeregu prądów $I_{th} = 2,5; 3,15; 4$ kA.

Przy wyżej podanych zasadach standaryzacji, obie wielkości bazowe będą znamionowane stosownie do potrzeb i wymagań użytkowników, w tym także dla systemu DC2.

Najtrudniejsze warunki zwarcia w polskim systemie DC1 występują na liniach wielotorowych przy dwustronnym zasilaniu odcinka z kabiną sekcijną, gdy 4 zasilacze podstawcyjne pracują równolegle na zwarcie. Wówczas spodziewany ustalony prąd zwarcia $I_{spu} \approx 40$ kA przy stałej czasowej obwodu $\tau \approx 20$ ms, a początkowa stromość jego wzrostu nie przekracza $s_i \leq 2$ A/ μ s.

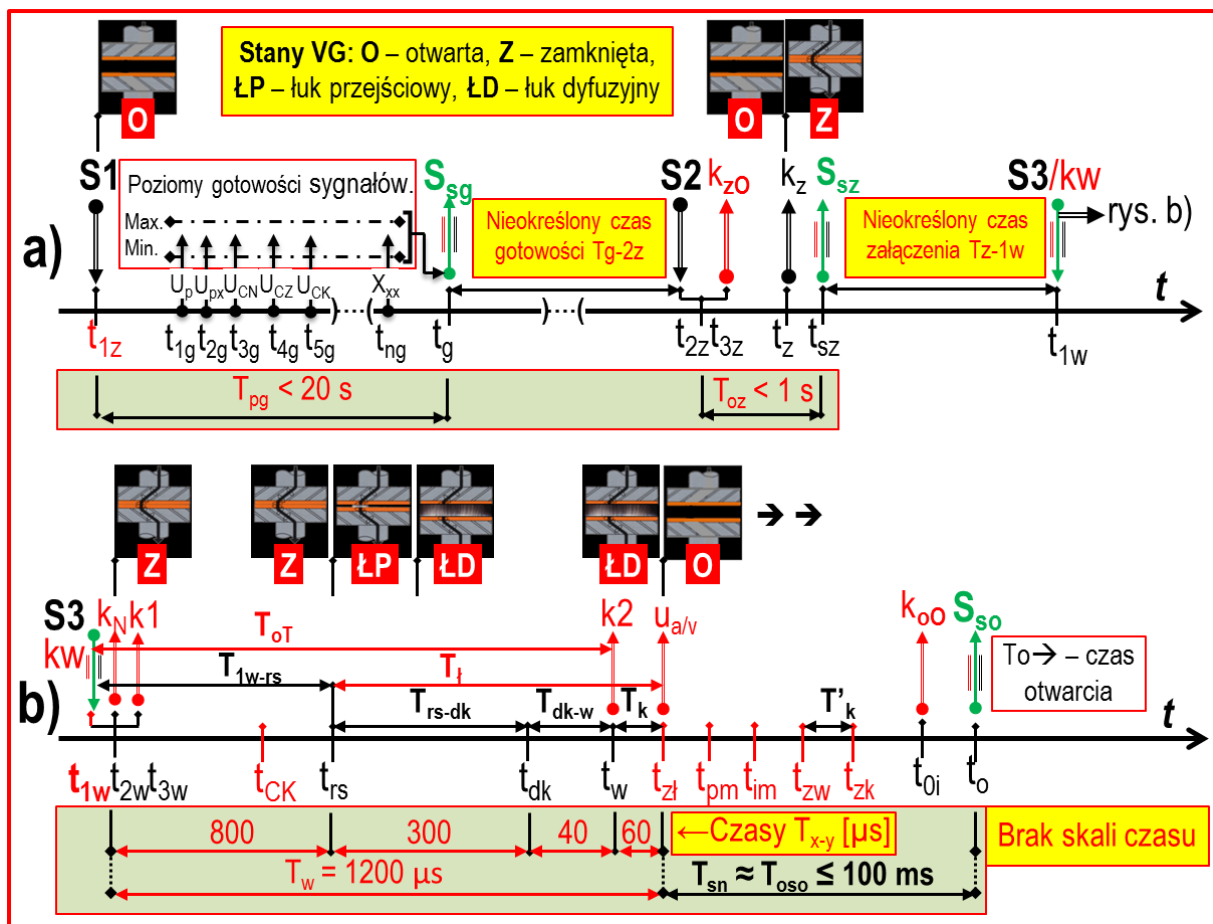
Wartość prądu ograniczonego i_o przy danej s_i zależy od **szybkości działania** wyłącznika, w tym od:

- wartości prądu nastawczego i_n zabezpieczenia nadprądowego,
- czasu własnego zadziałania zabezpieczenia nadprądowego,
- czasu własnego otwierania t_o ,
- czasu sprowadzenia do zera prądu zwarciaowego.

Miarą tej szybkości jest czas wyłączania t_w , liczony od chwili zadziałania wyzwalacza do chwili dojścia do zera prądu zwarciaowego w komorze VG. Minimalizacja czasu t_o przy wyłączaniu zwań zależy od parametrów komór próżniowych VG. Kryteria doboru VG dla DCU-HM v.1 są opisane w załączniku 3. Zalecane jest stosowanie komór VG z osiowym polem magnetycznym, produkowanych przemysłowo dla wyłączników AC.

Cykl łączeniowy **Z-W** wyłącznika DCU-HM v.1 jest konsekwencją powyższych założeń. W ujęciu syntetycznym cykl ten można zobrazować za pomocą zunifikowanej sekwencji łączeniowej, złożonej z trzech części: sekwencji załączeniowej (dwuczęściowej, w tym część przygotowawcza i załączeniowa) oraz ultraszybkiej sekwencji wyłączeniowej.

Cykl łączeniowy **Z-W** wyłącznika DCU-HM v.1 pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Cykl łączeniowy wyłącznika DCU-HM (v.1). **Rys. a)** Dwuczęściowa sekwencja załączeniowa, w tym część przygotowawcza ($t_{1z} - t_g$) oraz załączeniowa ($t_{2z} - t_{sz}$). **b)** Ultraszybka sekwencja wyłączeniowa ($t_{1w} - t_o$). **Sygnaly sterujące:** S1, S2, S3, S_{sg} , oraz ssw.: k_z , k'_z , $k_{oz/o}$, k_w , k_N , k_1 , k_2 , X_{xx} – jak na rys. 1. **Sygnaly informacyjne:** S_{sg} – s. stanu gotowości; S_{sz} – s. stanu załączenia, S_{so} – s. stanu otwarcia. **Charakterystyczne chwile zunifikowanej sekwencji łączeniowej:** **rys. a)** sekwencja załączeniowa – część przygotowawcza, **chwile i czasy:** t_{1z} – ch. załączenia napięcia pomocniczego U_p (sygnał S1); $t_{1g} \div t_{ng}$ – ch. osiągnięcia zadanych wartości w przedziałach Max. – Min. przez monitorowane napięcia (odpowiednio) U_p , U_{px} , U_{CN} , U_{CZ} , U_{CK} , ... oraz X_{xx} (łącza nadmiarowe wg potrzeb); t_g – ch. wysłania sygnału gotowości S_{sg} i zakończenia części przygotowawczej, T_{pg} – czas przygotowawczy; t_{2z} , t_{3z} – ch. podania zewnętrznego sygnału S2 inicjującego część załączeniową, oraz bezwłocznego wysłania ssw. k_{zo} zamykającego odcinacz O (jeśli jest stosowany), T_{oz} – czas opóźnienia załączenia VZŁ, t_z – ch. wysłania ssw. k_z powodującego otwarcie zamka Z i zamknięcie komory VG, kończące część oraz sekwencję załączeniową, t_{sz} – ch. wysłania zewnętrznego sygnału S_{sz} . **Rys. b)** Ultraszybka sekwencja wyłączeniowa, **chwile i czasy:** t_{1w} , t_{2w} , t_{3w} – ch. podania do USW zewnętrznego sygnału S3 (lub ssw. k_w) inicjującego sekwencję wyłączeniową oraz bezwłocznego wysłania ssw. k_N i k_1 , t_{ck} – ch. zmiany polaryzacji napięcia u_{CK} , t_{rs} – ch. rozejścia się styków VG i zapłonu łuku, t_{dk} – ch. osiągnięcia odległości krytycznej styków, t_w – ch. podania ssw. k_2 , t_{zl} – ch. zgaszenia łuku, t_{pm} – ch. maksimum przeciwprądu ($-i_{pm}$, rys. 3), t_{im} – ch. maksimum prądu głównego, t_{ZW} – ch. zadziałania warystora W, t_{zk} – ch. zakończenia komutacji między CK i W, t_{0i} – ch. dojścia do zera prądu głównego, t_o – ch. wysłania sygnału S_{so} kończącego sekwencję wyłączeniową. **Czasy:** T_{1w-rs} – czas własny otwierania VZŁ, T_i – cz. łukowy, T_{rs-dk} – cz. uzyskania odległości krytycznej styków, T_{dk-w} – rezerwa cz. (zapas bezpieczeństwa, opóźnienie k_2), T_{oT} – cz. opóźnienia k_2 ; T_k , T'_k – cz. komutacji, $T_w = T_{1w-zl}$ – czas wyłączania, T_{sn} – czas stanu nieustalonego ($\approx T_{oso}$ – cz. opóźnienia sygnału S_{so}). Strzałki linią podwójną czerwone – sygnały świetlne; czarne – sygnały elektryczne; strzałki linią pojedynczą zielone – sygnały świetlne lub elektryczne (wg potrzeb). Wybrane chwile i czasy sekwencji wyłączeniowej są pokazane na rys. 3. Podane wartości czasów dotyczą DCU-HM 3 kV / 1,6 kA, dla 3 kV / 4 kA są nieco większe.

Część przygotowawcza obejmuje okres od załączenia napięcia pomocniczego (sygnał S1) do osiągnięcia stanu gotowości. W tym czasie następuje autouruchomienie i autodiagnostyka wszystkich zespołów wyłącznika oraz osiągnięcie zadanych wartości wszystkich monitorowanych parametrów, a także ustawienie wyłącznika w stanie otwarcia komory VG oraz gotowości do załączenia. Po dowolnym czasie zewnętrzny sygnał sterujący S2 uruchamia część załączeniową, powodując kolejno otwarcie zamka Z napędu N_{iz} , oraz zamknięcie komory VG, tj. załączenie obwodu i zasilanie odbiorników pojazdu napięciem +U. Wyłącznik pozostaje w tym stanie chroniąc odbiorniki pojazdu. Ultraszybka sekwencja wyłączeniową uruchamia zewnętrzny sygnał sterujący S3 w warunkach roboczych, albo wewnętrzny sygnał k_w z zabezpieczenia nadprądowego DP/AP przy zwarcu lub przeciążeniu, powodując kolejno zadziałanie napędu N_{iz} , otwarcie komory VG, załączenie (kolejno) tyrystorów Th1 i Th2 (tj. uruchomienie generatora przeciwprądu GP), sprowadzenie do zera prądu w komorze VG za pomocą przeciwprądu i zgaszenie łuku. Generowane wówczas przebiegi łączeniowe są ograniczane przez warystorowe ograniczniki W, z udziałem diod rewersyjnych D. Przekątnik nadprądowy DP/AP w warunkach przeciążeniowych działa po przekroczeniu zadanej wartości progowej całki Joule'a, obliczanej na podstawie mierzonych i analizowanego przebiegu prądu, tj. pracuje jako typowy termiczny wyzwalacz nadprądowy. Sygnał taki może również pochodzić z zewnętrznych zabezpieczeń (przekątników) nadprądowych. W warunkach zwarciovych przekątnik DP/AP pracuje jako bezwłocznym wyzwalacz reagujący na przekroczenie prądu nastawczego. W każdym przypadku ultraszybka sekwencja wyłączeniowa do chwili zgaszenia łuku ma taki sam przebieg.

wytrzymałość elektryczną, co kończy proces ultraszybkiego wyłączenia prądu i_z . Wówczas następuje naturalny, samoistnie zanikający stan nieustalony zależny od parametrów obwodu. VG staje się przerwą izolacyjną, co skutkuje zmianą konfiguracji obwodu. Dalszy proces wyładowczy CK zachodzi w szeregowo połączonym obwodzie zamkniętym: „+” – CK – LK – Th2 – DP/AP – O – ODB (zwarte) – zacisk „-” – sieć o parametrach zastępczych LS i RS (*widzianych z zacisków wyłącznika*) – zacisk „+”. Ponieważ LS i RS zależą od parametrów zasilaczy w podstawicy trakcyjnej oraz parametrów jednostkowych sieci trakcyjnej i in., mogą mieć różne wartości, zmieniające się w zależności od miejsca pojazdu na odcinku trakcyjnym podczas zwarcia. Suma energii pozostałej w CK i energii magnetycznej sieci powoduje rozładowanie i przeładowanie CK. Wzrost u_{CK} o polaryzacji zgodnej z +U powoduje redukcję prądu wyładowczego oraz wzrost przepięcia łączeniowego na CK do wartości napięcia zadziałania warystora W, przejście prądu pozostałego prądu i całkowite rozładowanie energii obwodu.

Przedstawiony na rys.2 cykl łączeniowy ilustruje wyżej opisane działanie wyłącznika odrębnie dla poszczególnych sekwencji łączeniowych. Dwuczęściowa sekwencja załączeniowa pokazana na rys. 2a nie ma określonego czasu trwania, ponieważ część przygotowawcza ($t_{1z} - t_g$) oraz załączeniowa ($t_{2z} - t_{sz}$) są oddzielone nieokreślonym czasem gotowości ($t_g - t_{2z}$) wynikającym z potrzeb zewnętrznych (użytkownika). Części przygotowawcza $T_{pg} = t_{1z} + t_g$ rozpoczyna się po sygnale S1 (tj. załączeniu napięcia U_p). Autouruchomienie wyłącznika kończy się osiągnięciem zadanych wartości w przedziałach Max. – Min. przez wszystkie monitorowane napięcia oraz sygnały położenia, a następnie wysłaniem przez układ sterujący USW sygnału S_{sg} stanu gotowości. Czas T_{pg} jest w praktyce determinowany czasem ładowania kondensatora CK do wymaganego napięcia początkowego $U_0 = +U$, co trwa najdłużej. Sygnał S_{sg} odblokowuje możliwość załączenia. Z dowolnym opóźnieniem może nadejść sygnał S2, inicjujący część załączeniową. Bezzwłocznie jest wysłane polecenie k_z do otwarcia zamka Z i zamknięcia komory VG. Wówczas USW wysyła sygnał informacyjny S_{sz} stanu załączenia, kończący część załączeniową.

Ultraszybka sekwencja wyłączeniowa ($t_{1w} - t_0$) pokazana na rys. 2b może być uruchamiana przez obsługę zewnętrznym sygnałem sterującym S3 w warunkach roboczych, albo wewnętrznym sygnałem kw z zabezpieczenia nadprądowego DP/AP przy zwarcu lub przeciążeniu. Niezależnie od stopnia złożoności zjawisk podczas sekwencji wyłączeniowej, zilustrowanych na rys. 3 przebiegami prądów i napięć podczas wyłączania zwarcia w obwodzie głównym pojazdu, sterowanie sekwencją przez USW jest relatywnie proste i sprowadza się do wygenerowania w chwili nadejścia sygnału kw dwóch sygnałów k_N i k_1 , a po czasie T_{0T} trzeciego sygnału k_2 w chwili t_w . Pozostałe czasy i chwile charakterystyczne sekwencji wyłączeniowej są naturalną konsekwencją parametrów dynamicznych VZŁ oraz parametrów obwodu zwarciovego. Ich przyporządkowanie do przebiegu zjawisk łączeniowych na rys. 3 jest zależne m.in. od wartości parametrów RS i LS sieci trakcyjnej, zmieniających się wraz z położeniem pojazdu na odcinku trakcyjnym (zróżnicowane wartości prądu zwarciovego i energii magnetycznej E_M). Przy wyłączaniu prądów roboczych i przeciążeniowych wartości E_M mogą być zbyt małe dla doładowania CK do napięcia zadziałania warystora, który wówczas nie bierze udziału w wyłączaniu obwodu i przebiegi w czasie T_{sn} na rys. 3 będą odmienne.

Opisana wersja DCU-HM v.1 została opatentowana (patent nr P. 429285, wniesiony 18.03.2019 r.). Zawarte w nim zostały pełne informacje szczegółowe o budowie i działaniu wyłącznika.

3. SZCZEGÓLNE CECHY EKSPLOATACYJNE WYŁĄCZNIKA DCU-HM.

DCU-HM umożliwiają spełnienie znanych i przewidywanych wymagań transportu kolejowego. Mogą być wykorzystywane we wszystkich dotychczasowych zastosowaniach wyłączników magnetowymuchowych WM. Ultraszybkie działanie DCU-HM powoduje niezwykle skuteczne ograniczanie prądów zwarciovych bez niebezpiecznych przepięć łączeniowych, eliminowanych przez autonomicznie działające ograniczniki przepięć. Główne cechy eksploatacyjne DCU-HM (nieosiągalne dla WM) zaprezentowano w załączniku 2.

► **Dzięki małej energii magnetycznej E_{MD}** wyłączniki DCU-HM, w stosunku do tzw. szybkich WM, mają spodziewane ustalone prądy wyłączalne I_{spu} znacząco większe, także przy dużych stałych czasowych (60 kA przy 20 ms; 90 kA przy 30 ms). Nadto relatywnie łatwe są warunki pracy ograniczników przepięć (także sieciowych).

► **Dzięki bardzo małej energii łuku E_{AD}** erozja łukowa styków jest pomijalnie mała w każdych warunkach prądowych, więc trwałość łączeniowa DCU-HM, także **przy zwarciach**, jest równa trwałości mechanicznej komory próżniowej.

► **Dzięki bardzo małej calce Joule’a $I^2 t_D$** wyłączniki DCU-HM stanowią skutecznie zabezpieczenie zespołów półprzewodnikowych o prądach $I_{th} \geq 150$ A, eksploatowanych w napędach pojazdów trakcyjnych (systemy RHI) sterowanych impulsowo.

► **Inne szczególne zalety eksploatacyjne** DCU-HM, jako konsekwencje ultraszybkiego wyłączania DC w próżni:

- brak łuku otwartego, brak prądów krytycznych, zbędna strefa ochronna i okresowa obsługa,
- dodatkowa ochrona przed łukiem awaryjnym w postaci skutecznie uziemionego ekranowania wybranych zespołów układu wyłączającego, wymuszającego (przy awarii wewnętrznej) bezpośrednie łukowe zwarcie doziemne wyłączane przez wyłącznik podstawiczny,
- swobodny przepływ prądu i zwrot energii do sieci przy hamowaniu rekuperacyjnym,
- neutralność środowiskowa, brak emisji do otoczenia,
- sterowanie mikroprocesorowe, światłowodowa transmisja sygnałów, odporność na zakłócenia.

► **Funkcje specjalne układowe (elektryczne):** * – opcjonalnie, wg wymagań użytkownika:

- praca przy założonej biegunowości sieci trakcyjnej, *możliwa odwracalność polaryzacji wyłącznika.
- obustronne ograniczanie przepięć, *dwa poziomy ograniczania dla systemów DC1 i DC2,
- *współpraca z zewnętrznymi przekaźnikami zabezpieczeniowymi.

Pracą DCU-HM kieruje specjalizowany mikrokomputer (USW, rys. 1) z wielofunkcyjnym oprogramowaniem własnym, umożliwiającym przetwarzanie danych niezbędnych do realizacji wszystkich ww. działań i funkcji. Jest on złożony ze sterownika mikroprocesorowego, interfejsu wejście/wyjście, zasilacza, sterowników zespołów zasilających zamek i napęd, modułu sieci CAN do komunikacji wewnętrznej i zewnętrznej. Wszystkie te zespoły są zintegrowane we wspólnej obudowie i mają wzajemną komunikację światłowodową lub elektryczną (wg potrzeb). Na obudowie jest umieszczony panel sterujący dla komunikacji zewnętrznej z otoczeniem, wyposażony w szczególności w zestandaryzowane, wielokanałowe przyłącza elektryczne lub światłowodowe umożliwiające odbiór i wysyłanie wszystkich potrzebnych sygnałów sterujących (S1, S2, S3) lub informacyjnych (S_{so} , S_{sg} , S_{sz}), złącza komputerowe, czynniki energii, wyjścia zestyków pomocniczych czynnych lub biernych (multiplikowane przekaźnikami wg potrzeb) wskazujących położenie (stan) wyłącznika, a także w specjalne przyłącze dla przesyłania wybranych informacji za pomocą sieci CAN do panelu operatorskiego umożliwiającego wizualną sygnalizację stanu wyłącznika i innych parametrów, wg potrzeb użytkownika.

Poprawna i niezawodna praca DCU-HM w każdych warunkach prądowych wymaga wysokiej odporności na wszelkiego typu zakłócenia elektromagnetyczne wewnętrzne i zewnętrzne. Oprócz znanych i typowych metod (ekranowanie zespołów, elementów, skrętek przewodów etc.) w wyłączniku zastosowano zasadę maksymalnego wykorzystania techniki światłowodowej do komunikacji cyfrowej między sterownikiem wyłącznika, a sterowanymi przezeń zespołami i elementami pomiarowymi związanymi bezpośrednio z głównym torem prądowym oraz wykorzystania tylko w niezbędnych przypadkach elektrycznych sygnałów analogowych. Każdy z głównych zespołów wyłącznika jest zmontowany w odrębnej obudowie wyposażonej w zunifikowane złącza światłowodowe i elektryczne, współpracujące z USW za pomocą zunifikowanych wiązek WS i WE, przy zachowaniu (w miarę potrzeb) zasady nadmiarowości oraz stosownie do przyjętych zasad modularyzacji i standaryzacji wyłącznika DCU-HM.

Dzięki temu wyłącznik DCU-HM może realizować niżej podane funkcje specjalne, niedostępne dla WM.

► **Funkcje specjalne elektroniczne i informatyczne:** * – opcjonalnie, wg wymagań użytkownika:

- pomiary wybranych parametrów charakteryzujących pracę wyłącznika oraz warunki układowe,
- rejestracja i archiwizacja (z zegarem czasu rzeczywistego) ww. danych i podgląd historii zdarzeń w okresie nie mniejszym od 3 lat,
- program diagnostyczny wyłącznika wykorzystujący ww. dane,
- komputerowa kontrola stanu wyłącznika na podstawie akwizycji ww. informacji,
- komputerowa regulacja nastaw wartości progów zadziałania zabezpieczeń nadprądowych,
- licznik liczby zadziałań wyłącznika oraz ich rodzaju, tj. zamierzonych przez obsługę albo samoczynnych przy przeciążeniach i zwarciach, zliczanych w okresie nie mniejszym od 3 lat,
- komunikacja zewnętrzna z pokładowym systemem sterowania, (ew. *sieciowym, w tym *bezprowodowa),
- udostępnianie użytkownikowi informacji o stanie wyłącznika,
- pomiary, rejestracja, przetwarzanie i archiwizacja danych,
- pełna selektywność wyłączania zwarć w stosunku do wyłączników podstawowych,
- *możliwość lokalizacji wyłącznika za pomocą GPS i przesyłania zdalnego informacji o jego parametrach oraz historii zdarzeń,
- *licznik energii zużytej przez pojazd w zadanym czasie lub *na określonym terenie użytkowania pojazdu trakcyjnego, mający *możliwość odliczania energii zwróconej do sieci, wykorzystujący sygnały pomiarowe prądu głównego w warunkach roboczych, przeciążeniowych i przy hamowaniu rekuperacyjnym oraz sygnał napięcia +U. *Po ew. legalizacji możliwość wykorzystania do rozliczeń energetycznych.*

4. KONKLUZJE

Oryginalne wyniki multidyscyplinarnych badań naukowych i konstruktorskich umożliwiły opracowanie i zbadanie ultraszybkich wyłączników hybrydowych DCU-HM, o nowej jakości technicznej i eksploatacyjnej, spełniających obecne i prognozowane wymagania krajowych i zagranicznych użytkowników dowolnych typów napędowych pojazdów eksploatowanych w systemach DC1 i DC2 trakcji kolejowej. Efekty techniczne i ekonomiczne przyjętych metod, zasad i rozwiązań konstrukcyjnych będą bardzo istotne dla rozwoju transportu kolejowego. Zestawiono je w tablicy 1.

Tablica 1. Efekty techniczne i ekonomiczne programu DCU-HM (versus WM).			
L.p.	CECHA	OPIS	EFEKTY
1.	Hybrydyzacja	Metoda WPP, nowa topologia HRW, z GP zasilanym z sieci trakcyjnej (rys. 1).	Konkurencyjność techniczna oraz ekonomiczna w stosunku do WM
2.	Modularyzacja	Moduł – każdy zespół w obudowie o gabarytach z zadanego ciągu wymiarowego, wyposażonej w typowy panel sterujący ze złączami wg potrzeb, w tym dwumodułowy VZŁ (rys.1).	Umożliwienie adaptowalności (p. 4 niżej). Uproszczenie obsługi serwisowej. Obniżka kosztów produkcji. Poprawa dynamiki przy otwieraniu.
3.	Standaryzacja	Ten sam poziom izolacji głównej i przekroju głównego toru prądowego dla wszystkich wielkości prądowych i napięciowych wyłącznika. Zaciski i złącza elektryczne i światłowodowe, w tym komputerowe, jednakowe dla każdego modułu. Wiązki sterujące elektryczne lub światłowodowe (rys. 1) jednolite technologicznie, złącza jw.	Wydłużenie serii produkcyjnych. Uproszczenie obsługi serwisowej. Obniżka kosztów produkcji. <i>Zakres standaryzacji determinowany względami ekonomicznymi.</i>
4.	Adaptowalność	Obudowy wyłącznika zewnętrznie dostosowane do przestrzeni montażowej (wg potrzeb) i wewnętrznie zindywidualizowane konstrukcyjnie dla planowego rozmieszczenia wszystkich modułów i wiązek. Zaciski i przyłącza - dostosowane do pojazdowych.	Spełnienie wymagań użytkowników, warunkujące możliwości wejścia na rynki krajowe i zagraniczne.
5.	Ograniczanie napięć i prądu	Obustronne ograniczanie przepięć na niskim poziomie oraz bardzo małe prądy ograniczone.	Zmniejszenie liczby awarii oraz zakresu ich skutków.
6.	Sterowanie	Funkcje specjalne elektroniczne i informatyczne jw.	Nowa jakość oferty dla operatorów.
7.	Trwałość	Trwałość łączeniowa przy zwarciach równa trwałości mechanicznej VG (rys. 5), 10000 cykli Z/O	Średni okres eksploatacji ponad 100x dłuższy niż WM.

Szczególnie istotne jest podkreślenie skutku podanego w p. 7 tablicy 1. Zwarciowa trwałość łączeniowa **z.t.ł.** pojazdowych WM jest często pomijana przez wytwórców. Zazwyczaj dla WM z.t.ł. wynosi kilkanaście (max. kilkadziesiąt) wyłączeń zwarć, po czym jest konieczna kosztowna wymiana komory gaszeniowej. Przy założeniu stosunku ztł. najgorszego dla DCU-HM, tj. $ztł.DC / ztł.WM = > 10000/100 = > 100$, jeden wyłącznik DCU-HM będzie równoważnikiem eksploatacyjnym ponad 100 WM. Średni koszt wyłączenia 1 zwarcia przez DCU-HM będzie ponad 100 razy niższy niż przez WM. Wyeliminuje to konieczność nabycia ok. 100 WM w okresie użytkowania tylko jednego wyłącznika DCU-HM. Przy relatywnie zbliżonych cenach wyłączników tzw. koszty uniknięte będą bardzo duże. Oszczędności z tego tytułu zostaną skumulowane u nabywcy wyłączników, tj. u producentów taboru i przewoźników. Nadto użytkownicy, w cenie wyłącznika, uzyskają możliwości wykorzystania wielu funkcji specjalnych elektronicznych i informatycznych. Skuteczność ograniczania prądu (bardzo mała I^2t_0) oznacza pokonanie ważnej bariery ograniczającej zastosowania półprzewodnikowych układów w napędach trakcyjnych oraz innych układach przemysłowych prądu stałego.

Wyłączniki DCU-HM spełniają na poziomie światowym wszystkie wymagania właściwych norm krajowych i międzynarodowych zarówno z zakresu elektrotechniki, jak i ochrony środowiska. W pełni odpowiadają potrzebom elektrotrakcji, cechując się przy tym zdecydowaną przewagą techniczną i konkurencyjnością ekonomiczną w stosunku do istniejących wyłączników magnetowymuchowych.

Zapewnią jakościowy skok w technice zabezpieczeń systemów trakcji kolejowej i zastosowaniach pokrewnych, mający ważne znaczenie dla rozwoju transportu kolejowego, poprawy płynności ruchu oraz bezpieczeństwa pasażerów. Na rynkach światowych odpowiedniki strukturalne DCU-HM nie są znane.

Część P5

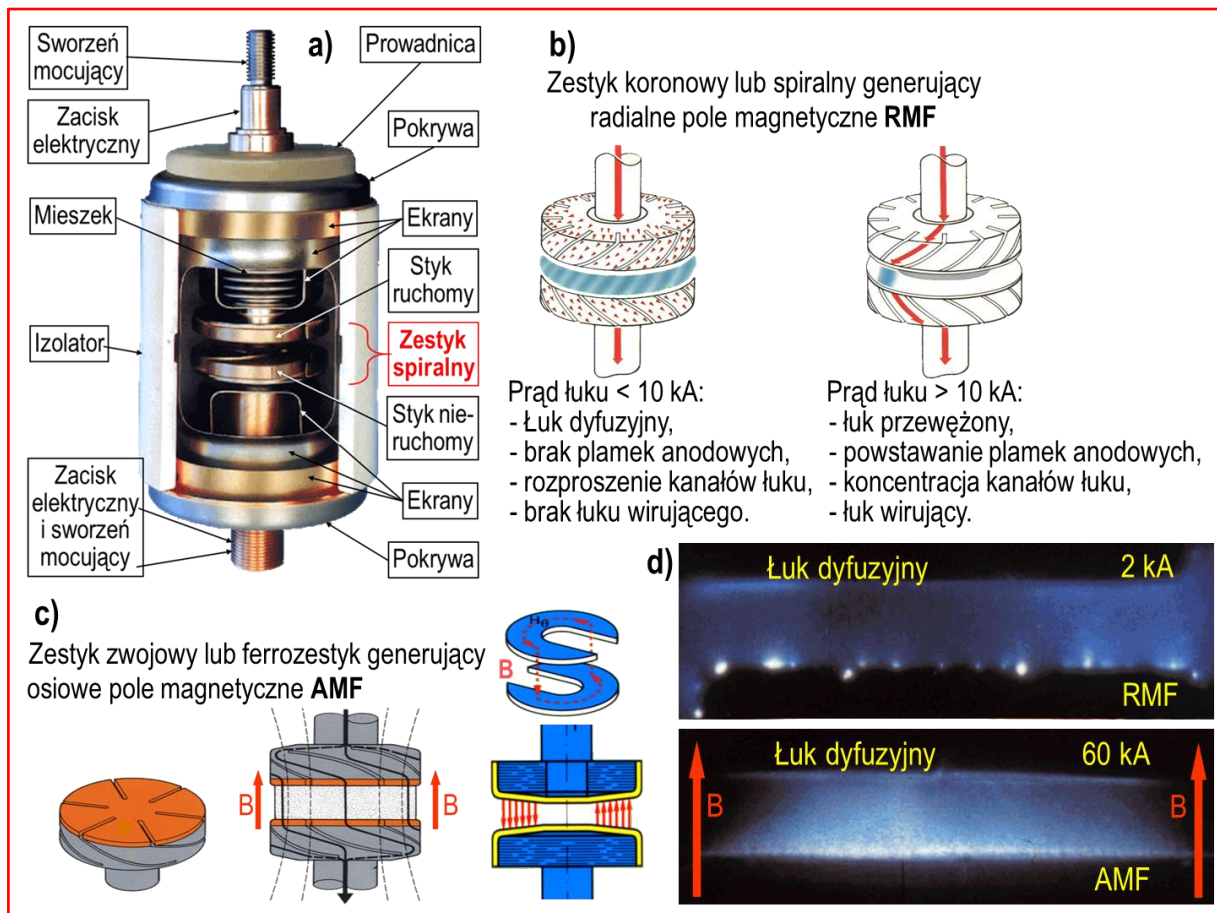
KOMORY PRÓŻNIOWE DO STOSOWANIA W DCU-HM

1. WARUNEK KONIECZNY

W DCU-HM mogą być wykorzystywane przemysłowe komory próżniowe prądu przemiennego spełniające określone warunki. Warunkiem koniecznym jest stworzenie w komorze wyłączającej możliwości występowania tylko **dyfuzyjnej formy łuku próżniowego**. Zależy to m. in. od:

- wartości prądu,
- układu geometrycznego styków,
- materiału styków,
- przestrzennego rozkładu i natężenia pola magnetycznego w przerwie zestykowej.

Zostało to pokazane na rys. 1.



Rys. 1. Warunki w komorze próżniowej dla istnienia łuku dyfuzyjnego. a) Typowa komora próżniowa. b), c) Wybrane typy układów stykowych wytwarzających pole magnetyczne. d) Widok łuku dyfuzyjnego przy różnych wartościach prądu. B - indukcja magnetyczna. Źródło ilustracji - Siemens; opisy własne podano na rysunku.

Własności łuku dyfuzyjnego mają podstawowe znaczenie dla wykorzystania komór próżniowych w DCU-HM. **Nie może pojawiać się łuk przewężony** z aktywną anodą (rys. 2.b), ponieważ stwarza to ryzyko niewyłączenia prądu przy dużych stromościach sprowadzania prądu stałego do zera.

2. MAKROSKOPOWE WŁAŚCIWOŚCI PRÓŻNIOWEGO ŁUKU DYFUZYJNEGO

- Podstawowe warunki występowania łuku dyfuzyjnego.

$$\text{a) } i_a \leq i_l \approx \sim 9 \text{ kA}, \quad \text{b) } D/d > 2 \quad \text{c) } d \geq d_c \quad (1)$$

gdzie: i_a - prąd łuku, i_l - graniczny prąd łuku dyfuzyjnego, D - średnica styków, d - odległość styków, $d_c \approx (0,1 \div 0,3)$ mm - odległość krytyczna, przy której dla $d \uparrow$ stadium przejściowe przechodzi w łukowe.

Warunek b) będzie zawsze spełniony, bo wyłączanie będzie się odbywać przy małych odległościach d . Warunek c) jest związany z a), bo i_a wpływa na d_c , zależnie od materiału styków. Będzie spełniony zawsze w przypadku wyłączania przy $d \geq 0,3$ mm.

Warunek a) określa margines bezpieczeństwa dla wyłączania ultraszybkiego. Podany prąd i_l jest wartością przybliżoną, określaną przy AC przez różne źródła z istotnym rozrzutem. Silnie zależy od typu zestyku. Jak wynika z rys. 1.d), graniczny prąd łuku dyfuzyjnego i_g może być znacznie większy w osiowym polu magnetycznym AMF niż w radialnym RMF (rys. 1.b). Przyjmując komorę z AMF i eksperymentalnie zweryfikowany prąd graniczny $i_l \approx \sim 60 \text{ kA}$, dla DCU-HM w realnych warunkach zastosowania istnieje bardzo duży zapas bezpieczeństwa wykluczający pojawienie się łuku przewężonego. **Każdy typ wyłącznikowej komory próżniowej z AMF jest przydatny dla DCU-HM.**

- Najważniejsze cechy łuku dyfuzyjnego.

Średnie napięcie łuku jest zawarte w granicach: $u_a = (10 \div 27) \text{ V} \approx \text{const.}$ (dla Cu $18 \div 21 \text{ V}$) przy stanie elektrod: katoda - aktywna, anoda - pasywna. Środowiskiem wyładowczym są pary metalu emitowane z katody. Struktura wyładowania jest wielokanałowa, struktura każdego kanału to stożek plazmy o kącie wierzchołkowym ω_k przy katodzie. Przepływ plazmy w kanale jest dyfuzyjny (bezzderzeniowy). Prąd i_a każdego kanału łukowego i liczba kanałów n są zawarte w granicach:

$$\text{a) } i_{a0} < i_{na} < i_{am}, \quad \text{b) } n \approx i_a / i_{am} \quad (2)$$

gdzie: i_{a0} - prąd progowy istnienia plamki katodowej, i_{am} - prąd rozpadu plamki katodowej; dla $i_{na} \downarrow$ przy $i_{na} < i_{a0}$ kanał zanika, dla $i_{na} \uparrow$ przy $i_{na} > i_{am}$ kanał dzieli się na dwa kanały; n - liczba jednocześnie istniejących kanałów; i_a - prąd łuku.

Parametry u_a , i_{a0} oraz i_{am} są cechami materiału katody. Ruch kanałów jest szybki, beładny, po całej powierzchni styków. Erozja styków jest równomierna, brak lokalnych ognisk termicznych na anodzie.

- Wytrzymałość powrotna próżni.

Jeżeli materiał styków **nie zawiera składników niskotopliwych** i jeżeli jest:

$$\omega_A > \omega_k \text{ oraz } p_A < p_k \quad (3), \quad \text{to jest: } p_{t+} < p_k \text{ oraz } d_s > d \quad (4),$$

gdzie: ω_A - kąt bryłowy tworzony przez powierzchnię anody względem środka katody, ω_k - jego wartość krytyczna, p_A - gęstość mocy doprowadzanej do powierzchni anody, p_k - jej wartość krytyczna, p_{t+} - początkowa gęstość plazmy połukowej, p_k - wartość krytyczna gęstości plazmy, poniżej której średnia droga swobodna atomów d_s staje się większa od odległości styków d .

Wówczas wytrzymałość powrotna przerwy zestykowej w komorze próżniowej:

$$u_{zt+} = u_{ps} = K d \quad (5)$$

gdzie: u_{zt+} - początkowa wytrzymałość powrotna, u_{ps} - statyczna wytrzymałość elektryczna zimnej przerwy próżniowej, K - statyczne natężenie przeskoku w próżni.

Po chwili dojścia prądu do zera **wytrzymałość powrotna skokowo wzrasta** do wytrzymałości statycznej zimnej przerwy próżniowej.

Dlatego wyłączanie prądu stałego może się odbywać przy relatywnie małych odległościach styków, jeśli wartość prądu nie jest zbyt duża.

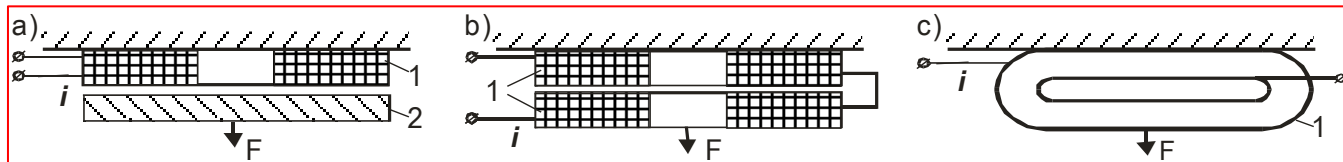
W komorach próżniowych dla wyłączników stosowane są z reguły nakładki stykowe z materiałów typu Cu-Cr (bez dodatków niskotopliwych). Materiał ten przy łuku dyfuzyjnym odpowiada wszystkim ww. kryteriom.

Przy wykorzystaniu dopuszczalnej prędkości otwierania zestyku (określanej przez producenta), osiągnięcie odległości krytycznej determinuje czas wyłączania i parametry kinetyczne organu ruchomego DCU-HM.

Część P6

ULTRASZYBKIE NAPĘD KOMORY PRÓŻNIOWEJ W DCU-HM

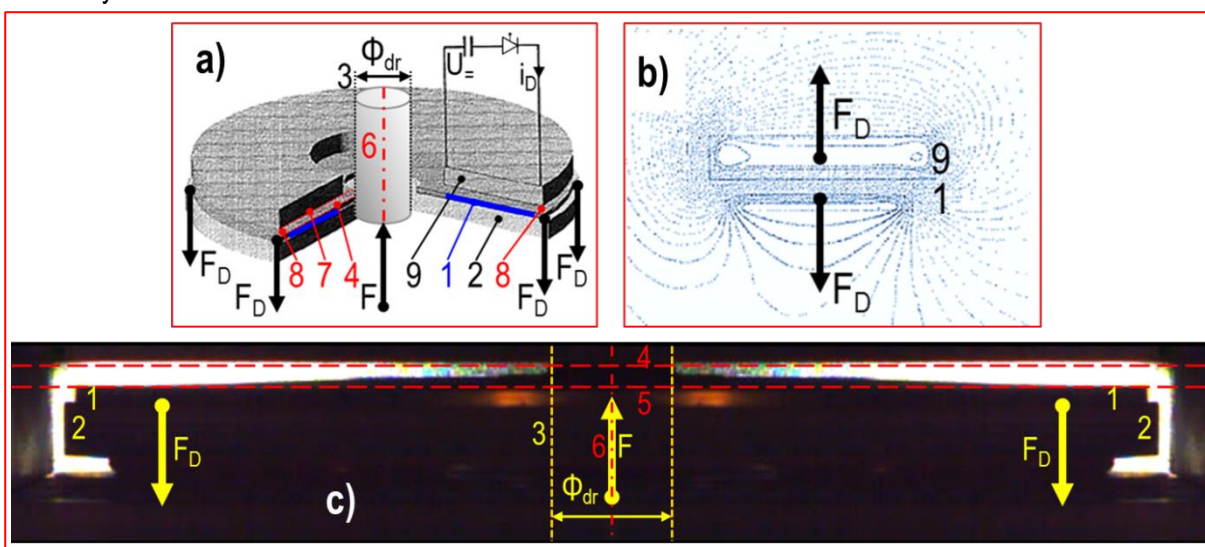
Dla uzyskania możliwie małych czasów własnych organów ruchomych DCS niezbędne jest stosowanie impulsowych napędów **wielkiej mocy**. Zasady działania takich napędów pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Napędy impulsowe: a) indukcyjno – dynamiczny; b), c) elektrodynamiczne: dwucewkowy i jednocewkowy.

Szczególnie przydatne są tu napędy indukcyjno – dynamiczne (rys. 1a), w których metalowy dysk 2 pracujący jako zwoj zwarty jest odrzucany od cewki napędowej 1 przez którą przepływa impuls wielkopiędowy wytwarzany przez rozładowanie kondensatora, nadto napędy elektrodynamiczne dwucewkowe (rys. 1b) lub z jedną cewką rozprężną (rys. 1c). W praktyce do współpracy z komorami próżniowymi najlepiej nadają się napędy **indukcyjno – dynamiczne IDD** jako najbardziej niezawodne, charakteryzujące się prostotą budowy i największą trwałością mechaniczną. IDD potrafią krótkotrwale wytwarzać wielkie siły nadające organom ruchomym DCS, w zależności od ich masy, przyspieszenia nawet rzędu $10^4 \div 10^6 \text{ m/s}^2$. Przy użyciu IDD można zbudować prostowodowy napęd bezprzechylowy styku ruchomego komory próżniowej, który będzie najkorzystniejszy dla komory próżniowej ze względu na minimalizację uderzeniowych narażeń mechanicznych i naprężeń bocznych podczas pracy wyłączeniowej. W komorach próżniowych dla DCS podczas wyłączania wymagana jest przerwa zestykowa w granicach $0.3 < d < 1 \div 2 \text{ mm}$. Duże przyspieszenie początkowe i duża średnia prędkość organu ruchomego umożliwiają uzyskanie małego czasu własnego otwierania ($< 1 \text{ ms}$) i czasu wyłączania ($< 2 \text{ ms}$).

Dla jak największego skrócenia czasu otwierania łącznika próżniowego w DCU-HM jest potrzebna możliwie duża **sztywność elementów nośnych cewki i dysku** napędu IDD, dla uniknięcia opóźnień wynikających z deformacji konstrukcji mechanicznej zwłaszcza korpusu dysku. Ich uzasadnienie wynika wprost ze wszystkich trzech zasad dynamiki Newtona. Interakcja cewki i dysku IDD powoduje odkształcenie dysku i osiowe drgania sprężyste, których genezę pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Odształcenie sprężyste zespołu cewki i dysku IDD w początkowej fazie ruchu. a) model IDD w stanie bezprądowym, b) przestrzenny rozkład linii pola magnetycznego w okolicy maksimum prądu i_D cewki i generowanej siły napędowej, c) wybrany kadr z badań ruchu za pomocą fotografii szybkiej (20000 fps), ze specjalnym podświetleniem tylnym dla uwidocznienia deformacji zespołu dysku. 1 – dysk miedziany, 2 – korpus dysku, 3 – fragment pręta napędowego o średnicy Φ_{dr} , 4 - linia górnej zewnętrznej krawędzi i zarazem całej powierzchni dysku przed załączeniem prądu, 5 – linia zewnętrznej krawędzi dysku w chwili maksimum prądu, 6 – oś symetrii napędu, 7 – linia dolnej powierzchni cewki, 8 – szczelina robocza między dyskiem i cewką, 9 – czynny przekrój zastępczy cewki. F – siła sprężyny (docisk zestykowy), F_D – siła napędowa (otwierająca).

Impulsy prądowe w IDD, generowane wskutek oscylacyjnego rozładowania kondensatora o napięciu U_0 przez cewkę 9, mają zazwyczaj **pierwszą półfalę o amplitudzie >1 kA i czasie do $300 \mu s$** . Zmiany pola magnetycznego cewki indukują prąd w toroidalnym dysku 1 o przekroju prostokątnym.

Interakcja prądów generuje impuls napędowej siły elektrodynamicznej F_D odpychającej od cewki dysk sprzężony sztywno ze stykiem ruchomym komory i pozostałymi elementami organu ruchomego.

Ruch zarówno zewnętrznej krawędzi dysku, jak i jego części środkowej, rozpoczyna się praktycznie w chwili, kiedy prąd w cewce osiąga maksymalną wartość. Prędkości początkowe w tych dwóch miejscach znacznie się różnią, ponieważ część środkowa dysku jest obciążona masą organu ruchomego oraz siłą F o przeciwnym zwrocie do F_D . Zespół dysku podlega więc znacznemu odkształceniu, wyraźnie widocznemu na rys. 1.c).

Siła F_D jest impulsem o tak dużej wartości, że powoduje prawie natychmiastowe odgięcie krawędzi dysku prawie do powierzchni zderzaka ograniczającego ruch organu ruchomego ze względu na dopuszczalną wartość przerwy zestykowej w komorze próżniowej (wg wymagań producenta). W znacznie mniejszym stopniu występuje wówczas także deformacja korpusu cewki wskutek siły reakcji $-F_D$. Korpus ten może być sztywniejszy od korpusu dysku, bo jego masa nie ma wpływu na masę organu ruchomego, którego elementy nie ulegają znaczącym odkształceniom.

Część P7

CHARAKTERYSTYKA KONSORCJUM WSPÓLREALIZUJĄCEGO PROJEKT DCU-HM

POLITECHNIKA ŁÓDZKA, KATEDRA APARATÓW ELEKTRYCZNYCH (zał. 1949)

Główna problematyka badawcza:

Zjawiska w aparatach elektrycznych oraz nowe urządzenia łączeniowe.

Zastosowania informatyki w nauce i gospodarce.

Inteligentne systemy HMS/BMS zarządzania budynkami.

Szczegółowe kierunki badań:

- Ultraszybkie wyłączniki prądu stałego i przemiennego oraz ograniczniki przepięć.
- Zjawiska w zestykach elektrycznych.
- Elektrodynamika aparatów elektrycznych
- Zastosowania informatyki w nauce i gospodarce.

Tematyka badań podstawowych:

teoria zjawisk łączeniowych i zestykowych, wyłączanie w próżni prądów stałych, wyłączanie synchronizowane prądów przemiennych, teoria i diagnostyka plazmy łukowej, interakcja plazmy łukowej i pól magnetycznych, komputerowa symulacja oddziaływań elektromagnetycznych w urządzeniach elektrycznych, komputerowe wspomaganie projektowania aparatów, warystory z tlenków metali, efektywność energetyczna inteligentnych budynków.

Tematyka badań stosowanych:

nowe metody ograniczania prądów zwarciovych i przepięć łączeniowych, ultraszybkie wyłączniki prądu stałego i przemiennego; zestykowe, półprzewodnikowe i hybrydowe urządzenia łączeniowe, ultraszybkie napędy wyłączników; materiały stykowe, badania aparatów i rozdzielnic niskonapięciowych, integracja systemów HMS/BMS (Home/Building Management Systems).

ZAKŁAD APARATURY ELEKTRYCZNEJ WOLTAN Sp. z o.o. (zał. 1908)

PRODUCENT FINALNY APARATURY DLA TRAKCJI KOLEJOWEJ I MIEJSKIEJ

Profil produkcji: aparaty i urządzenia elektryczne dla trakcji kolejowej i miejskiej: styczniki, przekaźniki, rozruszniki, nastawniki, oporniki; ultraszybkie wyłączniki próżniowe i hybrydowe prądu stałego dla podstacji i pojazdów silnikowych trakcji kolejowej i miejskiej; zestawy tablicowe niskiego i wysokiego napięcia prądu stałego; półprzewodnikowe prostowniki dla kolei, tramwajów i metra, przetwornice oraz układy rozruchu impulsowego i hamowania odzyskowego dla tramwajów i trolejbusów prądu stałego i przemiennego.

Certyfikaty i uprawnienia: ZAE WOLTAN posiada wdrożony i stosowany system zarządzania jakością **ISO 9001 : 2000** w zakresie projektowania, produkcji i serwisu aparatów i urządzeń elektrycznych i energoelektronicznych - **certyfikat TUV CERT.**



Część P4

▼ FOLDER DCU-HM ▼

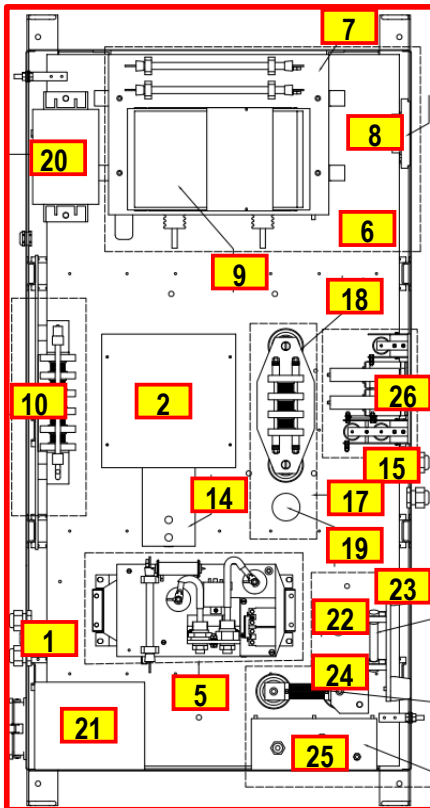
Projekt nr POIR.04.01.04-00-0061/17-00, akronim DCU-HM. Realizacja: 1.10.2018÷30.09.2021.

DCU®-HM

4 kV, 1.6 kA, 60 kA

ULTRASZYBKIE, HYBRYDOWE (PRÓŻNIOWO - TYRYSTOROWE)

WYŁĄCZNIKI DLA SYSTEMÓW DC1 ORAZ DC2 TRAKCJI KOLEJOWEJ



1. SIECIOWY ZACISK PRZYŁĄCZOWY.
2. ZESPÓŁ ŁĄCZNIKA PRÓŻNIOWEGO.
5. NAPĘD INDUKCYJNO-DYNAMICZNY.
6. GENERATOR PRZECIWPĄDU.
7. KONDENSATOR KOMUTACYJNY.
8. DŁAWIK KOMUTACYJNY.
9. OPORNIK.
10. ZESPÓŁ TYRYSTOROWY.
14. PRZEKAŹNIK NADPRĄDOWY.
15. ZACISK PRZYŁĄCZOWY ODBIORNIKA.
- OGRANICZNIKI PRZEPIĘĆ:
17. WEWNĘTRZNYCH:
 - ▶ 18. DIODOWY,
 - ▶ 19. WARYSTOROWY;
20. ZEWNĘTRZNYCH (WARYSTOROWY).
21. ZESPÓŁ STEROWANIA.
- SYMBOLY 1 ÷ 21 → PATRZ RYS. 1.
22. UKŁAD POMIARU ENERGII.
23. BEZPIECZNIK.
24. BOCZNIK POMIAROWY.
25. LICZNIK ENERGII.
26. ZESPÓŁ STYCZNIKÓW.

WYŁĄCZANIE ZWARĆ

**JEDEN DCU®-HM
jest eksploatacyjnym
równoważnikiem
ok. 100 wyłączników
magnetowydmuchowych.**

Funkcje specjalne:

► układowe elektryczne:

- obustronne ograniczanie przepięć,
- dwa poziomy ograniczania dla systemów DC1 i DC2,
- awaryjna ochrona przeciwlukowa,
- zabezpieczanie półprzewodników o prądach $I_{th} \geq 150$ A,
- brak ingerencji w proces hamowania rekuperacyjnego;

► elektroniczne i informatyczne:

- pomiary, rejestracja, przetwarzanie i archiwizacja danych,
- komputerowy podgląd historii zdarzeń,
- komputerowa diagnostyka oraz regulacja nastaw,
- komunikacja wewnętrzna i zewnętrzna z użytkownikami,
- wykorzystanie sygnałów pomiarowych napięcia i prądu do pomiaru energii certyfikowanym licznikiem.

Szczególne zalety eksploatacyjne:

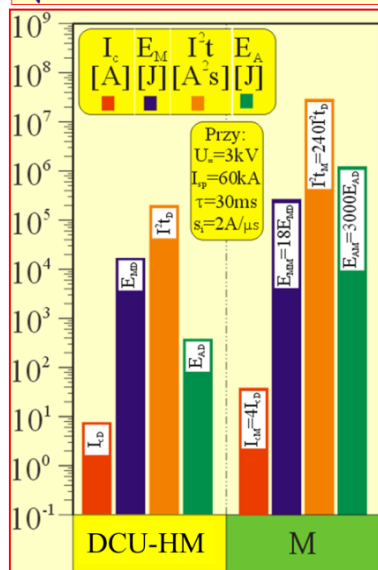
- sterowanie mikroprocesorowe, światłowodowa transmisja sygnałów;
- ultraszybkie wyłączanie w próżni, mała energia łuku i zużycie styków;
- trwałość łączeniowa przy zwarciach równa trwałości mechanicznej,
- brak prądów krytycznych, zbędna strefa ochronna i okresowa obsługa,
- pełna neutralność środowiskowa;
- budowa modułowa, zmienna konfiguracja przestrzenna;
- adaptowalność do przestrzeni montażowych w różnych elektrowniach,
- możliwa budowa wersji dachowej, pokładowej albo podpokładowej.

ZAMIAST KUPOWAĆ OK. 100 WYŁĄCZNIKÓW TRADYCYJNYCH,

UŻYTKOWNIK MOŻE KUPIĆ TYLKO 1 WYŁĄCZNIK DCU-HM.

Korzyści ekonomiczne będą się kumulowały u użytkowników.

SKUTECZNOŚĆ WYŁĄCZNIKA DCU-HM NA TLE MAGNETOWYDMUCHOWEGO M.



WYBRANE PARAMETRY DCU-HM W STOSUNKU DO PARAMETRÓW M

$$t_{bD}/t_{bM} \leq 0.1$$

$$I_{cD}/I_{cM} \leq 0.25$$

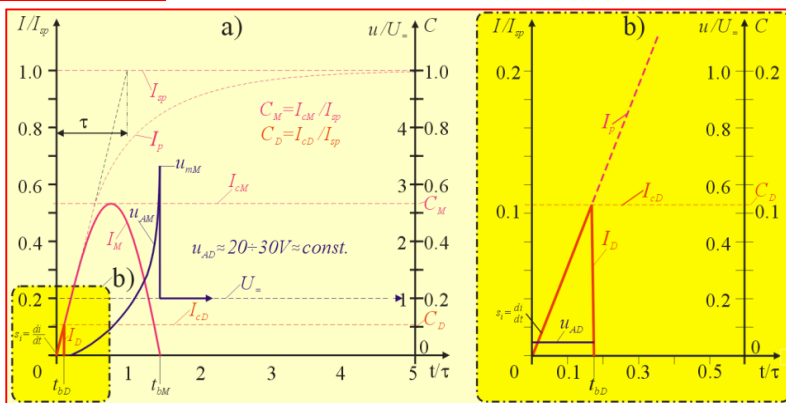
$$C_D/C_M \leq 0.25$$

$$E_{MD}/E_{MM} \leq 0.05$$

$$I^2 t_D/I^2 t_M \leq 0.004$$

$$E_{AD}/E_{AM} \leq 0.0003$$

◀ Porównanie skutków wyłączania zwarcia przez wyłączniki DCU-HM i magnetowydmuchowy M. I_c – prąd ograniczony, E_M – maksymalna energia magnetyczna obwodu zwarcowego, $I^2 t$ – całka Joule'a, E_A – energia łuku wydzielana w wyłączniku; indeksy: D – dla wyłącznika DCU-HM, M – dla wyłącznika M.



▲ Porównanie ograniczania prądu przez wyłączniki DCU-HM i magnetowydmuchowy M. Prądy: I – p. zwarcowy, I_p – p. spodziewany, I_{sp} – p. ustalony, I_c – p. ograniczony; s_1 – początkowa stromość wzrostu prądu I; C – współczynnik ograniczania prądu; napięcia: u_A – n. łuku, u_m – maksymalne n. łuku, U_0 – n. łączeniowe; t – czas, t_b – czas wyłączania, τ – stała czasowa; indeksy: D – dla wyłącznika DCU-HM, M – dla wyłącznika M.

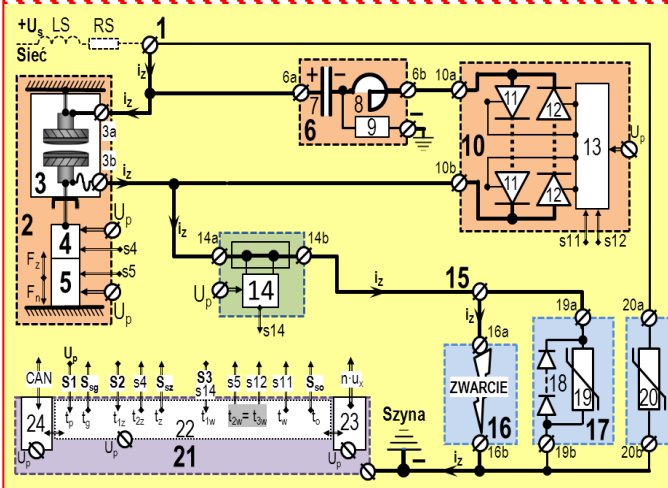
DCU®-HM są możliwe do zainstalowania w dowolnych typach nowych albo modernizowanych:

- ✗ elektrycznych zespołów trakcyjnych EZT i autobusów szynowych AS,
- ✗ pociągów zespołonych PZ (w tym KDP),
- ✗ elektrowozów EW (głównie lokomotyw) o mocy do 5 MW.

DCU®-HM: ULTRASZYBKIE WYŁĄCZNIKI HYBRYDOWE DLA ELEKTROWOZÓW TRAKCJI KOLEJOWEJ



Zasada działania DCU®-HM. Ultraszybki wyłącznik hybrydowy prądu stałego o topologii hybrydy równoległej (HRW) próżniowo-tyrystorowej, działa na zasadzie komutacji wymuszonej, polegającej na wymuszonym sprowadzeniu do zera prądu stałego w próżni za pomocą impulsu prądu o kierunku przeciwnym, uzyskanego z dodatkowego źródła, zasilanego z sieci trakcyjnej i załączanego za pomocą tyrystorów (rys. 1).



Rys. 1. Uproszczony ideowo-blokowy schemat elektryczno-kinematyczny wyłącznika. 1 – główny sieciowy zacisk przyłączowy, 2 – zespół łącznika próżniowego: 3 – komora próżniowa, 4 – zamek elektromagnesowy, 5 – napęd indukcyjno-dynamiczny; 6 – generator przeciwprądu: 7 – kondensator komutacyjny, 8 – dławik komutacyjny, 9 – opornik; 10 – zespół tyrystorowy: 11, 12 – gałęzie tyrystorów, 13 – sterownik tyrystorów; 14 – przełącznik nadprądowy; 15 – główny odbiornikowy zacisk przyłączowy; 16 – o. diodowy, 17 – o. warystorowy; 18 – warystorowy ogranicznik przepięć zewnętrznych; 19 – o. warystorowy; 20 – warystorowy ogranicznik przepięć wewnętrznych; 21 – zespół sterowania: 22 – interfejs wejście/wyjście, 23 – zasilacz napięć wewnętrznych, 24 – moduł sieci CAN; zaciski przyłączowe zespołów 3, 6, 10, 14, 16, 17, 20 (odpowiednio): 3a, 6a, 10a, 14a, 16a, 17a, 20a – wejściowe oraz 3b, 6b, 10b, 14b, 16b, 17b, 20b – wyjściowe; U_p – sieć napięcia pomocniczego; I_z – prąd główny. S, s – sygnały światłowodowe lub elektryczne (w tym CAN); w tym **zewnętrzne sygnały sterujące**: S1 – startu procedury uruchamiania, S2 – zamknięcia wyłącznika, S3 – wyłączenia (lub s14 – wewnętrzny z przełącznika 14); **wewnętrzne sygnały sterujące**: s4 – otwarcia zamka 4 i zamknięcia komory 3, s5 – startu napędu 5 i otwarcia komory 3, s11 – załączenia tyrystorów 11, s12 – załączenia tyrystorów 12; **zewnętrzne sygnały informacyjne**: S_{sg} – stanu gotowości, S_{sz} – stanu zamknięcia, S_{so} – stanu otwarcia; t – chwile podania sygnałów jw. (odpowiednio). Parametry zastępcze sieci trakcyjnej: LS – indukcyjność, RS – rezystancja.

Opis działania DCU®-HM. Początkowy stan wyłącznika nie jest znany. Po sygnale startu (S1 w chwili t_p – załączenie napięcia pomocniczego U_p) następuje autouruchomienie i ustawienie wyłącznika w stanie gotowości (tj. uzyskania zadanych wartości parametrów monitorowanych przez zespół 21) oraz w położeniu otwarcia. Wówczas kondensator 7 jest samoczynnie ładowany do napięcia sieci trakcyjnej i zostaje wysłany sygnał stanu gotowości (S_{sg} w chwili t_g). Wyłącznik czeka w stanie gotowości do załączenia. Sygnał zamknięcia wyłącznika (S2 w chwili t₁₂) powoduje otwarcie zamka 4 (przez sygnał s4 w chwili t₂₂) i zamknięcie komory próżniowej 3 przez siłę zwrotną F_z napędu 5, tj. załączenie obwodu głównego oraz wysłanie sygnału stanu zamknięcia (S_{sz} w chwili t_z). Wyłącznik czeka w stanie gotowości do ultraszybkiego wyłączenia. Zamierzony (przez obsługę) sygnał wyłączenia (S3 w chwili t_{1w}), albo samoczynny (s14 w chwili t_{1w}) z przełącznika nadprądowego 14 wskutek zwarcia lub przeciążenia, powoduje jednocześnie wysłanie w chwili t_{2w} = t_{3w} sygnału s5 uruchomienia napędu 5 ultraszybkiego otwierającego komorę 3 samoczynnie blokowaną w stanie otwarcia przez zamek 4, a nadto sygnał s12 powodujący załączenie gałęzi tyrystorów 12 i przeładowanie kondensatora 7 w pętli oscylacyjnej o bardzo małym tłumieniu, złożonej z elementów 6a, 7, 8, 6b, 10a, 11, 10b, 3b, 3, 3a, 6a, do napięcia o przeciwnej polaryzacji. Z zadaniem opóźnieniem (po zapłonie łuku i rozjęściu się styków komory 3 na wymaganą odległość) zostaje wysłany sygnał powodujący załączenie gałęzi tyrystorów 11 (s11 w chwili t_w) i wytworzenie w tej pętli impulsu przeciwprądu sprowadzającego prąd główny I_z w komorze 3 do zera oraz zgłoszenie łuku, co kończy proces wyłączenia. Występuje wówczas samoistnie zanikający stan nieustalony, w którym suma energii magnetycznych obwodu zostaje rozładowana poprzez przeładowanie kondensatora 7 do wartości napięcia wyładowczego warystora 20, w którym prąd wyładowczy przetwarza pozostałą energię obwodu na ciepło i zanika. Z zadaniem opóźnieniem jest wysłany sygnał stanu otwarcia (S_{so} w chwili t_o), a następnie gotowości (S_{sg} w chwili t_g) i cykl się powtarza. Ograniczniki przepięć wewnętrznych 18 i 19 zespołu ograniczników 17 nie działają przy zwarciu i w znany sposób ograniczają inne przepięcia odbiornikowe. W przypadku przeciążeń eksploatacyjnych, zespół 14 oblicza całkowitą energię Joule'a, pracując jak typowy wyzwalacz elektroniczny o zadanej charakterystyce czasowo-prądowej t – I, lub jako detektor progowy prądu głównego.

Lp	Parametry znamionowe w systemie DC1 (3 kV)	DCU®-HM
1.	Napięcie znamionowe izolacji U _i [V _~]	4800
2.	Napięcie znamionowe łączeniowe U _g [V _~]	4000
3.	Napięcie znamionowe pomocnicze U _p [V _~]	24
4.	Przepięcia łączeniowe u _{opm} [kV]	≤11
5.	Prąd znamionowy ciągły I _{nc} [A]	PZ (EZT): 800;1250;1600 EW (lokomotywy): 1600;2500;3150
6.	Prąd znamionowy wyłączalny I _{cn} [kA] / przy stałej czasowej τ [ms]	60/20; 90/30
7.	Początkowa stromość wzrostu prądu zwarcowego s ₁ = di/dt [A/μs]	3
8.	Prąd ograniczony I _g [kA] przy s ₁ = 3A/μs	≤ 4 + I _g ¹⁾
9.	Współczynnik ograniczenia prądu i _o /I _{cn} [-] / przy stałej czasowej τ [ms]	≤ 0,08 / 20
10.	Maksymalna energia łuku [J]	≤ 600
11.	Parametr I ² t [A ² s]	≤70 000
12.	Trwałość łączeniowa w warunkach zwarcowych [t] (łączeń)	>10 000
13.	Trwałość mechaniczna [cp] (cykli przestawieniowych)	>20 000
14.	Czas własny otwierania t _o [ms]	≤ 600
15.	Czas wyłączenia t _w [ms]	≤2
16.	Masa wyłącznika [kg]	ok 400
17.	Wymiary wyłącznika [mm] dla EZT (inne dla lokomotyw) ²⁾	1600x800x500
18.	Strefa ochronna	nie występuje
19.	Zakres prądów krytycznych	nie występuje
20.	Okresowa konserwacja i obsługa	niewymagana
21.	Warunki środowiskowe: - zakres temperatur [°C] - wilgotność względna - wysokość n.p.m. [m]	-30 ÷ +40 ≤50% przy 40°C ≤95% przy 20°C ≤1200
22.	Stopień ochrony: - obudowa wyłącznika	IP 00

¹⁾ I_g – prąd nastawczy przełącznika nadprądowego 800 ÷ 4500 A. ²⁾ 900 x 1700 x 2000 [mm]

DCU®-HM a klasyczne wyłączniki magnetyczno-dynamiczne (WM).

Konkurencyjność techniczna i ekonomiczna w stosunku do WM.

Pełna selektywność zwarcowa w stosunku do podstawowych WM.

Cena porównywalna do ceny pojazdowych WM.

Średni koszt wyłączenia zwarcia ponad 100 razy niższy niż w WM.

ZAKUP – ZAINSTALUJ – ZAPOMNIJ (przez czas 10000 zwarć).



Politechniki Łódzka
Katedra Aparatów Elektrycznych K-26
PL, 90-537 Łódź, Stefanowskiego 18/22
E-mail: k-26@adm.p.lodz.pl
Tel. 4842 6312661



Patent nr P. 429285
wniesiony 18.03.2019

Zakład Aparatury Elektrycznej
WOLTAN Sp. z o.o.
PL, 90-536 Łódź, Gdańska 138
E-mail: woltan@woltan.com.pl
Tel: 4842 636 61 22

