

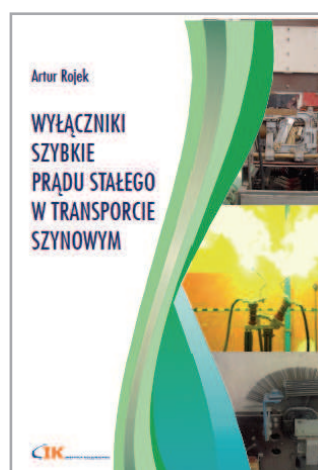
Wyłączniki szybkie prądu stałego w transporcie szynowym

Informację opracował Artur ROJEK¹

Streszczenie

Monografia jest poświęcona budowie i zasadzie działania wyłączników szybkich prądu stałego. Opisano różne konstrukcje wyłączników, budowę i zasadę działania ich podstawowych elementów, w tym napędów, układów wyzwalania, komór łukowych i urządzeń magnetowydmuchowych. Dużą uwagę poświęcono parametrom wyłączników szybkich, w szczególności czasom własnym i łukowym oraz zdolności wyłączania przez wyłączniki prądów krytycznych. Istotnym zagadnieniem opisanym w monografii, jest koordynacja zabezpieczeń zwarciovych w układzie pojazd trakcyjny – podstacja trakcyjna. W rozdziale poświęconym tej problematyce przedstawiono między innymi wyniki badań selektywności wyłączania przy zastosowaniu różnych typów wyłączników szybkich. Opisano zagadnienia związane z występowaniem zwarć w obwodach prądu stałego układu zasilania trakcji elektrycznej, modelowanie wyłączników szybkich, wymagania prawne i normatywne stawiane wyłącznikom szybkim prądu stałego oraz podział wyłączników ze względu na miejsce ich zainstalowania, parametry i metody wyłączania. Dwa rozdziały poświęcono opisaniu procesu wyłączania prądu stałego i zjawiskom temu towarzyszącym oraz oddziaływaniu czynników zewnętrznych na łuk elektryczny oraz przepięcia łączeniowe. Przedstawiono również wpływ innych urządzeń na przebieg prądu zwarciovego oraz jego wyłączania przez wyłącznik szybki. Monografię uzupełnia opis i zestawienie parametrów wyłączników szybkich stosowanych w transporcie szynowym w Polsce i Europie oraz historia rozwoju wyłączników szybkich, począwszy od patentu T. Edisona, przez wyłączniki magnetowydmuchowe do ultraszybkich wyłączników wykorzystujących półprzewodniki oraz metodę wyłączania przeciwpędem.

Słowa kluczowe: wyłącznik szybki, zwarcia, napięcie łuku, koordynacja zabezpieczeń, prądy krytyczne, czas wyłączania



Autor: Artur Rojek
Tytuł: Wyłączniki szybkie prądu stałego w transporcie szynowym
Wydawca: Instytut Kolejnictwa
Rok wydania: 2016
Liczba stron: 163
Bibliografia: 178 pozycji
ISBN: 978-83-930070-7-3

Pierwszymi źródłami elektryczności były urządzenia wykorzystujące zjawiska elektrostatyki, a następnie ogniwa chemiczne. Są to źródła prądu stałego, dlatego pierwszymi urządzeniami elektrycznymi były aparaty prądu stałego.

Pierwsze pojazdy trakcyjne, nad którymi pracowano w XIX w. miały moc kilku kilowatów, a pobierany przez nie prąd osiągał natężenie kilkudziesięciu amperów. Na początek XX wieku datuje się wzrost mocy pojazdów trakcyjnych do ponad 1 MW, co spowodowało, że przerywanie prądów o coraz większych wartościach stało się problematyczne i skomplikowane.

Wczesną formę wyłącznika opatentował Tomas Edison w 1879 roku. O tego czasu aparaty tego typu były systematycznie rozwijane, o czym świadczą liczne patenty z przełomu XIX i XX wieku. Pierwszym europejskim wyłącznikiem szybkim prądu stałego, którego konstrukcja przypomina obecnie stosowane wyłączniki magnetowydmuchowe, był aparat zaprezentowany przez firmę AEG w 1924 roku (rys. 1).

Obecnie na rynku dostępnych jest kilkanaście typów wyłączników szybkich produkowanych przez kilku producentów. Szczegóły rozwoju tych aparatów opisano w rozdziale 1: **Wprowadzenie**.

Wyłączniki szybkie prądu stałego, stosowane w wielu punktach układu zasilania trakcji elektrycznej, różnią się

¹ Dr inż.; Instytut Kolejnictwa, Zakład Elektroenergetyki; e-mail: arojek@ikolej.pl.

parametrami oraz mogą wykorzystywać kilka zasad fizyki w celu sprowadzenia prądu stałego do zera i jego wyłączenia. Z tego względu jest możliwy podział wyłączników szybkiego prądu stałego pod kilkoma względami.



Rys. 1. Karta katalogowa wyłącznika firmy AEG

W rozdziale 2: **Podział wyłączników szybkiego prądu stałego** przedstawiono podział wyłączników pod względem miejsca ich eksploatacji, szybkości wyłączenia prądu zwarcowego, napięcia pracy oraz funkcji. Szeroko również opisano podział wyłączników ultraszybkiego.

Systemy zasilania trakcji elektrycznej, jak każdy układ elektryczny, są narażone na zwarcia. W tych systemach zwarcia mogą występować po stronie prądu stałego i przemiennego. W zależności od miejsca wystąpienia zwarcia, za jego jak najszybsze wyłączenie odpowiadają różne zabezpieczenia. Charakter prądu zwarcowego jest również zależny od miejsca zwarcia i parametrów obwodu zwarcowego.

Tym zagadnieniom poświęcono rozdział 3: **Zwarcie w obwodzie prądu stałego systemu zasilania trakcji elektrycznej**, w którym, oprócz analiz i rozważań teoretycznych, opisano również sposoby wyznaczania minimalnych wartości prądów zwarcowych płynących w wyniku zwarc odległych, wymagania dotyczące nastaw wyłączników szybkiego, sposoby zwiększania minimalnych prądów zwarcia, metody wyzwiania wyłączników szybkiego i inne. W rozdziale tym czytelnik znajdzie wartości rezystancji sieci trakcyjnej o różnych przekrojach oraz opis systemu uszyczenia grupowego i jego funkcje.

W przeciwieństwie do prądu przemiennego, prąd stały nie przechodzi naturalnie, okresowo przez zero. W procesie wyłączenia prądu przemiennego przejście jego wartości przez zero powoduje jego naturalne wyłączenie, przy zachowaniu odpowiedniej przerwy izolacyjnej pomiędzy stykami wyłącznika lub rozłącznika.

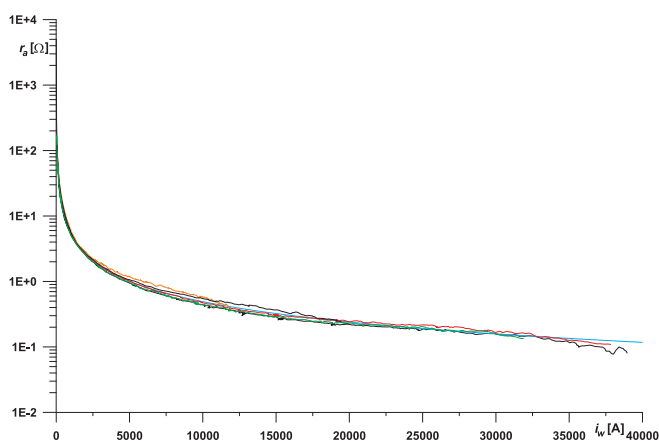
W przypadku prądu stałego, aby go wyłączyć, jego wartość należy sztucznie sprowadzić do zera i zapewnić

wytrzymałość napięciową przerwy międzystykowej, zapobiegając ponownemu przepływowi prądu. Proces ten opisano w rozdziale 4: **Wyłączanie prądu stałego**, w którym przedstawiono teorię oraz liczne równania opisujące wyłączenie prądu stałego w układzie RL. Przeanalizowano warunki, jakie muszą być spełnione, aby nastąpiło zgaszenie łuku elektrycznego, co wpływa na napięcie łuku, jego moc i energię oraz czas jego występowania.

W rozdziale tym opisano sposób wyłączenia prądu przez magnetowdmuchowy wyłącznik szybki oraz omówiono procesy jonizacji i dejonizacji przestrzeni między stykami wyłącznika. Poruszono również zagadnienia środków technicznych służących do przyspieszenia zjawiska dejonizacji.

Znaczna część tego rozdziału jest poświęcona zagadnieniom przepięć łączeniowych. Przedstawiono mechanizm ich powstawania oraz opisano podstawowe metody ograniczania przepięć, ilustrując ich skuteczność przebiegami zarejestrowanymi podczas licznych prób i badań.

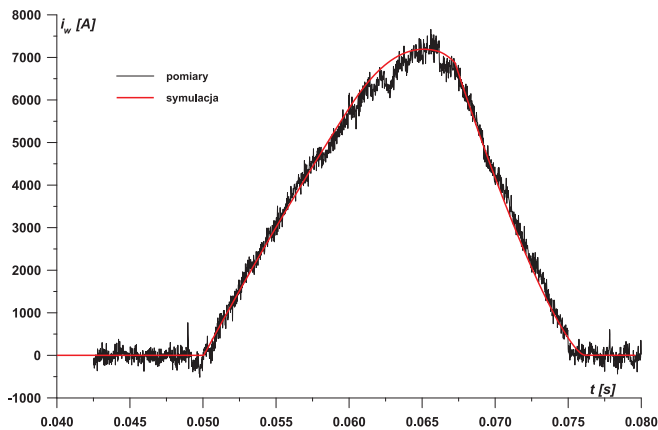
Z uwagi na szerokie zastosowanie metod symulacji numerycznych w pracach badawczych i projektowych, zagadnieniom tym poświęcono rozdział 5: **Modelowanie magnetowdmuchowych wyłączników szybkiego**. Zaprezentowano metodę odwzorowywania wyłączenia prądu przez wyłącznik, przez określenie rezystancji łuku w funkcji jego prądu. Przedstawiono równania $r_a = f(i_w)$ i ich przebiegi (rys. 2) wyznaczone na podstawie badań popularnych w Europie typów wyłączników szybkiego oraz przykłady wyników symulacji z zastosowaniem opisanej metody (rys. 3).



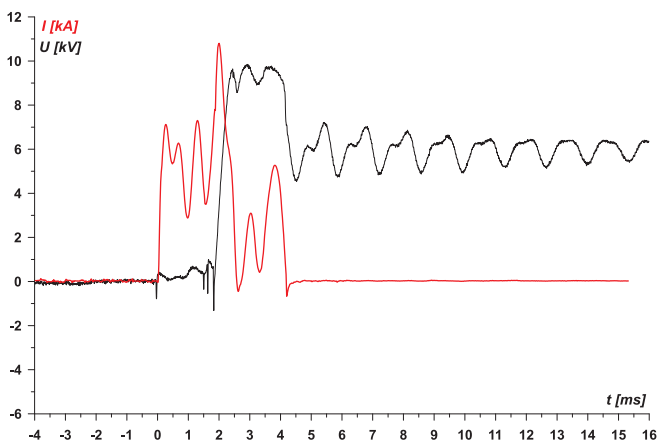
Rys. 2. Przebiegi $r_a = f(i_w)$ przy różnych R_o otrzymane z pomiarów (linie cienkie) oraz ich aproksymacja (linia gruba) dla wyłącznika szybkiego prądu stałego typu IR6040

W podstawach trakcyjnych stosowane są różnego rodzaju urządzenia wygładzające, które w swoich układach zawierają między innymi pojemności o wartości od kilku do kilkuset mikrofardów. Obecność pojemności w układzie, w którym powstaje zwarcie wyłączone przez wyłącznik szybki, nie jest bez znaczenia. Jak to wpływa na proces wyłączenia prądu przedstawiono w rozdziale 6: **Wpływ urządzeń pracujących w podstawach trakcyjnych na prze-**

bieg i wyłączenie prądu, w którym zjawisko to zilustrowano przebiegami zarejestrowanymi podczas pomiarów (rys. 4) oraz przedstawiono analizy teoretyczne dotyczące charakteru oddziaływania pojemności w układzie zwarciowym na przebieg prądu.



Rys. 3. Przebiegi prądu zwarcioowego w układzie z wyłącznikiem typu BWS uzyskane na podstawie pomiarów (przebieg czarny) i symulacji komputerowej (przebieg czerwony)



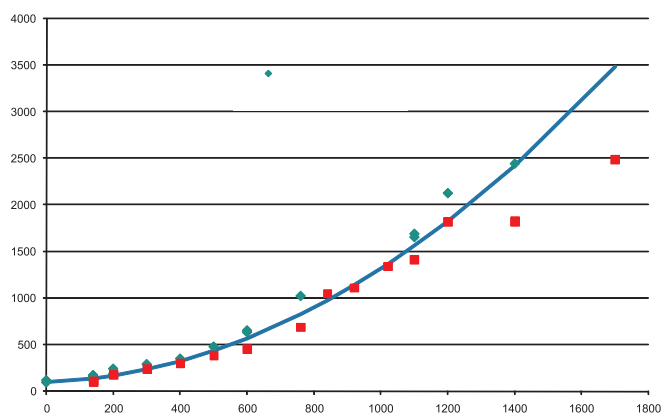
Rys. 4. Przebiegi napięcia i prądu zwarcioowego wyłączanego przez wyłącznik typu DCN przy załączonym rezonansowym urządzeniu wygładzającym

Wszystkie systemy i układy elektryczne powinny być wyposażone w układy minimalizujące skutki zwarcia i przeciążeń oraz odłączające od źródeł zasilania części układów, w których występują te zjawiska. Odłączenie zwarcia powinno nastąpić jak najbliżej miejsca jego powstania. Rozdział 7: **Koordinacja zabezpieczeń zwarciowych w układzie podstacja trakcyjna – pojazd trakcyjny** jest poświęcony temu zagadnieniu. Czytelnik znajdzie informacje o regulacjach prawnych i normatywnych oraz analizę teoretyczną i wyniki badań laboratoryjnych, dotyczących zagadnienia koordynacji zabezpieczeń.

W układzie prądu stałego nie jest możliwa stuprocentowa selektywność zadziałania zabezpieczeń. Ponieważ wyłączniki są fizycznymi urządzeniami elektryczno-mechanicznymi, potrzebują one określonego czasu na wyłączenie

prądu. O tym, czy czas działania wyłączników jest wystarczająco krótki, aby uzyskać wyłączenie selektywnej, decyduje kilka parametrów, w tym szybkość narastania wyłączającego prądu zwarcia.

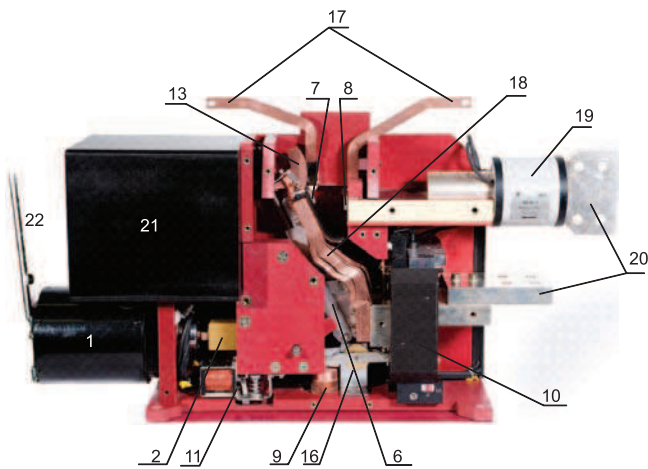
W rozdziale 7 przedstawiono wyniki badań koordynacji zabezpieczeń zwarciowych w układzie pojazd trakcyjny – podstacja trakcyjna dla różnych typów wyłączników taborowych i podstacyjnych. Wykazano, że dla każdej pary wyłączników, taborowego i podstacyjnego, jest możliwe określenie parametrów obwodu i różnicy ich nastaw, przy których nastąpi selektywne wyłączenie zwarcia powstającego w obwodach pojazdu trakcyjnego (rys. 5).



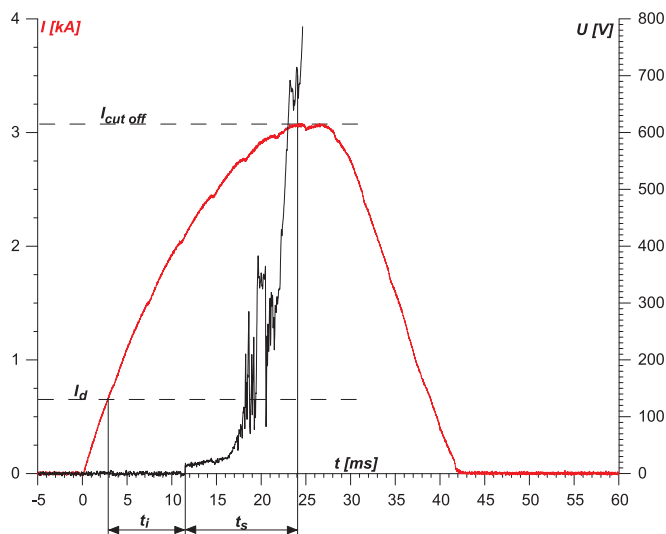
Rys. 5. Selektywność wyłączania zwarcia przez ultraszybki wyłącznik taborowy w zależności od stromości wzrostu prądu zwarcioowego obwodu i różnicy nastaw wyłączników taborowego próżniowego i podstacyjnego typu BWS: punkty zielone – wartości di/dt , przy których uzyskano koordynację zabezpieczeń; punkty czerwone – wartości di/dt , przy których nie uzyskano koordynacji zabezpieczeń; linia niebieska – graniczne wartości di/dt , przy których możliwe jest uzyskanie koordynacji zabezpieczeń

Rozdział 8: **Budowa i zasada działania wyłączników szybkich** jest najobszerniejszą częścią monografii. W podrozdziale 8.1: **Wyłączniki magnetywydmuchowe** szczegółowo opisano budowę i zasadę działania wyłączników: przerywnikowego, zapadkowego (rys. 6) i z przychwytem magnetycznym. Przedstawiono zasady pracy wyzwalaczy, urządzeń magnetywydmuchowych, budowę komór łukowych, ilustrując opisy licznymi rysunkami i fotografiami.

Scharakteryzowano parametry wyłączników magnetywydmuchowych: czas własny i czas łukowy. Opisano między innymi wyniki badań wpływu parametrów obwodu oraz wartości wyłączanego prądu na wartości tych czasów. Kolejnym czasem omówionym w monografii, który charakteryzuje wyłącznik szybki prądu stałego, jest czas łukowy zestykowy. Jest on istotnym czynnikiem wpływającym na szybkość wyłączania prądu. Jest to czas mierzony od chwili otwarcia styków wyłącznika do chwili osiągnięcia wartości maksymalnej przez wyłączany prąd zwarcioowy. Norma PN-EN 50123-2 nie charakteryzuje oraz nie obejmuje swoim zakresem tego parametru. W czasie łukowym zestykowym napięcie łuku jest na tyle niskie, że powoduje ograniczenie wyłączanego prądu w bardzo małym stopniu (rys. 7).



Rys. 6. Zapadkowy wyłącznik szybki typu Gerapid bez komory łukowej: 1) napęd elektromagnetyczny; 2) izolacyjny łącznik napędu i mechanizmu; 6) ramię styku ruchomego; 7) główny styk ruchomy; 8) główny styk stały; 9) wyzwalacz elektrodynamiczny; 10) wyzwalacz nadprądowy; 11) wyzwalacz napięciowy; 13) styk opalny; 16) bujak; 17) rożki łukowe; 18) złącze podatne; 19) pomiar prądu; 20) złącza główne; 21) obwody i złącza kontrolne oraz pomocnicze; 22) dźwignia napędu ręcznego (tylko do czynności serwisowych) [opracowanie własne na podstawie materiałów uzyskanych od producenta]



Rys. 7. Przebieg wyłączanego prądu i napięcia na wyłączniku ilustrujące wartości czasu własnego t_i i czasu łukowego zestykowego t_s

Kolejnym parametrem wyłączników szybkich opisanym w monografii jest zdolność wyłączania prądów krytycznych. Przedstawiono wyniki badań kilku typów wyłączników szybkich oraz zapisy dokumentów normatywnych i prawnych określających wymagania w tym zakresie. Opisano również metody poprawienia tego parametru przez zastosowanie różnych rozwiązań konstrukcyjnych wyłączników.

Odrębny podrozdział 8.2: **Wyłączniki ultraszybkie** jest poświęcony budowie i zasadzie działania tych aparatów. Opisano wyłączniki, których zasada działania jest oparta na wyłączaniu prądu stałego z wykorzystaniem przeciwprądu oraz aparaty z aktywnym elementem półprzewodnikowym.

W rozdziale 9: **Wymagania prawne i normatywne stawiane wyłącznikom szybkim prądu stałego** zawarto informacje o wymaganiach prawnych i normatywnych stawianych wyłącznikom szybkim prądu stałego. Informacje te podzielono na dwie części – dotyczące wyłączników taborowych oraz przeznaczonych do pracy w podstacjach trakcyjnych i kabinach sekcyjnych. Obejmuje zakres badań oraz procedury dopuszczania wyłączników szybkich do eksploatacji.

W rozdziale 10: **Wyłączniki szybkie eksploatacyjne w Polsce i Europie** czytelnik, oprócz informacji o tym, gdzie są eksploatowane wyłączniki różnych producentów, znajdzie zestawienia podstawowych danych technicznych wyłączników taborowych i podstacyjnych na napięcia od 600 do 4000 V.

Monografia kończy się **podsumowaniem** oraz **spisem literatury**, w którym oprócz wykazu publikacji, przytoczono liczne patenty oraz wyniki prac badawczych.

Informację opracowano na podstawie monografii pt. „Wyłączniki szybkie prądu stałego w transporcie szynowym”; autor: Artur Rojek, Wydawca: Instytut Kolejnictwa, 2016 r.