

Artur Rojek

# Nowe i najnowsze rozwiązania urządzeń w układzie zasilania trakcji elektrycznej w Polsce

*W artykule przedstawiono rozwój konstrukcji urządzeń zasilania trakcji elektrycznej w Polsce (na sieci PKP), jaki dokonał się od początku lat 80. W skład wyposażenia obiektów zasilania elektrotrakcyjnego wchodzi wiele grup i typów urządzeń, z tego względu artykuł ten poświęcono tylko kilku z nich, do których należą: transformatory prostownikowe, przekształtniki diodowe, filtry – urządzenia wygładzające, wyłączniki szybkie, ograniczniki przepięć oraz urządzenia automatyki obiektów zasilania.*

Za początek elektryfikacji w Polsce przyjęto datę 15.12.1936 r. – dzień uroczystego otwarcia 43-kilometrowego odcinka Otwock – Warszawa – Pruszków. Zgodnie z wnioskiem prof. Romana Podolskiego do elektryfikacji kolei przyjęto system 3000 V prądu stałego. System ten wówczas był nowoczesny i spełniał wszystkie ówczesne i planowane wymagania ruchowe. W 1937 r. oddano do użytku kolejne dwa odcinki: Pruszków – Żyrardów i Warszawa Wschodnia – Mińsk Mazowiecki. Do 1939 r. oddano łącznie 104 km linii, na których wybudowano 6 podstacji trakcyjnych, 6 kabin sekcyjnych i 260 km sieci trakcyjnej.

Odcinek Warszawa Wschodnia – Otwock był pierwszym odbudowanym po wojnie zelektryfikowanym odcinkiem linii kolejowej, zasilanym z podstacji w Otwocku. Podstacja ta jako jedyna nie została zniszczona w wyniku działań wojennych. Odtworzenie elektryfikacji do stanu z 1939 r. trwało do 1953 r. Równoległe z odbudową zelektryfikowanych linii przedwojennych rozpoczęła się elektryfikacja pozostałych linii. Jako pierwsza linia magistralna została zelektryfikowana linia Warszawa – Gliwice. Podczas powojennej elektryfikacji kolei polskich utrzymano system prądu stałego 3 kV, który jest wykorzystywany do dziś.

W rozwoju urządzeń wchodzących na wyposażenie podstacji trakcyjnych można wyróżnić dwa momenty przetomowe. Pierwszym z nich było zastąpienie prostowników rtęciowych krzemowymi, a drugim wdrożenie zasilania podstacji trakcyjnych napięciem 110 kV. Wprowadzeniu transformacji jednostopniowej 110/3 kV towarzyszyły zmiany w innych grupach urządzeń pracujących na podstacjach.

## Transformatory prostownikowe

Rzeczony rozwój transformatorów prostownikowych bardzo dobrze jest widoczny przy porównaniu jednostek wchodzących w skład zespołów prostownikowych typu PK-17/3,3 i PD-17/3,3.

Transformator zespołu prostownikowego PK-17 (fot.1) jest jednostką dwuuzwojową o mocy 4,4 MVA i przekładni napięciowej 15/2,6 kV. Natomiast transformator pracujący w zespole typu PD-17 (fot. 2) ma cztery uzwojenia o mocach 7,3/3,15/3,15/1 MVA i przekładnię napięciową 115/1,3/1,3/16,5 kV. Dwa uzwojenia o mocach 3,15 MVA zasilają prostownik, a uzwojenie o napięciu 16,5 kV i mocy 1 MVA służy do zasilania potrzeb własnych podstacji oraz linii potrzeb nietrakcyjnych. Transformatory zespołów PD-17 wyposażono w przełączniki zacze- pów, które można przełączać pod obciążeniem. Przełączniki te mają 17 pozycji o zakresie  $\pm 10\%$ , co pozwala na precyzyjne dostosowanie przekładni napięciowej transformatora do poziomu napięcia zasilającego lub na regulację poziomu napięcia wyprostowanego. Przełączanie zacze- pów może odbywać się ręcznie lub automatycznie, zgodnie z zadanym programem (np. w zależności od wartości napięcia zasilającego podstację).

Najnowszym rozwiązaniem w zakresie transformatorów prostownikowych jest jednostka z zespołu typu PD-1,7/3,3 (fot. 3). Podobnie jak w zespołach PD-17 moc uzwojeń prostownikowych



Fot. 1. Transformator prostownikowy zespołu typu PK-17/3,3



Fot. 2. Transformator prostownikowy zespołu typu PD-17/3,3



Fot. 3. Transformator prostownikowy zespołu typu PD-1,7/3,3



Fot. 4. Dwie z trzech szaf prostownika zespołu typu PK-17

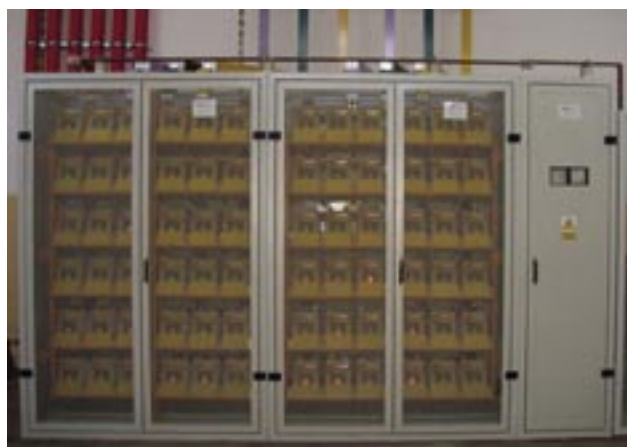
tego transformatora ma wartość 6,3 MVA (6,3/3,15/3,15 MVA), lecz jest on zasilany napięciem średnim.

Transformatory te są przeznaczone do modernizowanych podstacji trakcyjnych, gdy konieczne jest zwiększenie mocy zespołów prostownikowych, a zasilanie podstacji napięciem 110 kV jest niemożliwe lub ekonomicznie nieopłacalne. Transformatory tego typu mają niską wartość procentowego napięcia zwarcia i wraz z prostownikiem takim, jak w zespołach z jednostopniową transformacją napięcia, tworzą zespoły prostownikowe o parametrach zbliżonych do zespołu PD-17. Ponadto, gabaryty transformatorów do zespołów PD-1,7 pozwalają na ich montaż na stanowiskach transformatorów zespołów PK-17, pomimo tego, że ich moc jest prawie o połowę większa.

Dalszy rozwój transformatorów prostownikowych prawdopodobnie będzie związany z wprowadzeniem do ich konstrukcji, zamiast obecnie stosowanej izolacji celulozowej, izolacji syntetycznej z materiału o nazwie NOMEX. Materiał ten pozwala na osiągnięcie wyższych przyrostów temperatury uzwojeń i izolacji, co z kolei daje możliwość znacznego zmniejszenia wymiarów rdzenia, całkowitych gabarytów, masy i objętości kadzi. Skutkiem tego jest zmniejszenie strat jałowych transformatora liczonych na jednostkę mocy, zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych (mniejsza objętość oleju i zmniejszona jego degradacja), kosztów transportu itp. W odwrotnym podejściu, zachowując wymiary transformatora można zwiększyć jego moc. Pierwsze jednostki tego typu pracują już w układach zasilania trakcji w Azji i Europie (Niemcy).

### Przekształtniki diodowe (prostowniki)

Obok transformatora prostownik jest drugim, głównym elementem zespołu prostownikowego. O rozwoju w dziedzinie prostowników świadczy stale zmniejszająca się liczba diod niezbędnych do jego budowy. Prostownik do zespołu typu PK-17 (fot. 4) jest mostkiem trójfazowym lub sześciofazowym prostownikiem półokwowy składającym się z 288 diod. Prostowniki zespołów PD-12 i PD-16 budowane są w układzie dwóch mostków trójfazowych połączonych szeregowo, a liczba diod niezbędna do ich konstrukcji zmniejszyła się do 72. W najnowszych rozwiązaniach zespoły typu PD-17 wyposażone są w prostowniki złożone z 72



Fot. 5. Prostownik do zespołu typu PD-17 (PD-1,7) w wykonaniu budynkowym



Fot. 6. Fragment prostownika do zespołu typu PD-17 w wykonaniu kontenerowym

diod, w wykonaniu budynkowym (fot. 5), lub z 24 diod, w wykonaniu przeznaczonym do zabudowy w kontenerze (fot. 6). Prostownik 72-diodowy wykorzystywany jest również w zespołach typu PD-1,7.

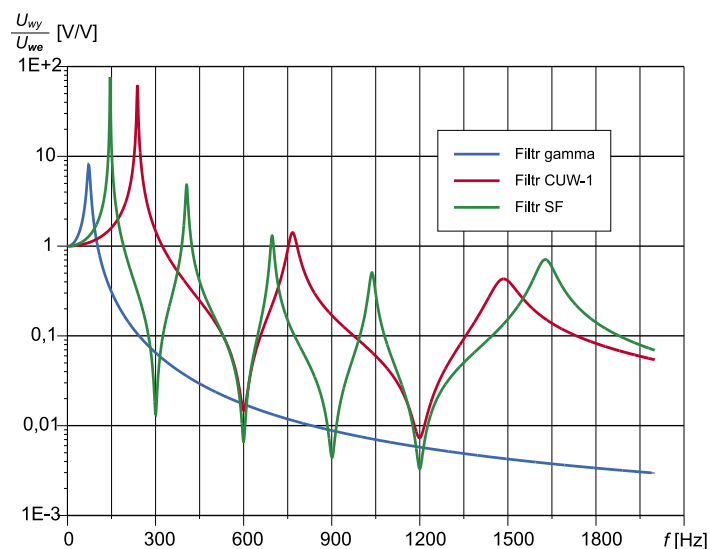
Równolegle ze zmniejszającą się liczbą diod wzrasta prąd znamionowy zespołów prostownikowych. Przy znamionowaniu zespołów w klasie przeciążalności VIb prąd znamionowy zespołu PK-17 wynosił 750 A, a dla zespołów PD-17 wzrósł on do 1100 A (w wykonaniu budynkowym) lub 1050 A (w wykonaniu do zabudowy w kontenerze). Dla klasy III prąd znamionowy zespołu PD-17 wynosi 1700 A bez względu na wykonanie prostownika.

W związku ze zwiększeniem się mocy transformatorów i mocy zwarciowej zwiększyła się również wytrzymałość zwarciowa prostowników. Dopuszczalna wartość prądu zwarcia prostowników PD-17, w zależności od wykonania (budynkowe lub do zabudowy w kontenerze), wynosi 28 lub 22 kA dla czasu zwarcia 200 ms i 41 lub 33 kA dla  $t = 20$  ms. Dla porównania, wytrzymałość zwarciowa dla  $t = 200$  ms prostowników do zespołów PD-16 wynosi 18,5 kA, a dla zespołów PK-17 – 11 kA.

Projektanci prostowników do zespołów PD-17 (PD-1,7) powrócili do idei sygnalizacji wizualnej stanu diod, której jest barak w prostownikach zespołów PD-12 i PD-16. Wizualizacja stanu diod była zastosowana w prostownikach zespołów PK-17, gdzie



Fot. 7. Bateria kondensatorów filtru gamma



Rys. 1. Charakterystyki napięciowo-częstotliwościowe rezonansowych urządzeń wygładzających i filtru gamma

o stanie grupy diod informowała neonówka. W prostownikach PD-17 w wykonaniu budynkowym o stanie diod prostowniczych informują diody LED, bezpośrednio zamontowane na każdym module diodowym. W przypadku przebicia diody prostowniczej, dioda sygnalizacyjna przestaje się świecić.

W prostownikach typu PD-17 przeznaczonych do instalacji w kontenerze wykorzystano podobne rozwiązanie. Różnica polega na tym, że informacja o stanie diod prostowniczych podawana jest na module z diod LED zainstalowanym w przedsiönku kontenera prostownika.

Nowym rozwiązaniem w prostownikach do zespołów typu PD-17 jest pomiar temperatury w wybranych punktach. Wykonywane są pomiary w trzech punktach:

- 1) na obudowie diody,
- 2) na radiatorze,
- 3) w szafie prostownika.

Do pomiaru temperatur obudowy diody i radiatora zostały wybrane te elementy, które podczas badań fabrycznych nagrzewały się najbardziej. Wyniki pomiarów temperatur przekazywane są do układów automatyki podstacyjnej i zabezpieczeń, które w przypadku przekroczenia nastawionych wartości temperatury w którymś z punktów pomiarowych, wyłączają zespół lub go odciążają przez włączenie do pracy równoległej dodatkowego zespołu.

## Filtry – urządzenia wygładzające

Impulsem do opracowania i wdrożenia nowych rozwiązań w dziedzinie urządzeń wygładzających było wprowadzenie do eksploatacji jednostopniowej transformacji napięcia 110/3 kV. Wraz z transformacją jednostopniową wprowadzono, indywidualne dla każdego zespołu, filtry gamma. Podstawowymi elementami filtru tego typu są dławik katodowy zespołu prostownikowego i bateria kondensatorów (fot. 7), która wyposażona jest w układ ograniczający jej prąd ładowania i rezystory rozładowujące.

Zasadniczą różnicą filtru gamma w stosunku do rezonansowych urządzeń wygładzających (stosowanych z zespołami PK-17, PD-12 i PD-16) jest jego charakterystyka. Na rysunku 1 przedstawiono charakterystyki napięciowo-częstotliwościowe filtru gamma oraz eksploatowanych urządzeń wygładzających.

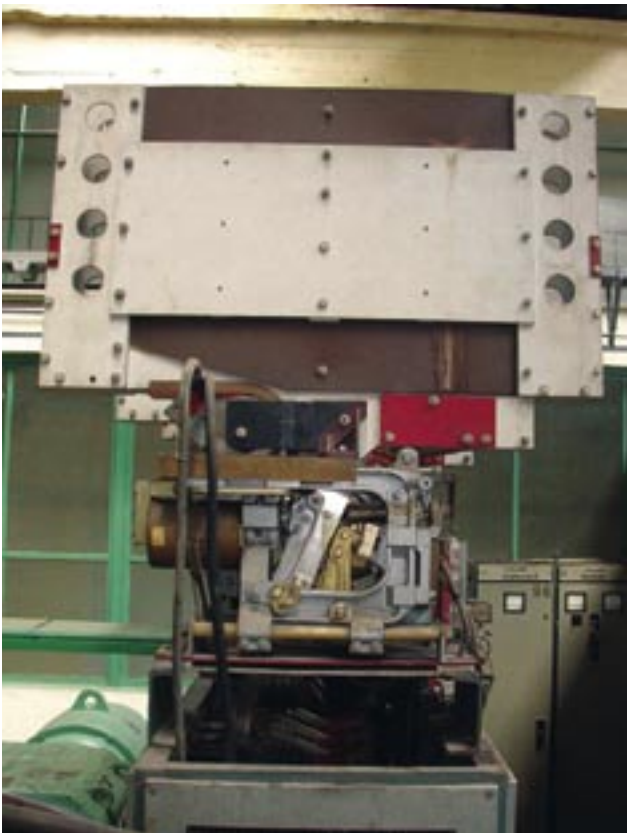
Dzięki swojej charakterystyce, filtr gamma tłumi wszystkie harmoniczne o częstotliwości powyżej pewnej wartości (około 100 Hz). Natomiast filtry rezonansowe tłumią tylko harmoniczne o częstotliwościach charakterystycznych dla układu prostownika (6- lub 12-pulsowy).

Ma to szczególne znaczenie w przypadku występowania asymetrii napięcia zasilającego zespół prostownikowy lub asymetrii transformatora prostownikowego. Występujące wówczas harmoniczne niecharakterystyczne są tłumione przez filtr gamma niezależnie od ich częstotliwości, zaś urządzenia wygładzające typu rezonansowego części tych harmonicznych nie tłumią, a niektóre wręcz wzmacniają.

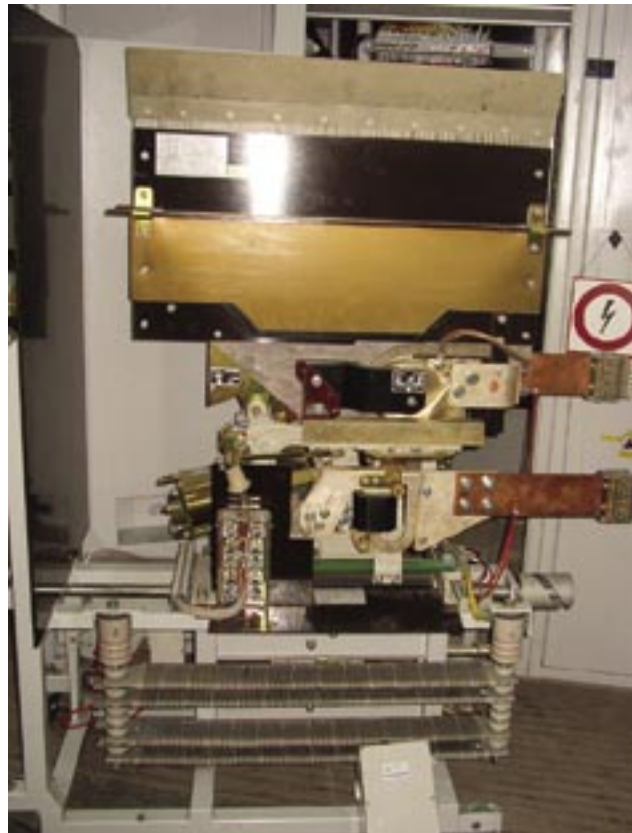
Kolejną zaletą filtrów gamma jest brak potrzeby ich strojenia, w przeciwieństwie do urządzeń rezonansowych, których obwody wymagają podczas eksploatacji okresowego strojenia do określonych częstotliwości rezonansowych.

## Wyłączniki szybkie prądu stałego

Rzeczywisty rozwój wyłączników szybkich związany był ze zwiększaniem się mocy zwarciowej na szynach prądu stałego podstacji trakcyjnych. Do początku lat 90. ubiegłego wieku podstawowym typem wy-



Fot. 8. Wyłącznik szybki prądu stałego typu WSe



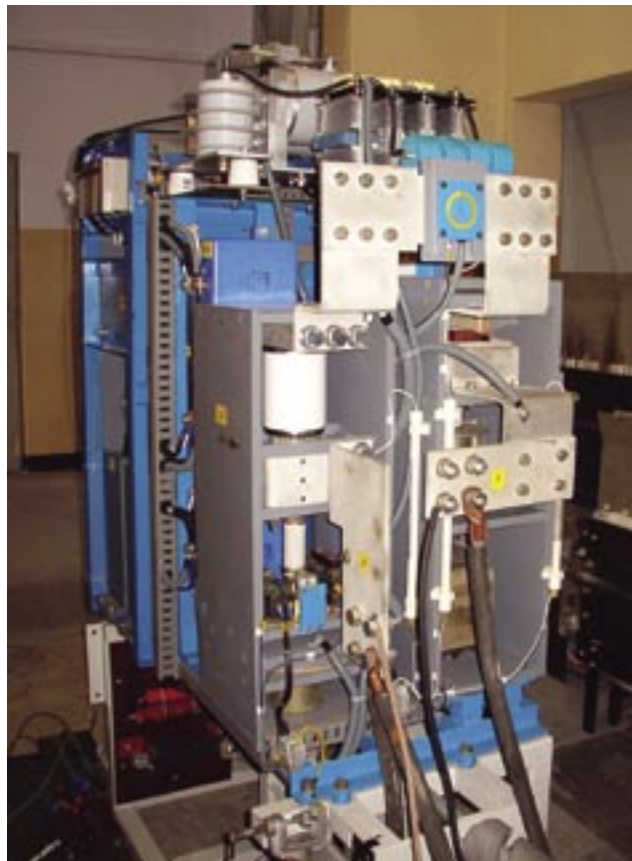
Fot. 9. Wyłącznik szybki prądu stałego typu BWS-50 zamontowany na wózku wraz z urządzeniem próby linii

łącznika szybkiego eksploatowanym w polskich podstacjach trakcyjnych był WSe.

Modernizacja wyłączników szybkich odbywała się w dwóch zakresach: eliminacja azbestu z komór łukowych oraz zwiększenie zdolności łączeniowych prądów zwarciovych. Maksymalny prąd wyłączalny wyłączników WSe z komorą azbestową wynosił 20 kA, co dla podstacji wyposażonych w zespoły prostownikowe PD-16 było wartością zbyt małą. Z tych względów firma Apena opracowała na bazie wyłącznika WSe wyłącznik typu BWS, który z komorą łukową KBD-3/40 ma zdolność wyłączenia prądów zwarciovych o wartości do 40 kA.

Wprowadzenie jednostopniowej transformacji napięcia 110/3 kV zrodziło potrzebę użycia w podstacjach trakcyjnych wyłączników szybkich będących w stanie wyłączyć spodziewany prąd zwarciovowy o wartości 50 kA. W odpowiedzi na to zapotrzebowanie powstała nowa generacja wyłączników BWS oznaczonych symbolem BWS-50 (fot. 9). Obecnie we wszystkich nowych i modernizowanych rozdzielniach prądu stałego w podstacjach trakcyjnych instalowane są właśnie te wyłączniki.

Wyłączniki typu WSe, BWS i BWS-50 są klasycznymi aparatami wyposażonymi w powietrzne komory łukowe (gaszenie łuku, po jego rozciągnięciu, zdejonizowaniu i ochłodzeniu, następuje w powietrzu). W najnowszym rozwiązaniu wyłącznika szybkiego została zastosowana inna zasada wyłączenia prądu stałego. Instytut Aparatów Elektrycznych Politechniki Łódzkiej i zakład Woltan opracowały wyłącznik szybki typu DCN (fot. 10), który nie ma powietrznej komory łukowej. W wyłącznikach tych do wyłączenia prądu stałego wykorzystano zasadę wyłączenia przeciwprądem. Zasada ta polega na wymuszonym sprowadzeniu w komorze próżniowej prądu stałego do zera za pomocą impulsu prądowego o kierunku przeciwnym niż prąd wyłączany. Impuls przeciwprądu

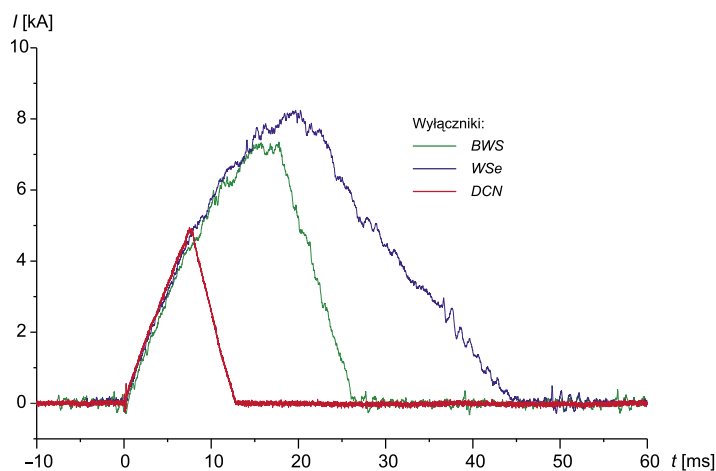


Fot. 10. Wyłącznik szybki prądu stałego typu DCN

generowany jest przez dodatkowe źródło – uprzednio naładowaną baterię kondensatorów.

Wyłączniki typu DCN nie są jeszcze eksploatowane w podstacjach trakcyjnych i kabinach sekcyjnych. Obecnie przechodzą one badania w CNTK. Podobne konstrukcje, wykorzystujące zasadę przeciwną, przeznaczone do pojazdów trakcyjnych są już zainstalowane w kilkudziesięciu pojazdach trakcyjnych różnych serii.

Oprócz zwiększenia zdolności łączeniowej wyłączników szybkich, wraz z ich rozwojem następuje proces skracania czasu wyłączenia zwarć. Ilustruje to rysunek 2, na którym przedstawiono przebiegi prądów zwarciovych wyłączanych przez wyłączniki typu WSe, BWS i DCN. Wszystkie prezentowane przebiegi zostały zarejestrowane w tym samym obwodzie zwarciovym.

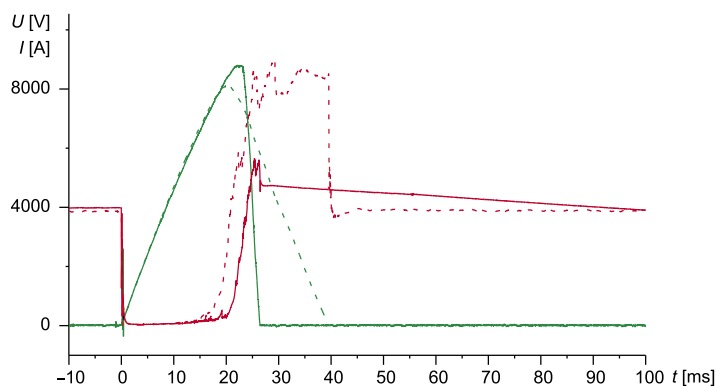


Rys. 2. Przebiegi prądów zwarciovych wyłączanych przez wyłączniki typu WSe, BWS i DCN

## Ograniczniki przepięć

Skrócenie czasu wyłączenia prądów zwarciovych i obciążeniowych powoduje zwiększenie stromości zaniku prądu w obwodzie. Szybki zanik prądu wywołuje na indukcyjnościach występujących w układzie (indukcyjność dławika katodowego zespołu PD-17 ma wartość około 6 mH) przepięcia, których poziom może być niebezpieczny dla urządzeń pracujących w podstacji i zasilanych z sieci trakcyjnej.

W celu ograniczenia przepięć łączeniowych od 2000 r. zaczęto stosować tyrystorowe ograniczniki przepięć. Ogranicznik tego



Rys. 3. Przebiegi zwarciove prądu (kolor zielony) i napięcia (kolor czerwony) na wyjściu zespołu prostownikowego w układzie bez i z ogranicznikiem przepięć

typu, włączony równolegle do dławika katodowego zespołu, w przypadku wystąpienia na dławiku napięcia przekraczającego określoną wartość przechodzi w stan przewodzenia. Zwiera on wówczas dławik pozwalając na wytlumienie energii przepięcia w obwodzie: ogranicznik – dławik katodowy.

Efekt działania tyrystorowego ogranicznika ilustruje rysunek 3, na którym przedstawiono przebiegi napięcia i prądu zwarciovego w układzie z ogranicznikiem (linie ciągłe) i bez ogranicznika (linie przerywane).

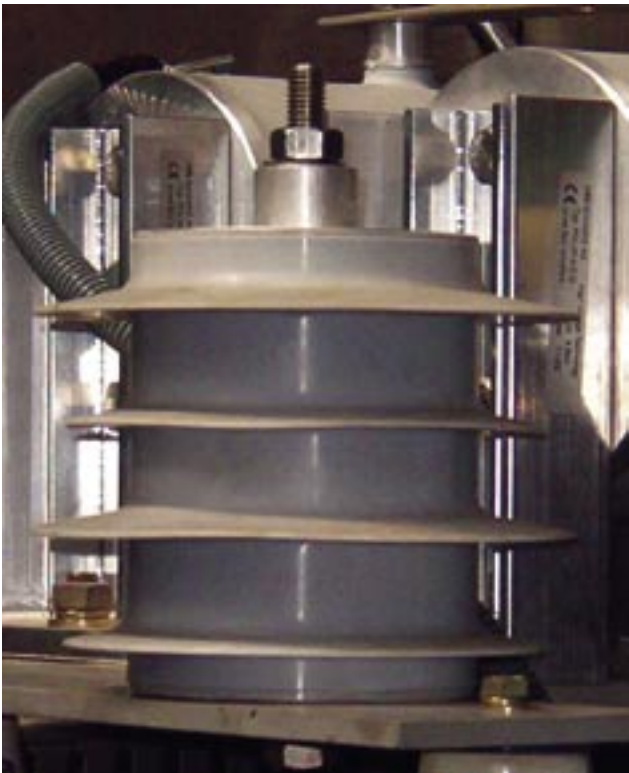
Na rysunku 3 widoczne jest również, że zastosowanie tyrystorowego ogranicznika przepięć, oprócz ograniczenia poziomu przepięcia, powoduje skrócenie czasu wyłączenia prądu przez wyłącznik szybki. Dzieje się tak, ponieważ ogranicznik przepięć podczas swojego działania bocznkuje dławik katodowy (zwiera go przez małą rezystancję), co powoduje zmniejszenie się stałej czasowej obwodu i możliwe jest szybsze sprowadzenie prądu do zera przez wyłącznik. Z kolei szybkie ograniczenie prądu – skrócenie czasu palenia się łuku, wiąże się ze zmniejszeniem się energii łuku gaszonego w komorze łukowej, a zatem zmniejsza się zużycie komory.

Z tych względów tyrystorowe ograniczniki przepięć, opracowane z myślą o ich zastosowaniu w podstacjach z jednostopniową transformacją napięcia, zaczynają być instalowane również w podstacjach zasilanych napięciem średnim.

W zakresie ograniczania przepięć atmosferycznych postęp w układzie zasilania trakcji elektrycznej jest podobny jak w energetyce zawodowej. Następuje sukcesywne zastępowanie zawodnych i ciężkich odgromników zaworowych przez ograniczniki skonstruowane na bazie warystorów. W układzie zasilania trakcji odgromniki zaworowe typu GZM 4 (fot. 11) zastępowane są mniejszymi, lżejszymi i charakteryzującymi się znacznie mniejszą awaryjnością, beziskiernikowymi ogranicznikami przepięć, np. typu GX5 5,6 (fot. 12).



Fot. 11. Odgromnik zaworowy typu GZM 4



Fot. 12. Beziskiernikowy ogranicznik przepięć typu GXS 5,6

### Automatyka obiektów zasilania

Dzięki rozwojowi techniki mikroprocesorowej stało się możliwe wprowadzenie w obiektach zasilania trakcji elektrycznej nowej generacji urządzeń automatyki i zabezpieczeń. Automatyka ta oparta jest o indywidualne sterowniki poszczególnych urządzeń. Opracowanie specjalnie do zastosowania w obiektach elektroenergetyki kolejowej jednolitego sposobu wymiany informacji między urządzeniami automatyki i zabezpieczeń, za pośrednictwem magistrali CAN-Bus/RS 485, umożliwia bezkonfliktową współpracę urządzeń od różnych producentów oraz w konfiguracji dostosowanej do potrzeb.

Wprowadzenie techniki mikroprocesorowej do urządzeń automatyki pozwoliło na znaczne zmniejszenie ich niezawodności, zwiększenie liczby wykonywanych funkcji sterowania i monitorowania pracy urządzeń w obiektach zasilania. Znacznemu zmniejszeniu uległy też wymiary urządzeń automatyki. W celach porównawczych na fotografiach 13 i 14 przedstawiono automatykę celki zasilacza wykonaną w technice mikroprocesorowej i przekąźnikowej.

### Podsumowanie

Rzeczywisty rozwój techniki w zakresie wyposażenia obiektów zasilania elektrotrakcyjnego pozwala na budowę lub modernizację podstacji trakcyjnych mających większą moc, bez konieczności zwiększania liczby zespołów prostownikowych. W niektórych przypadkach wzrost mocy podstacji uzyskuje się nawet przy zmniejszeniu liczby zespołów.

Oprócz zwiększenia mocy, nastąpiła również poprawa jakości energii elektrycznej dostarczanej do sieci trakcyjnej. Podstacje wyposażone w nowe rozwiązania i typy opisanych urządzeń dostarczają do sieci trakcyjnej napięcie o mniejszej zawartości wyższych harmonicznych, i którego poziom jest bardziej stabilny



Fot. 13. Mikroprocesorowe urządzenia automatyki celki zasilacza



Fot. 14. Automatyka celki zasilacza wykonana w oparciu o przekąźniki

w czasie poboru prądu przez pojazd trakcyjny. Ponadto poprawa niezawodności urządzeń i ich sterowania wpływa korzystnie na pewność zasilania pociągów.

Przedstawione zmiany pozwalają na taką modernizację układu zasilania trakcji elektrycznej w Polsce, aby mógł on dostarczać energię w ilości i o jakości niezbędnej do prowadzenia ruchu pociągów z prędkością 160 km/h, a nawet 200/250 km/h.

Dokończenie na s. 73 >

Zaletą tego typu silnika jest także duża przeciążalność momentem determinowana prądem dopuszczalnym tranzystorów i wytrzymałością mechaniczną: wału, sprzęgła i przekładni.

## Wnioski

W tablicy zestawiono parametry charakterystyczne 4 rodzajów silników trakcyjnych (rys. 1), które stosuje się, bądź można zastosować do napędu tramwaju 105N.

## Zestawienie podstawowych parametrów silników napędu głównego tramwaju 105N

Parametr	Rodzaj silnika				
	LTb-220 rys. 1a	DC+mag. tr. rys. 1b	indukcyjny rys. 1c	z komut. elektr. rys. 1d	
Moc znamionowa S1 [kW]	40	53	53	53	77
Napięcie znamionowe [V]	300	300	380	380	380
Moc pobierana [kW]	44,94	57,84	57,94	55,32	81,94
Straty mocy [W]	4940	4842	4940	2320	4940
Sprawność [%]	89	91,6	91,5	95,8	94,0

Z zestawienia tego wynika, że silnik prądu stałego wzbudzany magnesami trwałymi (rys. 1b) i silnik indukcyjny (rys. 1c) mają prawie identyczną moc znamionową i sprawność znamionową. Najkorzystniejszym rozwiązaniem napędu tramwajów typu 105N z uwagi na moc silników napędowych i ich przeciążenie momentem umożliwiającą silniki z komutatorem elektronicznym wzbudane magnesami trwałymi (rys. 1d).

Silniki te mają jedną strefę regulacji prędkości obrotowej (rys. 3), regulacja ta odbywa się poprzez zmianę napięcia zasilania. Silniki z komutatorem elektronicznym gwarantują największą

przeciążalność momentem. Silnik z komutatorem elektronicznym ma trwałość i niezawodność pracy podobną jak silniki indukcyjne. Silniki z komutatorem elektronicznym mogą być znacznie łatwiejsze i tańsze w produkcji, gdyż można ich obwód magnetyczny oprzeć na wykrojach blach silników indukcyjnych, np. STD 200L4.

W bilansie strat energii układu napędowego należy uwzględnić także straty w układzie energoelektronicznym, którymi w artykule nie się zajmowano.



## Literatura

- [1] Dokumentacja konstrukcyjna silnika LT-220.
- [2] Glinka T.: *Maszyny elektryczne wzbudane magnesami trwałymi*. Wyd. Pol. Śląskiej. Gliwice 2002.
- [3] Dokumentacja konstrukcyjna i protokół próby silnika STD 200 L4.
- [4] Glinka T.: *Silnik trakcyjny przeznaczony do napędu tramwaju*. Materiały V Konferencji SEMTRAK 92. Politechnika Krakowska 1992.
- [5] Giziński Z.: *Krajowy tabor trakcyjny – stan obecny, perspektywy, zagrożenia*. Wiadomości Elektrotechniczne 3/2003.

## Autorzy

prof. dr hab. inż. Tadeusz Glinka – Politechnika Śląska, Gliwice  
[tglinka@polsl.gliwice.pl](mailto:tglinka@polsl.gliwice.pl)

dr inż. Barbara Kulesz – Politechnika Śląska, Gliwice  
[bkulesz@polsl.gliwice.pl](mailto:bkulesz@polsl.gliwice.pl)

➤ Dokończenie ze s. 69

## Literatura

- [1] Praca zbiorowa. *60 lat elektryfikacji PKP*. Centralna Dyrekcja Okręgowa Kolei Państwowych. Warszawa 1996.
- [2] Małewski R., Rojek A., Duart J.C.: *Zastosowanie izolacji NOMEX-celuloza do transformatorów prostownikowych zasilających sieć trakcyjną*. VIII Symposium – Problemy Eksploatacji Układów Izolacyjnych Wysokiego Napięcia. Zakopane 2001.
- [3] Korzycki E., Sakowicz S., Świątek H., Zymmer K.: *Zespoły prostownikowe 12-pulsowe do podstacji trakcyjnych PKP zasilanych średnim napięciem*. Technika Transportu Szynowego 3-4/2002.
- [4] *Trakcyjne zespoły prostownikowe o pulsacji 12-fazowej i napięciu 3 kV*. Centralne Biuro Projektowo-Badawcze Budownictwa Kolejowego. Warszawa 1987.
- [5] *WTO-41/4LA/98 – Prostownik diodowy – typ PD-17/3,3 – wersja kontenerowa*. ABB Industry Sp. z o.o. Łódź 1998.
- [6] *Dokumentacja techniczna. Postownik diodowy 1700 A, 3300 V dla zespołu prostownikowego z jednostopniową transformacją napięcia 110/*

*/3 kV*. Instytut Elektrotechniki. Zakład Przekształtników Mocy. Warszawa 1998.

- [7] *Karta katalogowa nr 93.13 – Wyłącznik szybki prądu stałego BWS*. Fabryka Aparatów Elektrycznych „Apena”. Bielsko-Biała 1993.
- [8] *Karta katalogowa nr 97.03 – Wyłącznik szybki prądu stałego BWS-50*. Fabryka Aparatów Elektrycznych „Apena”. Bielsko-Biała 1997.
- [9] *Nadzór na wdrożeniu i eksploatacją nowych urządzeń zasilania, automatyki i zabezpieczeń podstacji trakcyjnych*. Praca CNTK nr 3041/28. Warszawa 2001.

## Autor

dr inż. Artur Rojek

Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa w Warszawie