

Andrzej Baranecki, Joanna Nichthausser, Tadeusz Płatek

# Wielosystemowe przetwornice statyczne

*Perspektywa integracji przewozów na obszarze europejskim skłania do analizy aktualnych uwarunkowań oraz do zastanowienia się nad możliwościami dostosowania taboru do przyszłych wymagań. Jednym z tych wymagań jest możliwość eksploatacji pojazdów przy różnych systemach zasilania trakcyjnego. Historycznie ukształtowało się ich na terenie Europy kilka (rys. 1) i poza nielicznymi przypadkami modernizacji linii nie ma uzasadnienia ekonomicznego i technicznego do pełnej unifikacji systemów zasilania trakcyjnego w skali całego kontynentu. Dynamiczny rozwój energoelektroniki, jaki nastąpił w ostatnich latach, oraz coraz szersze jej zastosowanie w rozwiązaniach kolejowych umożliwiają dostosowanie pojazdów kolejowych – przy stosunkowo niskich kosztach – do eksploatacji w różnych systemach zasilania.*

Jednym z aktualnych problemów – wynikających z szerokiego spektrum napięć występujących w europejskich sieciach trakcyjnych – jest zasilanie obwodów niskiego napięcia w instalacjach wagonów.

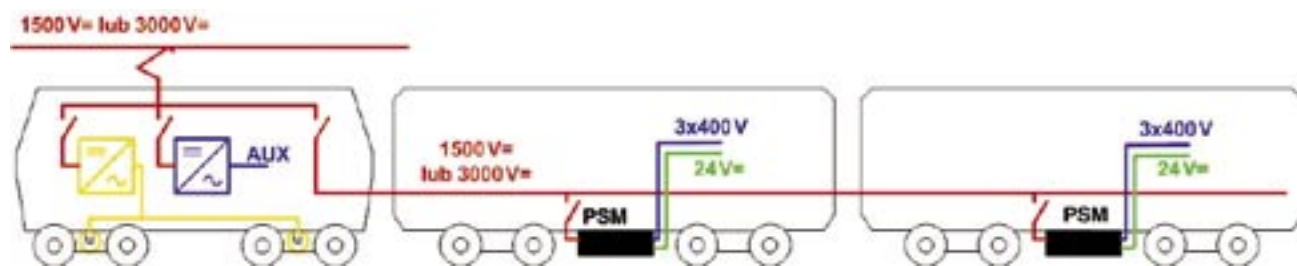
Tradycyjne rozwiązania, jak przetwornice wirujące (silnik – generator), czy przetwornice mechaniczne (generator z napędem od kół pojazdu), charakteryzują się dużą masą i stwarzają wiele problemów eksploatacyjnych. Wymagają one częstych przeglądów i napraw (zwiększających koszty eksploatacji), a w przypadku przetwornic mechanicznych istotne są również ograniczenia związane z prędkością pojazdu trakcyjnego. Problemy eksploatacyjne występują również przy eksploatacji dawnych konstrukcji przetwornic statycznych (tyrystorowych), związane z wysoką awaryjnością i brakiem części zamiennych.

Znacznie lepszymi parametrami charakteryzują się nowoczesne przetwornice tranzystorowe, w których są wykorzystywane najnowsze technologie i podzespoły elektroniczne. Najnowszej generacji wysokonapięciowe, tranzystorowe moduły HV IGBT o wysokiej trwałości cyklicznej, pozwalają na znaczne uproszczenie obwodów silnoprądowych oraz układów sterowania przetwornic. Nowoczesne magnetyczne materiały amorficzne i nanokrystaliczne – stosowane w rdzeniach elementów indukcyjnych – pozwalają na znaczne zmniejszenie wymiarów i zwiększenie sprawności urządzeń, natomiast technika światłowodowa w układzie sterowania zapewnia odpowiedni poziom izolacji i eliminację zakłóceń elektromagnetycznych. Wykorzystywany w przetwornicach mikroprocesorowy system sterowania realizuje dynamiczne, wielopoziomowe zabezpieczenie przeciwzwarciowe oraz zapewnia algorytm sterowania, umożliwiający obniżenie zawartości harmonicznych w wyjściowym napięciu przemiennym. Wpływa to na zwiększenia trwałości zasilanych silników, poprzez zmniejszenie strat mocy, ograniczenie przepięć w uzwojeniach oraz eliminację szybkiego spadku trwałości izolacji.

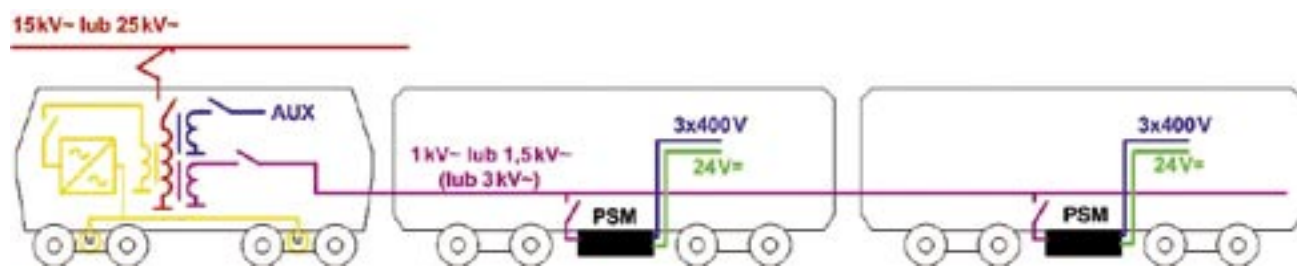
Wymienione, przykładowe czynniki decydują o wysokiej niezawodności układów zasilania z nowoczesnymi przetwornicami statycznymi. Przetwornice te mogą być zasilane bezpośrednio z sieci trakcyjnej, lub – w przypadku napięć 15 kV 16 2/3 Hz i 25 kV 50 Hz – z pojazdowej magistrali WN.

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono dwa systemy zasilania pojazdu trakcyjnego przy sieciach trakcyjnych DC i AC.

Napięcie sieci trakcyjnej DC jest wykorzystywane (rys. 2) przez system napędowy i przetwornicę pokładową w lokomotywie, przeznaczoną do zasilania obwodów pomocniczych (AUX). Poprzez magistralę WN są zasilane przetwornice wagonowe, zapewniające pracę wagonowych odbiorników AC i DC.



Rys. 2. System zasilania pojazdu przy napięciu sieci trakcyjnej 1500 V DC lub 3000 V DC



Rys. 3. System zasilania pojazdu przy napięciu sieci trakcyjnej 15 kV AC lub 25 kV AC

W systemie przedstawionym na rysunku 3, napięcie sieci trakcyjnej AC jest doprowadzone do transformatora wejściowego, poprzez który jest zasilany system napędowy, obwody pomocnicze lokomotywy (AUX) oraz magistrala WN. Magistrala WN

umożliwia zasilanie przetwornic wagonowych, dostarczających wymagane napięcia w instalacjach niskiego napięcia.

Zgodnie z kartą UIC 550 (oraz GOST 6962 dla 3 kV), w trakcyjnych magistralach pojazdowych kolei europejskich mogą występować napięcia wykazane w tabelicy 1.



Rys.1. Systemy zasilania trakcyjnego na terenie Europy

W praktyce eksploatacyjnej można zaobserwować istotne odstępstwa realnych poziomów napięcia w sieciach trakcyjnych od wartości podanych w tabelicy 1. Z tego powodu przetwornice trak-

cyjne powinny pracować poprawnie w szerszych zakresach dopuszczalnych napięć wejściowych.

Nowoczesne, statyczne przetwornice trakcyjne mogą być dedykowane dla pracy w jednej strefie napięciowej DC lub AC, jak również dostosowane do pracy wielosystemowej, zapewniającej działanie przy wszystkich napięciach występujących w pojazdowych magistralach WN. Wymienione typy przetwornic różnią się blokami wejściowymi, przetwarzającymi napięcie sieci lub magistrali WN na pośrednie napięcie stałe.

W układzie przedstawionym na rysunku 4 napięcie wejściowe po odfiltrowaniu (1) jest przetwarzane (2) – z uwzględnieniem izolacji galwanicznej – na pośrednie napięcie stałe (3), którym są zasilane wyjściowe przetwornice DC/AC (4) lub DC/DC (5). Pracę przetwornicy nadzoruje mikroprocesorowy system sterowania (6), zapewniający również sygnalizację pracy urządzenia oraz generowanie sygnałów alarmowych.

W przetwornicy na rysunku 5 napięcie wejściowe zostaje obniżone przez transformator (1), a następnie wyprostowane (2) i odfiltrowane (3), dla uzyskania pośredniego napięcia DC. Dalsze podzespoły działają tak, jak w układzie z rysunku 4.

Na wejściu przetwornicy (rys. 6) jest zainstalowany prostownik (1), przetwarzający napięcie wejściowe w przypadku sieci trakcyjnej AC. Następnym blokiem jest przetwornica DC/DC (2) (z wewnętrzną izolacją galwaniczną), wytwarzająca pośrednie napięcie stałe.

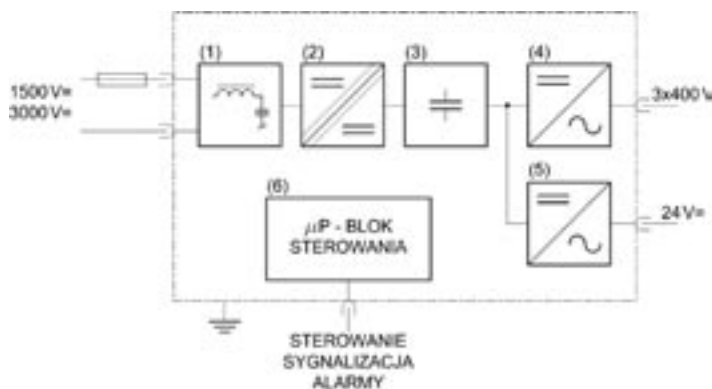
Niezależnie od przedstawionych na rysunkach bloków, ilustrujących zasadę pracy przetwornic statycznych, w rzeczywistych rozwiązaniach występują jeszcze układy ochronne, filtry i system soft-startu, oraz opcjonalnie – system niezależnego zasilania przetwornicy z peronowej sieci 3 × 400 V.

Parametry dwóch przykładowych przetwornic wielosystemowych zestawiono w tabelicy 2.

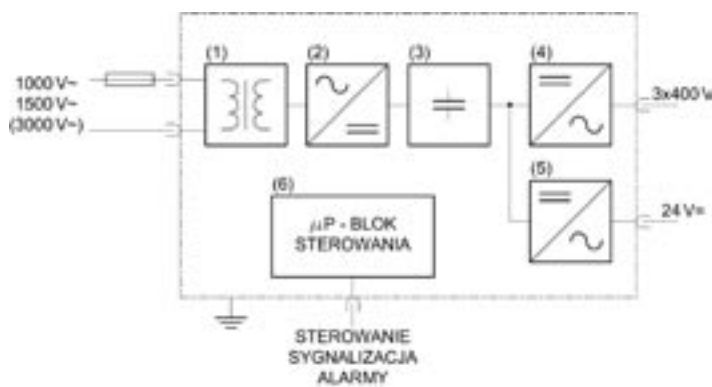
W przypadku współpracy z baterią akumulatorów, przetwornica zapewnia ograniczenie prądu ładowania oraz kompensację napięcia baterii w funkcji temperatury otoczenia. Zmniejsza to wpływ na żywotność baterii, częstych rozładowań oraz jej eksploatacji w szerokim zakresie temperatur.

Przyjęte rozwiązania konstrukcyjne oraz zastosowane technologie powodują, że seria przetwornic PSM (12 typów) charakteryzuje się następującymi cechami:

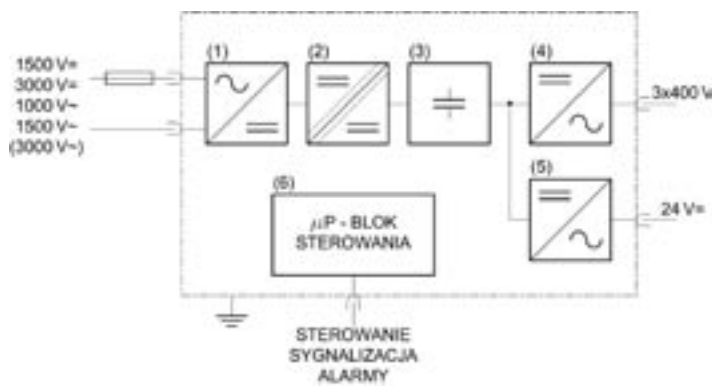
- wysoką niezawodnością – średni czas międzyawaryjny (MTBF) wynosi 40–60 tys. godzin pracy;
- szerokim zakresem dopuszczalnych napięć wejściowych;
- wysoką odpornością na przepięcia występujące w sieci trakcyjnej;
- wysoką sprawnością (> 83%);



Rys. 4. Schemat blokowy przetwornicy dostosowanej do zasilania napięciem DC



Rys. 5. Schemat blokowy przetwornicy dostosowanej do zasilania napięciem AC



Rys. 6. Schemat blokowy przetwornicy wielosystemowej, dostosowanej do zasilania szerokim zakresem napięć DC i AC

Tabela 1

## Dopuszczalne poziomy napięć w pojazdowych magistralach WN na terenie Europy

		UIC 550				GOST 6962	
Napięcie podwyższone	$U_{max} 4$	Wytrzym. 1 ms	10 kV=	12 kV=	12 kV=	14 kV=	
	$U_{max} 3$	Działanie 20 ms	1620 V~	2320 V~	2538 V=	5075 V=	
	$U_{max} 2A$	Działanie 2 s	1250 V~	1860 V~	2050 V=	4050 V=	
	$U_{max} 2$	Praca 5 min	1200 V~	1740 V~	1950 V=	3900 V=	
	$U_{max} 1$	Praca ciągła	1150 V~	1650 V~	1800 V=	3600 V=	4000 V= 3600 V~
Napięcie znamionowe	$U_n$		1000 V~	1500 V~	1500 V=	3000 V=	3 kV= 3 kV~
Napięcie obniżone	$U_{min} 1$	Praca ciągła	800 V~	1140 V~	1000 V=	2000 V=	2200 V= 2200 V~
	$U_{min} 2$	Praca 10 min	700 V~	1050 V~	900 V=	1800 V=	

## Parametry techniczne dwóch przykładowych przetwornic wielosystemowych

		PSM-6k5W	PSM-50W
Moc znamionowa	[kW]	6,5	50
Wejściowe napięcia DC	[V]	1500, 3000	1500, 3000
Zakres zmian wejściowego napięcia DC	[V]	1000 ÷ 4000	1000 ÷ 4000
Wejściowe napięcia AC	[V]	1000*, 1500	1000*, 1500
Zakres zmian wejściowego napięcia AC	[V]	800 ÷ 1740	800 ÷ 1740
Wyjściowe napięcie DC	[V]	24 (220 A)	24 (230 A)
Stabilizacja napięcia DC	[%]	1	1
Tętnienia napięcia DC	[%]	0,5	0,5
Wyjściowe napięcie AC	[V]	—	3 × 400 (65 A) 230 (26 A)
Stabilizacja napięcia AC	[%]	—	≤ ± 5
Stabilizacja częstotliwości	[%]	—	≤ ± 0,2
Zawartość harmonicznych	[%]	—	≤ 5
Sprawność ogólna	[%]	> 83	> 83
Zakres temperatur otoczenia	[°C]	-30 + 40	-30 + 40
Typ obudowy		IP56	IP56
Masa	[kg]	ok. 180	ok. 1100
Wymiary	[mm]	1000 × 905 × 606	2000 × 2100 × 560

\* Dotyczy 16 2/3 Hz oraz 50 Hz.

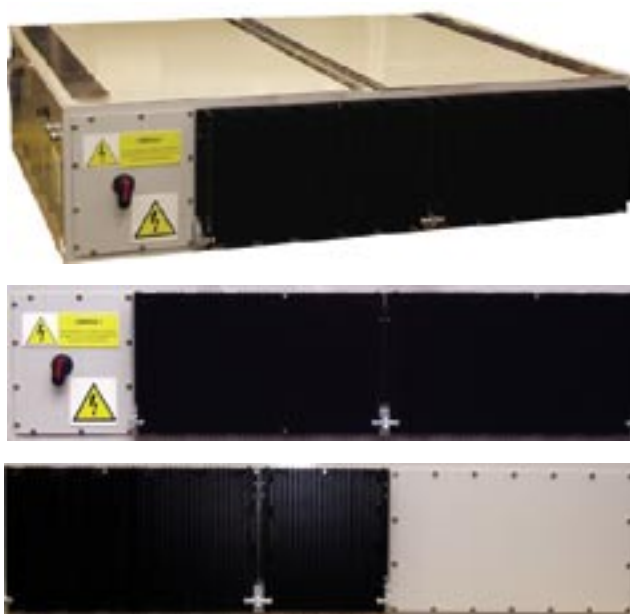
- znacznym obniżeniem kosztów eksploatacji w porównaniu z przetwornicami tradycyjnymi.

Reasumując można stwierdzić, że wielosystemowe przetwornice statyczne stanowią – przy różnorodnych aktualnie systemach trakcyjnych na obszarze Europy – optymalne rozwiązanie problemu zasilania niskonapięciowych instalacji w wagonach mieszczących się po szlakach europejskich.

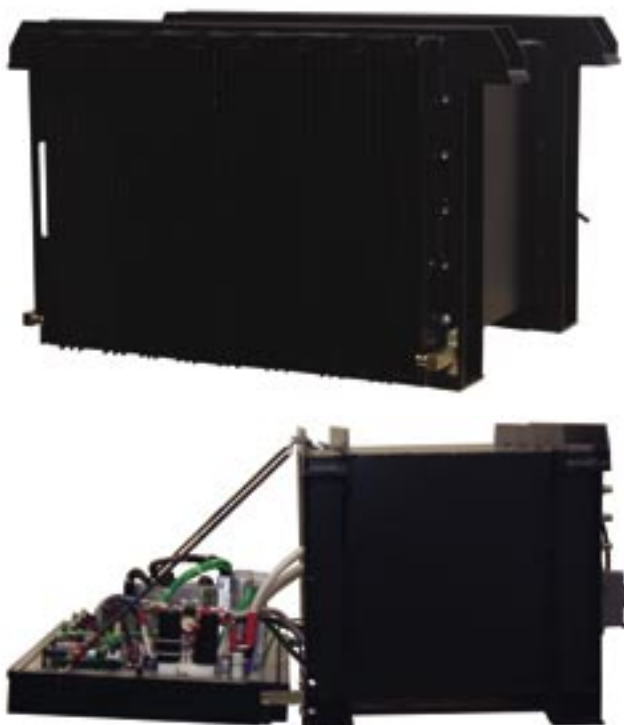
□

### Literatura

- [1] Baranecki A., Płatek T., Niewiadomski M.: *Statyczne przetwornice trakcyjne*. Elektro.Info 3/2002.
- [2] Baranecki A., Niewiadomski M., Płatek T.: *Nowoczesne przetwornice tranzystorowe dla trakcji*. SEMTRAK 2002 – X Konferencja Trakcji Elektrycznej. Zakopane 10.2002 r.
- [3] Schütze T.: *Technology, applications and reliability aspects of 6.5 kV IGBT modules*. Seminarium PELINCEC. ISEP PW. Warszawa 12.2004 r.
- [4] www.eupec.co.: *Products – Products Range – IGBT*.



Fot. 1. Przetwornica statyczna wielosystemowa PSM-50W, widok od strony modułów wysokiego i niskiego napięcia



Fot. 2. Przetwornica statyczna wielosystemowa PSM-6k5W – zamknięta i otwarta

- bardzo dobrymi właściwościami regulacyjnymi, przyczyniającymi się do uzyskania zwiększonej trwałości baterii (wysoka stabilność napięcia oraz bardzo niski poziom tętnień napięcia i prądu, termiczna korekcja napięcia wyjściowego oraz precyzyjne ograniczenie prądu ładowania akumulatorów);
- wysoką przeciążalnością, gwarantującą poprawną pracę odbiorników;
- odpornością na wpływy atmosferyczne;

### Autorzy

dr inż. Andrzej Baranecki  
mgr inż. Joanna Nichthauser  
dr inż. Tadeusz Płatek  
Medcom Sp. z o.o.  
info@medcom.com.pl