

Wybrane problemy praktyczne układów trakcyjnych KDP

W konstrukcji nowoczesnych pojazdów szynowych są szeroko stosowane rozwiązania energoelektroniczne – przekształtniki i falowniki do napędów lokomotyw, elektrycznych zespołów trakcyjnych (ezt), pociągów metra, tramwajów oraz tranzystorowych przetwornic statycznych, wykorzystywanych do zasilania instalacji AC i DC w pojazdach. Urządzenia są wykonywane z zastosowaniem nowoczesnych podzespołów - tranzystory HV IGBT - oraz rozwiązań technologicznych, zapewniających wysoką niezawodność oraz bardzo dobre parametry eksploatacyjne.

Układy napędowe prądu przemiennego

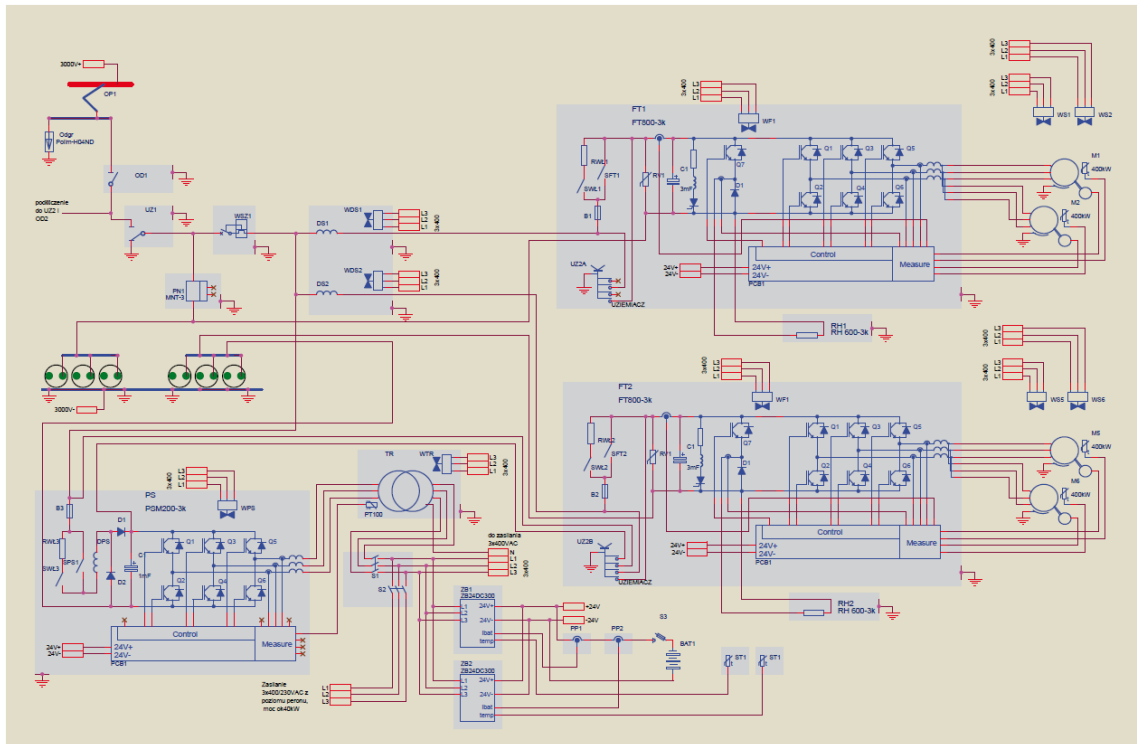
Silniki trakcyjne są zasilane z falowników trakcyjnych, projektowane do konkretnych pojazdów i wykorzystujące nowoczesne elementy IGBT. Falowniki charakteryzują się wysoką sprawnością i niezawodnością. Wykorzystują one metody sterowania FOC SVPWM (*Field Orientation Control Space Vector Pulse Width Modulation*). Zapewniają antypoślizgowe sterowanie momentem napędowym poszczególnych osi pojazdu, efektywne hamowanie elektrodynamiczne w całym zakresie prędkości pojazdu, hamowanie awaryjne przy braku napięcia w sieci trakcyjnej, zwrot energii do sieci podczas hamowania, z wytracaniem nadmiaru energii w rezystorach hamowania – po przekroczeniu maksymalnej wartości napięcia rekuperacji, pracę przy szerokim zakresie zmian napięcia w sieci trakcyjnej jak i szerokim zakresie zmian temperatury otoczenia. Nowoczesne rozwiązania spełniają europejskie normy w zakresie bezpieczeństwa oraz zakłóceń radiowych. Falowniki mogą być chłodzone powietrzem w obiegu wymuszonym (rozwiązanie bezobsługowe) lub mieć chłodzenie cieczowe. Najlepszym rozwiązaniem technicznym jest zastosowanie układu jednego falownika na każdy silnik trakcyjny, spotyka się też rozwiązania jednego falownika zasilającego dwa silniki trakcyjne.

Proces sterowania rozruchem i hamowaniem uwzględnia przy tym eliminacje poślizgu podczas rozruchu i hamowania, realizację funkcji jazdy z zadana prędkością jak i pracę z zadany momentem – zarówno rozruchowym jak i hamowania, czyli zapewne właściwego przyspieszenia w czasie rozruchu i opóźnienia w czasie hamowania. W czasie trwania hamowania elektrodynamicznego bardzo ważnym zagadnieniem jest zapewnienie właściwej współpracy hamulca pneumatycznego z hamulcem elektrodynamicznym, zwłaszcza w zakresie małych prędkości jazdy (tzw. *blending*). Do realizacji procesów sterowania wykorzystuje się czujniki temperatury uzwojeń i czujniki prędkości obrotowej (najczęściej magnetyczne), zabudowane w silniku trakcyjnym. Nowoczesne rozwiązania układowe tablic pneumatycznych hamulca wykorzystują sterowniki mikroprocesorowe, które na bieżąco współpracują ze sterownikami falowników trakcyjnych.

Przy projektowaniu obwodu napędowego należy także odpowiednio dobrać moc rezystora hamowania. Z reguły powinien on posiadać moc równa mocy pojazdu trakcyjnego, co umożliwi efektywne hamowanie pełną mocą silników trakcyjnych. Rezystor taki musi być wyposażony w czujniki temperatury i szybkości przepływu powietrza chłodzącego. Wyzwaniem dla konstruktorów jest takie zaprojektowanie rezystora, by mógł on odprowadzać moc rzędu kilku megawatów i zmieścić się w bardzo ograniczonej przestrzeni pojazdu – w jego wnętrzu lub na dachu, a wentylator rezystora nie generował zbyt dużego poziomu hałasu.

Przykładowym rozwiązaniem układowym napędu jest układ przedstawiony na rysunku 1, opracowany przez firmę MEDCOM.

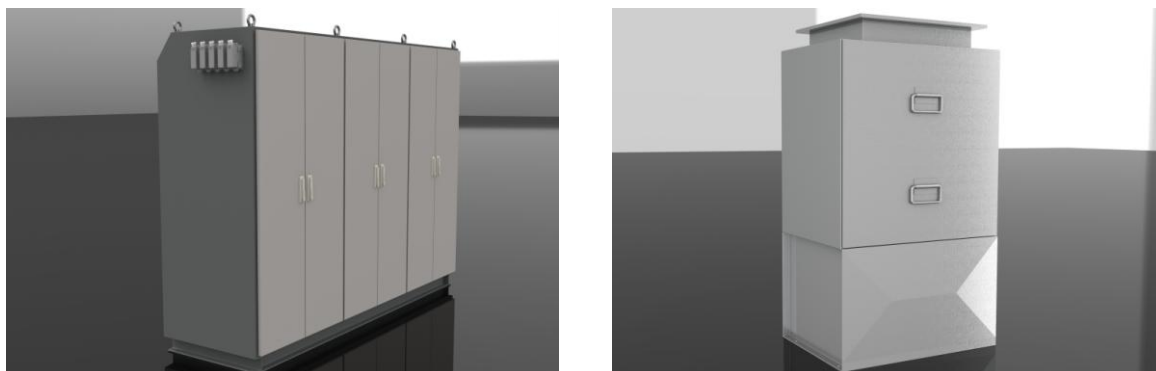
¹ Dr inż.; MEDCOM



Rys. 1. Układ napędu elektrycznego zespołu trakcyjnego DP.

Cechami charakteryzującymi układy napędowe AC firmy są:

- silniki asynchroniczne z przetwornikami prędkości obrotowej i temperatury,
- cyfrowy system sterowania w technologii DSP (Digital Signal Processor),
- metoda sterowania FOC SVPWM (Field Orientation Control Space Vector Pulse Width Modulation),
- antypoślizgowe sterowanie momentem napędowym poszczególnych osi pojazdu,
- efektywne hamowanie elektrodynamiczne w całym zakresie prędkości pojazdu,
- hamowanie awaryjne przy braku napięcia w sieci trakcyjnej,
- zwrot energii do sieci podczas hamowania, z wytracaniem nadmiaru energii w rezystorach hamowania – po przekroczeniu maksymalnej wartości napięcia rekuperacji,
- rezystory hamowania ze stali nierdzewnej,
- praca przy szerokim zakresie zmian napięcia w sieci trakcyjnej,
- praca przy szerokim zakresie zmian temperatury otoczenia ($-40^{\circ}\text{C} \div +40^{\circ}\text{C}$),
- diagnostyka i rejestracja stanów awaryjnych (z interfejsem CAN2.0B lub RS232),
- wymuszone chłodzenie powietrzne podzespołów systemu napędowego, obniżające koszty eksploatacji i zmniejszające ryzyko ekologiczne w przypadku awarii,
- niski poziom hałasu,
- obudowy przystosowane do mocowania na dachu, w podwoziu lub wewnątrz pojazdu,
- przy mocowaniu zewnętrznym obudowa z aluminium, zapewniająca wysoką odporność na wpływy atmosferyczne,
- spełnianie europejskich norm w zakresie bezpieczeństwa oraz zakłóceń radiowych.



Rys. 2. Widok falownika i rezystora hamowania lokomotywy elektrycznej.

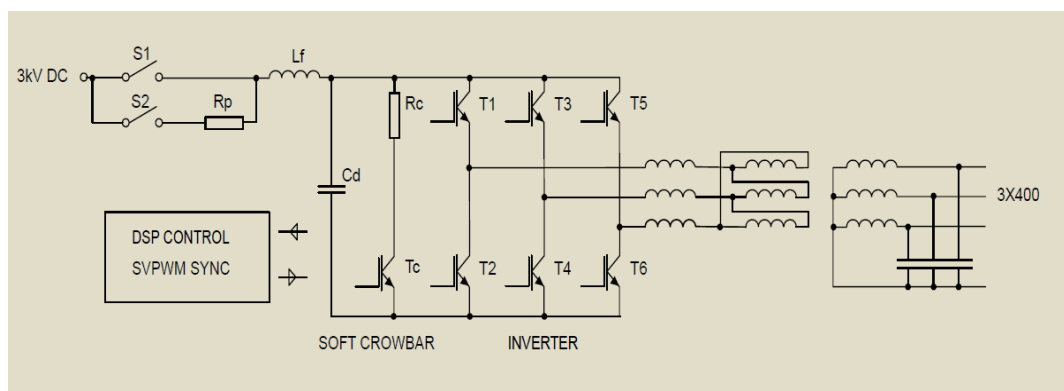
Opracowana seria tranzystorowych napędów asynchronicznych umożliwiła realizację szeregu wdrożeń, jak np: autobusy szynowe EN81, elektryczne zespoły trakcyjne EN57, ED74 (ED59), 19WE / 20WE, tramwaje Swing i Tramino czy metro Sao Paulo.

Eksploatacja wykonanych układów napędowych AC i DC potwierdza ich bardzo dobre parametry użytkowe oraz wysoką niezawodność przyjętych rozwiązań technicznych.

Przetwornice trakcyjne

Tranzystorowe przetwornice statyczne serii PSM – przeznaczone do zasilania instalacji DC i AC niskiego napięcia przy wykorzystaniu energii z sieci trakcyjnej – są wykonywane jako wielosystemowe i jednosystemowe. Wielosystemowe są dostosowane do pracy przy zasilaniu wszystkimi napięciami, występującymi w pojazdowej magistrali WN na terenie Europy (wg UIC-550), lub jednosystemowe – przeznaczone do eksploatacji przy jednym napięciu wejściowym. Dodatkową opcją jest napięcie wejściowe 3 kV / 50 Hz oraz możliwość zasilania przetwornicy napięciem peronowym 3x400 V. Osobną grupę przetwornic stanowią urządzenia o niskim napięciu wejściowym, wytwarzające na wyjściu napięcie niezbędne w zasilanej instalacji pojazdu. Przetwornice są aktualnie wytwarzane w zakresie mocy od 4,5 kW do 200 kW.

Przykładowe rozwiązanie przetwornicy statycznej dla taboru szynowego przedstawiono na rysunku 3.



Parametry techniczne PSM-200

Napięcie znamionowe wejściowe	3000 VDC +30% -30%
Prąd znamionowy	300 Arms
Prąd wyjściowy maksymalny	450 Arms (60 s)
Moc znamionowa	200 kW
Częstotliwość	50 Hz
THD(u)	≤ 5%
Wytrzymałość izolacji	12 kV
Chłodzenie	Wymuszone powietrzne
Masa	1300 kg

Rys 3. Przetwornicy statycznej dla taboru szynowego firmy MEDCOM.

Cechami charakteryzującymi statyczne przetwornice trakcyjne są:

- możliwość zasilania obwodów AC (50Hz, 60Hz, z regulacją częstotliwości) oraz DC,
- szeroki zakres dopuszczalnych zmian napięć wejściowych,
- wysoka odporność na przepięcia występujące w sieci trakcyjnej,
- wysoka przeciążalność gwarantująca poprawną pracę odbiorników,
- wysoka stabilizacja parametrów napięć wyjściowych,
- niska zawartość harmonicznych w wyjściowym napięciu AC, wpływająca na zwiększenie trwałości zasilanych silników,
- termiczna korekcja napięcia ładowania baterii akumulatorów oraz precyzyjne ograniczenie prądu ładowania,
- wysoka sprawność (>83%),
- praca przy szerokim zakresie zmian temperatury otoczenia (-30° C ÷ +40° C),
- przy mocowaniu zewnętrznym obudowa z aluminium, zapewniająca wysoką odporność na wpływy atmosferyczne,
- nowoczesne materiały amorficzne i nanokrystaliczne stosowane w rdzeniach elementów indukcyjnych (zmniejszenie gabarytów podzespołów i strat energii),
- technika światłowodowa w układzie sterowania (zapewnienie odpowiedniego poziomu izolacji i eliminacja wpływu zakłóceń elektromagnetycznych),
- wysoka niezawodność – średni czas międzyawaryjny (MTBF) wynosi 40–60 tys. godzin pracy,
- znaczne obniżenie kosztów eksploatacji w porównaniu z przetwornicami tradycyjnymi.

Aktualnie dla trakcji kolejowej jest produkowanych ok. 40 odmian przetwornic statycznych, dostosowanych do wymagań odbiorców.

Zasilacze do ładowania baterii akumulatorów

Przetwornice statyczne wyeliminowały w zasadzie przetwornice elektromaszynowe, oferując wysoką niezawodność i sprawność, bezobsługowość, szeroki zakres napięć wejściowych (wg UIC) i wyjściowych. Tranzystorowe przetwornice statyczne przeznaczone do zasilania instalacji DC i AC niskiego napięcia przy wykorzystaniu energii z sieci trakcyjnej.

Dodatkową opcją jest możliwość zasilania przetwornicy napięciem peronowym 3x400 V. Nowoczesne rozwiązania integrują także zasilacze do ładowania baterii akumulatorów, z kontrolą prądu ładowania i kompensacją temperaturową ładowania baterii.

Bateria akumulatorów w pojeździe trakcyjnym jest eksploatowana w szerokim zakresie temperatur oraz w warunkach częstego rozładowania co wpływa niekorzystnie na jej żywotność. Dla ograniczenia wpływu wymienionych czynników, w firmie MEDCOM opracowano specjalne zasilacze trakcyjne serii ZB, zapewniające – oprócz zasilania odbiorników DC – odpowiednie parametry ładowania baterii. Wartość końcowego napięcia ładowania jest dostosowywana do temperatury otoczenia baterii, zgodnie z termiczną charakterystyką określaną przez producenta. Prąd ładowania jest ograniczany do wartości wymaganej przez producenta.

Cechami charakteryzującymi zasilacze trakcyjne serii ZB firmy MEDCOM są:

- napięcie wejściowe 3x400 VAC lub 230 VAC (w zależności od mocy znamionowej),
- napięcie wyjściowe 24 VDC lub 36 VDC,
- wysoka stabilizacja napięcia wyjściowego ($\leq 1\%$),
- niskie tętnienia napięcia wyjściowego ($\leq 0,5\%$),
- termiczna kompensacja napięcia wyjściowego,
- ograniczenie prądu ładowania baterii,
- diagnostyka ciągłości obwodu baterii,
- generowanie sygnałów alarmowych (stykowych i łączem CAN2.0B lub RS232),
- obudowy do instalowania wewnątrz pojazdu lub mocowane do podwozia,

Zastosowane rozwiązania techniczne zapobiegają przedwczesnemu zużyciu akumulatorów z powodu eksploatacji w szerokim zakresie temperatur, jak i zbyt intensywnego ładowania po dłuższym braku napięcia zasilającego.

System sterowania i monitorowania pojazdu szynowego

Opracowany w firmie MEDCOM system sterowania i monitorowania TCMS dla pojazdów i zespołów trakcyjnych – integrując pracę specjalizowanych podsystemów – zapewnia kompleksową i niezawodną obsługę nadzorowanej jednostki. Redundancja sterowników nadrzędnych, zastosowanie profesjonalnych komputerów przemysłowych oraz sprawdzonych standardów komunikacyjnych decyduje o bezpiecznej i optymalnej pracy pojazdu szynowego.

Nowoczesny system sterowania TCMS umożliwia:

- sterowanie pracą napędu,
- wspomaganie sterowania systemem hamulcowym (blending),
- sterowanie i monitorowanie pracy urządzeń trakcyjnych wysokiego napięcia (pantografów, rozłączników, uziemiaczy, szybkich wyłączników, miernika doziemienia),
- monitoring parametrów jazdy i detekcja parametrów zespołu trakcyjnego przy wykorzystaniu terminalu operatorskiego z monitorem,
- sterowanie sprężarkami oraz monitoring regulatorów ciśnienia w przewodzie głównym i hamulcowym,
- pracę akustycznej i wizualnej informacji pasażerskiej,
- sterowanie drzwiami automatycznymi,
- sterowanie oświetleniem zewnętrznym i wewnętrznym,
- sterowanie systemu ogrzewania, klimatyzacji i wentylacji,
- rejestrowanie parametrów jazdy niezależnie od obligatoryjnego rejestratora,
- sterowanie wielokrotne elektrycznych zespołów trakcyjnych.

System TCMS zawiera również wewnętrzne algorytmy, zabezpieczające przed przypadkowymi, nieprawidłowymi czynnościami obsługowymi. Zastosowany w elektrycznym zespole trakcyjnym dla kolei ukraińskich charakteryzuje się bardzo dużą skutecznością i niezawodnością.