

Marek **STOLARSKI**  
Bożena **ROCHALSKA**

## **ZASTOSOWANIE MIKROPROCESOROWYCH STEROWNIKÓW AUTOMATYKI ROZPROSZONEJ CAN PRZY PROJEKTOWANIU NOWYCH I MODERNIZACJI ISTNIEJĄCYCH KOLEJOWYCH PODSTACJI TRAKCYJNYCH ORAZ INNYCH OBIEKTÓW AUTOMATYKI ZASILANIA ELEKTROENERGETYCZNEGO**

**Streszczenie:** W referacie opisano w sposób przeglądowy zastosowanie magistrali CAN w elektroenergetyce kolejowej, szczególnie w nowobudowanych oraz modernizowanych kolejowych podstacjach trakcyjnych. Przyjęty jako standard dla energetyki PKP system CAN/RS-485 jest od ośmiu lat sukcesywnie wdrażany na kolejnych obiektach, a pozytywne doświadczenia z pierwszych lat eksploatacji zaowocowały rozszerzeniem zakresu jego stosowania w rozległych terytorialnie systemach ogrzewania wagonów na kolejowych stacjach postojowych oraz integracji podsystemów na posterunkach ruchu (stacjach kolejowych). Chodzi tu o ujednoczenie standardu sterowania i nadzoru systemów elektrycznego ogrzewania rozjazdów, sterowania grupami odłączników sieci trakcyjnej, oświetlenia peronów i terenów stacji, systemów przepompowni i całej pozostałej automatyki.

### **1. WPROWADZENIE**

Podstacja trakcyjna to stacja elektroenergetyczna transformatorowo-prostownikowa, zasilana z krajowego systemu elektroenergetycznego, której zadaniem jest zasilanie sieci trakcyjnej na określonym odcinku linii kolejowej. Stacje te przetwarzają prąd przemienny trójfazowy o napięciu stosowanym w energetyce zawodowej (15 kV, 20kV lub 110 kV AC) na prąd stały 3 kV, którym zasilana jest sieć trakcyjna i za jej pośrednictwem - pojazdy trakcyjne. Drugorzędnym zadaniem podstacji jest zasilanie odbiorów nietrakcyjnych (urządzenia sterowania ruchem kolejowym, nastawnie, stacje itp.).

Stosowanie sterowników mikroprocesorowych w systemach sterowania zdalnego zasilaniem trakcji elektrycznej sięga połowy lat 80., kiedy powstały pierwsze generacje systemów BUSZ (BUSZ-MT, BUSZ-16, BUSZ-32) wyposażonych w tego typu urządzenia, a tak wyposażone podstacje pracowały całkowicie bezobsługowo (były sterowane przez dyspozytorów zasilania znajdujących się w Nastawniach Centralnych).

Jedynym stosowanym wówczas rozwiązaniem polegało na zastosowaniu w podstacji trakcyjnej jednego urządzenia sterowania zdalnego ( tzw. głównej szafy sterowniczej), która komunikowała się z Nastawnią Centralną za pomocą telegrafii wielokrotnej TgFM. Automatyka rozdzielnic, wchodzących w skład układu zasilania trakcji elektrycznej PKP, oparta była na aparaturze przekaźnikowej, projektowanej w latach 70. lub później i praktycznie nie modyfikowalnej. Takie rozwiązanie automatyki wymuszało wyposażenie szafy sterowniczej w liczne pakiety przekaźnikowe poleceniowe i meldunkowe, których styki wykonawcze i kontrolne współpracowały z istniejącą automatyką. Komunikowanie się z szafą sterowniczą odbywało się poprzez wielożyłowe przewody, osobne dla poleceń i meldunków.

Konieczność pilnej modernizacji istniejących oraz budowy nowych podstacji trakcyjnych na kompleksowo modernizowanych liniach magistralnych PKP, stała się przyczynkiem do zupełnie nowego podejścia w kwestii unowocześnienia układów automatyki podstacji, przystosowanej do nowoczesnych systemów sterowania zdalnego.

Obecnie prawie wszystkie układy nadzoru i automatyki w elektroenergetyce są realizowane w oparciu o sterowniki mikroprocesorowe, przy minimalnym wykorzystaniu tradycyjnej aparatury przekaźnikowej jako elementów logicznych i wykonawczych. Zaprojektowaną zgodnie z takim zasadami automatykę nowoczesnej podstacji trakcyjną powinna cechować:

- otwartość i elastyczność komunikowania się z Nastawnią Centralną;
- niezawodność pracy w systemie sterowania zdalnego;
- ograniczenie i uproszczenie czynności konserwacyjnych;
- zmniejszenie do minimum ilości połączeń między urządzeniami;
- łatwość rozbudowy.

Dla spełnienia takich wymagań konieczne było przyjęcie koncepcji zastosowania sterowników obiektowych nadzorujących pracę poszczególnych urządzeń podstacji oraz sprawdzonego, przemysłowego standardu transmisji informacji pomiędzy sterownikami. Rozpatrywane były różne warianty, a efektem pracy specjalistów z Centrum Naukowo-Technicznego Kolejnictwa został mieszany standard CAN-BUS/RS485, który w warstwie logicznej pracuje według zasad protokołu CAN 2.0.A a jako warstwę fizyczną wykorzystuje szeregowo łącze RS-485 [1]. Dla potrzeb wymiany informacji opracowano specjalizowany protokół transmisyjny PPM2, precyzujący zasady przesyłania telegramów meldunkowych, sposób realizacji poleceń oraz przesyłania danych [2].

W warstwie fizycznej wszystkie urządzenia elektroniczne (meldunkowo-wykonawcze) podłączone są do wspólnej magistrali podstawowej, a te, które spełniają istotne funkcje również do drugiej rezerwowej. Magistrale te przeznaczone są dla transmisji w standardzie RS-485 i pozwalają na podłączenie do 32 urządzeń.

Wszystkie urządzenia mikrokomputerowe są podłączane do magistrali CAN/RS485 za pośrednictwem układów zapewniających pełną separację galwaniczną.

Istotną zaletą takiego systemu łączności pomiędzy urządzeniami jest możliwość podłączenia urządzeń mikrokomputerowych różniących się znacznie szybkością działania do stosunkowo szybkiej sieci. Wewnętrzny protokół transmisji jest tu w bardzo znacznym zakresie realizowany sprzętowo, a nie programowo.

Transmisja zorganizowana jest w układzie multi-master, co pozwala na przydzielenie magistrali temu urządzeniu, które ma w danej chwili do przesłania informację o najwyższym priorytecie. Każdy przesyłany komunikat opatrzony jest 11-bitowym identyfikatorem.

Identyfikatory o najwyższych priorytetach są na stałe przyporządkowane dla ściśle określonych urządzeń. Również treść tych komunikatów ma ściśle zdefiniowane pola. Urządzenia niestandardowe mają zarezerwowane identyfikatory, których muszą używać dla przesłania swoich informacji.

Zapewniona jest wysoka odporność na przekłamania transmisji (pole CRC 15 bitów, odstęp Hamminga  $d=6$ ).

Z powodu potrzeby zapewnienia odpowiedniej odporności na zakłócenia a także w celu zagwarantowania nieprzekroczenia wymaganych czasów przesyłania informacji dla sytuacji wymagających natychmiastowych reakcji (np. w sytuacjach występowania zwarć) dla podstacji trakcyjnych i kabin sekcyjnych wykorzystywana jest szybkość transmisji magistrali na poziomie 125 kbit/s. Dla pozostałych obiektów, w których istnieje potrzeba pracy na znacznie bardziej rozległym terenie i nie realizuje się funkcji zabezpieczeniowych (np. stacje odłącznikowe), stosuje się prędkość 25 kbit/s [1][2].

W latach 1995-1997 Trakcja Polska - PKRE S.A. we współpracy z firmą NEEL rozpoczęła działania nad projektem zelektronizowanej podstacji trakcyjnej opartej na specjalizowanych sterownikach obiektowych pracujących zgodnie z zasadami automatyki rozproszonej. Opracowano szereg urządzeń, które po uzyskaniu odpowiednich atestów i dopuszczeń zamontowano na pierwszej, całkowicie „CAN-owskiej” podstacji trakcyjnej w Jeleśni, oddanej do eksploatacji w 1999 roku. Pierwszy okres eksploatacji tego obiektu miał zweryfikować rzeczywistą odporność systemu transmisji na występowanie wyjątkowo dużych zakłóceń elektromagnetycznych, emitowanych przez transformatory dużej mocy 15/3kV lub 110/3kV, indukcyjne urządzenia wygładzające czy też wyłączniki szybkie prądu stałego 3kV rozłączające prądy zwarciove rzędu 20-30 kA. Z tego też względu pozostawiono w systemie tzw. uzależnień elektronicznych równoległe działający do magistrali CAN/RS-485 tor transmisji światłowodowej. Prowadzona przez dłuższy okres obserwacja prawidłowości działania obu sposobów przesyłania informacji wykazała, że stosowanie rezerwowego kanału światłowodowego było nieuzasadnione, a przesyłanie danych magistralą CAN/RS-485 działało bez zarzutu. Podobne próby dokonywane były na kolejnym obiekcie, jakim była pierwsza w Polsce kontenerowa podstacja z jednostopniową transformacją 110/3kV w Barłogach, na skrzyżowaniu linii kolejowych Warszawa-Poznań i Tarnowskie Góry - Gdynia. Zastosowana tam magistrala CAN/RS-485 charakteryzowała się dużą rozległością i wielokrotnie większą liczbą sterowników obiektowych. Ponieważ tu również transmisja informacji przebiegała bez żadnych zakłóceń, począwszy od kolejnych inwestycji zrezygnowano z rezerwowych kanałów przesyłu informacji.

Od tamtego czasu ponad 50 z 453 podstacji trakcyjnych eksploatowanych przez PKP zostało wyposażonych w urządzenia mikroprocesorowej automatyki rozproszonej.

Oprócz podstacji trakcyjnych, metoda automatyki rozproszonej z wykorzystaniem magistrali CAN/RS-485 została także zastosowana w rozległych terytorialnie systemach ogrzewania składów wagonów na stacjach postojowych PKP. Pozytywne doświadczenia z pierwszych lat eksploatacji zaowocowały także rozszerzeniem zakresu jego stosowania w wymagających integracji różnych podsystemach występujących na posterunkach ruchu (stacjach kolejowych). Chodzi tu o ujednoczenie standardu sterowania i nadzoru systemów elektrycznego ogrzewania rozjazdów, sterowania grupami odłączników sekcyjnych, oświetlenia peronów i terenów stacji, systemów przepompowni i całej pozostałej automatyki.

## 2. PROTOKÓŁ PPM2

Aby poszczególne urządzenia mogły komunikować się pomiędzy sobą w obrębie jednego systemu, został zdefiniowany specjalizowany protokół, który szczegółowo opisuje sposób przesyłania telegramów meldunkowych, sposób realizacji poleceń i przesyłania danych [2].

### 2.1. Pole arbitrażu

11-bitowe pole arbitrażu protokołu CAN 2.0.A zostało logicznie podzielone na dwie części:

- ⌚ 3 bitowy blok priorytetu;
- ⌚ 8 bitowy blok kategorii urządzenia.

#### **Blok priorytetu**

Blok priorytetu (3-bitowa starsza część pola arbitrażu) definiuje możliwość dostępu do magistrali dla różnych kategorii telegramów. 3-bitowa budowa daje możliwość utworzenia 8 priorytetów:

➤ rezerwa	000;
➤ synchronizacja czasu	001;
➤ meldunki bardzo szybkie	010;
➤ polecenia i potwierdzenia	011;
➤ meldunki szybkie	100;
➤ meldunki cykliczne	101;
➤ telegramy użytkownika	110;
➤ dane, programy, nastawy	111.

### **Blok kategorii urządzenia**

Blok kategorii urządzenia (8-bitowa młodsza część pola arbitrażu) definiuje typy urządzeń i możliwość dostępu ich do magistrali. 8-bitowa konstrukcja daje możliwość nadania 255 numerów (typów) urządzeń jednak przyjęto, że zakres 240-255 jest zabroniony. Ponieważ w podstacji trakcyjnej jest po kilka urządzeń jednego typu (czasem jest to różna ilość uzależniona od lokalnych potrzeb) zaistniała potrzeba pogrupowania numeracji i pozostawienia rezerw w obrębie jednego typu.

Rozróżnia się 16 kategorii urządzeń:

- ochrona ziemnozwarciowa;
- ochrona podnapięciowa;
- urządzenia uzależnień;
- urządzenia zabezpieczeń;
- zasilacze;
- zasilacze zapasowe;
- zespoły prostownikowe;
- urządzenia różne;
- odłączniki;
- linie potrzeb nietrakcyjnych;
- linie zasilające;
- zdalne sterowanie;
- urządzenia pomocnicze;
- terminal;
- testery diagnostyczno-serwisowe;
- urządzenia pomocnicze;

Dla przykładu zespołom prostownikowym nadaje się numery z zakresu 160-167. Ponieważ dostęp do magistrali zależy od nadanego numeru, urządzenia o niższym numerze mają wyższy priorytet.

## **2.2. Pole danych**

W polu danych przesyłane są telegramy, którymi są:

- meldunki;
- polecenia i potwierdzenia;
- programy, nastawy i dane;
- synchronizacja czasu;
- telegramy użytkownika.

W polu danych można przesyłać od 0 do 8 bajtów danych zależnie od rodzaju telegramu. Dla przykładu meldunek zwykły może zawierać 5 bajtów, a rozszerzony nawet do 7.

## **Meldunki**

Meldunki przenoszą informacje o danym urządzeniu, np. stany łączników, pomiary, informacje o zadziałaniu zabezpieczeń itp. Meldunki możemy podzielić na trzy rodzaje różniące się ilością i zawartością poszczególnych bajtów. Struktura meldunków w polu danych jest następująca. Pierwsze trzy bajty dla wszystkich rodzajów meldunków są jednakowe:

Bajt 1 - typ telegramu;

Bajt 2 - nadawca logiczny;

Bajt 3 - numer serii;

### **meldunek zwykły**

bajt 4 - młodszy bajt danych;

bajt 5 - starszy bajt danych;

### **meldunek ze znacznikiem czasu**

bajt 4 - młodszy bajt danych;

bajt 5 - starszy bajt danych;

bajt 6 - minuta;

bajt 7 - sekunda;

bajt 8 - dziesiątki milisekund;

### **meldunek rozszerzony**

bajt 4 - młodszy bajt danych 1 serii pomiarowej;

bajt 5 - starszy bajt danych 1 serii pomiarowej;

bajt 6 - młodszy bajt danych 2 serii pomiarowej;

bajt 7 - starszy bajt danych 2 serii pomiarowej.

Każdy z tych trzech typów meldunków może posiadać priorytet meldunku cyklicznego, szybkiego lub bardzo szybkiego.

#### **a) Meldunek cykliczny**

Standardowa seria meldunkowa urządzenia wysyłana po każdorazowym wysłaniu wszystkich serii.

#### **b) Meldunek szybki**

Standardowe serie meldunkowe urządzenia wysyłane po każdej zmianie zawartości serii. Treść tych meldunków jest identyczna jak meldunków cyklicznych.

#### **c) Meldunki bardzo szybkie**

Serie meldunkowe, na które system powinien jak najszybciej zareagować. Np. serie wyrzutowe wyłącznika szybkiego. po których powinno nastąpić wyłączenie wyłącznika uzależnionego.

## **2.3.Polecenia i potwierdzenia**

Poleceniem nazywamy przekazanie informacji o charakterze sterującym do urządzenia wykonawczego. Realizacja pojedynczego polecenia składa się z czterech etapów:

a) wysłanie do urządzenia wykonawczego polecenia sterującego;

b) potwierdzenie odebrania polecenia wysłane przez urządzenie wykonawcze;

c) wysłanie polecenia wykonawczego przez urządzenie nadawcze po odebraniu potwierdzenia od urządzenia wykonawczego;

d) wykonanie polecenia przez urządzenie wykonawcze i odesłanie potwierdzenia.

Struktura polecenia w polu danych jest następująca:

1. bajt 1 - typ telegramu;
2. bajt 2 - odbiorca logiczny;
3. bajt 3 - rodzaj polecenia;
4. bajt 4 - młodszy bajt kodu polecenia;
5. bajt 5 - starszy bajt kodu polecenia.

Potwierdzenie jest odpowiedzią urządzenia na wydane polecenie. Struktura potwierdzenia w polu danych jest następująca:

1. bajt 1 - typ telegramu;
2. bajt 2 - nadawca logiczny;
3. bajt 3 - rodzaj potwierdzenia;
4. bajt 4 - młodszy bajt kodu potwierdzenia;
5. bajt 5 - starszy bajt kodu potwierdzenia.

## **2.4. Synchronizacja czasu**

Informację o aktualnej dacie i czasie przekazywane są do magistrali przez jedno urządzenie. Dzięki temu uzyskuje się synchronizację zegarów wszystkich urządzeń.

Struktura telegramu synchronizacji czasu w polu danych jest następująca:

1. bajt 1 - typ telegramu;
2. bajt 2 - rok;
3. bajt 3 - miesiąc;
4. bajt 4 - dzień;
5. bajt 5 - godzina;
6. bajt 6 - minuta;
7. bajt 7 - sekunda;
8. bajt 8 - dziesiątki milisekund.

## **2.5. Telegramy użytkownika**

Telegramy użytkownika służą do przesyłania informacji o konkretnym urządzeniu i są zdefiniowane przez jego producenta. Ponieważ struktura takiego telegramu zależy od producenta i dostarczana jest z dokumentacją urządzenia, nie zostanie omówiona szerzej.

## **2.6. Programy, nastawy, dane**

Ten rodzaj telegramów służy do wgrywania nowych programów do sterownika, modyfikacji jego nastaw (np. zabezpieczeń) i wprowadzania nowych danych. Dzięki tym telegramom możliwe jest pobieranie i wysyłanie danych do wielu urządzeń jednocześnie.

## **3. AUTOMATYKA PODSTACJI TRAKCYJNEJ**

Zasada automatyki rozproszonej z wykorzystaniem podwójnej magistrali CAN/RS485 okazała się również doskonałym rozwiązaniem w przypadku konieczności modernizacji przestarzałych podstacji trakcyjnych PKP. Demontowane jest prawie całe okablowanie sterownicze podstacji i zastępowane magistralą CAN/RS-485, a instalowane sterowniki obiektowe (takie same jak w przypadku podstacji nowobudowanych to:

- sterowniki celek 3kVDC w rozdzielnicy prądu stałego ( MSC-3, MXX);
- sterownik grup odłączników sieci trakcyjnej (TC-SSO);
- sterownik ochrony podnapięciowej (MOP-3);
- urządzenie ochrony ziemnowarciowej;
- zespół uzależnień elektronicznych ( EEU);
- sterowniki rozdzielnicy SN 15kV AC;
- sterownik komunikacyjny podstacji (SKP-3);
- terminal podstacyjny i moduł diagnostyczno-sterujący;
- sterownik rozdzielnicy potrzeb własnych;
- sterownik temperatury i wilgotności (STW-3/C).



**Rys.1. Rozdzielnica 3kV DC z zamontowanymi sterownikami MSC-3 (podstacja zmodernizowana)**

Sterowniki obiektowe połączone są między sobą magistralą informacyjną typu CAN-BUS/RS-485, natomiast za łączność z Nastawnią Centralną odpowiada sterownik komunikacyjny podstacji SKP-3, wyposażony w zależności od potrzeb w układy łączności przewodowej lub bezprzewodowej. W najnowszych rozwiązaniach jako łączność podstawowa wykorzystywany jest tor łączności przewodowej o szybkości transmisji rzędu 64 kb/s, a równolegle, w roli toru rezerwowego występuje łączność bezprzewodowa wykorzystująca technologię GPRS.



**Rys.2 Pomieszczenie automatyki CAN/RS-485 w nowowzbudowanej podstacji trakcyjnej**

Sterowanie lokalne podstacją realizowane jest przy pomocy terminala podstacyjnego TP-3 wyposażonego w monitor LCD, klawiaturę i mysz. Terminal pełni również funkcję „czarnej skrzynki”, rejestrując wszystkie nadsyłane przez sterowniki obiektowe zdarzenia dotyczące zdarzeń na podstacji. Dodatkową funkcją terminala jest wysyłanie do magistrali CAN-BUS/RS-485 sygnału czasu, uzyskanego z precyzyjnego odbiornika DCF77 lub GPS. Ponieważ terminalem może być również komputer przenośny typu laptop, w takim przypadku funkcje sterowania podstacją oraz pełnej diagnostyki systemu może pełnić moduł diagnostyczno-sterujący, wyposażony w w dotykowy 6 -calowy wyświetlacz LCD. Moduł ten jest samodzielnym urządzeniem podłączonym do podwójnej magistrali CAN/RS-485 i wobec braku stacjonarnego terminala może pełnić funkcje rejestratora stanów całego systemu.

### 3.1. Sterowniki celki 3kV

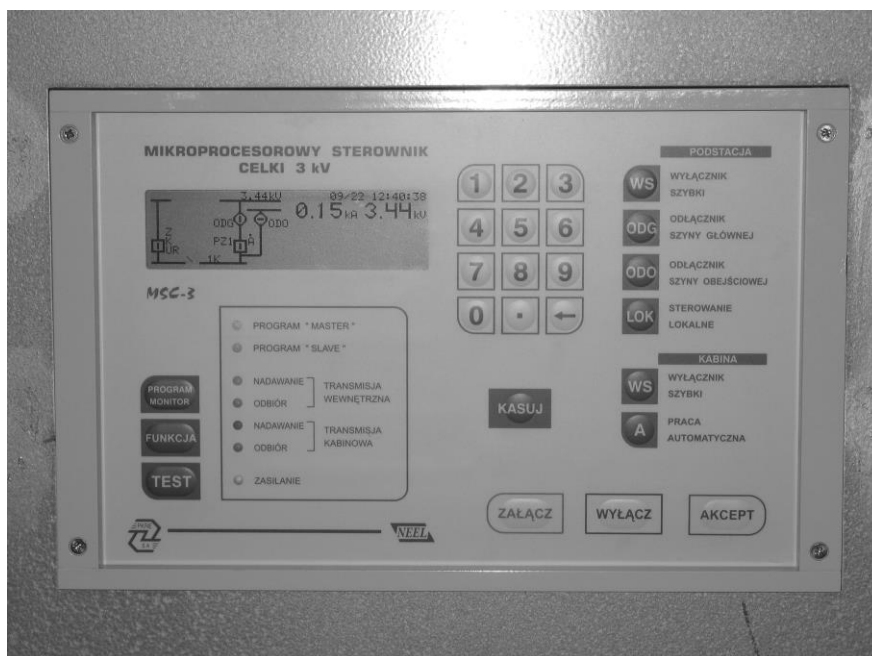
**Sterownik MSC-3** jest specjalizowanym urządzeniem przeznaczonym do sterowania urządzeniami rozdzielnic 3kV DC w podstacjach trakcyjnych PKP i stanowi element mikroprocesorowego systemu sterowania urządzeniami elektronicznej podstacji trakcyjnej zbudowanym z wykorzystaniem tzw. "inteligencji rozproszonej". Wykorzystuje on jako środek łączności pomiędzy poszczególnymi urządzeniami podstacji magistralę typu CAN-BUS/RS-485 oraz zatwierdzony przez CNTK do stosowania na sieci PKP standardowy protokół łączności podstacyjnej PPM2. Budowa urządzenia została oparta o układ trzech jednostek CPU, z których dwie pracują jako „master-slave” a trzecia pełni funkcje procesora pomiarowego (pomiar napięć, prądów, funkcja  $di/dt$  oraz  $I^2R$ ).

Jako jednostki CPU wykorzystano sprawdzone układy Philipsa typu 80C552 z zegarem 16MHz. Wyjścia poleceniowe w liczbie ośmiu (przełącznik elektroniczny- wyjście typu „wolny styk”  $I_{max}=350mA$ ,  $U_{max}=400V DC$ ) są sterowane przez obydwa procesory układu „master-slave”. Podobnie, wszystkie wejścia meldunkowe w liczbie



szesnastu, zrealizowane na transoptorach rodziny PC817, są również obsługiwane przez te dwa procesory.

Ponieważ zasadniczą funkcją sterownika MSC-3 jest sterowanie pracą wyłącznika szybkiego 3kVDC, stanowiącego najważniejszy i najbardziej odpowiedzialny element pola rozdzielnic 3kVDC, dla podniesienia bezpieczeństwa zastosowano w obwodach wyjść poleceńowych sterownika tzw. „pompę kondensatorową”, sterowaną z obu procesorów. Zatrzymanie pętli programu spowoduje wtedy zawsze sprzętowe wyłączenie wyłącznika szybkiego. Zastosowano także typowe zabezpieczenia w postaci układów „watch-dog”, po dwa (wewnętrzny i zewnętrzny) dla każdego procesora. Za współpracę z podwójną magistralą CAN/RS-485 odpowiadają dwie pary układów SAE81C90 oraz MAX1480A.



Rys.3. Płyta czołowa sterownika MSC-3

Podstawowe funkcje sterownika celki to:

- sterowanie wyłącznikiem szybkim w polu zasilacza 3kVDC;
  - załączanie i sterowanie układu próby linii;
  - wyłączanie WS : -operacyjne;
  - od układu di/dt;
  - od przekroczenia mocy dysponowanej;
  - od uzależnień z sąsiednią podstacją lub kabiną;
  - od NAP-a;
  - od EZZ-ta;
  - od przekroczenia  $I^2R$ ;
- sterowanie napędami odłączników szyny głównej i obejściowej (W);
- sterowanie wyłącznikiem szybkim uzależnionej kabiny sekcyjnej;
- wyświetlanie stanu łączników w torze głównym i rezerwowym;
- wyświetlanie stanu wyłącznika szybkiego w uzależnionej kabinie lub podstacji;
- wyświetlanie pomiaru prądu oraz napięcia..

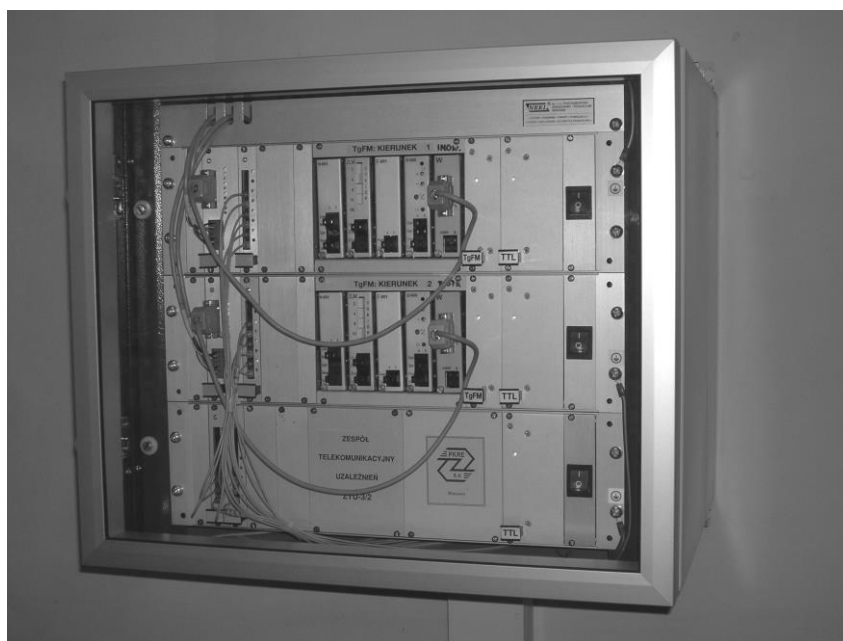
**Modułowy sterownik trakcyjny MST-N** jest podstawowym elementem typoszeregu MXX przeznaczonego do budowy mikroprocesorowej automatyki kolejowych rozdzielnic

elektroenergetycznych niskiego i średniego napięcia. Przystosowany jest do współpracy z podwójną magistralą CAN/RS-485 i bazuje na dwóch procesorach typu 89C5100 firmy Atmel z zegarem 12MHz pracujących w trybie „master-slave”. Posiada 4 wyjścia poleceniowe typu „wolny styk”  $I_{max.}=350mA$ ,  $U_{max.}=400VDC$  oraz 12 wejść meldunkowych z izolacją transoptorową. Wbudowane przetworniki analogowo-cyfrowe umożliwiają pomiar napięć i prądów z obu sond pomiarowych (prąd oraz napięcie) pola rozdzielniczy.

### 3.2. Uzależnienia elektroniczne

W zasilaniu trakcji kolejowej stosowany jest układ dwustronnego zasilania sieci trakcyjnej, co oznacza, że kilkudziesięciokilometrowy odcinek sieci trakcyjnej zasilany jest obustronnie przez dwie podstacje trakcyjne. Często w połowie tego odcinka stoi tzw. kabina sekcyjna, która współpracuje z obydwo ma podstacjami i sekcjonując sieć trakcyjną nad każdym torem pozwala podzielić jeden dłuższy odcinek na dwa krótsze, przy zachowaniu zalet dwustronnego zasilania. Przedstawiona sytuacja wymaga, aby obie zasilające wspólny odcinek sieci trakcyjnej podstacje, współpracowały ze sobą w zakresie wspólnego natychmiastowego wyłączenia zasilania. Taką funkcję pełni system uzależnionego wyłączenia wyłączników szybkich w podstacjach trakcyjnych i kabinach sekcyjnych, czyli tzw. system uzależnień elektronicznych.

Funkcja uzależnień elektronicznych typu EUU realizowana jest przez sterowniki celek 3kV zlokalizowane w poszczególnych polach zasilaczy 3kVDC oraz współpracujący z nimi poprzez podwójną magistralę CAN-BUS/RS-485 zespół telekomunikacyjny uzależnień ZTU-3. Telegramy nakazujące natychmiastowe wyłączenie uzależnionego wyłącznika szybkiego we współpracującej kabinie sekcyjnej lub podstacji trakcyjnej są wysyłane przez sterownik celki 3kV i poprzez magistralę CAN/RS-485 przekazywane do właściwych sterowników zespołu ZTU-3. Następnie poprzez kanał łączności uzależnieniowej trafiają do automatyki uzależnionego wyłącznika szybkiego, powodując jego wyłączenie. Mikroprocesorowa automatyka kabiny sekcyjnej jest zbudowana również z wykorzystaniem modułowych sterowników trakcyjnych MXX i wykorzystuje także podwójną magistralę CAN/RS-485.



Rys.4. Zespół telekomunikacyjny uzależnień ZTU-3

Zastosowany protokół transmisji uzależnień gwarantuje bezproblemową współpracę z uzależnieniami elektronicznymi typu EEU produkcji NEEL oraz UPK produkcji Elester-PKP. Jako medium transmisyjne stosowany był do dzisiaj, przyjęty przez PKP kilkadziesiąt lat temu i w chwili obecnej już archaiczny, ale nadal bardzo niezawodny system telegrafii wielokrotnej TgFM o szybkości transmisji 600 lub 1200 bodów. W najnowszych rozwiązaniach wykorzystane są już szybkie łącza kablowe lub światłowodowe i transmisja modemowa.

### 3.4. Sterownik komunikacyjny podstacji

Sterownik komunikacyjny podstacji typu SKP-3 jest urządzeniem pozwalającym na włączenie elektronicznej podstacji trakcyjnej do systemu zdalnego sterowania. Stanowi jeden z podzespołów automatyki elektronicznych podstacji trakcyjnych pracujących na podwójnej magistrali CAN-BUS/RS-485.



**Rys. 5. Sterownik komunikacyjny podstacji SKP-3**

Pełni funkcję dwukierunkowego inteligentnego translatora przekazującego informacje pomiędzy podstacijną magistralą CAN-BUS/RS-485 a zewnętrzną siecią łączności z Nastawnią Centralną. Dwupołożeniowy przełącznik „Zdalnie-Lokalnie” pozwala na wybór trybu sterowania podstacją trakcyjną.

W zależności od przyjętego systemu łączności z NC, zastosowany w sterowniku moduł komunikacyjny może współpracować z urządzeniami TgFM, modemem kablowym, światłowodowym lub radiowym.

### 3.5. Ochrona pod napięciem

Ochrona pod napięciem jest realizowana przez „przełącznik pod napięciem” zainstalowany na szynach zbiorczych rozdzielnic prądu stałego. Jest to zabezpieczenie, które eliminuje skutki zwarć występujących w obszarze szyny zbiorczej 3 kV DC, oraz

uniemożliwia zasilanie sieci trakcyjnej napięciem niższym lub wyższym od założonego prawidłowego zakresu napięć. Jego zadaniem jest pewne i kompletne odcięcie zasilania od strony prądu przemiennego, jak i od strony prądu stałego.

Do realizowania funkcji ochrony podnapięciowej stosowane było na większości podstacji urządzenie typu NAP i NAP-TRAK wyposażone w zewnętrzny interfejs magistrali CAN/RS-485. W najnowszych rozwiązaniach funkcje urządzenia ochrony podnapięciowej pełnią odpowiednio zmodyfikowane sterowniki celek 3kV (np. MOP-3 w przypadku sterownika MSC-3, MST-NT-P w przypadku modułów MXX).



Rys.6. Sterownik ochrony podnapięciowej MOP-3

### 3.6. Ochrona ziemnozwarciowa

Zabezpieczenia ziemnozwarciowe stosuje się w celu ochrony urządzeń przed skutkami zwarć doziemnych na szynach podstacji oraz w obwodach kabli wyjściowych zasilaczy 3kVDC. Zabezpiecza ono także przed pojawieniem się na szynach toru kolejowego potencjału niebezpiecznego dla ludzi.

Sposób zasilania sieci trakcyjnej zakłada pełną izolację od potencjału ziemi. Prąd dostarczony do napowietrznej sieci trakcyjnej po wykonaniu pracy w silnikach lokomotywy wraca szynami toru kolejowego oraz kablami powrotnymi do podstacji.

Do realizowania funkcji ochrony ziemnozwarciowej na podstacjach trakcyjnych wykorzystywane jest urządzenie typu EZZ wyposażone w interfejs magistrali CAN-BUS/RS-485.

### 3.7. Sterowanie odłącznikami sieci trakcyjnej

Odłączniki sieci trakcyjnej służące do jej przesekcyjowania i odłączania jej odcinków posiadają często możliwość lokalnego i zdalnego ich sterowania poprzez urządzenia sterujące.

Sterowanie odłącznikami jest szczególnie istotne w sytuacjach awaryjnych, kiedy szybkość dokonywania operacji łączeniowych ma istotny wpływ na ograniczenie przerw w zasilaniu a tym samym zakłóceń w ruchu pociągów.

Szafa sterownicza TC-SSO zaprojektowana została jako kompletne urządzenie do bezpośredniego oraz zdalnego sterowania 18 odłączników sieci trakcyjnej, zastępując 3 szafki Usb-2 oraz szafę sterowania zdalnego. Może być wyposażona w komplet telegrafii TgFM lub dowolny modem kablowy, światłowodowy i radiowy, może wtedy pracować jako samodzielne stanowisko sterowane na posterunkach ruchu PKP.



**Rys.7. Szafa sterowania grupami odłączników sieci trakcyjnej TC-SSO**

Wykonywana jest w wersjach dla 6, 12 lub 18 odłączników sieci trakcyjnej i przystosowana do współpracy z urządzeniami zdalnego sterowania typu BUSZ i MUT-TRAK, siecią typu CANBUS/RS-485 (podstacje PKP), lub MODBUS (podstacje tramwajowe). Może współpracować z napędami odłącznikowymi typu ONS produkcji PKRE S.A. Warszawa oraz NST produkcji ZPRE Jedlicze. Dzięki możliwości łączenia do 4 szaf TC-SSO w układzie kaskady, największa liczba sterowanych odłączników (z jednego panelu sterującego) może wynieść 72. Konstrukcyjnie szafa wykonywana jest z wykorzystaniem kaset 19U, a cała elektronika w postaci pakietów o wysokości 6U ze złączami do wspólnej magistrali. Za współpracę z zewnętrznymi systemami łączności odpowiada wymienny moduł komunikacyjny przystosowany do podwójnej magistrali CAN/RS-485, będący odpowiednio zmodyfikowaną wersją sterownika MST-N. Zamiast modułu komunikacyjnego może być zainstalowany modem kablowy lub bezprzewodowy (np. GPRS).

### **3.8. Kontrola warunków klimatycznych w pomieszczeniach podstacji trakcyjnej**

Sterownik nadzoru temperatury i wilgotności typu STW-3/C przeznaczony jest do nadzorowania warunków klimatycznych w bezobsługowych, zdalnie sterowanych i wyposażonych w podwójną magistralę typu CAN-BUS/RS-485 kontenerowych oraz budynkowych podstacjach trakcyjnych, zapewniając utrzymanie właściwych warunków pracy urządzeń automatyki przy jednoczesnej minimalizacji kosztów ogrzewania.

Urządzenie pozwala obniżyć temperaturę wewnątrz nadzorowanego pomieszczenia bez ryzyka wystąpienia kondensacji pary wodnej. Kontrola warunków klimatycznych odbywa się poprzez pomiar temperatury oraz wilgotności względnej powietrza w

pomieszczeniu podstacji oraz sterowanie dwoma zespołami grzejników i wentylatorów. Możliwy jest również dodatkowy nadzór temperatury powietrza nad zespołami prostownikowymi. W konstrukcji sterownika wykorzystano sprawdzony procesor 80C552 z zegarem 12MHz, a jako układy komunikacji z podwójną magistralą CAN/RS-485 zastosowano pary układów SAE81C90 oraz MAX1480A.

#### 4. MIKROPROCESOROWY SYSTEM OGRZEWANIA SKŁADÓW WAGONÓW MSOW

Składy wagonów osobowych stojące na stacjach postojowych i oczekujące na podłączenie do lokomotywy muszą mieć możliwość włączenia do instalacji zasilania ogrzewania z trzech względów:

- podgrzanie wagonów przed wyjazdem składu na stację (zimą);
- wychłodzenie wagonów z instalacjami klimatyzacyjnymi (latem);
- dokonanie prób technicznych układów ogrzewania i klimatyzacji.

Opracowany przez PWP NEEL Sp. z o. o. i oferowany przez Trakcję Polską - PKRE S.A. Warszawa system składa się przytorowych terminali nadzorujących podłączenie wtyku kabla zasilającego do gniazda wagonowego oraz rozdzielni grzewczej wraz automatyką. Wszystkie urządzenia działają zgodnie z zasadą automatyki rozproszonej.

Terminal przeznaczony jest do obsługi torowego punktu grzejnego stanowiska ogrzewania składów wagonów na stacjach postojowych i umożliwia podłączenie do gniazda wagonowego kabla zasilającego z możliwością wyboru napięć od 1kVAC, poprzez 3kVDC aż do 25kVAC, czyli wszystkich napięć stosowanych w instalacjach ogrzewania i klimatyzacji wagonów osobowych przez europejskie zarządy kolejowe.



Rys.8. Przytorowy terminal ogrzewania składów wagonów

Urządzenie przystosowane jest do współpracy z siecią transmisji danych typu CAN-BUS/RS-485, a poprzez tą sieć, z urządzeniami automatyki kontenera grzewczego lub rozdzielni grzewczej. Do identyfikacji personelu obsługi do kontroli uprawnień używane są pastylkowe identyfikatory typu Dallas.

Wygodna obsługa, najwyższy poziom bezpieczeństwa i niezawodności, odporność na niekorzystne warunki atmosferyczne to podstawowe cechy przedstawionego urządzenia. Na czytelnym wyświetlaczu wyświetlane są wszystkie informacje niezbędne do komfortowej i bezpiecznej obsługi, w tym również wyniki aktualnych pomiarów prądu pobieranego przez ogrzewany skład wagonów.



**Rys.9. Widok rozdzielni grzewczej na kolejowej stacji postojowej Warszawa-Grochów**

Wszystkie urządzenia systemu zostały zbudowane z wykorzystaniem modułowych sterowników typoszeregu MXX. W roli jednostki centralnej jest wykorzystywany moduł sterownika trakcyjnego MST-N współpracującego z modułami meldunkowymi MKO-16, poleceniowymi MSO-8 i pomiarowymi MPP-4. Stanowią one wyposażenie terminali przytorowych, jak i szaf sterowniczych w poszczególnych polach rozdzielni zasilających prądu stałego i przemiennego.

## **5. ZESTAWIENIE OBIEKTÓW ZREALIZOWANYMI PRZEZ TRAKCJĘ POLSKĄ – PKRE ORAZ NEEL W SYSTEMIE AUTOMATYKI ROZPROSZONEJ**

- P.T. Jeleśnia - pierwsza nowobudowana podstacja trakcyjna z magistralą CAN/RS-485;
- P.T. Barłogi – pierwsza w Polsce podstacja trakcyjna z jednostopniową transformacją 110/3kV w wykonaniu kontenerowym;
- system ogrzewanie składów wagonów typu MSOW na stacji postojowej Szczecin Zaleskie Łęgi;
- modernizacje podstacji trakcyjnych na linii „węglowej”: Kotomierz , Nowa Wieś Wielka, Karczyn, Bydgoszcz Wschód, Inowrocław, Terespol Pomorski, Warlubie;

- system ogrzewania wagonów typu MSOW na stacji Częstochowa;
- system ogrzewania składów wagonów typu MSOW na kolejowej stacji postojowej Warszawa-Grochów;
- P.T. Medyka – nowa podstacja trakcyjna;
- modernizacja podstacji trakcyjnych na linii E30 - Węgliniec, Legnica, Bolesławiec, Jezierzany, Osetnica.
- PT Jeleśnia – całkowicie nowa podstacja, z nową rozdzielnicą 15 kV produkcji PKRE wyposażona w sterowniki MULTI-MUZ, rozdzielnica 3 kV z MSC-3, ZTU, TC-SSO, sterownik klimatyczny STW-3/C, EZZ, NAP, centralki p.poż, p.włam. przystosowane do CAN za pomocą konwerterów - oddana do eksploatacji w 1999 r.
- PT Kotomierz, Nowa Wieś Wielka, Karczyn, Bydgoszcz Wsch., Inowrocław, Terespol Pomorski, Warlubie – stare podstacje z rozdzielnicą 3 kV z wyłącznikami na górze. Modernizacja obejmowała zastawienie toru głównego 3kV oraz 15 kV z wymiana kompletnej automatyki na rozproszoną. Podstacje oddawane do eksploatacji sukcesywnie w latach 2000 - 2001r.
- PT Barłogi - pierwsza w Polsce podstacja trakcyjna z jednostopniową transformacją 110/3kV w wykonaniu kontenerowym.
- PT Medyka – montaż podstacji trakcyjnej w budynku kolejowego GPZ 110/15kV, automatyka 3kVDC w postaci prefabrykowanych rozdzielnic ze sterownikami MSC-3, tor 15kV ze sterownikiem MULTI-MUZ, uzależnienia elektroniczne ZTU-3, – oddana do eksploatacji w 2006 roku.
- PT Węgliniec, Legnica, Bolesławiec, Osetnica, Jezierzany – aktualnie wykonane modernizacje podstacji na linii E30. Zakres obejmował wymianę kompletnej automatyki na rozproszoną (z wykorzystaniem modułowych sterowników trakcyjnych serii MXX).

## 6. WNIOSKI

Doświadczenia z przeszło ośmioletniej eksploatacji systemów automatyki rozproszonej wykorzystujących podwójną magistralę CAN/RS-485 wykazały, że przyjęte do stosowania w PKP rozwiązanie spełniło wszystkie założone cele.

Odnosząc się do wymienionych w rozdziale 2 wytycznych, osiągnięto:

- doskonałą otwartość i elastyczność komunikowania się z Nastawnią Centralną;
- bardzo wysoką niezawodność pracy w systemie sterowania zdalnego;
- znaczące ograniczenie i uproszczenie czynności konserwacyjnych;
- zmniejszenie do minimum ilości połączeń kablowych między urządzeniami;
- niezwykle wygodną elastyczność i łatwość rozbudowy.

W chwili obecnej, na łączną liczbę 453 eksploatowanych podstacji trakcyjnych PKP, w systemie automatyki rozproszonej działa przeszło 50 spośród 381 podstacji pracujących w obszarach działania dwudziestu Nastawni Centralnych. W ramach inwestycji modernizacyjnych planowana jest budowa wielu nowych obiektów, jak też gruntowna modernizacja istniejących. Warto nadmienić, że z doświadczeń kolejowych skorzystały także zakłady komunikacji miejskiej, a konkretnie tramwajowej, gdzie przy budowie lub modernizacji podstacji tramwajowych typowym rozwiązaniem staje się automatyka rozproszona pracująca na podwójnej magistrali CAN/RS-485.



## 7. LITERATURA

- [1] „Wytyczne dla budowy i eksploatacji systemów zdalnego sterowania urządzeniami zasilania elektroenergetycznego”, wersja 2.3. Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa Warszawa.
- [2] „Nadzór nad wdrożeniem i eksploatacją nowych urządzeń zasilania, automatyki i zabezpieczeń w podstacjach trakcyjnych” CNTK, Zakład Elektroenergetyki, temat nr 3041/28, grudzień 2000.
- [3] „Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać urządzenia przesyłowo-rozdzielcze energii trakcyjnej” Centralne Biuro Projektowo-Badawcze Budownictwa Kolejowego „Kolprojekt” czerwiec 2003.
- [4] „Zasady koordynacji zabezpieczeń w podstacjach trakcyjnych. Cz. 1 – urządzenia rozdzielni 3kV prądu stałego”, CNTK, Zakład Elektroenergetyki, temat 4070/12, grudzień 2003.
- [5] ROCHALSKA B., FRAJS W.: „Barłogi – pierwsza w Polsce kontenerowa podstacja trakcyjna z jednostopniową transformacją napięcia 110kV AC/3kV DC” - Materiały konferencyjne Konferencji Naukowej Trakcji Elektrycznej SEMTRAK 1998.
- [6] ROCHALSKA B., MANKOWSKI D.: „Nowe kierunki w projektowaniu i budowie podstacji trakcyjnych – wymagania dla projektantów i wykonawców” - Materiały konferencyjne Konferencji Naukowej Trakcji Elektrycznej SEMTRAK 2002.
- [7] STOLARSKI M., ROCHALSKA B.: „Zastosowanie mikroprocesorowych sterowników automatyki rozproszonej przy projektowaniu nowych i modernizacji istniejących kolejowych podstacji trakcyjnych oraz innych obiektów zasilania elektroenergetycznego. Uwagi do projektowania, wykonawstwa i eksploatacji” - Materiały konferencyjne „Nowoczesne technologie w systemach infrastruktury kolejowej” Jurata 2007.
- [8] STOLARSKI M., ROCHALSKA B.: „Systemy automatyki rozproszonej w obiektach zasilania trakcji elektrycznej, obowiązujące wytyczne i rozwiązania techniczne” - Materiały konferencyjne „Nowoczesne technologie w systemach infrastruktury kolejowej” Jurata 2007.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Edward Hrynkiewicz