

Łukasz SZWEDA\*, Maria ZIELIŃSKA\*, Ryszard NAWROWSKI\*

## MODERNIZACJA UKŁADU STEROWANIA WIELOKROTNEGO LOKOMOTYWY EU07

W artykule przedstawiono propozycję projektu modernizacji układu sterowania wielokrotnego lokomotywy EU07. Omówiono historię eksploatacji serii w zmieniających się warunkach rynku kolejowego. Za pomocą przedstawienia parametrów użytkowych pojazdu, zwrócono uwagę na możliwość dalszego wykorzystania lokomotyw w ruchu towarowych, po dokonaniu niezbędnych zmian w instalacji elektrycznej. W wyniku omówienia stosowanych rozwiązań złącz sterowania wielokrotnego, wybrano optymalny wariant. Zaproponowano wdrożenie kilku nowych sygnałów pomiędzy lokomotywą sterującą, a sterowaną, co pozwoli na zminimalizowanie ryzyka wystąpienia poważnych awarii. Z uwagi na specyfikę instalacji elektrycznej pojazdu, zaproponowano układ testujący, którego wdrożenie pozwoli zweryfikować poprawność wykonania modernizacji oraz detekcję ewentualnych usterek.

SŁOWA KLUCZOWE: lokomotywa elektryczna, sterowanie wielokrotne.

### 1. WPROWADZENIE

Lokomotywy EU07 to elektrowozy uniwersalne, przystosowane do prowadzenia zarówno pociągów osobowych jak i towarowych. Pojazdy te budowano w latach 1965–1974 we wrocławskim PaFaWagu oraz 1983–1992 w poznańskich zakładach HCP, w łącznej liczbie niemalże 500 sztuk. Produkcja odbywała się na licencji brytyjskiej, gdzie w 1962 roku, na podstawie serii 83 stworzono dla PKP 20 sztuk lokomotyw EU06. Przez większą część służby, EU07 zatrudniane były głównie w ruchu pasażerskim, przy obsłudze składów dalekobieżnych i regionalnych. Jako źródła takiej sytuacji należy wskazać wyprodukowanie kilkukrotnie większej liczby (1200 sztuk serii ET22, ponadto 200 sztuk serii ET41) ciężkich lokomotyw towarowych dużej mocy oraz własności trakcyjne samych EU07. Konstrukcja rozwojowa – ET22, przeznaczona do prowadzenia pociągów towarowych charakteryzuje się nie tylko większą mocą, ale także zwiększoną ilością pozycji jazdy oporowej i rodzajów połączeń silników, co umożliwia łagodniejszy rozruch [1, 2].

W ostatnich latach, na skutek modernizacji szeregu linii kolejowych oraz pojawienia się na rynku nowych rozwiązań, zaczęto zastępować pojazdy elektryczne

---

\* Politechnika Poznańska

I generacji konstrukcjami nowoczesnymi, charakteryzującymi się wyższymi prędkościami maksymalnymi. W wyniku częściowego uwolnienia rynku lokomotyw poprzez sprzedaż zbędnych EU07 przez przewoźników pasażerskich, serię 07 zaczęto szerzej wykorzystywać w ruchu towarowym. Taka rola tychże pojazdów stanowi kompromis pomiędzy zakupem nowego taboru, którego trwałość określa się na ponad 30 lat, a użytkowaniem przestarzałego na czas od 10 do nawet 15 lat. Uzasadnienie ekonomiczne takiego postępowania dotyczy porównania ceny konstrukcji fabrycznie nowej, w stosunku do wykonania naprawy głównej, bądź re wizyjnej EU07 oraz kosztów serwisowania.

W celu optymalnego wykorzystania tychże lokomotyw w ruchu towarowym, należy rozwiązać kilka istotnych problemów serii. Głównym z nich jest stosunkowo niewielka moc – 2 MW, gdy ówczesne konstrukcje towarowe charakteryzują się mocą 3–5 MW, zaś w przypadku nowych pojazdów nierzadko przekracza ona 6 MW. Z drugiej strony, EU07 z powodzeniem sprawdza się w pracy z szybkimi i lekkimi pociągami kontenerowymi, o masie do 1200–1500 ton, gdzie osiągnięta jest prędkość 90, a nawet 100 km/h. Seria 07 posiada złącza sterowania wielokrotnego, dzięki którym można uzyskać podwojenie dopuszczalnej masy prowadzonego składu z 2000 do 4000 ton (4 MW zamiast 2 MW mocy), przy zachowaniu jednoosobowej obsługi. Uzyskuje się w ten sposób parametry lokomotywy dwuczłonowej ET41, stworzonej na bazie omawianej serii. Człony ET41 są funkcjonalnie połączone na stałe (brak środkowych kabin maszynisty), co pozbawia uzasadnienia wykorzystania elektrowozu przy pracy z lekkimi pociągami. Jednakże dostosowany i zmodyfikowany układ elektryczny ET41 umożliwia kontrolę większej ilości parametrów drugiego członu, niż drugiej (połączonej sterowaniem wielokrotnym), lokomotywy EU07. Z kolei wspomniane, sześciociosowe ET22 posiadają moc jedynie 3 MW, co obniża maksymalną wartość masy pociągu do 3200 ton. Ponadto, zastosowanie trzyosiowych wózków pogarsza właściwości biegowe pojazdu. Połączenie dwóch pojazdów serii 07 jest więc optymalne w kontekście uniwersalności (możliwość ekonomicznego prowadzenia dwóch lekkich pociągów dwiema czterosiosowymi lokomotywami, bądź elastycznej zamiany typu pracy na jeden ciężki skład, ciągnięty przez dwa połączone elektrowozy [1, 2, 3]).

## **2. MODERNIZACJA INSTALACJI ELEKTRYCZNEJ LOKOMOTYWY**

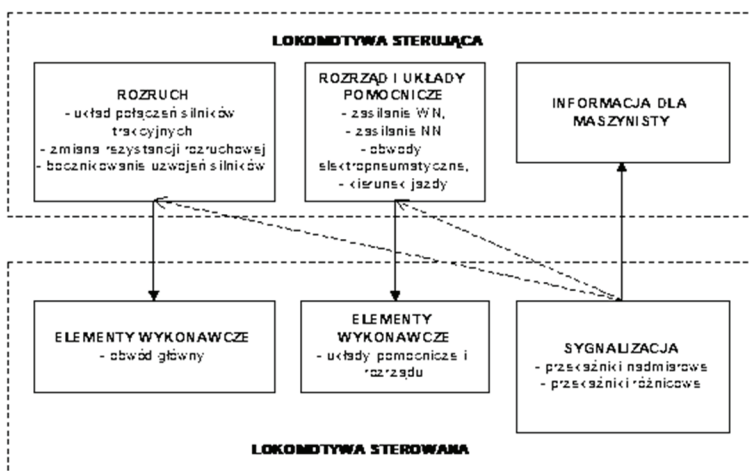
Rozwiązanie fabryczne złącz sterowania wielokrotnego posiada szereg wad, takich jak ograniczona liczba wolnych przyłączy (co utrudnia ewentualną modernizację układu elektrycznego), duże wymiary gabarytowe oraz masę. Największą niedogodność stanowi jednakże brak istnienia podmiotu produkującego części zamienne do fabrycznych KLA-27. Biorąc pod uwagę powyższe, niezbędne jest zmodernizowanie układu sterowania wielokrotnego z wykorzystaniem nowych

złącz. Podczas planowania modernizacji, należy wziąć pod uwagę następujące czynniki:

- parametry mechaniczne (gabaryty, masa, łatwość łączenia),
- parametry elektryczne (ilość dostępnych styków elektrycznych, moc, napięcie, prąd),
- dostępność części zamiennych,
- ocenę dotychczasowego rozwiązania (zweryfikowanie potrzeby poszerzenia dostępnych za pośrednictwem układu funkcji),
- możliwość szybkiej oceny poprawności wykonania połączeń (stworzenie układu testującego).

Dzięki znajomości układu elektrycznego lokomotywy, rodzajów przesyłanych sygnałów między pojazdem sterującym, a sterowanym oraz wyszczególnieniu wad dotychczasowego rozwiązania, możliwe jest podjęcie kroków mających na celu polepszenie funkcjonalności układu złącz. Należy dodać, iż EU07 są lokomotywami wyposażonymi w silniki prądu stałego, a sterowanie prędkością obrotową odbywa się za pomocą układu przekaźnikowo-stycznikowego, kontrolującego załączanie rezystorów rozruchowych i innych łączników. Stąd, przesyłanie pomiędzy pojazdami sygnałów sterujących jedynie samą prędkością pociągu wymaga zastosowania kilkudziesięciu przewodów o ściśle określonym algorytmie pracy (kolejności zasilania). Układ sterowania lokomotywą zasilany jest napięciem 110 V DC, wytwarzanym w przetwornicach (złożonych z: silnika zasilanego napięciem z sieci trakcyjnej 3000 V połączonego na jednym wale z prądnicą oraz wentylatorem silników trakcyjnych, a wszystkie wymienione elementy są sprzężone magnetycznie za pomocą transformatora).

Na rysunku 1 przedstawiono schemat obiegu informacji pomiędzy pojazdami w obrębie układu sterowania wielokrotnego. Większość sygnałów przesyłanych jest jednokierunkowo z lokomotywy sterującej do sterowanej. Oprócz wspomnianego programu pracy styczników rozruchowych, najistotniejsze są takie elementy pracy, jak: załączanie kierunku jazdy, podnoszenie pantografów, wysterowanie cewki wyłącznika szybkiego oraz urządzeń pomocniczych (np. przetwornic, sprzężarek, ustawień parametrów hamulca). Przesył informacji w kierunku odwrotnym ogranicza się do sygnalizacji działania przekaźników zabezpieczających obwód główny i układy pomocnicze. W przypadku przekroczenia dopuszczalnego prądu przetwornic, sprzężarek, silników trakcyjnych oraz ogrzewania pociągu w jednym z pojazdów, następuje samoczynne wyłączenie danego urządzenia, bądź głównego zabezpieczenia – wyłącznika szybkiego w obydwu pojazdach. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku zadziałania wyłącznika różnicowego obwodu głównego. Z uwagi na możliwość wystąpienia poważnych awarii, sygnalizację należy poszerzyć o następujące informacje z lokomotywy sterowanej: detekcja działania hamulca, potwierdzenie działania obydwu przetwornic oraz możliwość odczytania wartości prądu rozruchowego [4].



Rys. 1. Schemat blokowy przesyłu sygnałów w układzie sterowania wielokrotnego elektrowozu EU07 [4]

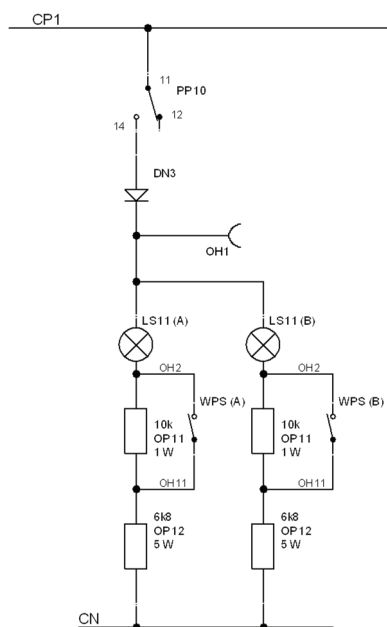
W tabeli 1 przedstawiono porównanie parametrów dostępnych na rynku złącz względem rozwiązania fabrycznego. Zarówno producent 1 jak i 2 proponuje elementy, które spełniają wymagane założenia modernizacji – są mniejsze, lżejsze i zawierają co najmniej kilkanaście wolnych styków. Ponadto, cechują się dużą trwałością łączeniową, wysokim dopuszczalnym napięciem oraz prądem. Jedynie sposób montażu sprzęgu kablowego przemawia za rozwiązaniem fabrycznym – zamiast przykręcanych śrub, stosowany jest w nim zatrzask.

Tabela 1. Zestawienie parametrów wiodących producentów złącz sterowania wielokrotnego z parametrami rozwiązania fabrycznego [4].

Marka/typ	KLA-27	Producent 1	Producent 2
Wymiary gabarytowe [mm x mm x mm]	395x245x146	165x114x106	180x79x36
Wymiary otworu montażowego [mm]	φ40	82x35	φ60/88
Ilość styków	27 (x3)	32 (x3)	35/60 (x3)
Napięcie maksymalne [V]	250	500	700
Prąd znamionowy [A]	5	16	13
Stopień ochrony	b.d.	IP69	IP69
Masa [kg]	15	2	3
Trwałość łączeniowa	b.d.	> = 500	1 000
Napięcie probiercze izolacji [kV]	2	6	2
Montaż sprzęgu	Zatrzaskowy	Przykręcany	Przykręcany

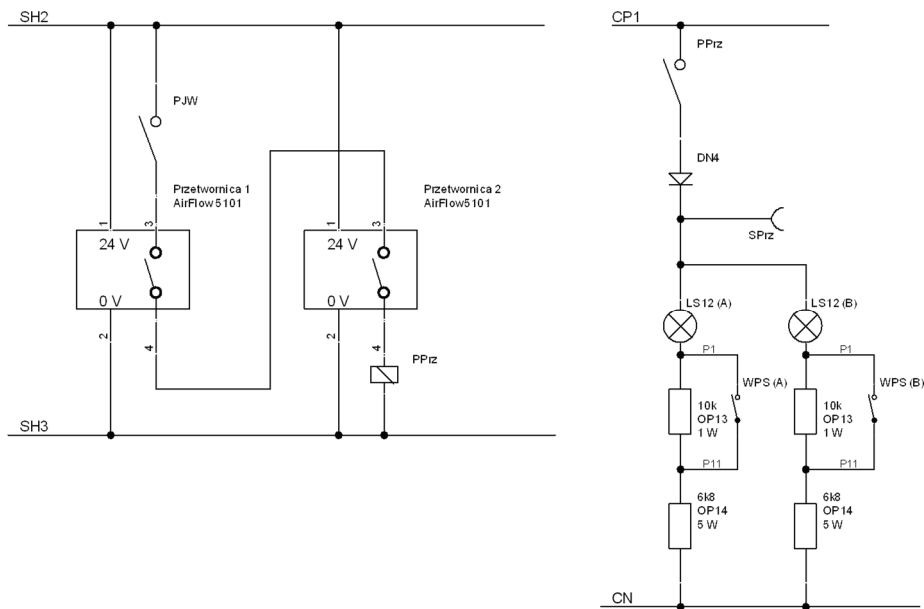
Przy spełnieniu wymagań elektrycznych przez obydwu producentów, ostateczny etap wyboru złącz opiera się na cenie oraz warunkach montażu. Z uwagi na konieczność instalacji zaślepień w przypadku producenta nr 2 (co zwiększa wymiary gabarytowe rozwiązania), zdecydowano się na wersję nr 1, mimo konieczności dostosowania otworów montażowych (zmiana z okrągłych na prostokątne).

Najważniejszym elementem modernizacji układu elektrycznego jest wdrożenie sygnalizacji zahamowania drugiej lokomotywy. W przypadku instalacji sterowania wielokrotnego, stycznik rozrządu „SZ1”, umożliwiającą załączenie pierwszej pozycji jazdy jest pominięty (zmostkowany). Warunkiem jego załączenia w trakcji pojedynczej jest spełnienie szeregu czynników związanych z odhamowaniem pojazdu. Hamulce lokomotywy są zasilane sprężonym powietrzem, a zwiększenie ciśnienia w cylindrach potwierdzone jestysterowaniem cewek odpowiednich styczników elektropneumatycznych. Najprostszym sposobem sygnalizacji obecności ciśnienia w cylindrach jest wykorzystanie jednego z nich – „WCSZ”, który załączony jest po przekroczeniu wartości 1,1 MPa. „WCSZ” połączony jest z układem rejestratora danych lokomotywy poprzez przekaźnik „PP10”. Wymiana jednostykowego „PP10” na co najmniej dwustykowy umożliwia stworzenie obwodu z diodami, umieszczonymi w kabinie maszynisty. Sygnał przesyłany jest do lokomotywy sterowanej za pośrednictwem „OH1” – wolnego styku złącz sterowania wielokrotnego (rys. 2).



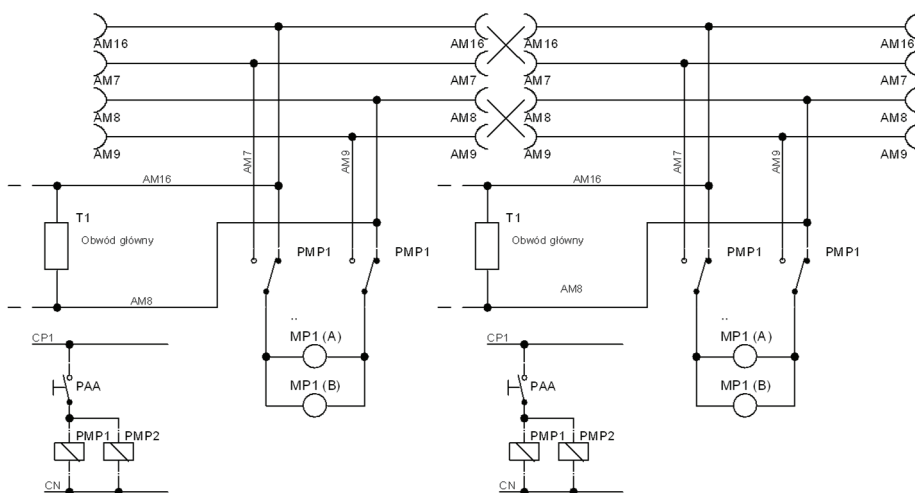
Rys. 2. Schemat sygnalizacji zahamowania lokomotywy [4]

Silniki trakcyjne chłodzone są za pomocą wentylatora, sprzężonego z przetwornicą główną. Na lokomotywie zamontowane są dwie przetwornice, a każda z nich chłodzi dwa silniki umieszczone na danym wózku pojazdu. Brak wentylacji powoduje nagrzewanie się uzwojeń, a w konsekwencji ich uszkodzenie. Informacja o działaniu przetwornic w lokomotywie sterowanej może być przekazywana z wykorzystaniem przepływomierzy powietrza, umieszczonych w pobliżu wentylatora. W chwili zadziałania przekaźnika jazdy wielokrotnej „PJW”, uruchamiającego w celu połączenia lokomotyw, zasilane zostaje połączenie szeregowe przepływomierzy. Jedynie w przypadku detekcji ruchu powietrza przy dwóch wałach następuje wysterowanie przekaźnika „PPrz”, który to zasila diody zamontowane w kabinach maszynisty, a sygnał między lokomotywami przekazywany jest za pośrednictwem przewodu „SPrz” (rys. 3).



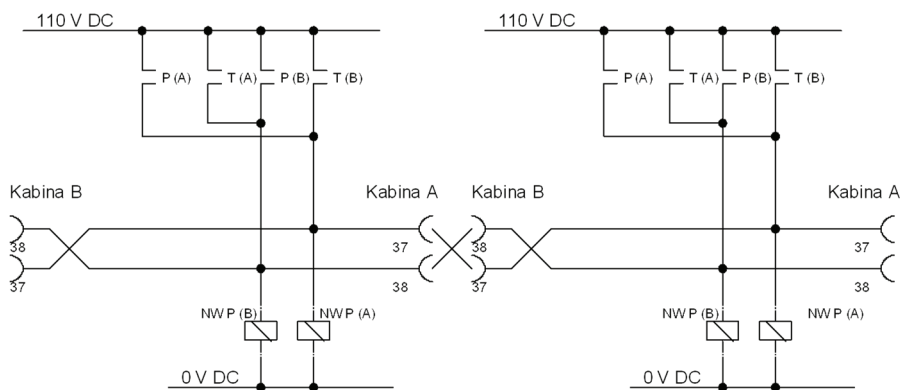
Rys. 3. Schemat sygnalizacji działania przetwornic [4]

Podczas wykonywania modernizacji, możliwe jest zaadaptowanie układu pierwotnie wykorzystanego na lokomotywie dwuczłonowej ET41 w celu sygnalizacji wartości prądu rozruchowego. W wyniku naciśnięcia przycisku „PAA” przez maszynistę, następuje przełączenie obwodu boczników „T1” oraz „T2” pomiędzy członami w wyniku wysterowania cewek przekaźników „PM1” i „PM2”. W celu zastosowania układu na lokomotywie EU07 należy zainstalować dwa dodatkowe przekaźniki, przycisk w każdej z kabin oraz wykorzystać osiem przewodów złącz sterowania wielokrotnego. Układ ten przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat sygnalizacji wskazań amperomierzy WN [3]

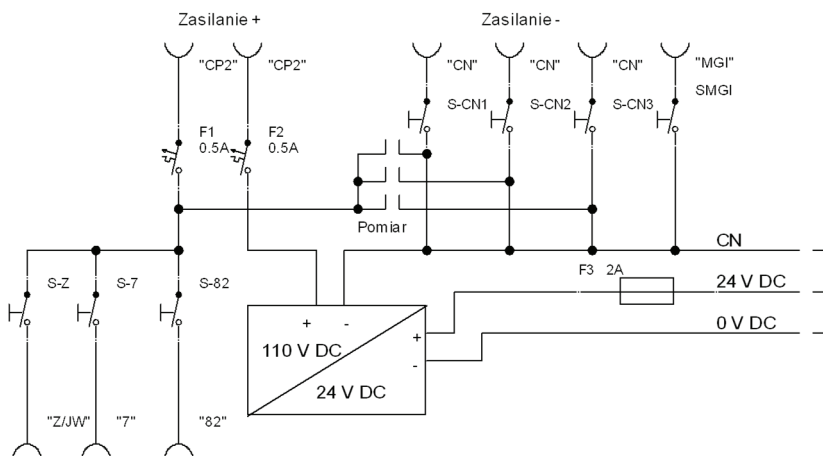
Duża ilość fizycznych połączeń sprzyja występowaniu szeregu usterek oraz błędów w podłączeniach wykonywanych podczas napraw okresowych. Przykładem jest niewłaściwe załączanie cewek nawrotnika (urządzenia sterującego kierunkiem jazdy). Istnieją cztery możliwości połączeń sprzęgów do złącz. Jazda do przodu z kabiny „A” odbywa się poprzez zasilenie przewodu „37”, a z kabiny B – zasilenie „38”. Możliwość czterech konfiguracji połączeń kabin „A – A”, „A – B”, „B – A”, „B – B” sprawia, iż zarówno styki w złączach, jak i przewody w sprzęgu muszą być ze sobą skrzyżowane w celu poprawnego wystereowania kierunku jazdy. Przykład połączenia przedstawiono na rysunku 5. Za pośrednictwem wskazanego kształtu obwodu, jazda do przodu kabiną „B” lokomotywą sterującą będzie tożsama z jazdą w tym samym kierunku kabiną „B” lokomotywy sterowanej (w obu przypadkach zasilenie przewodu „38”).



Rys. 5. Schemat przełączania kierunku jazdy [4]

### 3. CHARAKTERYSTYKA UKŁADU TESTUJĄCEGO

Z uwagi na dużą liczbę przesyłanych sygnałów w postaci analogowej, zaproponowano układ diodowy, sprawdzający poprawność działania instalacji sterowania wielokrotnego. W celu oddzielenia galwanicznego obwodów lokomotywy i testera oraz zapewnienia bezpieczeństwa operatora, zastosowano przetwornice 110 V/24 V DC (rys. 6). Dwa obwody zasilające „CP2” chronione są przez wyłączniki samoczynne 0,5 A. Jeden z przewodów zasilia przetwornicę, drugi służy do symulacji zadziałania przekaźników nadmiarowych przetwornic (przycisk „S-7”), ogrzewania pociągu („S-82”) oraz wyłącznika jazdy wielokrotnej (S-Z, przekaźnik jazdy wielokrotnej umożliwia odłączenie urządzeń automatyki bezpieczeństwa pociągu w lokomotywie sterowanej). Efektem tej części symulacji jest zaświecenie odpowiednich lampek w pojeździe. Obwód 24 V DC ochroniono bezpiecznikiem topikowym 2 A. Pomiędzy przewodem plusowym „CP2”, a minusowym „CN” zamontowano przyłącza pomiarowe oraz przełączniki, umożliwiające sprawdzenie ciągłości przewodów.

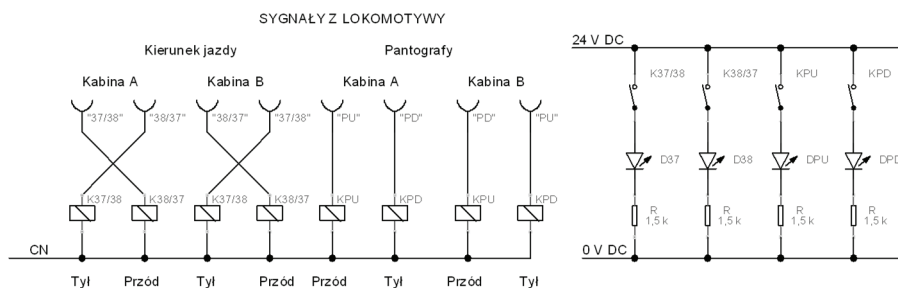


Rys. 6. Schemat zasilania układu testującego [4]

Podłączenie elektrowozu do układu testującego odbywa się za pomocą sprzęgów oraz wtyczek tożsamyh z zastosowanymi w pojeździe sterowanym. Przetwornica testera zasilana jest napięciem 110 V DC z elektrowozu. W omawianym urządzeniu, sygnały pochodzące z lokomotywy sterują cewkami przekaźników, których styki zasilają odpowiednie diody w obwodzie 24 V DC. Specyfika układu przełączania kierunku jazdy umożliwia zastosowanie dwóch diod „Przód” oraz „Tył”, które to niezależnie od sprawdzanej kabiny odwzorują załączenie jednego z dwóch przekaźników nawrotnika, zgodnie z żądaniem maszynisty. Na rysunku 7 przedstawiono tenże układ oraz symulację działania

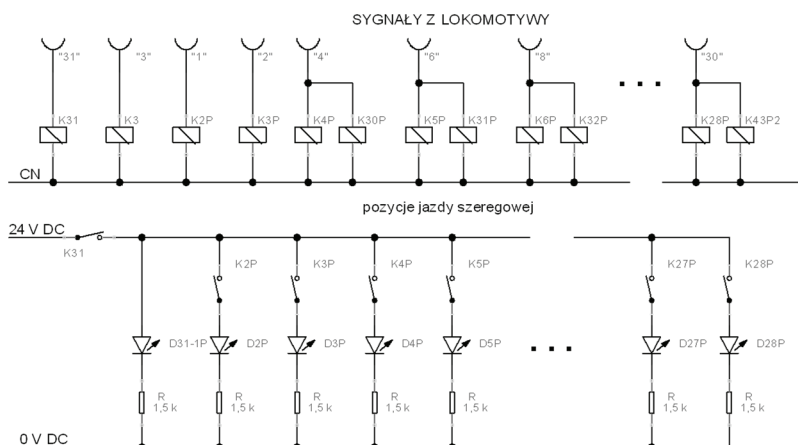


cewek podnoszenia pantografów. Wartość rezystora diod obliczono na 1,5 kΩ (prąd znamionowy 20 mA).



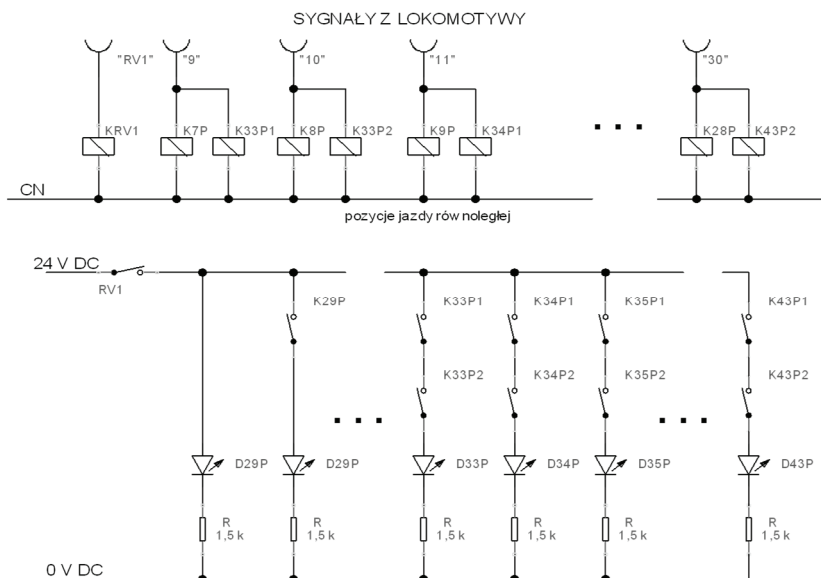
Rys. 7. Schemat symulacji pracy nawrotnika oraz załączania pantografów [4]

Po przeanalizowaniu pracy układu elektrycznego lokomotywy stwierdzono, iż największą trudność stanowi przejrzyste odwzorowanie przełączania pozycji nastawnika jazdy (rozruchu pojazdu). Podjęto decyzję o stworzeniu układu 48 diod, z których każda symuluje załączenie jednej pozycji. Dzięki wykorzystaniu pomocniczych przekaźników (zasilanych z przewodów: „31” – będący pod napięciem na wszystkich pozycjach, ale tylko w układzie szeregowym oraz „RV1” – zasilony tylko w układzie równoległym), znaleziono sposób na jednoczesne odwzorowanie wszystkich sygnałów oraz oddzielenie od siebie w sposób naturalny poszczególnych etapów rozruchu. Schemat elektryczny rozwiązania przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Schemat symulacji pracy układu jazdy szeregowej – styk „K31” umożliwia oddzielenie pozycji jazdy szeregowej od równoległej [4]

Ponadto, istnienie 28 pozycji w układzie szeregowym i tylko 15 w równoległym sprawia, iż należy stworzyć zależność, biorąc pod uwagę, iż każdy etap rozruchu zasilają odpowiednio jeden (od 0 do „S” i od „S” do 32 pozycji) oraz dwa (od 33 pozycji do „R”) przewody i odpowiadające im rezystory rozruchowe. Przykładowo, przekaźniki „K7P” oraz „K33P1”, zasilane z przewodu „9”, są pod napięciem zarówno na piątej, jak i trzydziestej pierwszej pozycji jazdy. Jednakże wysterowanie diody symulującej trzydziestą pierwszą pozycję jazdy odbywa się po jednoczesnym zasileniu przewodu „10”, zasilającego przekaźnik „K33P2” – rysunek 9.



Rys. 9. Schemat symulacji pracy układu jazdy szeregowej – styk „RV1” umożliwia oddzielenie pozycji jazdy równoległej od szeregowej [4]

Realizacja symulacji większości pozostałych obwodów polega na zasileniu wprost cewki przekaźnika odpowiadającego bezpośrednio za zaświecenie danej diody. Jedynie w przypadku pracy wyłącznika szybkiego oraz zmiany parametrów hamulca zastosowano blokadę wykluczającą oraz układ z samopodtrzymaniem. W lokomotywie obecne są przyciski monostabilne (na przykład uruchamiające i wyłączające wyłącznik szybki), stąd podtrzymanie sygnału ułatwi operatorowi sprawdzenie wykonania poszczególnych czynności na każdym etapie symulacji.

Wykonanie diodowego układu testującego jest stosunkowo tanie, lecz w wyniku zastosowania kilkudziesięciu diod i kilkunastu przycisków jego wymiary gabarytowe oraz masa są stosunkowo duże (odpowiednio  $0,8 \times 0,8$  m oraz kilka kg). Ponadto, awaria obwodu testera może zostać omyłkowo zinterpretowana jako przerwanie połączeń elektrycznych na lokomotywie. Rozwojowa wersja

urządzenia polega na zastosowaniu sterownika PLC (poszerzonego o kilka modułów wejściowych o łącznej liczbie około 100 wejść) oraz panelu HMI. W tym układzie nie ma diod, lecz na poszczególnych ekranach możliwe jest wykorzystanie wirtualnych „lampek”. Funkcjonalność tego rozwiązania może zostać poszerzona o stworzenie algorytmu testowania, czyli automatyczne przełączanie ekranów po wykonaniu danych czynności sprawdzających.

#### 4. WNIOSKI

Przystosowanie lokomotyw EU07 do pracy z ciężkimi pociągami towarowymi polega na modernizacji układu sterowania wielokrotnego. Obejmuje ona przede wszystkim wymianę dotychczas stosowanych elementów (złącza i sprzęgi) na aktualnie produkowane o lepszych parametrach mechanicznych i elektrycznych. Przy okazji wykonywania tychże czynności wskazane jest sprawdzenie funkcjonalności instalacji oraz weryfikacja poprawności wykonania połączeń. W punkcie 2 artykułu zaprezentowano obwody elektryczne, których montaż zminimalizuje ryzyko wystąpienia poważnych awarii. Do niebezpiecznych sytuacji tego typu należą: przesunięcie obręczy kołowych w wyniku ciągłego, awaryjnego zasilenia cylindrów hamulcowych sprężonym powietrzem, uszkodzenie uzwojeń silników trakcyjnych na skutek braku chłodzenia oraz uniknięcie przeciążenia tychże maszyn dzięki informacji o wartości prądu rozruchowego. Modernizacja obwodów polega na montażu jedynie kilku przekaźników, diod i czujników oraz wykorzystania kilkunastu wolnych styków nowych złącz sterowania wielokrotnego. Taka skala wpływa na zmniejszenie kosztów przy osiągnięciu wymaganego celu. Z uwagi na liczbę połączeń między lokomotywami, stworzono koncepcję układu testującego obwody sterujące. Zapewnia on przejrzystą i jednoznaczną weryfikację poprawności wykonania modernizacji, co opisano w punkcie 3. Z uwagi na jego wady (układ przekaźnikowo – stycznikowy), zaproponowano także wersję rozwojową z wykorzystaniem sterownika PLC oraz panelu HMI. Większość wskazanych w artykule rozwiązań jest w trakcie wdrażania w jednym z przedsiębiorstw użytkujących lokomotywy EU07 w ruchu towarowym.

#### LITERATURA

- [1] Gramza G., Kwaśnikowski J., Porównanie własności trakcyjno-ruchowych lokomotyw EU07 i ET22 ze składem towarowym, *Problemy Eksploatacji*, 2-2009, s. 121-128.
- [2] Maciszewski H., *Lokomotywy elektryczne serii EU06 i EU07*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1974.
- [3] Schematy obwodów elektrycznych lokomotywy ET41, Centralne Biuro Konstrukcyjne PKP w Poznaniu, Poznań, 1994.
- [4] Szweda Ł., *Modernizacja złącz sterowania wielokrotnego*, Praca dyplomowa magisterska IIEiP Politechnika Poznańska, 2019.

## **MODERNOZATIOM OF THE MULTIPLE CONTROL SYSTEM OF THE EU07 LOCOMOTIVE**

This paper includes a project of multiple control connectors modernization in EU07 series locomotive. At first, the history of EU07 exploitation in changing business conditions was discussed. These locomotives can be used further after the changes in the electric circuits. The type and range of changes depends on requirements for freight trains. After following a review available solutions, the optimal option was selected. The next part is about verification of factory default settings and proposals about construction improvements. New signals between the locomotives can prevent a dangerous failures. Moreover electric circuits were projected to reflect the work of multiple control and detect any mistakes.

*(Received: 11.02.2020, revised: 07.03.2020)*