

Układy nastawcze zwrotnicowe typu przekaźnikowego – wymagania i badania

Marek BARTCZAK¹, Barbara KABACIŃSKA², Krzysztof OLSZEWSKI³

Streszczenie

W artykule określono wymagania stawiane układom nastawczym zwrotnicowym. Przedstawiono klasyfikację i charakterystykę ogólną układów stosowanych w urządzeniach przekaźnikowych eksploatowanych na sieci PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Opisano zakres badań technicznych, które są konieczne do wydania świadectwa dopuszczenia do eksploatacji nowych układów.

Słowa kluczowe: układ nastawczy zwrotnicowy, napęd zwrotnicowy, urządzenia sterowania ruchem kolejowym, przekaźnik

1. Wstęp

Bezpieczeństwo i sprawność ruchu pojazdów kolejowych na stacjach i innych posterunkach ruchu w dużym stopniu zależy od poprawnej pracy napędu zwrotnicowego oraz układu nastawczego służącego do sterowania tym napędem. Z tego względu układy te były udoskonalane, ponieważ stawiano im coraz większe wymagania. Poprawnie zaprojektowany układ nastawczy zwrotnicowy powinien charakteryzować się cechą bezpieczeństwa działania (ang. *fail-safe* – bezpieczny w razie usterek) i dużą niezawodnością działania oraz minimalną liczbą elementów składowych.

2. Wymagania stawiane układom nastawczym zwrotnicowym

Można wyodrębnić cztery podstawowe grupy wymagań, które powinny spełniać układy nastawcze zwrotnicowe:

- 1) wymagania funkcjonalne,
- 2) wymagania środowiskowe,
- 3) wymagania bezpieczeństwa,
- 4) wymagania niezawodnościowe.

2.1. Wymagania funkcjonalne

Wymagania funkcjonalne dla nowych układów nastawczych zwrotnicowych [2, 3] można sformułować na podstawie opisów urządzeń srk znanych z literatury.

Z opisu układów znajdujących się w zestawach wykonawczych o oznaczeniu fabrycznym CVUE i CVUD, które wchodzi w skład modułu zwrotnicowego urządzeń zblokowanych IZH 111 [11] wynika, że powinny one umożliwiać realizację następujących funkcji:

- nastawienie zwrotnicy z jednego położenia krańcowego w drugie,
- zmianę kierunku nastawiania podczas przestawiania zwrotnicy,
- nastawienie zwrotnicy z położenia pośredniego w położenie krańcowe,
- wyłączenie prądu nastawczego po osiągnięciu przez zwrotnicę położenia krańcowego,
- wyłączenie prądu nastawczego po przekroczeniu maksymalnego czasu przestawiania zwrotnicy, np. w przypadku ograniczenia ruchu zwrotnicy przez przeszkodę zewnętrzną,
- kontynuację przestawiania zwrotnicy po zajęciu odcinka izolowanego zwrotnicowego przez tabor podczas jej przestawiania,
- przestawienie zwrotnicy w przypadku uszkodzenia się układu kontroli niezajętości za pomocą dodatkowego przycisku (bocznikowania izolacji),
- rejestrację rozprucia zwrotnicy przez tabor,
- rejestrację użycia przycisku kasowania rozprucia zwrotnicy,
- wprowadzenie zależności stacyjnych urządzeń srk,
- przebiegowe nastawianie zwrotnicy,
- lokalne nastawianie zwrotnicy,
- indywidualne zamknięcie zwrotnicy,

¹ Dr inż.; Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu; e-mail: m.bartczak@uthrad.pl.

² Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji; e-mail: bkabacinska@ikolej.pl.

³ Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji; e-mail: kolszewski@ikolej.pl.

- sygnalizację na pulpicie nastawczym: położenia zwrotnicy, stanu zajętości, utwierdzenia, rozprucia i indywidualnego zamknięcia oraz przekazania zwrotnicy do lokalnego nastawiania,
- kontrolę zwarć doziemnych w kablu nastawczym.

2.2. Wymagania środowiskowe

Układy nastawcze zwrotnicowe pracują w środowisku stochastycznym, które w aspekcie teorii niezawodności można uznać za integralny element układu funkcjonalnego [10]. Realizacja dowolnej funkcji przez układy zależy więc nie tylko od ich niezawodności, ale również od warunków środowiskowych, w jakich dana funkcja będzie wykonywana. W przypadku występowania wymaganych warunków środowiskowych, prawdopodobieństwo realizacji funkcji przez układy zależy wyłącznie od ich niezawodności, natomiast przy występowaniu warunków wykraczających poza ustalony przedział tolerancji, prawdopodobieństwo realizacji funkcji przez układy w głównej mierze jest warunkowane przez występujące warunki środowiskowe.

Ze względu na rodzaj narażeń środowiskowych oddziałujących na układy nastawcze zwrotnicowe w czasie ich eksploatacji, układy powinny spełniać następujące wymagania środowiskowe:

- klimatyczne, związane z czynnikami klimatycznymi,
- mechaniczne, związane z czynnikami mechanicznymi,
- elektryczne, związane przede wszystkim z pracą układów.

Do każdego z wymienionych czynników środowiskowych są przypisane określone wymagania [19]. Wymagania związane z czynnikami klimatycznymi dotyczą zakresu temperatur pracy, wilgotności względnej oraz ciśnienia powietrza otaczającego układ. Z czynnikami mechanicznymi są związane takie wymagania, jak odporność na wibracje i odporność na udary. Przykładowo przedstawiono warunki klimatyczne i mechaniczne oraz warunki zasilania, w których powinna być zapewniona poprawna praca urządzeń wewnętrznych układów nastawczych zwrotnicowych według dokumentu [21]:

1. Warunki klimatyczne:

- w budynku nastawni i kontenerze:
 - temperatura otoczenia 0°C do $+50^{\circ}\text{C}$,
 - chwilowy skok temperatury 20°C do $+60^{\circ}\text{C}$,
 - wilgotność względna do 70% przy zastosowaniu urządzeń klimatyzacyjnych lub do 90% bez urządzeń klimatyzacyjnych.

2. Warunki mechaniczne (udary i wibracje):

- w budynku nastawni:
 - wibracje (drgania mechaniczne) o częstotliwości w przedziale od 3 do 40 Hz i maksymalnej amplitudzie 0,2 mm oraz częstotliwości od 40 do 100 Hz i maksymalnej amplitudzie 0,03 mm,
 - średnie przyspieszenia udarów do $2g$, gdzie g oznacza przyspieszenie ziemskie;

• w kontenerze:

- wibracje o częstotliwości od 3 do 40 Hz i maksymalnej amplitudzie 0,2 mm oraz częstotliwości od 40 do 100 Hz i maksymalnej amplitudzie 0,03 mm,
- średnie przyspieszenia udarów do $2g$.

3. Warunki zasilania (tolerancja źródła napięcia zasilania):

- prądu przemiennego $-15\% / +10\%$,
- prądu stałego $\pm 10\%$,
- częstotliwość $\pm 5\%$.

Na podstawie wymienionych wymagań są wzorowane analogiczne wymagania podane w dokumencie normatywnym [22], który pismem DG PKP KA nr KA2b-5400-01/98 z dnia 06.02.1998 r. wprowadzono do stosowania na sieci PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Ponadto, z przedstawionymi wymaganiami mechanicznymi są w pełni zgodne wymagania mechaniczne zawarte w normach [16, 17].

Do czynników elektrycznych zalicza się m.in. wyładowania elektrostatyczne (ESD), zakłócenia impulsowe nanosekundowe i dużej energii, zapady i krótkie przerwy oraz zmiany napięcia zasilającego. Wymagania elektryczne są zdefiniowane w normach [13, 14], które określają dopuszczalne poziomy emisji i odporności oraz kryteria działania urządzeń.

2.3. Wymagania bezpieczeństwa

Wymagania bezpieczeństwa dla urządzeń srk są podane m.in. w dokumencie [22], zgodnie z którym pojedyncze uszkodzenie nie może powodować zagrożenia dla ruchu kolejowego. Zakłada się również, że podczas występowania pojedynczego uszkodzenia nie pojawi się drugie, niezależne uszkodzenie, jeśli to pierwsze ujawnia się. Uszkodzenie lub błędne działanie systemu powinno inicjować reakcję bezpieczną, której nie mogą przerwać kolejne uszkodzenia. Reakcja bezpieczna powinna prowadzić do ujawnienia się uszkodzenia oraz:

- zablokowania całego lub części urządzenia od procesu sterowanego,
- zablokowania procedur funkcjonalnych urządzenia lub ograniczenie jego funkcjonowania z zapewnieniem bezpieczeństwa.

W przypadku układu nastawczego zwrotnicowego, reakcja bezpieczna na uszkodzenia polega na:

- zaniku kontroli położenia zwrotnicy (napędu),
- uniemożliwieniu przestawienia zwrotnicy do położenia wynikającego z zależności.

2.4. Wymagania niezawodnościowe

Do podstawowych wskaźników niezawodnościowych urządzeń naprawialnych, do których należą układy nastawcze zwrotnicowe, zalicza się:

- 1) średni czas między kolejnymi uszkodzeniami (ang. MTBF – *Mean Time Between Failures*),

- 2) średni czas do pierwszego uszkodzenia (ang. MTTF – *Mean Time to Failure*),
- 3) średni czas naprawy (ang. MRT – *Mean Repair Time*),
- 4) współczynnik gotowości technicznej $K_g(t)$ wyrażający się prawdopodobieństwem przebywania urządzenia w chwili t w stanie zdatności. W praktyce pod pojęciem współczynnika gotowości technicznej rozumie się najczęściej jego stacjonarną wartość wyrażoną zależnością:

$$K_g(t) = \frac{MTBF}{MTBF + MRT} \quad (1)$$

Wymienione wskaźniki niezawodnościowe pozwalają ustalić właściwą politykę eksploatacyjną układu i jego elementów.

3. Podział układów nastawczych zwrotnicowych

Najbardziej charakterystycznym i istotnym kryterium podziału układów nastawczych zwrotnicowych jest rodzaj silników elektrycznych zastosowanych w napędach. Na podstawie tego kryterium, układy nastawcze można podzielić na układy nastawcze prądu stałego i układy nastawcze prądu przemiennego. Układy nastawcze prądu przemiennego dzielą się na jednofazowe i trójfazowe.

Jednofazowe układy nastawcze stosowane na sieci PKP PLK S.A. sterują napędami z silnikami elektrycznymi na napięcie 220 V (obecnie 230 V) prądu przemiennego. Biorąc pod uwagę stosowane elementy sterujące zależnościowe, układy te można podzielić na układy nastawcze z przekaźnikami zaciskowymi i z przekaźnikami wtykowymi.

Układy nastawcze z przekaźnikami wtykowymi występują w dwóch odmianach: z przekaźnikami kontrolnymi prądu zmiennego typu JRJ 11710 oraz z przekaźnikami kontrolnymi prądu stałego typu RK 12614.

Układy nastawcze trójfazowe stosowane na sieci PKP PLK S.A. sterują napędami z silnikami elektrycznymi na napięcie 380 V (obecnie 400 V) prądu przemiennego. Układy te różnią się między sobą wielkościami stosowanych przekaźników. Na przykład układ trójfazowy N86 jest zbudowany z przekaźników wtykowych typu RK [12], natomiast układy trójfazowe N86F i N86F-E z małogabarytowych przekaźników JRF [7].

Ze względu na liczbę żył w kablu nastawczym między nastawnią i napędem, układy nastawcze zwrotnicowe można podzielić na: czteroprzewodowe, pięcioprzewodowe, sześcioprzewodowe, siedmioprzewodowe.

Do układów nastawczych czteroprzewodowych należą: układ nastawczy prądu stałego, stosowany w eksploatowanych urządzeniach suwakowych na liniach z trakcją elektryczną, układy jednofazowe oraz układ trójfazowy w zestawie wykonawczym CVUE modułu zwrotnicowego w urządzeniach IZH 111, przeznaczony do nastawiania napędu pojedynczego typu EEA-4. Do układów nastawczych pięcioprzewodowych zalicza się układ nastawczy prądu stałego, stosowany w urządzeniach suwakowych na liniach

bez trakcji elektrycznej. Natomiast układami nastawczymi sześcioprzewodowymi są układy trójfazowe typu N86, N86F i N86F-E oraz układ w zestawie wykonawczym CVUD modułu zwrotnicowego w urządzeniach IZH 111, przeznaczony do sterowania dwoma napędami sprzężonymi EEA-4.

4. Ogólna charakterystyka przekaźnikowych układów nastawczych zwrotnicowych

Układy nastawcze zwrotnicowe składają z dwóch zasadniczych części: urządzeń wewnętrznych oraz urządzeń zewnętrznych. Do urządzeń wewnętrznych zalicza się przyciski sterujące, elektromagnesy, przekaźniki, zestawy wtykowe, bezpieczniki oraz urządzenia zasilające. W skład urządzeń zewnętrznych wchodzi kable i napędy zwrotnicowe.

W urządzeniach przekaźnikowych srk stosowanych na sieci PKP PLK S. A. układy nastawcze zwrotnicowe zawierają cztery podstawowe obwody:

- 1) kontrolny,
- 2) sterujący,
- 3) nastawczy,
- 4) kontroli rozprucia zwrotnicy.

W stanie zasadniczym, w przypadku gdy zwrotnica znajduje się w położeniu plusowym, obwód kontroli położenia plusowego jest zamknięty, natomiast pozostałe obwody są przerwane. W tym obwodzie kontrolowany jest w sposób ciągły stan żył w kablu nastawczym między nastawnią i napędem, stan uzwojenia silnika, stan zestyków napędu oraz stany innych przekaźników wchodzących w skład układu nastawczego. Prawidłowy stan wymienionych elementów warunkuje wzbudzenie przekaźnika kontroli położenia zwrotnicy (Kn).

Zadaniem obwodu sterującego jest wzbudzenie przekaźnika nastawczego (N), określającego przyszłe położenie zwrotnicy. W tym obwodzie jest kontrolowany stan czynny wszystkich przekaźników utwierdzenia przebiegów (U), w których uzależniona jest nastawiana zwrotnica, stan czynny przekaźnika torowego służącego do kontroli izolowanego odcinka zwrotnicowego (IZ) oraz stan bierny wszystkich przekaźników kontroli położenia zwrotnicy i ich powtarzaczy. W celu wyeliminowania możliwości przestawienia zwrotnicy, gdy polecenie jej nastawienia nie było podane z pulpitu, do tego obwodu dodatkowo jest włączone uzwojenie wzbudzające przekaźnika ochronnego (Or).

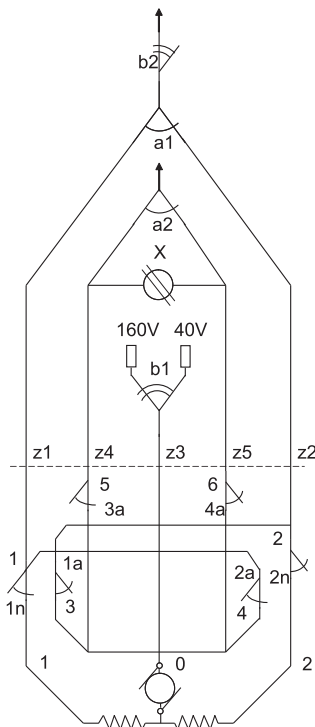
Obwód nastawczy służy do przyłączenia źródła napięcia nastawczego do uzwojeń silnika napędu. W tym obwodzie znajdują się zestyki przekaźników nastawczych i przekaźnika ochronnego. Wyłączenie prądu nastawczego jest realizowane przez zestyki napędu po przestawieniu zwrotnicy do położenia krańcowego.

Obwód kontroli rozprucia rejestruje fakt rozprucia zwrotnicy przez tabor w przypadku jazdy po zwrotnicy z ostrza, znajdującej się w położeniu niewłaściwym dla danego kierunku jazdy.

5. Układy nastawcze zwrotnicowe stosowane na sieci PKP PLK S.A.

5.1. Układ nastawczy do napędów na prąd stały

Przykładowy układ nastawczy zwrotnicowy do sterowania napędem z silnikiem prądu stałego, stosowany w istniejących urządzeniach suwakowych przedstawiono na rysunku 1. W obwód kontrolny, zasilany napięciem stałym o wartości 40 V włączono w szereg zestyki napędu, żyły kabla nastawczego, uzwojenia silnika i elektromagnes kontrolny X o dużej rezystancji. W położeniu krańcowym zwrotnicy, przy zgodności położenia dźwigni sterującej ze zwrotnicą, elektromagnes kontrolny jest wzbudzony. Układ ten steruje napędem typu A, nazywanym również lekkim. Połączenie układu z napędem jest w tym przypadku wykonane za pomocą pięciu żył kablowych.



Rys. 1. Układ nastawczy zwrotnicowy stosowany w istniejących urządzeniach suwakowych [6]

5.2. Układ nastawczy jednofazowy z przekaźnikami zaciskowymi

Układ nastawczy jednofazowy z przekaźnikami zaciskowymi [9] jest stosowany w pierwszych urządzeniach przekaźnikowych typu E. Układ ten zawiera tylko trzy podstawowe obwody: obwód kontrolny, obwód sterujący i obwód nastawczy.

W skład obwodu kontrolnego wchodzi transformator typu REJ 1002, obniżający napięcie z 220 na 110 V oraz przekaźnik kontrolny, którego funkcję spełnia przekaźnik

indukcyjny tarczowy, dwuuzwojeniowy prądu przemiennego, trójpołożeniowy, typu JRY 10205.

Do obwodu sterującego wchodzi przekaźniki pomocnicze typu JRG 1008 o rezystancji 1000 W na napięcie 12 V, przekaźnik ochronny typu JRG 1002 o rezystancji 1 W (prądowy) oraz przekaźnik nastawczy JRR 10103 na napięcie 24 V i prostownik typu MA0032. Przekaźniki pomocnicze powtarzają stan przycisku zwrotnicowego, znajdującego się na pulpicie nastawczym. Przekaźnik ochronny zabezpiecza przed uruchomieniem napędu na skutek pojawienia się w obwodzie sterującym napięcia z innego obwodu, bocznikującego zestyki przekaźników utwierdzenia przebiegów i przekaźnika torowego i zagrażającego bezpieczeństwu ruchu. Przekaźnik nastawczy przełącza obwody kontrolno-nastawcze. Jest to trójpołożeniowy przekaźnik neutralny. Zadaniem cewek bocznych jest wzbudzenie przekaźnika, natomiast cewka środkowa służy do jego podtrzymania w stanie wzbudzonym; cewka ta jest zasilana z obwodu nastawczego za pośrednictwem transformatora i prostownika.

W obwodzie nastawczym znajduje się silnik prądu przemiennego, jednofazowy, repulsyjny na napięcie 220 V, będący częścią składową napędu typu JEA-29 (nazywanego również napędem typu B lub ciężkim). Układ jest połączony z napędem za pomocą czterech żył kablowych.

5.3. Układ nastawczy jednofazowy z przekaźnikami kontrolnymi typu JRJ

Układ nastawczy jednofazowy z przekaźnikami kontrolnymi typu JRJ [5, 9] jest stosowany w urządzeniach E i PB. W porównaniu z układem z przekaźnikami zaciskowymi, w tym układzie trójpołożeniowy przekaźnik kontrolny typu JRY 10205 zastąpiono dwoma przekaźnikami kontrolnymi Kn^+ i Kn^- indukcyjnymi bębnowymi, dwupołożeniowymi typu JRJ 11710, a trójpołożeniowy przekaźnik nastawczy typu JRR 10103 – dwoma przekaźnikami nastawczymi N^+ i N^- dwuuzwojeniowymi, dwupołożeniowymi typu JRK 10814, z podtrzymaniem magnetycznym. Jako przekaźnik ochronny zastosowano przekaźnik dwuuzwojeniowy typu JRK 10311. Całkowita liczba podstawowych przekaźników jest taka sama jak w układzie z przekaźnikami zaciskowymi.

Układ z przekaźnikami kontrolnymi typu JRJ zawiera dodatkowo obwód przekaźnika Kr kontroli rozprucia zwrotnicy. Przekaźnik ten jest włączony w obwód kontrolny i w stanie zasadniczym jest odwzbudzony, gdyż w jego uzwojeniu płynie niewielki prąd. W trakcie rozprucia zwrotnicy, na skutek zwarcia obwodu kontrolnego przez zestyki napędu, przechodzi on w stan czynny i swoim zestykiem przełącznym pod prądem przerywa obwód kontrolny, nie powodując zwolnienia swojej kotwicy. Funkcję przekaźnika Kr spełnia przekaźnik typu teletechnicznego, ponieważ jego zestyki nie mają wpływu na realizację zależności w nastawianiu zwrotnicy.

5.4. Układ nastawczy jednofazowy z przekaźnikami kontrolnymi typu RK

Układ nastawczy jednofazowy z przekaźnikami kontrolnymi typu RK [8] jest stosowany w urządzeniach E i PB, podobnie jak układ nastawczy z przekaźnikami kontrolnymi typu JRJ. Obwód kontrolny tego układu zawiera przekaźniki kontrolne prądu stałego: jeden przekaźnik podwójny typu RK 12614 lub dwa przekaźniki pojedyncze typu RK 10614 oraz zestaw wtykowy typu ERL 11014, w którym znajduje się także aparatura dla obwodów kontroli rozprucia zwrotnicy i doziemienia kabla nastawczego. Obwód ten jest zasilany prądem przemiennym z zestawu ERL 11014.

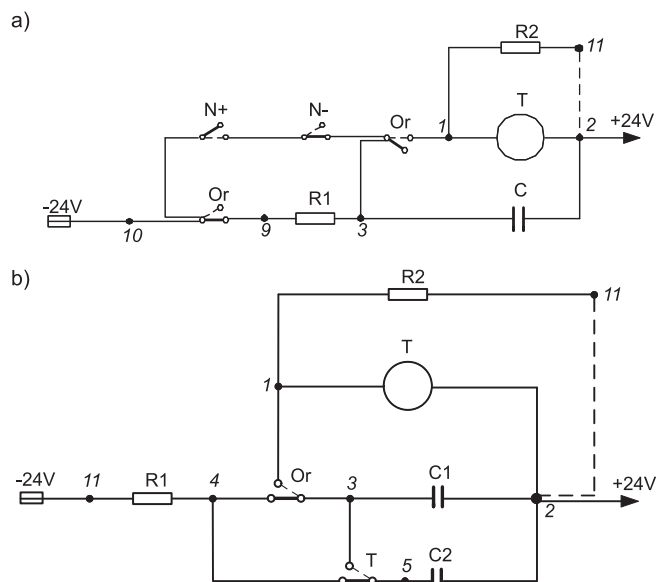
Przekaźniki nastawcze są przekaźnikami typu RK 12814 (podwójne) lub 2×RK 10814 (pojedyncze), a przekaźnik ochronny jest przekaźnikiem dwuuzwojeniowym typu JRK 10311. Odwzbudzony w stanie zasadniczym przekaźnik Kr przyciąga swoją kotwicę po zwarceniu obwodu kontroli położenia zwrotnicy przez zestyki napędu przy jednoczesnym zajęciu jej odcinka izolowanego.

Zadaniem obwodu kontroli uziemienia jest ciągła kontrola izolacji kabla nastawczego zwrotnicy. Przekaźnik kontroli uziemienia Kd wzbudza się na skutek zmniejszenia rezystancji kabla poniżej 10 kW, zamykając swoim zestykiem czynnym obwód wzbudzenia powtarzacza pKd, który włącza sygnalizację usterki przez zaświecenie się diody LED, znajdującej się w zestawie ERL11014. Wzbudzony przekaźnik pKd podtrzymuje się na własnym zestyku oraz przerywa obwód kontrolny zwrotnicy.

Odwzbudzony przekaźnik kontroli położenia zwrotnicy może wzbudzić tylko pracownik utrzymania urządzeń srk po uprzednim naprawieniu uszkodzonego kabla, co jest równoznaczne z przerwaniem obwodu zasilania przekaźnika K oraz przez użycie przycisku oKd w celu przerwania obwodu zasilania przekaźnika pKd i diody LED. Po odwzbudzeniu przekaźnika pKd jeden jego zestyk zamknie obwód wzbudzenia przekaźnika kontroli położenia zwrotnicy.

Mankamentem układów nastawczych jednofazowych jest brak kontroli czasu przestawiania zwrotnicy, co jest główną przyczyną przepalenia uzwojeń silnika w przypadku ograniczenia ruchu zwrotnicy przez przeszkodę zewnętrzną (np. kamień, śnieg) lub zacięcia zamknięć nastawczych. W celu wyeliminowania tego mankamentu opracowano obwody kontroli czasu przestawiania, charakteryzujące się cechą *fail-safe* [4], podobnie jak analogiczne obwody w układach nastawczych znajdujących się w zestawach wykonawczych CVUD i CVUE modułu zwrotnicowego w urządzeniach IZH 111. Obwód z rysunku 2a składa się z przekaźnika czasowego T i połączonego z nim równolegle kondensatora C. W stanie zasadniczym obwód przekaźnika T jest przerywany zestykiem czynnym przekaźnika ochronnego Or. Kondensator C natomiast jest przyłączony do baterii zasilającej przez zestyk bierny przekaźnika Or i rezystor ograniczający R1. Do zapewnienia wzbudzenia przekaźnika T, równolegle do zestyku biernego przekaźni-

ka Or i rezystora R1 włączono gałąź z połączonymi szeregowo zestykami biernymi przekaźników nastawczych N⁺ i N⁻.

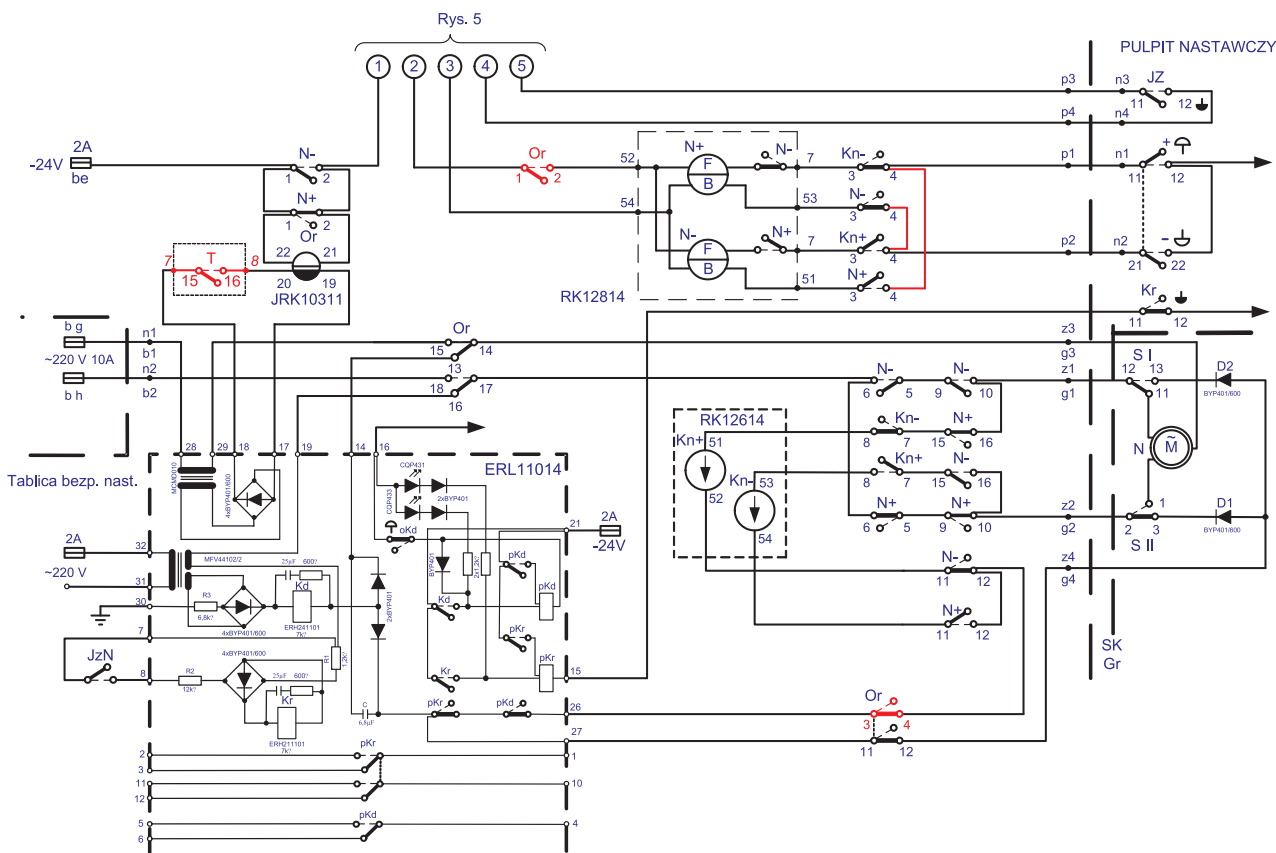


Rys. 2. Obwody kontroli czasu przestawiania zwrotnicy dla układów nastawczych z przekaźnikami wtykowymi: a) wersja I, b) wersja II [4]

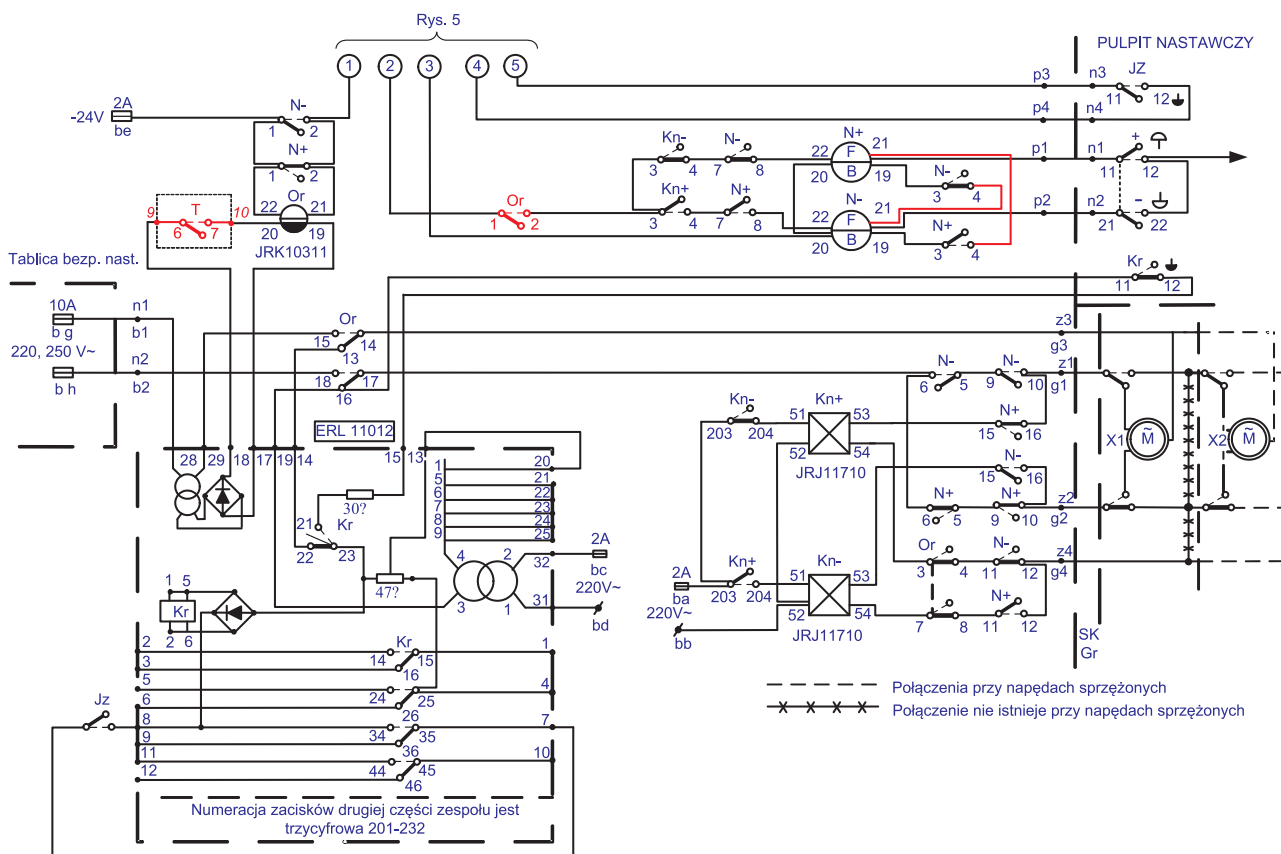
Zestyk czynny przekaźnika T jest włączony do obwodu podtrzymania przekaźnika Or, w celu umożliwienia wyłączenia prądu nastawczego po przekroczeniu maksymalnego czasu przestawiania zwrotnicy (rys. 3 i 4). Do kontroli pracy przekaźnika T, zestyk bierny tego przekaźnika włączono do obwodu odwzbudzenia przekaźników nastawczych, a jego zestyk czynny do obwodu wzbudzenia (rys. 5). Zestyk czynny przekaźnika Or, bocznikujący zestyk bierny przekaźnika T umożliwi zmianę kierunku nastawiania w trakcie przestawiania zwrotnicy.

Po odwzbudzeniu przekaźnika nastawczego i wzbudzeniu przekaźnika Or wzbudzi się przekaźnik T, którego zestyki czynne zamkną obwód wzbudzenia właściwego przekaźnika nastawczego i obwód podtrzymania przekaźnika Or. Z chwilą wzbudzenia przekaźnika nastawczego w uzwojeniu przekaźnika T zacznie płynąć prąd rozładowania kondensatora C. Po obniżeniu się tego prądu poniżej wartości prądu odwzbudzenia, przekaźnik T odwzbudzi się i swym zestykiem przerwie obwód podtrzymania przekaźnika Or, który wyłączy prąd nastawczy oraz zamknie obwód ładowania kondensatora C.

Obwód kontroli czasu przestawiania zwrotnicy, pokazany na rysunku 2b składa się z przekaźnika czasowego T oraz kondensatorów C1 i C2. Przekaźnik T w stanie zasadniczym jest odwzbudzony. Kondensatory C1 i C2 są dołączone do baterii zasilającej. Rezystor R1 ogranicza prąd ładowania kondensatorów. W tym przypadku przekaźnik T wzbudza się na skutek rozładowania kondensatora C1 przyłączając swoim zestykiem kondensator C2. Podobnie jak w obwodzie z rysunku 2a, przekaźnik T pozostaje wzbudzony do momentu obniżenia się prądu płynącego w jego uzwojeniu



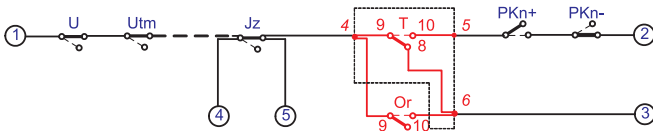
Rys. 3. Zmodyfikowany układ nastawczy jednofazowy, wyposażony w obwód kontroli czasu przestawiania zwrotnicy (wersja I) [4]



Rys. 4. Klasyczny układ nastawczy jednofazowy z przełącznikami wtykowymi, wyposażony w obwód kontroli czasu przestawiania zwrotnicy (wersja II) [1]

poniżej wartości prądu odwzbudzenia. Przejście przekaźnika T do stanu biernego powoduje przerwanie obwodu podtrzymania przekaźnika Or i w konsekwencji wyłączenie prądu nastawczego.

Sposób włączenia zestyków przekaźników T i Or do obwodu sterującego jest identyczny jak w przypadku obwodu z rysunku 2a.



Rys. 5. Obwód zależnościowy zwrotnicy [4]

Czas podtrzymania przekaźnika T w stanie czynnym zależy od pojemności kondensatorów. Wartość pojemności dobrano na podstawie czasu potrzebnego do przestawienia zwrotnic sprzężonych, wynoszącego około 14 s. W przypadku zastosowania obwodów w układach nastawczych, do zwrotnic pojedynczych o maksymalnym czasie przestawiania około 7 s, wystarczy wykonać połączenie 2–11 (linie przerywane na rysunku) w celu dołączenia do cewki przekaźnika T rezystora bocznikującego R2. Dzięki temu, opracowane obwody kontroli czasu przestawiania zwrotnicy mogą być stosowane przy nastawianiu zwrotnic pojedynczych jak i sprzężonych.

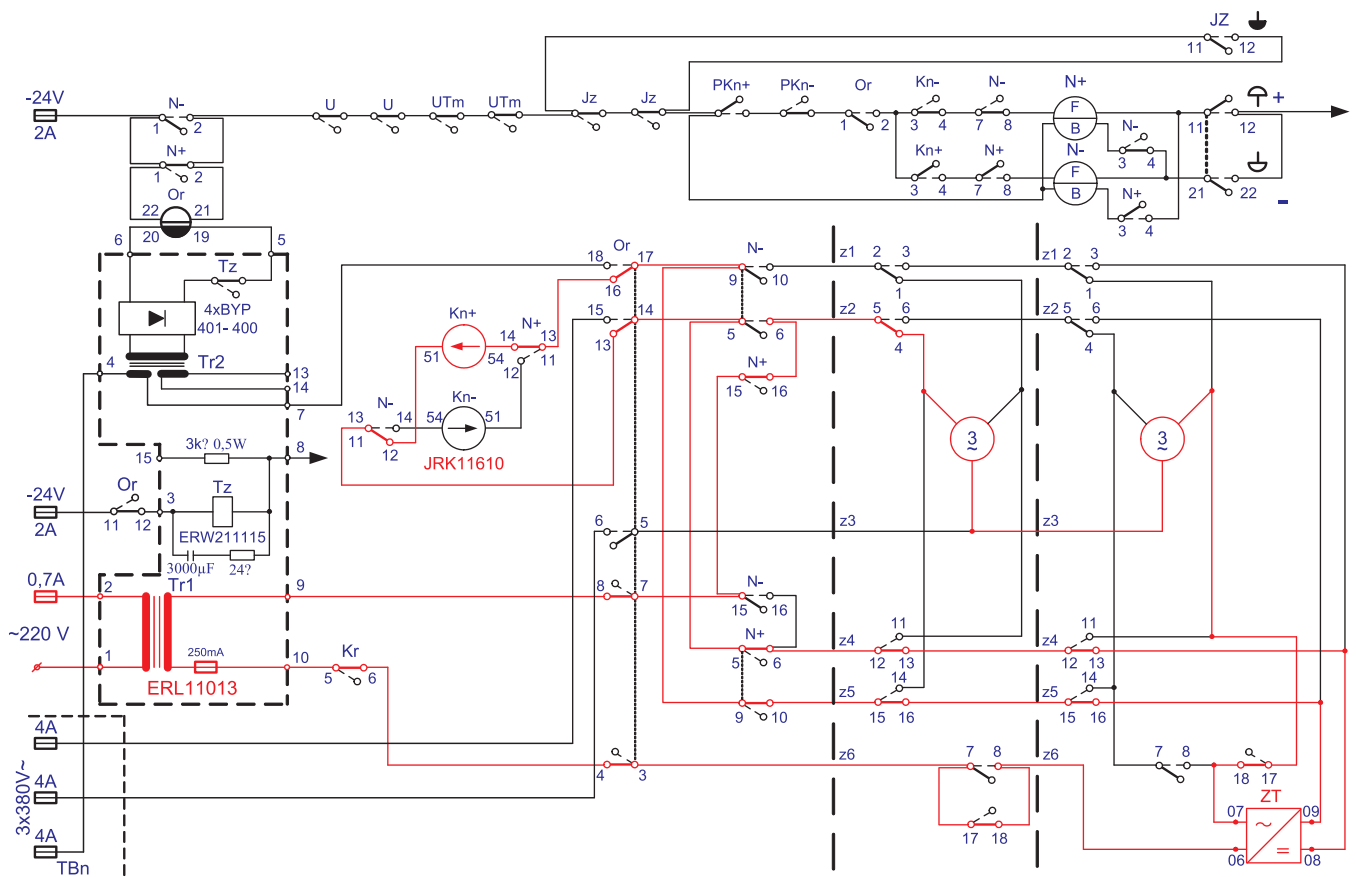
5.5. Układ nastawczy zwrotnicowy trójfazowy N86

Układ nastawczy zwrotnicowy typu N86 [12] przedstawiono na rysunku 6. Obwód kontrolny składa się z dwóch części: zmiennoprądowej i stałoprądowej. Przekaźniki kontrolne są przekaźnikami prądu stałego, spolaryzowanymi typu JRK 11610. W celu umożliwienia ich wzbudzenia, napięcie zmienne około 115 V jest przetwarzane na napięcie stałe około 30 V w przetworniku zwrotnicowym, znajdującym się w terenie poza ostatnim napędem. Obwód kontrolny jest zasilany z zestawu wtykowego ERL 11013.

Obwód sterujący jest zbudowany analogicznie jak obwód sterujący jednofazowego układu nastawczego z przekaźnikami kontrolnymi RK. Różnica polega jedynie na tym, że do obwodu uzwojeń wzбудzających przekaźników nastawczych zamiast dwóch zestyków przekaźnika ochronnego, umieszczonych od strony przycisków zwrotnicowych, włączono jeden z drugiej strony uzwojeń. Pozwoliło to uniknąć stosowanie powtarzacza przekaźnika ochronnego.

Włączenie sygnalizacji rozprucia zwrotnicy jest uwarunkowane stanem biernym obu przekaźników kontrolnych zwrotnicy oraz jednocześnie przekaźnika torowego odcinka zwrotnicowego.

W porównaniu z wcześniej przedstawionymi układami, układ nastawczy N86, jest wyposażony w przekaźnik czasowy, zapobiegający zbyt długiej pracy silnika w przypadku



Rys. 6. Układ nastawczy zwrotnicowy trójfazowy N86 [12]

wystąpienia przeszkody uniemożliwiającej przestawienie zwrotnicy do położenia krańcowego. Przekaznik ten odzwbudza się po przekroczeniu maksymalnego czasu przestawiania, wynoszącego 8 s dla napędu pojedynczego lub 16 s dla napędów sprzężonych, określonego przez elementy RC dołączone równoległe do jego uzwojenia, ponieważ po wzbudzeniu przekaznika ochronnego zostaje odłączony od źródła napięcia zasilającego. Odwzbudzony przekaznik czasowy przerywa swoim zestykiem obwód uzwojenia podtrzymania przekaznika ochronnego, powodując jego przejście w stan bierny. Zastosowany obwód przekaznika czasowego nie ma cechy *fail-safe*.

Układ nastawczy N86, wykonany z przekazników JRF, przy stosowany do umieszczenia na płycie wtykowej JAZ-1001 jest nazywany N86F, natomiast układ nastawczy N86F zawierający układ czasowy T48/24 oraz przekaznik kontroli rozprucia typu R15, który w urządzeniach srk jest stosowany tylko jako pomocniczy, nosi nazwę N86F-E.

5.6. Układy nastawcze zwrotnicowe stosowane w urządzeniach zablokowanych

Układy nastawcze zwrotnicowe stosowane w urządzeniach zablokowanych są wykonane z przekazników typu JRF i służą do nastawiania napędów z silnikiem trójfazowym.

W urządzeniach systemu IZH111, będących pierwszymi urządzeniami zablokowymi zastosowanymi na sieci PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., układy nastawcze zwrotnicowe są umieszczone w zestawach wykonawczych CVUD i CVUE, wchodzących w skład modułu zwrotnicowego. Pierwszy z tych zestawów jest przeznaczony do nastawiania napędów pojedynczych, przy czym prąd nastawczy jest włączany za pomocą triaków. Zestaw CVUE może sterować zarówno napędami pojedynczymi, jak i sprzężonymi; włączenie prądu nastawczego jest realizowane zestykami przekaznika, a wyłączenie – zestykami napędu. Zestaw CVUD jest połączony z napędem za pomocą czterech przewodów, natomiast zestaw CVUE za pomocą sześciu. Oba te zestawy są wyposażone prawie w takie same obwody. Różnice wynikają z możliwości współpracy zestawu CVUE z dwoma zestawami logicznymi CVL dwóch zwrotnic sprzężonych.

Zestawy CVUD i CVUE zawierają dodatkowo obwód kontroli czasu przestawiania zwrotnicy oraz obwód kontroli uziemienia żył kabla nastawczego; przy czym działanie przekazników służących do odmierzania czasu przestawiania jest kontrolowane w danym cyklu nastawczym. W każdym z tych zestawów, oprócz wymienionych przekazników, znajdują się także przekazniki sterowane z pulpitu nastawczego i z nastawnika lokalnego, przekazniki zależnościowe, przekazniki służące do nastawiania zwrotnicy (nastawcze, włączające obwód nastawczy i odmierzające czas przestawiania) oraz przekazniki kontrolne.

Układy nastawcze zwrotnicowe stosowane w urządzeniach typu SUP-1, SUP-2 i SUP-3 oraz OSA i OSA-H są zaprojektowane analogicznie jak układy nastawcze w zestawach CVUD i CVUE.

Układ nastawiania zwrotnic w strefie podziałowej, stosowany w urządzeniach rozrządowych nowszego typu, zbudowany z przekazników JRF [1], jest podobny do układu nastawczego zwrotnicowego z przekaznikami kontrolnymi JRJ. Umożliwia on realizację dodatkowej funkcji polegającej na automatycznym nastawieniu zwrotnicy do położenia wyjściowego po przekroczeniu maksymalnego czasu przestawiania, wynoszącego 1 s. Całkowity czas działania przekazników nie przekracza 0,3 s. Układ ten steruje napędem szybkobieżnym typu EEA-4.

6. Badania układów nastawczych zwrotnicowych

Podstawą formalno-prawną badań systemów i urządzeń przeznaczonych do stosowania na sieci PKP PLK S.A. jest Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 13 maja 2014 r. w sprawie dopuszczenia do eksploatacji określonych rodzajów budowli, urządzeń i pojazdów kolejowych [20]. Rozporządzenie to określa m.in. zakres badań technicznych koniecznych do wydania świadectwa dopuszczenia do eksploatacji typu oraz stwierdzenia zgodności z typem, zasady przeprowadzania prób eksploatacyjnych i procedurę oceny zgodności z typem.

Układy nastawcze zwrotnicowe, będące częścią składową stacyjnych urządzeń sterowania ruchem kolejowym, są oceniane według kryteriów określonych w § 13, punkty 1, 2 wymienionego Rozporządzenia. Przedstawiony zakres badań technicznych obejmuje:

- 1) badanie zgodności z wymaganiami określonymi we właściwych specyfikacjach technicznych i dokumentach normalizacyjnych,
- 2) analizę wyników prób eksploatacyjnych,
- 3) badanie interfejsów z istniejącymi, względnie przewidzianymi do zabudowy urządzeniami powiązanimi, dla których wymagane jest świadectwo dopuszczenia do eksploatacji typu.
- 4) badanie funkcjonalne w warunkach normalnych,
- 5) badanie funkcjonalne w warunkach oddziaływania uszkodzeń wraz z oceną zdolności pozostawania w stanie bezpiecznym przy zmiennych wartościach parametrów napięcia, prądu i częstotliwości,
- 6) badanie funkcjonalne w warunkach oddziaływania czynników zewnętrznych:
 - badania klimatyczne,
 - badania na oddziaływania mechaniczne,
 - badania na oddziaływania elektryczne, w tym kompatybilności elektromagnetycznej.

Badanie funkcjonalne w warunkach normalnych ma na celu sprawdzenie poprawności działania układu w wyniku przeprowadzenia prób funkcjonalnych związanych ze zwrotnicą. Badanie przeprowadza się na stanowisku badawczym, wyposażonym w pulpit nastawczy i napęd.

Badanie funkcjonalne w warunkach oddziaływania uszkodzeń wraz z oceną zdolności pozostawania w stanie bezpiecznym ma na celu sprawdzenie reakcji układu na potencjalne uszkodzenia występujące w jego działaniu. Podobnie jak badanie funkcjonalne w warunkach normalnych, badanie przeprowadza się na stanowisku badawczym.

Badania funkcjonalne w warunkach oddziaływania czynników zewnętrznych są przeprowadzane w celu sprawdzenia odporności układu na narażenia środowiskowe, czyli zdolności do poprawnej pracy przy oddziaływaniu danego czynnika środowiskowego. Przykładowo, w próbach klimatycznych stosuje się narażenia probiercze, takie jak: zimno, suche gorąco czy wilgotne gorąco cykliczne. Narażenia mechaniczne stanowią udary i wibracje. Jako czynniki narażeń elektrycznych przyjmuje się m.in. wyładowania elektrostatyczne, zakłócenia impulsowe nanosekundowe i dużej energii, zapady napięcia, krótkie przerwy i zmiany napięcia zasilającego. Narażenia probiercze wytwarza się środkami technicznymi, np. za pomocą komór klimatycznych, wstrząsarek wibracyjnych i udarowych oraz aparatury EMC.

Badania nie ujęte w Rozporządzeniu [20] obejmują pomiary rezystancji izolacji i sprawdzenie wytrzymałości elektrycznej izolacji na zgodność z wymaganiami dokumentów normalizacyjnych, np. norm [15, 18]. Ich celem jest wykrycie uszkodzenia izolacji.

Rezystancja izolacji jest określana na podstawie natężenia prądu płynącego przez izolację pod wpływem przyłożonego napięcia stałego. Zależy ona od wielu czynników, takich jak temperatura otoczenia i wilgotność powietrza, wartość napięcia probierczego oraz czas trwania pomiaru. Zaleca się, aby pomiar rezystancji izolacji był przeprowadzany w temperaturze od 10°C do 25°C i wilgotności względnej od 40% do 70%. Przy pomiarze rezystancji w temperaturze innej niż temperatura odniesienia 20°C, wynik pomiaru przelicza się do temperatury odniesienia według wzoru

$$R_{20} = R_x \cdot K_{20} \quad (2)$$

gdzie:

R_x – rezystancja izolacji zmierzona w temperaturze t [Ω],

R_{20} – rezystancja izolacji po przeliczeniu do temperatury odniesienia [Ω],

K_{20} – współczynnik korekcji temperaturowej.

Pomiar rezystancji przeprowadza się prądem stałym w celu wyeliminowania wpływu reaktancji izolacji na wynik pomiaru. Dla układu nastawczego zwrotnicowego, zawierającego obwód nastawczy na napięcie znamionowe 400 V AC, wartość napięcia probierczego wynosi 500 V DC. Napięcie to doprowadza się z miernika, np. między zwarte ze sobą zaciski i zacisk uziemiający (obudowę). Obecnie zamiast miernika analogowego (induktorowego) stosuje się mierniki wykonane w technice mikroprocesorowej, umożliwiające programowanie czasu pomiaru, dokonanie odczytów po upływie ustawionego odstępu czasowego oraz

ustawienie minimalnej wartości granicznej rezystancji, po przekroczeniu, której próba zakończy się wynikiem negatywnym. Czas pomiaru z reguły wynosi 60 s.

Rezystancja izolacji mierzona w normalnych warunkach atmosferycznych między różnymi obwodami elektrycznymi układu oraz między obwodami a obudową powinna być nie mniejsza niż 10 MΩ [22].

Sprawdzenie wytrzymałości elektrycznej izolacji jest przeprowadzane w celu ustalenia, czy izolowane od siebie części układu wytrzymają wymagane napięcie probiercze, tzn. czy napięcie to nie spowoduje przebicia izolacji. Polega ono na przyłożeniu na określony czas między izolowane części napięcia probierczego, znacznie przekraczającego napięcie pracy i sprawdzeniu czy nie nastąpiło przebicie izolacji. Zgodnie z normą [18], izolacja między różnymi obwodami układu oraz między obwodami elektrycznymi i obudową powinna wytrzymać bez przebicia i przeskoku iskry napięcie probiercze praktycznie sinusoidalne o wartości skutecznej 2000 V i częstotliwości 50 Hz. Czas trwania próby wynosi 1 min przy badaniach pełnych i 5 s przy badaniach niepełnych. Sprawdzenie wykonuje się miernikiem o minimalnej mocy 500 VA.

Pomiary rezystancji izolacji oraz sprawdzenie wytrzymałości elektrycznej izolacji układu, podobnie jak sprawdzenie poprawności jego działania, przeprowadza się po poszczególnych próbach środowiskowych.

Pozytywne wyniki przeprowadzonych badań i sprawdzeń układu stanowią podstawę wydania przez Urząd Transportu Kolejowego świadectwa dopuszczenia na czas przeprowadzenia prób eksploatacyjnych. Do przeprowadzenia prób eksploatacyjnych jest wymagane zawarcie porozumienia z jednostką organizacyjną PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., która będzie eksploatować badany układ przez 12 miesięcy i sporządzi opinię eksploatacyjną.

Biorąc pod uwagę opinię eksploatacyjną oraz dostarczone raporty z badań, Urząd Transportu Kolejowego wydaje bezterminowe Świadectwo dopuszczenia układu do stosowania zgodnie ze swoim przeznaczeniem w urządzeniach stosowanych na sieci PKP PLK S.A.

7. Podsumowanie

Układy nastawcze zwrotnicowe, podobnie jak układy nastawcze sygnałowe, należą do ważniejszych układów urządzeń elektrycznych sterowania ruchem kolejowym (srk), ponieważ ich konstrukcja w dużym stopniu wpływa na sprawność i bezpieczeństwo ruchu.

Układy nastawcze zwrotnicowe stosowane w urządzeniach przekąźnikowych eksploatowanych na sieci PKP PLK. umożliwiają sterowanie napędami zwrotnicowymi przeznaczonymi do stosowania na liniach dużych prędkości, uzupełnionymi w dodatkowe kontrolery położenia iglic zwrotnicowych.

W celu wykluczenia możliwości przepalenia uzwojeń silnika i zmniejszenia kosztów eksploatacji napędu, układy

nastawcze starszego typu powinny być dodatkowo wyposażone w obwód kontroli czasu przestawiania zwrotnicy.

Nowe układy nastawcze zwrotnicowe każdorazowo podlegają ocenie według kryteriów podanych w Rozporządzeniu [20], zgodnie z którymi układy te są badane pod względem funkcjonalnym w różnych warunkach. Oprócz badań wymienionych w tym Rozporządzeniu, są wykonywane także pomiary i sprawdzenia ich podstawowych parametrów elektrycznych.

Bibliografia

1. Bartczak M., Bartochowski E., Rajkowski Z.: *Zmodernizowany układ sterowania i kontroli szybkobieżnego napędu zwrotnicowego z silnikiem trójfazowym dla górek rozrządowych*, Automatyka Kolejowa 3/1990.
2. Bartczak M.: *Mikroprocesorowy sterownik zwrotnicowy*, XIV Ogólnopolska Konferencja Naukowa Trakcji Elektrycznej i VI Szkoła Kompatybilności Elektromagnetycznej w Transporcie SEMTRAK 2010, Politechnika Krakowska, Zakopane, październik 2010.
3. Bartczak M.: *Mikroprocesorowy układ zwrotnicowy*, Patent nr 220222, Urząd Patentowy RP, Warszawa 2015.
4. Bartczak M.: *Obwody kontroli czasu przestawiania zwrotnicy dla układów nastawczych z przekaźnikami wtykowymi*, XI Ogólnopolska Konferencja Naukowa Trakcji Elektrycznej i III Szkoła Kompatybilności Elektromagnetycznej w Transporcie SEMTRAK 2004, Politechnika Krakowska, Zakopane, październik 2004.
5. Dąbrowa-Bajon M.: *Podstawy sterowania ruchem kolejowym*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002.
6. Dokumentacja suwakowych urządzeń nastawczych.
7. http://usrk.republika.pl/jak_to_dziala/napedy/n86f.htm [dostęp 25.04.2017].
8. Kempny J., Roszkowski E.: *Zmodernizowany jednofazowy układ nastawiania zwrotnic*, Automatyka Kolejowa nr 2/1988.
9. Mickiewicz T., Mikulski A.: *Elektryczne urządzenia zabezpieczenia ruchu kolejowego. Urządzenia stacyjne*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1968.
10. Migdalski J.: *Podstawy strukturalnej teorii niezawodności. Wstęp do niezawodności systemów ogólnych*, Skrypty uczelniane Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 1978.
11. Miksza E., Olendrzyński W., Zubkow A.: *Zblokowany system sterowania ruchem kolejowym na stacjach typu LZH 111*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1979.
12. Mościki Z.: *Trójfazowy zwrotnicowy układ nastawczy*, Automatyka Kolejowa 8/1987.
13. PN-EN 50121-1:2015-10: Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna – Część 1: Postanowienia ogólne (oryg.).
14. PN-EN 50121-4:2017-04: Zastosowania kolejowe – Kompatybilność elektromagnetyczna – Część 4: Emisja i odporność urządzeń sterowania ruchem kolejowym i urządzeń telekomunikacyjnych (oryg.).
15. PN-EN 50124-1:2007: Zastosowania kolejowe – Koordynacja izolacji - Część 1: Wymagania podstawowe – Odstępy izolacyjne powietrzne i powierzchniowe dla całego wyposażenia elektrycznego i elektronicznego.
16. PN-EN 50125-3:2003/AC:2010E: Zastosowania kolejowe - Warunki środowiskowe stawiane urządzeniom – Część 3: Wyposażenie dla sygnalizacji i telekomunikacji (oryg.).
17. PN-EN 50125-3:2003: Zastosowania kolejowe – Warunki środowiskowe stawiane urządzeniom – Część 3: Wyposażenie dla sygnalizacji i telekomunikacji.
18. PN-EN 61180:2016-12 Wysokonapięciowa technika probiercza dla urządzeń niskiego napięcia – Definicje, wymagania dotyczące prób i procedur, urządzenia probiercze” (oryg.).
19. Prażewska M. et al.: *Niezawodność urządzeń elektronicznych* [praca zbiorowa pod kierunkiem M. Prażewskiej]. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności Warszawa, 1987.
20. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 13 maja 2014 r. w sprawie dopuszczenia do eksploatacji określonych rodzajów budowli, urządzeń i pojazdów kolejowych (Dz.U. 2014 poz. 720).
21. UIC/ORE Raport A118/RP4/D 1974.
22. Wymagania bezpieczeństwa dla urządzeń sterowania ruchem kolejowym – DG PKP KA nr KA2b-5400-01/98 z dnia 06.02.1998 r.