

Metody lokalizacji pociągu na szlaku

W dwóch kolejnych artykułach w *tts* przedstawiony zostanie stan obecny i perspektywy rozwojowe urządzeń lokalizacji pociągów na szlaku oraz systemów ATP/ATC, eksploatowanych przez zaawansowane technicznie koleje świata oraz – na tym tle – sytuacja i potrzeby PKP w tej dziedzinie. Problematyka lokalizacji pociągu oraz jego automatycznej ochrony oraz prowadzenia są ze sobą powiązane i powinny być wspólnie opracowywane oraz projektowane, co zapewni ich właściwe współdziałanie i kompatybilność.

Zagwarantowanie bezpiecznej jazdy pociągów, będące podstawowym zadaniem kolei, opiera się na urządzeniach sterowania ruchem kolejowym srk, które przygotowują drogę przebiegu dla pociągu, oraz na właściwych reakcjach maszynisty, któremu ułatwiają pracę lub go zastępują urządzenia automatycznej ochrony pociągu i automatycznego sterowania pociągiem ATP/ATC. Działanie systemu srk wymaga ustalenia położenia pociągów na szlaku. Urządzenia srk, eksploatowane przez współczesną kolej, ustalają położenie pociągu na linii kontrolując stan niezajętości/zajętości toru. Kontrola ta odbywa się przeważnie pośrednictwem obwodów torowych, w których wykorzystuje się zjawisko zwierania toków szynowych przez osie zestawów kołowych pojazdu.

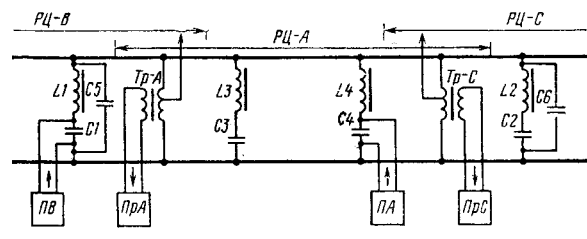
Do celów kontroli stanu zajętości toru szyny muszą być podzielone na odcinki o odpowiedniej długości. W starszych, klasycznych obwodach torowych rolę elementów separujących od siebie sąsiednie obwody pełnią tradycyjnie złącza izolowane, w nowszych – specjalne układy elektryczne, tzw. złącza elektryczne, nienaruszające ciągłości mechanicznej szyn. Złącza elektryczne pojawiły się w miejsce złącz izolowanych, gdyż eliminują ich wady. Stosowane powszechnie na kolei, również na sieci PKP, obwody torowe ze złączami tradycyjnymi przysparzają wielu problemów eksploatacyjnych. Złącza izolowane osłabiają szynę, są kłopotliwe w montażu i utrzymaniu oraz są przyczyną większości usterek pracy obwodu torowego. Zapewnienie ciągłości elektrycznej sieci po-

wrotnej dla prądu trakcyjnego wymusza instalowanie z reguły dwóch dławików torowych przy każdej parze złączy w obu szynach. Dławik jest elementem kosztownym, o znacznych gabarytach, wymagającym okresowego dostrajania, uzupełniania oleju, a więc również kłopotliwym w utrzymaniu. Złącza elektryczne nie narusza ciągłości szyny, nie wymaga zatem stosowania żadnych dodatkowych elementów dla przepływu prądu trakcyjnego. Tworzą je strojone układy rezonansowe LC, usytuowane w torze tak, że powstaje strefa nakładania się sąsiednich obwodów torowych, eliminująca strefę martwą. Obwody z separacją elektryczną nazywane są obwodami bezzłączowymi, w odróżnieniu od tradycyjnych – złączowych.

Niezależnie od sposobu odizolowania jednego obwodu od drugiego, zasada działania kontroli zajętości jest taka sama; różna jest postać sygnału zasilającego obwód. Obwody klasyczne z reguły zasilane są napięciem 50 Hz obniżonym do poziomu kilku do kilkunastu woltów. Obwody z separacją elektryczną wykorzystują sygnały wyższych częstotliwości z zakresu 1000 do 3000 Hz (więcej w obwodach krótkich), niemodulowane lub modulowane. Zwykle stosuje się kilka różnych częstotliwości sygnału, aby uodpornić pracę obwodu na oddziaływanie sąsiednich obwodów w danym torze i w torach równoległych.

W przypadku zastosowania w obwodzie torowym sygnału modulowanego cyfrowo, można w nim zawrzeć określoną strukturę ciągów binarnych. Obwód torowy, którego sygnał nośny jest modulowany cyfrowo i zawiera specjalny, charakterystyczny dla danego obwodu ciąg binarny (kod obwodu) nosi nazwę obwodu kodowanego. Kodowanie sygnału generowanego przez nadajnik obwodu torowego jest najpewniejszym sposobem uodpornienia pracy tego obwodu na wszelkie zakłócenia. Kodowany obwód bezzłączowy jest najodpowiedniejszym obwodem torowym dla linii dużych prędkości.

Pośród linii dużych prędkości, wyposażonych w nowoczesny obwód torowy, należy przede wszystkim wymienić obwód UM-71 stosowany na liniach TGV we Francji [2]. Jest to obwód bezzłączowy, ze wspólnym nadajnikiem sygnału dla kontroli zajętości toru, jak i systemu bezpiecznej jazdy ATP, opartego o transmisję szynami informacji do pojazdu (rys. 1). Możliwości transmisyjne układu nadawczo-odbiorczego wyznaczają długość obwodu 650 m, przy konduktancji jednostkowej między szynami do 1 S/km. Długość ta może być zwiększona nawet do 3000 m przez włączenie kondensatorów kompensacyjnych między toki szyn co 100 m. Nadajniki obwodów torowych UM-71 generują sygnały o częstotliwościach nośnych: 1,7 i 2,3 kHz dla jed-



Rys. 1. Schemat obwodu torowego UM-71

nego toru oraz 2,0 i 2,6 kHz dla drugiego toru linii. Granice obwodu wyznaczają szeregowo układy LC dostrójone do częstotliwości pracy danego obwodu. Odbiornik obwodu torowego jest selektywnym układem elektronicznym, sterującym przekaźnikiem torowym, którego stan decyduje o uznaniu obwodu za wolny lub zajęty. Odbiornik przystosowany jest do odbioru sygnału o częstotliwości nośnej przypisanej do danego obwodu. Odpowiedni poziom odebranego sygnału i jego częstotliwość nośna stanowią kryterium niezajętości obwodu torowego.

Koleje niemieckie eksploatują, zwłaszcza na liniach podmiejskich, obwód torowy z częstotliwościami akustycznymi FTGS (Tonfrequenz – Gleisstromkreisen) [4]. W obwodzie tym sygnał służący do kontroli zajętości toru wykorzystuje się do przesyłania informacji z toru do pojazdu (rys. 2). Częstotliwości nośne sygnału przesyłanego szynami zawarte są w przedziale 4,75 ÷ 16,5 kHz. Sygnał jest modulowany częstotliwościowo FSK z dewiacją ± 64 Hz i prędkością 200 bitów/s. Telegram przesyłany takim sygnałem zawiera bity identyfikujące dany obwód torowy oraz informacje systemu ATP. Kryterium niezajętości obwodu stanowi w tym przypadku, oprócz parametrów sygnału (częstotliwość nośna, dewiacja, częstotliwość modulująca), również struktura telegramu (kod obwodu).

Nowoczesne bezzłączowe obwody torowe stosuje się również w metrze. Skłaniają do tego dobre warunki przesyłania sygnałów szynami – krótkie obwody torowe i mała wartość konduktancji między szynami. Na podstawie dostępnych materiałów firmowych można przedstawić dwa przykłady rozwiązań obwodu, w którym zastosowano wspólny nadajnik do kontroli zajętości toru i transmisji ATP.

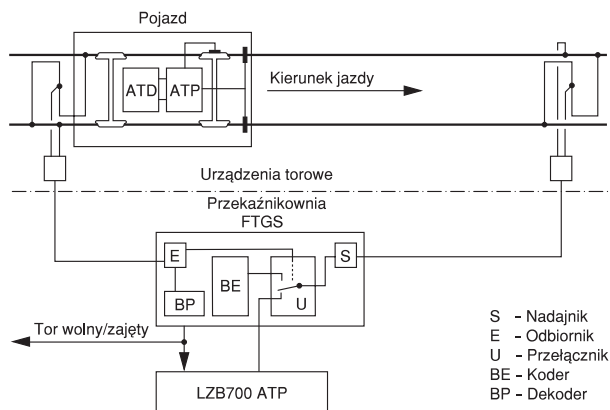
W obwodzie bezzłączowym TI 21-M firmy Adtranz z Plymouth stosuje się 8 wartości częstotliwości nośnych z zakresu 5,6 ÷ 8,6 kHz (rys. 3). Sygnał FSK o dewiacji ± 200 Hz jest kluczowany dwiema częstotliwościami: 20 Hz dla sygnału kontroli zajętości toru i 60 Hz dla transmisji ATP. Modulator nadajnika sterowany jest częstotliwością 20 Hz, jeśli obwód jest wolny, a odbiornik obwodu sprawdza czy odebrany sygnał jest typu FSK o przyjętych wartościach częstotliwości nośnej, dewiacji i częstotliwości modulującej. Po zajęciu obwodu torowego przesyłany jest telegram binarny dla systemu ATP z częstotliwością modulującą 60 Hz.

W obwodzie Metro Jointless Track Circuit firmy Westinghouse stosuje się 7 różnych częstotliwości nośnych z przedziału 4 ÷ 6 kHz (rys. 4). Nadajnik generuje właściwą dla danego obwodu częstotliwość nośną, kluczowaną częstotliwościowo FSK z dewiacją ± 40 Hz, jedną z 14-tu częstotliwości modulujących z zakresu 28 ÷ 80 Hz. Odbiornik obwodu torowego sprawdza parametry sygnału FSK: amplitudę i częstotliwość sygnału nośnego oraz amplitudę i częstotliwość sygnału modulującego.

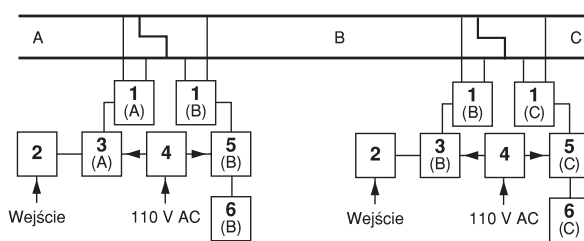
Obwody bezzłączowe nie są jeszcze powszechnie stosowane, a zdecydowana większość znanych rozwiązań jest eksploatowana na liniach metra, a więc dla krótkich, poniżej 500 m, obwodów kontroli zajętości. Problemy z eksploatacją długich bezzłączowych obwodów w warunkach kolejowych wiążą się z dużą tłumiennością i zmiennością

konduktancji jednostkowej obwodu oraz małą impedancją układów separacji.

Inną, wprowadzaną obecnie na kolei, metodą kontroli zajętości torów jest stosowanie czujników i liczników osi. Głowice czujników osi, instalowane najczęściej z boku szyny (rys. 5), nieraz po jej obu stronach lub też pod szyną,

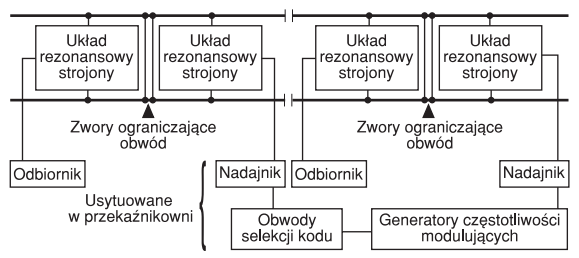


Rys. 2. Schemat obwodu FTGS



Rys. 3. Diagram obwodu TI 21-M

1 - strojony układ rezonansowy, 2 - układ interfejsu kodowego, 3 - nadajnik, 4 - zasilanie, 5 - odbiornik, 6 - przełącznik

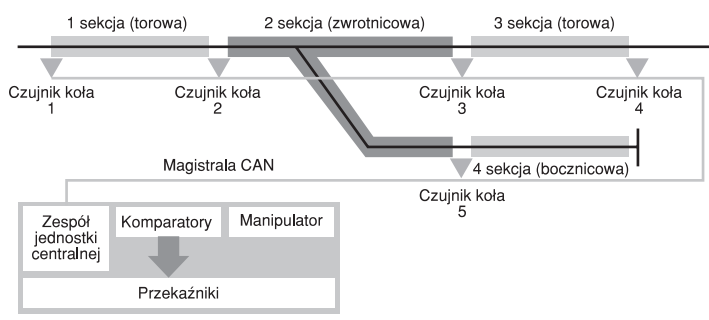


Rys. 4. Schemat obwodu Metro Jointless Track Circuit



Rys. 5. Czujnik osi firmy Adtranz

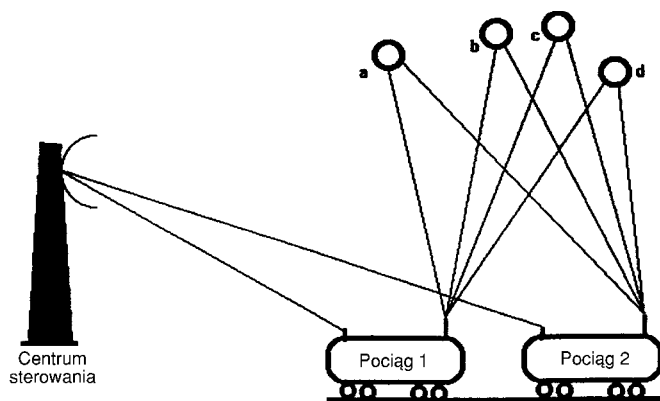
wykrywają przejazd osi pojazdu i przekazują sygnał do urządzeń przytorowych. Licznik osi sumuje osie „wjeżdżające”, zliczając impulsy generowane przez czujnik umieszczony na początku kontrolowanego odcinka toru i odejmuje osie „zjeżdżające” – zliczając impulsy czujnika na końcu odcinka toru (rys. 6). Na podstawie stanu licznika stwierdza się zajętość lub niezajętość toru. Liczniki osi są szczególnie przydatne tam, gdzie obwód torowy, ze względów technicznych lub eksploatacyjnych, nie może być stosowany.



Rys. 6. System liczenia osi firmy Adtranz

Obecnie uważa się, choć nie jest to pogląd powszechny, że dotychczasowe urządzenia srk, takie jak sygnalizatory przytorowe i tradycyjne urządzenia kontroli zajętości toru, zostaną w przyszłości wyparte przez nowy system prowadzenia ruchu pociągów za pomocą łączności radiowej. Byłby to przełom w technice srk. Zmiana technologii systemów zabezpieczenia i prowadzenia ruchu pociągów wiąże się z jednej strony z problemem interoperacyjności kolei, a z drugiej – z gwałtownym rozwojem techniki GPS i GSM.

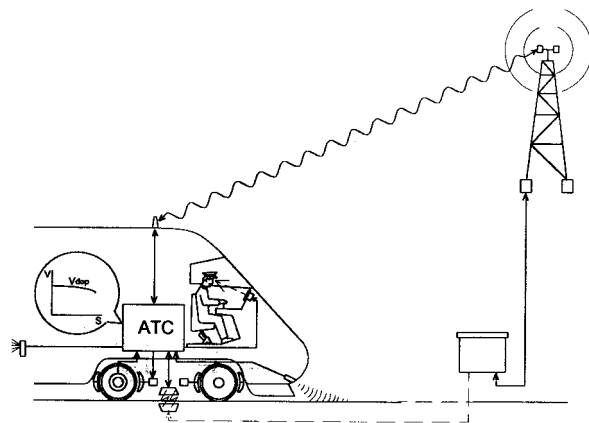
Pojawienie się systemu satelitarnej lokalizacji pojazdów GPS (Global Positioning System) stworzyło perspektywę zastosowania tej techniki do określania położenia pociągów w miejsce tradycyjnej kontroli zajętości toru (rys. 7). Po raz pierwszy łączność satelitarną do ciągłego śledzenia ruchu pociągów uwzględnił projekt Astrée kolei francuskich. Jednak, po badaniach, koleje SNCF zrezygnowały z zastosowania satelity do śledzenia pociągów, na rzecz systemów naziemnych, takich jak łączność radiowa i urządzenia montowane w torze [5]. Badania wykazują, że na obecnym poziomie techniki uzyskiwana dokładność lokalizacji wynosi



Rys. 7. Schemat systemu GPS/GSM

kilka metrów. Prace w dziedzinie zastosowania GPS do lokalizacji pociągów na potrzeby srk są nadal prowadzone [3].

W najbardziej zaawansowanym etapie (3 poziom) ujednoliconego europejskiego systemu sterowania pociągami ETCS przewiduje się, zamiast tradycyjnych obwodów torowych, sposób lokalizowania miejsca znajdowania się pociągu polegający na wykorzystaniu balis umieszczonych w torze, systemu kontroli całości składu pociągu umieszczonego w pojeździe oraz łączności radiowej między pociągami a centrum sterowania (rys. 8). Na tym poziomie jazdę prowadzić się będzie z tzw. ruchomym odstępem blokowym i pojazdy samodzielnie będą realizować funkcje dotyczące lokalizacji miejsca znajdowania się na linii. Balisy będą stosowane jako punkty odniesienia dla lokalizacji. Po stronie toru niezbędne będzie Radiowe Centrum Sterowania RBC (Radio Block Centre) do zbierania meldunków o miejscu znajdowania się pociągu i wydawania poleceń dotyczących jazdy [6].



Rys. 8. Automatyczne sterowanie pociągami z lokalizacją pociągów przez urządzenia lokomotywowe

Przewiduje się, że taki sposób lokalizacji pociągu będzie zastosowany na międzynarodowych liniach dużych prędkości, ale w odległej, kilkunastoletniej przyszłości. Całkowita eliminacja tradycyjnej kontroli zajętości toru na wszystkich liniach jest tym bardziej odległa w czasie. Badania nad zastosowaniem nowej generacji urządzeń srk nie powinny wykluczać doskonalenia obecnej generacji. Kolejowe systemy srk są projektowane jako urządzenia o długim czasie użytkowania i kolej jednocześnie eksploatuje urządzenia wielu generacji.

Na wielu liniach PKP kontrola zajętości toru odbywa się za pośrednictwem obwodów torowych 50 Hz ze złączami izolowanymi. Wiele odcinków linii i stacji wyposażonych jest w bezłączne obwody SOT. Eksploatowane są liniowe obwody SOT-1 i krótkie stacyjne SOT-2. Obwody SOT-1 zasilane są z nadajnika, umieszczonego pośrodku obwodu, sygnałem o częstotliwości z zakresu 1580 ÷ 2800 Hz, modulowanym sygnałem sieci 50 Hz o odpowiedniej dla każdego obwodu fazie (rys. 9). Granicę między sąsiednimi obwodami wyznacza układ rezonansowy LC tak usytuowany w torze, że powstaje około pięciometrowa strefa nakładania się obwodów.

Stacyjne obwody SOT-2 dzielą się na obwody SOT-21 niskiej częstotliwości (jak w SOT-1) i obwody SOT-22 zasilane niemodulowanym sygnałem sinusoidalnym z zakresu $8 \div 14,6$ kHz. Granice obwodów SOT-21 wyznaczają połączenia galwaniczne między iglicami zwrotnicy, zwarcie toków szynowych lub niskoimpedancyjne wejście odbiornika sąsiedniego obwodu SOT-22 (rys. 10). W obwodach SOT-22 separację stanowi mała impedancja wejściowa odbiornika (rys. 11).

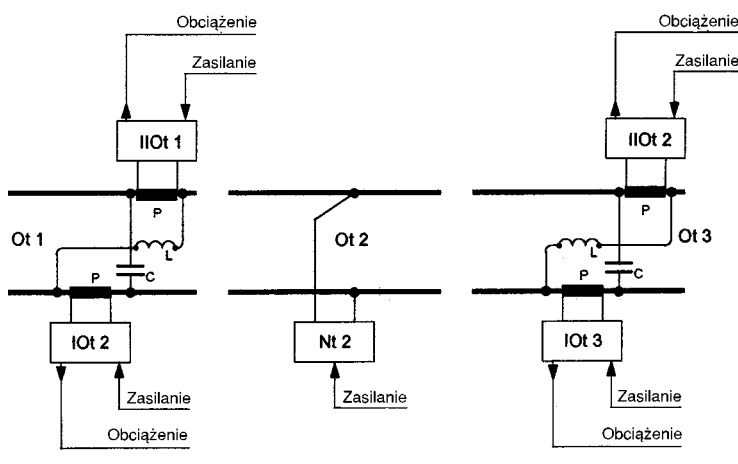
Bezłączkowe obwody SOT nie są obwodami, które można na obecnym poziomie techniki uznać za nowoczesne. Układ rezonansowy LC w obwodach SOT-1 nie stanowi układu separacji, lecz służy podwyższeniu wartości prądu na końcach obwodu. Obwody te nie są przystosowane do transmisji informacji szynami do pojazdu, a przede wszystkim zastosowana w nich postać sygnału (modulacja 50 Hz w SOT-1 i SOT-21 i sygnał niemodulowany w SOT-22) nie zapewnia maksymalnej odporności na zakłócenia.

Szyny będące elementem obwodu torowego, którym płynie prąd sygnałowy od nadajnika do odbiornika, stanowią część sieci powrotnej dla prądu trakcyjnego. W związku z tym obwody torowe poddane są zakłócającemu oddziaływaniu harmonicznych zawartych w prądzie trakcyjnym, pochodzących od pracy podstacji i pojazdów trakcyjnych. Odporność obwodów torowych na zakłócenia pochodzące od prądu trakcyjnego jest szczególnie istotną sprawą, gdyż, z racji ich roli, od tych obwodów wymaga się bezpiecznego i niezawodnego działania.

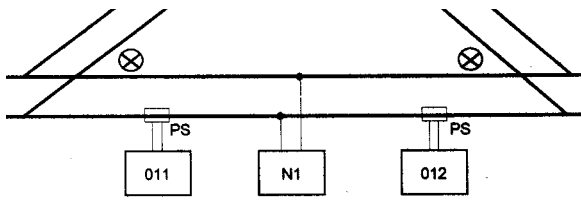
Problem odporności obwodu torowego na zakłócenia staje się szczególnie istotny w perspektywie wprowadzenia przez PKP na linii dużych prędkości taboru nowej generacji, wyposażonego w przekształtniki energoelektroniczne. Nowy tabor to inne widmo prądu trakcyjnego, na oddziaływanie którego obwód torowy musi być odporny. Perspektywa wprowadzenia nowej, opartej na łączności radiowej, techniki lokalizowania pociągu na szlaku w miejsce obwodów torowych jest bardzo odległa. Istnieje zatem w warunkach PKP potrzeba modernizacji obwodów torowych, a najlepiej opracowania bezłączkowego kodowanego obwodu torowego, dostosowanego do warunków pracy na linii dużych prędkości.

Ten sam problem dotyczy linii metra warszawskiego. Na odcinkach A1 – A11 (od stacji Kabaty do stacji Politechnika) eksploatowane są tradycyjne obwody torowe z dławikami torowymi, zasilane na końcu napięciem 50 Hz. Na odcinku A11 – A13 (Politechnika – Centrum) zastosowano bezłączkowe obwody torowe SOT-2U, w których występuje separacja elektryczna, sygnały wyższych częstotliwości i prądowa zasada odbioru sygnału. Obwody SOT-2U kontrolują odcinki torów szlakowych i stacyjnych. Rozjazdy i skrzyżowania torów kontrolowane są tradycyjnymi obwodami z izolacją. W obwodzie SOT-2U nadajnik sygnału umieszczony w środku kontrolowanego odcinka toru wysyła niemodulowany sygnał sinusoidalny o jednej z sześciu wartości częstotliwości: 7, 8, 10, 12, 15, 14,6 oraz 16,8 kHz (rys. 12). Na obu końcach obwodu znajdują się tzw. zwory selektywne, czyli szeregowe układy rezonansowe LC dostrojone do czę-

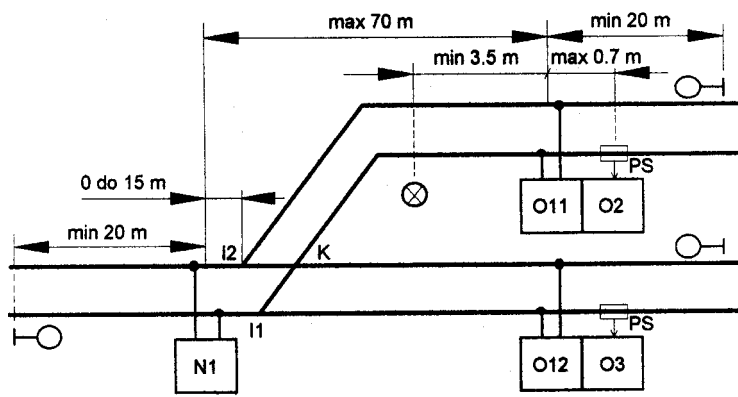
stotliwości sygnału nadajnika. Układy te wyznaczają granice obwodów, zwierając toki szynowe impedancją szeregowego układu LC w stanie rezonansu. Przez odpowiednie usytuowanie układów LC, sąsiadujące obwody torowe nakładają



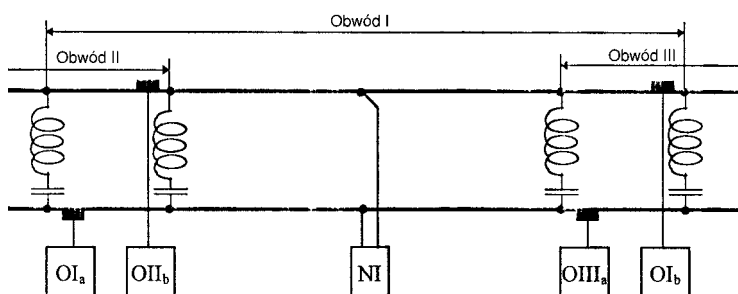
Rys. 9. Obwód torowy SOT-1



Rys. 10. Obwód torowy SOT-21



Rys. 11. Obwód torowy SOT-22



Rys. 12. Bezłączkowy obwód torowy SOT-2U

Dokończenie na s. 45 □