XIII KONFERENCJA NAUKOWA ZN POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1998
„POJAZDY SZYNOWE '98" Seria: TRANSPORT z.33, nr kol. 1394

Henryk KARBOWIAK
Katarzyna BERGIEL
Stanisław KUBIK
Sławomir BARAŃSKI

KODOWANY OBWÓD TOROWY DLA LINII PKP

Streszczenie. W referacie przedstawiono założenia ogólne oraz dobór parametrów sygnału dla kodowanego obwodu kontroli zajętości toru dla linii PKP. Obwód ten na niektórych liniach może spełniać rolę obwodu transmisji informacji do pojazdu dla potrzeb systemu ATP. Przedstawiono stan zaawansowania prac nad modelami nadajnika i odbiornika obwodu.

THE CODED TRACK CIRCUIT FOR PKP LINES

Summary. The paper presents the main assumptions and the signal parameters for coded circuit controlling track occupancy for PKP lines.This circuit, for some chosen lines, can serve as a circuit transmitting information to the traction vehicle for the ATP system. The present state of advancement in the work on the transmitter and receiver models has been presented.

1. WSTĘP

Celem niniejszego referatu jest przedstawienie koncepcji kodowanego obwodu torowego zaprojektowanego przez pracowników Politechniki Łódzkiej. Przez kodowany obwód torowy rozumie się urządzenie służące do stwierdzania zajętości toru, złożone z nadajnika generującego sygnał, szynowego obwodu transmisyjnego i odbiornika wysterowującego przekaźnik torowy. Sygnał transmitowany jest modulowany cyfrowo i zawiera specjalny ciąg binarny (kod obwodu) identyfikujący dany obwód.

Kodowany obwód torowy powinien być odporny na zakłócenia pochodzące od prądu trakcyjnego i na przenikanie sygnałów sąsiednich obwodów, a w razie potrzeby powinien umożliwiać ciągłą transmisję informacji do pojazdu szynami. W referacie przedstawiony zostanie dobór parametrów sygnałów oraz struktury nadajników i odbiorników, współpracujących z dowolnym układem separacji pomiędzy sąsiednimi obwodami.

Przedstawiony kodowany obwód torowy został zaprojektowany dla linii szybkiego ruchu. Planuje się zastosowanie na tych liniach nowego taboru, przystosowanego do dużych

prędkości, a więc lokomotyw o mocy rzędu 6MW z przekształtnikami energoelektronicznymi oraz wagonów ze statycznymi przetwornicami napięciowymi. Eksploatacja taboru nowej generacji spowoduje wzrost obciążeń podstacji oraz zmianę widma prądu trakcyjnego. Obwód torowy musi być odporny na nowy charakter zakłóceń występujących na liniach szybkiego ruchu. Linie te powinny być wyposażone w nowoczesny system ATP, gwarantujący bezpieczną jazdę pociągów. Należy się spodziewać, że wybrane linie PKP zostaną wyposażone w taki system. W przypadku wykorzystania w systemie ATP transmisji ciągłej szynami celowe jest powiązanie funkcji kontrolnych z transmisyjnymi w jednym przytorowym urządzeniu nadawczym. A więc projektowany kodowany obwód torowy powinien uwzględniać możliwość przekazywania informacji sygnałem transmitowanym szynami, a przeznaczonych dla urządzeń pojazdowych ATP.

Założenia ogólne dla kodowanego obwodu torowego są następujące:

1. W sygnale generowanym w nadajniku powinien być zawarty ciąg binarny charakterystyczny dla danego obwodu, znacznie różniący się od ciągów sąsiednich obwodów.
2. Dobór parametrów sygnału powinien być dokonany pod kątem zminimalizowania wpływu zakłóceń od harmonicznych prądu płynącego szynami na pracę obwodu.
3. Przyjęta zasada pracy obwodu jest niezależna od układu separacji. Obwód może zawierać tradycyjne złącza izolowane, jak i układy separacji elektrycznej.
4. Na niektórych liniach obwód torowy powinien być przystosowany do transmisji informacji szynami dla potrzeb systemu ATP, co oznacza zastosowanie jednego wspólnego nadajnika generującego sygnał dla kontroli zajętości i transmisji informacji do pojazdu.

2. SPOSOBY UODPORNIENIA OBWODÓW TOROWYCH NA ZAKŁÓCENIA POCHODZĄCE OD HARMONICZNYCH PRĄDU TRAKCYJNEGO

Poziom harmonicznych występujących w prądzie trakcyjnym jest do pewnego stopnia ograniczony przez układy filtrujące stosowane w podstacjach i pojazdach trakcyjnych. Niemniej płynące szynami harmoniczne mogą spowodować wysterowanie odbiornika obwodu torowego przy jego zajętości. Aby przeciwdziałać takim sytuacjom, należy przyjąć odpowiednią postać transmitowanego sygnału i dostosowane do niej, kilkustopniowe kryterium działania odbiornika.

Sposoby uodporniania obwodu torowego na zakłócenia są następujące.

1. Przyjęcie minimalnego poziomu sygnału wysterowującego odbiornik, z założoną krotnością przewyższającego spodziewany poziom sygnału zakłócającego. Poziom zakłóceń na wejściu odbiornika można ograniczyć przez takie przyłączenie odbiornika do szyn, aby sygnał zakłócający wynikał tylko z asymetrii rozpływu prądów w szynach w punkcie przyłączenia.
2. Wybór odpowiednio dużych, dostosowanych do tłumienności obwodu szynowego, wartości częstotliwości nośnych. Amplitudy harmonicznych występujących w prądzie płynącym szynami, niezależnie od źródła ich pochodzenia, maleją ze wzrostem częstotliwości. Zatem obwody torowe z wyższą częstotliwością sygnału są w naturalny sposób bardziej odporne na zakłócenia.
3. Zastosowanie odpornego na oddziaływanie zakłóceń sposobu cyfrowej modulacji sygnału. Warunek ten spełniają modulacje częstotliwości - FSK i fazy - PSK.
4. Przyjęcie dla każdego obwodu indywidualnego ciągu binarnego, którego struktura zawarta jest w pamięci odbiornika.

5. Uzupełnienie przesyłanego ciągu binarnego odpowiednio dobranym ciągiem kontrolnym według reguł przyjętego kodu detekcyjnego. Umożliwia to sprawdzenie w odbiorniku poprawności odebranego ciągu binarnego i odrzucenie telegramów zawierających błędne bity.

3. DOBÓR PARAMETRÓW SYGNAŁU W KODOWANYM OBWODZIE TOROWYM

Opracowując kodowany obwód torowy należy przede wszystkim określić sygnał generowany w nadajniku i kontrolowany w odbiorniku, a w szczególności: rodzaj sygnału, jego częstotliwość nośną, częstotliwość modulującą oraz strukturę ciągu kodowego.

Spośród dwóch możliwych do wykorzystania rodzajów cyfrowej modulacji sygnału FSK i PSK kluczowanie fazy PSK przeważa nad kluczowaniem częstotliwości FSK ze względu na korzystniejszy (większy) stosunek wartości częstotliwości modulującej do nośnej, jaki można przyjąć w rozwiązaniach technicznych modemów. Sprowadza się to do możliwości zastosowania wyższych szybkości modulacji przy założonych wartościach częstotliwości nośnych.

Dla kodowanego obwodu torowego przewidziano pięć wartości częstotliwości nośnej dla zróżnicowania sygnałów w sąsiadujących ze sobą obwodach torowych. Wartości te spełniają trzy następujące warunki.

1. Ze względu na tłumienność obwodu szynowego nie przekraczają częstotliwości 3kHz.
2. Wybrane częstotliwości nośne znajdują się w pobliżu środka pasma pomiędzy prążkami $k \cdot 300$Hz, zawartymi w prądzie trakcyjnym.
3. Ze względu na konieczność zawarcia w czasie trwania pojedynczego bitu całkowitej liczby półokresów częstotliwości nośnej są one odpowiednio powiązane z przyjętą częstotliwością modulującą.

Przy doborze częstotliwości modulującej należy kierować się innymi względami w przypadku kontroli zajętości toru niż w przypadku transmisji informacji dla potrzeb systemu ATP. W drugim - należy dążyć do możliwie dużej szybkości modulacji, na ile pozwalają parametry obwodu szynowego, tak aby w jednostce czasu przesłać jak najwięcej telegramów o znacznej długości. W przypadku sygnału do kontroli zajętości telegramy są znacznie krótsze i nie ma potrzeby zbyt częstego ich powtarzania. Mniejsza szybkość modulacji wiąże się z węższym pasmem częstotliwości zajmowanym przez sygnał PSK, co umożliwia jego usytuowanie między dwoma kolejnymi prążkami $k \cdot 300$Hz i co za tym idzie - lepsze uodpornienie sygnału na zakłócenia. Analizując widmo sygnału kluczowanego fazowo PSK przy dewiacji fazy równej $\pi/2$ i zmianie fazy występującej po każdym bicie, można stwierdzić, że nie zawiera ono prążka o częstotliwości nośnej f_n, a spośród prążków $f_n \pm kf_m$ (gdzie f_m - częstotliwość modulacji) występują tylko nieparzyste. Ograniczając pasmo sygnału FSK do szerokości $2f_m$, a więc uwzględniając tylko dwa prążki $f_n \pm f_m$, przesyła się ponad 80% mocy sygnału zmodulowanego.

Struktura ciągów kodowych wysyłanych przez nadajnik kodowanego obwodu torowego bez transmisji informacji do pojazdu powinna zawierać jedynie ciąg synchronizacji oraz ciąg identyfikacji danego obwodu wraz z zabezpieczeniem kodowym. Jako ciąg synchronizacji przyjęto 8 symboli o stałej postaci: 01111110. Ciąg identyfikacji obwodu zawiera 10 symboli binarnych, w których zawsze na pozycji 5 i 10 występuje 0. Zapobiega to przypadkowemu powstawaniu wewnątrz ciągu identyfikacyjnego postaci ciągu synchronizacji. Jako zabezpieczenie kodowe przyjęto liniowy cykliczny kod Abramsona (15, 10) z minimalnym odstępem Hamminga $d_{min} = 4$. Oznacza to uzupełnienie dziesięciu pozycji informacyjnych

tworzących ciąg identyfikacji pięcioma bitami kontrolnymi. Wybór tego rodzaju kodu jest podyktowany chęcią uzyskania najprostszej realizacji kodera.

Reasumując, struktura telegramu do kontroli zajętości ma następującą postać:

01111110 XXXX 0 YYYY 0 KKKKK

gdzie:

X,Y - symbole informacyjne, mogące przyjmować wartości 0 lub 1,

K - symbole kontrolne, których wartości 0 lub 1 określane są zgodnie z zasadami przyjętego kodu dla dziesięciopozycyjnego ciągu identyfikacji.

Z przyjętej postaci ciągu identyfikacji wynika, że liczność tych ciągów wynosi $2^8 = 256$, co zupełnie wystarcza do zakodowania obwodów torowych nawet dla bardzo rozbudowanych układów torowych dużych stacji.

Zakłada się, że słowa kodowe będą przesyłane cyklicznie. Powtarzanie słów kodowych o takiej samej postaci pozwala efektywnie zwiększyć odstęp kodowy dzięki dwuetapowemu schematowi dekodowania. W pierwszym etapie kumulowane jest m = 3 lub m = 5 słów kodowych, z których tworzy się jedno przez pozycyjne głosowanie większościowe. To jedno słowo jest oceniane pod względem należenia do zbioru słów kodowych. Jeżeli jest ono poprawne, to przekazywane jest do drugiego etapu, w przeciwnym przypadku jest usuwane. W drugim etapie akumulowane są dwa słowa kodowe, uzyskane z etapu pierwszego. Jeżeli są one identyczne, to przekazuje się ich część informacyjną na wyjście dekodera.

Przy takim sposobie dekodowania efektywny odstęp kodowy w sensie Hamminga zwiększa się przy m = 3 z $d_{min} = 4$ do $D_{min} = 8$, zaś przy m = 5 do $D_{min} = 12$. Zwiększa się również wiarygodność odebranych słów kodowych, choć jednocześnie może rosnąć prawdopodobieństwo odrzucenia telegramów, powodującego chwilowe przerwy w transmisji. Przy m = 3 i założonej stopie błędów 0,02 prawdopodobieństwo błędnego odbioru wynosi $3{,}9 \cdot 10^{-21}$, zaś prawdopodobieństwo wymazania telegramu wynosi $7{,}1 \cdot 10^{-2}$. Przy m = 5 i tej samej stopie błędów prawdopodobieństwa te wynoszą odpowiednio: $1{,}1 \cdot 10^{-30}$ oraz $4{,}6 \cdot 10^{-3}$. Te same prawdopodobieństwa, jak podane wyżej dla m = 3, uzyskuje się dla m = 5 przy stopie błędów równej 0,05.

Prowadzone od wielu lat w Zakładzie Trakcji Elektrycznej Politechniki Łódzkiej prace nad systemem automatycznego ograniczania prędkości AOP z grupy ATP przeznaczonym dla PKP zaowocowały opracowaniem szczegółowej koncepcji działania systemu oraz wykonaniem modeli przytorowej części nadawczej. Informacje przeznaczone dla pojazdowej jednostki logicznej AOP zawarte są w telegramach o długości 41 bitów, których struktura jest następująca: 10 bitów ciągu synchronizacyjnego, 25 bitów ciągu informacyjnego i 6 bitów ciągu kontrolnego. Zestaw przesyłanych informacji zawarty jest w dwóch formatach telegramów F1 i F2, które są w pakietach wysyłane naprzemiennie przez nadajnik. Format F1 telegramów zawiera informacje stałe, zaś format F2 - informacje zmienne w czasie (ograniczenia semaforowe).

Zgodnie z podanymi wyżej założeniami przyjęto takie same częstotliwości nośne sygnału dla obwodów torowych bez transmisji, jak i z transmisją, zaś częstotliwość i szybkość modulacji dla obwodów z transmisją 8-krotnie wyższą niż dla obwodów bez transmisji.

Wartość przyjętych parametrów sygnału przedstawia tabela 1.

Tabela 1

f_n	f_m	ν_m	f_n-f_m	f_n+f_m	n	l	t
obwód kodowany bez transmisji do pojazdu							
1600	40	80	1560	1640	40	23	3,48
1920			1880	1960	48		
2240			2200	2280	56		
2560			2520	2600	64		

cd. tabeli 1

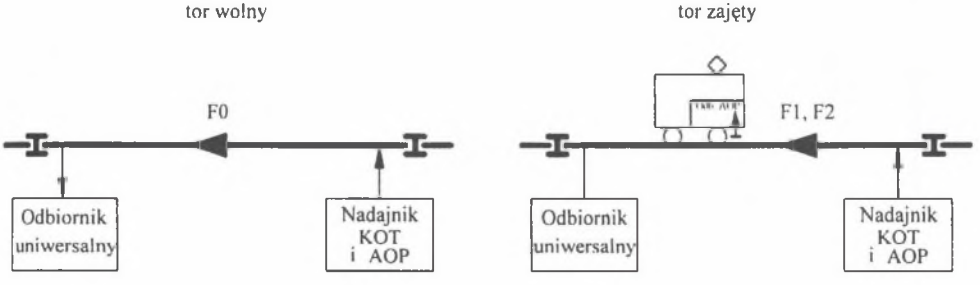
2880			2840	2920	72		
f_n	f_m	v_m	f_n-f_m	f_n+f_m	n	l	t
obwód kodowany z transmisją do pojazdu							
1600	320	640	1280	1920	5	41	15,61
1920			1600	2240	6		
2240			1920	2570	7		
2560			2240	2880	8		
2880			2560	3200	9		

gdzie:

f_n - częstotliwość nośna w Hz,
f_m - częstotliwość modulująca w Hz,
v_m - szybkość modulacji w bodach,
n - liczba półokresów fali nośnej przypadających na 1 bit,
l - długość telegramów w bitach,
t - liczba telegramów przesyłanych w ciągu 1 sek.

4. WARIANTY NADAJNIKÓW KODOWANEGO OBWODU TOROWEGO

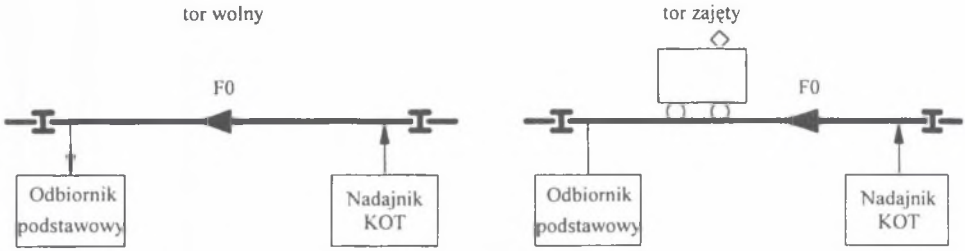
Dla obwodów torowych z transmisją AOP należy zastosować jeden wspólny uniwersalny nadajnik, który prócz telegramów formatów F1 i F2 z założonymi parametrami sygnału dla transmisji do pojazdu (640 bodów) będzie wysyłać specjalny format F0 dla kontroli niezajętości toru, sygnałem o parametrach odpowiednich dla tej funkcji (80 bodów). Format F0 wysyłany będzie przy wolnym obwodzie torowym i odbierany przez odbiornik kontroli. Po zajęciu obwodu przez czoło pociągu odbiornik pozbawiony dopływu sygnału z nadajnika spowoduje przełączenie go do wysyłania telegramów formatów F1, F2 (rys.1). Powrót nadajnika do generowania telegramów w formacie F0 nastąpi po zwolnieniu obwodu, kiedy do odbiornika zaczną docierać telegramy formatów F1 lub F2. Jeżeli odbiornik zidentyfikuje te telegramy, przełączy nadajnik do wysyłania telegramów formatu F0. Dopiero ich odebranie stanowi kryterium niezajętości obwodu. Rozwiązanie to wymaga odpowiedniej rozbudowy odbiornika.



Rys. 1. Kodowany obwód torowy dla linii z transmisją do pojazdu obwodem szynowym
Fig.1. The coded track circuit for the lines with transmission information to the vehicle

Dla obwodów torowych bez transmisji informacji dla potrzeb systemu AOP zostaną zastosowane uproszczone wersje nadajników i odbiorników, przystosowane tylko do formatu F0 telegramów (rys.2).

Przyjęto zasadę, że rozwiązanie techniczne dla kodowanego obwodu torowego bez transmisji informacji do pojazdu stanowi wariant podstawowy, który w razie potrzeby rozbudowuje się o możliwość wysyłania i odbioru telegramów formatów F1 i F2, przeznaczonych dla systemu AOP.



Rys. 2. Kodowany obwód torowy dla linii bez transmisji do pojazdu obwodem szynowym
Fig.2. the coded track circuit for the lines without transmission information to the vehicle

5. STRUKTURY NADAJNIKA I ODBIORNIKA KODOWANEGO OBWODU KONTROLI ZAJĘTOŚCI TORU

Podstawowy tor obróbki sygnału w nadajniku składa się z mikrokomputera, licznika programowalnego, modulatora, generatora impulsów, bramki transmisyjnej i wzmacniacza wyjściowego.

Bezpieczne działanie nadajnika zrealizowano przez:
- dwukanałową strukturę układów kodujących (dwa mikrokomputery i ich wzajemne sprawdzanie w czasie wysyłania telegramów),
- zastosowanie komparatora bezpiecznego,
- zastosowanie bramki transmisyjnej z odcinaniem napięcia zasilającego przy zadziałaniu układu kontrolnego bramki transmisyjnej.

Oprócz wyżej wymienionych środków typu hardware'owego stosuje się także, omówione wyżej, środki software'owe, a mianowicie bity kontrolne telegramu oraz odpowiedni system selekcji i porównania odebranych telegramów.

Wyjściowy wzmacniacz mocy, którego moc może być regulowana w zakresie 12÷48W, jest zasilany z regulowanego zasilacza impulsowego. Rozwiązanie to umożliwia dokładne ustawienie wartości prądu wyjściowego oraz uniezależnia wartość tego prądu od napięcia sieci. Jest to wzmacniacz zwarcioodporny, którego prąd zwarciowy może wynosić od 1,6 do 4A.

Podstawowy tor obróbki sygnału w odbiorniku składa się ze wzmacniacza wejściowego, demodulatora, mikrokomputera oraz wzmacniacza fazoczułego.

Bezpieczne działanie odbiornika zrealizowano przez:
- dwukanałową strukturę układów demodulujących i porównujących (dwa demodulatory, dwa mikrokomputery),
- zastosowanie komparatora bezpiecznego,

- zastosowanie układu testującego (generator telegramów testujących) włączanego przy zbyt niskim sygnale z toru na wejściu odbiornika.

Przy zgodności stanów w obu torach i odbiorze prawidłowych telegramów z toru wzmacniacz fazoczuły zasila przekaźnik torowy na wyjściu odbiornika.

6. STAN ZAAWANSOWANIA PRAC

Na podstawie przedstawionej koncepcji zostały wykonane modele nadajnika i odbiornika w wersji podstawowej - tylko dla kontroli zajętości toru oraz nadajnika transmisji AOP. Przewiduje się wykonanie wersji uniwersalnej nadajnika przełączalnego. W najbliższym czasie planowane są badania terenowe obu uproszczonych modeli.

LITERATURA

1. Baran Z i inni: Podstawy transmisji danych. WKiŁ, Warszawa 1982.
2. Dyduch J., Tomczyński J.: System przekazywania informacji tor pojazd. Automatyka Kolejowa 1991.
3. Karbowiak H.: Analiza możliwości transmisyjnych wybranych systemów przekazywania informacji do pojazdu trakcyjnego za pomocą szyn. Problemy Kolejnictwa nr 113/1993.
4. Knoch L., Ekiert T.: Modulacja i detekcja. WKiŁ, Warszawa 1979.
5. U.S. Department of Transportation Federal Transit Administration: Morgantown personal rapid transit system, computer upgrade study. Report No. FTA-WV-26-7000-96-1.
6. Niepublikowane opracowania dotyczące: cyfrowego obwodu torowego SASIB, obwodów torowych firm: Westinghouse, Siemens i ABB Signal (zgłoszenia patentowe i notatki firmowe).

Recenzent: Dr hab.inż. Janusz Dyduch
Prof. Politechniki Radomskiej

Abstract

The coded track circuit presented in this paper attends to control track occupancy and consists of the transmitter generating the signal transmitted through the rails and the receiver. This circuit can be used for transmitting information for the ATP system. The coded track circuit is nonsensitive to the interferences generated by the traction current and the signals from adjacent circuits. This resistance is achieved by:

- using 5 carrier frequencies of signal values are suitable big, adjusted to the attenuation of the circuit. These are: 1600, 1920, 2240, 2560, 2880 Hz;
- using the digital modulation of the signal phase PSK of the suitably chosen modulation speed: 80 bods for occupancy control and 640 bods for transmission to the vehicle;

- using the suitable detection code with $d_{min} = 4$, and the decoding rules which increase the Hamming distance to $D_{min} = 12$;
- attributing to each circuit its individual coded 10 bits long sequence.

The main point to be made about the coded circuit is that two versions of the transmitter can be used: universal and simplified. The universal transmitter sends the telegrams to occupancy cotrol receiver (80 bods) when the track is unoccupied and after being occupied it emits ATP telegrams (640 bods). The simplified transmitter, for the circuits without transmission, emits only the occupancy control telegrams.