

## WYKORZYSTANIE CZUJNIKÓW INDUKCYJNYCH W UKŁADACH LOKALIZACJI POJAZDÓW SZYNOWYCH

### Streszczenie

W artykule przedstawiono charakterystykę techniczną czujników indukcyjnych, ze szczególnym naciskiem na ich zastosowanie w układach sterowania ruchem kolejowym. Bezpieczeństwo ruchu pociągów jest uzależnione od poprawności identyfikacji miejsca przebywania pociągu. Uwzględniono klasyfikację czujników indukcyjnych wg różnych kryteriów, zasadę działania oraz możliwości wynikające z ich zastosowania.

### WSTĘP

Zadaniem systemów sterowania ruchem kolejowym (srk) jest zapewnienie bezpieczeństwa przemieszczania pojazdów po sieci kolejowej i wymaganej sprawności, w sposób uzasadniony technicznie i ekonomicznie. Z tego powodu konieczne jest określenie zajętości poszczególnych odcinków torów, na których prowadzony jest ruch pociągów.

Bezpieczne prowadzenie ruchu pociągów na linii kolejowej, w oparciu m.in. o systemy kontroli niezajętości torów, powinno wykluczyć możliwość spowodowania:

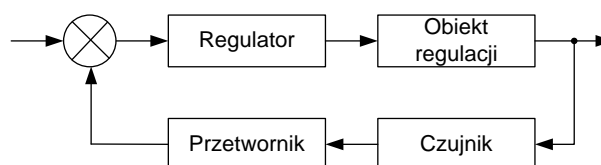
- czołowego spotkania się pociągów jadących po tym samym torze w przeciwnych kierunkach,
- najechania z tyłu jednego pociągu na drugi przy jeździe obu pociągów po tym samym torze w jednym kierunku,
- najechania jednego pociągu na bok drugiego przy przejeździe przez zwrotnicę.

Czujnikiem, w znaczeniu ogólnym, można nazwać urządzenie dostarczające informacji o pojawieniu się określonego bodźca, przekroczeniu pewnej wartości progowej lub o wartości rejestrowanej wielkości fizycznej. Natomiast jako czujnik szynowy należy rozumieć element umieszczony w torze, który ma reagować na przejeżdżające pojazdy szynowe. Efektem reakcji czujnika szynowego jest więc pojawienie się na jego wyjściu kryterium w postaci informacji, którą można wykorzystać w elektrycznych obwodach srk.

W celu zwiększenia niezawodności i bezpieczeństwa systemu sterowania ruchem kolejowym pierwsze nieskomplikowane konstrukcyjnie czujniki pneumatyczne, wraz z rozwojem techniki, zostały zastąpione czujnikami mechanicznymi oraz magnetycznymi. Nowoczesne czujniki magnetoindukcyjne w kooperacji z systemami liczników osi umożliwiają stwierdzenie przejazdu osi pociągu w danym miejscu sieci kolejowej. Istnieje wiele typów czujników torowych, różniących się budową i zasadą działania. Istotnymi cechami nowoczesnych czujników szynowych są: punktowy charakter działania oraz brak wykorzystania zjawiska zwierania toków szynowych zestawami kołowymi (nie dotyczy obwodów torowych) [3]

### 1. WIADOMOŚCI OGÓLNE O CZUJNIKACH

W układach automatycznej regulacji jednym z elementów ich struktury ideowej są czujniki, które kontrolując stan wyjścia układu przekazują informację do regulatora zmieniającego na tej podstawie odpowiednio poziom sygnału wejściowego obiektu regulacji (rys. 1).



Rys. 1. Struktura typowego układu automatycznej regulacji

Istnieje wiele typów czujników, których zasada działania wynika z wykorzystania praw fizyki. Można je podzielić ze względu na zastosowanie, rodzaj charakterystyk i postać sygnału wyjściowego [1].

Podział czujników ze względu na zastosowanie:

- funkcyjne (pomiar wielkości fizycznych, np. temperatura, pole magnetyczne),
- bezpieczeństwa (ochrona ludzi i mienia, np. poduszki powietrzne w samochodach, kontrola pomieszczeń),
- nadzorujące procesy (np. zużycie paliwa).

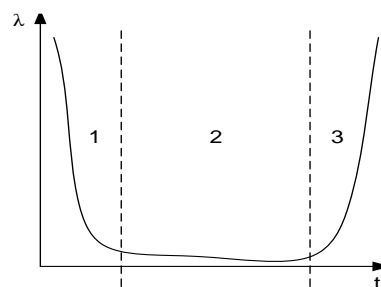
Podział czujników ze względu na rodzaje charakterystyk:

- czujniki o charakterystyce liniowej,
- czujniki o charakterystyce nieliniowej ciągłej,
- czujniki o charakterystyce dyskretnej z histerezą.

Podział czujników ze względu na rodzaj sygnału wyjściowego:

- analogowe,
- cyfrowe.

W układach sterowania, gdzie wymaga się wysokiego poziomu bezpieczeństwa, a więc i w systemach sterowania ruchem kolejowym, istotną rolę odgrywa zapewnienie odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa i niezawodności zastosowanych elementów. Czujnik, jako element takiego systemu charakteryzowany może być poziomem niezawodności, związanym z parametrem  $\lambda$  (intensywnością uszkodzeń) (rys.2).



Rys. 2. Intensywność uszkodzeń elementu systemu [1]

Oznaczenia cyfrowe na rys. 2 charakteryzują:

- 1 – wstępny etap eksploatacji elementu, gdzie występuje stosunkowo duża częstość uszkodzeń, wynikająca przeważnie z nierozpoznanych błędów produkcyjnych, gwałtownie malejąca,
- 2 – okres ustabilizowania się parametru  $\lambda$  na niskim poziomie względem okresu początkowego,
- 3 – ponowny wzrost ilości uszkodzeń, wynikający z procesu starzenia się.

W celu zwiększenia trwałości czujników we wstępnym etapie eksploatacji, z czym związane jest zmniejszenie intensywności uszkodzeń, stosuje się wygrzewanie ich w wyższej temperaturze, co znacznie przyspiesza proces starzenia i eliminuje najslabsze z nich jeszcze przed wdrożeniem do eksploatacji.

Istotnym parametrem służącym do określenia niezawodności czujnika jest średnia trwałość  $T_M$ , którą można wyznaczyć np. z poniższej zależności [1]:

$$T_M = \frac{1}{N} \sum_1^N T_i \quad (1)$$

gdzie:

$N$  – liczba elementów (czujników),

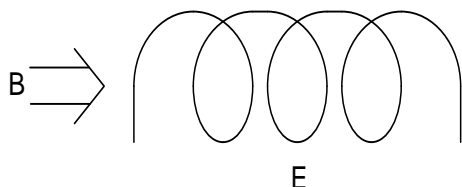
$T_i$  – suma trwałości pojedynczych elementów (czujników).

Trwałość, z punktu widzenia eksploatacji, oznacza zdolność obiektu do zachowania swoich własności materiałowo-konstrukcyjnych (z uwzględnieniem przewidzianych dla niego obrotów) umożliwiających mu realizację zadań, dla których został zaprojektowany.

Generalnie w celu zwiększenia bezpieczeństwa obiektu technicznego stosuje się nadmiarowość, czyli tzw. redundancję. Jednak w przypadku użycia czujników w systemie srk, do zliczania osi pojazdu szynowego, nie ma to większego sensu, gdyż wystąpienie usterki czujnika spowoduje, że system przechodzi w stan bezpieczny. Stosuje się wtedy czujniki o większym stopniu bezpieczeństwa (SIL – *Safety Integrity Level*). Poziom nienaruszalności bezpieczeństwa SIL określany jest miarą liczby zadziałań do wystąpienia usterki/błędu, definiowaną przez współczynnik tolerowanego zagrożenia THR (*Tolerable Hazard Rate*) [1].

## 2. CHARAKTERYSTYKA CZUJNIKÓW INDUKCYJNYCH

Czujniki indukcyjne należą do grupy czujników funkcyjnych, które stosowane są głównie w układach sterowania i regulacji. Wykorzystują zmianę indukcyjności własnej (czujniki dławikowe) lub wzajemnej (czujniki transformatorowe) cewek przetwornika spowodowaną przemieszczeniem elementu związanego z trzpieniem pomiarowym. Czujnik indukcyjny wykorzystuje prawo Faradaya, tzn., że napięcie indukowane w cewce zależy od indukcji zmiennego pola magnetycznego [5].



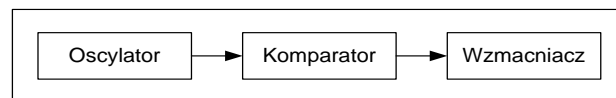
**Rys. 3.** Idea działania czujnika indukcyjnego, gdzie:  $B$  – pole magnetyczne od przemieszczanego obiektu,  $E$  – pole elektryczne od prądu płynącego przez cewkę

W grupie tej można wyróżnić [1]:

- czujniki z wirującymi przemiennymi polami magnetycznymi, stosowane do pomiarów kąta,

- czujniki z pierścieniem zwierającym, zbudowane z rdzenia wykonanego z miękkiego żelaza lub pakietu blach w kształcie litery E lub I, ruchomej tarczy tłumiącej w kształcie miedzianego lub aluminiowego pierścienia poruszającego się wzdłuż tego rdzenia. Stosowane do pomiaru przemieszczenia liniowego lub kąтового,
- czujniki wykorzystujące prądy wirowe, których działanie polega na zmianie amplitudy sygnału wyjściowego czujnika spowodowanej oddziaływaniem pola wytworzonego przez cewki stanowiące jego czoło z polem pochodzącym od prądów wirowych, zaindukowanych w zbliżonym materiale.

Do analizy wybrano czujniki indukcyjne wykorzystujące fizyczne zjawisko indukcji magnetycznej, polegające na wytworzeniu przez przepływający prąd strumienia magnetycznego „ $\Phi$ ” charakterystycznego dla danego pola magnetycznego. Ogólna struktura czujnika indukcyjnego może być przedstawiona jak na rys. 4.



**Rys. 4.** Elementy składowe budowy czujnika indukcyjnego

Oscylator stanowi czoło czujnika. Zbudowany może być z dwóch cewek nawiniętych na rdzeń ferrytowy (wykrywanie metali z różnych odległości) lub trzech cewek powietrznych (wykrywanie metali z tej samej odległości). Komparator (przerzutnik Schmitta) wprowadza histerezę niezbędną ze względu na oscylacyjny charakter ruch wykrywanego obiektu.

Zasada działania czujnika indukcyjnego polega na wzajemnym oddziaływaniu pola wytworzonego w oscylatorze z polem pochodzącym od prądów wirowych. Wynikiem tego oddziaływania jest zmiana sygnału na wyjściu czujnika – amplituda oscylacji maleje. Czujniki mogą być zasilane prądem stałym lub przemiennym. W drugim przypadku częstotliwość sygnału jest wysoka i sięga rzędu MHz, ze względu na konieczność znacznego zwiększenia natężenia prądu w przypadku przeciwnym [5].

Do badań i analizy czujników indukcyjnych wykorzystano standardowe czujniki typu TURCK NI40U-CP40-VP4X2-H1141 (rys. 5), będące na wyposażeniu Laboratorium EUSRK Zakładu Systemów Sterowania w Transporcie UTH Radom (WTiE).

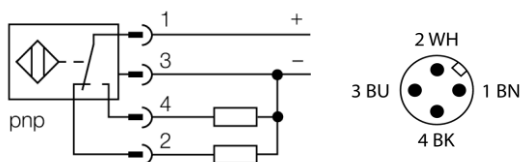


**Rys. 5.** Widok czujnika indukcyjnego typu TURCK NI40U-CP40-VP4X2-H1141

Podstawowe dane analizowanych czujników indukcyjnych [6]:

- nominalny zasięg detekcji ( $S_n$ ): 40 mm,
- napięcie zasilania:  $10 \div 65V$  DC,
- funkcja wyjścia: 4-przewodowy styk, dwukierunkowy, pnp,
- prostopadłościenna obudowa.

Na rys. 6 przedstawione zostały schematy połączeń wewnętrznych czujnika indukcyjnego TURCK NI40U-CP40-VP4X2-H1141.



Rys. 6. Schematy połączeń wewnętrznych czujnika indukcyjnego TURCK NI40U-CP40-VP4X2-H1141 [6]

## PODSUMOWANIE

Współczesne czujniki szynowe oprócz detekcji przejeżdżającego pociągu, w przypadku użycia czujnika podwójnego lub dwóch pojedynczych potrafią również zliczać każdą pojedynczą oś pojazdu szynowego, monitorować prędkość przejazdu oraz kierunek, w którym przemieszcza się skład pociągu.

Biorąc pod uwagę przeznaczenie systemów sterowania ruchem kolejowym znacznie korzystniejsze wydaje się być obecnie zastosowanie czujników magneto-indukcyjnych o zbliżonym działaniu do czujników indukcyjnych (zmiana swojego pola elektromagnetycznego wskutek przemieszczania metalowego elementu). W czujniku magneto-indukcyjnym elementem wykrywającym przejazd osi jest magnes z nawiniętym uzwojeniem cewki. Obrzeże przejeżdżającego koła wchodzi w obszar szczeliny powietrznej obwodu magnetycznego, powodując wzrost strumienia magnetycznego i przesłanie impulsu. W głowicy czujnika mogą znajdować się dwa niezależne układy magnes-cewka, przesunięte odpowiednio względem siebie, co umożliwia stwierdzenie kierunku i pomiar prędkości przejeżdżającej osi [4].

Czujniki takie jak: ELS-93, ELS-95 (Bombardier) oraz RSR 121, RSR 122/123, RSR 180/181 (Frauscher) zdobywają coraz większe znaczenie na polskim rynku kolejowym. Czujniki te najczęściej wchodzi w skład zaawansowanych systemów zliczania osi na odcinkach torowych.

W odniesieniu do tradycyjnych czujników z oscylatorem ferrytowym czujniki indukcyjne z cewkami powietrznymi są bardziej odporne na zakłócenia. Ponadto są odporne na zabrudzenia, wilgotność i wibracje. Czujniki te wykrywają metal z tej samej odległości. Do innych zalet należą: niska cena, bezawaryjność, łatwa dostępność.

Wśród głównych wad czujników indukcyjnych należy wymienić relatywnie małą czułość (w porównaniu do innych czujników), krótki zakres działania, wykrywanie tylko materiałów metalowych oraz to, że często konieczne jest stosowanie na wyjściu czujnika układu całkującego, co może być źródłem dodatkowych błędów.

Ciągłe unowocześnianie konstrukcji czujników indukcyjnych powoduje, że z powodzeniem stosowane są w różnych odmianach w systemach sterowania ruchem kolejowym.

Praca została sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach Programu Badań Stosowanych, nr umowy PBS3/A6/29/2015.

## BIBLIOGRAFIA

1. Brzeżański M., Juda Z.: Czujniki w pojazdach samochodowych. WKiŁ, Warszawa 2010.
2. Gajek A., Juda Z.: Czujniki. WKiŁ, Warszawa 2008.
3. Dyduch J., Kornaszewski M., Pniewski R.: Koncepcja systemu kontroli niezajętości torów i rozjazdów kolejowych. Logistyka 3/2015.
4. Kornaszewski M., Wajs Ł.: Analiza techniczna czujników torowych stosowanych w kolejnictwie polskim. Technika Transportu Szynowego tts 9/2012.
5. Żak R.: Co każdy elektronik o czujnikach indukcyjnych wiedzieć powinien? Elektronika Praktyczna 12/1999.
6. www.truck.pl

## APPLICATION OF INDUCTIVE SENSORS IN RAIL VEHICLES LOCALIZATION

### Abstract

The paper presents technical characteristic of inductive sensors with particular emphasis on railway traffic control. The safety train is dependent on correct identification of train on the track. The paper is also concerned with classification of inductive sensors, their principle of operation and their potential applications.

Autorzy:

dr hab. inż. **Mieczysław Kornaszewski**, prof. nadzw. – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Transportu i Elektrotechniki, Instytut Automatyki i Telematyki, Zakład Systemów Sterowania w Transporcie, 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29. Tel: + 48 48 361-77-88; Fax: + 48 48 361-77-42; m.kornaszewski@uthrad.pl

mgr inż. **Artur Nowak** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Transportu i Elektrotechniki, Instytut Automatyki i Telematyki, Zakład Systemów Sterowania w Transporcie, 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29. Tel: + 48 48 361-77-29; Fax: + 48 48 361-77-42; a.nowak@uthrad.pl