

Analiza zabudowy układu przeciwoślizgu z uwzględnieniem potencjalnych błędów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych

W artykule przedstawiono stosowane rozwiązania układów przeciwoślizgowych instalowanych na wózkach pojazdów szynowych. Wyodrębniono i scharakteryzowano rozwiązania, które są obecnie stosowane. Określono miejsca powstawania potencjalnych błędów wykonawczych wpływających na zniekształcania sygnału generowanego w czujniku (nadajniku impulsów). Określono również miejsca powstawania błędów i ich wpływ na działanie układu przeciwoślizgu w okresie eksploatacji. Podjęto próbę analizy wpływu w/w parametrów na jakość sygnału i na niezawodność działania układu wykonawczego (eliminację zjawiska poślizgu kół względem szyny). Przedstawiono algorytmy postępowania zmierzające, poprzez rozpoznanie miejsca powstawania błędu, do eliminacji zjawiska i maksymalnego wykorzystania możliwości jakie daje stosowany rodzaj układu przeciwoślizgowego.

Artykuł powstał w ramach projektu badawczo-rozwojowego Nr R 10 004806/2009 pt. „Mikroprocesorowy system diagnostyczny głównych systemów trakcyjnego pojazdu szynowego uwzględniający ocenę bieżącą i prognozowanie stanów”, finansowanego z budżetu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

1. Wprowadzenie

Eksploatacja pojazdu szynowego związana jest z zagadnieniem występowania kontaktu koło-szyna. Na styku tych elementów generują się siły dynamiczne mające wpływ na zachowanie się całego pojazdu podczas ruchu.

Dbałość o właściwą współpracę tych dwóch elementów wydaje się jednym z podstawowych kryteriów, uzasadniających stosowanie różnego rodzaju zabiegów wpływających na właściwe wykorzystanie stanu powierzchni koła i szyny.

Właściwa praca dynamiczna pojazdu opiera się na racjonalnym doborze siły napędowej i hamowania pojazdu. W przypadku zwiększenia siły napędowej pojazdu, a tym samym jego przyspieszenia lub zwiększenia zdolności pociągowej musi ulec zwiększeniu zdolność jego hamowania. W związku z tym (ze względu na ograniczoną przyczepność kół pojazdu w kontakcie z szyną) należy dążyć do maksymalnego wykorzystania tego zjawiska. Wykorzystanie siły przyczepności zależy od różnych czynników takich jak stan powierzchni szyn, stan techniczny toru, warunki pogodowe. Czynniki te zmieniają się w sposób przypadkowy i mają charakter losowy [4].

Warunek istnienia ruchu obrotowego koła po szynie można wyrazić następującym wzorem:

$$P = \mu_s \cdot G_Z \quad (1)$$

gdzie:

μ_s – współczynnik przyczepności,

G_Z – nacisk zestawu kołowego na tor.

W razie nagłego obniżenia przyczepności poniżej wartości siły tarcia elementów ciernych, warunek ruchu obrotowego zestawów kołowych zostaje naruszony, wystąpi w tym przypadku zmiana nierówności na:

$$\mu_t \cdot N_Z > \mu_s \cdot G_Z \quad (2)$$

gdzie:

μ_t – współczynnik tarcia,

N_Z – łączny nacisk elementów par ciernych przypadających na zestaw kołowy.

W chwili zatrzymania ruchu obrotowego zestawów kołowych ruchowi pojazdu przeciwstawia się stosunkowo nieznaczna siła tarcia ślizgowego kół po szynach. Towarzyszy temu znaczne zmniejszenie efektywności hamowania.

Zadaniem układów przeciwoślizgowych jest wykrywanie tego zjawiska w jak najkrótszym czasie oraz jego skuteczne likwidowanie.

Rozróżniamy następujące typy układów przeciwoślizgowych:

- mechaniczno-pneumatyczne – wykorzystujący masy wirujące do pomiaru opóźnienia ruchu obrotowego zestawu kołowego (układ taki działa bezpośrednio na układ pneumatyczny hamulca – obecnie nie są już stosowane),

- właściwy dobór ilości zębów, tak aby min. i max. zakres generowanej częstotliwości sygnału wyjściowego mieścił się w granicach dopuszczalnej częstotliwości pomiarowej czujnika [1],

$$f_{\max} > f_{\text{czujnika}} = \frac{V \cdot Z}{\pi \cdot D} \quad (3)$$

gdzie:

f_{\max} – maksymalna dopuszczalna częstotliwość pomiarowa czujnika [Hz],

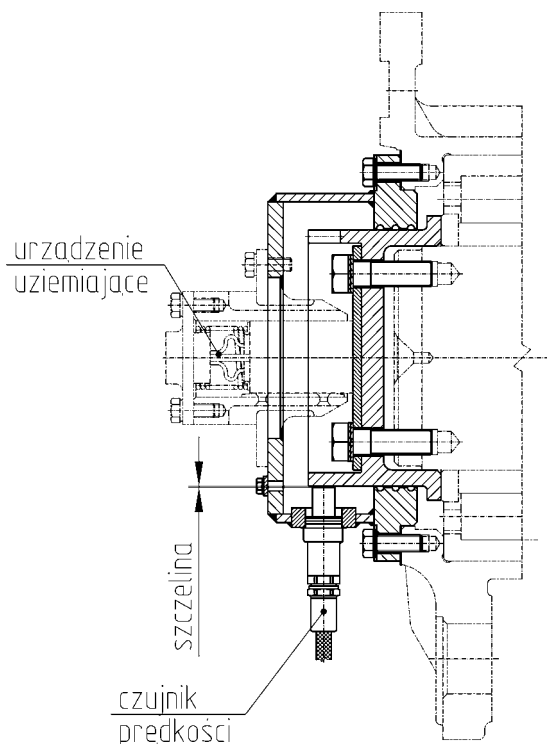
f_{czujnika} – częstotliwość generowanego sygnału [Hz],

V – prędkość maksymalna pojazdu [m/s],

Z – liczba zębów koła zębatego,

D – średnica koła pojazdu.

- właściwy wybór miejsca montażu czujnika, tak aby nie kolidował z innymi elementami węzła maźnicznego oraz aby możliwy był dostęp do kontroli i ewentualnej regulacji szczeliny,



Rys.3 Przykład zabudowy czujnika prędkości na korpusie maźnicy uwzględniający montaż dodatkowych urządzeń na porwywie maźnicy [5]

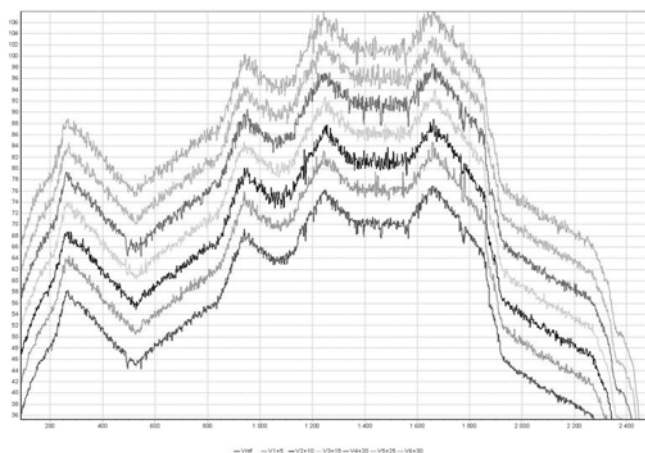
- właściwy dobór materiału na koło zębate tak aby koło zębate nie wykazywało właściwości magnetycznych podczas eksploatacji.

4. Miejsca powstawania błędów i ich wpływ na działanie układu

Potencjalnymi miejscami powstawania błędów wpływających na działanie układu pomiaru prędkości obrotowej zestawu kołowego są wymienione w punkcie 3 parametry geometryczne i materiałowe jakie powinny być zachowane do właściwej współpracy tej pary.

4.1. Zachowanie odpowiedniego profilu kształtu zęba oraz szerokości koła zębatego.

Podczas badań układów przeciwpoślizgowych w IPS „Tabor” [2] z wykorzystaniem do pomiaru prędkości obrotowej kół zestawów kołowych czujników współpracujących z pierścieniem zębatym zauważono, że duże znaczenie ma właściwie wykonanie tego elementu układu pomiarowego i to zarówno pod względem jakości powierzchni głów zębów jak i parametrów tolerancji jego kształtu i położenia. Przy szerokości głowy zęba 5mm, błąd rzędu 0,1 mm stanowi odchylenie mierzonej prędkości o 2%. Przy niedokładnym wykonaniu uzębienia pomiar pojedynczego odstepu między dwoma sąsiednimi zębami obarczony jest dość poważnym błędem. Skutkuje to zakłóceniami niemożliwymi do zlikwidowania przez algorytm pomiarowy układu, gdyż występuje on podczas pomiaru w sposób przypadkowy. Na rys.4 przedstawiono przebieg 6-osiowej lokomotywy rejestrowany bez filtracji, przy niedokładnym wykonaniu uzębienia koła pomiarowego.



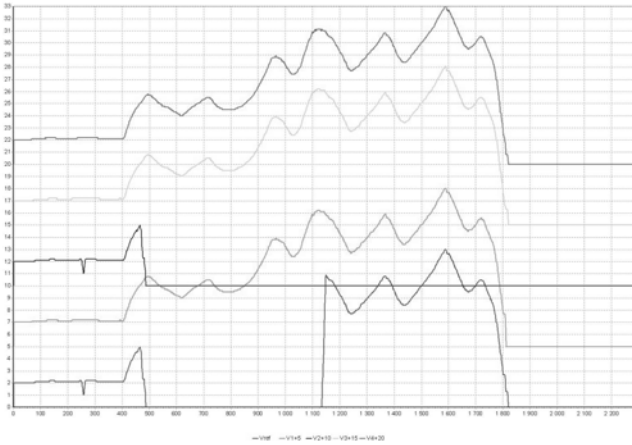
Rys.4 Przebiegi prędkości obciążone błędem wynikającym z niedokładności w wykonaniu zębatek [2]

4.2 Właściwy dobór materiału na koło zębate tak aby koło zębate nie wykazywało właściwości magnetycznych podczas eksploatacji.

Szczątkowe właściwości magnetyczne jakie może wykazywać materiał koła zębatego mogą powodować przyciąganie zanieczyszczeń metalowych w postaci opiłków i kawałków metalu. Zanieczyszczenia te mogą pojawić się na skutek procesu zużywania się elementów znajdujących się w bezpośredniej bliskości pary czujnik-zębata, do których należą np. łożyska maźnicy.

Zanieczyszczenia te w niekorzystnych warunkach mogą doprowadzić do okresowego zaniku sygnału generowanego w czujniku.

Na rys.5 przedstawiono przebieg prędkości z zarejestrowanym zanikiem prędkości na jednej osi.



Rys.5 Przebieg prędkości z zarejestrowanym zanikiem prędkości na jednej osi.[2]

4.3 Właściwa dla danego czujnika szczelina pomiędzy kołem zębatym a czujnikiem dostosowana do danego typu czujnika [3].

Szczelina, którą ustawia się podczas regulacji czujnika względem koła zębatego ma wartość stałą. Przy ustalaniu wielkości tej szczeliny należy wziąć pod uwagę kilka kryteriów, które należy uwzględnić przy doborze wielkości luzu pomiędzy czujnikiem a kołem zębatym. W rzeczywistości szczelina pomiędzy współpracującymi elementami układu pomiarowego zmienia się w pewnych granicach. Dlatego przy wyborze wielkości luzu należy zbadać wszystkie czynniki, które mogą mieć wpływ na zmianę jego wielkości.

Maksymalna amplituda przemieszczenia względnego jest sumą amplitud cząstkowych pochodzących od (podane miejsca powstawania przesunięć pochodzą od klasycznego układu maźnicznego z łożyskiem wałeczkowym i pierścieniem dociskowym, na którym zabudowana jest zębátka pomiarowa) :

- niewspółosiowego położenia pierścienia dociskowego, - amplituda ta może osiągnąć wartość równą połowie luzu pasowania pierścienia na czopie osi,
- promieniowego bicia własnego pierścienia dociskowego, - amplituda ta może osiągnąć wartość równą połowie tolerancji bicia tego pierścienia,
- niewspółosiowego położenia koła zębatego względem pierścienia dociskowego, amplituda ta może osiągnąć wartość równą połowie luzu pasowania koła zębatego na pierścieniu dociskowym,
- promieniowego bicia własnego koła zębatego, amplituda ta jest równa połowie bicia promieniowego,
- wężykowania zestawu kołowego w granicach luzów promieniowych łożysk maźniczych.

Właściwy dobór szczeliny pomiędzy czujnikiem a kołem zębatym powinien uwzględniać sumę wielkości luzów jakie powstają w układzie gdzie zamontowany jest czujnik. Dla obecnie montowanych układów czujnik-koło zębate najczęściej stosuje się luzy w granicach 1,2mm z tolerancją $\pm 0,2\text{mm}$ przy module koła zębatego $m=2$.

5. Postępowania w celu zmniejszenia wpływu błędów wykonawczych i montażowych.

W przedstawionych w punkcie 4 miejscach powstawania błędów i ich wpływu na generowany sygnał wywnioskować można, że najważniejszą drogą do poprawienia sygnału w czujniku jest eliminacja błędów wykonawczych koła zębatego. Koło w takim układzie traktować należy jako element o charakterze precyzyjnym.

W celu eliminacji błędów pomiarowych można zaproponować kilka algorytmów postępowania:

w przypadku wystąpienia w obrazie sygnału zakłóceń wynikających z przebiegu prędkości obciążonych błędem wynikającym z niedokładności w wykonaniu zębatek (jak na rys.4) należy zastosować dokładniejszą obróbkę powierzchni średnicy zewnętrznej koła zębatego, w tym celu stosuje się dodatkową obróbkę zmniejszającą chropowatość średnicy zewnętrznej koła zębatego, stąd najczęściej średnica zewnętrzna tego koła ma mniejszą średnicę niż wynikałoby to z wzorów na zależności geometryczne koła zębatego (powiązanie średnic koła zębatego z modulem i ilością zębów),

w przypadku wystąpienia przebiegów wynikających z przebiegu prędkości z zarejestrowanym zanikiem prędkości na jednej osi (jak na rys.5) należy przeanalizować miejsce montażu czujnika i koła zębatego, powodem tego może być znajdowanie się w bezpośredniej bliskości czujnika miejsc powstawania i wytrącania się zanieczyszczeń, które powodują niekontrolowaną zmianę wartości strumienia magnetycznego, częstą przyczyną występowania zakłóceń sygnału są niedokładności w konstrukcji i montażu pierścienia zębatego na osi zestawu kołowego. Dążyć należy w takim przypadku do jak najmniejszej liczby wzajemnych połączeń pasowanych pomiędzy zamocowaniem tego elementu a osią zestawu kołowego. Niekiedy wybór sposobu montażu zębátki pomiarowej do osi zdeterminowany jest konstrukcją pokrywy maźnicy. Dzieje się tak najczęściej w przypadku modernizacji istniejących rozwiązań konstrukcyjnych węzłów maźniczych w zakresie zabudowy przeciwpoślizgowych układów pomiarowych. W tym przypadku zakłócenia sygnału mogą mieć charakter bardziej złożony.

6. Podsumowanie i wnioski

Z przeprowadzonych w artykule analiz rozwiązań konstrukcyjnych stosowanych układów przeciwpoślizgowych wykorzystujących do pomiaru czujnik magnetyczny i koło zębate jako generator impulsów, wnioskować można, że właściwa praca takiego układu pomiarowego obarczona jest dużą ilością czynników je zakłócających. Od rozpoznania i określenia ich wpływu na układ należy rozpocząć dostosowywanie układu pomiarowego do danego rozwiązania konstrukcyjnego.

W przypadku uruchomienia układu pomiarowego sygnał odczytywany można zinterpretować pod kątem występujących w nim zakłóceń i dopasować do niego odpowiednią metodę obliczeniową dla układu sterującego. Część zakłóceń pochodzących od wadliwego wykonania układu nie może być jednak niwelowana za pomocą kolejnych uśrednień i filtracji przez układ obliczeniowy. Doprowadzać to może w konsekwencji do pojawiania się niekontrolowanych sygnałów mających charakter losowy, a przez to do niewłaściwego rozpoznania stanu w miejscu styku koło-szyna. Właściwa zabudowa układu czujnik-pierścień zębaty pod względem mechanicznym skutkuje również prostszym układem obliczeniowym

Pojawianie się zakłóceń w generowanym sygnale może mieć dodatkowe zastosowanie takiego układu pomiarowego. Sygnał, który jest generowany w czujniku ma postać analogową. Jego wartość i przebieg

zależy w dużej mierze od czynników go zakłócających. Czynniki wpływające na zakłócenia sygnału wzorcowego generowanego w czujniku można również wykorzystać do określania stanów technicznych np. układu łożyskującego zestaw kołowy. Do tego celu posłużyć może rozbudowany układ pomiarowy ukierunkowany na wykrywanie odmiennych stanów od założonych na drodze przeprowadzonych wcześniej analiz teoretycznych i eksperymentalnych.

7. Literatura:

- [1] Barna G., Stypka M. OR-8268 „Dobór czujników prędkości dla układu likwidacji poślizgu” Instytut Pojazdów Szynowych w Poznaniu listopad 2000r,
- [2] Cierniewski M. OR-9742 „Zakłócenia prędkości pomiarowej, sposoby odklócania i wybór zastosowanej metody filtrowania” Instytut Pojazdów Szynowych w Poznaniu styczeń 2011r,
- [3] Dolański J. „Analiza wymiarowa zabudowy nadajnika prędkości należącego do układu przeciwpoślizgowego lokomotywy sześćoosiowej typu 303D” Instytut Pojazdów Szynowych w Poznaniu materiały szkicowe - 2012r,
- [4] Kalinkowski A., Orlik A. „Wagony kolejowe i hamulce” WKiŁ Warszawa 1981r.
- [5] Mikłasz R. Instytut Pojazdów Szynowych w Poznaniu – prace własne realizowane przy konstrukcji układów pomiarowych.