

## ANALIZA PRZYDATNOŚCI SYGNAŁU W UKŁADZIE KONTROLI POŚLIZGU KÓŁ CIĄGNIKA ROLNICZEGO

Bogusław Cieślikowski

*Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie*

Andrzej Długosz

*Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie*

Jarosław Knaga

*Katedra Energetyki Rolniczej Uniwersytet Rolniczy w Krakowie*

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono analizę sygnału indukowanego przez czujniki podczas obrotów kół napędowych ciągnika rolniczego. Badanie to miało na celu wyszczególnienie prędkości minimalnej, przy której sygnał może być w pełni wykorzystany do kontroli prędkości kół, a tym samym jako sygnał wyjściowy do sterowania układem kontroli poślizgu granicznego kół napędowych ciągnika rolniczego.

**Słowa kluczowe:** czujnik indukcyjny, przebieg czasowy, amplituda sygnału

### Wstęp

W trakcie wykonywania zabiegów agrotechnicznych na kołach napędowych ciągnika rolniczego zawsze występuje poślizg. Jego wielkość uzależniona jest od wielu czynników takich jak: rodzaj podłoża, rodzaj mechanizmu jezdnego, obciążenia koła siłami normalnymi i stycznymi itp. Szereg przeprowadzonych badań wskazuje na istnienie związku pomiędzy prędkością obrotu koła a poślizgiem. Niestety jak do tej pory rozbieżności obserwowane w różnych warunkach nie pozwalają na uogólnienie zależności między tymi dwoma parametrami.

Dotychczas do badania poślizgu kół napędowych stosowano różne metody pomiaru. Między innymi metodę czujnikowo-radarową, czy metodę wideo [Budyń, Kielbasa 2003].

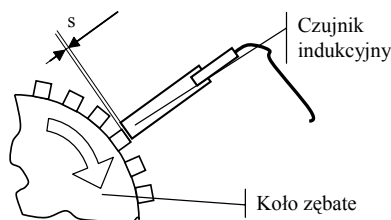
Obecnie brak jest systemów kontroli poślizgu w układzie on-line, w trakcie wykonywania zabiegów agrotechnicznych i pozwalających na bezpośrednie reagowanie i przeciwdziałanie temu niekorzystnemu zjawisku. Istnieje zatem potrzeba nie tylko ograniczenia poślizgu kół napędowych ciągnika lecz również wprowadzenia korekty parametrów realizowanego procesu agrotechnicznego ze względu na znaną wartość poślizgu. Praca ciągnika podczas opryskiwania przy dużym poślizgu może mieć niekorzystny wpływ na ochronę roślin, środowisko naturalne, oraz zużycie układu napędowego, a w szczególności przekładni głównej i mechanizmu różnicowego.

## Cel i zakres pracy

Celem pracy było przeprowadzenie analizy sygnału wyjściowego, oraz jego przydatności do oceny kąta obrotu jak i prędkości obrotowej kół napędowych ciągnika rolniczego. Otrzymane wyniki badań posłużą do opracowania charakterystyk opisujących jakość sygnałów otrzymywanych z czujnika indukcyjnego, współpracującego z kołem impulsowym zamocowanym wewnątrz bębna hamulcowego.

## Przedmiot i metodyka Badań

Przedmiotem badań był układ zamontowany w ciągniku rolniczym Massey Ferguson 235, składający się z czujnika indukcyjnego PA6-6 30GF zaadaptowanego z układu ABS samochodu osobowego i impulsowego koła zębatego o prostokątnym przekroju zęba (rys 1).



Rys. 1. Schemat układu przedstawiający położenie czujnika indukcyjnego względem koła zębatego  
Fig. 1. System diagram showing position of induction sensor in relation to gear wheel

Koło impulsowe o liczbie 80 zębów zamocowano wewnątrz bębna hamulcowego, a czujnik indukcyjny umocowano na tarczy kotwicznej szczęk hamulcowych prostopadle do stycznej poprowadzonej do zewnętrznego obrysu koła w odległości  $s$ . Wielkość szczeliny ze względu na jakość sygnału z czujnika indukcyjnego powinna zmierzać do zera, natomiast ze względu na kinematykę współpracujących elementów w układzie rzeczywistym wielkość szczeliny ustalono na poziomie  $0,5\text{mm} \pm 0,1$ , co jest związane z błędem nieosiowości w czasie montażu. Badania przeprowadzono w warunkach stacjonarnych na nieobciążonych kołach napędowych i zablokowanym moście napędowym ciągnika. Wykonano 16 pomiarów przy dwóch prędkościach obrotowych silnika ( $1000\text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$  i  $1500\text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ ), przy czym dla jednego punktu pomiarowego przeprowadzono trzy powtórzenia, w celu oszacowania powtarzalności próby. Sygnały z czujników indukcyjnych rejestrowano bezpośrednio na PC, z wykorzystaniem aplikacji napisanej w programie DasyLab 6.0, obsługującym kartę pomiarową PCI 711.

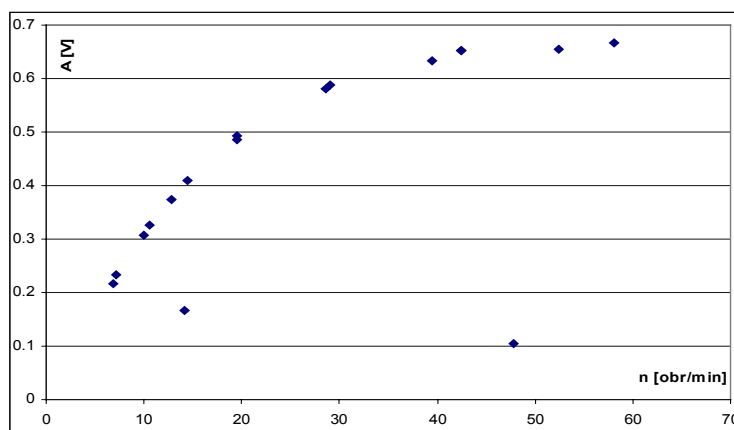
Następnie w wyniku przeprowadzonych obserwacji przebiegów czasowych otrzymanych sygnałów ustalono, iż przebiegi te są podobne do przebiegów funkcji sinus. To pozwoliło na łatwą analizę sygnału, a co za tym idzie okresu, częstotliwości i prędkości obrotowej koła. Za początek okresu przyjęto punkt zmiany sygnału z wartości ujemnej na dodatnią. W punkcie przecięcia się sinusoidy z osią czasu wykres jest najbardziej stromy,

ponieważ pierwsza pochodna w tym punkcie jest maksymalna - równa amplitudzie (styczna do wykresy przecina oś czasu pod największym kątem). Tak przyjęty punkt, przy zachowaniu symetryczności amplitudy po stronie ujemnej i dodatniej zapewnia najmniejsze błędy, a w dalszej obróbce elektronicznej sygnału pozwala na duże uproszczenia układów.

Dla wszystkich zarejestrowanych prób wyznaczono średnią wartość amplitudy jak i częstotliwość sygnału przeliczając następnie na prędkość obrotową.

## Wyniki badań

Analizę wyników badań rozpoczęto od sporządzenia charakterystyki na wartość przeciętnych obrazującej zależność amplitudy sygnału od prędkości obrotowej.



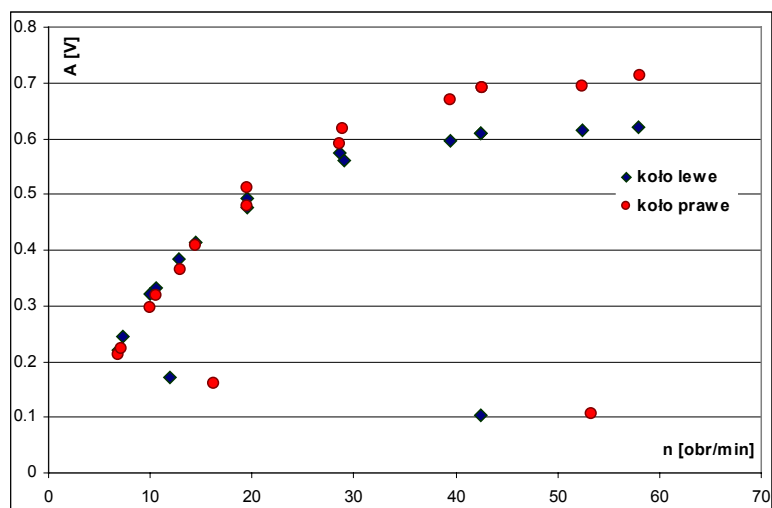
Rys. 2. Charakterystyka amplitudy sygnału w zależności od prędkości obrotowej

Fig. 2. Signal amplitude characteristics in relation to rotational speed

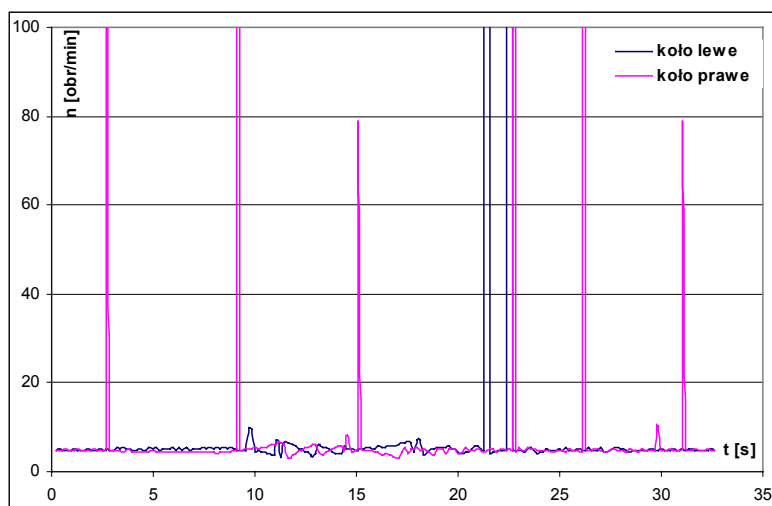
Jak wynika rys. 2, wraz ze wzrostem prędkości obrotowej koła wzrasta amplituda sygnału aż do wartości ustalonej 0,7 V (asymptoty poziomej). Natomiast w dolnej części wykresu obserwujemy dwa punkty, które sugerują odwrotną zależność. W dalszej kolejności opracowano wykres pokazujący zależność amplitudy od prędkości obrotowej z podziałem na dwa koła.

Z charakterystyki przedstawionej na rysunku 3 potwierdzają się spostrzeżenia przedstawione przetoczone powyżej dla każdego z kół. Stąd charakterystykę tą możemy podzielić na dwa przedziały; to jest  $(0 \div 7]$  obr $\cdot$ min $^{-1}$  i  $(7 \div \infty)$ . W przedziale pierwszym amplituda powinna maleć do zera przy zmniejszającej się prędkości obrotowej, jest odwrotnie i to przy znacznych odchylniach dla poszczególnych kół. Natomiast w przedziale drugim charakterystyka przebiega zgodnie z oczekiwaniami, ale obserwujemy różnice amplitudy na poszczególnych kołach ze wzrostem prędkości obrotowej. Taki efekt można tłumaczyć wielkością szczeliny między czujnikiem a kołem zębatym. Im większa szczelina tym mniejsza amplituda, a efekt ten zanika przy prędkościach obrotowych poniżej 20 obr $\cdot$ min $^{-1}$ .

Następnie dla wybranego punktu z przedziału pierwszego przeprowadzono szczegółową analizę sygnału, rozpoczynając od obserwacji przebiegu zmian prędkości obrotowej w czasie 30 sekundowej próby (rys. 4).

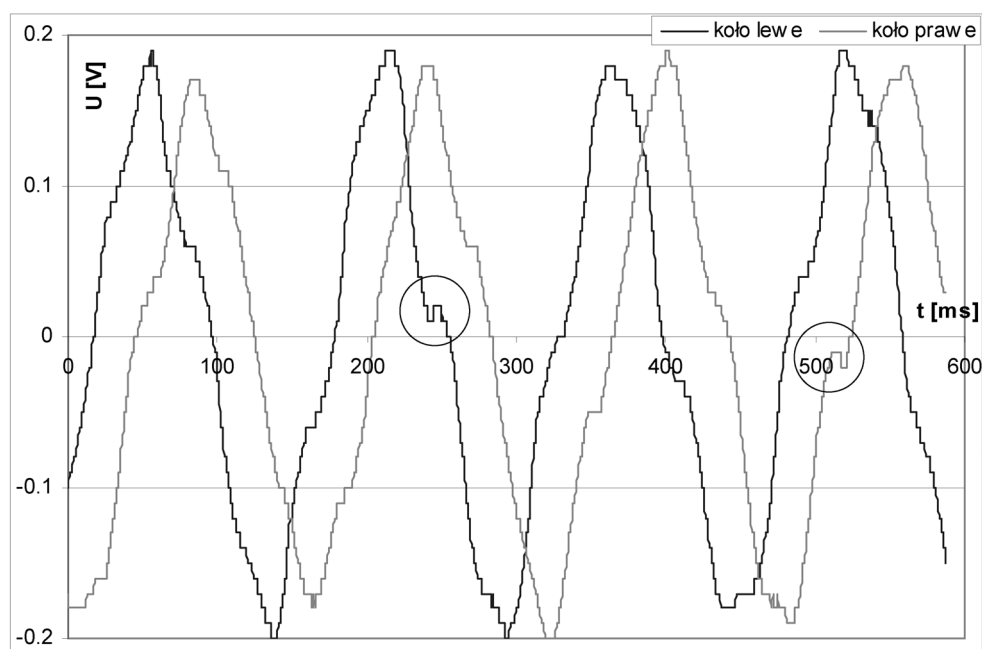


Rys. 3. Charakterystyka amplitudy sygnału w zależności od prędkości obrotowej z podziałem na koła  
 Fig. 3. Signal amplitude characteristics in relation to rotational speed with division into individual wheels



Rys. 4. Przebiegu zmian prędkości obrotowej w czasie próby  
 Fig. 4. Trajectory of changes in rotational speed during the test

Z rysunku 4 wynika, iż pojawiają się krótkie impulsy o kilkudziesiąt razy większej wartości od oczekiwanej i wiele impulsów o znacznie mniejszych odchyleniach. Przyczyny tego stanu poszukano w bezpośredniej analizie graficznej sygnału (rys. 5).

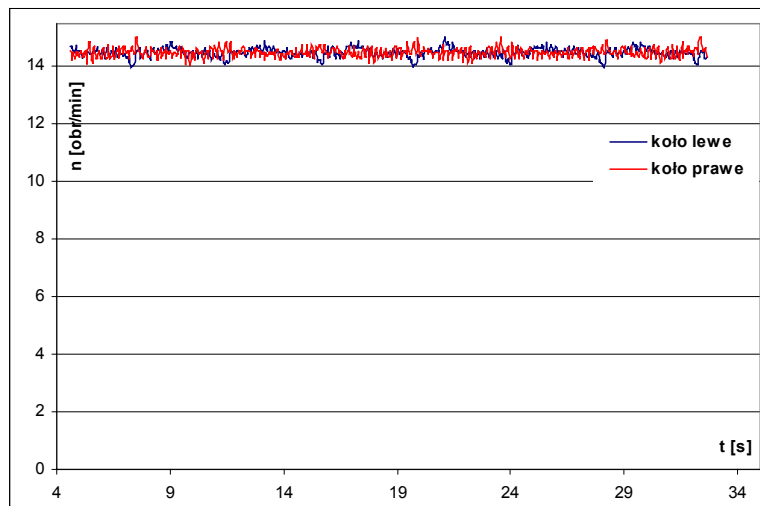


Rys. 5. Przebiegi czasowe sygnałów z czujnika indukcyjnego  
 Fig. 5. Time functions of signals from induction sensor

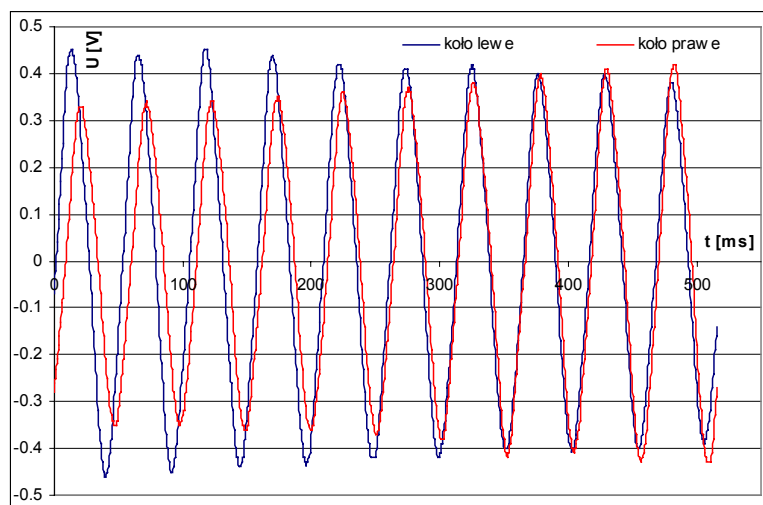
Na wykresie przebiegów czasowych zaznaczono przyczynę powstawania znacznych impulsów, to jest tak zwany efekt podbicia chwilowego sygnału. W wyniku pojawienia się tego efektu w momencie przecięcia się wykresu z osią czasu dostarczana jest zafalszowana informacja o częstotliwości sygnału. Efekt ten można tłumaczyć chwilowym przyspieszeniem nie wywarzonego koła w wyniku kasowania luzów w układzie przeniesienia napędu.

Podobną analizę przeprowadzono dla wybranego punktu z przedziału drugiego.

Na rys. 6 przedstawiono przebieg zmian prędkości obrotowej kół w czasie próby 30 sekundowej. Na wykresach można zauważyć pewną cykliczność przebiegów dla poszczególnych kół. Cykliczność ta wynika z kasowania luzów układu napędowego, przy zmiennych oporach tarcia w czasie pełnego obrotu koła. Natomiast na rys. 7 zamieszczono wycinek przebiegów rzeczywistych z tej próby. Przebiegi posiadają gładką linię o symetrycznie falującej amplitudzie. Falowanie amplitudy jest wynikiem zmieniającej się szczeliny między kołem zębatym a czujnikiem indukcyjnym.



Rys. 6. Przebieg zmian prędkości obrotowej w czasie próby 3 bieg 1500 obr·min<sup>-1</sup> silnika  
Fig. 6. Trajectory of changes in rotational speed during the test, 3<sup>rd</sup> gear 1500 rpm of the engine



Rys. 7. Przebiegi czasowe sygnałów z czujnika indukcyjnego  
Fig. 7. Time functions of signals from induction sensor

## Wnioski

Przeprowadzona analiza wyników badań pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

1. Układ pozwalający na kontrolę prędkości obrotowej kół zapewnia poprawne działanie w zakresie prędkości wyższych od  $7 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$  przy częstotliwości próbkowania 2 kHz.
2. Przeprowadzona analiza wskazuje na możliwości wykorzystania układu do określania stanu technicznego układu przeniesienia napędu.
3. Dla prędkości mniejszych od  $\text{obr} \cdot \text{min}^{-1}$  pojawiają się piki w przebiegu częstotliwości, zafałszowanie w odczycie prędkości obrotowej.
4. Kontrola w zakresie małych prędkości obrotowych kół tylnych powinna być prowadzona przy mniejszej częstotliwości próbkowania, lub większym kole zębatym (większej liczbie zębów).
5. Innym rozwiązaniem dla małych prędkości koła może być bardziej zaawansowana analiza sygnału np. interpolacji, ale to na pewno zwiększy bezwładność układów elektronicznych.

## Bibliografia

- Basista G. Cieślukowski B.** 2005. Stabilizacja prędkości roboczej agregatu ciągnikowego ze względu na moment tarcia mechanizmu różnicowego. Inżynieria Rolnicza. Nr 14(74). Kraków. s.23-28.
- Budyn P. Kielbasa P.** 2003. Pomiar poślizgu kół napędowych ciągnika. Inżynieria Rolnicza. Nr 2(51). Kraków. s. 43-51.
- Dajniak H.** 1985. Ciągnik- teoria ruchu i konstruowanie, WKL Warszawa. ISBN 83-206-0518-0.
- Kwaśniewski J.** 1993. Wprowadzenie do inteligentnych przetworników pomiarowych. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa. s. 22-24.

## ANALYSIS OF SIGNAL USABILITY IN THE SKID CONTROL SYSTEM FOR FARM TRACTOR WHEELS

**Abstract.** The paper presents the analysis of signal induced by sensors during spinning of farm tractor drive wheels. The test was aimed to specify minimum speed at which the signal may be fully used to control velocity of wheels, and thus work as an output signal for operation of the limit skid control system for farm tractor drive wheels.

**Key words:** induction sensor, time trajectory, signal amplitude

### Adres do korespondencji

Bogusław Cieślukowski; e-mail: bcieslikowski@ar.krakow.pl  
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
ul. Balicka 120  
30-149 Kraków