

ANALIZA JAKOŚCI SYGNAŁU PRZY ZMIENNEJ CZĘSTOTLIWOŚCI W UKŁADZIE KONTROLI POŚLIZGU KÓŁ CIĄGNIKA ROLNICZEGO

Bogusław Cieślikowski

Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Andrzej Długosz

Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Jarosław Knaga

Katedra Energetyki i Automatyki Procesów Rolniczych, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy przedstawiono badanie wpływu częstotliwości próbkowania na jakość sygnału wyjściowego z czujników. Określono również błąd względny zmiany częstotliwości sygnału odniesiony do częstotliwości pierwotnej (2 KHz)

Słowa kluczowe: częstotliwość próbkowania, częstotliwość sygnału

Cel i zakres pracy

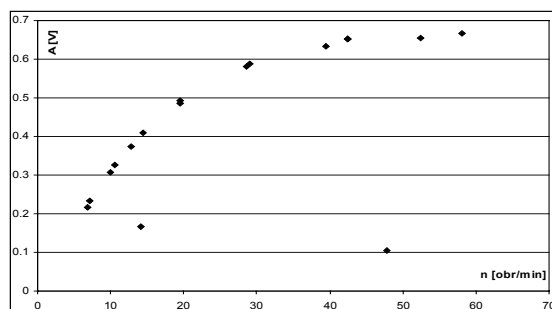
Celem pracy była analiza wpływu częstotliwości próbkowania na jakość sygnału pochodzącego z czujnika indukcyjnego, który współpracując z zębatym kołem impulsowym dostarcza informacje o prędkości kątowej koła napędzanego w ciągniku rolniczym. Otrzymane wyniki będą pomocne przy ustalaniu częstotliwości próbkowania na potrzeby badań ciągników i maszyn rolniczych.

Przedmiot i metodyka badań

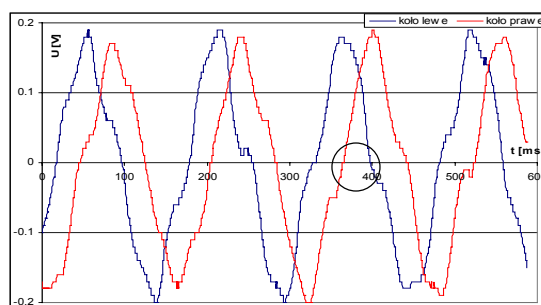
Przedmiotem badań był sygnał pochodzący z czujnika indukcyjnego zaadaptowanego z układu ABS samochodu osobowego i koła zębatego o prostokątnym przekroju zęba zamontowanego w ciągniku rolniczym Massey Ferguson 235. Czujnik indukcyjny PA6-630 jest stosowany w systemach ABS samochodów VW i pochodnych. Koła impulsowe współpracujące z w/w czujnikami zostały wykonane z uwzględnieniem możliwości konstrukcyjnych ciągnika. Sygnały z czujników indukcyjnych rejestrowany przy częstotliwości próbkowania 2 kHz był zapisywany bezpośrednio na PC, z wykorzystaniem aplikacji napisanej w programie DasyLab 6.0, obsługującym kartę pomiarową PCI 711 w czasie rzeczywistym nie przekraczającym 30 sekund. Możliwości wykorzystania tego czujnika do kontroli prędkości kątowej kół ciągnika przedstawiono w opracowaniu [Cieślikowski i in. 2008; Cieślikowski, Długosz 2007]. Przedstawiona analiza wykazała pewne ograniczenia.

Do najważniejszych należy między innymi ograniczenie prędkości obrotowej i stosunkowo duża liczba danych przy wstępnie dobranej częstotliwości próbkowania na poziomie 2 kHz. Efektem tego jest duża liczba zapisywanych rekordów (60000) co dawało pliki o rozmiarze kilku, a nawet kilkunastu MB.

Prędkość obrotowa jest ograniczona od dołu na poziomie 6 obr·min⁻¹ koła napędzanego, co wyjaśniono na rys. 1. Przy malejącej prędkości obrotowej, prawidłowo maleje amplituda sygnału do wartości 0,2 V. Poniżej tej wartości pojawiają się dodatkowe impulsy (rys. 2), których efektem jest informacja o gwałtownym wzroście prędkości obrotowej koła.



Rys. 1. Charakterystyka amplitudy sygnału w zależności od prędkości obrotowej
 Fig. 1. Characteristics of the signal amplitude subject to rotational speed



Rys. 2. Przebiegi czasowe sygnałów z czujnika indukcyjnego
 Fig. 2. Time histories of signals from the inductive sensor

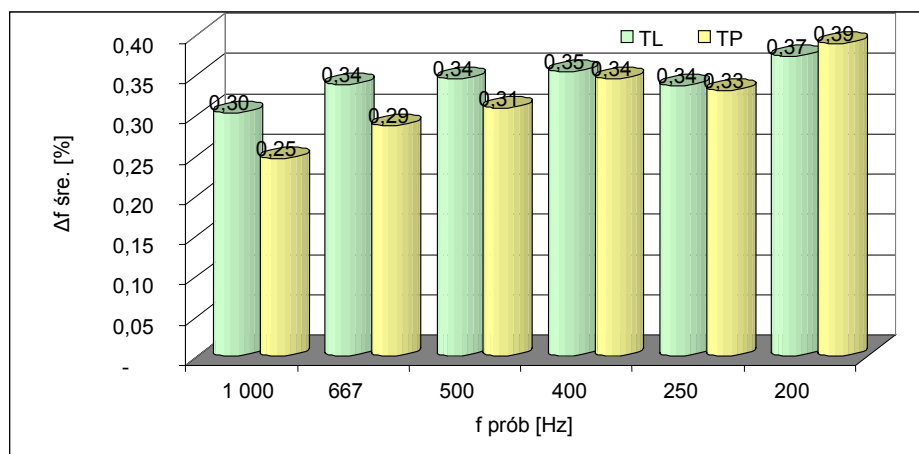
Na podstawie obserwacji przebiegów czasowych sygnałów ustalono, iż przebiegi te są sinusoidalne. Analizę sygnału sprowadzono do wyznaczenia czasów kolejnych przejść przez to samo położenie równowagi wyznaczając w ten sposób okres dla kolejnych „wahnięć”. Dla wyznaczonych okresów obliczono częstotliwość sygnału o przebiegu sinusoidalnym, którą można w łatwy sposób związać z prędkością obrotową czy kątową, co dostarcza nam informacji o ewentualnych zmianach tych parametrów.

W niniejszym opracowaniu celem ograniczenia liczby przetwarzanych danych postanowiono przeprowadzić analizę zmiany częstotliwości próbkowania sygnału pomiarowego do możliwie najmniejszej częstotliwości próbkowania bez znaczącej utraty informacji

o częstotliwości analizowanego sygnału o przebiegu sinusoidalnym. Częstotliwość próbkowania zmniejszono zgodnie z ciągiem $1/(n+1)$ przy $n = 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9$. Do określenia jakości sygnału posłużono się średnim względnym błędem. Błąd względny określający zmianę częstotliwości sygnału sinusoidalnego każdorazowo odniesiono do pierwotnej częstotliwości sygnału przy próbkowaniu 2 kHz. Do analizy wybrano dwie próby zarejestrowane na I biegu terenowym przy prędkości $1000 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ silnika, kiedy wystąpiły znaczne zakłócenia częstotliwości i na III biegu szosowym przy prędkości $1500 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ silnika, kiedy uzyskany sygnał był jakościowo poprawny.

Wyniki badań

Analizę rozpoczęto od określenia wpływu zmiany częstotliwości próbkowania na częstotliwość sygnału sinusoidalnego z czujników ABS. Zgodnie z przyjętą metodyką z zarejestrowanych danych przy częstotliwości próbkowania 2 kHz wybrano losowo co drugi rekord, następnie co trzeci, czwarty i piąty itd. symulując w ten sposób odpowiednio częstotliwości próbkowania na poziomie 1000 Hz, 667 Hz, 500 Hz, 400 Hz, 250 Hz, 200 Hz. Wyznaczone w ten sposób próby posłużyły do wyznaczenia częstotliwości sygnału sinusoidalnego. Następnie dla pojedynczych impulsów obliczono względny błąd częstotliwości przyjmując za poprawną częstotliwość sygnał sinusoidalny uzyskany w próbie 2 kHz. Średnią wartość względnego błędu częstotliwości dla całej próby (tj. 30-to sekundowej i nastawieniu ciągnika na III bieg szosowy oraz prędkości obrotowej silnika $1500 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$) z podziałem na prawe i lewe koło napędowe przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Analiza średniego względnego błędu częstotliwości przy różnych częstotliwościach próbkowania dla 30-to sekundowej próby i nastawieniu ciągnika na III bieg szosowy oraz prędkości obrotowej silnika $1500 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$

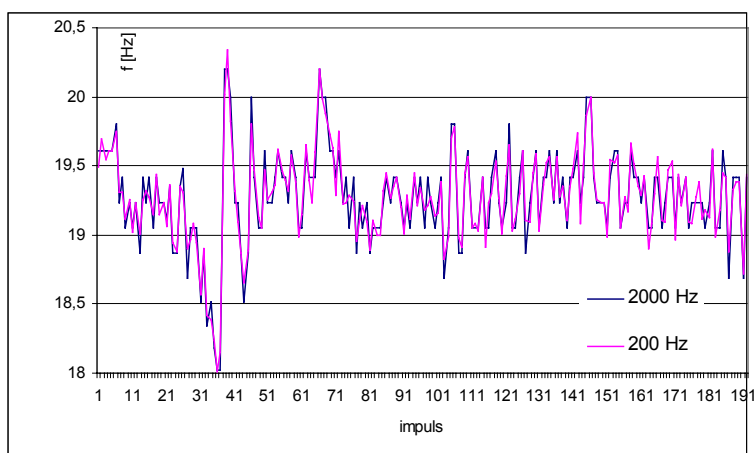
Fig. 3. Analysis of the average relative frequency error at various sampling frequencies for a 30-second sample, setting of the tractor at the 3rd highroad gear and the rotational speed of the engine of 1500 rpm^{-1}

Z rys. 3 wynika, iż wraz z malejącą częstotliwością próbkowania nieznacznie wzrasta średni względny błąd częstotliwości sygnału sinusoidalnego do wartości 0,4%, przy czym błąd ten mieści się w zakresie $0,25\div 0,39\%$. Porównując wartości otrzymanego błędu między kołem lewym i prawym okazuje się, iż różnica ta nie przekracza 0,05%.

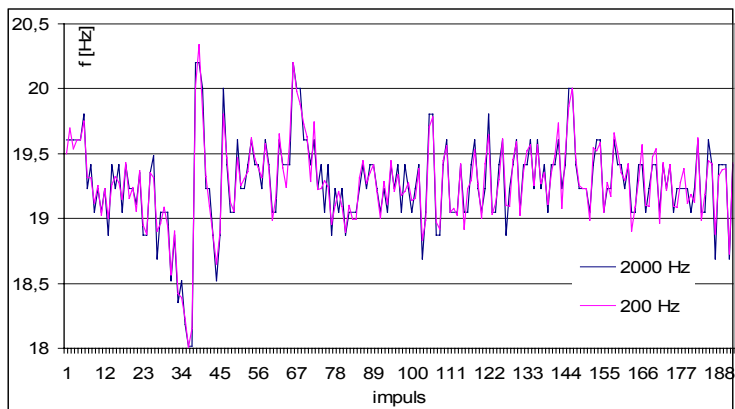
Następnie dla próbkowania 2 kHz i 200 Hz przedstawiono graficzne porównania przebiegu zmian częstotliwości sygnału sinusoidalnego w czasie dla analizowanej próby (rys. 4).

Z rysunku 4 wynika, że przebiegi częstotliwości praktycznie się pokrywają niezależnie do próbkowania, przy czym dla częstotliwości 2 kHz obserwujemy łagodniejszy przebieg.

a)



b)

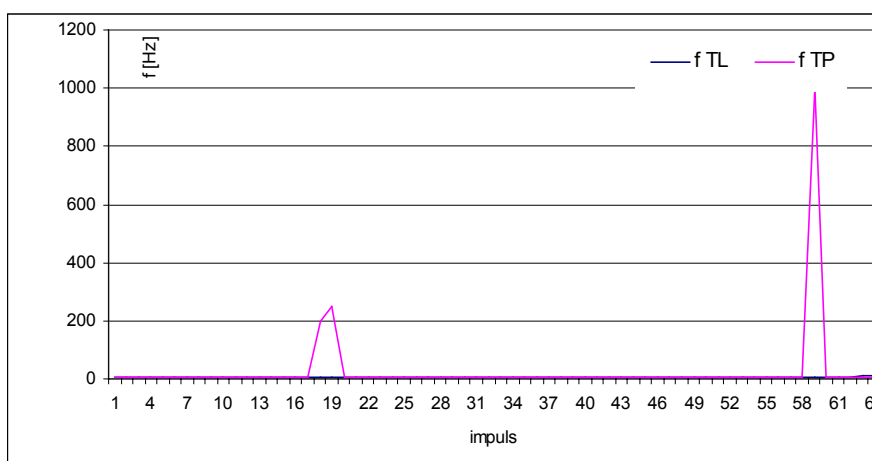


Rys. 4. Porównanie przebiegu częstotliwości sygnału sinusoidalnego dla próbkowania 2 kHz i 200 Hz na poziomie okresu (impulsu); a) koło lewe, b) koło prawe

Fig. 4. Comparison of the course of frequency of the sinusoidal signal for sampling of 2 kHz and 200 Hz on the level of the period (impulse); a) left wheel, b) right wheel

Przedstawiona analiza względnego średniego błędu wskazuje, iż można obniżyć częstotliwość próbkowania do wartości 200 Hz bez utraty wiarygodności sygnału sinusoidalnego, który będzie podstawą do określenia wartości poślizgu koła napędzanego. Błędy wynikające z zmiany częstotliwości są nieporównywalnie małe w stosunku do przypadkowych odchyień częstotliwości wynikających na przykład z pracy mechanizmu różnicowego przeniesienia napędu w ciągnikach rolniczych.

Podobną analizę częstotliwości sygnału sinusoidalnego pochodzącego z czujników indukcyjnych przeprowadzono dla próby przy nastawieniu ciągnika rolniczego na I bieg terenowy i prędkości obrotowej silnika $1000 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$. Przy takich nastawieniach i próbkowaniu z częstotliwością 2 kHz pojawiają się odchylenia częstotliwości sygnału sinusoidalnego o wysokich wartościach nawet 1000 Hz (rys. 5), wynikające z chwilowych „podbić” w przebiegu (rys. 1).

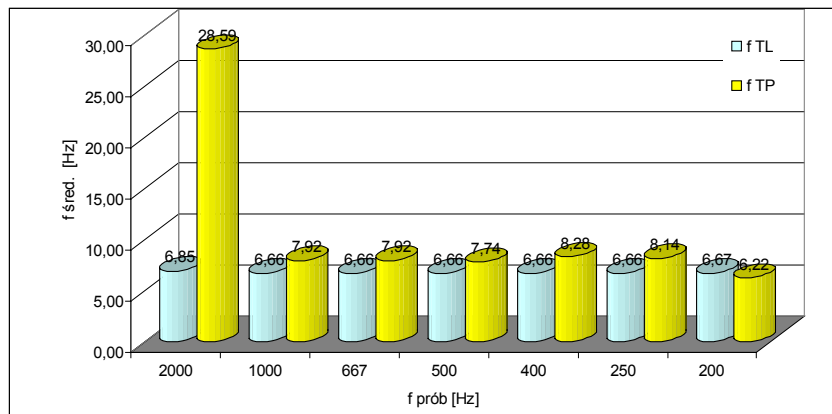


Rys. 5. Przebieg zmian częstotliwości z czujników indukcyjnych umieszczonych na kołach napędowych ciągnika (I bieg terenowy przy prędkości obrotowej silnika $1000 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$)

Fig. 5. Course of changes of frequency from inductive sensors placed on drive wheels of the tractor (1^{st} field gear at the rotational speed of the engine amounting to 1000 rpm^{-1})

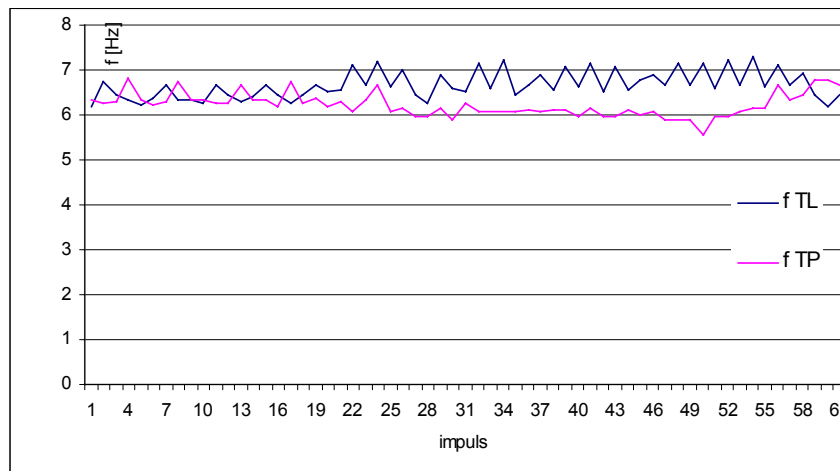
Analizę w przypadku tej próby ograniczono w dalszej części do wyznaczenia tylko średniej wartości częstotliwości z całej przy zmiennym próbkowaniu z podziałem na koło lewe i prawe (rys. 6.).

Na grafie (rys. 6) obserwuje się dużą różnicę średniej częstotliwości sygnału sinusoidalnego przy próbkowaniu 2 kHz, co jest następstwem pojawiających się pików (rys. 5). Zmniejszenie częstotliwości próbkowania o połowę pozwoliło na wycięcie piku 1000 Hz, czego efektem jest obniżeniem częstotliwości sygnału z 28 Hz do 8 Hz dla koła prawego. Usunięcie piku o częstotliwości 210 Hz, który trwał dłużej, było możliwe dopiero przy próbkowaniu 200 Hz (rys. 6). Dla tak odfiltrowanego sygnału w analizowanej próbie przebieg częstotliwości przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 6. Średnia częstotliwość sygnału z czujników indukcyjnych umieszczonych na kołach napędowych ciągnika przy różnych częstotliwościach próbkowaniu karty (I bieg terenowy przy prędkości obrotowej silnika 1000 obr·min⁻¹)

Fig. 6. Average frequency of the signal from inductive sensors placed on drive wheels of the tractor at various card sampling frequencies (1st field gear at the rotational speed of the engine amounting to 1000 rpm⁻¹)



Rys. 7. Przebieg zmian częstotliwości z czujników indukcyjnych umieszczonych na kołach napędowych ciągnika przy próbkowaniu 200 Hz (I bieg terenowy przy prędkości obrotowej silnika 1000 obr·min⁻¹)

Fig. 7. Course of changes of frequency from inductive sensors placed on drive wheels of the tractor with sampling of 200 Hz (1st field gear at the rotational speed of the engine amounting to 1000 rpm⁻¹)

Zmniejszenie częstotliwości próbkowania karty pomiarowej do 200 Hz, w analizowanej próbie pozwoliło na odfiltrowanie zakłóceń w przebiegu częstotliwości sygnału sinusoidalnego, co pozwoli na poprawną pracę układu kontroli poślizgu przy mniejszych prędkościach ciągnika.

Wnioski

1. Przedstawiona analiza średniego błędu wskazała, że można obniżyć częstotliwość próbkowania do wartości 200 Hz bez zmian jakości sygnału sinusoidalnego, który będzie podstawą do określenia wartości poślizgu koła napędzanego.
2. Błędy powstałe wskutek zmniejszenia częstotliwości próbkowania są nieporównywalnie małe (zawierają się w przedziale $0,24 \pm 0,39\%$) w stosunku do przypadkowych odchyleń częstotliwości wynikających np. z pracy mechanizmu różnicowego przeniesienia napędu w ciągniku rolniczym.
3. Zmniejszenie częstotliwości próbkowania do 200 Hz przyczyniło się do rozszerzenia przedziału kontrolowania poślizgu kół w kierunku mniejszych prędkości koła napędzanego – poniżej $7 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$.
4. Poprawienia jakości sygnały w próbach poniżej prędkości granicznej jest następstwem odfiltrowania zakłóceń w przebiegu częstotliwości sygnału sinusoidalnego.
5. Zmniejszenie częstotliwości próbkowania sygnału z czujników pozwoli na wydłużenie czasów prób lub zmniejszenie rozmiaru plików z danymi z czujników indukcyjnych.

Bibliografia

- Budyn P., Kielbasa P.** 2003. Pomiar poślizgu kół napędowych ciągnika. Inżynieria Rolnicza. Nr 2(51). Kraków. s. 43-51.
- Cieślikowski B.** 2007. Procesy drganiowe w diagnostyce maszyn rolniczych. PTIR Kraków. ISBN 83-917053-5-8.
- Cieślikowski B., Długosz A.** 2007. Kontrola poślizgu granicznego kół ciągnika rolniczego w aspekcie wymagań rolnictwa precyzyjnego. Inżynieria Rolnicza Nr 9(97). Kraków. s. 27-33.
- Kwaśniewski J.** 1993. Wprowadzenie do inteligentnych przetworników pomiarowych. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa. s. 17-23.

Praca wykonana w ramach projektu badawczego promotorskiego Nr N N313 272538.

ANALYSIS OF SIGNAL QUALITY AT VARYING FREQUENCY IN THE SYSTEM OF CONTROL OF SKID OF FARM TRACTOR WHEELS

Abstract. The work presents the analysis of the impact of sampling frequency on the quality of the output signal from sensors. The relative error of change of signal frequency referred to original frequency (2 KHz) was also determined.

Key words: sampling frequency, signal frequency

Adres do korespondencji

Andrzej Długosz; e-mail: Andrzej.Dlugosz@ur.krakow.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
Ul. Balicka 116B
30-149 Kraków