

WYZNACZANIE PARAMETRÓW RUCHU SAMOCHODU OSOBOWEGO PODCZAS HAMOWANIA Z WYKORZYSTANIEM CZUJNIKÓW PRZYSPIESZEŃ

DETERMINATION OF MOVEMENT PARAMETERS OF A CAR DURING BREAKING USING ACCELERATION SENSORS

Pomiary procesów jezdnych pojazdu, przebytej drogi, osiągniętych prędkości i przyspieszeń są powszechnie stosowane do wyznaczania kierowności i stateczności ruchu samochodu, decydujących o bezpieczeństwie pasażerów. Coraz powszechniej stosowane w pojazdach urządzenia wspomagające wyznaczają konieczność zwiększenia częstotliwości pomiarowej co ogranicza stosowalność dotychczasowych metod pomiarowych.

W artykule zaprezentowano możliwości i ograniczenia zastosowania czujników przyspieszeń ADXL 105 firmy Analog Device do pomiarów opóźnień samochodu osobowego podczas hamowania. W pracy zaprezentowano wyniki badań laboratoryjnych i drogowych oraz pojawiające się problemy określania prędkości i przebytej drogi przez pojazd w trakcie procesu hamowania.

Słowa kluczowe: czujniki przyspieszeń, proces hamowania

Measurements of driving properties of a vehicle, traveled distance, velocities and accelerations are commonly used in order to determine car's steerability and movement stability i.e. in order to determine its safety passengers. As devices used more and more commonly in cars require higher measuring frequencies the currently used measuring methods may require better alternatives. The article presents the potential and limitations of ADXL 105 Analog Devices acceleration sensors in applications measuring deceleration of a personal car during breaking. The paper presents results of laboratory and road tests as well as problems encountered while determining vehicle's speed and distance covered during a breaking process.

Keywords: acceleration sensors, braking process

1. Wstęp

Problematyka hamowania samochodu zdeterminowana jest potrzebami bezpieczeństwa i komfortu podróżnych. Bezpieczeństwo pojazdu samochodowego związane jest z niezawodnością, statecznością i trwałością działania hamulców, natomiast komfort zależy od ich progresywności działania i niewielkiego poziomu hałasu. Zasadniczy i oczywisty wymóg stawiany hamulcom to zdolność zatrzymania pojazdu w sposób optymalny ze względu na wyżej wymienione kryteria w warunkach zmiennych obciążeń pojazdu, zmiennego stanu nawierzchni drogi i jej ukształtowania. Skuteczność działania hamulców wyraża się praktycznie w wartości uzyskiwanego opóźnienia ruchu pojazdu w m/s².

Od lat bada się kryterium opóźnienia ruchu pojazdu jak również inne czynniki wpływające na proces hamowania. Na rysunku 1 przedstawiono przykła-

dowy przebieg procesu hamowania wraz z charakterystycznymi parametrami opisującymi ten proces: prędkością początkową, przebytą drogą i osiąganym opóźnieniem.

W artykule jest przedstawiona propozycja zastosowania mikroczujnika przyspieszeń ADXL 105 firmy Analog Devices do wyznaczania parametrów ruchu samochodu osobowego.

2. Czujniki przyspieszeń

Do pomiarów procesu hamowania wykorzystano czujniki przyspieszeń typu ADXL105 firmy Analog Devices. Czujniki tego typu wykonuje się w całości w pojedynczym chipie i umożliwiają pomiar przyspieszeń wzdłuż jednej osi, generując sygnał napięciowy proporcjonalny do działającego przyspieszenia. Wewnętrzna struktura półprzewodnikowa zbudowana jest z systemu mas sprężynujących oraz obwodu



Rys. 1. Przykładowy przebieg procesu hamowania
 Fig. 1. Exemplary course of process of braking

elektrycznego służącego do obliczania przyspieszeń na podstawie przemieszczania się tych mas względem nieruchomych okładzin kondensatora (rys. 2.).

Z czujnika przyspieszeń sygnał analogowy podawany jest na kartę A/C gdzie dokonywane jest próbkowanie i kwantowanie sygnału. Otrzymany sygnał cyfrowy jest w łatwy sposób archiwizowany w pliku na dysku komputera.

Czujnik ADXL 105 cechuje się małymi rozmiarami co pozwala na nieinwazyjny montaż na badanym pojeździe. Duża częstotliwość pomiarowa pozwala dynamicznie mierzyć i rejestrować zmiany przyspieszeń, jakim jest poddany pojazd w trakcie ruchu.

Z otrzymanych danych z czujnika można w prosty sposób wyliczyć przebytą przez pojazd drogę, jednakże potrzebna jest do tego informacja o stałych całkowania, np. o chwilowej prędkości na początku pomiaru. W przeprowadzonych pomiarach drogowych do wyznaczenia prędkości początkowej zostały wykorzystane urządzenia fotooptyczne. Dodatkową stałą całkowania jest również prędkość na końcu procesu, zwłaszcza w przypadku zatrzymania pojazdu na końcu cyklu pomiarowego.

3. Bbadania laboratoryjne

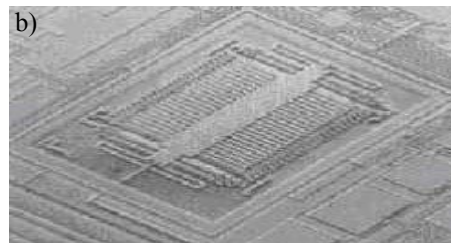
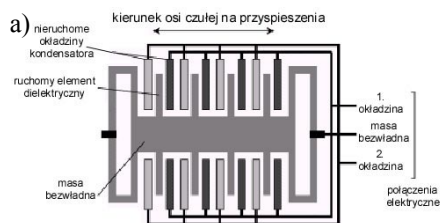
Celem badań było doświadczalne określenie przydatności czujników przyspieszeń do określania parametrów ruchu badanego obiektu na podstawie otrzymanych wyników. Wszystkie pomiary z wykorzystaniem czujników przyspieszeń były wykonane w trzech etapach:

- wyznaczanie stabilności wskazań,
- pomiary na wibratorze hydraulicznym,
- pomiary na siłowniku pneumatycznym o dużym skoku.

Uzyskane wyniki zawierają w sobie wpływ wszystkich cech i parametrów konstrukcyjnych urządzeń, na których wykonane były pomiary.

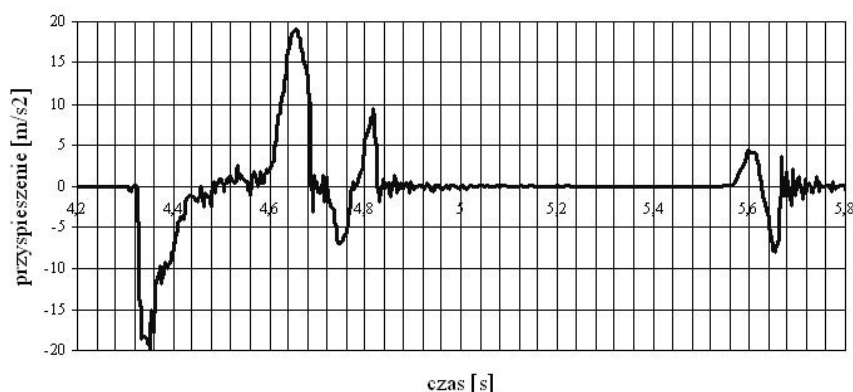
Badanie stabilności czujnika dla pomiarów statycznych wykazało, iż otrzymane wyniki są powtarzalne, a błąd wyznaczenia wartości średniej wskazań dla pomiarów jest mniejszy od czułości czujników.

Pomiary na wibratorze hydraulicznym wykonano dla zadanej drogi, którą był przebieg sinusoidalny o amplitudzie 20 mm i częstotliwości 5 Hz. Obliczone przebiegi z chwilowych przyspieszeń charakteryzo-

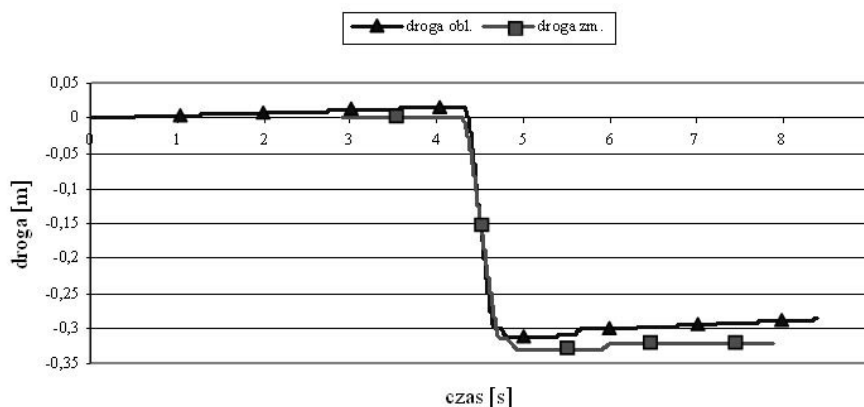


Rys. 2. Budowa wewnętrzna układu ADXL105: a) schemat struktury, b) zdjęcie struktury wykonane przy pomocy Elektronowego Mikroskopu Skaningowego [5]

Fig. 2. Structure of internal match ADXL105: a) scheme of structure, b) photo of structure with the aid of Scanning Electron Microscope [5]



Rys. 3. Wykres uzyskanego przyspieszenia
Fig. 3. Diagram of gotten acceleration



Rys. 4. Wykres przebytej drogi
Fig. 4. Diagram traveled distance

wały się taką samą częstotliwością przemieszczeń oraz amplitudą co wartości zadane.

Pomiary z wykorzystaniem siłownika pneumatycznego miały na celu określenie dokładności przyjętej metody wyznaczania przemieszczenia. Ruch siłownika odbywał się w poziomie, a oś czujnika przyspieszeń była ustawiona w kierunku działającego wymuszenia oraz prostopadle do działania siły grawitacyjnej ziemi.

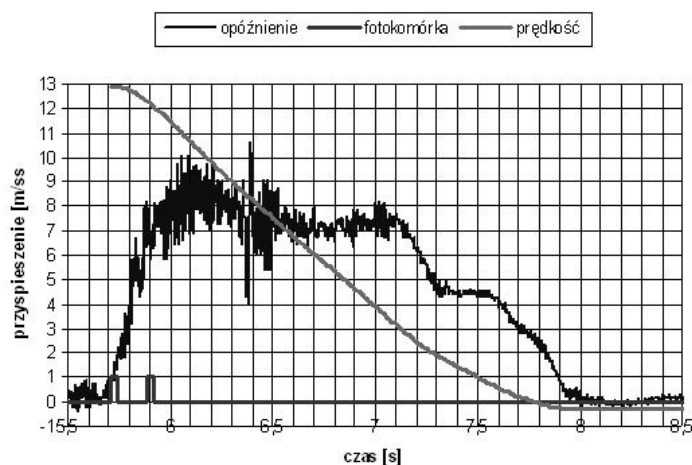
Na wykresach przedstawiono przyspieszenie oraz przebytą drogę. Na rysunku 4. uwidoczniła jest droga zarejestrowana przez sterownik urządzenia oraz wyliczona z otrzymanych przyspieszeń, jaką przebył siłownik. Widoczne różnice spowodowane są pozornym ruchem obiektu poprzez pojawienie się wskazań pomimo pomiarów statycznych, co związane jest z charakterystyką czujnika przyspieszeń i szumami generowanymi przez kartę A/C.

Dla przeprowadzonych pomiarów maksymalny błąd względny wyznaczenia przebytej drogi wyniósł 3,77%.

4. Badania drogowe

Celem badań drogowych była doświadczalna weryfikacja przyjętej metody przekształceń matematycznych i próba określenia błędów wskazań czujnika.

Na wykresie przedstawiony jest przykładowy przebieg opóźnienia oraz wyliczony przebieg prędkości podczas procesu hamowania. Wykorzystanie prędkości chwilowej jako stałej całkowania generuje błąd na końcu procesu wynikający z braku uwzględnienia zjawisk obrotu nadwozia w procesie hamowania. Sygnał z urządzenia fotooptycznego był punktem startowym do obliczeń przebytej przez pojazd drogi. Przebyta przez pojazd droga była mierzona od miejsca ustawienia urządzenia fotooptycznego do zatrzymania się pojazdu.



Rys. 5. Wykres procesu hamowania

Fig. 5. Diagram of breaking process

Duży błąd w obliczeniach wnosi składowa przyspieszenia ziemskiego, której wpływ jest związany z przechyłem bryły nadwozia pojazdu podczas hamowania. Istotność przechyłu i jego wpływ jest uwidoczniona na rysunku 1. oraz 5. gdzie obliczona prędkość pojazdu już przed zatrzymaniem ma wartość ujemną.

5. Analiza czynników wpływających na dokładność pomiaru

Znajomość dokładności pomiarowej czujników jest ważnym zagadnieniem pozwalającym wnioskować o prawidłowości przeprowadzonych prób pomiarowych. Źródłem błędów w pomiarach są:

- błędy związane z montażem powierzchniowym czujnika na płytce,
- błędy związane z wpływem temperatury,
- błędy z przetwarzaniem sygnału pomiarowego przez przetwornik A/C.

Błędy montażowe mają wpływ na ustawienie osi czujnika względem bazy odniesienia. Precyzyjne określenie położenia osi czujnika pozwala na jego prawidłowe ustawienie względem działającego wymuszenia. Wpływ temperatury na czułość wskazań czujnika z układem ADXL105 w warunkach pokojowych może wynieść do 0,5% [3].

Błędy przetwarzania sygnału przez przetwornik A/C jest bezpośrednio związane z typem zastosowanego przetwornika, jak również z:

- błędami próbkowania,
- błędami kwantowania,
- nieliniowością całkową,
- nieliniowością różnicową,
- błędem wzmocnienia,

- błędem przesunięcia zera,
- szumami.

W trakcie wyznaczania parametrów ruchu obiektu uwidoczniły się następujące błędy:

- błąd pomiarowy czujnika,
- błąd numeryczny przekształceń matematycznych,
- błąd ustawienia czujnika względem działającego wymuszenia.

Błąd pomiarowy czujnika nie da się jednoznacznie określić i nie jest wielkością stałą natomiast kolejne błędy można uwzględniać i wprowadzać korektę w uzyskanych wynikach. Całkowanie numeryczne jest obarczone błędem, który zależy od:

- stałej całkowania,
- przyjętej metody całkowania,
- wartości funkcji całkowanej w danym punkcie.

Niedokładność ustawienia osi czujnika w kierunku ruchu powoduje, iż uzyskane wartości przyspieszeń będą składowymi działającego wymuszenia. Pochylenie osi czujnika o 3° względem linii prostopadłej do linii pola grawitacyjnego powoduje pojawienie się stałego rejestrowanego sygnału, który wynosi około 0,5 m/s². Znajomość kąta pochylenia osi czujnika pozwala na wprowadzenie korekty wskazań i uzyskanie realnych wartości przyspieszeń.

Wadą tych czujników jest ograniczona dokładność do ±0,02m/s², która powoduje konieczność wprowadzania korekty wskazań ze względu na występowanie pozornych przemieszczeń badanego obiektu pomimo braku ruchu rys. 4. Czujnik jest wykorzystywany w chwili obecnej do pomiarów procesu przyspieszania i hamowania samochodu osobowego. Wymaga to jednak uwzględnienia wpływu sił grawitacji na

wyniki pomiarów. Związane to jest z dynamicznymi zmianami położenia nadwozia samochodu podczas jego ruchu. Podstawową trudnością z uwzględnieniem grawitacji jest określenie bieżącego nachylenia osi czujnika względem pola grawitacyjnego.

6. Podsumowanie

Znajomość uzyskiwanego przez pojazd przyspieszenia pozwala na wyznaczenie jego prędkości i przebytej drogi. Pomiar przyspieszeń, ze względu na przekształcenia jakim podlegają w procesie przetwarzania z postaci analogowej na cyfrową są obciążone błędami tych przekształceń.

7. Literatura

- [1] Accelerometers – przyspieszeniomierze, http://www.alfine.com.pl/analog/offer/s_adxl.htm.
- [2] Dąbrowski A. (red.): *Przetwarzanie sygnałów przy użyciu procesorów sygnałowych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2000.
- [3] Dokumentacja techniczna czujnika ADXL 105, firmy Analog Devices.
- [4] Fortuna Z., Macukow B., Wąsowski J.: *Metody numeryczne*, WNT, Warszawa 1993.
- [5] Graham B. B.: *Using an accelerometer sensor to measure human hand motion*. Massachusetts Institute of Technology, 2000
- [6] Pochyłomierz elektroniczny, *Elektronika Praktyczna*, 12/2000, str. 35-37
- [7] Ślaski G., Kupiec J., Waleriańczyk W.: *Badanie procesu hamowania – analiza różnych metod badawczych*, Materiały Konferencyjne: Konferencja Hamulcowa, 2001.

Przeprowadzone badania laboratoryjne z użyciem czujników przyspieszeń pozwoliły stwierdzić, iż występuje powtarzalność wskazań a dokładność pomiarowa pozwala określić parametry ruchu badanego obiektu.

Na podstawie badań drogowych procesu hamowania wykazano konieczność wprowadzenia korekty wskazań związanej z dynamicznym przechyłem bryły nadwozia. Czujniki przyspieszeń typu ADXL 105 ze względu na częstotliwość pomiarową pozwalają na dość dokładne odzwierciedlenie procesu hamowania, a w uzyskiwanych wynikach uwidacznia się faza początkowa i końcowa procesu.

Mgr inż. Konrad J. WALUŚ

*Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn
Politechnika Poznańska
ul. Piotrowo 3; 60-965 Poznań
tel. (061) 665 20 47; fax (061) 665 20 74
e-mail Konrad.Walus@put.poznan.pl*
