

ALEKSANDER KURANOWSKI*

**MIARODAJNOŚĆ OKREŚLENIA PRĘDKOŚCI
UDERZENIOWEJ NA PODSTAWIE WSKAZAŃ
POWYPADKOWO ZATRZYMANEGO PRĘDKOŚCIOMIERZA**

**RELIABLE DETERMINATION OF IMPACT VELOCITY
ON THE BASIS OF INDICATIONS
OF THE SPEEDOMETER STOPPED AFTER THE COLLISION**

Streszczenie

Zastosowanie elektrycznych silników krokowych jako napędu wskaźników prędkości jazdy daje możliwość miarodajnego określenia prędkości zderzeniowej. W artykule omówiono wyniki badań wykazujących nieczułość silników krokowych na przeciążenia wywołane symulowanym zderzeniem w kierunkach osi x i y pojazdu samochodowego.

Słowa kluczowe: wypadek drogowy, silnik krokowy, prędkość jazdy

Abstract

The application of step motors to driving speed indicators enables to determine reliably the impact speed. The paper presents the results of investigation showing the insensibility of stepper motors to overload caused by simulated collision in the x and y axes directions of the automotive vehicle.

Keywords: road accident, stepper motor, driving speed

*Dr inż. Aleksander Kuranowski, Instytut Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska; Instytut Ekspertyz Sądowych im. prof. dra Jana Sehna w Krakowie.

1. Zastosowanie silników krokowych jako wskaźników parametrów ruchu samochodu

W praktyce rekonstrukcji wypadków drogowych coraz większym problemem staje się ustalenie prędkości przedwypadkowej i wypadkowej pojazdu samochodowego. Problem pogłębia się z tego względu, że wyposażanie pojazdów samochodowych w systemy ABS wyklucza ustalenie prędkości na podstawie długości śladów hamowania. Klejone szyby przednie i wykonane z tworzywa klosze reflektorów nie pozwalają na ustalenie prędkości w oparciu o rozrzut odłamków szkła szyby lub reflektora. Wątpliwości budzą także niektóre informacje zawarte w katalogach EES, w których zestawiono uszkodzone pojazdy, podając tzw. ekwiwalentną prędkość zderzeniową (EES).

W ostatnich 15 latach wprowadzono nową technikę pomiaru prędkości jazdy i prędkości obrotowej silnika spalinowego, w której zastosowano zminiaturyzowane elektryczne silniki krokowe (skokowe). Zasada pracy silników krokowych opisana została np. w [1]. Stosowane silniki krokowe są z reguły z wirnikami czynnymi w formie magnesów stałych z biegunami niewydatnymi dwustrumeniowymi. Silniki te charakteryzują się dużym momentem obrotowym, krótkim czasem rozruchu, znacznym momentem stabilizacyjnym działającym w stanie bezprądowym uzwojeń.

W miernikach wskazówkowych o ustroju magnetoelektrycznym lub elektromagnetycznym moment zwrotny zapewniała sprężyna. Sprężynę stosowano także w ilorazowych (logometrycznych) odmianach tych mierników po to tylko, by po wyłączeniu napięcia wskazówka pozostawała w naturalnej pozycji zerowej. Wywołany sprężyną moment zwrotny wykluczał miarodajność wskazań tych mierników w beznapięciowym stanie powypadkowym. W silnikach krokowych wskazówki nie są osadzone bezpośrednio na wale silnika. Wał wskazówek poprzedzony jest trzystopniową przekładnią zwalniającą. Przykładowo, w prędkościomierzach większości samochodów firmy VW wartości przełożeń przekładni zwalniającej wynoszą 25:7, 30:9, 30:7, co efektywnie daje przełożenie 51. Skutkiem tego nawet niewielki moment bezwładności czynnego wirnika prędkościomierza sprowadzony na oś obrotu wskazówki zwiększa się $251^2 = 2601$ razy. Jest to duża zaleta niwelująca niewyważenie statyczne wskazówki.

W silnikach krokowych nie ma momentu zwrotnego, a napięciowe wysterowania silnika sprawiają, że przy braku napięcia silnik zatrzymuje się w tej pozycji, jaką miał w chwili zaniku napięcia. Umieszczona sprężyna włosowa ma za zadanie skasowanie luzu międzyzębnego. W wypadku drogowym, w którym dochodzi do destrukcji nadwozia, często w chwili uderzenia zanika napięcie wskutek zniszczeń w instalacji elektrycznej bądź z działania wypadkowego odłącznika prądu, a wskaźniki pozostają w określonych pozycjach. Pojawia się pytanie – czy miejsce zatrzymania wskazówki krokowego silnika prędkościomierza może być traktowane jako miarodajne określenie prędkości zderzeniowej?

Skontrolowanie miarodajności wskazania przez wypadkowo unieruchomiony prędkościomierz wymaga sprawdzenia następujących parametrów:

1. Stałej czasowej, tj. sprawdzenie, czy silnik krokowy nadąża za zmniejszaniem się prędkości wskutek intensywnego hamowania przedwypadkowego (hamowanie hamulcami)?
2. Czy zatrzymanie silnika krokowego następuje w chwili zaniku sygnału dochodzącego z czujnika prędkości, czy w wyniku zaniku zasilania sterownika umieszczonego w obudowie silnika?

3. Podatności silnika krokowego na opóźnienie zderzeniowe przy zderzeniach czołowych i bocznych samochodu.

Badaniom stanowiskowym poddano zestawy wskaźników montowanych w samochodach firmy VW. Stanowisko pozwalało na potencjometryczne zmiany symulowanej prędkości jazdy w zakresie 0–160 km/h i symulowane zmiany prędkości obrotowej silnika spalinowego napędu głównego w zakresie 0–6 000 obr./min. Wykorzystano oryginalne przetworniki prędkości jazdy i prędkości obrotowej silnika spalinowego (rys. 1 i 2).

Z rekonstrukcyjnego punktu widzenia istotne było sprawdzenie, czy silniki krokowe obrotomierza i prędkościomierza nadążają za zmianami wymuszenia – prędkością obrotową i prędkością jazdy. Problem ten wynika z bezwładności wału silnika. Wskazówki nasadzone na wałach silników krokowych są wprawdzie bardzo lekkie, ale nie są wyważane statycznie.



Rys. 1. Stanowisko pomiarowe służące do badania zestawu wskaźników.
Widok ogólny

Fig. 1. Measuring stand for testing a set of indicators. General View

a)



b)



Rys. 2. Stanowisko pomiarowe służące do badania zestawu wskaźników:
a) napęd obrotomierza, b) napęd prędkościomierza

Fig. 2. Measuring stand for testing a set of indicators: a) drive of revolution counter, b) drive of speed indicator

Badania stanowiskowe wykazały, że nagle mechaniczne unieruchomienie silnika wywołuje zmianę wskazań obrotomierza z opóźnieniem kątowym ok. 1000 rad/s². Zadowalająco duża jest czułość pomiaru, większa od technicznych możliwości zmian prędkości obrotowej silnika spalinowego. W przypadku prędkościomierza wskazania prędkości nadążają w czasie naturalnym nawet przy opóźnieniu hamowania na poziomie 40 m/s². Wskazania prędkości występują więc zadawalająco szybko, nadążając za zmianami prędkości znacznie szybciej niż możliwe zmiany prędkości wynikające z przyspieszania lub hamowania pojazdu.

Do oceny miarodajności odczytu prędkości zderzeniowej konieczne było sprawdzenie, czy silnik krokowy zatrzymuje się w takim położeniu, jakie zajmował w chwili zaniku sygnału. Badania przeprowadzono dla dwóch sytuacji:

- przzerwania sygnału z czujnika prędkości, a w przypadku obrotomierza z czujnika prędkości obrotowej silnika krokowego,
- przzerwania zasilania zestawu wskaźników.

Okazuje się, że nagle przerwanie sygnału sterującego silnik krokowy wywołuje powrót wskazówek do położenia zerowego w tempie stosunkowo małym, bo ok. 2 rad/s. Okazuje się także, że przerwanie zasilania przez rozłączenie przewodów „+”, „-”, przy zachowanym sygnale sterującym, jak również przy sygnale sterującym przerywanym, wywołuje trwałe unieruchomienie wskazówek silników krokowych obrotomierza i prędkościomierza. Jeśli rozłączenie zasilania następuje stacjką, a więc nie ma charakteru wypadkowego, wówczas silnik krokowy przez ok. 5 s po rozłączeniu zostaje w stanie zasilania, chociaż w pozycji zerowej, i dopiero po tym czasie zasilanie jest automatycznie wyłączane. Bywa, że w chwili rozłączenia obserwować można minimalne zadrganie wskazówki. Jeśli silnikami krokowymi napędzane są wskaźnik poziomu paliwa i wskaźnik temperatury cieczy chłodzącej silnik – a takie są rozwiązania we współczesnych samochodach – to wówczas i te silniki zostają trwale unieruchomione na ostatnim wskazaniu.

Przeprowadzono próbę stanowiskowego ustalenia, w jakiej pozycji zatrzymają się wskazówki obrotomierza i prędkościomierza, jeśli po ok. 0,5 s zwłóce w przerwie sygnału sterującego z czujników rozłączone zostanie zasilanie. Okazuje się, że wskazówki zatrzymują się w takim miejscu, w jakim „zostało je” rozłączenie napięcia zasilającego – a więc między pozycją wskazywaną przy sprawnym układzie a zerem. W takim przypadku wskazania prędkości i liczby obrotów na minutę nie byłyby miarodajne, a jedynie wiadomo byłoby, że prędkość była nie mniejsza od wskazywanej przez unieruchomiony prędkościomierz. Prędkość szacowana była od dołu.

2. Momenty rozruchowe i hamujące rozwijane przez silniki krokowe prędkościomierza i obrotomierza

Analityczne ustalenie wartości momentów rozruchowych i hamujących przedstawiono w [1]. Dla potrzeb rekonstrukcji wypadków badania stanowiskowe dotyczyły dwóch stanów pracy:

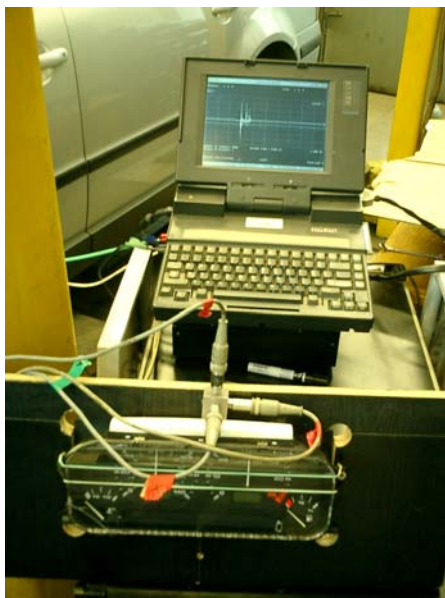
- silnika krokowego zasilanego, tj. mierzącego prędkość obrotową lub liczbę obrotów na minutę,
- silnika krokowego bez napięcia zasilającego.

Moment napędowy prędkościomierza wynosił ok. $8 \cdot 10^{-2}$ Nm. Jak można było oczekiwać – nie zależał od wartości mierzonej. Wszystkie pozostałe silniki krokowe: obrotomierza, wskaźnika poziomu paliwa i temperatury wody chłodzącej wykazywały podobne wartości momentów napędowych.

Moment silnika krokowego niezasilanego (moment hamujący) wynikający z oddziaływania magnesów stałych na uzwojenia strumieniowe wynosił ok. $0,15 \cdot 10^{-2}$ Nm i również nie zależał od położenia wskazówki. Rozwijane stosunkowo duże momenty, tak napędowe, jak i hamujące, mierzone na osi obrotu wskazówki, dowodzą dużej odporności na czynniki zewnętrzne – w tym na drgania przenoszone na nadwozie podczas normalnej eksploatacji. Pozytywną rolę odgrywa wynikające z przełożenia zwiększenie momentu bezwładności wału silnika krokowego sprowadzonego na oś obrotu wskazówki.

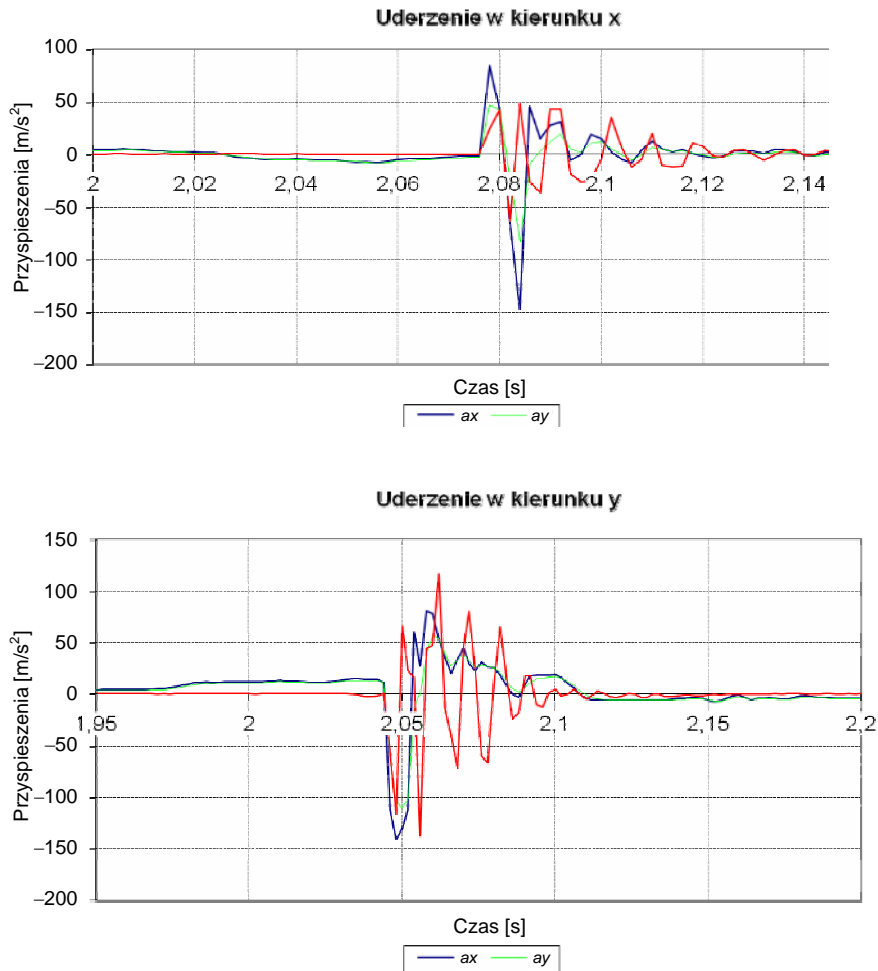
3. Sprawdzenie możliwości przestawienia wskazań licznika prędkości i obrotomierza wskutek przyspieszeń działających w chwili wypadku drogowego

W celu sprawdzenia, czy uderzenie pojazdu samochodowego w przeszkodę może wywołać samoistne przestawienie wskazań, przeprowadzono następujące badania. Wywołano opóźnienia do 15 g odpowiadające np. czołowemu uderzeniu samochodu osobowego z prędkością 50 km/h w pionową, nieodkształcalną ścianę. Licznik z zamontowanymi czujnikami przyspieszeń w kierunku osi x , y , z pokazano na rys. 3. Wykresy opóźnień działających na zestaw wskaźników samochodu VW Polo pokazano na rys. 4.



Rys. 3. Licznik przygotowany do prób uderzeniowych. Widoczne czujniki przyspieszeń w układzie współrzędnych x , y , z

Fig. 3. The counter prepared for impact tests. View of acceleration sensors in x , y , z coordinate system



Rys. 4. Przyspieszenia podłużne i poprzeczne działające na zestaw wskaźników samochodu VW Polo

Fig. 4. Longitudinal and lateral accelerations acting on a set of indicators in the VW Polo vehicle

Okazuje się, że mimo ukierunkowanych uderzeń wskazania nie ulegały zmianom i prawidłowość ta wystąpiła w przypadku obrotomierza i prędkościomierza dla obu zwrotów kierunku działania sił. Wy tłumaczeniem tego faktu jest niewielki moment bezwładności wskaźówki przy równocześnie dużym i zwiększającym przełożeniem momencie hamującym silników krokowych. Kolidzja nie wywołuje zmiany wskazań liczników. Jest to duża zaleta silników krokowych, pozwalająca na wykorzystanie ich wskazań w praktyce rekonstrukcyjnej.

4. Wnioski

Odczyt z zatrzymanego w wyniku zderzenia licznika prędkości zbudowanego na bazie elektrycznego silnika krokowego z dużym prawdopodobieństwem w sposób miarodajny wskazuje prędkość zbliżoną lub niewiele mniejszą od prędkości zderzeniowej. Miarodajność ustaleń wzrasta, jeśli obrotomierz i wskaźniki poziomu paliwa i temperatury cieczy chłodzącej, zbudowane również na bazie silników krokowych, wskazują realne wartości rzeczywiste (mierzone) występujące w chwili zderzenia, tj. rzeczywisty poziom paliwa i rzeczywistą temperaturę cieczy chłodzącej. Jeśli wskaźniki poziomu paliwa i temperatury cieczy mają ustrój mierników elektromagnetycznych ilorazowych ze sztucznie wprowadzoną sprężyną zwrotną, ich wskazania z naturalnych względów będą wynosiły zero. W takim przypadku weryfikacja wskazań prędkościomierza przez wskazania pozostałych mierników nie jest możliwa.

Literatura

- [1] Wróbel T., *Silniki skokowe*, Warszawa 1993.
- [2] *Vademecum biegłego sądowego*, rozdz.: *Stany awaryjne hydraulicznych mechanizmów wspomagających kierownice, Stany awaryjne pneumatycznych mechanizmów wspomagających hamulce*, praca zbiorowa, Wyd. IES, Kraków 2006.