

PROBLEMY Z EKSPLOATACJĄ CZUJNIKÓW PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ STOSOWANYMI W POJAZDACH SAMOCHODOWYCH

Sebastian Styła

Katedra Inżynierii Komputerowej i Elektrycznej, Politechnika Lubelska
20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 38a; e-mail: s.styla@pollub.pl

Streszczenie. W artykule omówiono rodzaje czujników prędkości obrotowej stosowanych w nowoczesnych samochodach. Przedstawiono ich rolę i wpływ na układy sterowania odpowiedzialne za komfort i bezpieczeństwo podróżowania, takie jak: układ przeciwblokowania kół ABS czy układ sterowania pracą silnika. Ponadto zaprezentowano badania dotyczące wpływu zmian podstawowych parametrów pracy czujników na ich sygnały wyjściowe. Dzięki temu było możliwe dokonanie analizy dotyczącej konieczności zastosowania danego rozwiązania konstrukcyjnego. W badaniach wykorzystano czujniki indukcyjne i hallotronowe.

Słowa kluczowe: efekt Halla, czujnik reluktancyjny, czujnik Halla, generowane napięcie, wał korbowy, ABS.

1. WSTĘP

Współczesne pojazdy samochodowe mają coraz więcej układów sterowania i automatycznej regulacji, które są odpowiedzialne za bezpieczeństwo podróżowania oraz wpływają na zmniejszenie emisji spalin. Do poprawnej pracy obwodów, takich jak: układ wtryskowy, układ zapłonowy, układ antypoślizgowy ABS, sterownik „potrzebuje” dużej ilości informacji. W pojazdach taką rolę, dostarczenia danych o układzie sterowanym, pełnią czujniki nazywane sensorami. W większości przypadków zamieniają one wielkości nieelektryczne (prędkość obrotowa, kąt obrotu, długość, itp.) na sygnał elektryczny (natężenie prądu, napięcie, częstotliwość, przesunięcie fazowe, itp.). Daje to możliwość łatwego wzmocnienia, przesłania oraz obróbki i analizy sygnału.

Możemy rozróżnić dwie grupy czujników: parametryczne i generacyjne [8]. Pierwsze z nich działają na zasadzie zmiany sygnału elektrycznego pod wpływem mierzonej wielkości, natomiast czujniki generacyjne przetwarzają energię wielkości mierzonej na energię elektryczną. Wybór odpowiedniej metody pomiaru zależy od wymagań stawianych przez układ sterowania oraz miejsca, w którym sensor ma pracować.

Mimo dużej ilości czujników stosowanych we współczesnych pojazdach ich rola cały czas rośnie. Powstają nowe konstrukcje i rozwiązania, które muszą sprostać wymaganiom, do których należą m. in. [1, 4, 5, 19, 20]:

- duża dokładność,
- duża czułość,

- trwałość,
- niezawodność,
- małe wymiary,
- brak wpływu warunków zewnętrznych na pracę (zakłóceń, warunków atmosferycznych, czynników chemicznych, itp.).

W celu poprawnej i niezawodnej pracy czujniki potrzebują odpowiednich układów przetwarzania sygnału, do których należą: przetworniki formatujące impulsy oraz przetworniki analogowo – cyfrowe specjalnie dobrane dla danego sensora. Równocześnie ważna jest sama jakość sygnału wyjściowego czujnika. Z tego też względu, w branży motoryzacyjnej stosuje się na szeroką skalę zjawiska indukcji magnetycznej i Halla, które znalazły zastosowanie w układach pomiarowych [3, 6, 7, 9, 17, 18]:

- prędkości obrotowej silnika,
- prędkości obrotowej kół,
- położenia wału korbowego,
- wzniosu iglicy wtryskiwaczy,
- przyspieszeń pojazdu,
- kąta obrotu kierownicy, itp.

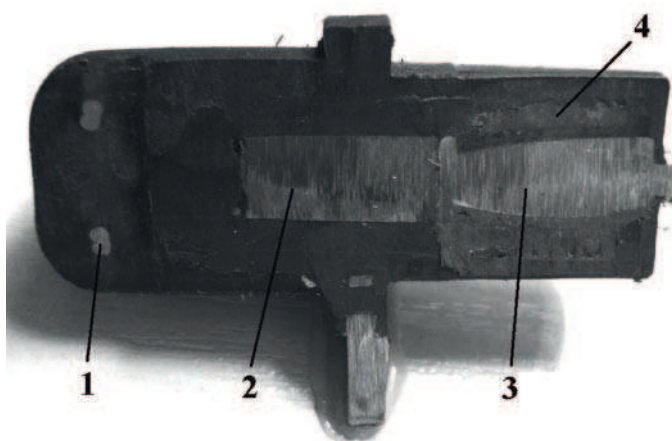
2. BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA WYBRANYCH CZUJNIKÓW

Do poprawnej pracy układów wtryskowych, zapłonowych [11, 12, 16, 17, 18] czy układów przeciwdziałających blokowaniu kół ABS [2, 5] potrzebne jest dostarczenie informacji o prędkości obrotowej danego elementu. Pomiaru tych wielkości dokonuje się za pomocą sensorów, których sygnałem wyjściowym jest napięcie o odpowiedniej częstotliwości i amplitudzie. Wszelkie niesprawności, mogą przyczynić się do niebezpieczeństwa na drodze, dlatego ważnym aspektem jest ich niezawodność oraz odpowiednio wcześnie wykryte uszkodzenia przy zastosowaniu możliwie „najlepszej” metody [10, 13, 14, 15].

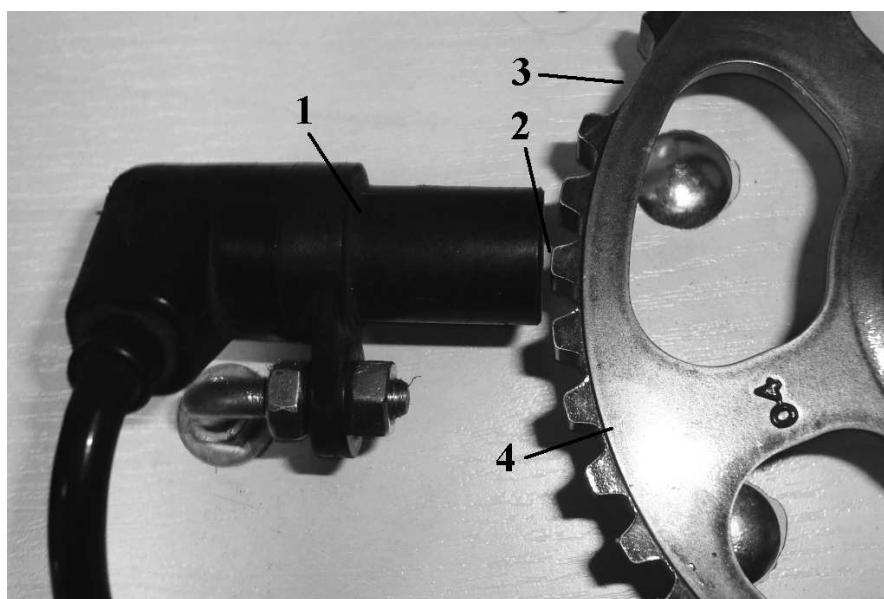
2.1. Czujniki reluktancyjne

Są to najczęściej stosowane czujniki w układach sterowania współczesnymi silnikami. Służą do pomiaru m. in. prędkości obrotowej oraz położenia wału korbowego, a także wykorzystywane są w układach ABS, ASR i ESP. Czujniki reluktancyjne różnią się między sobą typem, konstrukcją, kształtem oraz generowanym sygnałem. Mimo tego, wszystkie działają na zasadzie indukowania napięcia pod wpływem zmiennego pola magnetycznego. Z tego też względu nazywane są często czujnikami magnetoindukcyjnymi.

Na rysunku 1 przedstawiono budowę wewnętrzną czujnika reluktancyjnego, natomiast rysunek 2 pokazuje jego zasadę działania.



Rys. 1. Przekrój czujnika reluktancyjnego
1-wyprowadzenia cewki, 2-magnes trwały, 3-trzpień biegunowy, 4-cewka indukcyjna
Fig. 1. Cross – section of reluctance sensor
1-output coil, 2-permanent magnet, 3-spindle pole, 4-coil



Rys. 2. Reluktancyjny czujnik prędkości obrotowej – zasada działania
1-czujnik, 2-szczelina powietrzna, 3-znacznik koła, 4-koło impulsowe
Fig. 2. Reluctance rotational speed sensor - operation principle
1-sensor, 2-air gap, 3-marker round, 4-pulse round

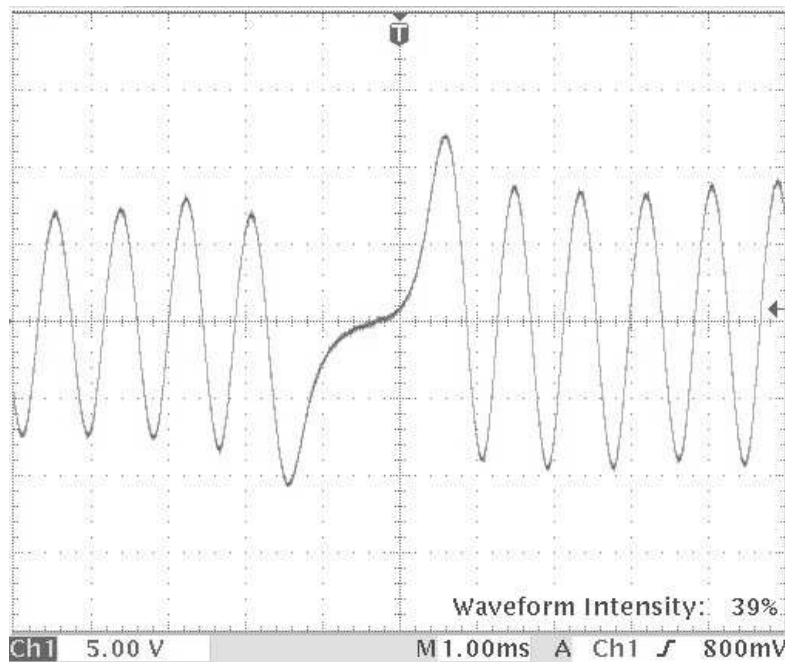
Strumień magnetyczny wytworzony przez magnes trwały zamyka się w rdzeniu z materiału miękkiego (trzępien biegunowy) i trafia na ząb lub szczelinę na kole impulsowym. To powoduje zmianę strumienia, pod wpływem którego indukuje się w cewce siła elektromotoryczna zgodnie z zależnością:

$$e_{ind} = -z \cdot \frac{d\phi}{dt}, \quad (1)$$

gdzie: z – liczba zwojów cewki,

$\frac{d\phi}{dt}$ – pochodna strumienia magnetycznego Φ względem czasu t .

Przebieg sygnału wyjściowego z czujnika zależy od jego konstrukcji, a także od kształtu i ilości zębów na kole. W przypadku pomiaru prędkości obrotowej jest to przebieg sinusoidalny (rys. 3), którego częstotliwość jest ściśle powiązana z prędkością obrotową. Widoczna na rysunku przerwa (znak odniesienia - brak jednego lub dwóch zębów na kole impulsowym) służy do określenia położenia wału korbowego. Ma to na celu zsynchronizowanie czasu wtrysku i zapłonu mieszanki paliwowo-powietrznej (wywołanie odpowiednich procedur sterowania).



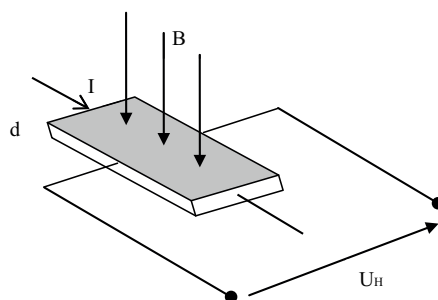
Rys. 3. Oscylogram prędkości obrotowej – czujnik reluktancyjny

Fig. 3. Oscillogram of speed (RPM) - reluctance sensor

2.2. Czujniki Halla

Czujniki hallotronowe (aktywne) coraz częściej zastępują indukcyjne (bierne) ze względu na szereg korzyści. Często są one nazywane „inteligentnymi” lub „zintegrowanymi” ponieważ zawierają w sobie zarówno część pomiarową, jak i przetwarzającą sygnały. Czujniki Halla są to elementy półprzewodnikowe wykorzystujące zjawisko, które polega na powstawaniu napięcia na brzegach

płytki (przez którą płynie prąd) umieszczonej w polu magnetycznym (rys. 4). Charakterystyczną cechą jest potrzeba doprowadzenia napięcia zasilającego czujnik w celu jego poprawnej pracy.



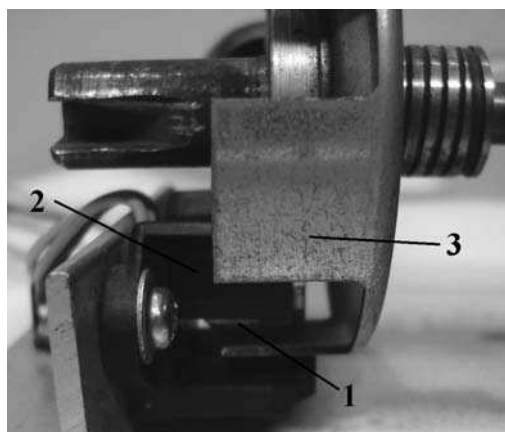
Rys. 4. Efekt Halla
Fig. 4. Hall effect

Napięcie Halla zależy od wartości prądu sterującego oraz indukcji magnetycznej:

$$U_H = \frac{R_H}{d} \cdot I \cdot B, \quad (2)$$

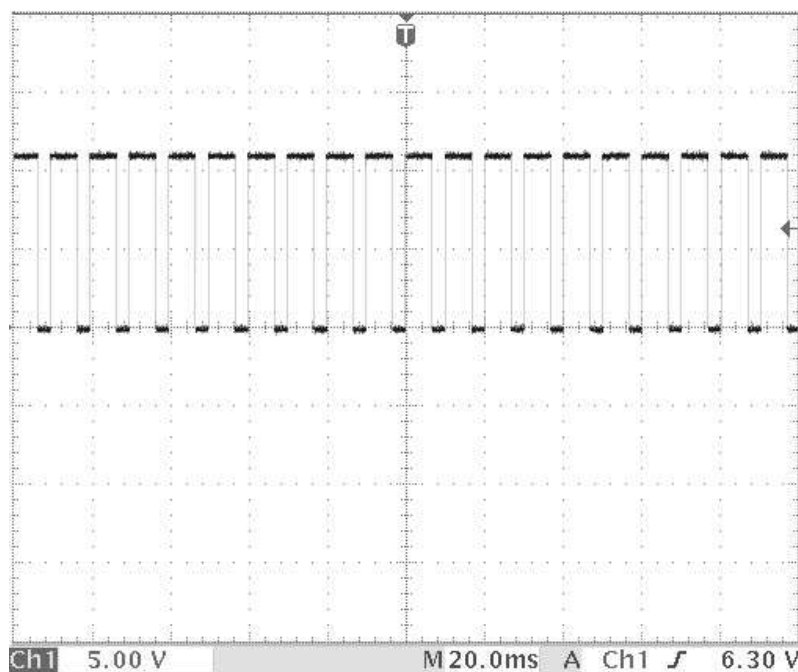
gdzie: R_H – stała Halla,
 d – grubość płytki,
 I – natężenie prądu sterującego,
 B – indukcja magnetyczna.

Czujniki hallotronowe szczególne zastosowanie znalazły w układach do pomiaru prędkości obrotowej kół, rzadziej silnika (rys. 5). W układach ABS, ze względu na łatwość zabudowy (w łożysku koła) i większą niezawodność, wyparły sensory indukcyjne.



Rys. 5. Hallotronowy czujnik prędkości obrotowej – zasada działania
 1-magnes trwały, 2-czujnik, 3-koło ferromagnetyczne
 Fig. 5. Hall – effect based rotational speed sensor - operation principle
 1-permanent magnet, 2-sensor, 3-ferromagnetic round

Sygnal wyjściowy czujników Halla (rys. 6) daje możliwość łatwej analizy i przetwarzania. Jego amplituda, w przeciwieństwie do sensorów indukcyjnych, nie zależy od prędkości obrotowej. Dzięki temu możliwa jest łatwiejsza diagnostyka tych czujników.

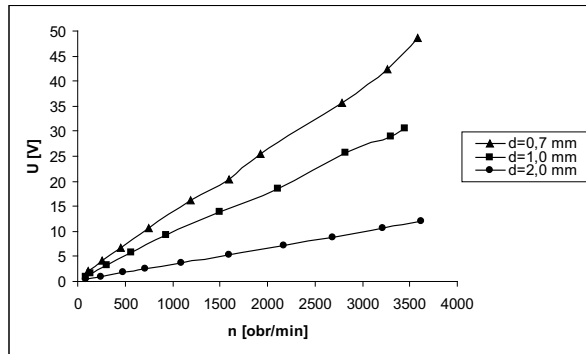


Rys. 6. Oscylogram prędkości obrotowej – czujnik Halla
Fig. 6. Oscillogram of speed (RPM) - Hall – effect based sensor

3. ANALIZA PARAMETRÓW PRACY CZUJNIKÓW

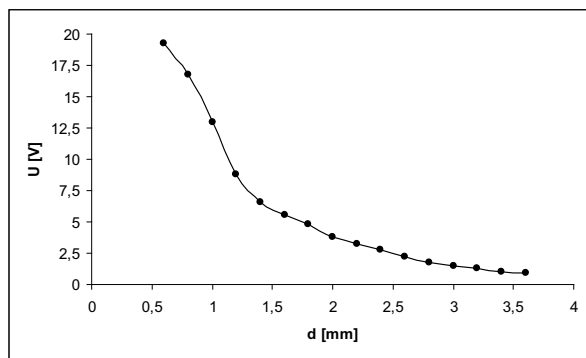
W badaniach wykorzystano dwa czujniki prędkości obrotowej silnika: reluktancyjny palcowy oraz hallotronowy. Porównano ich parametry pracy i wpływ zmian na sygnały wyjściowe doprowadzane do układu sterowania. Zmiana odległości (wielkość szczeliny powietrznej) czujnika od koła impulsowego, napięcie zasilania (czujnik Halla) lub temperatura pracy może spowodować niepoprawną interpretację przez sterownik doprowadzonego sygnału. Mogłoby to uruchomić procedury awaryjne wprowadzone do pamięci mikrokontrolera odpowiedzialnego za dobór odpowiednich wartości czasu wtrysku oraz kąta wyprzedzenia zapłonu przewidzianych dla danej marki pojazdu.

Wpływ zmian parametrów pracy na wartość sygnału wyjściowego czujników przedstawiono na poniższych charakterystykach (rys. 7, 8, 9).



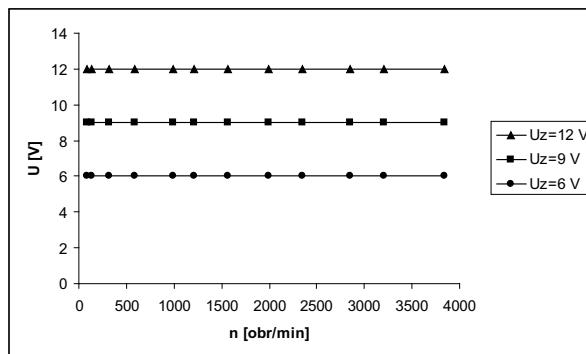
Rys. 7. Zależność napięcia wyjściowego czujnika indukcyjnego od prędkości obrotowej dla różnych szczelin

Fig. 7. Output voltage of induction sensor vs. rotational speed for various values of the clearance



Rys. 8. Zależność napięcia wyjściowego czujnika indukcyjnego od szerokości szczeliny, n=1000 obr/min

Fig. 8. Output voltage of induction sensor vs. clearance size, n=1000 rpm



Rys. 9. Zależność napięcia wyjściowego czujnika Halla od prędkości obrotowej dla różnych napięć zasilających czujnik

Fig. 9. Output voltage of Hall – effect based sensor vs. rotational speed for various values of the sensor supply voltage

4. PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonych badań wynika kilka właściwości czujników indukcyjnych (reluktancyjnych) i hallotronowych. W obu przypadkach częstotliwość sygnału ściśle odwzorowuje prędkość obrotową.

Amplituda sygnału w czujnikach reluktancyjnych zależy od prędkości obrotowej. Jest to zjawisko niekorzystne ze względu na problemy z przetwarzaniem sygnału w sterowniku (szczególnie przy dużych prędkościach obrotowych, gdzie napięcie szczytowe może wynosić nawet 100 V). Ponadto na te sensory duży wpływ ma szerokość szczeliny powietrznej. Wraz z jej zwiększeniem maleje amplituda sygnału wyjściowego, co przy nieprawidłowym umocowaniu czujnika lub niesymetrycznym kole impulsowym, może niekorzystnie wpływać na układ sterowania. W branży motoryzacyjnej przyjmuje się wartości szczeliny w granicach 0,8 – 1,5 mm. Ponadto przy małych prędkościach obrotowych sygnał wyjściowy czujnika reluktancyjnego zanika.

Czujniki aktywne (hallotronowe) są pozbawione w/w wad. Zwiększenie prędkości obrotowej powoduje zmianę częstotliwości, natomiast amplituda przyjmuje stałą wartość (zależy ona przede wszystkim od wartości napięcia zasilania czujnika). Szeroki zakres zmian napięcia zasilania (4 – 18 V) sprawia, że sensory te są bardziej niezawodne. Ze względu na kształt sygnału (prostokątny) jest on łatwy do analizy i przetworzenia w sterowniku.

Jedną z wad czujników hallotronowych jest wpływ temperatury na wartość amplitudy. Obecnie zastosowanie układów różnicowych, powoduje kompensację tych zmian.

Ze względu na wiele korzyści czujników aktywnych (Halla) zyskują one coraz większą popularność i są częściej stosowane w pojazdach samochodowych. Wynikiem tego jest zastępowanie nimi sensorów indukcyjnych.

5. PIŚMIENNICTWO

1. Bosch, Informator techniczny: Czujniki w pojazdach samochodowych, WKŁ, Warszawa, 2002.
2. Bosch, Informator techniczny: Konwencjonalne i elektroniczne układy hamulcowe, WKŁ, Warszawa, 2006.
3. Bosch, Informator techniczny: Sterowanie silników o zapłonie iskrowym. Zasada działania. Podzespoły, WKŁ, Warszawa, 2002.
4. Dziubiński M., Ocioszyński J., Walusiak S.: Elektrotechnika i elektronika samochodowa, WU Politechniki Lubelskiej, Lublin, 1999.
5. Dziubiński M.: Elektroniczne układy pojazdów samochodowych, Wydawnictwo Naukowe Gabriel Borowski, Lublin, 2004.
6. Gajek A., Juda Z.: Mechatronika samochodowa, Czujniki, WKŁ, Warszawa, 2008.
7. Herner A., Riehl H. J.: Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych, WKŁ, Warszawa, 2009.
8. Piotrowski J.: Pomiary. Czujniki i metody pomiarowe wybranych wielkości fizycznych i składu chemicznego, WNT, Warszawa, 2009.
9. Rudak Z.: Czujnik położenia wału korbowego, Auto Moto Serwis nr. 9/2008.
10. Sitek K.: Diagnostowanie układów hamulcowych, Poradnik Serwisowy 4/2008.
11. Styła S., Walusiak S., Pietrzyk W.: Wykorzystanie pakietu LabView w procesie projektowania sterownika silnika spalinowego. XIII Konferencja pod patronatem Komitetu Elektrotechniki PAN i Institute of Electrical and Electronics Engineers "Zastosowania Komputerów w Elektrotechnice'2008", Materiały, Poznań, 2008, s. 193-194.

12. Styła S., Walusiak S., Pietrzyk W.: Computer simulation possibilities in modeling of ignition advance angle control in motor and agricultural vehicles, TEKA Komisji Motoryzacyjnej i Energetyki Rolnictwa PAN o/Lublin, tom VIII '2008, s. 231-240.
13. Trzeciak K.: Diagnostyka samochodów osobowych, WKŁ, Warszawa, 2002.
14. Tylicki H., Wilczarska J., Bartol M.: Metodyka diagnozowania stanu maszyn, MOTROL: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa PAN o/Lublin, tom 8, 2006, s. 230–239.
15. Walusiak S., Pietrzyk W., Sumorek A.: Ocena diagnostyczna stanu technicznego pojazdów samochodowych w wybranej stacji diagnostycznej, MOTROL: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa PAN o/Lublin, tom 5, 2003, s. 219-226.
16. Walusiak S., Podleśny M., Pietrzyk W.: Microprocessor model to control ZI motors, TEKA Komisji Motoryzacyjnej i Energetyki Rolnictwa PAN o/Lublin, Tom VI A '2006, s. 199-206.
17. Wendeker M.: Sterowanie wtryskiem benzyny w silniku samochodowym, LTNPL, Lublin, 1999.
18. Wendeker M.: Sterowanie zapłonem w silniku samochodowym, LTNPL, Lublin, 1999.
19. PN-85/S-76001 – „Pojazdy silnikowe -- Wyposażenie elektryczne -- Ogólne wymagania i badania”.
20. PN-IEC 60747-14-1:2003 – „Przyrządy półprzewodnikowe -- Część 14-1: Czujniki półprzewodnikowe -- Postanowienia ogólne i klasyfikacja”.

PROBLEMS WITH THE OPERATION OF ROTATIONAL SPEED SENSORS USED IN MOTOR VEHICLES

Summary. The types of engine speed sensors used in modern motor vehicles have been discussed in the present study. Their role and the influence on the systems responsible for the travel comfort and safety i.e.: Anti-Lock Braking System (ABS) or engine operation control system as well as the tests concerning the impact of the basic operation parameters of the sensors on their output signals have also been presented. Therefore it was possible to perform the analysis of necessity of use of certain design solution. The induction and Hall – effect based sensors have been used in the tests.

Key words: Hall effect, reluctance sensor, Hall – effect based sensor, generated voltage, crankshaft, ABS.