

Rafał Setlak, Maciej Krzyszkowski  
Politechnika Śląska, Gliwice

## ELEKTRYCZNY HAMULEC POSTOJOWY HILL HOLDER W SAMOCHODZIE OSOBOWYM

### ELECTRIC PARKING BRAKE HILL-HOLDER IN PASSENGER CAR

**Abstract:** The paper describes design and build the model of the Electric Parking Brake in automobiles. The Microprocessor Control System of the Hill-Holder brake shall be equipped with self-locking feature when it detects a vehicle stop and tilt (front of the car is higher than the rear). The system should automatically let go of the brake when starting the vehicle, and should provide an opportunity for traditional, hand-brake control of the rear axle. The system is designed to enable the driver on a hill to start without a risk of rolling back.

This article consists of two parts, the first one describes the theoretical behavior of the selected vehicle during braking or starting on a hill, and the concept of integration of the Hill-Holder and ABS in the Fiat Panda. Implementation of the Hill-Holder system with the ABS controller of the Fiat Panda may be a cheaper alternative to the Hill Holder system of the Fiat Group combined with the ASR,

The practical section consists of design and build of the microprocessor Hill-Holder system for automobiles; the driver consists of typical wheel speed sensor to inform the driver about actual speed, typical throttle position sensor or the accelerator position sensor so the driver could read car driver's intentions and let go of the brake in the right time, inclination sensor of the vehicle body (MEMSIC's MXD2020ML) to define if the actual inclination requires the Hill-Holder brake to be activated, additional signals from the ignition switch and brake light switch, executive motor with permanent magnets and planetary transmission, measuring systems to control if the system is working properly. Ddriver system based on ATMEL's microcontroller ATmega8.

#### 1. Wstęp

Aby unieruchomić pojazd stojący na równi pochyłej należy wytworzyć siłę hamującą, która zrównoważy składową siłę ciężkości  $Q_{\sin\alpha}$ . Jeżeli hamulec wytworzy siłę mniejszą od wymaganej pojazd zacznie się powoli staczać. Układ Hill-Holder umożliwia kierowcy utrzymanie zahamowanego na wzniesieniu bez zagrożenia stoczenia się do tyłu. Układ taki powinien posiadać funkcję samoczynnego blokowania hamulców po wykryciu zatrzymania i nachylenia pojazdu (przód samochodu znajduje się wyżej niż tył). Układ powinien samoczynnie odpuszczać hamulec podczas ruszania pojazdu.

#### 2. Ruch pojazdu na wzniesieniu oraz proces hamowania

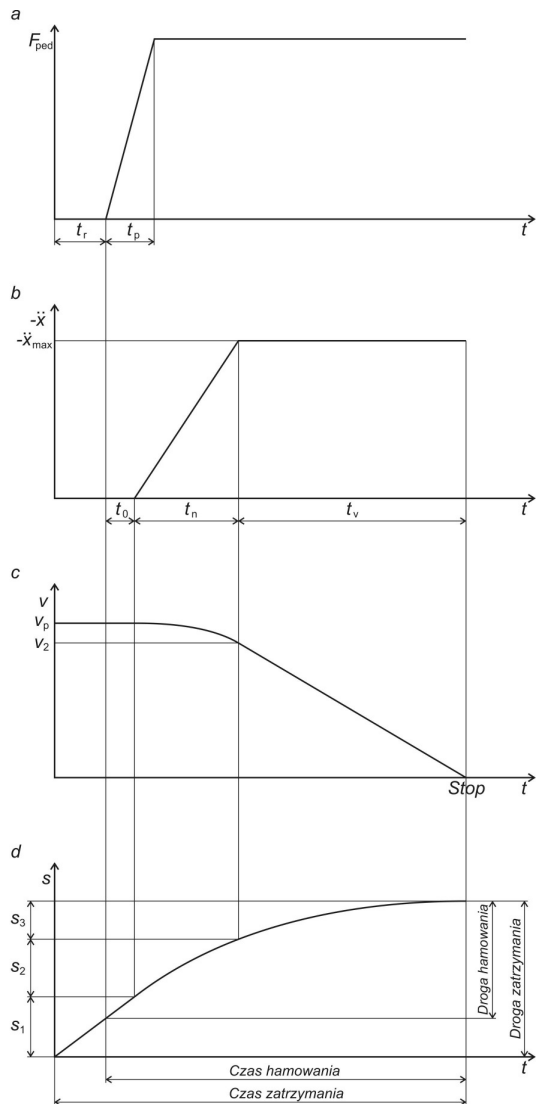
Analizę procesu hamowania przeprowadzono z wykorzystaniem danych katalogowych samochodu Fiat Palio Weekend.

Przeprowadzono rozważania teoretyczne nad zastosowaniem projektowanego układu Hill-Holder jako automatycznego hamulca awaryjnego. Układ po wykryciu naciśnięcia pedału hamulca, sprawdzałby sygnały z czujnika przyspieszenia i czujnika ciśnienia w układzie hydraulicznym. Jeśli na podstawie danych z tych czujników stwierdzi, że nastąpiła awaria ha-

mulca roboczego, zostanie uruchomiona procedura hamowania awaryjnego z wykorzystaniem układu Hill-Holder. Układ będzie musiał odpowiednio zinterpretować dane z czujników, aby stwierdzić, że mimo naciskania na pedał hamulca roboczego, nie osiągnięto wystarczającego ciśnienia w układzie hydraulicznym i opóźnienia ruchu pojazdu.

Podczas obliczeń symulacyjnych analizowano proces hamowania pojazdu z idealnym rozdziałem siły hamowania między osie pojazdu oraz podczas hamowania awaryjnego z użyciem projektowanego układu Hill-Holder. Rozpatrzono również przypadek odpowiadający awarii obwodu głównego hamulca i przyłożeniu 100% siły hamowania na oś tylną.

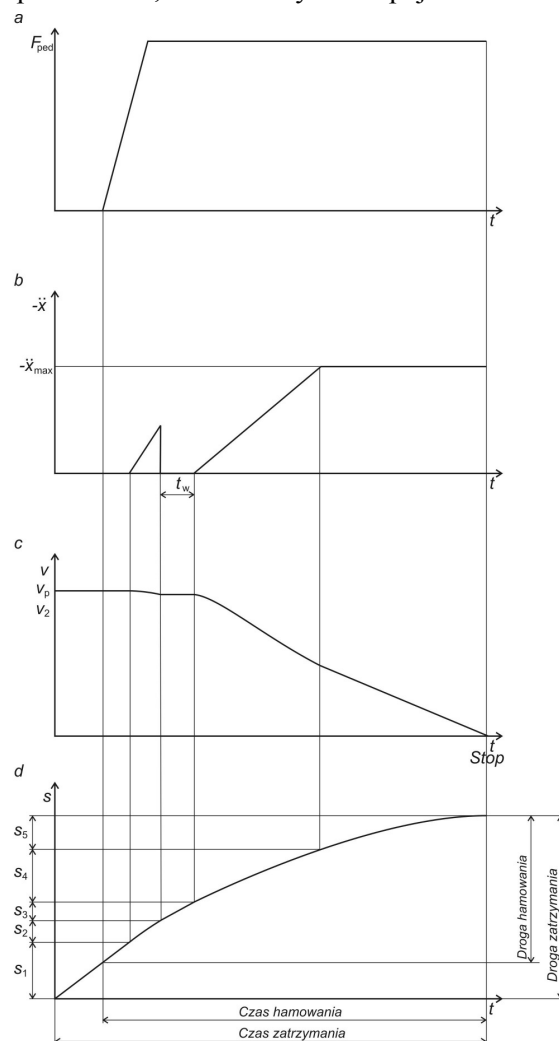
Na rysunku 1 przedstawiono przebieg hamowania dla poprawnie działającego układu hamulcowego, a na rysunku 2 hamowanie z wykorzystaniem trybu automatycznego hamulca awaryjnego układu Hill-Holder. Hamowanie przebiega normalnie do momentu, w którym dochodzi do gwałtownego spadku ciśnienia w układzie hydraulicznym hamulca roboczego, np. w wyniku pęknięcia jednego z przewodów hamulcowych (nagły spadek opóźnienia do zera).



Rys. 1. Przebieg hamowania analizowanego pojazdu a - wyidealizowany przebieg siły naciśnięcia nogi na pedał hamulca, b - opóźnienie w funkcji czasu, c - prędkość jazdy, d - przebieg drogi w czasie,  $t_r$  - czas reakcji,  $t_p$  - czas uruchomienia hamulców,  $t_0$  - czas zwłoki hamulca,  $t_n$  - czas narastania siły hamującej,  $t_v$  - czas pełnego hamowania,  $t_w$  - czas reakcji układu Hill-Holder na awarię układu hydraulicznego hamulca roboczego,  $v_p$  - prędkość początkowa

Po wykryciu awarii zostaje uruchomiony automatyczny hamulec awaryjny. Czas  $t_w$  to czas, w którym układ wykrywa usterkę, uruchamia hamulec awaryjny i pojazd zaczyna zwalniać. Czas zatrzymania, hamowania oraz drogi hamowania i zatrzymania oczywiście znacznie się wydłużą w stosunku do normalnego hamowania, ponieważ, w przypadku awarii hamulca roboczego, nie jest możliwe osiągnięcie tak dużej skuteczności hamowania.

Drogę zatrzymania można podzielić w tym przypadku na 5 odcinków. Odcinek  $S_1$ , podobnie jak w czasie hamowania ze sprawnym hamulcem roboczym, zostaje pokonany z prędkością początkową  $v_p$ . Droga  $S_2$  zostaje pokonana w czasie hamowania za pomocą hamulca roboczego, przed wystąpieniem usterki. Droga  $S_3$ , to droga pokonana w czasie  $t_w$  ze stałą prędkością, mniejszą od  $v_p$ . Drogę  $S_4$  pojazd przejeżdża w czasie zwiększania się opóźnienia ruchu do wartości maksymalnej. Droga  $S_5$  zostaje pokonana z maksymalnym, możliwym do osiągnięcia w danych warunkach, opóźnieniem, aż do zatrzymania pojazdu.

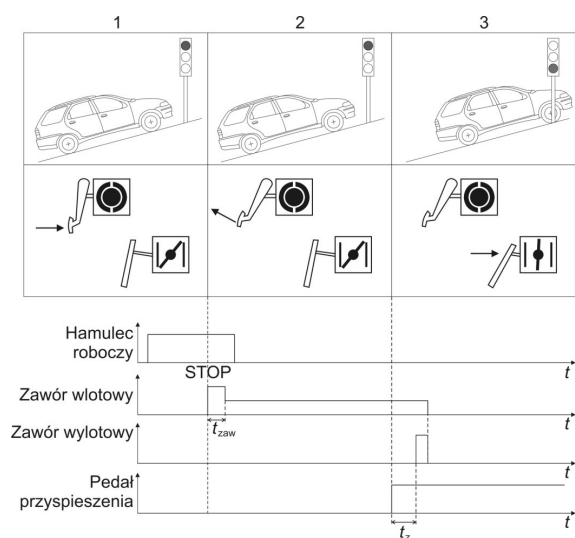


Rys. 2. Przebieg hamowania awaryjnego z wykorzystaniem układu Hill-Holder

### 3. Integracja systemu ABS samochodu Fiat z hamulcem Hill-Holder

W ramach badań zaproponowano zaimplementowanie zaprojektowanego mikroprocesorowego układu Hill-Holder samochodzie Fiat Panda 1,3 MultiJet wyposażonym w układ

ABS. Samochód ten jest wyposażony w układ ABS zamknięty z zaworami elektromagnetycznymi 2/2. Dzięki temu, że zawory układu ABS mogą utrzymywać ciśnienie w rozpieraczach hamulców i jest możliwe takie sterowanie zaworami, aby przejęły one funkcję projektowanego w ramach pracy Hill-Holdera. Działanie układu byłoby następujące: aby zatrzymać samochód, kierowca używa hamulca roboczego. Przytrzymuje pedał hamulca do całkowitego zatrzymania. Zaraz przed zatrzymaniem układ ABS jest dezaktywowany, ponieważ prędkość samochodu spadła poniżej prędkości granicznej (ok. 4km/h). Po całkowitym zatrzymaniu projektowany sterownik mikroprocesorowy układu Hill-Holder wykrywa nachylenie i układ ABS wysterowany przez sterownik Hill-Holder może przejść do fazy utrzymywania ciśnienia w hamulcu. Zawór wlotowy centralki elektrohydraulicznej zostaje zasilony (zamknięty) i zastosowane zostaje ograniczenie prądowe, utrzymując stałe ciśnienie w hamulcach. Ciśnienie jest wystarczające do utrzymania samochodu na wzniesieniu, ponieważ jest takie samo, jakiego użył kierowca naciskając pedał hamulca. Aby spełnić to zadanie, układ ABS samochodu Fiat Panda musi być odpowiednio zmodyfikowany. Przy czym jedyną zmianą sprzętową jest konieczność montażu dodatkowego czujnika nachylenia nadwozia pojazdu oraz zintegrowanie zaprojektowanego układu Hill-Holder z magistralą CAN samochodu. Czujnik przechyłu może być zintegrowany w sterowniku ABS.



Rys. 3. Zasada działania układu ABS z funkcją Hill-Holder

Układy elektroniczne w samochodzie komunikują się między sobą dzięki magistrali CAN co udostępnia wszelkie dane potrzebne do działania Hill-Holdera w układzie ABS.

Wykorzystując układ ABS, jako hamulec Hill-Holder, zawór dolotowy musi być zasilany przez czas od zatrzymania pojazdu na wzniesieniu do momentu, kiedy kierowca będzie chciał ruszyć. Czas ten, może być więc stosunkowo długi (np. po zatrzymaniu w korku ulicznym). Aby zapewnić wystarczająco szybkie modulowanie ciśnienia podczas hamowania z regulacją ABS, układ nadzorujący pracę zaworów elektromagnetycznych wysterowuje je stosunkowo dużymi prądami. Aby zapobiec nagrzewaniu się zaworów elektromagnetycznych można, po zamknięciu zaworu, zmniejszyć prąd, zasilający elektrozawór. Od zatrzymania, przez czas  $t_{zaw}$  (rysunek 3) zawór wlotowy jest zasilany pełnym prądem, takim samym jak podczas regulacji ABS w czasie hamowania. Następnie prąd jest zmniejszany do poziomu wystarczającego do zamknięcia zaworu. Czas  $t_{zaw}$  jest minimalnym czasem, potrzebnym do zamknięcia zaworu elektromagnetycznego przy zasilaniu go maksymalnym prądem.

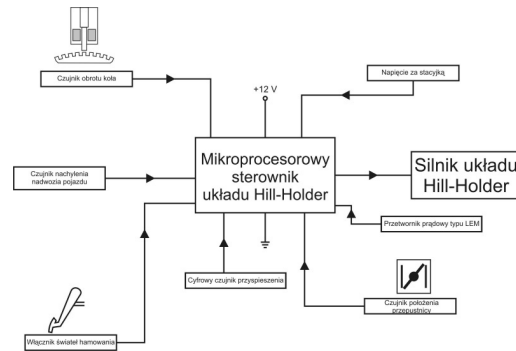
Na rysunku 3 przedstawiono proponowaną zasadę działania układu ABS samochodu z funkcją Hill-Holder. Pracę tego układu można podzielić na trzy główne fazy. W pierwszej z nich, samochód jest hamowany przy pomocy hamulca roboczego. Prędkość pojazdu jest niższa od dolnej granicy prędkości układu ABS i nie występuje już modulacja ciśnienia płynu hamulcowego (nawet jeśli wcześniej miała miejsce). Na końcu fazy samochód zostaje zatrzymany, a kierowca nadal naciska pedał hamulca roboczego. Faza druga zaczyna się, kiedy system ABS wykryje zatrzymanie pojazdu i otrzyma informację z czujnika nachylenia nadwozia, że konieczne jest uruchomienie hamulca Hill-Holder. Sterownik zasila zawory elektromagnetyczne wlotowe prądami maksymalnymi, aby je zamknąć i utrzymać ciśnienie w rozpieraczach hamulców. Po czasie  $t_{zaw}$ , prądy te zostają zmniejszone do poziomu wystarczającego do utrzymania ich w pozycji zamkniętej. Kierowca może teraz zwolnić pedał hamulca roboczego, a pojazd pozostanie unieruchomiony. Faza trzecia rozpoczyna się z chwilą wykrycia przez sterownik naciśnięcia pedału przyspieszenia przez kierowcę. Zdaniem autorów jest to najlepszy sposób wykrycia intencji kierowcy niezależnie od tego, jaki bieg

został włączony (pierwszy czy wsteczny). Można również wykorzystać inne informacje świadczące o tym, że kierowca chce ruszyć. Po czasie  $t_z$ , który zależy od stopnia nachylenia jezdni, wagi samochodu i innych parametrów, rozpoczyna się procedura zwalniania hamulca Hill-Holder. Opóźnienie to daje kierowcy czas na zwalnianie pedału sprzęgła i osiągnięcie odpowiedniego momentu napędowego na kołach. Następnie zostają zasilone maksymalnymi prądami zawory wylotowe. W ten sposób zostaje zmniejszone ciśnienie w hamulcach, a koła mogą się swobodnie obracać. Po tych krótkich impulsach prądowych płynących do zaworów wylotowych, następuje otwarcie zaworów wlotowych (wszystkie zawory wlotowe i wylotowe przestają być zasilane), a ciśnienie z pompy hamulcowej może być bezpośrednio przenoszone na rozpieracze hamulców.

#### 4. Model elektrycznego hamulca postojowego Hill-Holder

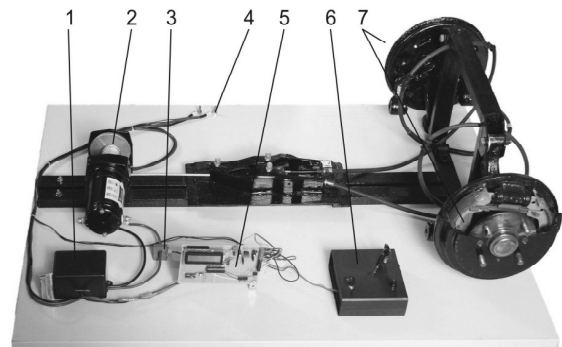
Ze względów bezpieczeństwa niezmiernie ważne było dokładne określenie momentu aktywowania hamulca. Zablokowanie tylnej osi w czasie jazdy może spowodować poślizg i doprowadzić do wypadku. Z drugiej strony odpowiednie i dokładne zdefiniowanie momentu zwolnienia hamulca będzie decydowało o funkcjonalności i komforcie użytkownika układu, nie powinno spowodować zwiększonego zużycia elementów ciernych hamulców oraz zużycia paliwa podczas ruszania. Układ jest aktywowany po hamowaniu z zatrzymaniem pojazdu na wzniesieniu (przód samochodu wyżej niż tył). Dzięki temu kierowca nie musi trzymać wciśniętego pedału hamulca roboczego podczas oczekiwania. Tym samym, nie będzie oślepiał światłami stopu kierowcy samochodu zatrzymanego za nim. Hamulec zostanie zwolniony automatycznie podczas ruszania. Układ powinien być tak zaprogramowany, aby umożliwić płynne ruszenie bez szarpnięć. W tym celu, konieczne jest wykrycie i poprawne rozpoznanie zamiarów kierowcy. Najlepszym rozwiązaniem wydaje się być zaprojektowanie układu, w którym po naciśnięciu pedału przyspieszenia następuje zwolnienie hamulca. To, czy będzie ono natychmiastowe, czy nastąpi po określonym czasie, zależy od szybkości działania elementu wykonawczego. W zaprojektowanym urządzeniu, które będzie stanowił element wykonawczy ze sterownikiem mikroprocesorowym, oprócz zasilania, należy doprowadzić

sygnały umożliwiające jednoznaczne rozpoznanie sytuacji istotnych z punktu widzenia funkcjonowania układu. Pozwalają one na jednoznaczny identyfikację warunków, w jakich znajduje się samochód oraz umożliwiają odczytanie intencji kierowcy.



Rys. 4. Schemat blokowy projektowanego układu Hill-Holder dla samochodu osobowego. Schemat blokowy zaprojektowanego w ramach pracy układu wraz z czujnikami przedstawiono na rysunku 4.

Dla weryfikacji opracowanego układu Hill-Holder zbudowano stanowisko laboratoryjne w którym zastosowano hamulce bębnowe z samochodu osobowego, dźwignię hamulca ręcznego i linki, czyli kompletny układ standardowego hamulca „ręcznego” (rys. 5). Ponadto w skład stanowiska wchodzi: sterownik mikroprocesorowy z czujnikiem nachylenia MXD2020ML oraz wyświetlaczem LCD, silnik wykonawczy z magnesami trwałymi o mocy 600W z przekładnią planetarną (o przełożeniu 153:1), linka stalowa oraz bęben, na który nawijana jest linka, przekaźniki i tranzystor MOSFET uruchamiające silnik, przetwornik prądowy HAIS 100-P do pomiaru prądu silnika, panel operatorski, na który składają się: przełącznik, stacyjka, potencjometr oraz złącza do podłączenia generatora funkcji, hamulce bębnowe kół tylnych z linkami.



Rys. 5. Stanowisko badawcze układu Hill-Holder: 1 - skrzynka z przekaźnikami

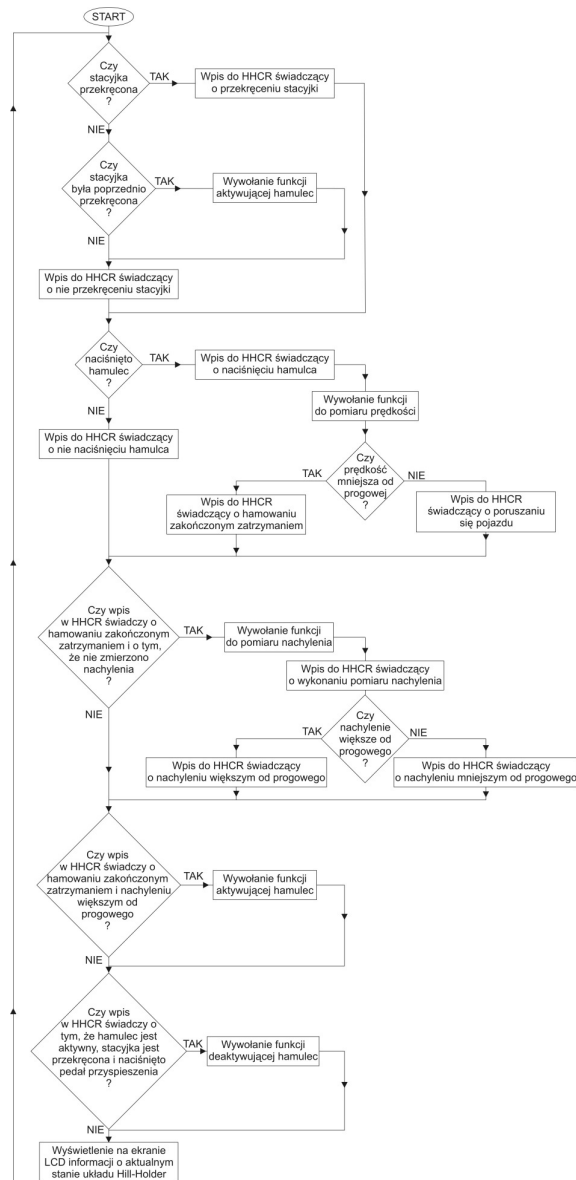
i tranzystorem MOSFET, 2 - element wykonawczy układu Hill-Holder – silnik prądu stałego z magnesami trwałymi, 3 - przetwornik prądowy HAIS 100-P firmy LEM, 4 - zaciski do podłączenia zasilania stanowiska, 5 - płytką sterownika mikroprocesorowego z czujnikiem przyspieszenia MXD2020ML oraz wyświetlaczem LCD, 6 - panel operatorski, 7 – hamulce bębnowe kół tylnych.

## 5. Algorytm działania elektrycznego hamulca postojowego Hill-Holder

O tym, czy wykryte hamowanie zakończyło się całkowitym zatrzymaniem informuje czujnik obrotu jednego z kół. Od 1 lipca 2006 roku wszystkie nowe samochody wyposażone są w system ABS. Można więc wykorzystać jeden z czujników prędkości obrotowej koła należący do tego systemu. To, czy kierowca naciska pedał przyspieszenia można wykryć za pomocą czujnika położenia przepustnicy. Sterownik Hill-Holder nie bada dokładnego kąta otwarcia przepustnicy. Sygnał jest podawany na wejście przetwornika analogowo cyfrowego w sterowniku i jest interpretowany dwustanowo – przepustnica całkowicie zamknięta lub otwarta (niezależnie od stopnia otwarcia).

Czujnik nachylenia nadwozia pozwala określić kierunek i stopień nachylenia po zatrzymaniu pojazdu. Informacja na temat przyspieszenia samochodu jest niezbędna ze względów bezpieczeństwa, ponieważ układ może również działać w samochodach nie wyposażonych w system ABS.

Oznacza to, że hamowanie może doprowadzić do zablokowania kół. Jeśli kierowca, hamując, najedzie na śliską nawierzchnię i zablokuje koło, na którym będzie umieszczony czujnik obrotu, może dojść do błędnego odczytania sytuacji. Sterownik stwierdzi, że miało miejsce hamowanie, które zakończyło się zatrzymaniem (czujnik obrotu koła poinformuje o zatrzymaniu) i aktywuje hamulec Hill-Holder. Aby nie dopuścić do takiej sytuacji zastosowano czujnik przyspieszenia, który kontroluje, czy nastąpiło całkowite zatrzymanie pojazdu. W projektowanym układzie Hill-Holder czujnik przyspieszenia o dwóch osiach pomiaru może spełniać rolę czujnika przyspieszenia i czujnika nachylenia. W projektowanym sterowniku układu Hill-Holder urządzeniem sterującym jest mikrokontroler z rodziny AVR, ATmega8. Schemat blokowy stworzonego programu dla mikrokontrolera ATmega8 pokazano na rys. 6.



Rys. 6. Schemat blokowy głównej pętli programu

## 6. Wnioski

W ramach projektu budowy modelu układu Hill-Holder dla samochodu przeprowadzono analizę zachowania się pojazdu podczas procesu hamowania (sformułowano model symulacyjny pojazdu, rozważono rozkład sił działających na pojazd stojący na wzniesieniu, przeprowadzono analizy procesu awaryjnego hamowania samochodu wyposażonego w układ Hill-Holder i przeprowadzono badania symulacyjne z wykorzystaniem programu MathCad). Opracowano koncepcję zintegrowania projektowanego układu Hill-Holder z układem ABS samochodu Fiat Panda. Zaprojektowano i wykonano mikroprocesorowy układ Hill-Holder oparty na mikrokontrolerze ATmega8 wykorzy-

stujący czujnik prędkości obrotowej kół samochodu, czujnik położenia przepustnicy lub położenia pedału przyspieszenia, scalony czujnik nachylenia pojazdu, dodatkowe sygnały z włącznika świateł hamowania i włącznika zapłonu, silnik wykonawczy z magnesami trwałymi i przekładnią planetarną, układy pomiarowe służące kontrolowaniu poprawnej pracy układu. Dla weryfikacji poprawności działania układu wykonano stanowisko laboratoryjne, wykorzystujące rzeczywiste elementy układu hamulcowego. Zmierzony błąd odwzorowania stopnia nachylenia wzniesienia w układzie nie przekroczył 0,5%. Zaimplementowanie do sterownika ABS samochodu Fiat Panda projektowanego układu Hill-Holder może być tańszą alternatywą dla układów Hill-Holder z układem ASR.

## 7. Literatura

- [1]. Bogdański J.: *Ruch opóźniony samochodu* Auto Moto Serwis nr 6 2005
- [2]. Chodkowski A.: *Badania modelowe pojazdów gąsienicowych i kołowych WKŁ*, Warszawa 1982
- [3]. Dajniak H.: *Ciągniki. Teoria ruchu i konstruowanie WKŁ*, Warszawa 1985
- [4]. Herner A., Riehl H.: *Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych WKŁ*, Warszawa 2009
- [5]. Informator techniczny *BOSCH CAN Specification Version 2.0 1991*
- [6]. Informator techniczny *BOSCH Konwencjonalne i elektroniczne układy hamulcowe WKŁ*, Warszawa 2006
- [7]. Leiter Ralf *Hamulce samochodów osobowych i motocykli WKŁ*, Warszawa 1998
- [8]. Mitschke M.: *Dynamika samochodu. Napęd i hamowanie. WKŁ*, Warszawa 1987
- [9]. Prochowski L.: *Pojazdy samochodowe. Mechanika ruchu. WKŁ*, Warszawa 2005  
Program serwisowy Fiat E-learn
- [10]. Sitek K.: *Wymagania prawne dotyczące układów hamulcowych* Auto Moto Serwis nr 7-8 2008
- [11]. Wicher J.: *Pojazdy samochodowe. Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego. Wyd. 2. WKŁ*, Warszawa
- [12]. Zembowicz J.: *FIAT Albea, Siena i Palio Weekend* Wyd. 3. WKŁ, Warszawa 2005
- [13]. Zembowicz J.: *Fiat Panda* WKŁ, Warszawa 2006
- [14]. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 31. grudnia 2002 r. *W sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia* (Dz. U. z 2003 r. Nr 32, poz. 262)
- [15]. Konwencja o ruchu drogowym, sporządzona w Wiedniu dnia 8. listopada 1968 r. (Dz. U. z 1988 r. Nr 5, poz. 40)
- [16]. Porozumienie europejskie uzupełniające Konwencję o ruchu drogowym sporządzoną w Wiedniu

- dnia 8 listopada 1968 r., sporządzone w Genewie dnia 1 maja 1971 r. (przedruk Dz. U. z 1988 r. Nr 5, poz. 44; ratyfikacja Dz. U. z 1988 r. Nr 5, poz. 45);
- [17]. Dyrektywa Rady z dnia 27. lipca 1971 r. w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do układów hamulcowych niektórych kategorii pojazdów silnikowych i ich przyczep (71/320/EWG)
- [18]. Regulamin 13 EKG ONZ *Jednolite przepisy dot. homologacji pojazdów kategorii M, N i O w zakresie hamowania*
- [19]. PN-ISO 611:2006 *Pojazdy drogowe. Hamowanie pojazdów samochodowych i ich przyczep. Terminologia*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2006
- [20]. PN-76/S-47000 *Skuteczność działania hamulców. Wymagania i badania*. ICS 43.040.40 Układy hamulcowe
- [21]. Noty katalogowe układów: LM7805, Atmega8, MXD2020ML, HD44780, HAIS 100-P, 4N25, BD135, IRFP064.

Autorzy artykułu zostali nagrodzeni Nagrodą Koncernu FIAT za najlepszą pracę pt: *Układ elektrycznego hamulca postojowego HILL-HOLDER w samochodzie osobowym* realizowaną z tematyki techniki samochodowej w roku 2009.