

ESP – urządzenie zwiększające bezpieczeństwo pojazdu

**CEZARY SZCZEPANIAK, ADAM GOŁASZEWSKI,
MARIUSZ SMO CZYŃSKI, KRZYSZTOF SURMIŃSKI,
ANDRZEJ SZOSLAND**

Institut Pojazdów Politechniki Łódzkiej

Praca przedstawia opis urządzenia ESP, przeznaczonego dla pojazdów z pneumatycznym układem uruchamiania hamulców oraz silnikiem o zapłonie samoczynnym. Podane są przesłanki przyjęte do opracowania własnego rozwiązania tego urządzenia przez Institut Pojazdów PŁ. Opisano zasadę działania urządzenia, w oparciu o którą zbudowano jego wersję prototypową. Wersja ta została przebadana na specjalnie skonstruowanym stanowisku pomiarowym, a następnie zainstalowana w autobusie badawczym.

1. Wstęp

Od współczesnego pojazdu wymaga się coraz wyższego stopnia niezawodności, a także zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa tak biernego, jak i czynnego. Temu ostatniemu służą różnorodne urządzenia, zwane urządzeniami kontroli ruchu – np. ABS czy ASR. Pomagają one kierującemu w utrzymaniu założonego kierunku jazdy i stabilności ruchu pojazdu. Ma to szczególne znaczenie w ekstremalnych warunkach, takich jak niejednorodność nawierzchni czy jezdnia o obniżonej wartości współczynnika przyczepności. Dotyczy to procesu hamowania, przyspieszania oraz zmiany toru jazdy samochodu.

Urządzenia pozwalające na regulację wartości poślizgu i stabilizację ruchu samochodu w kierunku poprzecznym przyjęto określać mianem układów stabilizacji toru jazdy ESP (Electronic Stability Program). Zadaniem ESP jest utrzymanie pojazdu na torze zadanym przez kierowcę. W sytuacjach krytycznych zapobiega ono zboczeniu z założonego toru jazdy oraz ogranicza niebezpieczeństwo zarzucenia lub przewrócenia się pojazdu. Układ stabilizuje kierunek jazdy podczas hamowania pełnego i częściowego, podczas napędzania samochodu oraz obrotu kierownicy.

Utrzymanie stabilności ruchu jest szczególnie istotne w odniesieniu do dużych samochodów. Wymiary geometryczne tej klasy pojazdu powodują, że jego poprzeczne ustawienie się na drodze powoduje zajęcie praktycznie całej jej szerokości. Stwarza to ogromne niebezpieczeństwo dla innych użytkowników dróg. Ponadto wysokie

położenie środka ciężkości w połączeniu z utratą stabilności poprzecznej grozi wywróceniem się całego zestawu.

2. Koncepcja konstrukcji urządzenia

Zadaniem ESP jest utrzymanie pojazdu na torze zadanym przez kierowcę. W sytuacjach krytycznych zapobiega zbroczeniu z założonego toru jazdy oraz ogranicza niebezpieczeństwo zarzucenia lub przewrócenia się pojazdu. Należy podkreślić, że sygnały sterujące z ESP są nadrzędne w stosunku do wynikających z naciśnięcia pedału przyspieszenia czy hamulca. Zastosowane układy elektroniczne rozpoznają uślizg boczny pojazdu poprzez porównanie toru jazdy zadanego przez kierowcę (kąta obrotu koła kierownicy) z rzeczywiście realizowanym. W przypadku wykrycia różnicy pomiędzy tymi dwoma przebiegami urządzenie generuje sygnały sterujące uruchamianiem hamulców poszczególnych kół jezdnych. W ten sposób wywołany jest dodatkowy moment obracający pojazdem, przeciwdziałający odchyłaniu samochodu. W razie potrzeby może być zredukowany moment obrotowy silnika, w celu zmniejszenia siły napędowej na kołach osi napędzanej.

W zależności od cech pojazdu – pod- lub nadsterowności, przyhamowywane są inne koła auta. W samochodzie nadsterownym, gdzie tendencje utraty przyczepności są większe dla kół osi tylnej, hamowane jest koło przednie zewnętrzne. Na skutek pojawienia się dodatkowej siły hamowania tego koła w stosunku do środka masy pojazdu powstaje dodatkowy moment obracający, neutralizujący taką tendencję.

Działanie ESP oparte jest o śledzenie i pomiar następujących wielkości fizycznych:

- prędkości obrotowych kół,
- prędkość pojazdu,
- kąta skrętu koła kierownicy,
- prędkości katowej pojazdu wokół jego osi pionowej,
- przyspieszenia poprzecznego środka masy.

W chwili obecnej urządzenia wspomagające działanie kierowcy stają się w pełni ze sobą zintegrowane. Dotyczy to w pierwszej kolejności kontroli sił wzdłużnych. Jak wiadomo w krytycznych sytuacjach podczas hamowania układ ABS zapobiega blokowaniu kół. Stąd jego ingerencja w wartości sił wzdłużnych na kołach. Z kolei układ ASR przeciwdziała nadmiernemu poślizgowi kół napędzanych, a więc także modyfikuje wartości sił wzdłużnych.

Obydwa urządzenia mogą wykorzystywać te same wspólne elementy:

- czujnik prędkości obrotowych kół,
- czujnik ciśnienia w układzie uruchamiania hamulców,
- elektroniczny blok sterowania,
- siłowniki hamulcowe.

W przypadku kontroli wartości sił wzdłużnych możliwe jest więc wykorzystanie komponentów zintegrowanego urządzenia ABS/ASR, uzupełniając je dodatkowo o:

- czujnik prędkości kątowej obrotu pojazdu,
- czujnik przyspieszenia poprzecznego,
- czujnik kąta skrętu koła kierownicy.

Sygnalami wejściowymi do układu sterującego są zatem dwie grupy danych. Pierwsza z nich to wartości kąta skrętu koła kierownicy oraz prędkości liniowej pojazdu. Stanowią one pochodne decyzji kierowcy o pokonaniu zakrętu o danym promieniu. Wartość kąta skrętu koła kierownicy mierzona jest odrębnym czujnikiem. Informacja o prędkości liniowej pojazdu otrzymywana jest na podstawie pomiaru prędkości obrotowych kół jezdnych, wyznaczana jako wartość średnia dla kół strony prawej i lewej pojazdu. Na podstawie tych informacji możliwe jest wyznaczenie spodziewanej wartości przyspieszenia poprzecznego środka masy pojazdu oraz kąta obrotu pojazdu wokół jego osi pionowej. Drugą grupę sygnałów stanowią informacje o rzeczywistym kącie obrotu pojazdu wokół jego osi pionowej oraz rzeczywistym przyspieszeniu poprzecznym. W przypadku wystąpienia różnic pomiędzy wartościami oczekiwanymi (narzuconymi przez działanie kierowcy) a rzeczywistymi, spodziewanym jest wystąpienie uślizgu kół jednej z osi.

Aby zapobiec niebezpieczeństwu przemieszczenia poprzecznego albo obrotowi pojazdu z układu analizująco-sterującego generowane są sygnały do elementów wykonawczych.

Istnieją dwa sposoby regulacji procesu, wymuszane przez działanie wybranych elementów wykonawczych. Pierwszym z nich jest ograniczenie mocy napędowej z silnika doprowadzanej do kół. Ten rodzaj regulacji odpowiada przyjętemu sposobowi działania urządzenia ASR. W układzie ASR wbudowany jest siłownik przemieszczający listwę pompy wtryskowej, praca którego może wymusić zmniejszenie wartości tej mocy i tym samym zmniejszenie prędkości ruchu. W konsekwencji prowadzić to będzie do zmniejszenia siły odśrodkowej działającej na pojazd i ograniczenia wartości przyspieszenia poprzecznego oraz obrotu pojazdu. Drugim sposobem jest aktywacja układu hamulcowego. W zależności od cech pojazdu działanie ESP będzie przebiegało w nieco odmienny sposób.

Wymuszenie pracy hamulca koła może prowadzić do wystąpienia niebezpieczeństwa zablokowania tego koła. Aby zapobiec takiej sytuacji stosuje się odpowiednie priorytety pracy urządzeń sterujących. Nadrzędnym jest zawsze układ ABS, który sprawdza tendencję koła do zablokowania. W razie jej wykrycia zmniejsza siłę hamowania.

3. Budowa urządzenia ESP

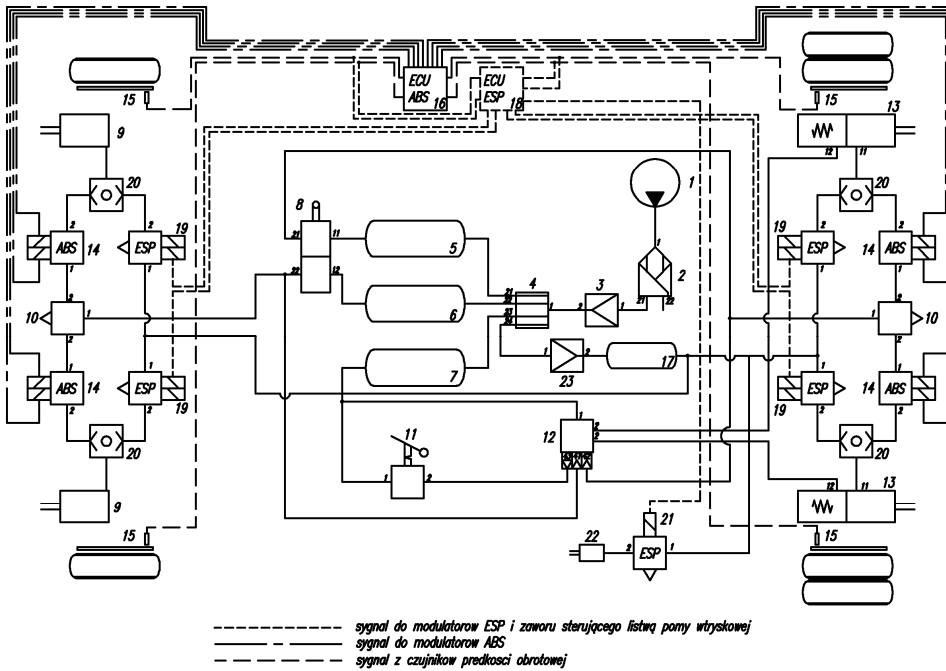
W skład urządzenia wchodzi:

- cztery modulatory trójpołożeniowe,
- zawór proporcjonalny sterowania siłownikiem silnika,

- regulator ciśnienia zasilającego obwód ESP,
- cztery czujniki prędkości kół współdzielone z urządzeniem ABS,
- układ sterujący ECU.

Zmiana momentu tarcia w układzie hamulcowym polega na uruchomieniu hamulca tego koła napędzanego, które wykazuje tendencję do wzrastającego poślizgu. Istotne jest, że układ ESP będzie pracował niezależnie od układu przeciwblokującego ABS, tzn. wprowadzanie zmian ciśnienia w siłownikach hamulcowych kół osi napędowej będą przeprowadzały modulatory ESP, gdy konieczne będzie działanie tego układu. W przypadku działania układu przeciwblokującego ABS za zmianę ciśnienia w siłownikach hamulcowych będą odpowiedzialne modulatory ABS. Aby nie wystąpiło gwałtowne zablokowanie koła, przyrost momentu hamującego powinien być wolniejszy niż podczas hamowania wykonywanego przez kierowcę lub regulowanego przez urządzenie przeciwblokujące ABS.

Zabudowa urządzenia została przewidziana w pojeździe wyposażonym wcześniej w układ przeciwblokujący ABS. Pozwala to np. na wykorzystanie czujników prędkości kątowej kół, które są jednym z elementów tworzących układ ABS. Na rys. 1 przedstawiono układ uruchamiania hamulców z wbudowanym układem przeciwblokującym ABS i ESP.



Rys. 1. Schemat pneumatycznego układu uruchamiania hamulców pojazdu wyposażonego w układy ABS i ESP.

Fig. 1. Schematic diagram of the pneumatic braking system for vehicle equipped with ABS and ESP devices.

Pogrzbionymi liniami zaznaczone są elementy układu ESP, które nie występują w pojeździe wyposażonym w układ ABS.

4. Elektroniczny zespół sterujący ECU-ESP

Przy tworzeniu algorytmu działania ESP przyjęto następujące założenia:

- sterowanie momentem hamulcowym kół napędzanych realizowane jest w trybie trójpołożeniowym w oparciu o modulatory ESP konstrukcji własnej IP PŁ,
- oddziaływanie na moment hamujący koła może mieć różną intensywność. Przyjmuje się dwa stopnie reakcji,
- wielkościami wejściowymi do bloku decyzyjnego w algorytmie są: kąt skrętu kierownicy, prędkość kąta obrotu bryły pojazdu względem osi Z oraz przyspieszenie poprzeczne środka masy,
- wielkościami korekcyjnymi są: prędkości obrotowe wszystkich kół jezdnych oraz przyspieszenie wzdłużne środka masy pojazdu,
- sterowanie silnikiem odbywa się za pośrednictwem siłownika pneumatycznego i związanego z nim elektropneumatycznego zaworu proporcjonalnego,
- regulacja wysunięcia siłownika za pośrednictwem zaworu proporcjonalnego jest zrealizowana poprzez sterowanie impulsowe o założonej, stałej częstotliwości i zmiennym współczynniku wypełnienia (modulacja szerokości impulsu),
- działanie któregośkolwiek z zaworów ESP lub zaworu sterowania siłownikiem silnika może być przerwane w chwili uruchomienia przez kierowcę pedału hamulca. Układ hamowania z zainstalowanym w nim urządzeniem ABS posiada priorytet nad funkcjami ESP.

Idea działania algorytmu opiera się na pomiarze aktualnych parametrów ruchu pojazdu, wyliczaniu wielkości progowych, porównaniu ich w bloku decyzyjnym i wypracowaniu koniecznej reakcji elementów wykonawczych ESP.

W początkowej fazie przetwarzania odczytywane są porty wejściowe przetworników a/c, do których doprowadzone są sygnały z odpowiednich przetworników. Na obecnym etapie pracy wykorzystywane są: kąt skrętu kierownicy α_{kier} , prędkość kąta obrotu bryły pojazdu względem osi Z α_z oraz przyspieszenie poprzeczne środka masy a_y . Wielkości odczytane poddawane są następnie filtracji cyfrowej, która eliminuje zakłócenia zarówno natury elektrycznej, jak również zmniejsza pasmo sygnału, co stabilizuje dalsze przetwarzanie.

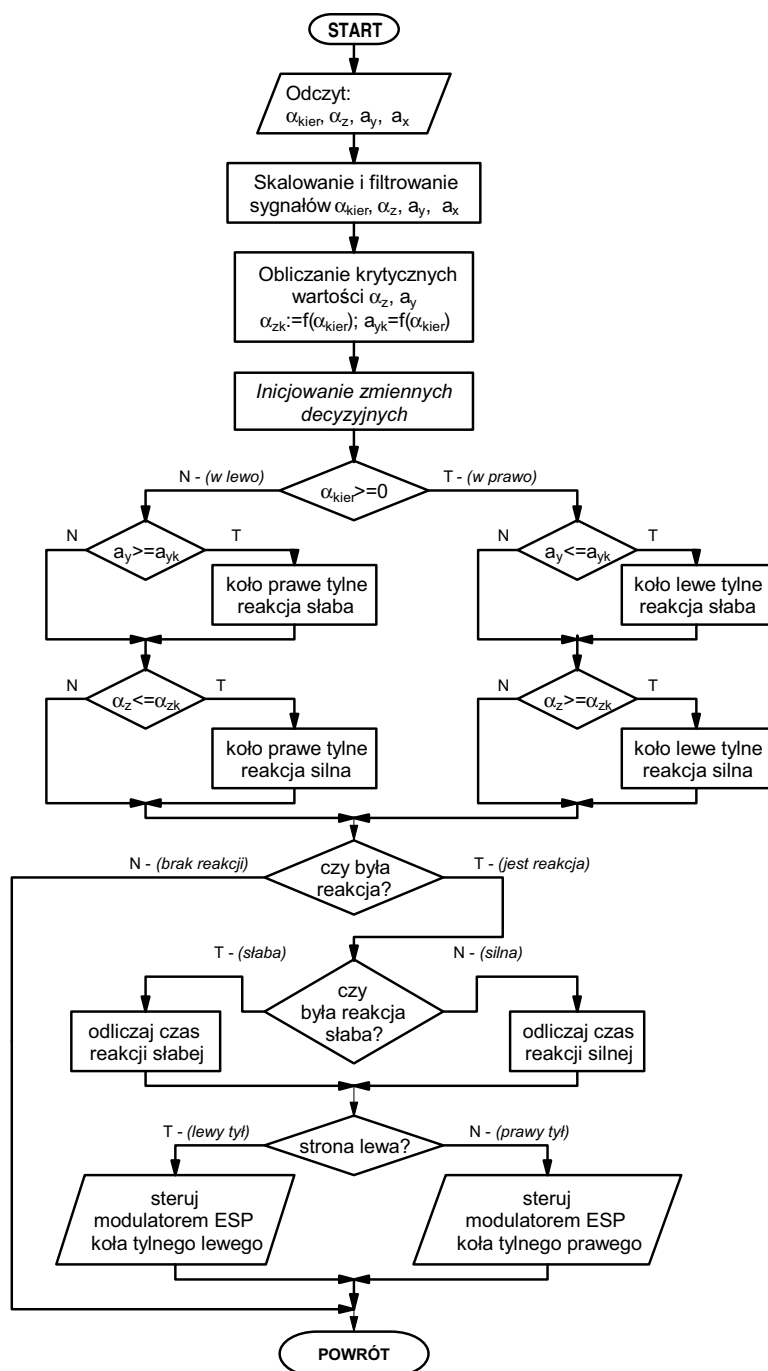
Na podstawie uzyskanych w ten sposób informacji tworzone są chwilowe zestawy wartości progowych. Przyjęto, że wielkością wejściową jest kąt skrętu kierownicy α_{kier} , a wartościami progowymi do dalszego wykorzystania w bloku logicznym są: prędkość progowa (krytyczna) kąta obrotu bryły pojazdu względem osi Z α_{zK} oraz progowe przyspieszenie poprzeczne środka masy a_{yK} .

Następnie w bloku decyzyjnym porównywane są chwilowe wielkości uzyskane z pomiaru z obliczonymi wielkościami progowymi. W wyniku tych porównań podejmowana jest decyzja o intensywności oddziaływania hamującego momentem stabilizującym na wybrane koło jezdne. W celu uproszczenia sterowania przyjęto dwa poziomy intensywności: słaby oraz silny. Różnica pomiędzy nimi wyrażona jest w długości czasu wysterowania modulatorów ESP.

Schemat blokowy algorytmu sterowania urządzenia ESP przedstawiono na rys. 2. Przedstawiona na nim sieć działań dotyczy pojedynczego przebiegu pętli czasowej, na którą składają się: pomiar, filtracja, obliczanie wartości progowych, analiza logiczna, podjęcie decyzji i jej realizacja. Okres próbkowania w prototypie układu sterującego ustalono na 1 ms, co zapewnia wystarczającą prędkość i dokładność przetwarzania.

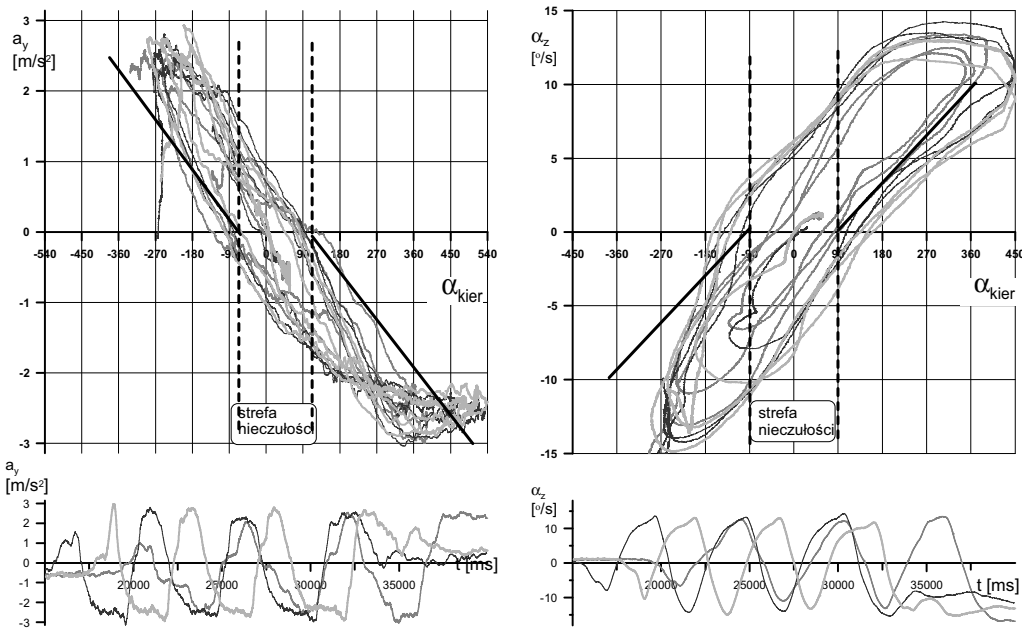
Na podstawie badań drogowych przeprowadzono analizę informacji możliwych do uzyskiwanych przez czujniki urządzenia ESP. W szczególności brano pod uwagę manewry pojazdu w warunkach utraty stabilności. Przykładową zależność $a_y=f(\alpha_{\text{kier}})$ zaprezentowano dla toru ruchu „ślalom-I” na nawierzchni o niskim współczynniku przyczepności. Na rysunku 3. połączono rezultaty kilku zarejestrowanych przejazdów. Na ich podstawie określono przebieg progowych wartości a_{yK} , a następnie przybliżono go zależnościami liniowymi. Dla niewielkich kątów skrętu kierownicy α_{kier} zastosowano strefę nieczułości. Przewiduje się w kolejnym etapie uzależnienie jej szerokości od oszacowanej chwilowej prędkości pojazdu.

Na rysunku 3. pokazano także analogiczne przebiegi i funkcje dla drugiej wielkości kryterialnej - α_z .



Rys. 2. Schemat blokowy algorytmu sterowania ESP.

Fig. 2. Operation algorithm chart for ESP device.



Rys. 3. Zależność $a_y=f(\alpha_{kier})$ oraz $a_y(t)$ i wynikająca z nich funkcja określająca wielkości progowe a_{yK} i α_{zK} .

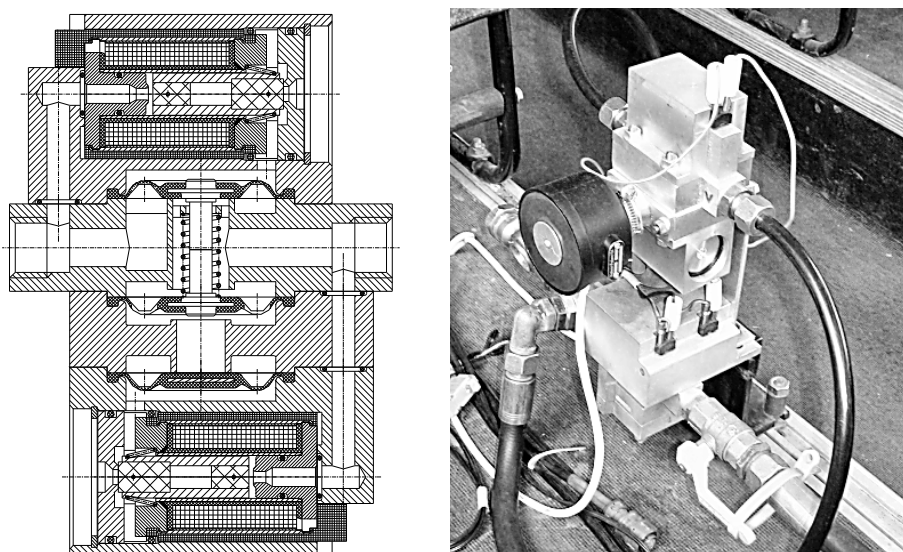
Fig. 3. Relationship $a_y=f(\alpha_{kier})$ and $a_y(t)$ and designating function for threshold of values a_{yK} i α_{zK} .

5. Zawór sterujący

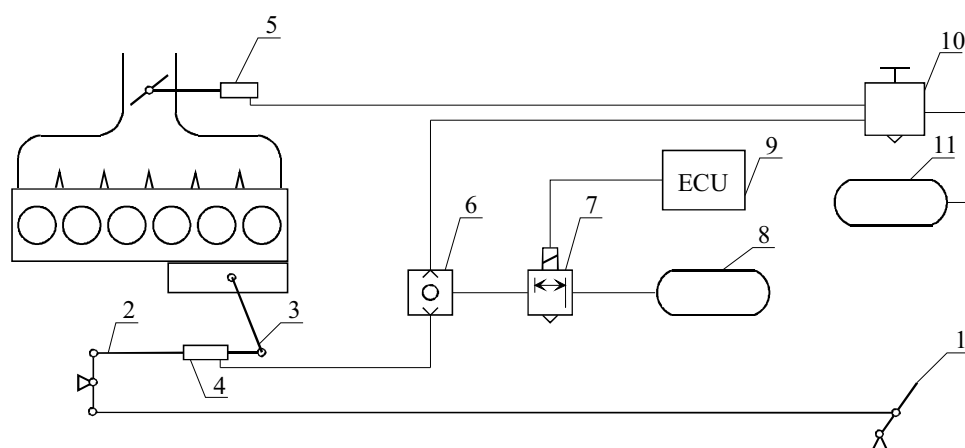
Zmianę ciśnienia w siłownikach hamulcowych kół, w przypadku działania układu, umożliwiają modulatory ESP. Zmianę ciśnienia w siłowniku sterującym listwą zębatą pompy wtryskowej umożliwia zawór, którego koncepcja i rozwiązanie konstrukcyjne jest identyczne jak modulatora ESP. Zaprojektowany zawór posiada możliwość odpowietrzania siłownika. Jego widok pokazano na rys. 4.

6. Sterowanie silnikiem

Ideę i sposób realizacji sterowania obciążeniem silnika przez układ ESP pokazano na rysunku 5. W fabrycznym pojeździe bez zamontowanego układu ESP ruch pedału kierowcy (1) jest przenoszony przez zespół cięgien i dźwigni (2) na dźwignię listwy pompy wtryskowej (3). Do sterowania silnikiem dla potrzeb układu ESP wykorzystano zabudowany na cięgnie (2) siłownik roboczy (4). W przypadku nieaktywnego układu ESP, siłownik (4) stanowi element sztywny kinematycznie, a układ sterowania obciążeniem zachowuje się tak, jak w niezmodyfikowanym pojeździe.



Rys.4. Zawór sterujący ESP.
Fig.4. ESP steering valve.



Rys. 5. Fragmenty instalacji pneumatycznej hamulca silnikowego oraz układ sterowania silnikiem w pojeździe badawczym z zabudowanym układem ESP.
Fig. 5. Schematic diagram of pneumatic installation for engine operating installed in the test vehicle with ESP device.

W przypadku aktywnego układu ESP i konieczności zmniejszenia momentu napędowego na kołach pojazdu następuje wysunięcie tłoczyska siłownika roboczego (4), co powoduje wydłużenie cięgieł (2), cofnięcie dźwigni listwy pompy wtryskowej silnika i zmniejszenie obciążenia (momentu obrotowego).

Do wysterowania siłownika silnika dla potrzeb układu ESP użyto zaworu proporcjonalnego firmy Wabco (7). Zawór ten jest zasilany ciśnieniem ze zbiornika układu ESP (8), a o jego wysterowaniu decyduje ECU układu ESP (9). Aby nie zakłócić funkcji gaszenia silnika przez kierowcę oraz funkcji hamulca górskiego (realizowanej także dzięki siłownikowi przepustnicy układu wydechowego (5), przed siłownik roboczy (8) zabudowano zawór dwudrożny (6). W ten sposób realizacja sterownia silnikiem przez ESP jest niezależna od dotychczasowego układu hamowania silnikiem oraz gaszenia silnika, sterowanych przez kierowcę zaworem (10).

Sygnał sterujący pracą zaworu proporcjonalnego ma charakter impulsowy, a różnicowanie długości wysunięcia tłoczyska siłownika roboczego (4) (cofnięcia listwy pompy wtryskowej silnika) następuje przez zmianę współczynnika wypełnienia. Sygnały sterujące silnikiem mają częstotliwość 100 Hz, a możliwy do uzyskania współczynnik wypełnienia ma zakres od 0 do 100%.

Literatura

- [1] *Materiały firmy BOSCH.*
- [2] Raport z wykonania grantu KBN nr 5T12C 068 24 pt.: *Badania dynamiki pojazdu z zintegrowanym systemem ABS/ASR/ESP.*
- [3] HERNER A., RIEHL H.-J.: *Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych.* WKiŁ, Warszawa 2003.
- [4] SMOCZYŃSKI M., SURMIŃSKI K.: *Sterowanie silnikiem w układach ASR.* VII Konferencja Hamulcowa, Łódź 2004.
- [5] GOŁASZEWSKI A., SURMIŃSKI K., SZOSLAND A.: *Wybrane elementy badań drogowych pojazdu z urządzeniem ASR.* KONMOT-Autoprogres, Zakopane 2004.
- [6] Surmiński K., Szosland A.: *Metoda oceny działania urządzeń ABS/ASR.* KONMOT-Autoprogres, Zakopane 2004.

ESP – automatic device enhancing the safety of vehicle

S u m m a r y

The paper describes the ESP device, designated for vehicles equipped with pneumatic braking system and diesel engine. The accepted assumptions are described as well as the algorithm of its operation. The prototype version of the device was prepared and checked on a special test rig. Later on it was installed in the test vehicle.