
9. Układy regulacji i stabilizacji dynamiki jazdy

9.1. Wiadomości wstępne

Zadaniem układów regulacji dynamiki jazdy jest wspomaganie działań kierowcy podczas hamowania, przyspieszania oraz w trakcie ekstremalnych manewrów.

Podczas hamowania pojazdem wyposażonym w tradycyjny układ hamulcowy może dojść do zablokowania kół i pojazd taki może wpaść w poślizg. Układ zapobiegający blokowaniu kół, tzw. ABS (ang. *Anti-locking Breaking System*), eliminuje ten problem, regulując ciśnienie w układzie hamulcowym poszczególnych kół, tak aby nie doszło do ich zablokowania na wszystkich rodzajach nawierzchni. Odwrotnie niż układ ABS działa układ zapobiegający poślizgowi kół napędzanych, znany pod nazwą ASR (ang. *Anti Slip Regulation*). Układ ten nie pozwala na ślizganie się kół podczas przyspieszania, zachowując stabilny ruch pojazdu.

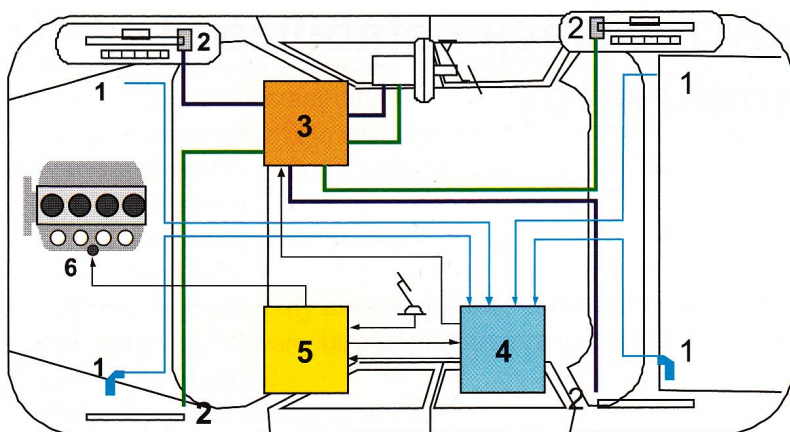
Na bezpieczną jazdę w krytycznych warunkach pozwala układ stabilizacji toru jazdy, nazwany układem ESP (ang. *Electronic Stability Program*). Układ ten stabilizuje tor jazdy pojazdu niezależnie od tego czy pedał przyspieszenia lub hamulca jest wciśnięty, czy też nie. Elektroniczny układ sterujący układem ESP reguluje kilkadziesiąt razy na sekundę prędkość obrotową kół, zachowując ich ruch w obszarze poślizgu i dzięki temu przenosi na nawierzchnię maksymalną siłę napędową przy utrzymaniu stabilnego toru jazdy.

W rozdziale tym przedstawiono budowę i zasadę działania wymienionych układów oraz opisano ich diagnostykę.

9.2. Układ zapobiegający blokowaniu kół podczas hamowania (ABS)

9.2.1. Zasada działania układu

Podczas gwałtownego hamowania na śliskiej lub wilgotnej nawierzchni może dojść do zablokowania kół samochodu. Pojazd traci wtedy kierowalność, wpada w poślizg, którego skutkiem może być zderzenie z innym użytkownikiem drogi poruszającym się w tym czasie po sąsiednim pasie ruchu. Aby uniknąć takich sytuacji, zaczęto



Rys. 9.1. Podzespoły układu przeciwoślizgowego ABS/ASR kół napędowych wykorzystującego przepustnicę silnika i hamulce pojazdu [29, 56]

1 – czujniki prędkości kół, 2 – hamulce kół, 3 – zespół hydrauliczny (modulator) ABS/ASR, 4 – sterownik ABS/ASR, 5 – sterownik silnika, 6 – przepustnica silnika

w samochodach montować układ ABS, przeciwdziałający blokowaniu kół podczas hamowania, zapewniając w ten sposób zachowanie kierowności pojazdu i umożliwiając wykonanie manewru wymijania przeszkody nawet po gwałtownym wciśnięciu pedału hamulca.

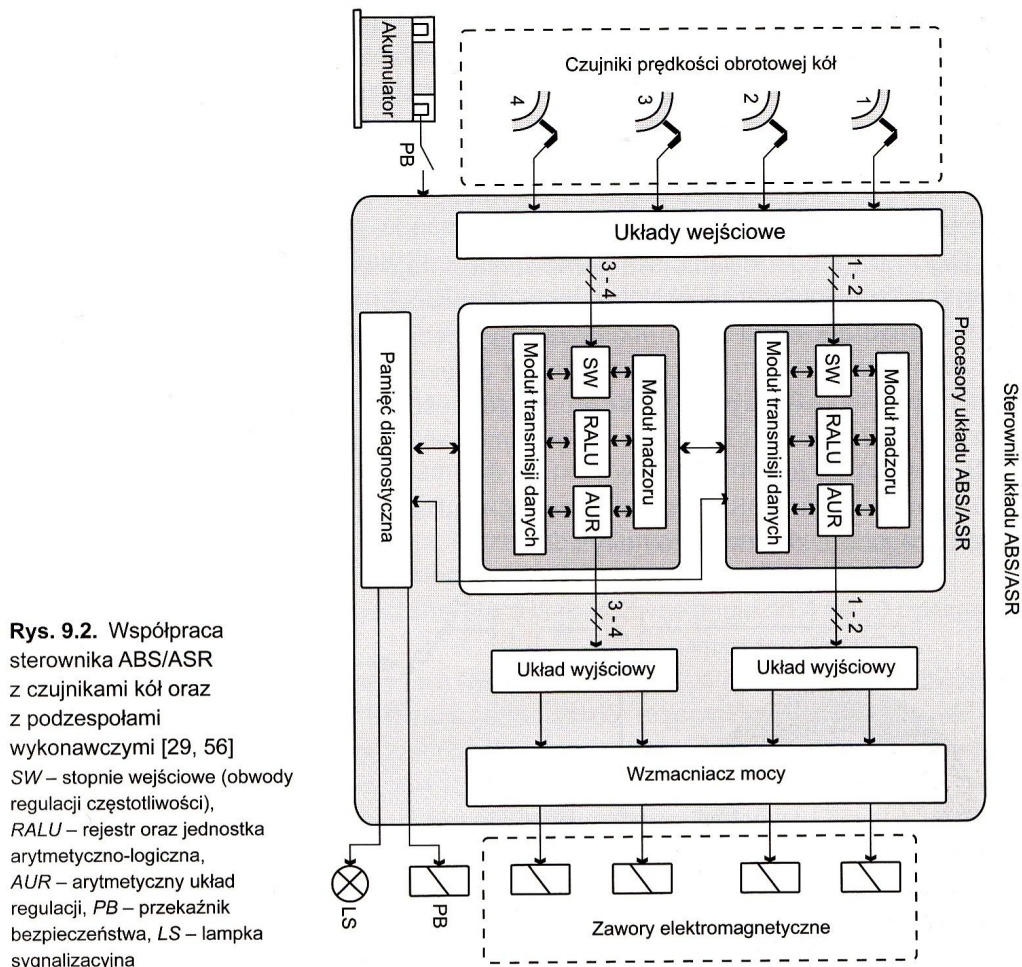
W skład układu ABS wchodzi następujące podzespoły (rys. 9.1): czujniki prędkości obrotowej kół, sterownik elektroniczny, zespół hydrauliczny oraz hamulce samochodu.

Czujniki prędkości obrotowej przekazują do elektronicznego sterownika sygnały, na podstawie których sterownik oblicza prędkość obwodową kół. Budowę i działanie tych czujników opisano w następnym podrozdziale.

Cechą charakterystyczną stosowanych obecnie rozwiązań układów ABS jest zintegrowana konstrukcja sterownika oraz elektrohydraulicznego zespołu wykonawczego. Specyficzną budowę sterownika układu ABS pokazano na rys. 9.2.

W sterowniku tym pracują niezależnie dwa procesory. Zadaniem tych procesorów jest równoległe przetwarzanie informacji przekazywanych oddzielnie przez pary kanałów nadzorujących i regulujących siłę hamowania kół pojazdu. Jeden z tych procesorów współpracuje z kanałem 1 i 2, drugi z kanałem 3 i 4. Każdy z tych kanałów współpracuje z odpowiednim kołem samochodu. W układzie trójkanałowym, gdy jest kontrolowana prędkość obu tylnych kół jednocześnie, procesor ten współpracuje z kanałem obsługującym te koła.

Dwuprocesorowe rozwiązanie sterownika ABS minimalizuje możliwość wystąpienia błędów w działaniu układu oraz eliminuje zwłokę czasową w przetwarzaniu sygnałów wyjściowych czujników prędkości obrotowej kół jezdnych. Za obróbkę i kondycjonowanie tych sygnałów odpowiedzialne są stopnie wejściowe SW obu procesorów. Na wejściu tych układów sygnał impulsowy z czujników jest zamieniany na ciągi 10-bitowe podlegające filtracji cyfrowej eliminującej zakłócenia, których przyczyną są drgania osi spowodowane wadliwą pracą amortyzatorów oraz nierównościami



powierzchni drogi. Poślizg, opóźnienie lub przyspieszenie obwodowe kół wyznaczają bloki *RALU*, których sygnał wyjściowy jest przekazywany do regulatorów adaptacyjnych uczących się zmiennych warunków pracy obiektu regulacji, jakim jest poruszający się samochód. Efektem działania wymienionych bloków są sygnały sterujące elektrozaworami obwodu hydraulicznego układu.

Ze względu na wymogi bezpieczeństwa i niezawodności działania sterownika praca obu procesorów jest monitorowana przez niezależne moduły nadzoru wykrywające błędy w ich działaniu. Moduły te również kontrolują wzajemnie swoje działanie.

Zespoły hydrauliczne w układzie ABS pełnią rolę elementów wykonawczych i ze względu na specyfikę działania są również nazywane modulatorami. Zespoły te są włączone między pompą hamulcową a hamulcami poszczególnych kół samochodu.

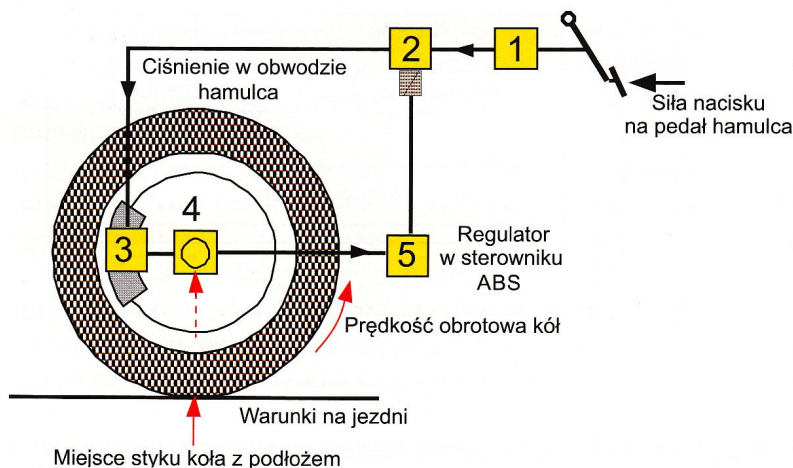
Działanie układu ABS polega na korekcie ciśnienia płynu w instalacji zasilającej hamulce odpowiednio do poślizgu, przyspieszenia lub opóźnienia danego koła.

Układ ABS rozpoczyna pracę, gdy prędkość samochodu będzie większa niż 6 km/h. Wówczas czujniki umieszczone na piastach obu przednich kół i przekładni

głównej mechanizmu różnicowego tylnych kół lub na piastach wszystkich czterech kół wytwarzają sygnały, na podstawie których sterownik układu oblicza prędkość obwodową tych kół. Jeśli wykryje możliwość utraty przyczepności i zablokowania koła, sygnały wykonawcze sterownika uruchamiają pompę odprowadzającą oraz elektrozawory kół w odpowiednich modulatorach hydraulicznych.

Hamulce kół przednich za pośrednictwem odpowiednich elektrozaworów są zasilane płynem hamulcowym o takim ciśnieniu, aby na każde z tych kół niezależnie od drugiego koła mogła działać siła hamowania o największej możliwej do uzyskania wartości. Do hamulców kół osi tylnej jest doprowadzone jednakowe ciśnienie, o wartości którego decyduje koło o mniejszej przyczepności. Taki rodzaj sterowania jest nazywany sterowaniem zgodnie z zasadą *Select Low*. Przy takim sposobie sterowania wpływ koła tylnego o większej przyczepności na ruch pojazdu jest w pełni wykorzystany. Zwiększa to długość drogi hamowania z jednoczesnym zwiększeniem stateczności pojazdu.

Działanie układu ABS potraktowanego jako układ regulacji, z samochodem w roli obiektu regulacji, zilustrowano na rys. 9.3.



Rys. 9.3. Układ ABS jako układ regulacji [29, 56]

1 – pompa hamulcowa, 2 – modulator sterujący zaworami hydraulicznymi, 3 – hamulec koła, 4 – czujnik prędkości obrotowej koła, 5 – sterownik układu ABS

W układzie tym wielkością regulowaną jest, w zależności od typu pojazdu, prędkość lub przyspieszenie kół albo poślizg podczas hamowania. Wielkością zadaną jest ciśnienie w pompie hamulcowej, którego wartość określa nacisk na pedał hamulca.

Podczas jazdy samochodu, w zależności od postaci sygnałów wytwarzanych przez czujniki prędkości obrotowej kół, sterownik ABS, pełniący rolę regulatora, zmienia odpowiednio ciśnienie w obwodzie hydraulicznym hamulców kół pojazdu. O wartości sygnałów wyjściowych czujników umieszczonych na osiach kół decydują zakłócenia procesu regulacji, jakimi są: stan nawierzchni, po której porusza się samochód, wykonywany manewr, stan hamulców oraz stan opon pojazdu.

Sposób przyjętego w danej sytuacji algorytmu działania regulatora (sterownika ABS) jest określony przede wszystkim wartością momentu obrotowego działającego na samochód. Moment taki występuje, gdy koła lewej i prawej strony pojazdu mają różną przyczepność. Ponadto sposób działania sterownika określają inne czynniki, takie jak rodzaj nawierzchni (czy jest ona śliska albo szorstka) oraz stan współpracy kół z jednostką napędową, gdy na pojazd działa moment obrotowy.

Większość produkowanych obecnie pojazdów wyposażono w tzw. trójkanałowy ABS. W układzie tym przednie koła pojazdu mają dwa odrębne obwody regulacyjne, na koła tylne zaś oddziałuje jeden obwód regulacyjny. W każdym obwodzie regulacyjnym zainstalowano zawory, które w zależności od wpływu czynników zewnętrznych:

- łączą pompę hamulcową z obwodem hydraulicznym i wzrasta siła hamowania koła;
- odcinają obwód hydrauliczny hamulca od pompy hamulcowej i modulatora ABS, czego skutkiem jest stała wartość siły hamowania koła;
- zmniejszają siłę hamowania koła, łącząc obwód hydrauliczny hamulca z modulatorem ABS zmniejszającym ciśnienie płynu hamulcowego w tym obwodzie.

W zależności od stanu nawierzchni sterownik ABS wykonuje od 4 do 10 cykli regulacyjnych na sekundę.

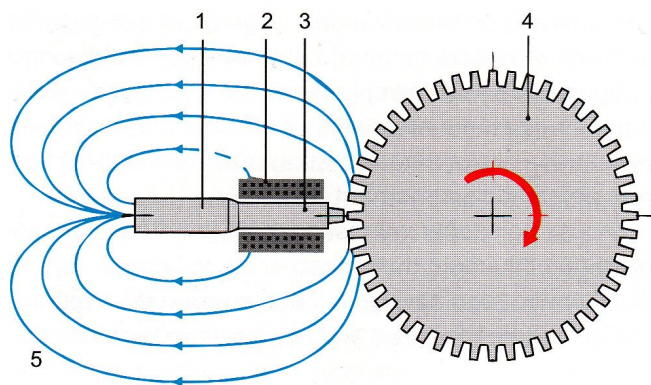
W starszych pojazdach z układem ABS2S lub ABS2E, w hydraulicznym obwodzie regulacji każdego kanału instalowano jeden zawór trójpołożeniowy (tzw. zawór 3/3 – 3 położenia/3 króćce), nowe zaś rozwiązania układów ABS (ABS5 i ABS8) wykorzystują 2 zawory dwupołożeniowe (tzw. zawór 2/2 – 2 położenia/2 króćce) i dzięki temu układ ABS może działać z większą liczbą cykli regulacyjnych, z jednoczesnym zmniejszeniem pulsowania pedału hamulcowego podczas hamowania z udziałem sterownika ABS. Działanie takich układów opisano odpowiednio w podrozdziałach 9.4 i 9.5.

9.2.2. Czujniki prędkości obrotowej kół

Do określania prędkości obrotowej kół jezdnych są wykorzystywane czujniki pasywne (indukcyjne) lub czujniki aktywne (magnetogalwaniczne).

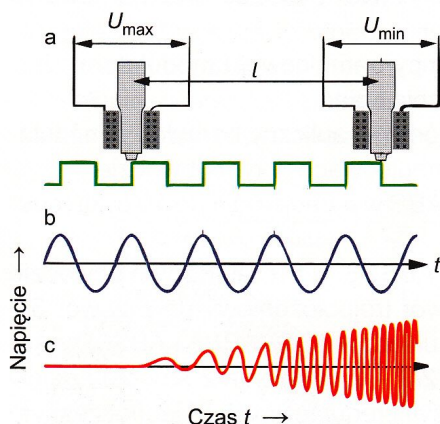
Budowę i działanie czujnika pasywnego wyjaśniono na rys. 9.4. Czujnik ten składa się z magnesu stałego 1 połączonego z trzpieniem biegunowym 3 z materiału magnetycznego miękkiego, na którym jest umieszczona cewka indukcyjna 2.

Trzpień biegunowy czujnika jest umieszczony w pobliżu uzębionego stalowego koła impulsowego zamocowanego na piaście koła jezdnych pojazdu. Odległość trzpienia biegunowego od koła impulsowego jest tak dobrana, aby linie sił pola magnetycznego, którego źródłem jest magnes stały, przenikały koło impulsowe. W trakcie obrotu koła pojazdu wirujące zęby koła impulsowego zakłócają pole magnetyczne czujnika. Zmienny strumień magnetyczny czujnika przenika cewkę nawiniętą na trzpieniu i indukuje w niej sinusoidalną siłę elektromotoryczną, której częstotliwość i amplituda wzrasta wraz ze wzrostem prędkości obrotowej koła samochodu (rys. 9.5).



Rys. 9.4. Zasada działania pasywnego czujnika prędkości obrotowej [3]

1 – magnes stały, 2 – cewka indukcyjna, 3 – trzpień biegunowy, 4 – stalowe koło impulsowe, 5 – linie pola magnetycznego



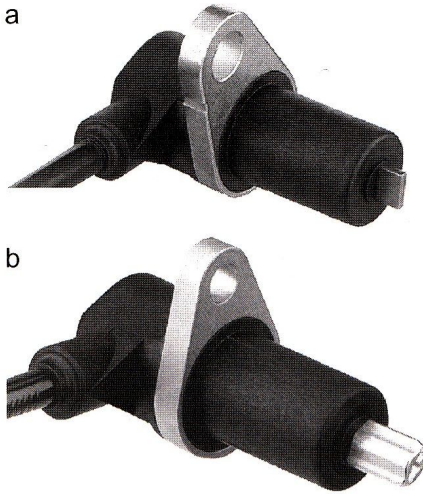
Rys. 9.5. Napięciowy sygnał wyjściowy pasywnego czujnika prędkości obrotowej [3]

a – czujnik pasywny z kołem impulsowym, b – napięciowy sygnał wyjściowy czujnika przy stałej prędkości obrotowej koła, c – napięciowy sygnał wyjściowy czujnika przy wzrastającej prędkości obrotowej koła

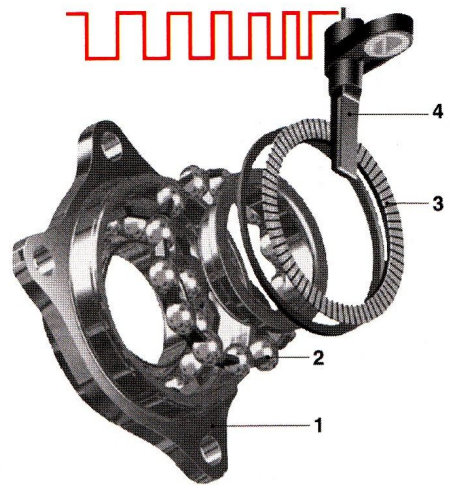
Sposób zamontowania czujnika zależy od typu pojazdu i jest określony kształtem trzpienia biegunowego. W czujnikach jest montowany najczęściej trzpień płaski – płetwowy (rys. 9.6a) lub trzpień w kształcie rombu (rys. 9.6b). Czujniki z takimi trzpieniami muszą być montowane dokładnie nad kołem impulsowym z małą szczeliną powietrzną. Małe wymiary szczeliny powietrznej powodują, że na pracę czujnika mogą mieć wpływ zanieczyszczenia powierzchni koła impulsowego materiałami ferromagnetycznymi. Kolejną wadą czujników pasywnych jest ich mała czułość, spowodowana sygnalizowaną wcześniej zależnością amplitudy i częstotliwości napięcia wyjściowego od prędkości obrotowej koła. Mankament ten ogranicza wartość minimalnej prędkości obrotowej mierzonej przez czujnik.

Oprócz czujników pasywnych do pomiaru prędkości obrotowej kół są wykorzystywane czujniki aktywne z elementami magnetołącznymi. Element taki jest integralną częścią krzemowego układu scalonego zamontowanego w głowicy czujnika współpracującej z kołem impulsowym. W odróżnieniu od czujników pasywnych czujniki aktywne charakteryzują się dużą czułością i dzięki temu reagują na bardzo małe zmiany pola magnetycznego. Dlatego czujniki aktywne mogą być montowane w większej odległości od koła impulsowego niż czujniki pasywne.

W czujnikach aktywnych do wykrywania zmian pola magnetycznego, wywołanych obrotem koła impulsowego, są stosowane hallotrony. Czujniki pasywne współpracują z uzębionym kołem stalowym. Natomiast czujniki aktywne wykorzystujące efekt Halla współpracują z kołem impulsowym w postaci wielobiegunowego pierścienia magnetycznego (rys. 9.7). Sposób współpracy czujnika z wielobiegunowym pierścieniem magnetycznym przedstawiono na rys. 9.8.



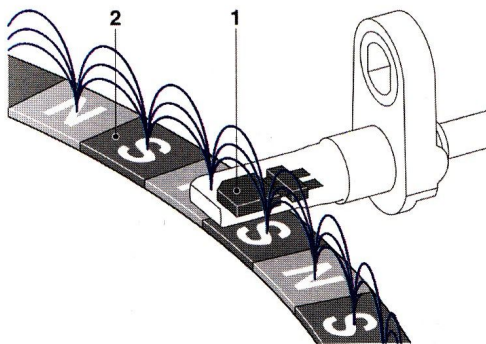
Rys. 9.6. Pasywne czujniki prędkości obrotowej kół: z trzpieniem płaskim (a), z trzpieniem o kształcie rombu (b) [3]



Rys. 9.7. Wielobiegunowy nadajnik impulsów wbudowany w łożysko koła [3]

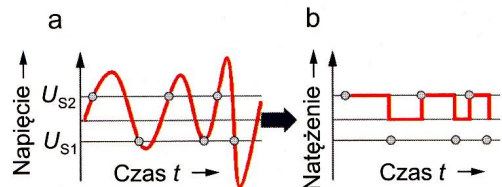
1 – piasta koła, 2 – łożysko kulkowe, 3 – magnetyczny pierścień wielobiegunowy, 4 – aktywny czujnik prędkości obrotowej koła

Sygnałem wyjściowym aktywnego czujnika prędkości obrotowej kół z elementem Halla jest sygnał cyfrowy przesyłany do sterownika ABS w postaci sygnału prądowego z modulacją szerokości impulsów. Taki sposób transmisji sygnału między czujnikiem i sterownikiem eliminuje wpływ zakłóceń zewnętrznych na przekaz informacji o prędkości obrotowej koła. W wyjściowym sygnale prądowym czujnika niski poziom logiczny reprezentuje 7 mA, a wysokiemu poziomowi logicznemu odpowiada 14 mA. Czujnik może być zasilany napięciem 4,5...20 V. Sposób formowania impulsów prądowych z napięciowego sygnału wyjściowego czujnika Halla, który odwzorowuje prędkość obrotową koła, pokazano na rys. 9.9.



Rys. 9.8. Współpraca głowicy czujnika aktywnego z wielobiegunowym pierścieniem magnetycznym [3]

1 – aktywny element czujnika, 2 – wielobiegunowy pierścień magnetyczny



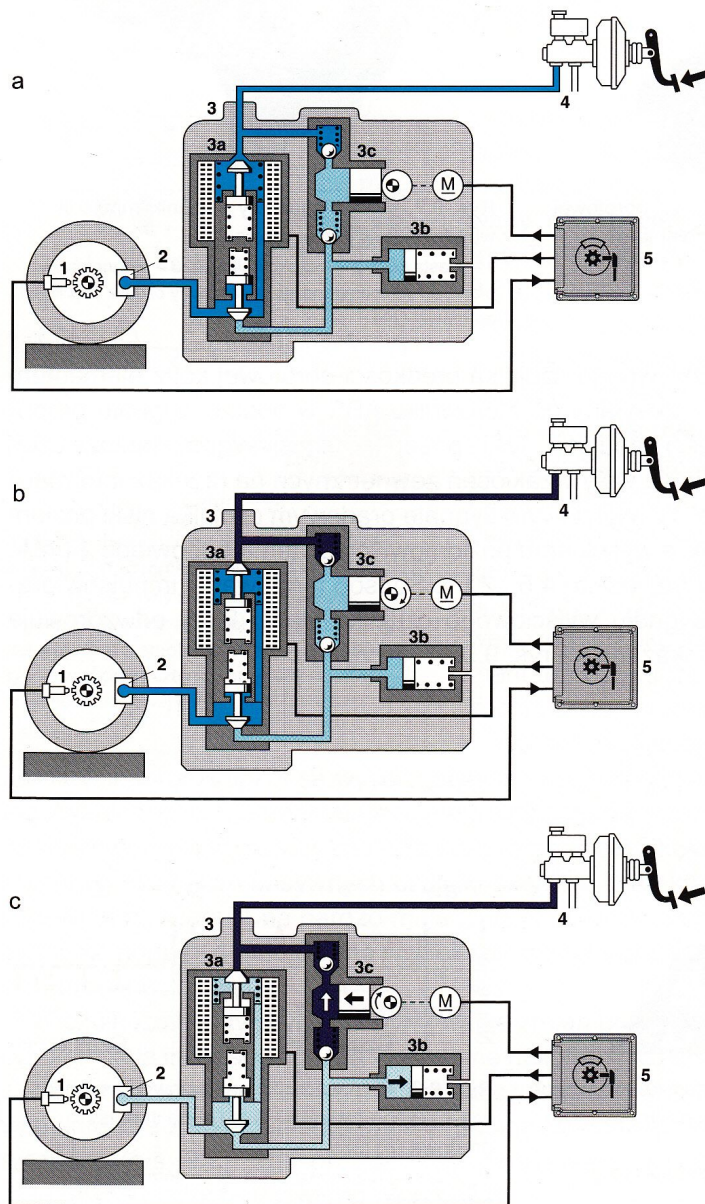
Rys. 9.9. Przetwarzanie napięciowego sygnału wyjściowego czujnika Halla na impulsy prądowe (b) [3]

U_{S1} – dolny próg przełączania, U_{S2} – górny próg przełączania

9.2.3. Układ z elektrozaworami 3/3

Firma Bosch w roku 1978 wprowadziła na rynek samochodowy układy ABS2S sterowane elektronicznie. Układy te do sterowania zespołów hydraulicznych układów hamulcowych kół jezdnych pojazdu wykorzystywały trójpoleżeniowe zawory elektromagnetyczne z trzema króćcami (przylączami) – tzw. zawory 3/3 (3 położenia i 3 króćce).

W układzie ABS2S zespół zaworów hydraulicznych oraz sterownik stanowiły odrębne konstrukcje. Układ ten funkcjonował najczęściej w wersji 4-kanalowej o ogra-



Rys. 9.10. Działanie układu ABS2S: zwiększanie ciśnienia (a), utrzymanie ciśnienia (b), zmniejszanie ciśnienia (c) [29]

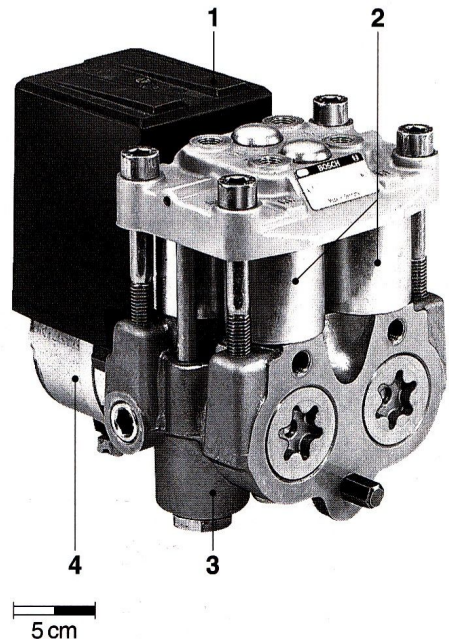
1 – czujnik prędkości obrotowej kół, 2 – cylinder hamulca, 3 – modulator (zespół hydrauliczny), 3a – elektrozawór 3/3, 3b – zbiornik wyrównawczy (akumulator hydrauliczny), 3c – pompa zwrotna odprowadzająca płyn hamulcowy, 4 – pompa hamulcowa, 5 – sterownik

niczonych możliwościach. Liczba kanałów układów ABS oznacza liczbę kół sterowanych niezależnie. W układach 3-kanałowych sterowane niezależnie są dwa koła przednie oraz oba koła tylne i niezbędne są trzy elektrozawory regulujące siłę hamowania każdego kanału. W odróżnieniu od układu 3-kanałowego, w układzie 4-kanałowym istnieje możliwość regulacji siły hamowania każdego koła oddzielnie za pomocą czterech elektrozaworów trójstanowych. Dla uproszczenia obsługi programowej oba elektrozawory osi tylnej są sterowane wspólnie. Działanie układu ABS2S w różnych stanach pracy przedstawiono na rys. 9.10.

W sytuacji gdy koła pojazdu toczą się z jednakową prędkością, układ ABS nie działa, czego objawem jest brak przepływu prądu przez elektrozawory (rys. 9.10a), które pozwalają na swobodny przepływ płynu hamulcowego między pompą 4 i cylindrami 2 hamulców kół pojazdu. Nacisk na pedał hamulca powoduje wzrost ciśnienia w układzie hydraulicznym, którego skutkiem jest wzrost siły hamowania.

Wykrycie przez sterownik układu, na podstawie sygnałów dostarczanych przez czujniki 1, zmniejszenia prędkości obrotowej koła w stosunku do prędkości odniesienia powoduje wysterowanie elektrozaworu tego koła prądem o wartości równej połowie wartości maksymalnej (rys. 9.10b). Przy takiej wartości prądu sterującego dopływ płynu hamulcowego do cylindra 2 jest odcięty. Odcięty jest również odpływ płynu z cylindra. Taka konfiguracja układu nie pozwala na wzrost siły hamowania, ponieważ ciśnienie płynu hamulcowego ma stałą wartość.

Jeśli po zadanych czasie obroty koła nie zmniejszają się lub koło nadal zwalnia, do elektrozaworu jest doprowadzony prąd o wartości maksymalnej (rys. 9.10c). Powoduje to odcięcie dopływu płynu z pompy hamulcowej 4 i udrożnienie odpływu tego płynu do zbiornika wyrównawczego 3b, czego skutkiem jest zmniejszenie ciśnienia w cylindrze 2 i zmniejszenie siły hamowania koła. Prędkość obrotowa koła wzrasta dzięki wzrostowi siły tarcia o nawierzchnię. Po osiągnięciu przez koło prędkości odniesienia sterownik ABS odcina dopływ prądu do elektrozaworu, który wraca do pozycji wyjściowej (rys. 9.10a). W takiej pozycji odpływ płynu hamulcowego z cylindra 2 jest odcięty i nacisk na pedał hamulca powoduje wzrost siły hamowania. Przedstawiony cykl regulacji ciśnienia jest powtarzany przez sterownik do czasu zatrzymania pojazdu lub zwolnienia nacisku na pedał hamulca przez kierowcę. Liczba roboczych cykli regulacji zależy od szybkości działania sterownika ABS i może wynosić od 4 do 10 w ciągu sekundy.



Rys. 9.11. Zespół hydrauliczny układu ABS2S [29]

1 – skrzynka z przełącznikami elektrozaworów i silnika pompy odprowadzającej, 2 – zawór elektromagnetyczny 3/3, 3 – akumulator hydrauliczny, 4 – pompa odprowadzająca

W trakcie regulacji siły hamowania kierowca odczuwa pulsowanie pedału hamulca, co sygnalizuje prawidłowe działanie układu ABS. Przyczyną tego pulsowania jest przepompowywanie płynu ze zbiornika wyrównawczego 3b do pompy hamulcowej 4 przez pompę zwrotną 3c. Dzięki temu podczas regulacji siły hamowania nie ma spadku ciśnienia płynu w pompie hamulcowej. Elektrozawór 3/3 3a, zbiornik wyrównawczy 3b oraz pompa zwrotna 3c są wykonane w postaci metalowego monolitycznego zespołu hydraulicznego nazywanego modulatorem ABS. Widok zewnętrzny zespołu hydraulicznego (modulatora) układu ABS2S przedstawiono na rys. 9.11.

Oprócz obsługi układu ABS, w trakcie jazdy sterownik tego układu sprawdza działanie modulatora oraz wszystkich urządzeń zewnętrznych. W tym celu po każdym zatrzymaniu pojazdu oraz na początku jazdy jest inicjowany test diagnostyczny. W trakcie tego testu są sprawdzane przede wszystkim obwody nadzorujące pracę ABS.

Test autodiagnostyki polega na symulacji błędów tych obwodów. Ponadto są sprawdzane części układu ABS, które w trakcie jazdy bez udziału tego układu nie są aktywne.

W przypadku wykrycia błędu układ ABS jest wyłączany i zaczyna świecić odpowiednia lampka kontrolna znajdująca się w zestawie przyrządów. Lampka ta informuje kierowcę, że działa tylko klasyczny układ hamulcowy.

Oprócz układów ABS2S firma Bosch opracowała układ ABS2E. W układzie tym zamiast elektrozaworu 3/3 zastosowano zespół z tłokiem pływakowym lub nurnikowym.

9.2.4. Układ z elektrozaworami 2/2

Doświadczenia zdobyte w trakcie eksploatacji układu ABS2S przez konstruktorów firmy Bosch pozwoliły na opracowanie nowego układu ABS oznaczonego symbolem ABS5. W układzie tym trójpołożeniowy elektrozawór 3/3 zastąpiono dwoma elektrozaworami 2/2 (dwa położenia/dwa króćce) wlotowymi i wylotowymi w każdym hamulcu (rys. 9.12). Zastąpienie elektrozaworu 3/3 dwoma elektrozaworami 2/2 pozwoliło na szybsze i bardziej precyzyjne modulowanie ciśnienia niż w układzie ABS2S.

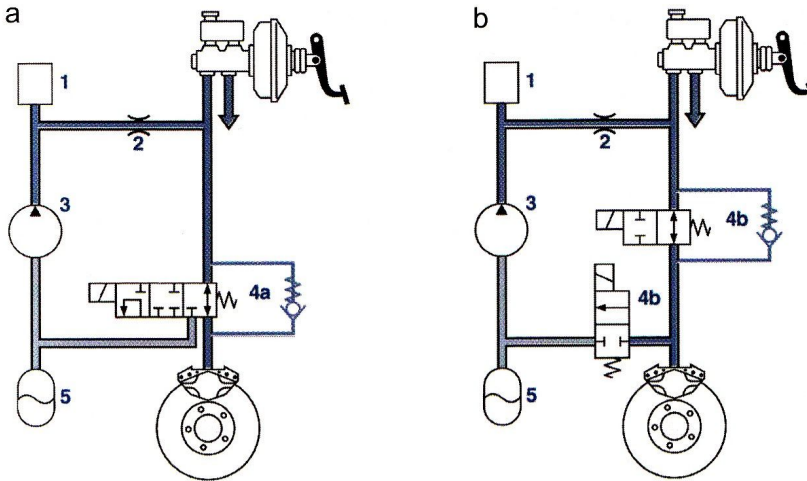
W skład zespołu hydraulicznego układu ABS5, podobnie jak zespołu układu ABS2S wchodzi:

- pompa zwrotna 3,
- zbiornik wyrównawczy 5,
- komora tłumiąca 1,
- elektrozawory 2/2 4b.

Cewki napędowe elektrozaworów 2/2 są integralną częścią układu elektronicznego i dlatego układ ABS5 ma budowę modułową i składa się z dwóch bloków: zespołu hydraulicznego oraz bloku sterownika elektronicznego. Pozwala to na oddzielne sprawdzanie i montaż zespołu hydraulicznego oraz sterownika.

Widok zespołu hydraulicznego (modulatora) układu ABS5 przedstawiono na rys. 9.13.

Kolejną różnicą między układami ABS2S i ABS5 jest budowa sterownika nadzorującego pracę tych układów. W odróżnieniu od sterownika układu ABS2S, w sterowniku



Rys. 9.12. Schematy układów hydraulicznych ABS2S (a) oraz ABS5 (b) [29]

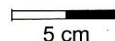
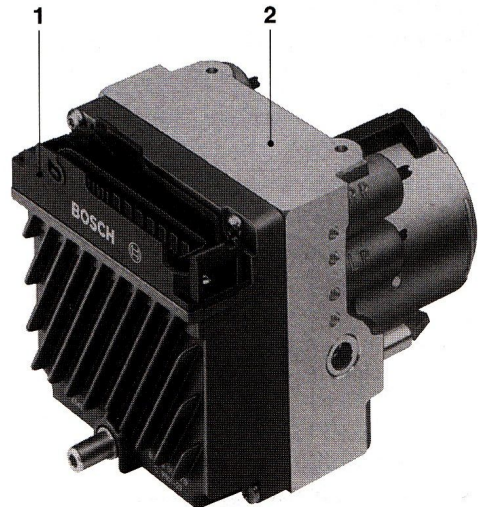
1 – komora tłumiąca, 2 – zwężka, 3 – pompa zwrotna, 4a – elektrozawór 3/3, 4b – elektrozawór 2/2, 5 – zbiornik wyrównawczy (akumulator hydrauliczny)

układu ABS5 zastosowano procesory nadmiarowe z oprogramowaniem kontrolnym. Budowę i funkcjonowanie takiego sterownika opisano w podrozdziale 9.2.1.

Układ ABS5 może być konfigurowany w strukturach dwuobwodowych typu II (równoległej) lub typu X (krzyżowej). W układzie typu II każdy obwód hamuje jedną oś pojazdu. Układ typu X ma rozdział sił hamowania po przekątnej. Każdy obwód hamuje jedno koło przednie i jedno koło tylne. Obwód hydrauliczny takiego układu ABS5 typu X przedstawiono na rys. 9.14, a przebieg prędkości obrotowej koła oraz sygnały sterujące zaworami zespołu hydraulicznego (modulatora) w trakcie cyklu regulacji prędkości obrotowej koła – na rys. 9.15.

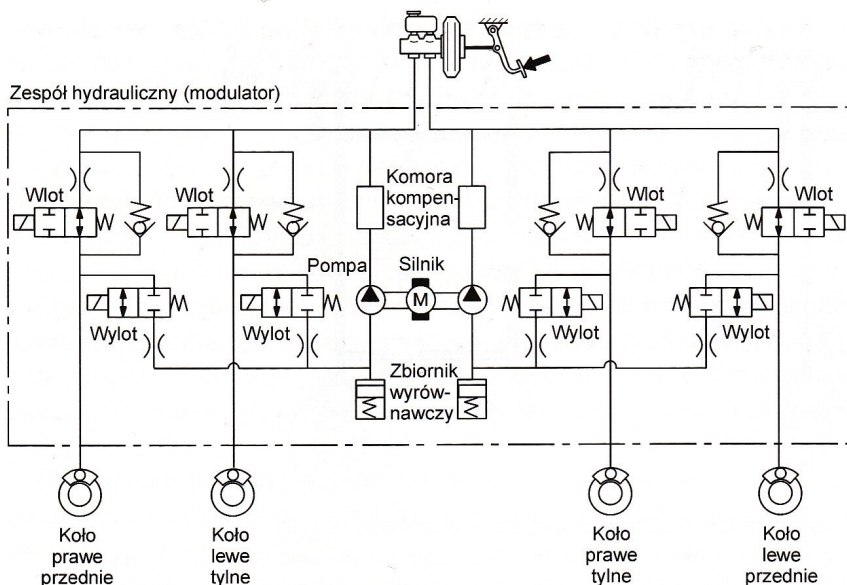
Sposób działania układu z rys. 9.14 jest następujący. Podczas normalnego hamowania zawory wlotowe są otwarte, a zawory wylotowe – zamknięte. W takim stanie pracy układu po wciśnięciu pedału hamulca ciśnienie płynu z pompy hamulcowej jest swobodnie przekazywane do rozpie-raczy hamulców wszystkich kół pojazdu.

Wykrycie przez jeden z czujników prędkości obrotowej kół opóźnienia jednego koła powoduje, że sterownik ABS przekazuje do cewek napędowych zaworów wlotowego i wylotowego tego koła sygnały prądowe zamykające te zawory. Skutkiem



Rys. 9.13. Modulator układu ABS5 [29]

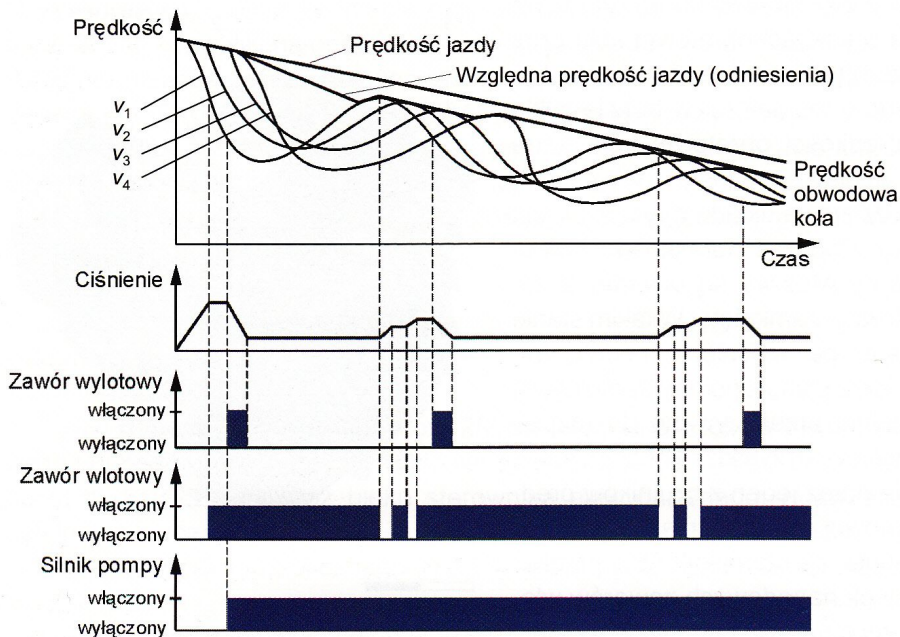
1 – sterownik, 2 – zespół hydrauliczny



Rys. 9.14. Obwód hydrauliczny układu ABS5 typu X [18]

zamknięcia obu zaworów jest utrzymanie ciśnienia w cylindrze hamulcowym koła na stałym poziomie. Oznacza to, że siła hamowania koła ma stałą wartość.

Jeśli przy stałej sile hamowania opóźnienie koła nadal wzrasta, sterownik ABS otwiera zawór wylotowy, odcinając dopływ prądu do cewki napędowej tego zaworu.



Rys. 9.15. Przebieg prędkości obwodowej koła i sygnały sterujące zaworami zespołu hydraulicznego [18]

Pompa zwrotna odprowadza płyn z cylindra hamulca do zbiornika wyrównawczego i siłą hamowania koła maleje.

Pompa zwrotna jest uruchamiana przez sterownik ABS zawsze, gdy należy zmniejszyć siłę hamowania działającą na koło z opóźnioną względem wartości odniesienia prędkością obrotową. Wówczas płyn hamulcowy z cylinderków jest odprowadzany ze zbiornika wyrównawczego do pompy hamulcowej za pośrednictwem komory kompensacyjnej. W trakcie cyklu regulacji pompa cały czas pracuje i jest wyłączana dopiero po zakończeniu tego cyklu.

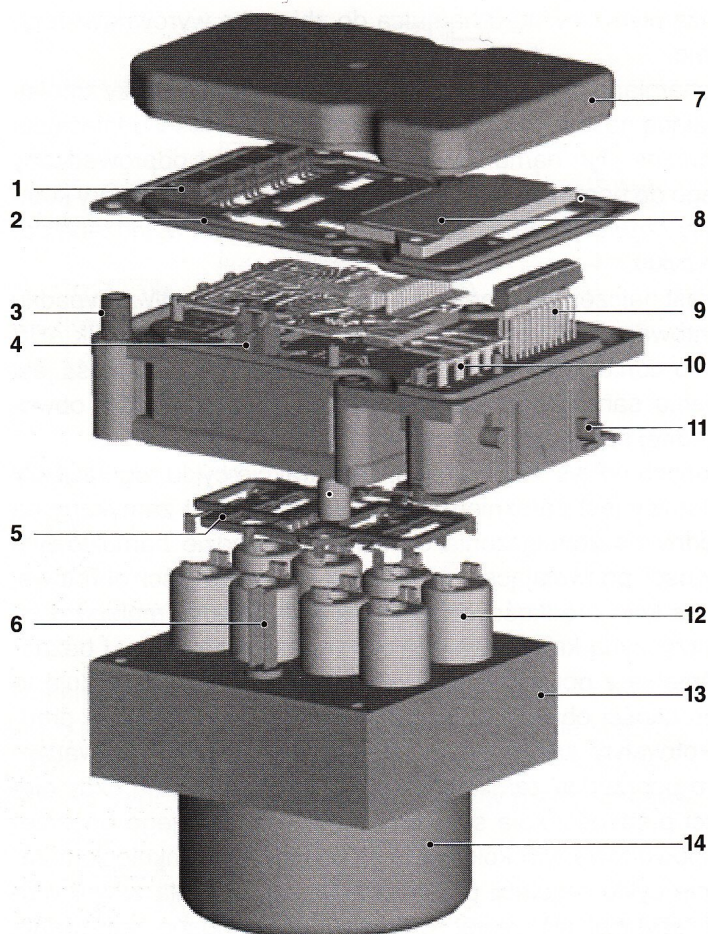
Prędkością odniesienia jest najczęściej prędkość koła najszybszego. W przypadku gdy kołem tym jest zamontowane koło zapasowe o innej średnicy, sterownik ABS rozpoznaje ten fakt i jako koło odniesienia wybierze koło inne, którego prędkość jest największa. Miarą opóźnienia samochodu jest zmniejszanie się prędkości obwodowej tego koła w czasie jednej sekundy.

Z wykresów przedstawionych na rys. 9.15 wynika, że w trakcie cyklu regulacji siły hamowania, gdy zawór wlotowy jest zamknięty, zawór wylotowy jest zamykany na bardzo krótki czas niezbędny do zmniejszenia ciśnienia w układzie hamulcowym koła opóźnionego do wartości pozwalającej na zwiększenie prędkości obrotowej tego koła. Osiągnięcie przez koło prędkości obwodowej zbliżonej lub mniejszej od wartości odniesienia jest przyczyną krótkotrwałego otwarcia obu zaworów i bezpośredniego przekazania ciśnienia z pompy hamulcowej do cylinderka. Powoduje to minimalne zmniejszenie prędkości obwodowej koła. Dalsze zmniejszenie tej prędkości następuje przy krótkotrwałym zamknięciu zaworu wlotowego (przy otwartym zaworze wylotowym), które poprzedza zamknięcie zaworu wlotowego na czas niezbędny do zmiany wartości prędkości koła spowodowanej kolejnym jego opóźnieniem i przyspieszaniem, spowodowanym kolejnym krótkotrwałym zamknięciem zaworu wylotowego. W trakcie cyklu regulacji prędkości obwodowej koła zawór wlotowy musi być zamykany szybciej niż zawór wylotowy. Taki sposób sterowania zaworami eliminuje wpływ czasu zamykania elektrozaworów zespołu hydraulicznego (modulatora) na pracę układu ABS.

Budowę i działanie sterownika układu ABS5 wyjaśniono w podrozdziale 9.2.1. Sterownik ten kontroluje na bieżąco czujniki i elektrozawory wykorzystywane przez układ oraz wyłącznik świateł hamowania. Ponadto do zadań sterownika należą:

- nadzór nad pracą pompy zwrotnej;
- wykrywanie przerw w obwodach sterujących elektrozaworami;
- pomiar prędkości obwodowej kół i wyznaczanie prędkości odniesienia;
- wyznaczanie poślizgu kół;
- kontrola czasu wystawiania elektrozaworów zespołu hydraulicznego;
- wyznaczanie błędów pomiaru spowodowanych zakłóceniami zewnętrznymi.

Każdorazowo po rozpoczęciu jazdy i przekroczeniu przez pojazd prędkości 6 km/h sterownik układu ABS5 uruchamia na krótki czas elektrozawory i pompę zwrotną zespołu hydraulicznego. W trakcie pracy tych podzespołów sprawdza pracę stopnia końcowego mocy. Jeśli wymienione wcześniej testy kontrolne dają wynik negatywny (tzn. wykryty jest błąd), następuje wyłączenie układu ABS i jest włączana lampka informująca kierowcę o uszkodzeniu tego układu. W zależności od przyczyny, wykrycie



Rys. 9.16. Modulator układu ABS8 [29]

1 – przełącznik elektroniczny, 2 – płyta drukowana, 3 – izolator przepustowy, 4 – gniazdo wtykowe silnika elektrycznego, 5 – połączenia uzwojeń, 6 – wtyk silnika, 7 – pokrywa, 8 – układ mikrohybrydowy, 9 – połączenia układu, 10 – połączenia wzmacniaczy mocy, 11 – obudowa, 12 – uzwojenia cewek elektrozaworów, 13 – jednostka hydrauliczna, 14 – silnik napędowy pompy odprowadzającej

błędu w trakcie pracy układu może spowodować natychmiastowe jego wyłączenie. Kod wykrytego błędu jest zapisywany w pamięci diagnostycznej i może być odczytany przez złącze OBD w stacji serwisującej pojazd.

Do pojazdów z małymi układami hamulcowymi firma Bosch opracowała układ ABS5.3. W porównaniu z ABS5 układ ten wykorzystuje zespół hydrauliczny (modulator) o niewielkich gabarytach.

Najnowszym produktem firmy Bosch wykorzystującym technikę mikrohybrydową jest układ ABS8. Układ ten charakteryzuje się:

- indywidualną regulacją siły hamowania każdego koła;
- elektronicznym rozdziałem sił hamowania kół;
- wykorzystaniem tzw. cichych zaworów (LMV), które pozwalają na pracę obwodów hydraulicznych poszczególnych kół bez komór tłumiących i dzięki temu następuje zmniejszenie pulsowania pedału hamulca;
- niskim poziomem hałasu podzespołów modulatora.

Budowę zespołu hydraulicznego układu ABS8 przedstawiono na rys. 9.16.

9.3. Układ przeciwoślizgowy (ASR)

9.3.1. Działanie układu

Zadaniem układu ASR jest zapobieganie obracaniu się kół napędowych pojazdu w miejscu podczas ruszania oraz w trakcie przyspieszania, przez utrzymanie ich poślizgu w optymalnym zakresie wartości. Działanie tego układu jest odwrotne do działania układu ABS i stanowi jego uzupełnienie w zakresie małych prędkości – do ok. 40 km/h.

Układ przeciwoślizgowy (ASR) korzysta z tych samych czujników prędkości obrotowej kół, co układ ABS. Funkcjonowanie obu układów jest również nadzorowane przez ten sam sterownik, w pamięci którego jest zapisane odpowiednie oprogramowanie obsługujące oba układy (rys. 9.1).

Układy ABS/ASR są dostosowane do rodzaju silnika napędzającego pojazd z możliwością oddziaływania na układ hamulcowy, przepustnicę oraz układ zapłonowy (silniki ZI) lub układ wtryskowy (silniki ZS).

W celu dostosowania modulatora ABS do realizacji funkcji ASR do jego obwodu hydraulicznego oprócz podzespołów niezbędnych do prawidłowej pracy układu ABS jest włączony zawór przełączający zmieniający funkcje modulatora. Rodzaj zaworu przełączającego zależy od rodzaju zaworów wykorzystywanych przez układ ABS. Po przejściu na pracę ASR pompa zwrotna układu ABS przetłacza płyn z pompy hamulcowej, zwiększając ciśnienie w cylinderku hamulcowym koła, które utraciło przyczepność.

Układ ASR zaczyna działać, gdy podczas ruszania lub przyspieszania sterownik ABS/ASR wykryje utratę przyczepności co najmniej jednego koła. Przyczyną utraty przyczepności jest przekroczenie przez moment napędowy przekazywany na koła pojazdu wartości maksymalnej, która może być przeniesiona na nawierzchnię jezdni. Jeśli jedno z kół pojazdu straci przyczepność, jego prędkość obwodowa wzrasta i pojazd może stracić stabilność. Przyczyną tego zjawiska jest zmniejszenie siły napędowej z jednoczesnym zmniejszeniem przenoszenia sił bocznych. Aby nie dopuścić do utraty stabilności, uaktywniany jest układ ASR, zmieniający moment napędowy przekazywany do kół tak, aby pojazd poruszał się stabilnie.

W zależności od sposobu realizacji znane i stosowane są trzy sposoby przeciwdziałania poślizgowi kół.

Pierwszy sposób polega na wykorzystaniu układu hamulcowego. Jeśli w trakcie ruszania lub przyspieszania co najmniej jedno koło napędowe utraciło przyczepność, to siła hamowania działająca na to koło jest zwiększana.

Drugim sposobem jest zmniejszenie momentu napędowego silnika przez chwilowe odcięcie zapłonu (silniki ZI) lub przestawienie początku wtrysku (silniki ZS). Odcięcie zapłonu jest stosowane w pojazdach z silnikiem ZI sterowanym przez układ Motronic, który do regulacji poślizgu kół napędowych wykorzystuje czasowe wyłączenie zapłonu oraz wtrysku paliwa. Po wykryciu poślizgu co najmniej jednego koła napędowego sterownik układu Motronic zmniejsza moment obrotowy silnika przez opóźnienie zapłonu. Jeśli zmniejszenie momentu obrotowego silnika nie eliminuje poślizgu koła, następuje krótkotrwałe odłączenie zapłonu oraz wtrysku paliwa do cylindrów w celu ochrony katalizatora.

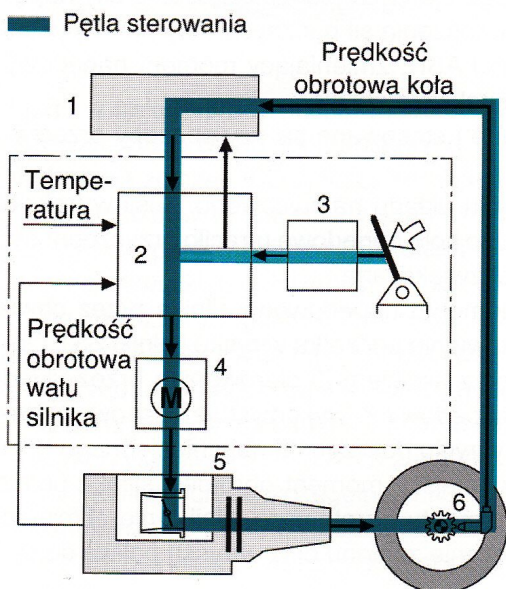
Eliminacja poślizgu kół napędowych pojazdów z silnikiem o zapłonie samoczynnym polega na przestawieniu początku wtrysku z jednoczesnym ograniczeniem dawki wtryskiwanego paliwa.

Trzeci sposób regulacji poślizgu kół napędowych jest modyfikacją sposobu drugiego – moment obrotowy silnika jest ograniczany przez przemykanie przepustnicy za pośrednictwem układu elektronicznej regulacji mocy silnika (EMS) lub za pomocą dodatkowego podzespołu nastawczego – siłownika lub silnika wykonawczego. Znane są również rozwiązania z dodatkową przepustnicą regulacyjną zamontowaną przed przepustnicą główną.

W nowych pojazdach, w czasie pracy układu ASR do regulacji momentu napędowego przekazywanego na koła pojazdu za pomocą przepustnicy jest wykorzystywany elektroniczny pedał przyspieszenia (EGAS), stosowany zamiast pedału mechanicznego. Sposób sterowania pracą silnika za pomocą pedału elektronicznego wyjaśniono na rys. 9.17.

W pojazdach wyposażonych w EGAS sterownik ABS/ASR na podstawie sygnału wyjściowego czujnika położenia tego pedału i na podstawie sygnałów wyjściowych czujników temperatury oraz prędkości obrotowej silnika, po uwzględnieniu danych zapisanych w pamięci, generuje sygnał prądowy sterujący nastawnikiem przepustnicy (silniki ZI) lub dźwignią sterującą pompą wtryskową (silniki ZS), zmieniając wartość momentu obrotowego silnika napędowego.

Gdy czujniki prędkości obrotowej kół wykryją, że co najmniej jedno koło utraciło przyczepność, sterownik ABS/ASR spowoduje przyhamowanie tego koła przez zmianę funkcji modulatora hydraulicznego oraz zredukuje moment obrotowy silnika. Dzięki temu będzie utrzymywana optymalna wartość poślizgu kół, stabilizująca ruch pojazdu. Na rysunku 9.17 pętlę sterowania momentem obrotowym silnika z udziałem EGAS zaznaczono szarą, pogrubioną linią.



Rys. 9.17. Sterowanie pracą silnika w czasie pracy układu ASR, za pomocą elektronicznego pedału przyspieszenia (EGAS) [54]

1 – sterownik ABS/ASR, 2 – układ sterujący z funkcją EGAS, 3 – czujnik położenia pedału przyspieszenia, 4 – nastawnik, 5 – przepustnica (silniki ZI) lub pompa wtryskowa (silniki ZS), 6 – czujniki prędkości obrotowej kół

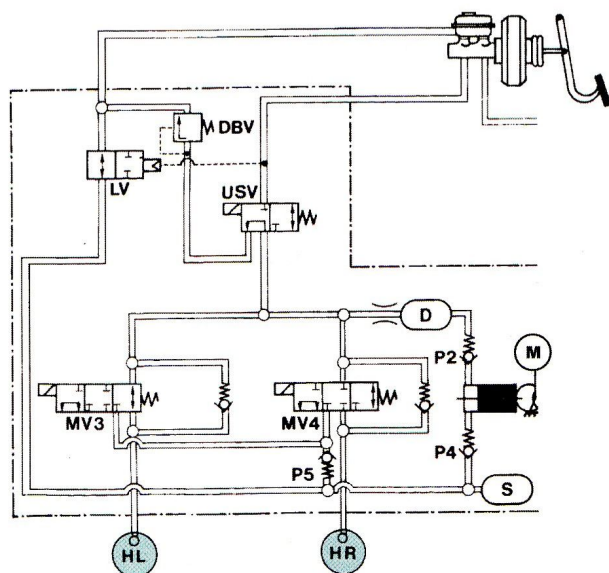
Do stabilizacji ruchu pojazdów wyższej klasy również jest wykorzystywany układ regulacji momentu hamującego silnika napędowego (MSR). Układ ten zaczyna działać w trakcie redukcji biegów lub po gwałtownym zdjęciu nogi z pedału przyspieszenia, gdy pojazd porusza się po śliskiej nawierzchni. W takich warunkach następuje hamowanie ruchu pojazdu za pomocą silnika i może dojść do poślizgu kół napędowych. Aby ograniczyć wpływ krótkotrwałego zahamowania na stateczność pojazdu, układ MSR zwiększa moment obrotowy silnika.

9.3.2. Układ z elektrozaworami 3/3

Przystosowanie układu ABS2S do pracy w roli układu przeciwoślizgowego polegało na włączeniu do obwodu hydraulicznego tego układu dwóch elektrozaworów: rozdzielającego 3/2 (*USV*) i napełniającego 2/2 (*LV*) oraz mechanicznego ogranicznika ciśnienia (*DBV*). Ponadto do obwodu hydraulicznego jest włączony przewód łączący zbiornik płynu hamulcowego z króćcem pompy zwrotnej (rys. 9.18). Układ ABS2S po modyfikacji nosi nazwę ASR2.

W sytuacji poślizgu co najmniej jednego z kół napędowych sterownik ABS/ASR uaktywnia zawór rozdzielający, rozpieracz hamulca w kole o zbyt dużej prędkości obwodowej oraz pompę zwrotną. Zawór rozdzielający blokuje odpływ płynu do pompy hamulcowej, a pompa zwrotna poprzez otwarty zawór napełniający zasysa płyn hamulcowy ze zbiornika głównego i zwiększa ciśnienie w rozpieraczu hamulca koła obracającego się z poślizgiem. Jest to możliwe, ponieważ zawór 3/3 koła regulowanego jest w stanie bezprądowy i jest otwarty, natomiast zawór koła nieregulowanego jest zamknięty, ponieważ ma cewkę zasilaną prądem generowanym przez sterownik ABS/ASR.

Do ograniczenia przyrostu ciśnienia płynu w obwodzie hamulca koła z poślizgiem, w czasie pracy pompy zwrotnej, jest przeznaczony mechaniczny ogranicznik ciśnienia.



Rys. 9.18. Obwód hydrauliczny układu ASR2 [18]

DBV – mechaniczny ogranicznik ciśnienia,
LV – elektrozawór napełniający 2/2,
USV – elektrozawór rozdzielający 3/2,
MV3 – elektrozawór hamulca lewego tylnego koła 3/3, *MV4* – elektrozawór hamulca prawego tylnego koła 3/3, *P2*, *P4*, *P5* – mechaniczne zawory przelewowe, *S* – zbiornik wyrównawczy (akumulator hydrauliczny), *HL*, *HR* – hamulce kół tylnych lewy i prawy

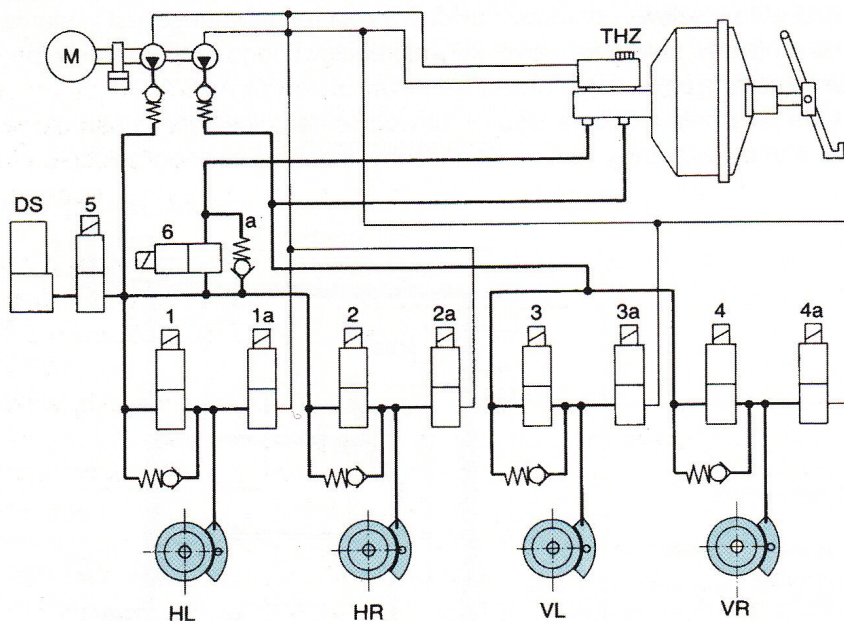
Kiedy koło regulowane odzyskuje przyczepność, do zaworu elektromagnetycznego 3/3 tego koła sterownik dostarcza połowę prądu maksymalnego i zawór ten się zamyka. Ciśnienie płynu działające na rozpieracz hamulca tego koła pozostaje na niezmiennym stałym poziomie. Następnie w celu zmniejszenia ciśnienia płynu działającego na ten rozpieracz do cewki elektrozaworu jest doprowadzony prąd maksymalny i zostaje otwarta droga powrotna płynu.

Przedstawiony cykl regulacji jest powtarzany wielokrotnie dla każdego koła do czasu, aż żadne z kół nie będzie miało zbyt dużego poślizgu lub do chwili użycia hamulca. Należy przy tym pamiętać, że jednocześnie z działaniem układu hamulcowego sterownik ABS/ASR może regulować poślizg kół napędowych, wpływając na moment obrotowy silnika.

Układy ASR do stabilizacji ruchu pojazdu wykorzystują hydrauliczne obwody hamulcowe do prędkości 80 km/h. Powyżej tej prędkości do przeciwpoślizgowej stabilizacji ruchu pojazdu stosuje się układy regulacji momentu obrotowego silnika.

9.3.3. Układ z elektrozaworami 2/2

Sposób modyfikacji układu ABS5 do realizacji funkcji ASR zilustrowano na rys. 9.19, przedstawiającym układ czterokanałowy przeznaczony do samochodu z napędem tylnych kół.



Rys. 9.19. Schemat funkcjonalny układu ASR z zaworami 2/2 [18]

THZ – pompa hamulcowa, DS – zbiornik wyrównawczy (akumulator hydrauliczny), M – silnik pompy, 1 i 1a – zawory wlotowy i wylotowy hamulca tylnego lewego koła, 2 i 2a – zawory wlotowy i wylotowy hamulca tylnego prawego koła, 3 i 3a – zawory wlotowy i wylotowy hamulca przedniego lewego koła, 4 i 4a – zawory wlotowy i wylotowy hamulca przedniego prawego koła, 5 – zawór napełniania zbiornika wyrównawczego (akumulatora hydraulicznego), 6 – zawór odcinający, a – zawór nadciśnieniowy

Dostosowanie układu ABS z elektrozaworami 2/2 do realizacji funkcji ASR polega na włączeniu między zbiornikiem wyrównawczym *DS* a obwodami hydrauliki kół tylnych elektrozaworu 5 oraz elektrozaworu 6 odcinającego odpływ płynu do pompy hamulcowej.

W trakcie realizacji funkcji ASR ciśnienie w obwodach hydraulicznych tylnych kół napędowych określa pompa napędzana silnikiem *M*. Pompa ta napełnia akumulator hydrauliczny *DS* przez otwarty zawór napełniający 5, przez którego cewkę przepływa prąd generowany przez sterownik ABS/ASR. W trakcie napełniania akumulatora sterownik doprowadza prąd również do cewki zaworu odcinającego, ponieważ zawór ten musi być zamknięty w celu niedopuszczenia, aby płyn odpływał do pompy hamulcowej.

Regulacja poślizgu rozpoczyna się od koła, które nie utraciło przyczepności. W tym celu sterownik zamyka zawór wlotowy i otwiera zawór wylotowy hamulca tego koła, utrzymując stałą wartość siły hamowania. Następnie jest otwierany zawór napełniający przy zbiorniku wyrównawczym, czego skutkiem jest przyrost ciśnienia działającego na rozpieracz hamulca koła regulowanego, ponieważ zawory wlotowy (otwarty) i wylotowy (zamknięty) tego koła pracują bezprądowo. Zamknięcie zaworu wlotowego i otwarcie zaworu wylotowego koła regulowanego następuje dopiero wtedy, gdy działanie hamulców jest wystarczające do utrzymania stabilnego ruchu pojazdu.

W przypadku ponownej utraty przyczepności przez koło regulowane sterownik ABS/ASR blokuje przepływ prądu przez cewki elektrozaworów tego koła, otwierając zawór wlotowy i zamykając zawór wylotowy.

W przerwach między cyklami regulacji akumulator hydrauliczny jest napełniany przez pompę tłoczącą przy otwartym zaworze napełniającym i zamkniętym zaworze odcinającym. Aby uniknąć odpływu płynu do obwodów hydraulicznych hamulców, wszystkie zawory wlotowe są zamknięte, a zawory wylotowe otwarte. Zapobiega to niekontrolowanemu wzrostowi nacisku płynu na rozpieracze hamulców spowodowanemu termicznym wzrostem ciśnienia płynu.

Po zakończeniu napełniania zbiornika wyrównawczego zawór napełniający zostaje zamknięty, zawór odcinający się otwiera, są otwierane zawory wlotowe i zamykane zawory wylotowe hamulców kół pojazdu i hamulcowy układ hydrauliczny może teraz działać w sposób tradycyjny.

Sterownik ABS/ASR rozpoznaje hamowanie na podstawie sygnałów z wyłącznika świateł hamowania oraz sygnału wyjściowego czujnika położenia pedału hamulca. Po rozpoczęciu hamowania sterownik ten odcina dopływ prądu do cewek napędowych wszystkich elektrozaworów, niezależnie od aktualnego stanu pracy tych zaworów. Gwarantuje to natychmiastowe działanie układu hamulcowego.

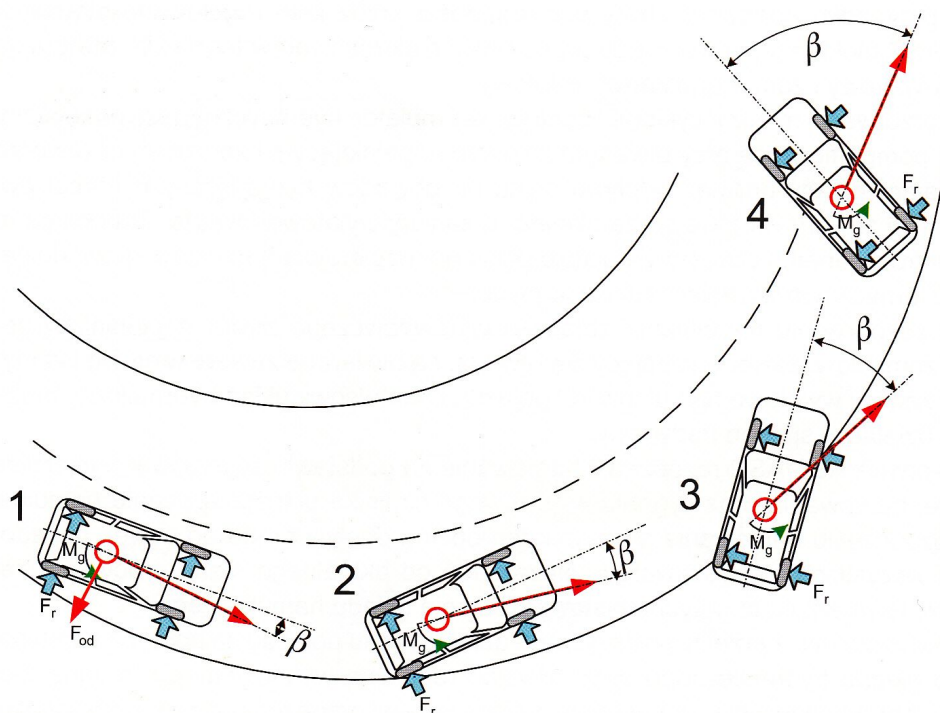
Równocześnie z przeciwoślizgową regulacją ruchu pojazdu za pomocą hamulcowego układu hydraulicznego może działać regulacja wykorzystująca zmianę momentu obrotowego silnika za pomocą zmiany kąta wyprzedzenia zapłonu lub wtrysku oraz za pomocą zmiany położenia przepustnicy.

9.4. Układ stabilizacji toru jazdy (ESP)

9.4.1. Działanie układu

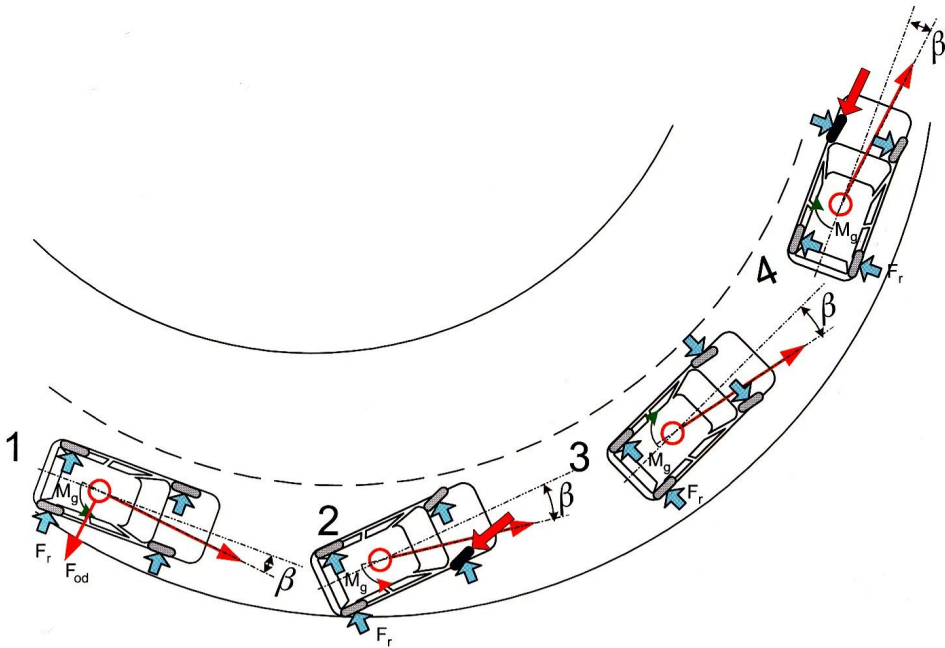
Układy ABS i ASR stabilizują ruch pojazdu w kierunku jego osi podłużnej, natomiast stabilizację tego ruchu w kierunku osi podłużnej i poprzecznej oraz niedopuszczanie do obrotu wokół osi pionowej, tak aby pojazd nie zbacał z założonego toru jazdy, zapewnia układ ESP. Układ ten nie tylko stabilizuje tor jazdy samochodu, niedopuszczając do pod- lub nadsterowności, lecz także eliminuje niebezpieczeństwo wynikające z zarzucenia lub przewrócenia się pojazdu podczas jazdy po łuku z jednoczesnym przyspieszaniem lub hamowaniem. Układ ESP wykorzystuje podzespoły pomiarowo-regulacyjne układów ABS i ASR oraz dodatkowo korzysta z informacji pochodzących od czujników przyspieszenia poprzecznego i prędkości kątowej oraz od czujnika położenia kierownicy. Działanie układu ESP wyjaśniono na rys. 9.20 i 9.21, przy czym na rys. 9.20 przedstawiono ruch pojazdu niewyposażonego w układ ESP, a na rys. 9.21 – ruch pojazdu z takim układem.

Uproszczony schemat układu ESP w pojeździe samochodowym przedstawiono na rys. 9.22.



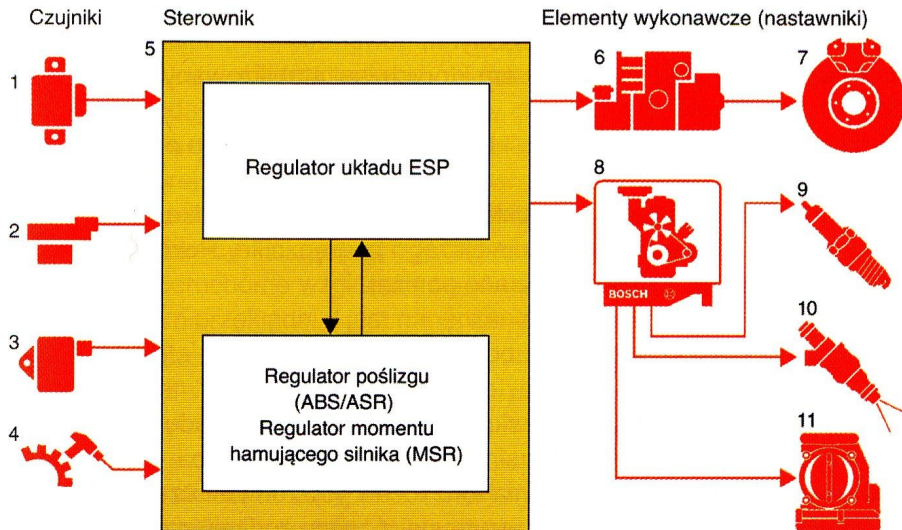
Rys. 9.20. Ruch samochodu osobowego bez układu ESP w czasie jazdy na zakręcie [54, 56]

1 – kierowca skręca koła kierowane (powstanie sił bocznych), 2 – groźba utraty stateczności, 3 – reakcja kierowcy (skręcenie kół w przeciwną stronę – samochód wpada w poślizg), 4 – niekontrolowany ruch samochodu (utrata kierowności i stateczności ruchu), M_g – moment skręcający, F_r – siły poprzeczne działające na koła, β – kąt odchylenia kierunku ruchu od podłużnej osi pojazdu (kąt znoszenia)



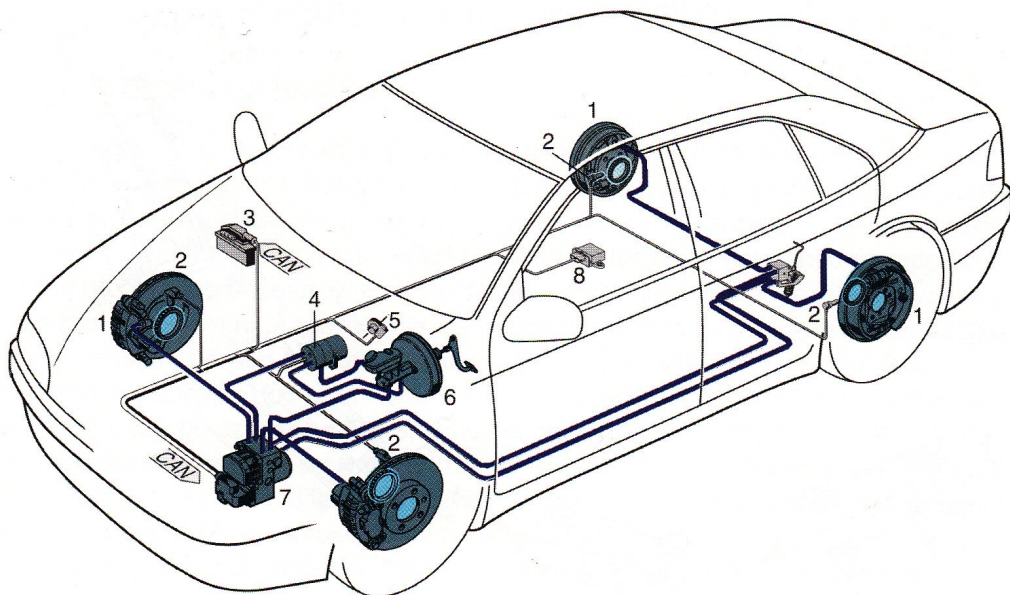
Rys. 9.21. Ruch samochodu osobowego z układem ESP w czasie jazdy na zakręcie [53, 56]

1 – kierowca skręca koła kierowane (powstanie sił bocznych), 2 – groźba utraty stateczności (układ ESP reaguje, przyhamowując przednie prawe koło), 3 – samochód zachowuje stateczność ruchu, 4 – groźba utraty stateczności (układ ESP reaguje i przyhamowuje przednie lewe koło – stabilizacja toru jazdy i zachowanie stateczności ruchu), M_g – moment skręcający, F_r – siły poprzeczne działające na koła, β – kąt odchylenia kierunku ruchu od podłużnej osi pojazdu (kąt znoszenia)



Rys. 9.22. Podzespoły układu ESP w samochodzie [54]

1 – czujnik prędkości kątowej oraz czujnik przyspieszenia poprzecznego, 2 – czujnik kąta obrotu koła kierownicy, 3 – czujnik ciśnienia w pompie hamulcowej, 4 – czujniki prędkości obrotowej kół, 5 – sterownik ESP, 6 – modulator hydrauliczny, 7 – hamulce kół, 8 – sterownik silnika, 9 – świeca zapłonowa (sygnał kąta wyprzedzenia zapłonu), 10 – wtryskiwacz (sygnał wtrysku paliwa), 11 – przepustnica EGAS



Rys. 9.23. Rozmieszczenie podzespołów układu ESP w samochodzie [54]

1 – hamulce kół, 2 – czujniki prędkości obrotowej kół, 3 – sterownik układu, 4 – pompa wstępna, 5 – czujnik kąta obrotu koła kierownicy, 6 – pompa hamulcowa z urządzeniem wspomagającym, 7 – modulator (zespół hydrauliczny) z czujnikiem ciśnienia wstępnego, 8 – czujnik prędkości kątowej i przyspieszenia poprzecznego samochodu

Z rysunku 9.22 wynika, że podzespołami układu ESP są:

- czujniki, za pośrednictwem których sterownik ESP uzyskuje informacje wejściowe;
- sterownik układu o strukturze hierarchicznej, składający się ze sterownika nadrzędnego ESP oraz sterowników podrzędnych;
- elementy wykonawcze, za pośrednictwem których jest stabilizowany tor jazdy samochodu.

Sposób rozmieszczenia podzespołów układu ESP w samochodzie przedstawiono na rys. 9.23.

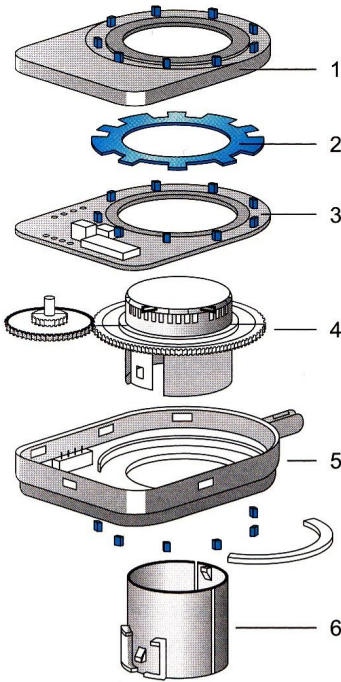
Działanie elementów wykonawczych układu oraz czujników prędkości obrotowej kół opisano w poprzednich rozdziałach niniejszego podręcznika. Pozostałe podzespoły układu ESP oraz jego działanie opisano poniżej.

9.4.2. Czujniki układu ESP

Głównymi podzespołami decydującymi o skuteczności działania układu ESP są czujniki.

Czujnikiem niezbędnym do wyznaczenia toru ruchu pojazdu jest czujnik kąta obrotu koła kierownicy. W układach ESP stosuje się różnego rodzaju czujniki wyznaczające ten kąt. Muszą mieć one zakres pomiarowy $\pm 720^\circ$ i charakteryzować się dokładnością wyznaczania położenia kierownicy nie mniejszą niż $\pm 5^\circ$.

Najczęściej w układach ESP stosuje się czujnik z hallotronami (LWS1) lub czujnik z magnetorezystorami (LWS3).



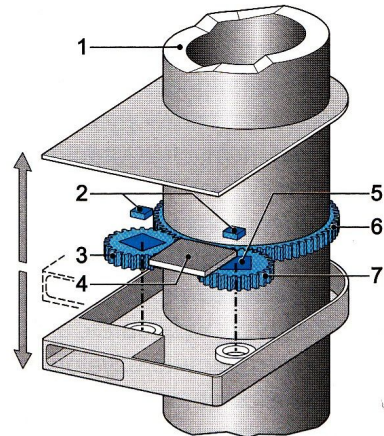
Rys. 9.24. Budowa czujnika kąta obrotu kierownicy typu LWS1 [29]

1 – górna pokrywa czujnika z dziewięcioma magnesami, 2 – uzębiona tarcza obrotowa ze stali miękkiej, 3 – płytka drukowana z dziewięcioma hallotronami i mikroprocesorem, 4 – przekładnia, 5 – dolna pokrywa czujnika z pięcioma hallotronami, 6 – tuleja ustalająca położenie czujnika względem wału kolumny kierownicy

Budowę czujnika hallotronowego LWS1 pokazano na rys. 9.24. W czujniku tym do wyznaczania kąta obrotu kierownicy w zakresie $\pm 720^\circ$ jest przeznaczony zespół pomiarowy, składający się z górnej pokrywy czujnika z dziewięcioma magnesami trwałymi 1, obrotowej tarczy kodowej ze stali miękkiej 2, płytki drukowanej 3 z mikroprocesorem, na której umieszczono dziewięć hallotronów, dolnej pokrywy 5 z pięcioma hallotronami oraz z przekładni 4 i tulei 6 ustalającej położenie czujnika względem wału kolumny kierownicy. Pokrywy górna 1 i dolna 5 oraz płyta z hallotronami i mikroprocesorem 3 są nieruchome względem nadwozia, natomiast stalowa tarcza kodowa 2 za pośrednictwem przekładni 4 jest napędzana przez wał kolumny kierownicy.

Zmiana kąta obrotu kierownicy powoduje zmianę położenia tarczy kodowej 2, czego skutkiem jest zmiana pola magnetycznego docierającego od dziewięciu magnesów pokrywy górnej 1 do dziewięciu hallotronów płytki drukowanej 3. Uzębiony kształt tarczy kodowej powoduje, że zmiany pola magnetycznego działającego na hallotроны są skokowe i taki sam kształt mają napięcia wyjściowe hallotronów. Napięcia te są zamieniane przez mikroprocesor na sygnał cyfrowy odwzorowujący kąt obrotu kierownicy z zakresu $0 \dots 360^\circ$.

Do wyznaczania kąta obrotu kierownicy większego niż 360° służy pięć hallotronów umieszczonych w dolnej pokrywie. Rejestrują one pełne obroty kierownicy przeniesione przez przekładnię 4 o przełożeniu 4:1.



Rys. 9.25. Czujnik kąta obrotu kierownicy LWS3 z magnetorezystorami [29]

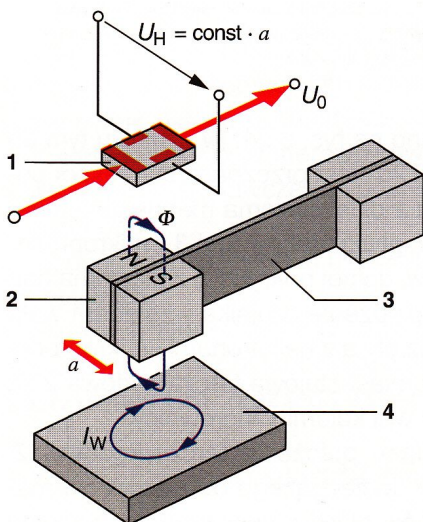
1 – wał kolumny kierownicy, 2 – magnetorezystory, 3 – koło zębate o m zębami, 4 – mikroprocesor, 5 – magnesy, 6 – koło zębate z $n > m$ zębami, 7 – koło zębate z $m+1$ zębami

Dokładność wyznaczania kąta obrotu kierownicy zależy od dokładności rozmieszczenia 14 hallotronów i 9 magnesów trwałych. Znacznie prostszą konstrukcję ma czujnik LWS3 z magnetorezystorami (rys. 9.25).

W czujniku przedstawionym na rys. 9.25 informacje o kącie obrotu kierownicy w zakresie czterech pełnych jej obrotów uzyskuje się za pośrednictwem przetworników magnetorezystancyjnych 2, na które działa pole magnetyczne magnesów trwałych 5 zamocowanych na kołach zębatych 3 i 7, napędzanych za pomocą koła zębatego 6 osadzonego na wale kolumny kierownicy. W celu uzyskania informacji o kącie i kierunku obrotu kierownicy koła 3 i 7 mają różną liczbę zębów. Zróżnicowanie liczby zębów tych kół niezależnie od kąta obrotu kierownicy powoduje, że kąty ustawienia magnesów działających na magnetorezystory są inne. Dzięki temu można w sposób jednoznaczny wyznaczyć kąt obrotu kierownicy w zakresie $\pm 720^\circ$. Na podstawie zmiany rezystancji magnetorezystorów mikroprocesor generuje sygnał cyfrowy odwzorowujący ten kąt.

Kolejnym czujnikiem niezbędnym do prawidłowego funkcjonowania układu ESP jest czujnik przyspieszenia poprzecznego. Do wyznaczania takiego przyspieszenia można wykorzystać czujnik hallotronowy z masą sejsmiczną. Budowę takiego czujnika pokazano na rys. 9.26.

Elementem reagującym na przyspieszenie działające na czujnik jest zamocowana jednostronnie taśma sprężysta, na końcu której znajduje się magnes trwały. Nad magnesem jest umieszczony hallotron z elektronicznym układem obróbki sygnału, a pod magnesem – metalowa płyta przewodząca prąd elektryczny.



Rys. 9.26. Budowa hallotronowego czujnika przyspieszenia [29]

1 – hallotron, 2 – magnes trwały (masa sejsmiczna), 3 – taśma sprężysta, 4 – przewodząca płyta tłumiąca drgania, I_w – prądy wirowe, U_H – napięcie Halla, U_0 – napięcie zasilające, Φ – strumień magnetyczny magnesu, a – przyspieszenie poprzeczne działające na czujnik

Jeśli na czujnik zacznie działać siła, której kierunek jest prostopadły do płaszczyzny sprężyny, to magnes trwały będzie się przemieszczał w kierunku działania tej siły. Miarą przyspieszenia spowodowanego działaniem siły zewnętrznej jest odchylenie sprężyny względem położenia spoczynkowego.

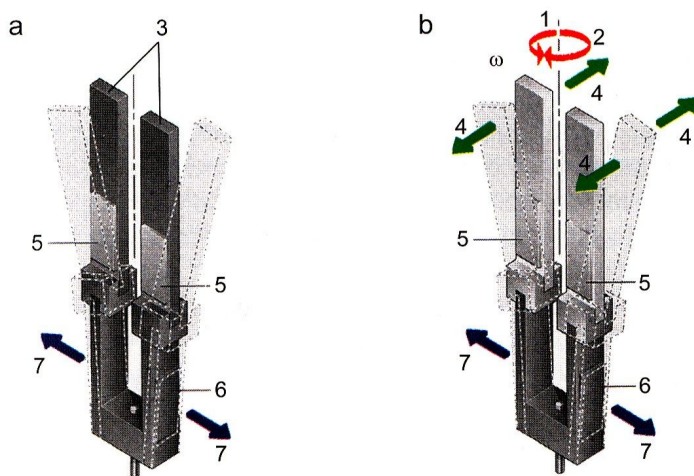
Zmiana położenia magnesu względem hallotronu powoduje zmianę jego napięcia wyjściowego proporcjonalną do przyspieszenia działającego na czujnik. W celu wyeliminowania wpływu oscylacyjnych drgań sprężyny na przebieg napięciowego sygnału wyjściowego hallotronu, ruch układu magnes – sprężyna jest tłumiony przez strumień magnetyczny wytwarzany przez prądy wirowe płynące w płytce metalowej umieszczonej pod magnesem. Przyczyną przepływu tych prądów jest siła elektromotoryczna indukowana w płytce przy zmianie położenia magnesu pod wpływem siły zewnętrznej.

Aby czujnik mógł mierzyć przyspieszenie poprzeczne działające na pojazd po wejściu

w zakręt, musi być odpowiednio zamocowany w nadwoziu pojazdu. Przy prawidłowym zamocowaniu czujnika w pobliżu środka masy pojazdu położenie płaszczyzny sprężyny w stanie spoczynkowym (bez działania zewnętrznej siły bezwładności) musi być zgodne z geometryczną osią wzdłużną samochodu. Producenci czujników zaznaczają kierunek ich mocowania na obudowie za pomocą strzałki, której zwrot wskazuje kierunek jazdy do przodu.

Przy pokonywaniu zakrętu z nadmierną prędkością lub przy zarzuceniu spowodowanym poślizgiem, pojazd może zacząć się obracać wokół osi pionowej. Aby uniknąć takiej sytuacji, układ ESP analizuje sygnał wyjściowy czujnika prędkości kątowej pojazdu wokół osi pionowej, zamocowanego, podobnie jak czujnik przyspieszenia poprzecznego, w pobliżu środka masy pojazdu.

Czujniki przeznaczone do pomiaru prędkości kątowej wykorzystują działanie siły Coriolisa na ciało poruszające się ruchem obrotowym. Przykładem takich czujników są czujnik kamertonowy oraz czujnik mikromechaniczny, mierzący jednocześnie przyspieszenie poprzeczne oraz prędkość kątową wokół osi pionowej pojazdu. Budowę i działanie czujnika kamertonowego pokazano na rys. 9.27.

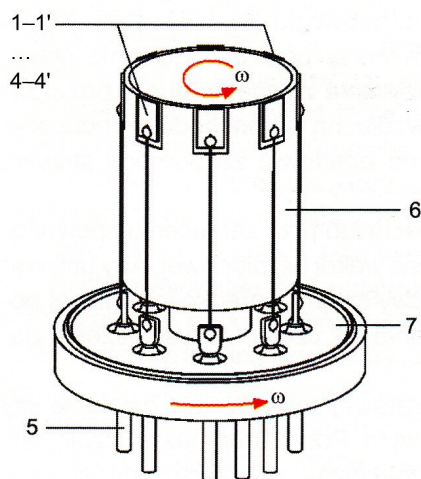


Rys. 9.27. Kamertonowy czujnik prędkości kątowej samochodu; wychylenie widełek czujnika podczas jazdy na wprost (a), wychylenie widełek podczas jazdy po torze krzywoliniowym (b) [14]

1 i 2 – kierunek obrotu widełek w trakcie skrętu pojazdu, 3 – widełki kamertonu piezoelektrycznego, 4 – kierunek działania siły Coriolisa oraz kierunek odchylenia widełek w trakcie obrotu pojazdu wokół osi pionowej, 5 – górne elementy piezoelektryczne, 6 – dolne elementy piezoelektryczne wymuszające drgania, 7 – kierunek drgań widełek w trakcie jazdy prostoliniowej, ω – kąt obrotu wokół osi pionowej

Warunkiem działania czujnika jest pobudzenie do drgań napięciem przemiennym dolnych elementów piezoelektrycznych 6, które wymuszają drgania elementów górnych 5. W trakcie jazdy prostoliniowej widełki górne drgają w swojej płaszczyźnie w przeciwfazie (rys. 9.27a). Właściwości widełek górnych tak dobrano, aby powstawał w nich efekt piezoelektryczny, gdy działają na nie siły prostopadłe do ich płaszczyzny.

Podczas jazdy po torze krzywoliniowym siła Coriolisa powoduje, że widełki górne odchylają się prostopadle do płaszczyzny drgań po torze prostoliniowym (rys. 9.27b).

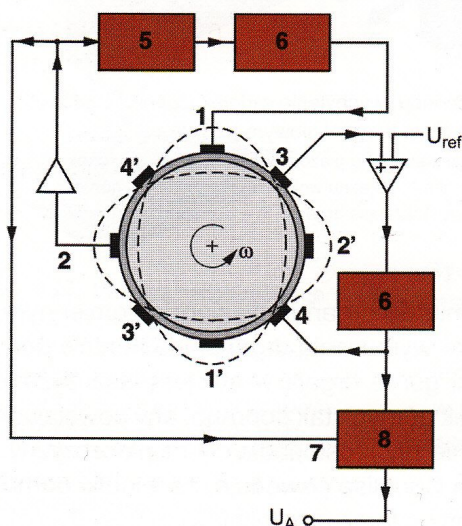


Rys. 9.28. Piezoelektryczny czujnik prędkości kątowej [14]

1-1'...4-4' – cztery pary elementów piezoelektrycznych, 5 – trzpień połączeniowe, 6 – cylinder drgający, 7 – cokół pełniący rolę płyty montażowej, ω – mierzona prędkość kątowa

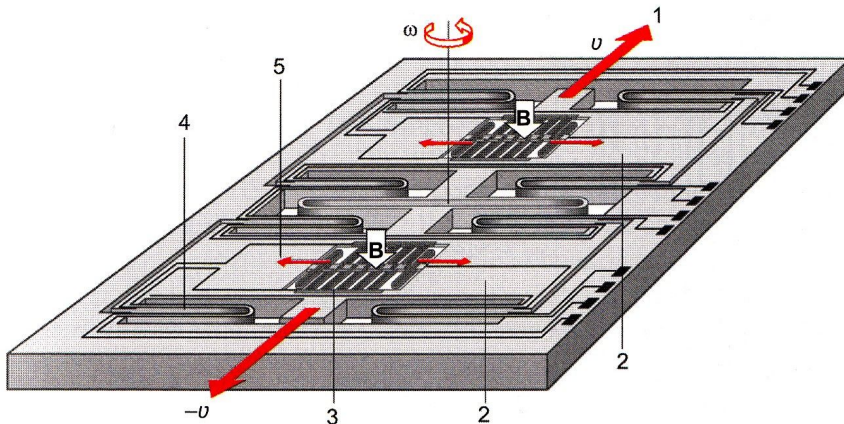
elementami piezoelektrycznymi. Cylinder jest pobudzany do drgań o regulowanej amplitudzie i częstotliwości akustycznej za pomocą pary piezoelektryków 1-1' i 2-2', zamocowanych w węzłach będących końcami średnic prostopadłych względem siebie. Schemat blokowy układu elektronicznego współpracującego z czujnikiem przedstawiono na rys. 9.29.

W trakcie obrotu czujnika z prędkością kątową ω siła Coriolisa powoduje zakłócenie drgań cylindra i w węzłach 3-3' powstaje dodatkowe wychylenie piezoelektryków, którego objawem jest ładunek zgromadzony na tych piezoelektrykach, pro-



Rys. 9.29. Układ pomiarowy współpracujący z czujnikiem piezoelektrycznym prędkości kątowej [14]

1-1', 2-2' – pary piezoelektryków pobudzających cylinder do drgań, 3-3' – piezoelektryki reagujące na zakłócenie drgań cylindra w trakcie obrotu z prędkością kątową ω , 4-4' – piezoelektryki kompensujące zakłócenie drgań cylindra, 5 i 6 układ przełączający oraz filtr pasmowy, 7 – wzorec fazowy drgań, 8 – prostownik fazoczuły, U_A – napięciowy sygnał wyjściowy czujnika, U_{ref} – napięcie odniesienia dla piezoelektryków 3-3'



Rys. 9.30. Mikromechaniczny czujnik prędkości kątowej i przyspieszenia poprzecznego [14]

1 – kierunek drgań wymuszonych, 2 – masy drgające, 3 – pojemnościowy czujnik przyspieszenia Coriolisa, 4 – sprężyna ustalająca położenie masy drgającej, 5 – kierunek działania przyspieszenia Coriolisa, B – indukcja pola magnetycznego magnesu stałego umieszczonego nad masami drgającymi 2, v – prędkość drgań wymuszonych, ω – prędkość kątowa

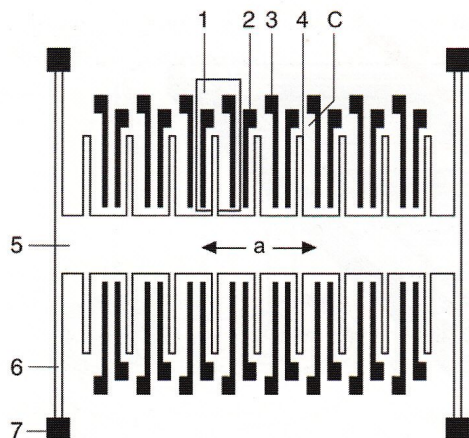
porcjonalny do prędkości kątowej czujnika. Do kompensacji drgań w węzłach 3–3' są przeznaczone piezoelektryki 4–4' zasilane napięciem zewnętrznym o wartości tak dobranej, aby odkształcenia tych piezoelektryków zerowały odkształcenia piezoelektryków 3–3'. Wartość napięcia doprowadzonego do pary piezoelektryków 4–4' jest miarą prędkości kątowej, z jaką obraca się czujnik.

Najnowszymi czujnikami przeznaczonymi do pomiaru prędkości kątowej samochodu wokół osi pionowej są mikromechaniczne czujniki pojemnościowe typu DRS-MM1.0 o budowie przedstawionej na rys. 9.30. Czujnik ten mierzy oprócz prędkości kątowej również przyspieszenie poprzeczne.

Elementami aktywnymi czujnika na rys. 9.30 są masy sejsmiczne wykonane z półprzewodnika i zamocowane w jego obudowie za pomocą sprężyn 4. Masy te są pobudzane do drgań w przeciwfazie w wyniku współdziałania prądu przemiennego płynącego w ścieżkach napylonych na ich powierzchni z polem magnetycznym magnesu stałego zamocowanego nad tymi masami. Częstotliwość prądu jest tak dobrana, aby masy drgały z częstotliwością rezonansową o wartości ok. 2 kHz.

Znajomość prędkości v drgań mas sejsmicznych jest niezbędna do wyznaczenia prędkości kątowej ω . Do wyznaczania wartości prędkości v układ elektroniczny czujnika wykorzystuje wartości siły elektromotorycznej zaindukowanej w cewkach pomiarowych napylonych na masy 2, podobnie jak ścieżki prądowe wykorzystywane do wymuszania drgań tych mas.

W czujniku na rys. 9.30 wartość prędkości kątowej ω jest wyznaczana na podstawie prędkości v drgań wymuszonych mas 2 oraz przyspieszenia Coriolisa działającego na te masy. Do wyznaczania przyspieszenia Coriolisa są wykorzystywane czujniki pojemnościowe reagujące na przyspieszenie poprzeczne w stosunku do kierunku prędkości drgań mas 2 i zamontowane na tych masach. Budowę i działanie tych czujników przedstawiono na rys. 9.31.



Rys. 9.31. Pojemnościowy czujnik przyspieszenia poprzecznego [14]

1 – elementarny kondensator różnicowy, 2 i 3 – elektrody nieruchome, 4 – elektroda ruchoma połączona mechanicznie z masą sejsmiczną (2 – rys. 9.30), 5 – masa sejsmiczna, 6 – sprężyste zawieszenie, 7 – połączenie mechaniczne z masą sejsmiczną (2 – rys. 9.30), a – przyspieszenie poprzeczne, C – pojemność jednej sekcji kondensatora różnicowego

Elementem aktywnym czujnika przyspieszenia poprzecznego jest masa sejsmiczna 5 połączona mechanicznie z masą sejsmiczną 2 (rys. 9.30) za pomocą sprężystych zawieszek 6. Masa sejsmiczna 5 ma kształt grzebienia, którego przewodzące zęby mogą przemieszczać się między elektrodami 2 i 3 zamocowanymi na masie sejsmicznej 2 (rys. 9.30). Przewodzący ząb 6 i nieruchome elektrody 2 i 3 tworzą kondensator różnicowy, w którym pojemności między elektrodą 2 i zębem oraz między zębem i elektrodą 3 zmieniają się wraz ze zmianą położenia masy sejsmicznej 5. Na podstawie różnicy tych pojemności układ pomiarowy czujnika prędkości kątowej określa wartość przyspieszenia Coriolisa oraz wartość przyspieszenia poprzecznego pojazdu. W celu zwiększenia czułości czujnika elementarne kondensatory różnicowe są połączone równolegle.

Aby czujnik z rys. 9.30 mógł mierzyć prędkość kątową oraz przyspieszenie poprzeczne, gdy pojazd jedzie po torze krzywoliniowym, musi być zamocowany w pobliżu środka masy samochodu, tak aby kierunek wymuszonych drgań mas sejsmicznych 2 był zgodny z osią główną nadwozia. Przy takim położeniu czujnika podczas jazdy wzdłuż linii prostej pojemność różnicowa czujnika przyspieszenia poprzecznego ma wartość zerową. Jest to równoznaczne z zerowym sygnałem wyjściowym tego czujnika. Natomiast jazda po torze krzywoliniowym wymusza niezerową wartość sygnału wyjściowego czujników przyspieszenia poprzecznego 3 (rys. 9.30). Na podstawie tych sygnałów elektroniczny układ pomiarowy czujnika z rys. 9.30 wyznacza wartość prędkości kątowej oraz wartość przyspieszenia poprzecznego pojazdu, którego przyczyną jest przyspieszenie dośrodkowe działające na pojazd poruszający się po torze o kształcie zbliżonym do okręgu.

9.4.3. Działanie sterownika ESP

Regulatory ESP mają strukturę hierarchiczną (rys. 9.22), co oznacza, że podzespoły decydujące o dynamice ruchu pojazdu pełnią rolę nadrzędną w stosunku do podzespołów odpowiedzialnych za działanie układów ABS/ASR.

Główne zadania regulatora dynamiki jazdy są następujące:

- wyznaczanie toru ruchu pojazdu na podstawie sygnału wyjściowego czujnika prędkości kątowej oraz określonej przez układ identyfikacyjny wartości kąta znośnienia;
- doprowadzenie pojazdu poruszającego się w warunkach krytycznych (na granicy utraty przyczepności) do jazdy w warunkach zbliżonych do normalnych.

Sił wywołujących przyspieszenie poprzeczne samochodu oraz sił będących przyczyną kąta znośnienia nie można zniwelować bezpośrednio. Dla regulatora ESP wartości tych sił są nieznane i dlatego nie może bezpośrednio im przeciwdziałać. Realizuje to pośrednio przez odpowiednie wytwarzanie momentu obrotowego obracającego w sposób kontrolowany pojazd, tak aby kąt znośnienia zmniejszyć do zera.

W celu uzyskania momentu obracającego samochód w sposób kontrolowany, regulator ESP zmienia odpowiednio poślizg wszystkich kół w granicach wartości zapisanych w pamięci sterownika. Do tego celu wykorzystuje elementy wykonawcze hydraulicznego układu hamulcowego.

Schemat regulatora ESP z uwzględnieniem jego funkcji w trakcie regulacji dynamiki ruchu przedstawiono na rys. 9.32. Z rysunku tego wynika, że do określenia:

- sił poprzecznych działających na koła,
- kąta znośnienia opon,
- kąta znośnienia pojazdu,
- prędkości poprzecznej pojazdu

blok identyfikacyjny regulatora korzysta z sygnałów wyjściowych czujników:

- prędkości kątowej,
- kąta obrotu kierownicy,
- przyspieszenia poprzecznego

i oszacowanych wartości:

- prędkości wzdłużnej pojazdu,
- sił działających na koła oraz
- poślizgu tych kół.

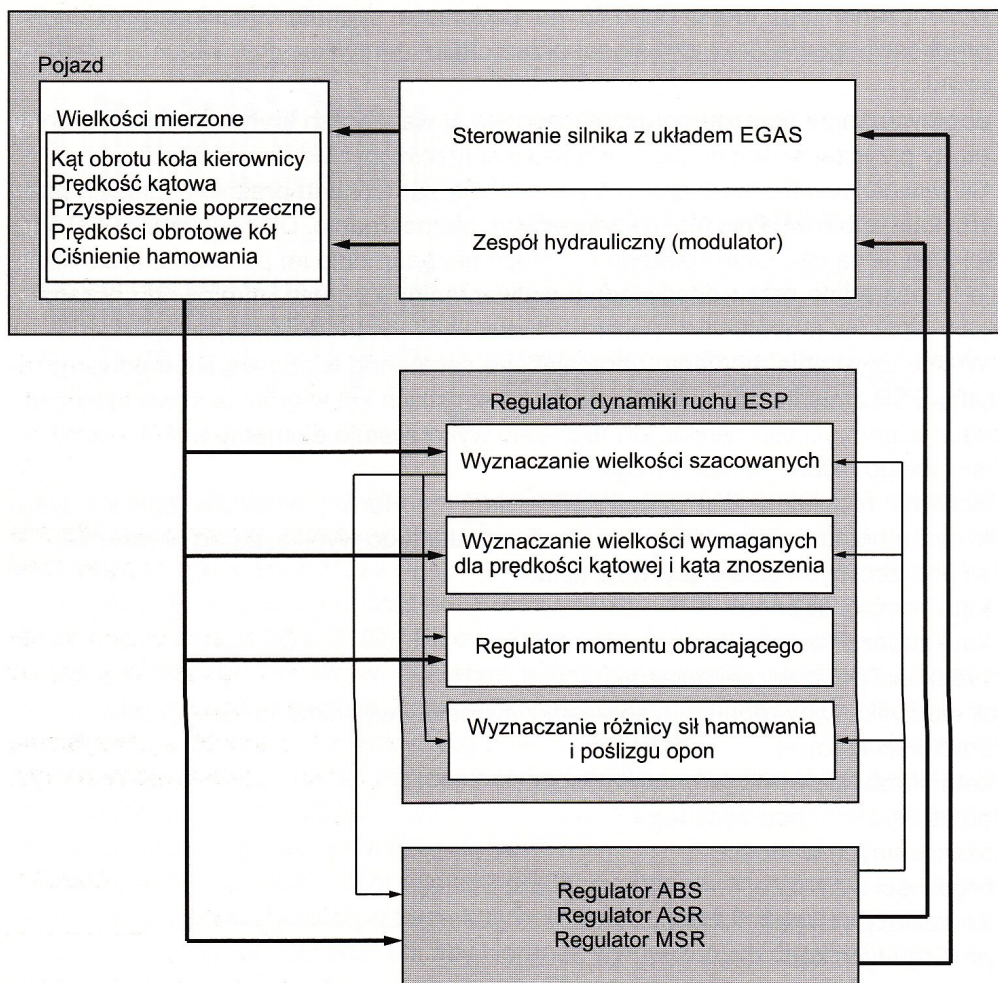
Wymagane do stabilnej jazdy wartości kąta znośnienia oraz prędkości kątowej pojazdu regulator ESP wyznacza na podstawie wielkości, o których decyduje kierowca. Wielkościami tymi są:

- kąt obrotu koła kierownicy;
- oszacowana prędkość jazdy;
- współczynnik przyczepności określony przez wartość przyspieszenia wzdłużnego oszacowanego przez blok identyfikacyjny oraz przez wartość zmierzonego przyspieszenia poprzecznego;
- położenie pedału przyspieszenia określające moment napędowy silnika;
- ciśnienie w układzie hamulcowym określone siłą nacisku na pedał hamulca.

Oprócz regulacji dynamiki ruchu pojazdu regulator ESP realizuje również funkcje ABS i ASR, wykorzystując do tego regulatory podrzędne (rys. 9.32).

W przypadku groźby zablokowania kół podczas hamowania, regulator ESP inicjuje pracę bloku realizującego funkcję regulatora ABS. W tym celu do tego regulatora przekazuje wartości:

- prędkości poprzecznej oraz prędkości kątowej pojazdu,



Rys. 9.32. Struktura funkcjonalna regulatora dynamiki ruchu układu ESP [54]

- kąta obrotu kierownicy,
- prędkości obrotowych kół niezbędne do wyznaczenia wymaganych poślizgów.

Praca bloku realizującego funkcję regulatora ASR jest inicjowana w przypadku skłonności kół napędowych do poślizgu podczas ruszania oraz przyspieszania. W tym celu do tego bloku regulator dynamiki ruchu przekazuje informacje o:

- średniej wartości poślizgu kół napędowych,
- dopuszczalnym przedziale tolerancji poślizgu,
- różnicy wartości momentów hamowania kół napędowych niezbędnej do wytworzenia momentu obracającego pojazd, wymaganego do stabilnej jazdy.

Dodatkowo regulator dynamiki ruchu może uruchomić regulator momentu hamującego silnika, którego działanie opisano wcześniej.

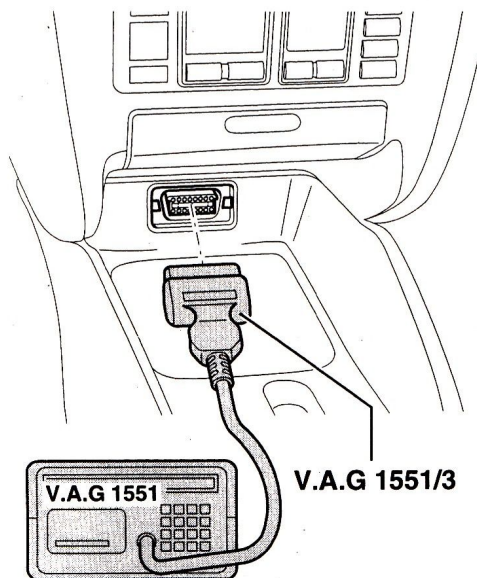
9.5. Diagnostyka układów regulacji dynamiki jazdy

Opis diagnostyki układów regulacji dynamiki jazdy należy rozdzielić na dwa etapy. Pierwszym etapem jest proces samodiagnostyki realizowany przez sterownik główny pojazdu po włączeniu zapłonu. Pierwszym testem jest sprawdzenie, czy napięcie akumulatora ma wartość większą niż 10 V. Następnie są sprawdzane cewki elektrozaworów oraz kodowanie i funkcje wewnętrzne sterownika (ABS/ASR lub ESP). W trakcie tego etapu samodiagnostyki odpowiednie lampki kontrolne świecą się przez ok. 2 s i po tym czasie gasną, gdy nie zostanie wykryta żadna usterka. Po rozpoczęciu jazdy, gdy samochód osiągnie prędkość 20 km/h, są sprawdzane sygnały wyjściowe czujników prędkości obrotowej kół. Jeśli w trakcie sprawdzenia początkowego lub okresowego zostanie wykryta usterka tych czujników, to zapala się lampka ABS i świeci się w sposób ciągły. Świecenie tej lampki sygnalizuje kierowcy prawidłowe działanie konwencjonalnego układu hamulcowego oraz wstrzymanie funkcjonowania układów ABS/ASR lub układu ESP.

Wykryte w trakcie procesu samodiagnostyki usterki są zapisywane w pamięci sterownika głównego pojazdu. Drugim etapem samodiagnostyki jest odczyt zawartości pamięci usterek za pomocą odpowiedniego testera.

Poniżej opisano wykorzystanie testera V.A.G 1551 do odczytu pamięci usterek samochodu Audi A3 z uszkodzonym układem ABS. Tester ten należy dołączyć do gniazda OBD zamontowanego w konsoli środkowej tego samochodu.

Funkcje testera V.A.G 1551 wyszczególniono w tabeli 9.1, a sposób wykorzystania tego testera do diagnostyki układu ABS wyjaśnia algorytm przedstawiony na rys. 9.34.



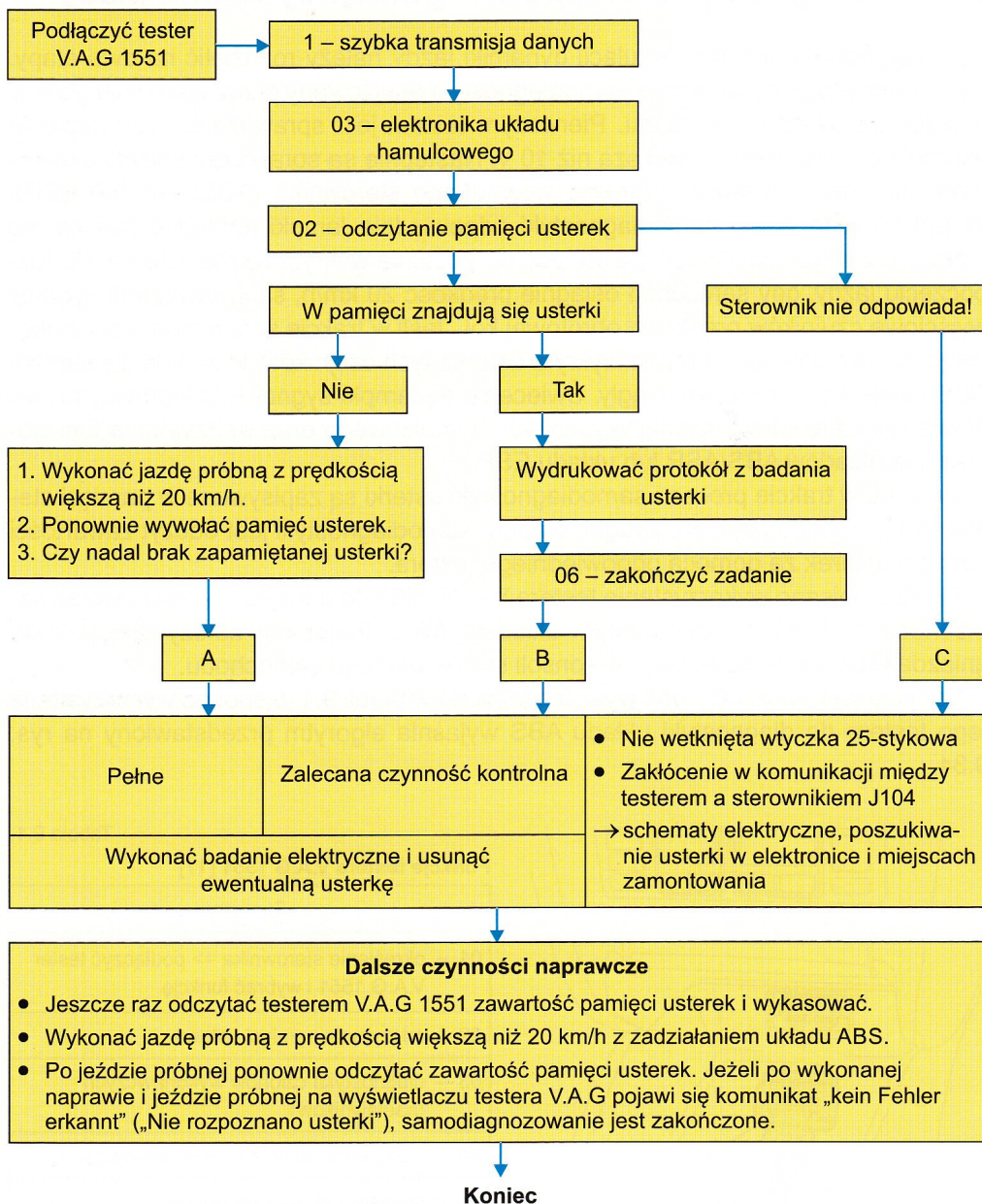
Rys. 9.33. Dołączenie testera do gniazda OBD samochodu [17]

Tabela 9.1.

Funkcje testera V.A.G 1551 [17]

Funkcja
01 – określenie sterownika => podłączyć tester V.A.G 1551 i wybrać funkcję
02 – odczytanie pamięci usterek
03 – diagnostyka członów wykonawczych (nastawników)
04 – wdrożenie ustawienia standardowego ¹⁾
05 – skasowanie pamięci usterek
06 – zakończenie zadania
07 – kodowanie sterownika
08 – odczytanie zestawu wartości pomiarowych

¹⁾ Wymagane tylko dla pojazdu z EDS.

Start**Rys. 9.34.** Algorytm wykorzystania V.A.G 1551 do diagnostyki układu ABS [17]

Usterki układu ABS zapamiętane w pamięci diagnostycznej samochodu Audi A3 są opisane za pomocą kodu 5-cyfrowego. Wszystkie usterki tego układu wraz z ich kodami, prawdopodobnymi przyczynami ich wystąpienia oraz proponowanym sposobem naprawy wyszczególniono w tabeli 9.2.

Tabela 9.2.

Wykaz usterek układu ABS [17]

Numer usterki	Możliwa przyczyna	Sposób usunięcia usterki
Wydruk na drukarce testera V.A.G 1551		
00000 Nie rozpoznano usterki	Jeżeli po wykonanej naprawie na wyświetlaczu pojawi się komunikat „kein Fehler” („Brak usterki”), samodiagnoza jest zakończona. Jeśli jednak pomimo komunikatu „kein Fehler” ABS nie działa prawidłowo, przyjąć następujący sposób postępowania: 1. Wykonać jazdę próbną z prędkością większą niż 20 km/h. 2. Ponownie wywołać pamięć usterek, czy nadal brak jest w pamięci usterki. 3. Kontynuować poszukiwanie usterki bez samodiagnozy i wykonać elektryczne pełne sprawdzenie układu.	
00283 Czujnik prędkości koła przedni lewy – G47 Usterka mechaniczna ¹⁾ Sygnał poza zakresem tolerancji ¹⁾	- Przerwa w: - przewodzie czujnika - wtyczce - cewce czujnika - Zwarcie elektryczne w czujniku - Uszkodzony sterownik - Za duża szczelina powietrzna między czujnikiem prędkości koła a wieńcem zębatym - Nie otwiera się zawór wylotowy ABS - Chwiejny styk w: - przewodzie czujnika prędkości koła - wtyczce - cewce czujnika - Uszkodzony wieniec zębaty - Skrzywienie wieńca zębatego przekracza wartość dopuszczalną	- Funkcja 08 „Odczyt zestawu wartości pomiarowych”. Sprawdzenie czujnika; grupa wskazań 02, pole wskazań 1. - Sprawdzić przewód masowy do sterownika. - Wykonać badanie elektryczne. - Jeśli powyższe środki nie pozwolą zlokalizować usterki, to należy wymontować modulator i zastąpić sterownik. - Sprawdzić zamontowanie czujnika i wieńca - Sprawdzić modulator za pomocą diagnozy nastawników; ewentualnie przywrócić sprawność zespołowi. - Wykonać badanie elektryczne. - Sprawdzić zamontowanie czujnika i wieńca.
00285 Czujnik prędkości koła przedni prawy – G45	- Przerwa w: - przewodzie czujnika - wtyczce - cewce czujnika - Zwarcie elektryczne w czujniku	- Funkcja 08 „Odczyt zestawu wartości pomiarowych”. Sprawdzenie czujnika; grupa wskazań 02, pole wskazań 2. - Sprawdzić przewód masowy do sterownika. - Wykonać badanie elektryczne.

¹⁾ Rodzaj usterki, który można rozpoznać powyżej 20 km/h (wykonać jazdę próbną).

Tabela 9.2 cd.

Numer usterki	Możliwa przyczyna	Sposób usunięcia usterki
Wydruk na drukarce testera V.A.G 1551		
Usterka mechaniczna¹⁾ Sygnał poza zakresem tolerancji¹⁾	• Uszkodzony sterownik • Za duża szczelina powietrzna między czujnikiem prędkości koła a wieńcem zębatym • Nie otwiera się zawór wylotowy ABS • Chwiejny styk w: – przewodzie czujnika prędkości koła – wtyczce – cewce czujnika • Uszkodzony wieniec zębaty • Skrzywienie wieńca zębatego przekracza wartość dopuszczalną	– Jeśli powyższe środki nie pozwolą zlokalizować usterki, to należy wymontować modulator i zastąpić sterownik. – Sprawdzić zamontowanie czujnika i wieńca. – Sprawdzić modulator za pomocą diagnozy nastawników; ewentualnie przywrócić mu sprawność. – Wykonać badanie elektryczne. – Sprawdzić zamontowanie czujnika i wieńca.
00287 Czujnik prędkości koła tylny prawy – G44 Usterka mechaniczna¹⁾ Sygnał poza zakresem tolerancji¹⁾	• Przerwa w: – przewodzie czujnika – wtyczce – cewce czujnika • Zwarcie elektryczne w czujniku • Uszkodzony sterownik • Za duża szczelina powietrzna między czujnikiem prędkości koła a wieńcem zębatym • Nie otwiera się zawór wylotowy ABS • Chwiejny styk w: – przewodzie czujnika prędkości koła – wtyczce – cewce czujnika • Uszkodzony wieniec zębaty • Skrzywienie wieńca zębatego przekracza wartość dopuszczalną	– Funkcja 08 „Odczyt zestawu wartości pomiarowych”. Sprawdzenie czujnika; grupa wskazań 02, pole wskazań 2. – Sprawdzić przewód masowy do sterownika. – Wykonać badanie elektryczne. – Jeśli powyższe środki nie pozwolą zlokalizować usterki, to należy wymontować modulator i zastąpić sterownik. – Sprawdzić zamontowanie czujnika i wieńca. – Sprawdzić modulator za pomocą diagnozy nastawników; ewentualnie przywrócić sprawność. – Wykonać badanie elektryczne. – Sprawdzić zamontowanie czujnika i wieńca.

¹⁾ Rodzaj usterki, który można rozpoznać powyżej 20 km/h (wykonać jazdę próbną).

Tabela 9.2 cd.

Numer usterki	Możliwa przyczyna	Sposób usunięcia usterki
Wydruk na drukarce testera V.A.G 1551		
00290 Czujnik prędkości koła tylnego lewego – G46 Usterka mechaniczna¹⁾ Sygnał poza zakresem tolerancji¹⁾	- Przerwa w: - przewodzie czujnika - wtyczce - cewce czujnika - Zwarcie elektryczne w czujniku - Uszkodzony sterownik - Za duża szczelina powietrzna między czujnikiem prędkości koła a wieńcem zębatym - Nie otwiera się zawór wylotowy ABS - Chwiejny styk w: - przewodzie czujnika prędkości koła - wtyczce - cewce czujnika - Uszkodzony wieniec zębaty - Skrzywienie wieńca zębatego przekracza wartość dopuszczalną	- Funkcja 08 „Odczyt zestawu wartości pomiarowych”. Sprawdzenie czujnika; grupa wskazań 02, pole wskazań 2. - Sprawdzić przewód masowy do sterownika. - Wykonać badanie elektryczne. - Jeśli powyższe środki nie pozwolą zlokalizować usterki, to należy wymontować modulator i zastąpić sterownik. - Sprawdzić zamontowanie czujnika i wieńca. - Sprawdzić modulator za pomocą diagnozy nastawników; ewentualnie przywrócić sprawność. - Wykonać badanie elektryczne. - Sprawdzić zamontowanie czujnika i wieńca.
00668 Napięcie w instalacji zacisk 30 Sygnał poza zakresem tolerancji	- Uszkodzone przewody zasilania, złącza wtykowe i bezpiecznik urządzenia sterującego J104 ⇒ Schematy elektryczne, poszukiwanie usterek w elektryce	- Sprawdzić bezpiecznik, przewody, złącza wtykowe oraz zasilanie do sterownika. ⇒ Schematy elektryczne, poszukiwanie usterek w elektryce. - Wykonać badanie elektryczne. - Usunąć wykrytą usterkę i przeprowadzić funkcję 03 „Diagnoza nastawników”.
01044 Źle zakodowany sterownik	- Poprzez tester V.A.G 1551 został wprowadzony błędny numer kodu - Uszkodzony mostek kodowania w wiązce od styku 3 do styku 14	- Sprawdzić kodowanie sterownika. - Sprawdzić przewody w wiązce - Wykonać badanie elektryczne.

¹⁾ Rodzaj usterki, który można rozpoznać powyżej 20 km/h (wykonać jazdę próbną).

Tabela 9.2 cd.

Numer usterki	Możliwa przyczyna	Sposób usunięcia usterki
Wydruk na drukarce testera V.A.G 1551		
01130 Praca ABS Sygnał poza zakresem tolerancji ¹⁾	• Zakłócenia elektryczne spowodowane obcym źródłem prądu (promieniowanie o dużej częstotliwości, np. z niezaisolowanego przewodu zapłonowego)	– Sprawdzić wszystkie przewody i złącza wtykowe, czy nie mają zwarcia do plusa i masy. – Skasować pamięć usterek. – Wykonać jazdę próbną z prędkością większą niż 20 km/h. – Ponownie odczytać pamięć usterek.
01276 Pompa hydrauliczna ABS Sygnał poza zakresem tolerancji ¹⁾	• Uszkodzony silnik pompy • Uszkodzony sterownik	– Wykonać badanie elektryczne. – Jeżeli silnik pompy pracuje prawidłowo podczas wykonywania kroku nr 16, to należy wymontować modulator i wymienić sterownik.
65535 Sterownik	• Uszkodzony sterownik	– Wymienić sterownik. W takim przypadku nie kasować usterek z pamięci. Zawarte w pamięci dane pomogą określić uszkodzenie w sterowniku. Te informacje służą stałemu doskonaleniu produktu.

¹⁾ Rodzaj usterki, który można rozpoznać powyżej 20 km/h (wykonać jazdę próbną).

Kasowanie usterek z pamięci

Wymagania

- Pamięć usterek została odczytana

Kasowanie usterek z pamięci

– → Wcisnąć przycisk

Szybka transmisja danych HELP
Wybrać funkcję XX

- ◀ Komunikat na wyświetlaczu:
(udostępnianie wybierania funkcji)
– Wcisnąć przycisk -0- i -5-; za pomocą 05 zostaje zadana funkcja „Kasowanie usterek z pamięci”

Szybka transmisja danych Q
05 Kasowanie usterek z pamięci

- ◀ Komunikat na wyświetlaczu:
– Potwierdzić wprowadzenie przyciskiem Q

Szybka transmisja danych →

- ◀ Komunikat na wyświetlaczu:
– Wcisnąć przycisk

Szybka transmisja danych HELP
Wybrać funkcję XX

- ◀ Komunikat na wyświetlaczu:
(udostępnianie wybierania funkcji)

Rys. 9.35. Algorytm kasowania usterek z pamięci [17]

Po usunięciu wszystkich przyczyn wykrytych w trakcie badania należy z pamięci diagnostycznej usunąć ich kody. Algorytm kasowania usterek z pamięci podano na rys. 9.35.

Po zakończeniu badania i usunięciu przyczyn wykrytych usterek należy wykonać jazdę próbną, podczas której należy zainicjować działanie układu hamulcowego. Następnie należy za pomocą testera odczytać zawartość pamięci usterek. Prawdłowo przeprowadzone badanie oraz naprawa wykrytych usterek jest sygnalizowane na wyświetlaczu testera kodem zerowym, tzn.: 00000.

Sposób wykorzystania testera diagnostycznego do wykrywania usterek w układach ASR i ESP jest taki sam jak dla układu ABS.

9.6. Pytania i zadania

1. Jakie zadania spełnia układ regulacji i stabilizacji dynamiki jazdy?
2. Co oznaczają skróty: ABS, ASR i ESP?
3. W jakich warunkach działa układ ABS?
4. Narysuj rozmieszczenie podzespołów układu ABS w samochodzie i opisz ich przeznaczenie.
5. Jak jest zbudowany nowoczesny sterownik ABS? Dlaczego w tym sterowniku zastosowano dwa niezależnie działające procesory?
6. Na czym polega działanie układu ABS?
7. Czy układ ABS jest układem regulacji? Jeśli tak, to narysuj schemat blokowy tego układu i wyjaśnij jego funkcje regulacyjne.
8. Ile kanałów mają układy ABS montowane w nowoczesnych pojazdach?
9. Wyjaśnij funkcję czujników prędkości obrotowej kół w układzie ABS.
10. Jak jest zbudowany i jak działa pasywny czujnik prędkości obrotowej kół? Narysuj przebieg napięciowego sygnału wyjściowego tego czujnika.
11. Jak jest zbudowany i jak działa aktywny czujnik prędkości obrotowej kół? Jak głowica tego czujnika współpracuje z pierścieniem magnetycznym zamontowanym w łożysku koła?
12. Jaki rodzaj sygnału występuje na wyjściu aktywnego czujnika prędkości obrotowej koła? Narysuj przebieg tego sygnału.
13. Jakie zawory wykorzystuje układ ABS2S?
14. Czy układ ABS działa, gdy koła pojazdu toczą się z jednakową prędkością?
15. Narysuj i opisz działanie układu ABS2S w trakcie zwiększania, utrzymywania oraz zmniejszania ciśnienia w obwodach hamulcowych kół pojazdu.
16. Kiedy sterownik układu ABS2S przeprowadza testy diagnostyczne jego podzespołów? Wymień te podzespoły.
17. Wyjaśnij różnicę w budowie układów ABS2S i ABS5. Narysuj schematy hydrauliczne tych układów. Jakie wady ma układ ABS2S w porównaniu z układem ABS5?
18. Jakie podzespoły wchodziły w skład zespołu hydraulicznego układu ABS5?

19. Narysuj obwód hydrauliczny układu ABS typu X. Wykorzystując przebieg prędkości obrotowej koła oraz przebieg sygnałów sterujących elektrozaworami, wyjaśnij działanie tego układu.
20. Jakie zadania realizuje sterownik układu ABS5?
21. Jakimi właściwościami charakteryzuje się układ ABS8?
22. Do czego jest przeznaczony układ ASR? W jakich warunkach eksploatacyjnych pojazd działa ten układ?
23. Jakie znasz sposoby przeciwdziałania poślizgowi kół?
24. Opisz sterowanie silnika w czasie pracy układu ASR za pomocą elektronicznego pedału przyspieszenia (EGAS). Narysuj schemat tego układu.
25. Narysuj schemat hydrauliczny układu ABS2S przystosowanego do realizacji funkcji ASR. Jak działa ten układ?
26. Narysuj schemat układu ASR z elektrozaworami 2/2. Jak działa ten układ?
27. W jakich warunkach eksploatacyjnych przestaje działać układ ASR?
28. Wyjaśnij różnicę w działaniu układów ABS/ASR oraz ESP.
29. Wyjaśnij różnicę w zachowaniu się pojazdu wyposażonego w układ ESP oraz niewyposażonego w ten układ podczas jazdy na zakręcie z nadmierną prędkością.
30. Narysuj schemat układu ESP w samochodzie. Wyjaśnij funkcje jego podzespołów.
31. Jak podzespoły układu ESP są rozmieszczone w samochodzie?
32. Z jakich podzespołów wykonawczych korzysta układ ESP?
33. Wymień czujniki niezbędne do prawidłowego działania układu ESP.
34. Jak jest zbudowany i jak działa czujnik kąta obrotu kierownicy typu LWS1?
35. Jak jest zbudowany i jak działa czujnik kąta obrotu kierownicy LWS3?
36. Wyjaśnij działanie kamertonowego czujnika prędkości kątowej.
37. Wyjaśnij budowę i działanie piezoelektrycznego czujnika prędkości kątowej. Narysuj schemat blokowy układu pomiarowego współpracującego z tym czujnikiem.
38. Wyjaśnij budowę i działanie mikromechanicznego czujnika prędkości kątowej oraz przyspieszenia poprzecznego.
39. Jak działa pojemnościowy czujnik przyspieszenia poprzecznego?
40. Wymień główne zadania sterownika ESP.
41. Narysuj schemat regulatora ESP uwzględniający jego funkcje.
42. Na podstawie jakich wielkości sterownik ESP wyznacza wartości kąta znoszenia oraz prędkości kątowej pojazdu?
43. W jakich warunkach eksploatacyjnych pojazdu sterownik ESP uruchamia regulator ABS? Jakie wielkości są przekazywane do tego regulatora, aby mógł on realizować swoje zadania?
44. W jakich warunkach eksploatacyjnych pojazdu sterownik ESP uruchamia regulator ASR? Jakie wielkości są przekazywane do tego regulatora, aby mógł on realizować swoje zadania?
45. Kiedy jest inicjowany proces samodiagnostyki układów ABS/ASR i ESP? Jakie parametry i podzespoły są sprawdzane w trakcie tego procesu?

46. Do jakiego gniazda należy dołączyć tester w celu odczytu zawartości pamięci usterek?
47. Wymień funkcje realizowane przez tester V.A.G 1551.
48. Narysuj algorytm wykorzystania testera V.A.G 1551 do diagnostyki układu ABS.
49. Narysuj algorytm kasowania usterek w pamięci za pomocą testera diagnostycznego.
50. Czy uszkodzenie wieńca zębatego może mieć wpływ na wartość sygnału wyjściowego pasywnego czujnika prędkości obrotowej kół?
51. Czy zewnętrzne zakłócenia elektromagnetyczne mogą mieć wpływ na pracę układów ABS/ASR i ESP?
52. Czy uszkodzenie pompy hydraulicznej ma wpływ na pracę układów ABS/ASR i ESP?
53. W jakim celu należy wykonać jazdę próbną po badaniach i naprawie układów ABS/ASR i ESP?