

PAPRZYCKI Igor, SKORUPKA Zbigniew

ANALIZA SYSTEMÓW ABS W POJAZDACH MECHANICZNYCH

Streszczenie

W artykule przedstawiono genezę powstania, koncepcje i założenia projektowe systemów ABS stosowanych w pojazdach mechanicznych. Pierwszy projekt systemu kontroli poślizgu wytworzony na potrzeby statków powietrznych zakładał realizację techniki hamowania pulsacyjnego, stosowanego przez kierowców rajdowych. Technika ta jest praktycznie niemożliwa do wykonania przez pilota samolotu. Konieczne, zatem było zaprojektowanie układu elektromechanicznego realizującego powyższe zadanie. Artykuł zawiera opis rozwiązań inżynierskich zastosowanych w systemach kontroli poślizgu z uwzględnieniem możliwości technicznych sprzed ponad 80 lat jak i współczesnych.

Autorzy opisują pierwotne założenia systemu powstałego po raz pierwszy na potrzeby lotnictwa oraz obecnych systemów stosowanych niemalże, jako standardowe wyposażenie nowo produkowanych aut osobowych. W dalszej części skupiono się na rozwoju systemów ABS w oparciu o nowatorskie rozwiązania z dziedziny zarówno elektroniki, hydrauliki oraz systemów mechatronicznych.

WSTĘP

Problem blokowania się kół podczas procesu hamowania znany był odkąd zaczęto stosować hamulce w pojazdach mechanicznych. Wraz ze zwiększaniem się parametrów użytkowych pojazdów problem blokowania się kół zaczął nabierać znaczenia ze względu na występujący poślizg zablokowanego koła połączony z utratą kontroli nad pojazdem. O ile w samochodach możliwe jest hamowanie pulsacyjne redukujące skutki blokady kół, o tyle w motocyklach i samolotach rozwiązanie takie nie okazało się skuteczne.

W zaistniałej sytuacji zaczęto poszukiwania rozwiązań mechanicznych mogących w sposób jednoznaczny wyeliminować niebezpieczeństwo. W założeniu układ miał być niezależny od reakcji kierującego ze względu na przekonanie o tym, że czynnik ludzki jest najsłabszym ogniwem procesu, zwiększającym ryzyko niepowodzenia.

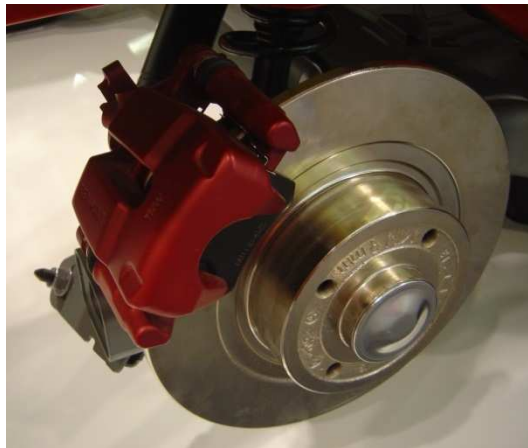
Pierwszy, mechaniczny, układ ABS (ang. Anti-Lock Braking System) został zaprojektowany na potrzeby Lotnictwa. Nie znalazł on jednak szerszego zastosowania ze względu na skomplikowaną budowę i odczucie o jego ograniczonej przydatności.

Systemy ABS zagościły na stałe w pojazdach mechanicznych kilkadziesiąt lat później, kiedy zastosowano na szeroką skalę elektroniczne układy sterowania szybsze, dokładniejsze i bardziej powtarzalne w działaniu od swoich mechanicznych odpowiedników.

Dziś system ABS stał się wymaganym prawem (w Unii Europejskiej) wyposażeniem bezpieczeństwa w samochodach, a w lotnictwie stał się standardem niezależnie od regulacji prawnych. Na bazie elektronicznych układów ABS powstały bardziej zaawansowane systemy stabilizacji toru jazdy np. ESP.

1. HAMOWANIE

Hamulec jest urządzeniem służącym do zatrzymywania, zmniejszania i regulacji prędkości obrotowej maszyny, urządzenia, członu. Zadaniem hamulca jest sprzęgnięcie elementu ruchomego z nieruchomą podstawą, obudową lub innym unieruchomionym materiałem. Ze względu na rodzaj sterowania hamulce możemy podzielić na: mechaniczne, hydrauliczne, pneumatyczne, elektromechaniczne, samoczynne (odśrodkowe). Uwzględniając kierunek działania siły hamowania układy można skategoryzować w następujący sposób: promieniowe, osiowe, specjalne (fot. 1,2.) [7]. Powszechnie spotykanymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi w pojazdach mechanicznych takich jak samochody osobowe, ciężarowe, maszyny budowlane są hamulce hydrauliczne i pneumatyczne o kierunku działania siły promieniowym i osiowym.



Fot. 1. Hamulec osiowy hydrauliczny – tarczowy.

Źródło: [8].



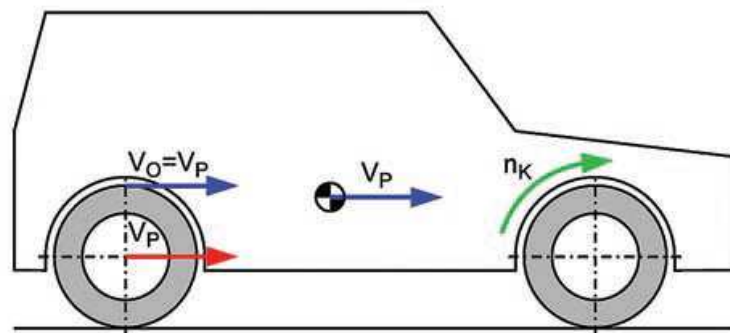
Fot. 2. Hamulec promieniowy hydrauliczny – szczękowy.

Źródło: [8].

Wciśnięcie pedału hamulca przez kierowcę powoduje wytworzenie ciśnienia hydraulicznego (pneumatycznego) wywołującego zwiększenie siły docisku okładzin hamulcowych do tarczy lub bębna. Wytwarzana jest siła hamowania hamulca działająca momentem hamującym na oponę. Podczas hamowania energia potencjalna i kinetyczna pojazdu są przekształcane w energię cieplną. Występują dwa miejsca, w których generowane

jest ciepło powstające w wyniku procesu hamowania. Na styku elementów ciernych hamulca, gdzie generowany jest moment hamujący hamulca oraz na styku opony z drogą w wyniku występowania tarcia i związanej z nim siły hamowania [7].

Oś koła pojazdu poruszającego się ze stałą prędkością V_p przemieszcza się z tą samą prędkością. Koło niepoddane sile hamowania toczy się po nawierzchni z prędkością obwodową n_k . Prędkość obwodowa koła V_o (prędkość punktu na krawędzi opony) równa jest w tej sytuacji prędkości postępowej pojazdu V_p (rys. 1.). Różnica pomiędzy prędkością obwodową koła V_o , a prędkością postępową V_p nazywana jest poślizgiem koła. Wystąpienie poślizgu powoduje powstanie tarcia na styku opony z nawierzchnią, a w rezultacie siły hamowania. Jeśli samochód porusza się z prędkością $V_p = 60$ km/h, a prędkość obwodowa hamowanego koła wynosi 45 km/h oznacza to, że koło ma poślizg równy 25% [2].



Rys. 1. Prędkości pojazdu i jego kół: V_p - prędkość postępową; V_o - prędkość obwodowa punktu położonego na obwodzie koła; n_k - prędkość obrotowa koła.

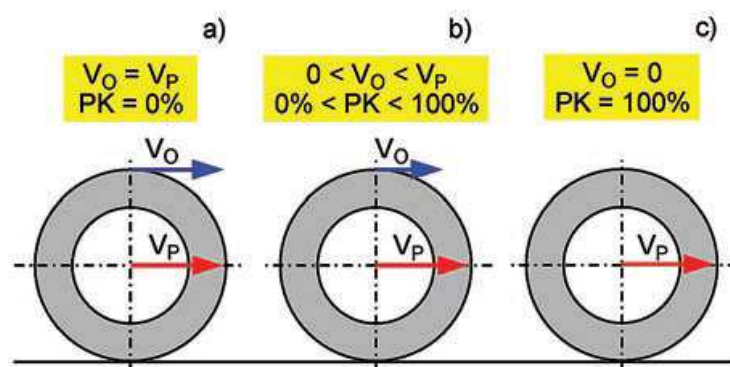
Źródło: [2].

Podczas hamowania pojazdu poślizg przyjmuje różne wartości od $0 \div 100\%$. Występują trzy standardowe sytuacje podczas ruchu oraz hamowania pojazdu (rys. 2.).

Poślizg $PK = 0$. Sytuacja występuje, gdy prędkość pojazdu V_p (osi koła) równa jest prędkości obwodowej koła V_o . Pojazd porusza się ze stałą prędkością, a koła nie są hamowane (rys.2.a.).

Poślizg $0\% < PK < 100\%$. Prędkość pojazdu V_p jest większa od prędkości obwodowej koła V_o . Pojazd hamuje, lecz koła nie są zablokowane (rys. 2.b.).

Poślizg $PK = 100\%$. Prędkość obwodowa $V_o = 0$, a prędkość pojazdu $V_p > 0$. W tej sytuacji koło jest zablokowane (prędkość obwodowa równa zero) a pojazd porusza się do przodu (rys. 2.c.).



Rys. 2. Poślizg koła: a) koło nie hamowane; b) koło hamowane obraca się; c) koło zablokowane.

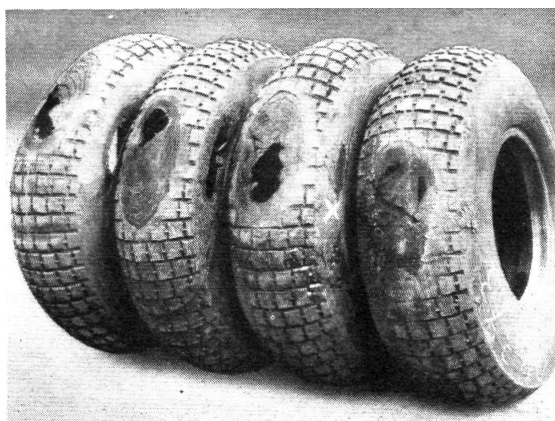
Źródło: [2].

Wykorzystanie maksymalnych parametrów hamowania opony niepowodujących całkowitego zablokowania kół odbywa się w granicach 10 – 30% poślizgu w zależności od

rodzaju nawierzchni, stanu opony oraz konstrukcji pojazdu i hamulca. Poślizg opony na poziomie 20% oznacza, że prędkość obwodowa opony stanowi 80% prędkości postępowej koła (rys. 1.). Z tego wynika, że 80% energii kinetycznej poruszającego się pojazdu jest przekształcane przez hamulec, natomiast pozostałe 20% przez oponę i nawierzchnię. W warunkach zablokowania kół podczas hamowania całość energii hamowania rozpraszana jest przez nagrzewającą się na powierzchni drogi oponę. Następuje bardzo gwałtowne starcie opony i całkowita utrata zdolności manewrowania pojazdem [6].

2. TRUDNE POCZĄTKI

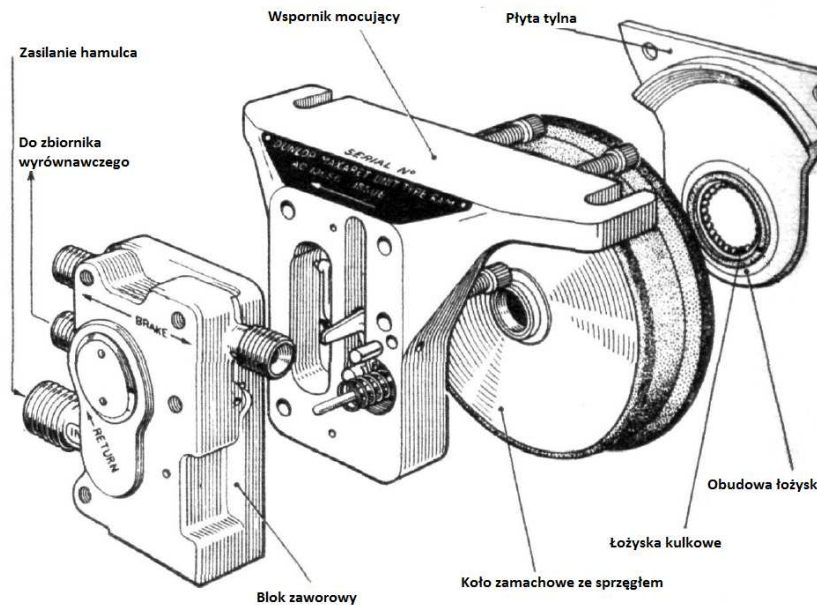
Układ zapobiegający blokowaniu kół samolotu został po raz pierwszy skonstruowany w roku 1929 przez francuskiego inżyniera Gabriela Voisin. Dynamika układu hamulcowego samolotu praktycznie uniemożliwia zastosowanie przez pilota techniki hamowania pulsacyjnego, co w przypadku zablokowania koła samolotu podczas lądowania zazwyczaj kończy się to eksplozją opony (fot. 3), a niekiedy uszkodzeniem całego podwozia czy samolotu [4].



Fot. 3. Typowe uszkodzenie opon podczas silnego hamowania na podłożu o standardowym współczynniku tarcia.

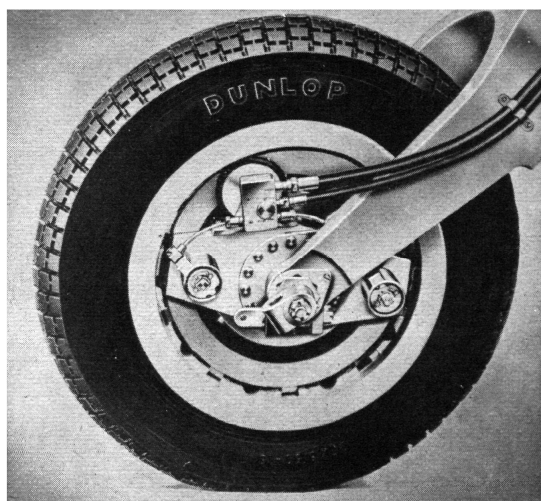
Źródło: [4].

W odpowiedzi na powyższe wypadki podjęto próbę zrealizowania automatycznego systemu redukującego ciśnienie hamowania. Opracowany system Maxaret zbudowany był z koła zamachowego, bębna oraz zaworu zainstalowanego w linii hydraulicznej hamulca (rys. 3.).



Rys. 3. Budowa układu anty - poślizgowego Maxaret.
Źródło: [4].

Bęben, poprzez gumową podkładkę, stykał się z piastą koła zapewniając ruch obrotowy obu części z tą samą prędkością. Koło zamachowe połączone było z bębniem poprzez sprzęgło jednostronnego działania. Ruch obrotowy koła samolotu poruszającego się po pasie powodował rozpedzanie koła zamachowego. Gwałtowne zatrzymanie kręcącego się koła nie zatrzymywało koła zamachowego, które mogło się swobodnie kręcić. Dopuszczono 60 stopniową różnicę kątową pomiędzy elementami obrotowymi układu Maxaret. Podczas hamowania z optymalną siłą hamowania, nie dochodzi do zablokowania koła. Koło zamachowe obraca się z tą samą prędkością co bęben. Ciśnienia w hamulcach nie jest redukowane. W sytuacji gwałtownego zatrzymania koła podczas zbyt silnego hamowania, bęben sprzęgnięty z kołem zatrzymuje się, natomiast koło zamachowe obraca się z dużo większą prędkością. Różnica kątowa pomiędzy dwoma obrotowymi elementami powodowała otwarcie zaworu, zrzucającego niewielką ilość płynu hydraulicznego do zbiorniczka wyrównawczego. W konsekwencji siła hamowania została zredukowana, a koło zwiększało prędkość obrotową aż do zrównania prędkości bębna i koła zamachowego. Powyższe rozwiązanie zapewniało redukcję ciśnienia tylko w przypadku, gdy koło się obracało. Podczas testów wykazano do 30% zwiększone osiągi hamowania. Zamiast stopniowo zwiększać ciśnienie hamowania w celu wykrycia punktu utraty przyczepności, piloci mogli zadawać pełne ciśnienie zaraz po przyziemieniu [3].



Fot. 4. Układ antypoślizgowy Dunlop Maxaret zainstalowany na samolocie.
Źródło: [3].

Rozwiązanie pozwoliło skrócić drogę hamowania oraz wyeliminować wypadki związane z przypalonymi lub rozerwanymi oponami.

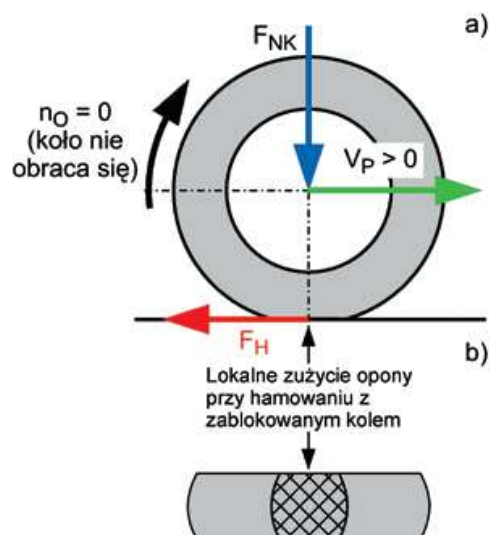
W roku 1958 przeprowadzono testy układu Maxaret zaadaptowanego w motocyklu Super Meteor firmy Royal Enfield. Eksperymenty pokazały zalety zastosowania układu ABS w motocyklach, gdzie ślizganie się kół po nawierzchni powoduje znaczną ilość wypadków. Droga hamowania została znacząco zredukowana, a niebezpieczne blokowanie kół wyeliminowane. Ówczesny dyrektor techniczny zakładów Enfield Tony Wilson-Jones dostrzegł potencjał systemu Maxaret, jednakże nie zdecydowano się na produkcję seryjną.

Pewną odmianę układu zapobiegającemu blokowaniu się kół wynaleziono dla pojazdów szynowych. Zapobiegał on długotrwałemu blokowaniu się kół podczas hamowania i zeszlifowania krawędzi kół kolejowych. Z tego okresu pochodzi określenie układ antyblokujący (ang. Anti-Lock).

W przypadku pojazdów szynowych i samolotów nie ma konieczności uwzględniania sił bocznych działających na pojazd. W samolocie stabilność zapewniają stery, w kolejnictwie szyny kolejowe. W przypadku pojazdów samochodowych należy dodatkowo uwzględnić warunki niestabilności. Szczególnie intensywnie występują podczas nierównomiernej przyczepności kół po prawej i lewej stronie samochodu, np. jednostronnie oblodzona jezdnia. Powoduje to różnice w sile hamowania strony lewej i prawej, a w konsekwencji obrót pojazdu wokół własnej osi. Z początkiem lat 60, gdy pojawiły się układy elektroniczne mogące zapewnić odpowiednią jakość regulacji, rozpoczął się rozwój układów ABS na szeroką skalę. W latach siedemdziesiątych pojawił się układ ABS zamontowany w samochodzie firmy Mercedes Benz. W roku 1978 Bosch wprowadził nowatorski układ do produkcji wielkoseryjnej. Datę tę uważa się za początek systemów ABS montowanych w samochodach powszechnego użytku.

3. ZADANIA UKŁADU ABS

Zablokowane koła generują siłę hamowania o zwrocie przeciwnym do ruchu pojazdu. Skręcenie kół w takiej sytuacji w żaden sposób nie zmienia kierunku działającej siły. W sytuacji gdy kierujący pojazdem użyje zbyt dużej siły hamowania, powodując zablokowanie kół (rys. 4.), konieczne jest zmniejszenie ciśnienia w celu odzyskania kontroli nad pojazdem. Do wykonania powyższego zadania układ ABS wykorzystuje modulator hydrauliczny, który sterując zaworami elektromagnetycznymi utrzymuje ciśnienia w hamulcach poniżej poziomu wskazywanego przez kierowcę [1].



Rys. 4. Lokalne zużycie opony w wyniku zablokowania koła podczas hamowania.
Źródło: [2].

System ABS zapobiega zablokowaniu kół poprzez regulację siły hamowania w zależności od warunków jakie w danej chwili panują na drodze. Na śliskich nawierzchniach lub w sytuacjach wymagających gwałtownego użycia hamulca, system zapobiega możliwości zablokowania koła poprzez odpowiednie modulowanie ciśnienia hamowania zapewniając następujące zadania [6]:

1. Zapobieganie zablokowaniu kół w każdych warunkach,
2. Zapewnienie stabilności pojazdu i możliwości kontroli nad nim,
3. Zapewnienie minimalnej drogi hamowania.

Co najważniejsze, powyższe zdania należy wymieniać w zaznaczonej kolejności. Jak wykazano w testach [6] w niektórych sytuacjach, droga hamowania pojazdu wykorzystującego system ABS wydłuży się. Zapewniona jednak zostaje funkcja podstawowa – zapewnienie stabilności pojazdu. Pod tym pojęciem rozumiemy przeciwdziałanie utracie kontroli nad pojazdem. Jest to możliwość skręcania, jazdy po łuku, omijania przeszkód na drodze szczególnie w sytuacjach, gdy pojawiają się nagle i zadawana jest pełna siła hamowania.

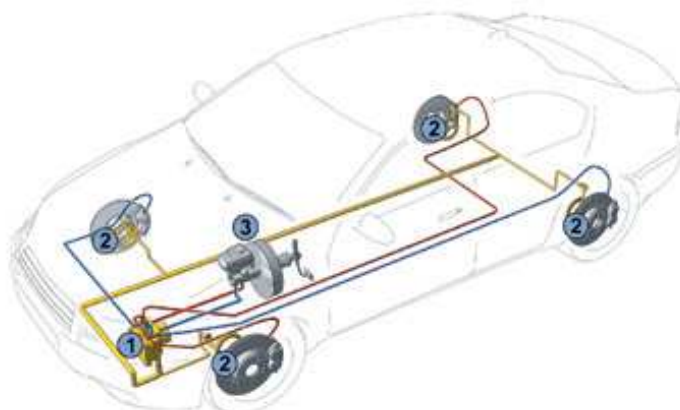
Układ ABS pracuje w taki sposób, aby możliwie skrócić drogę hamowania na jak największej ilości rodzajów nawierzchni, począwszy od bardzo przyczepnych, po cechujące się bardzo małymi współczynnikami tarcia, np. lód. Kierowca poprzez niewłaściwe używanie hamulca w pojeździe wyposażonym w układ ABS może zmniejszyć skuteczność działania układu ABS.

Wiele niebezpiecznych sytuacji na drodze, powodujących odruchowe wciśnięcie pedału hamulca, wymaga również zmiany kierunku jazdy. W takich wypadkach zapewnienie stabilności pojazdu jest ważniejsze niż maksymalne skrócenie drogi hamowania. Układ ABS ma za zadanie skracać drogę hamowania, do czasu kiedy stwierdzi, że samochód traci sterowalność. Wówczas utrzymanie możliwości kierowania pojazdem staje się zadaniem priorytetowym [5]. Dążenie jedynie do skrócenia drogi hamowania stanowczo utrudni możliwość kierowania pojazdem podczas gwałtownego hamowania.

4. ELEKTRONIKA = PRZYSZŁOŚĆ

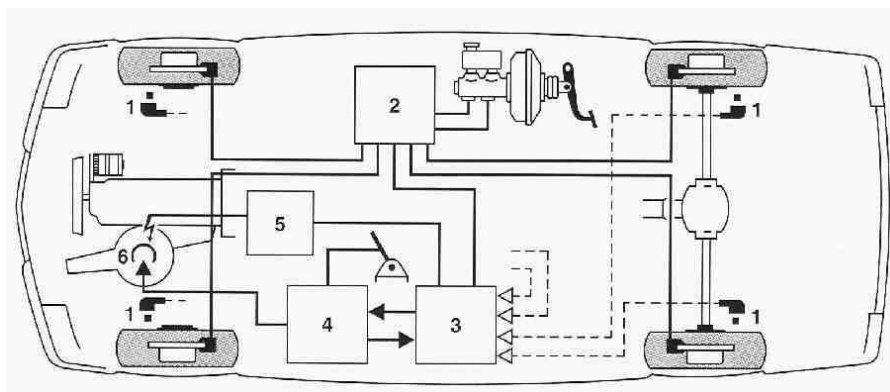
Standarowy układ ABS składa się z elektronicznej jednostki sterującej – ECU, czujników prędkości obrotowej, modulatora hydraulicznego oraz tarczy zębatej (rys. 5.). Czujniki prędkości obrotowej na bieżąco monitorują i wysyłają impulsy do ECU z

częstotliwością proporcjonalną do prędkości obrotowej. Jeżeli częstotliwość impulsów wykaże, że za chwilę nastąpi zablokowanie koła, ECU wysyła sygnał sterujący do modulatora ciśnienia danego koła w celu obniżenia i w miarę potrzeby utrzymania niskiego ciśnienia w hamulcu na poziomie nie powodującym zablokowania koła. Następnie ECU poszukuje punktu maksymalnego ciśnienia nie powodującego zablokowania koła. ECU na bieżąco kontroluje prawidłowość pracy elektroniki, czujników oraz modulatora ciśnienia. Wykrycie nieprawidłowości w działaniu powoduje odłączenie układu oraz wyświetlenie odpowiedniego komunikatu na desce rozdzielczej kierowcy [2].



Rys. 5. Rozmieszczenie elementów układu ABS w samochodzie: 1 – ECU wraz z modulatorem ciśnienia; 2 – czujniki prędkości obrotowej; 3 – pedał, wspomaganie i pompa hamulcowa.
Źródło: [2].

Sukces systemów ABS skłonił inżynierów do rozszerzenia zakresu działania kontroli zachowania samochodu nie tylko podczas hamowania lecz również normalnej jazdy. System kontroli trakcji monitoruje na bieżąco poślizg kół napędzanych, wykrywając poślizg kół spowodowany zbyt dużym momentem napędowym (rys. 6.). W razie potrzeby redukuje go (sterowanie przepustnicą, mieszanką paliwową, zapłonem) oraz hamuje poszczególne koła [1].

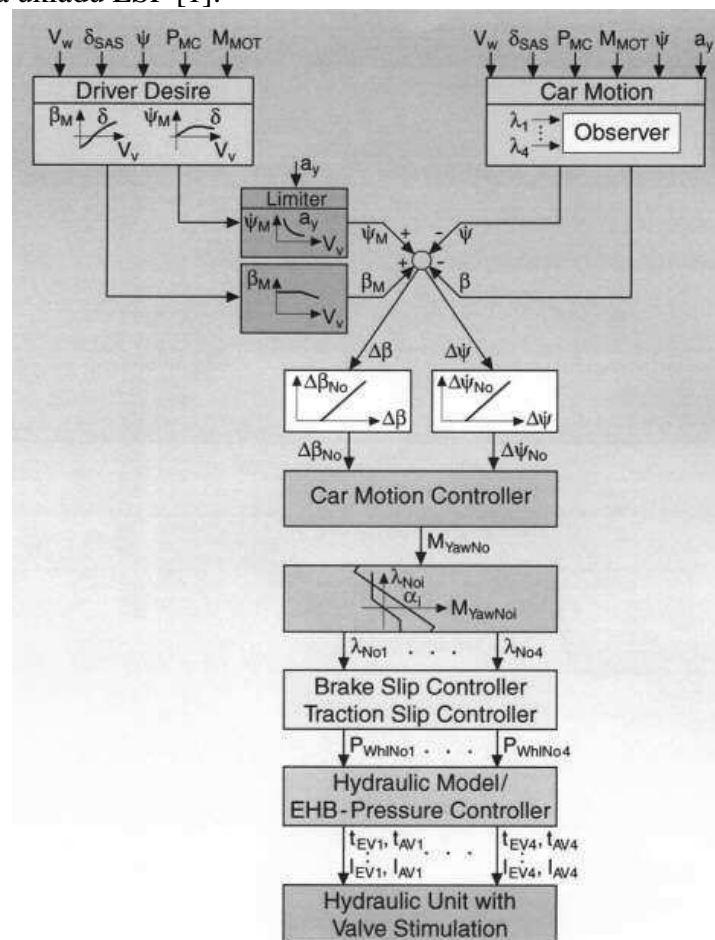


Rys. 6. Podstawowy system kontroli trakcji: 1 – czujnik prędkości obrotowej; 2 – modulator hydrauliczny; 3 – TCS-ECU; 4 – ECU przepustnicy; 5 – ECU silnika.
Źródło: [1].

W pierwszym podejściu budowy układu kontroli trakcji podjęto próbę wykorzystania wartości poślizgu koła w zależności od współczynnika tarcia. Jest to sposób wyznaczania wartości sterowania zaworem w układzie ABS. Niestety zbyt duże zakłócenia wynikające z momentu napędowego silnika i różnych przełożeń skrzyni biegów nie pozwalają skutecznie wyznaczyć wartości sterowania. Na szczęście na potrzeby systemów kontroli trakcji można wykorzystać pomiar prędkości kół nie napędzanych w celu oszacowania poślizgu kół napędzanych. Zaprogramowanie algorytmu sterowania wymaga analizy dynamiki samego

pojazdu oraz zjawisk związanych z pracą silnika (zapłon, mieszanka paliwa). Z powodu regulacji pracy silnika i kontroli jakości spalin nie w każdej chwili możliwe jest sterowanie momentem napędowym z zadowalającym rezultatem. Co więcej, stałe czasowe powyższych zjawisk zmieniają się w zależności od temperatury silnika i otoczenia oraz stanu technicznego pojazdu [1].

Sprzężenie zwrotne stanu w jakim znajduje się pojazd jest możliwe dzięki rozszerzeniu systemu kontroli trakcji o cztery dodatkowe czujniki: kąta skreću kierownicy, czujników ciśnienia płynu hamulcowego, czujnika przechyłu oraz akcelerometru. Zmienne zadawane przez kierowcę brane są pod uwagę w celu oszacowania stanu w jakim znajduje się pojazd. System ESP umożliwia kontrolowanie momentu odchylającego (ang. yaw moment) działającego na cały samochód poprzez kontrolowanie poślizgu na poszczególnych kołach. Algorytm sterowania determinuje w jaki sposób wpłynąć na zmianę poślizgu poszczególnych kół aby spowodować pożądaną zmianę momentu odchylającego. Rysunek 7. przedstawia algorytm sterowania układu ESP [1].

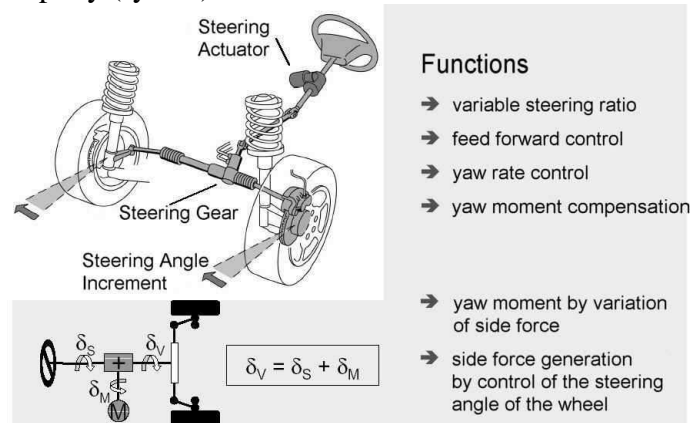


Rys. 7. Diagram blokowy systemu ESP (zachowana pisownia oryginalna).
Źródło: [1].

Na samej górze hierarchicznej struktury algorytmu widoczne są parametry pojazdu: pożądane przez kierowcę (Driver Desire), aktualnie zmierzone oraz estymowane przy pomocy obserwatorów (Car Motion). Wyniki w postaci poślizgu na poszczególnych kołach λ_{Noi} trafiają do głównego kontrolera poślizgu i kontroli trakcji. W pierwszym kroku estymowany jest kąt poślizgu samochodu β oraz wartość przyrostu $\Delta\beta$. Wartość estymacji jest słuszna tylko dla przypadku, gdy kąty przechylenia pojazdu są pominięte oraz pojazd porusza się w płaszczyźnie poziomej. W równaniu wykorzystywane są: przyspieszenie wzdłużne, przyspieszenie poprzeczne, prędkości wzdłużna i poprzeczna oraz prędkość odchylenia. W

celu wyeliminowania błędów wynikających z dynamiki pojazdu silnie hamowanego wykorzystuje się obserwatory stanu estymujące brakujące parametry modelu pojazdu. Obserwator zbudowany jest na bazie modelu czterokołowego pojazdu, wykorzystując dwa równania dynamiki: na prędkość odchylenia oraz prędkość boczną pojazdu. Po dyskretyzacji równań wykorzystywane są w modelu filtra Kalmana do obliczenia siły bocznej działającej na każde z kół. Na podstawie wartości pomiarowych z kontrolera silnika oraz czujników prędkości oraz estymowanej dynamiki pojazdu modulator ciśnienia oraz kontroler momentu napędowego sterują członami wykonawczymi wyprowadzając samochód z niesterowalnego odchylenia, zapewniając bezpieczeństwo podróżnym [1].

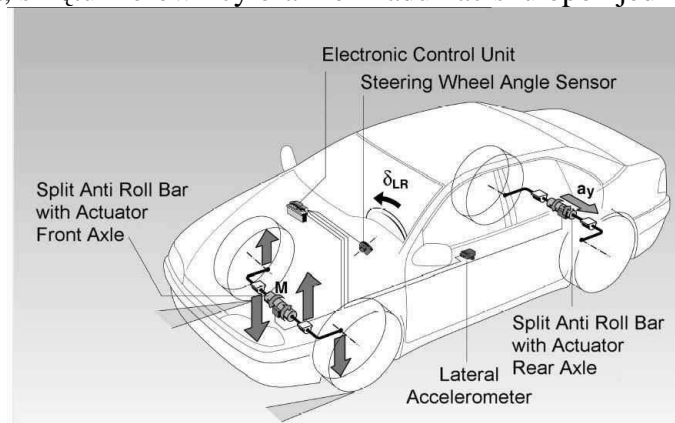
Nowoczesny system ESP może dodatkowo modyfikować kąt skrętu kierownicy (rys. 8.) lub rozkład nacisku na opony (rys. 9.).



Rys. 8. Aktywny system ESP z kontrolowanym skretem kierownicy (zachowana pisownia oryginalna).

Źródło: [1].

Każdy z tych systemów jest w stanie zmieniać moment odchylający samochodu, zapewniając tym samym stabilizację toru jazdy. Problem jednak brzmi: jak wyliczać całkowite sterowanie toru jazdy dla aktuatorów ciśnienia w hamulcach, momentu napędowego z silnika, skrętu kierownicy oraz rozkładu nacisku opon jednocześnie?

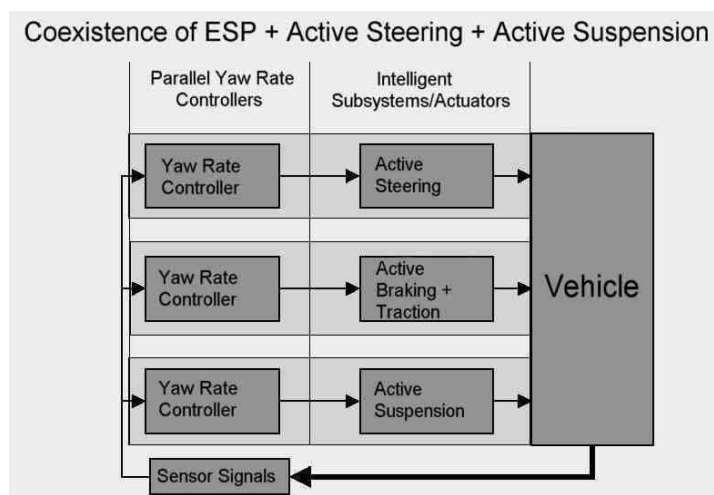


Rys. 9. Aktywne zawieszenie z dzielonym drążkiem stabilizacyjnym (zachowana pisownia oryginalna).

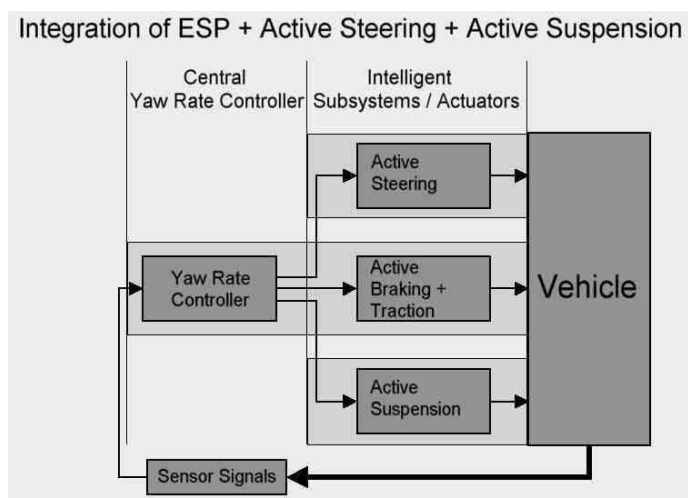
Źródło: [1].

W pierwotnym podejściu starannie się rozdzielić pasmo działania kontrolerów dla poszczególnych subsystemów (rys. 10.). Każdy z aktuatorów posiadał własny, niezależny kontroler momentu odchylającego. Wzmocnienie działania poszczególnych członów musi zostać wystrójone w taki sposób, aby nie doprowadzić do nieprzewidywalnego zachowania czy utraty kontroli nad pojazdem. Zaletą takiego rozwiązania jest możliwość rozszerzania

funkcjonalności poszczególnych składowych całego układu niezależnie od siebie. Z powodu konieczności redukcji wzmocnienia działania kontrolerów, gwarantującego prawidłowe współgranie wszystkich elementów utracono potencjalne możliwości zwiększenia osiągnięć. Wykonanie systemów adaptacyjnych i uczących się w tym rozwiązaniu jest również niemożliwe [1].



Rys. 10. Koncepcja trzech niezależnych kontrolerów momentu odchylającego (zachowana pisownia oryginalna).
Źródło: [1].



Rys. 11. Koncepcja zintegrowanego system kontrolera momentu odchylającego (zachowana pisownia oryginalna).
Źródło: [1].

Kolejne propozycje opierają się na wykorzystaniu centralnego kontrolera, który bierze pod uwagę wszystkie akulatory (rys. 11.). Jest to ważne ze względu na różny czas odpowiedzi w postaci zmiany odchylenia od trajektorii pożądaney, dla sterowania z poszczególnych akuatorów. Centralny kontroler wykorzystuje podsystemy akuatorów jako zintegrowany inteligentny system. Systemy przyszłości będą wpływały na sterowalność pojazdu nie tylko w sytuacjach gdy wartości krytyczne zostaną przekroczone. Jeśli warunki chwilowe ulegną zmianie, na przykład z powodu zmiany właściwości opony na nawierzchni, system przywróci prawidłową trajektorię pojazdu poprzez działania niezauważalne przez kierowcę. Takie systemy mają potencjał zapewnienia odporności systemu stabilizacji na zmienność parametrów układu regulacji jakim jest poruszający się pojazd [1].

PODSUMOWANIE

Pierwszy zbudowany system ABS miał za zadanie zapobiegać blokowaniu kół podczas lądowania samolotu. System elektronicznej stabilizacji toru jazdy ESP wyewoluował z systemów kontroli kół takich jak ABS czy TCS, do systemu kontrolującego bezpieczeństwo poruszania się całego pojazdu. Praktyczny i nowoczesny system wymaga rozbudowanego modelu matematycznego pojazdu oraz licznych czujników pomiarowych przewidując zmienność parametrów pojazdu, jak np. właściwości opon. Systemy przyszłości będą w stanie kompensować błędy kierowcy i nieprzewidywalność warunków drogowych tak aby pełniej spełnić wymagania bezpieczeństwa na drodze.

BIBLIOGRAFIA

1. Anton T. von Zanten, Evolution of Electronic Control Systems for Improving the Vehicle Dynamic Behavior. Robert Bosch GmbH.
2. Myszkowski S., Układ ABS. Wiadomości Inter Cars SA 2012, nr 46.
3. Smith M., Dunlop Maxaret Anti-skid unit for new high-performance aircraft. Flight International 1954, nr 2356.
4. Smith M., Non-skid Braking. Flight International 1953, nr 2336.
5. Stone R., Ball J. K., Automotive Engineering Fundamentals. USA 2004.
6. U.S. Army, Engineering Design Handbook – Analysis and Design of Automotive Brake Systems. USA 1976.
7. Ścieszka S. F., Hamulce cierne. Gliwice – Radom 1998.
8. www.wikipedia.org.

ABS SYSTEMS ANALYSIS IN MOTOR VEHICLES

Abstract

This paper present the concepts and conceptual design of the ABS system used in motor vehicles. First ABS system was design for aircraft use where threshold braking is nearly impossible. It was necessary to design a system that automatically lower the hydraulic pressure and release the brakes.

This article includes a description of over 80 years old and modern engineering solutions. It calls the first anti - lock braking system project assumptions for the aircraft use. It also describes the assumptions of modern system, that is installed in all new commercial and passenger vehicles.

The next part of this paper focusses on the innovative systems that leverage electronics, hydraulics and mechatronics solutions.

Autorzy:

mgr inż. **Igor Paprzycki** – Instytut Lotnictwa; Pracownia Podwozi

mgr inż. **Zbigniew Skorupka** - Instytut Lotnictwa; Pracownia Podwozi