



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

STABILIZAČNÍ SYSTÉMY OSOBNÍCH AUTOMOBILŮ

STABILIZING SYSTEMS OF PASSENGER CARS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAKUB ODEHNAL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PAVEL KUČERA

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2012/13

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jakub Odehnal

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Stabilizační systémy osobních automobilů

v anglickém jazyce:

Stabilizing systems of passenger cars

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vypracujte rešerši popisující stabilizační systémy osobních automobilů.

Cíle bakalářské práce:

Přehled hlavních stabilizačních systémů

Funkce stabilizačních systémů ABS, ASR, ESP

Směr vývoje stabilizačních systémů

Seznam odborné literatury:

VLK, František. Automobilová elektronika : systémy řízení podvozku a komfortní systémy.
Vyd. 1. Brno : Prof.Ing.František Vlk,DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006. 308 s. ISBN
80-239-7062-3.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Kučera

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 25.10.2012



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan



ABSTRAKT

Tato bakalářská práce popisuje základní stabilizační systémy osobních automobilů. Tyto systémy zasahují do řízení vozidla a zvyšují tak bezpečnost silničního provozu. Hlavními systémy, které tato práce popisuje, jsou ABS, ASR a ESP. Dále jsou zde shrnuty některé přidružené asistenční systémy. V závěru této práce je také pohled na jednotlivé automobilky a jejich přístup k stabilizaci vozidel.

KLÍČOVÁ SLOVA

ABS, ASR, ESP, stabilizace, smyk, brzda, bezpečnost, adheze

ABSTRACT

This Bachelor's thesis describes basic stabilizing systems of passenger cars. These systems are correcting driving the cars and improve safety of the traffic. The main systems described in this thesis are ABS, ASR and ESP. There are also summarized some other assistant systems. In the end there is also view of various individual car companies and their theories of stabilizing of cars.

KEYWORDS

ABS, ASR, ESP, stabilization, skid, brake, safety, adhesion



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ODEHNAL, J. *Stabilizační systémy osobních automobilů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 43 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Kučera.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Pavla Kučery a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2013

.....

Jakub Odehnal



PODĚKOVÁNÍ

Rád bych tímto poděkoval Ing. Pavlu Kučerovi za odborné vedení v průběhu vypracování bakalářské práce, za poskytnutí literárních zdrojů a mnoho cenných rad.



OBSAH

Úvod	10
1 Stabilizace jízdy vozidel	11
1.1 Smyk	11
1.1.1 Adheze	11
1.1.2 Skluz	11
1.2 Přehled hlavních stabilizačních systémů	12
2 Protiblokovací systém ABS	13
2.1 Princip protiblokovacího systému ABS	13
2.2 Historie protiblokovacího systému ABS	15
2.2.1 ABS 2S	16
2.2.2 ABS 5.0	16
2.2.3 ABS 5.3	17
2.3 Elektronická uzávěrka diferenciálu EDS	17
2.3.1 Regulovatelný uzavíratelný diferenciál	17
2.3.2 EDS	17
2.3.3 Princip elektronické uzávěrky diferenciálu EDS	18
2.4 Elektronické rozdělování brzdné síly EBD	20
2.4.1 Princip elektronického rozdělování brzdné síly EBD	20
2.5 Brzdový asistent BAS	21
3 Protiskluzové systémy ASR	23
3.1 Princip protiskluzového systému ASR	23
3.1.1 Motorová regulace ASR	24
3.1.2 Brzdová regulace ASR	25
3.1.3 Elektronické řízení výkonu motoru EMS	26
3.2 Historie protiskluzového systému ASR	28
3.3 Vybrané typy systémů ASR	28
3.3.1 ASR 2 – DKB s řízením výkonu motoru a přibrzděním hnacích kol	28
3.3.2 ASR 2 – DKZ/MSR s řízením výkonu motoru	28
3.3.3 ASR 5 s řízením výkonu motoru a přibrzděním hnacích kol	29
4 Elektronický stabilizační program ESP	31
4.1 Princip elektronického stabilizačního programu ESP	32
4.2 Historie elektronického stabilizačního programu ESP	35
4.2.1 ESP	36
4.2.2 ESP II	36
4.2.3 ESP s funkcí DSR	36



5	Regulační systémy některých automobilek	38
5.1	BMW	38
5.2	Ford	38
5.3	VW	39
6	Budoucnost řízení automobilů	40
	Závěr	41
	Seznam použitých zkratek a symbolů	43



ÚVOD

V dnešní době, kdy je automobilová doprava masově rozšířena, jsou nároky na bezpečnost posádky vozidla i přepravovaných věcí mnohonásobně vyšší, než tomu kdy bývalo. Aktivní bezpečnost se neustále vyvíjí, aby co nejrychleji a nejdokonaleji zasáhla do krizové situace řízení vozidla a tuto co nejvíce potlačila. Postupem času se tak vyvíjelo spousta systémů, které měly za úkol dohlížet nad fyzikálními zákony a to hlavně při odvalování pneumatik po silnici. Většina těchto systémů totiž kontroluje skluz jednotlivých kol vozidla, protože kola, která prokluzují, jsou mnohonásobně méně stabilní než kola, která se pouze odvalují.

Jako první se v automobilovém průmyslu objevil systém ABS kontrolující jízdní stav vozidla při prudkém brzdění. ABS totiž zabráňuje blokaci kol a zachovává říditelnost vozidla právě na hranici fyzikálních zákonů. Dalším vyvíjeným systémem uplatněným u automobilů byl systém ASR, který naopak kontroluje skluz kol při prudké akceleraci. I při náhlém zrychlení může být totiž významně ovlivněna stabilita vozidla. V dnešní době existuje řada ucelených stabilizačních programů (ESP), které kontrolují jízdu vozidla jako celek a k zajištění stability ve všech situacích používají senzorů a dílčích prvků jako právě ABS či ASR.

Všechny tyto stabilizační systémy a programy zachraňují dnes a denně tisíce řidičů po celém světě před nechtěnými situacemi v silničním provozu. Jsou navrženy tak, aby zasáhly do řízení vozidla rychleji než jakýkoliv zkušený řidič a v případě ztráty kontroly nad vozidlem řidiči s řízením pomohly nebo jej na chvíli zcela převzaly. V této práci se seznámíme nejen s již jmenovanými hlavními systémy, ale i některými dalšími, které jejich funkci doplňují.



1 STABILIZACE JÍZDY VOZIDEL

Elektronické stabilizační systémy mají všeobecně za úkol pomáhat řidiči motorového vozidla nejen předcházet vzniku smyku, ale případně mu pomoci s jeho vyrovnáním, pokud tato situace nastane. V dnešní době existuje mnoho různých typů, výrobců a značek těchto systémů, avšak princip funkce je založen vždy na stejné myšlence, a to zasáhnout do řízení vozidla takovým způsobem, aby byla tato krizová situace co nejrychleji a nejefektivněji potlačena.

1.1 SMYK

Smyk je při řízení automobilu i motocyklu na pozemních komunikacích velice nepříznivým jevem, který se snažíme co nejvíce eliminovat nejen samotným řízením motorového vozidla, ale rovněž samotnou konstrukcí těchto vozidel. Neovládnutí smyku v běžném silničním provozu pak může v některých situacích končit až dopravní nehodou a rozsáhlými škodami na samotném vozidle a případným zraněním nejen pasažérů, ale též třetích osob, které se nacházejí v daném okamžiku na pozemní komunikaci.

Z fyzikálního hlediska můžeme u motorových vozidel nazvat smykem stav, kdy se již kolo (pneumatika) přestává po vozovce pouze odvalovat, ale smýká se po daném povrchu, což má za následek ztrátu kontroly nad vozidlem.

Nejprve se podíváme na pár základních pojmů.

1.1.1 ADHEZE

Adhezi je teoreticky možné označit jako přilnavost pneumatiky k vozovce. Nemůžeme ji však nazvat jako pouhé tření, protože je to jev mnohem složitější (mikronerovnosti, makronerovnosti, dezén...). [5]

Velikost adhezní síly F_{ad} [5]:

$$F_{ad} = Z_K \cdot \mu = F_{Bmax} \quad [N] \quad (1)$$

kde Z_K je zatížení kola, μ součinitel adheze a F_{Bmax} je maximální brzdná síla. [5]

Velikost součinitele adheze závisí na stavu vozovky a pneumatik. Hodnoty součinitele adheze jsou od $\mu = 1$ pro ideální případ až po $\mu = 0,1$ pro zledovatělou vozovku. Na vozovku je tedy možné přenést maximálně sílu rovnající se síle adhezní (resp. brzdné síle). [5]

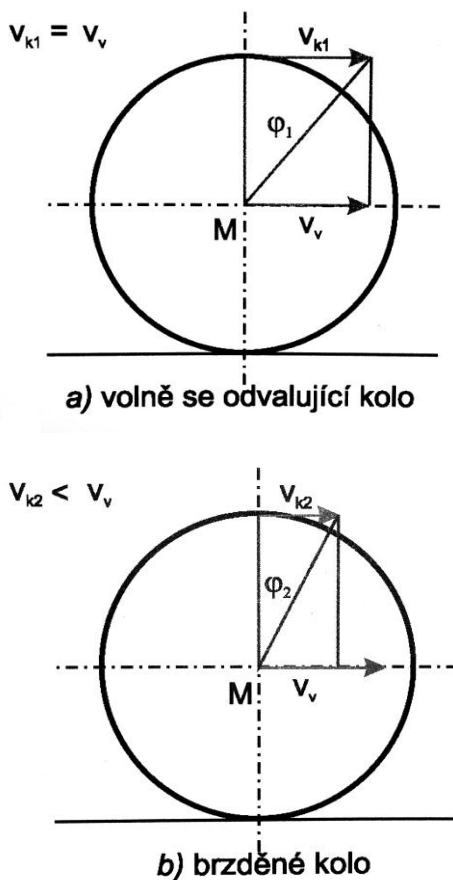
1.1.2 SKLUZ

Jedná se o ztrátu tření mezi pneumatikou a vozovkou. Kolo není schopné přenést žádnou boční sílu a automobil se stává velice nestabilním. Skluz lze vyjádřit jako rozdíl mezi rychlostí vozidla v_v a obvodovou rychlostí kola v_k (obr. 1.1) a vypočítá se [5]:

$$s = \frac{v_v - v_k}{v_k} \quad [-] \quad (2)$$



Pokud je kolo brzděno ($v_k = 0$), je skluz největší ($s = 1$), pokud se kolo volně odvaluje ($v_k = v_v$), je skluz nejmenší ($s = 0$). [5]



Obr. 1.1 Odvalování kola [5]
 v_v – rychlost vozidla; v_k – obvodová rychlost kola; φ – úhel otočení kola za jednotku času

1.2 PŘEHLED HLAVNÍCH STABILIZAČNÍCH SYSTÉMŮ

Mezi neznámější a nejpoužívanější systémy patří zejména:

- **ABS** (kontrola skluzu kol při prudkém brzdění)
- **EDS** (elektronické uzavírání diferenciálu)
- **EBD** (elektronické rozdělování brzděné síly u jednotlivých náprav)
- **BAS** (brzdový asistent při panickém brzdění)
- **ASR** (kontrola skluzu kol při prudké akceleraci)
- **ESP** (elektronický stabilizační program využívající jednotlivé podsystémy)



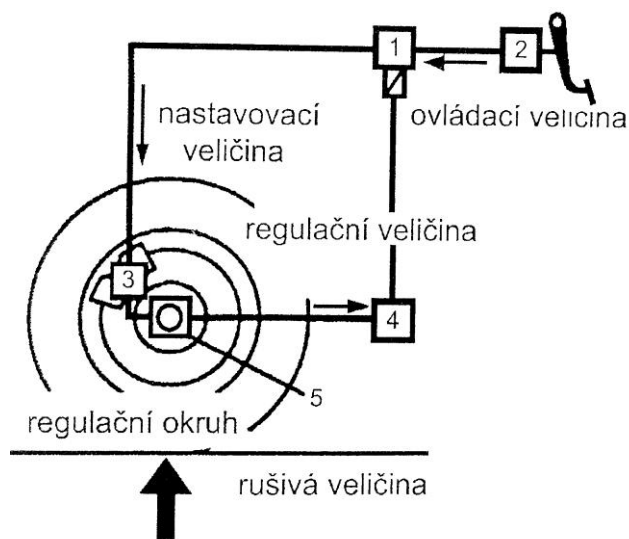
2 PROTIBLOKOVACÍ SYSTÉM ABS

Jeden z nejstarších asistenčních systémů, jehož úkolem je zabránit brzdícímu kolu v blokování a využít tak maximálně adhezi kola k vozovce a zkrátit brzdnou dráhu při prudkém brzdění (na hranici fyzikálních zákonů). Vše se děje tak, že je snímáno otáčení jednotlivých kol a pokud řídicí jednotka ABS zjistí skluz (tedy rychlost jednoho kola bude nižší), vydá brzdové soustavě rozkaz k regulaci brzdného tlaku a tím k odblokování kola. Toto vše dokáže jednotka zajistit až 16x za sekundu a tím velice efektivně asistovat řidiči. Systém ABS mu zajišťuje říditelnost vozidla i přes tendenci ke smyku a zajišťuje tak stabilitu automobilu při nouzovém brzdění či brzdění na méně adhezních vozovkách.

2.1 PRINCIP PROTIBLOKOVACÍHO SYSTÉMU ABS

Aby bylo možné zabránit blokování kol při prudkém brzdění, je potřeba regulace brzdového obvodu. Regulační obvod se skládá ze tří základních prvků (obr. 2.1) [1]:

- čidla (snímající okamžitou rychlost otáčení kola)
- elektronické řídicí jednotky (mikropočítač)
- akčního členu (regulační ventil nebo modulátor, který mění tlak v brzdovém kolovém válci)



Obr. 2.1 Protiblokovácí regulační systém ABS [1]

1 – hydraulický agregát s magnetickými ventily;
 2 – hlavní brzdový válec; 3 – brzdový kolový válec;
 4 – řídicí jednotka; 5 – snímač otáček

Rozeznáváme systémy čtyřsnímačové, kdy je snímač otáček kol na každém kole, a třísnímačové, kdy jsou snímače otáček na kolech přední nápravy a na pastorku stálého převodu zadní nápravy. Při normálním brzdění teče kapalina od hlavního válce do brzdového kolového válce. Stupňový píst v jednotce pro uvolňování tlaku zůstává v horní poloze.



Signály ze snímačů otáček kol jsou v každém okamžiku posílány do řídicí jednotky, která z nich dopočítává obvodové rychlosti jednotlivých kol a jejich skluzu. Pokud je řídicí jednotkou vyhodnocena situace jako krizová a dochází k blokování kol, vyše signál akčním členům (tedy regulačním elektromagnetickým ventilům) kola, které projevilo známky nestability (prokluzu). Tlak oleje působí na píst jednotky pro uvolňování tlaku a tlačí jej dolů. Objem kapaliny nad stupňovým pístem se zvětšuje a tím klesne brzdový tlak. Kuličkovým ventilem se uzavře brzdový okruh a systém přestane přijímat impulsy od řidiče. [3]

U tří snímačových systémů určuje společný tlak kolo s menším součinitelem přilnavosti (princip select-low). Tím se kolo s větším součinitelem adheze nepatrně nedobrzdí a následkem toho se brzdí dráha o trochu prodlouží. Ziskem však je větší stabilita vozidla. Páry elektromagnetických ventilů se přepínají do tří stavů [3]:

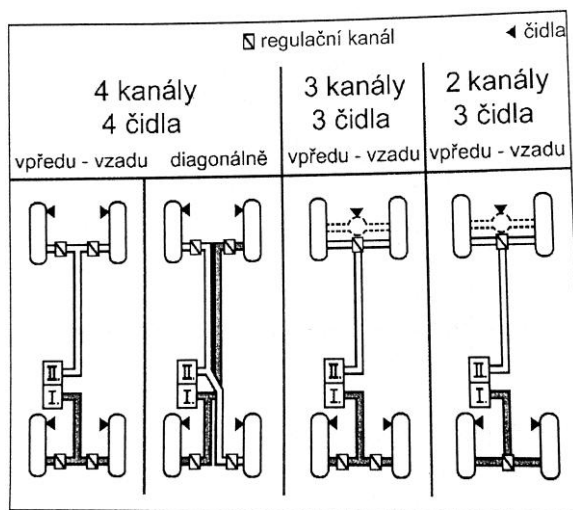
- první stav (bez proudu – vstupní ventil otevřený, výstupní ventil uzavřený) – hlavní brzdový válec a brzdové válečky kol se propojí, tlak brzdy může narůstat
- druhý stav (vstupní ventil pod proudem – uzavřený) – hlavní brzdový válec se oddělí, tlak v brzdě je konstantní
- třetí stav (oba ventily pod proudem – vstupní uzavřený, výstupní otevřený) – brzda kola se spojí s čerpadlem pro zpětnou dodávku, tlak v brzdě poklesne

Tím se může brzdový tlak snižovat nebo zvyšovat. Za sekundu probíhá 4 až 10 regulačních cyklů. [3]

Dle druhu snímání a zpracování signálu můžeme rozlišovat několik druhů regulací [3]:

- individuální regulace (IR/IR) – každé kolo se reguluje zvlášť. U automobilu se dvěma nápravami se systém skládá ze 4 čidel, 4 akčních členů a elektroniky se 4 regulačními kanály. Tato regulace má nejkratší brzdovou dráhu. Nevýhodou však je možnost způsobení stáčivého momentu kolem svislé osy vozidla.
- smíšená regulace (IR/SL) – 4 kanály, 4 čidla a diagonální zapojení brzd. Na přední nápravě je regulace individuální, zatímco zadní náprava je regulována společně kolem s horší adhezí (tzv. select-low).
- modifikovaná individuální regulace (MIR – obměněná regulace select-low) na přední nápravě a individuální regulace (IR) na zadní nápravě. U přední nápravy se při regulaci udržuje konstantní tlak na neblokujícím se kole a na blokujícím se je tlak snižován do té doby, než je dosažena příslušná obvodová rychlost a tlak může být opět zvyšován. Poté je zvýšen tlak na kole s vyšší adhezí, až druhé kolo blokuje. Tento proces se opakuje až do zastavení vozidla.

Regulace IR/SL a MIR/IR mají menší stáčivý moment, takže je jízdní stav snadněji zvládnutelný. Dvoukanalové a jednocanalové systémy se nepoužívají. [3]

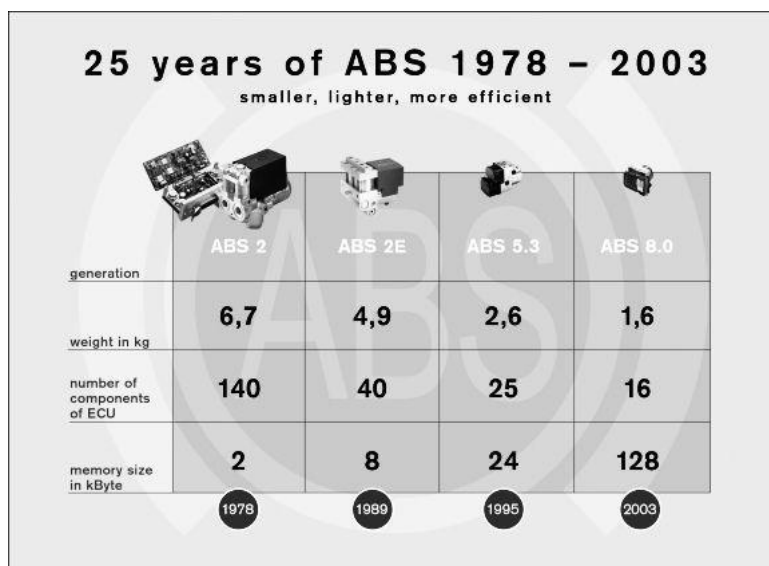


Obr. 2.2 Varianty protiblokovacích systémů pro osobní automobily [1]

2.2 HISTORIE PROTIBLOKOVACÍHO SYSTÉMU ABS

Systém ABS byl vyvinut v roce 1978 firmou Bosch, avšak snaha o to, aby se kola vozidel při prudkém brzdění neblokovala, je ještě mnohem starší. Již v roce 1936 ohlásila firma Bosch patent na „Zařízení k zabránění silného brzdění kol motorového vozidla“. Bohužel však až s příchodem elektroniky do automobilového průmyslu bylo možno vyvinout zařízení dostatečně rychlé a schopné použití v motorových vozidlech. Jako první se toho systému dočkal Mercedes-Benz třídy S a nedlouho na to i BMW řady 7. [2]

Bosch vyvíjel své zařízení dále a postupem času tak vznikly další stabilizační systémy jako ASR, ESP a jiné (v této práci se jim budeme dále věnovat). [2]



Obr. 2.3 Vývoj 25 let ABS [2]



2.2.1 ABS 2S

U tohoto systému od firmy Bosch z roku 1978 jsou hydraulický agregát a řídicí jednotka konstrukčně odděleny. Tříkanálový hydraulický agregát obsahuje čerpadlo hnané elektromotorem pro zpětnou dodávku a tři 3/3 elektromagnetické ventily, které regulují tlak. Při rozdělení na přední a zadní nápravu má na starosti regulaci zadní nápravy pouze jediný elektromagnetický ventil. Při diagonálním rozdělení pak dva, protože každé kolo patří jednomu brzdovému okruhu. Tento systém může být třísnímačový (obě přední kola, pastorek stálého převodu zadní nápravy) nebo čtyřsnimačový (všechna kola). [3]

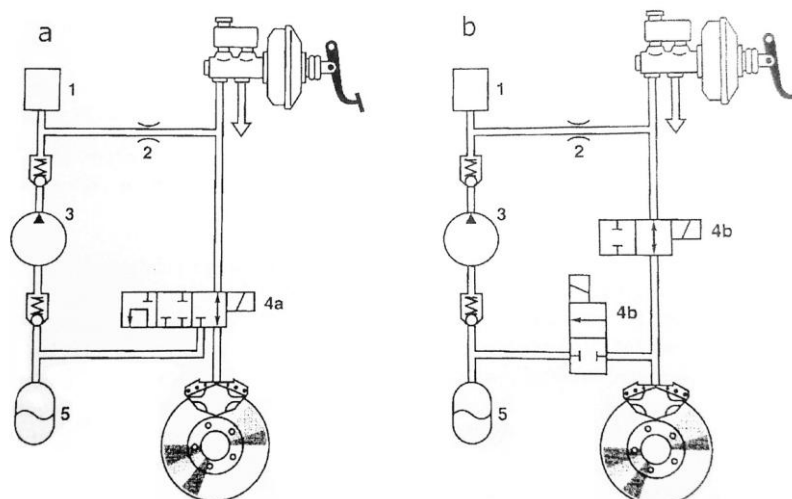
2.2.2 ABS 5.0

Protiblokovací systém Bosch ABS 5.0 vznikl postupnou inovací systému ABS 2S. Hlavními znaky systému jsou především [1]:

- Stavebnicový systém pro různá použití
- Princip zpětné dodávky s uzavřeným brzdovým okruhem
- Princip dvou mikroprocesorů s rozsáhlým kontrolním softwarem

Největší rozdíl tohoto systému proti ABS 2S je v elektromagnetických ventilech hydraulické jednotky. Systém ABS 2S obsahuje 3/3 cestné elektromagnetické ventily, zatímco systém ABS 5.0 v sobě skrývá 2/2 cestné elektromagnetické ventily (*obr. 2.4*). [1]

Z důvodu zajištění správné funkce zpracovávaných signálů a kontrolního softwaru, obsahuje řídicí jednotka dva paralelně pracující mikroprocesory, které se vzájemně kontrolují. Pokud jsou oba vstupní signály do mikroprocesorů shodné, musí být shodné i signály výstupní. Dojde-li v průběhu výpočtů k odchylce mezi těmito signály, je rozpoznána chyba a ABS je vypnuto. Takto je neustále kontrolována správná funkce systému. [1]



Obr. 2.4 Porovnání systémů ABS a) Bosch 2S; b) Bosch 5.0 [1]
 1 – tlumící komora; 2 – škrtení; 3 – zpětné čerpadlo; 4a – ventil 3/3;
 4b – ventily 2/2; 5 – zásobník



2.2.3 ABS 5.3

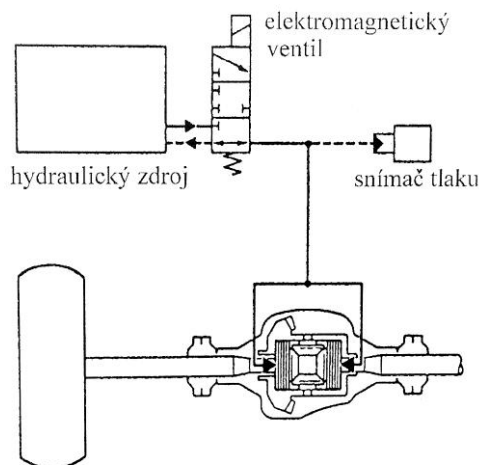
Tento systém byl vyvinut pro osobní automobily nižších tříd. Má mnohem menší zástavbové rozměry při zachování stejných funkcí, jako má systém ABS 5.0. Elektromagnetické ventily jsou umístěny odděleně, přičemž hydraulické části jsou integrovány v hydraulické jednotce a elektrické části (vinutí elektromagnetu) jsou umístěny na tělese řídicí jednotky. Elektronická řídicí jednotka může být umístěna přímo na hydraulické jednotce nebo odděleně a propojena kabelovým svazkem. [1]

2.3 ELEKTRONICKÁ UZÁVĚRKA DIFERENCIÁLU EDS

2.3.1 REGULOVATELNÝ UZAVÍRATELNÝ DIFERENCIÁL

Řízení uzavírání (zablokování) diferenciálu slouží obecně ke zvětšení trakce při rozdílné adhezi hnacích kol. Tento zásah může zvýšit stabilitu při ubrání plynu v zatáčce tím, že uzavřením diferenciálu je vnitřní (odlehčené) kolo unášeno vnějším kolem a tím nemá velký skluz a neztratí proto boční vodící sílu. Vnější kolo pak může přenášet větší podíl brzdného momentu motoru. Tímto se vozidlo stabilizuje proti přetáčivosti. Tento zásah se provádí pouze, pokud je žádán obtížnou trakční situací (například jízdou v terénu). [3]

Uzavření vazby mezi levým a pravým hnacím kolem se dosáhne hydraulicky stlačitelnými lamelami v diferenciálu. Toto může být plynule regulováno od základní hodnoty až po úplné uzavření. Hydraulický tlak je pak získáván z tlakového zásobníku. Celé zapojení je znázorněno na obr. 2.5. [3]



Obr. 2.5 Hydraulické schéma řazení pro regulovatelný diferenciál [3]

2.3.2 EDS

EDS je zkratka (z německého Elektronische Differentialsperre, z anglického Electronic Differential System) pro systém elektronického uzavírání diferenciálu. Jeho použití je možné pouze v kombinaci s protiblokovacím systémem **ABS**. Systém EDS pomáhá řidiči při rozjezdu (tedy za nízkých rychlostí) na povrchu, který nemá jednotný koeficient tření pod levým a pravým kolem, tak, že přibrzdí protáčeující se kolo a tím rozděljuje hnací moment

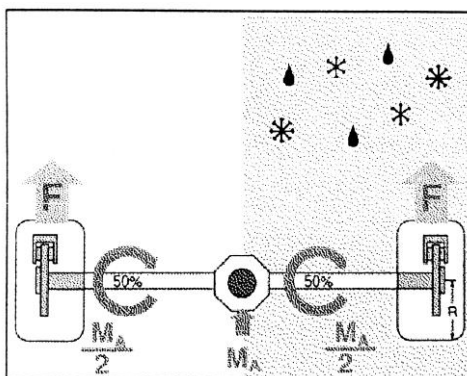


motoru nerovnoměrně na obě (popř. všechny čtyři) poháněná kola. Systém tak používá namontované části systému ABS na vozidle. Jako příklad můžeme použít systém Bosch ABS/ABD 5 (z německého Automatische Brems-Differentialsperre), který je rozšířením ABS 5.0 a ABS 5.3. Protože v tomto systému musí být hnaná kola brzděna vždy jednotlivě, má v sobě hydraulická jednotka obou brzdových okruhů osm elektromagnetických ventilů k úpravě brzdných tlaků (jako systém Bosch ABS 5.0) a navíc ještě čtyři elektromagnetické ventily pro zvyšování tlaku. [1]

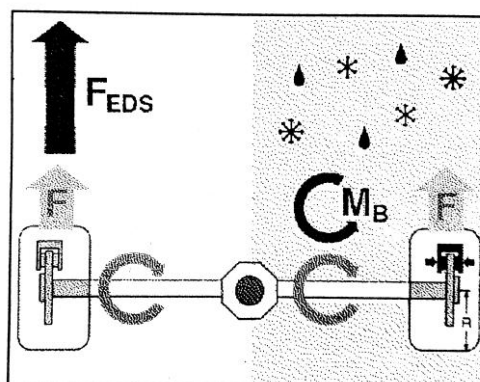
Tento systém je pro řidiče užitečný tím, že mu umožňuje bezpečný rozjezd i na kluzké vozovce. [1]

2.3.3 PRINCIP ELEKTRONICKÉ UZÁVĚRKY DIFERENCIÁLU EDS

Jak již bylo řečeno, systém EDS pracuje s brzdovým systémem, tudíž je nutná přítomnost jednotky ABS pro vyhodnocování informací o stavu levého a pravého hnaného kola. Avšak oproti systému ABS působí vlastně opačně. Zatímco ABS povoluje blokující se kolo několikrát za sekundu, EDS naopak přibrzdí prokluzující poháněné kolo a tím přenáší větší krouticí moment na kolo s lepším koeficientem adheze pod pneumatikou. Systém EDS tím vlastně i zmenšuje opotřebení pneumatik způsobené protáčením kol na špatném povrchu. [1]



Obr. 2.6 Hnací síly bez uzávěrky diferenciálu [1]



Obr. 2.7 Hnací síly s využitím EDS [1]



Rovnice k obr. 2.6 a 2.7 [1]:

$$F_{celk.1} = F + F \quad [N] \quad (3)$$

$$F_{EDS} = \frac{M_B}{R} \quad [N] \quad (4)$$

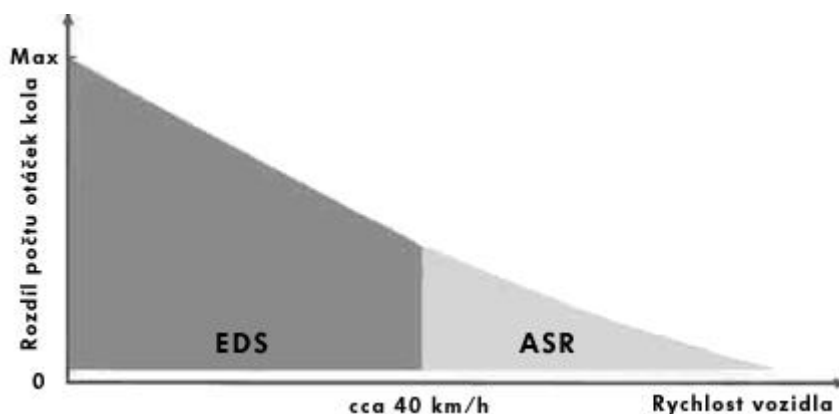
$$F_{celk.2} = F + F + F_{EDS} \quad [N] \quad (5)$$

$$F_{celk.2} > F_{celk.1} \quad (6)$$

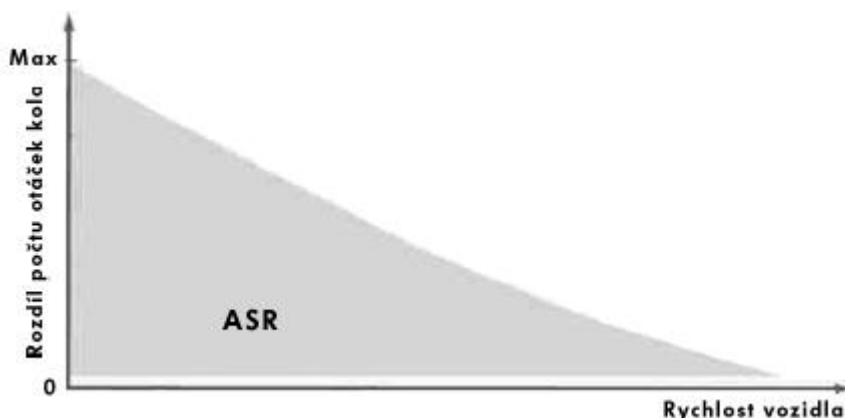
Na obr. 2.6 a 2.7 jsou znázorněny síly působící na hnacích kolech v podélném směru doplněné rovnicemi, kde F je hnací síla, $F_{celk.1}$ celková dopředná síla (bez EDS), $F_{celk.2}$ celková dopředná síla (s EDS), F_{EDS} přídatná hnací síla, M_A hnací moment, M_B brzdný moment a R poloměr kol. [1]

Systém EDS skutečně pracuje pouze za nízkých rychlostí, tedy většinou při rozjezdu, a při vyšších rychlostech se vypíná. Zvláště u vozidel s předním pohonem a výkonově slabším motorem můžeme systém EDS skutečně chápat jen jako rozjezdovou pomoc, která musí být časově omezena, protože při dlouhé činnosti tohoto systému by opravdu mohlo dojít k přehřátí brzd. U vozů s poháněnou pouze jednou nápravou k vypnutí EDS dochází při dosažení rychlosti 40 km/h, u vozů s náhonem na všechna kola pak při rychlosti 80 km/h. [1]

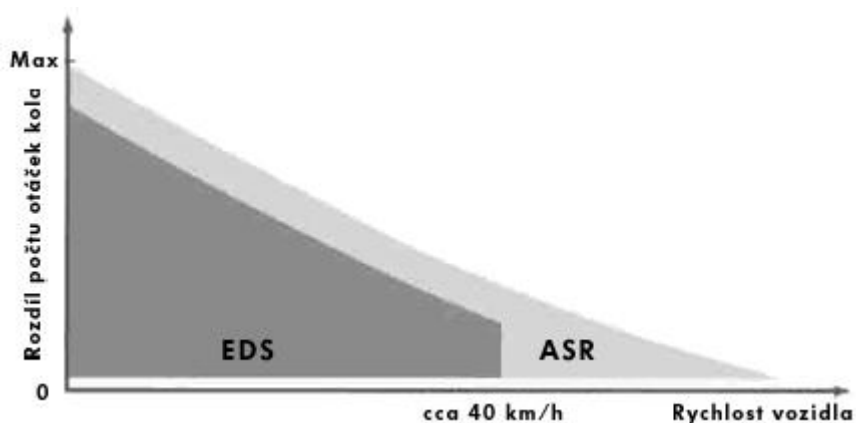
Závislost rozdílu otáček kol (prokluzu) na rychlosti vozidla u systému ASR/EDS [7]:



Obr. 2.8 Poháněná přední náprava, rozdíl otáček mezi předními koly: do 40 km/h provádí regulaci systém EDS, při vyšších rychlostech pak redukuje systém ASR točivý moment motoru [7]



Obr. 2.9 Poháněná přední náprava, rozdíl otáček mezi koly přední a zadní nápravy: v celém rozsahu rychlostí vyrovnává otáčky výlučně systém ASR [7]



Obr. 2.10 Poháněná přední náprava, rozdílem otáček mezi předními koly i mezi koly přední nápravy a zadní nápravy: do 40 km/h jsou aktivní oba systémy EDS i ASR, při vyšších rychlostech pracuje pouze ASR [7]

2.4 ELEKTRONICKÉ ROZDĚLOVÁNÍ BRZDNÉ SÍLY EBD

Systém **ABS** s elektronickým rozdělováním brzdné síly EBD (Electronic Brakeforce Distribution) zahrnuje vliv změny zatížení náprav při brzdění a reguluje brzdny tlak na jednotlivých nápravách. Funkce EBD je dodatečný program k ABS a umožňuje poněkud jemnější regulaci brzdny tlaku u zadních kol. Tento systém nemusí nutně působit jen při prudkém panickém brzdění, ale i u normálního brzdění v závislosti na zatížení vozidla a přilnavosti vozovky. [1]

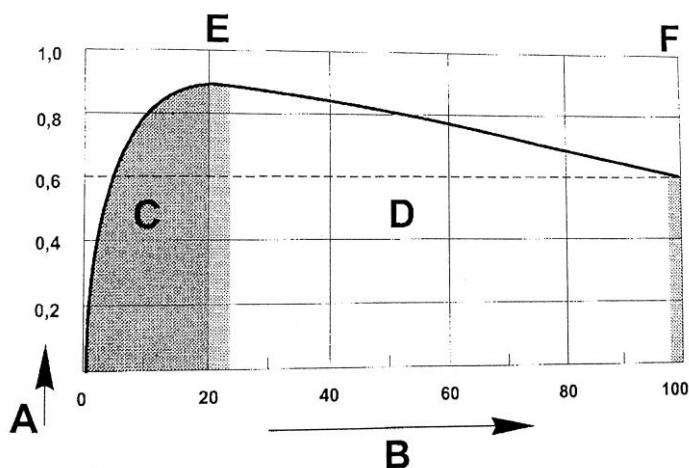
2.4.1 PRINCIP ELEKTRONICKÉHO ROZDĚLOVÁNÍ BRZDNÉ SÍLY EBD

Regulace EBD není určována brzdny tlakem ale skluzem pneumatik. V závislosti na skluzu umožňuje EBD snížení brzdny tlaku na zadních kolech, čímž zvyšuje jízdní stabilitu. Toto snížení tlaku probíhá v určitých fázích udržování tlaku. Pomocí speciálního softwaru je



zamezeno blokování zadních kol. Pokud začne některé kolo blokovat, začne působit regulace ABS. U regulace EBD je ovládání obou zadních brzdových okruhů společné. [1]

Regulace EBD probíhá ve stabilní oblasti využívané přilnavost vozovky (obr. 2.11). [1]



Obr. 2.11 Součinitel přilnavosti A v závislosti na skluzu B [%] [1]
 C – stabilní oblast (regulace EBD); D – nestabilní oblast;
 E – kritická oblast (regulace ABS); F – 100% skluz (kolo blokuje)

2.5 BRZDOVÝ ASISTENT BAS

Jelikož se ukázalo, že mnoho řidičů váhavě až nespěšně ovládá brzdový pedál, bylo nutné zavést další asistenční systém. Tentokrát právě na rozpoznání váhavého přístupu řidiče k brzdění. Pokud dojde k nouzové situaci, systém automaticky zahájí plné brzdění, i pokud řidič nesešlápně brzdový pedál ihned naplno. Často se však také stává, že řidič uvolní brzdový pedál příliš brzo, to však systém též rozpozná a nepřestane s intenzivním brzděním. To vše se děje během několika milisekund. Brzdovým asistentem se tak zkrátí brzdná dráha u zkušených řidičů o 15 % a u průměrných řidičů až o 40 %. [3]

Brzdový asistent má následující úkoly [3]:

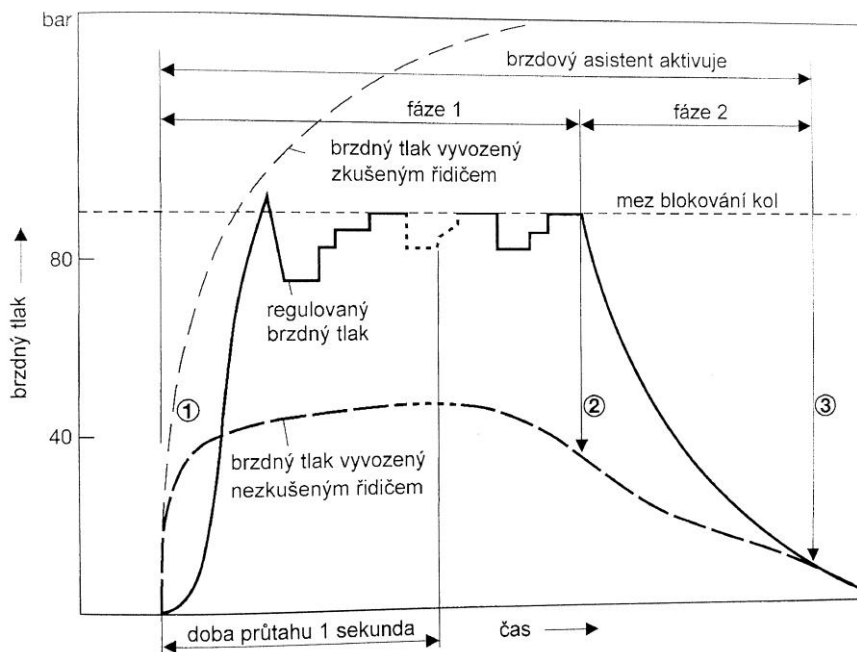
- rozeznat situaci panického brzdění, aby se brzdný tlak udaný řidičem zvýšil na brzdý tlak tak velký, že všechna kola dosáhnou meze blokování a tím vzniká regulace ABS
- rozeznat konec panického brzdění, aby se brzdý tlak snížil na brzdý tlak udaný řidičem

Brzdové asistenty můžeme dělit na [4]:

- mechanické - MBA (Mechanical Brake Assist)
- elektronické
- hydraulické - HBA (Hydraulic Brake Assist)



Mechanický brzdový asistent je zabudován přímo do posilovače brzdného účinku. Protože brzdový asistent zpomaluje automobil až na mez blokování kol, instaluje se pouze u vozidel s protiblokovacím systémem **ABS**. [3]



Obr. 2.12 Hydraulický brzdový asistent, brzdné vlastnosti při panickém brzdění [3]
 1 – aktivuje se brzdový asistent; 2 – odlehčení brzdového pedálu;
 3 – brzdový asistent vypíná



3 PROTISKLUZOVÉ SYSTÉMY ASR

Podobně jako při brzdění může lehce dojít ke ztrátě přilnavosti pneumatik k vozovce i při prudké akceleraci. Kolo nemůže přenést žádnou sílu a velice snadno může dojít ke smyku vozidla. Proto se výrobci asistenčních systému zaměřili na kontrolu vozidla i při zrychlování. Zatímco při brzdění pomáhá řidiči asistenční systém ABS, o kontrolu skluzu při akceleraci se stará systém ASR (z německého Antriebschlupf-Regelung, z anglického Anti Skid Regulation). Tento systém nejen zvyšuje bezpečnost silničního provozu, ale též redukuje opotřebení pneumatik a hnacího ústrojí způsobené prokluzujícími koly. ASR má samočinně zasáhnout v kritických situacích. Řidič pak může pomocí kontrolky ASR sledovat činnost systému v situacích na hranici fyzikálních zákonů. [3]

Protiskluzové systémy mají především za úkol zajistit říditelnost a stabilitu vozidla při prudké akceleraci (v případě, že nejsou překročeny fyzikální zákony). Různé automobilky používají různé typy těchto systémů. U Mercedesu a Audi je to tedy ASR, společnost BMW používá systém ASC (z německého Automatische-Stabilität-Control) a například Honda či Mazda systém TSC (z anglického Traction Control System). [3]

Díky dobrým zkušenostem s regulací ABS se systém ASR staví na základě systému ABS. Poslední dobou se stále víc používá společná regulace ABS/ASR (tedy asistence řidiči při prudkém brzdění i při akceleraci na hranici přilnavosti k vozovce). [3]

3.1 PRINCIP PROTISKLUZOVÉHO SYSTÉMU ASR

Protiprokluzová soustava je řízena elektronicky na základě soustavného porovnávání otáček všech kol vozidla. Rozdíl těchto otáček na jednotlivých kolech může být způsoben buď probrzděním nebo naopak prokluzem některého z nich. K vyhodnocení situace se využívá snímačů otáček kol, které jsou společné pro ABS i ASR, a řídicí jednotky ABS rozšířené a systém ASR. Rozdíl je však ve způsobu zasáhnutí do řízení vozidla a zamezení krizové situace (smyku). [3]

Regulace prokluzu musí zabránit ztrátě přilnavosti kol k vozovce při akceleraci (popř. rozjezdu) za následujících situací [3]:

- na vozovce s náledím na jedné nebo obou stranách vozidla
- při akceleraci v zatáčce
- při jízdě do kopce (u vozidla s náhonem na přední nápravu)

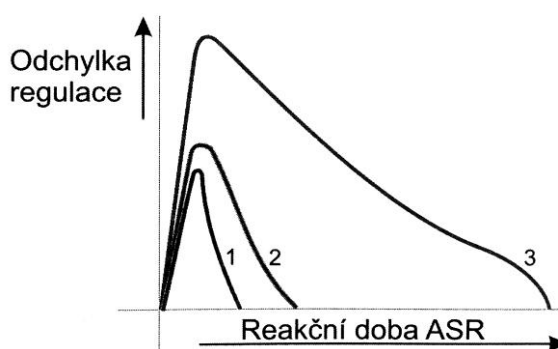
Kromě toho ASR napomáhá [3]:

- snižovat opotřebení pneumatik a hnacího ústrojí, které způsobuje prokluz kol
- prokluzující kola mohou přenášet pouze malé boční síly (stejně jako kola zablokovaná), automobil se stává nestabilní a vybočuje ze svého směru. ASR pomáhá řidiči udržovat vozidlo pod kontrolou, čímž zvyšuje bezpečnost silničního provozu
- na rozdíl od mechanického závěru diferenciálu řídí ASR samočinně výkon motoru, čímž zabraňuje prokluzu kol, pokud řidič v zatáčce prudce akceleruje



Když řidič vozidla přidává plyn, zvyšuje tím točivý moment motoru, který se přenáší hnacím ústrojím až na poháněná kola. Pokud je součinitel adheze dostatečný, výkon se přenesne na vozovku a vozidlo bez problémů plně akceleruje. Pokud je však moment dodávaný na poháněnou nápravu příliš velký nebo součinitel adheze příliš malý, dochází k prokluzu kol a ztrátě stability vozidla. Systém ASR v této krizové situaci zasáhne a sníží prokluz poháněných kol během zlomku sekundy na nejlepší možnou mez. To může učinit několika způsoby pomocí [3]:

- motorová regulace (snížení hnacího momentu)
- brzdová regulace (přibrzdění hnacích kol)
- regulace uzavírání diferenciálu
- zásah do spojení motoru s hnacími koly



Obr. 3.1 Porovnání reakční doby u různých způsobů regulace ASR [4]

- 1 – regulace výkonu motoru škrticí klapkou/přibrzdění hnacích kol;
 2 – regulace výkonu motoru škrticí klapkou a řízením zapalování;
 3 – regulace výkonu motoru škrticí klapkou

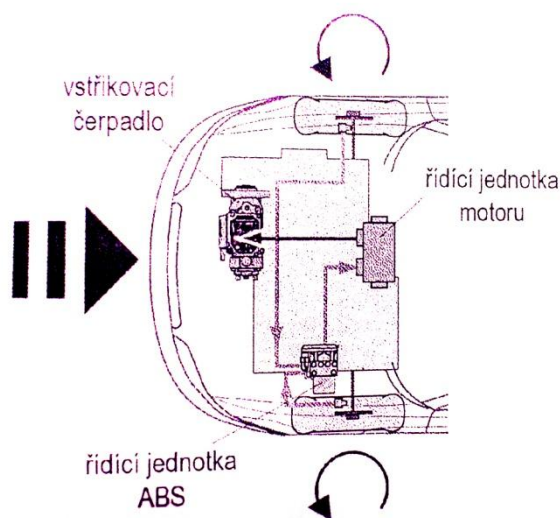
3.1.1 MOTOROVÁ REGULACE ASR

V případě zážehových motorů je regulace motoru prováděna pomocí vstřikování paliva, zapalování nebo nastavení polohy škrticí klapky. Z hlediska pohodlí a složení výfukových plynů je regulace motoru pomocí zásahu do plnění palivem přes škrticí klapku nejvhodnější, protože motor je nejméně zatížen. Nevýhoda motorové regulace spočívá v relativně dlouhé reakční době, která však může být zkrácena pomocí přidavného zásahu do vstřikování a zapalování. Pokud tedy řídicí jednotka vydá rozkaz k vynechání zapalovacích impulsů, musí být přerušeno i vstřikování paliva, aby nedocházelo ke zhoršení složení výfukových plynů a tím k nadměrnému zatížení katalyzátoru. Pokud by došlo pouze k přerušování vstřikování, systém regulace by měl opět poněkud delší náběh, protože motor by ještě nasával a spaloval již připravené palivo. [3]

V případě vznětových motorů se mění pouze množství vstřikovaného paliva. To může být uskutečněno několika způsoby, jako je například elektronicky ovládaný pedál akceleračního nebo ovládání vstřikovacího čerpadla. [3]



Další podkapitolou je **regulace brzdného momentu motoru MSR** (z německého Motorschleppmoment-Regelung), o kterou je možno systém ASR přidavně doplnit. Tato regulace má za úkol točivý moment motoru naopak nepatrně zvyšovat právě tehdy, když řidič prudce ubere plyn při nízkém rychlostním stupni, čímž by mohlo dojít k brzdnému skluzu na vozovce s nízkým součinitelem adheze. Snímače otáček na kolech předávají informace jednotce ABS, která o vzniklém skluzu informuje řídicí jednotku motoru. Ta zvýší otáčky motoru, čímž se zvýší hnací moment tak, aby se brzdění snížilo na hodnotu zaručující jízdní stabilitu (obr. 3.2). [1]



Obr. 3.2 Regulace brzdného momentu MSR [1]

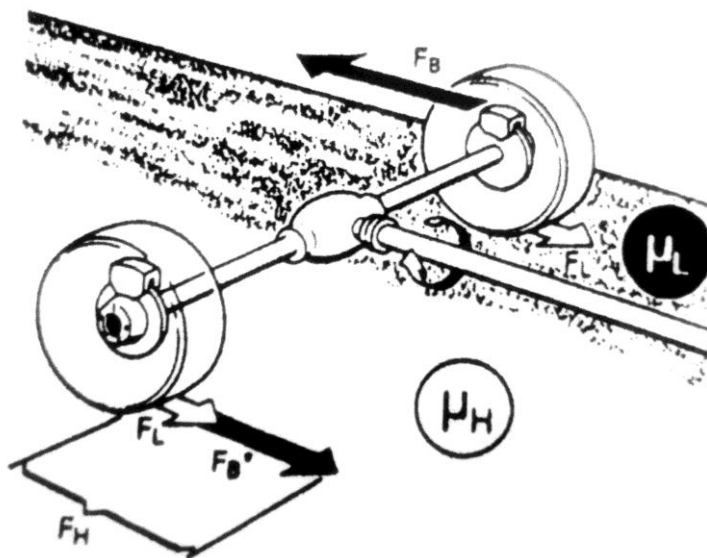
Pouhý zásah do zapalování a vstřikování se z hlediska komfortu řadí mezi méně používané. Proto se tedy přidává další metoda a to brzdová regulace hnaných kol. [1]

3.1.2 BRZDOVÁ REGULACE ASR

Tato metoda regulace zajišťuje nejkratší možnou reakční dobu, protože při zvyšování brzdného tlaku dochází okamžitě k ovlivnění skluzu hnaného kola. Z důvodů komfortu a bezpečnosti však nemůže být umožněn okamžitý možný nárůst brzdného tlaku. U automobilů, u kterých se využívá metody regulace pomocí škrtecí klapky, může být brzdění kol vhodným doplňkem zkracující dobu reakce a zvyšující říditelnost a stabilitu vozidla. [3]

Brzdová regulace ASR má působit jako uzávěr diferenciálu. Obr. 3.3 nám demonstuje silové rozložení na hnacích kolech v podélném směru. [3]

Kolo, které má větší součinitel adheze μ_H , může přenášet sílu F_H , zatímco kolo s menším součinitelem adheze μ_L přenáší sílu F_L ($H = \text{high} = \text{vysoký}$, $L = \text{low} = \text{nízký}$). Diferenciál může ale přenášet pouze dvakrát menší sílu F_L . Aby bylo zabráněno prokluzu kola s menším součinitelem adheze, je na toto kolo přivedena brzdná síla F_B . To umožňuje přenášet větší trakční sílu F_{max} . [3]



Obr. 3.3 Účinek uzávěrky diferenciálu vzniklý díky brzdě síle [3]

F_B – brzdě síle; F_B^* – brzdě síle vztahěná na účinně poloměr; μ_H a μ_L – nejvyššě a nejnižšě součinitele adheze; F_H a F_L – maximálně přenositelně síle na vozovce s μ_H a μ_L

Hnacě moment motoru je regulován podle maximální trakčně síle F_{max} , brzdě síle F_B^* plyne z brzděho momentu M_B přepočtem v závislosti na dynamickém poloměru kola r_d [3]:

$$F_{max} = 2F_L + F_B^* \quad [N] \quad (7)$$

$$F_B^* = \frac{M_B}{r_d} \quad [N] \quad (8)$$

$$F_H = F_L + F_B^* \quad [N] \quad (9)$$

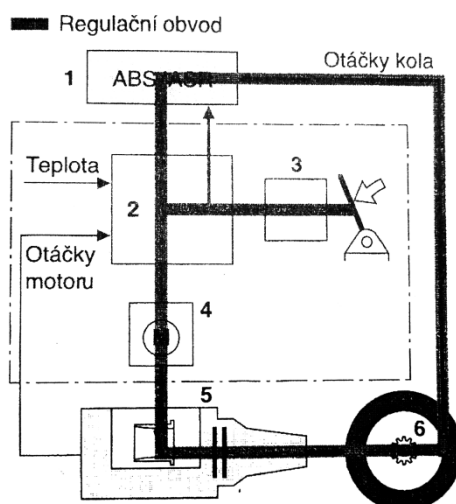
U automobilů s pohonem předně kol a slabšěm motorem můžeme chápat tuto regulaci pomocí přibrzděování kol jako prostou rozjezdovou pomoc. Ta by však měla fungovat pouze krátce a za nízkých rychlostě, aby nedocházelo k přehřátě brzd. [3]

3.1.3 ELEKTRONICKĚ ŘÍZENĚ VÝKONU MOTORU EMS

Aby mohl systém ASR vůbec správně pracovat a zasáhnout do výkonu motoru vozidla, musí být nahrazeno klasické mechanické propojení mezi plynovým pedálem a škrticě klapkou (v případně zážehových motorů) nebo regulačně tyčě vstřikovacěho čerpadla (v případně vznětových motorů). Používá se proto elektronické řízení výkonu motoru EMS (z německěho Elektronische Motorleistung Steuerung), někdy nazývané též elektronické plyn nebo EGAS. EMS upřednostňuje příkazy systému ASR před příkazy přicházějícími od řidče, tedy od snímače polohy akceleračoru. [3]



Snímač polohy plynového pedálu posílá informace převedené na elektrický signál do jednotky EMS, která uvědomí nastavovací motor, který pohybuje tyčí vstřikovacího čerpadla a hlásí její pozici zpět řídicí jednotce. To vše za předpokladu, že nepřichází krizový signál z jednotky ASR, který by byl vyhodnocen přednostně. [3]



Obr. 3.4 Elektronické řízení výkonu motoru EGAS pro ASR (Bosch) [1]

1 – řídicí jednotka ABS/ASR; 2 – řídicí jednotka Monotronic s EGAS; 3 – snímač akceleračního pedálu; 4 – nastavovací motor; 5 – škrticí klapka (nebo vstřikovací čerpadlo); 6 – snímač otáček kola

Systém ASR využívá komponentů systému ABS doplněný o některé funkce, díky podobnosti principu určování otáček jednotlivých kol. [3]

Snímače otáček vysílají z jednotlivých kol informace řídicí jednotce, která si poté spočítá obvodové rychlosti. [3]

Řídicí jednotka ABS je rozšířena o elektroniku ASR. Jako u ABS zachycuje informace o otáčkách jednotlivých kol. Pokud je skluz na hnaných kolech příliš velký, aktivuje se regulace ASR. [3]

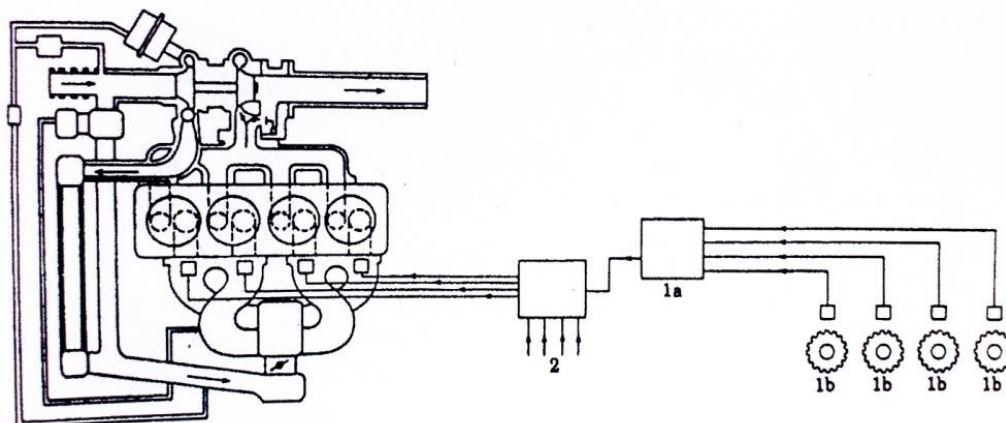
Hydraulická jednotka ABS je rozšířena o část ASR. Provádí příkazy řídicí jednotky a řídí, nezávisle na řídicí, příslušný tlak v brzdách kol přes elektromagnetické ventily. [3]

U automobilů se vznětovým motorem se hnací moment motoru ovlivňuje zásahem na regulační tyč vstřikovacího čerpadla (redukce vstřikovaného množství paliva). [3]



3.2 HISTORIE PROTISKLUZOVÉHO SYSTÉMU ASR

Protiprokluzový systém ASR začala asi v polovině osmdesátých let používat firma Mercedes-Benz. Jako historicky první však použila protiprokluzové zařízení švédská firma Volvo, a to v roce 1982. Do vozidla Volvo 760 začala montovat zařízení nesoucí název ETC (tedy Electronic Traction Control), což byla vlastně elektronická regulace hnací síly. Systém ETC je dodáván zároveň s protiblokovacím zařízením ABS, protože obě zařízení mají několik společných prvků. [3]



Obr. 3.5 Princip elektronické regulace hnací síly ETC [3]
 1a – řídicí jednotka; 1b – čidla otáček jednotlivých kol; 2 – řídicí jednotka motoru

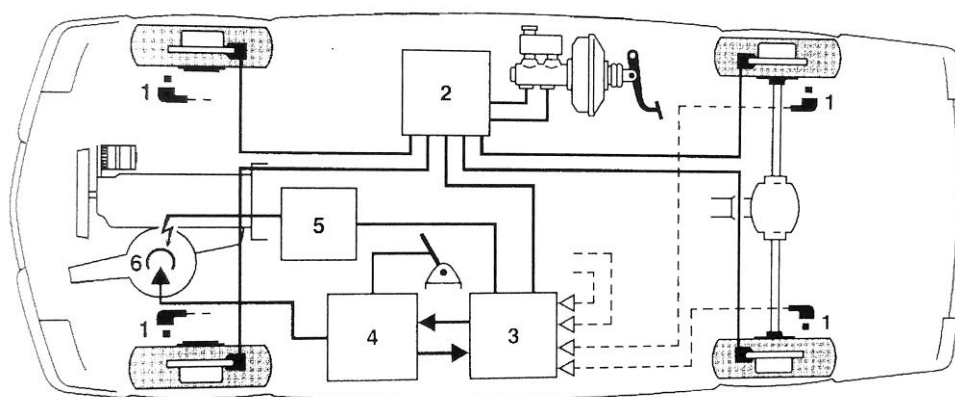
3.3 VYBRANÉ TYPY SYSTÉMŮ ASR

3.3.1 ASR 2 – DKB s ŘÍZENÍM VÝKONU MOTORU A PŘIBRZDĚNÍM HNACÍCH KOL

Tento typ systému ASR vychází z ABS 2S a z ASR s nastavením škrticí klapky (DK) a přídatným přibrzděním hnacích kol. Elektronika a hydraulika systému ABS je pak doplněna o jednotlivé části systému ASR. [3]

3.3.2 ASR 2 – DKZ/MSR s ŘÍZENÍM VÝKONU MOTORU

Základem tohoto typu systému je opět ABS 2S a ASR s nastavením škrticí klapky (DK). Dále je zde elektronické řízení motoru (EMS) a přídatné řízení zapalování (Z) a vstříkování. V tomto systému se používá pouze regulace brzdného momentu motoru (MSR), nikoliv však přibrzdování hnacích kol. Hydraulické části ABS zůstávají nezměněny, elektronika je doplněna o části ASR. [3]



Obr. 3.6 Bosch ASR 2-DKZ/MSR s nastavením škrticí klapky (EMS) a řízením zapalování/vstřikování [3]:
 1 – snímače otáček; 2 – hydraulická jednotka ABS; 3 – elektronická řídicí jednotka ABS/ASR; 4 – elektronická řídicí jednotka EMS; 5 – elektronická řídicí jednotka Motronic; 6 – škrticí klapka

3.3.3 ASR 5 s ŘÍZENÍM VÝKONU MOTORU A PŘIBRZDĚNÍM HNACÍCH KOL

Regulace ASR5 je komplexní systém regulace prokluzu zajišťující ideální jízdní stabilitu popř. říditelnost vozidla přídatně s optimálním přenosem síly při rozjezdu. Kombinovaný hydroagregát ABS/ASR5 obsahuje navíc kromě vstupních a výstupních ventilů ještě ventily sací a výtlačné, které usnadňují regulaci brzdného tlaku. [3]

Ke zlepšení přenosu trakční síly na vozovce s různými povrchy se především používá přibrzdění hnacího kola (kola s tendencí k prokluzu) a tím je dosaženo požadované kontroly prokluzu. [3]

Hnací moment motoru může být podle požadavků ABS/ASR a v závislosti na použitém systému řízení motoru redukován těmito způsoby [3]:

- nastavením polohy škrticí klapky
- vynecháním zapalovacích a vstřikovacích impulsů
- změnou okamžiku zážehu

Především u automobilů s pohonem zadní nápravy je relativně pomalý zásah do průběhu momentu motoru pomocí nastavení škrticí klapky doplněn o rychlou změnu okamžiku zážehu a vynechání zážehových a vstřikovacích impulsů. [3]

Točivý moment zážehového motoru je redukován na optimální prokluz. Při nízké rychlosti automobilu je měřítkem kolo s vyšším součinitelem adheze (regulace select-high), naopak při vyšších rychlostech je to kolo s nižším součinitelem adheze (regulace select-low). [3]

U zážehového motoru je škrticí klapka ovládána pomocí elektromotoru či elektromagneticky a její poloha je vyhodnocována potenciometrem. U vznětového motoru je ovládáno vstřikovací čerpadlo. Poloha plynového pedálu je přes senzor převedena na elektrický signál, který je v elektronickém řídicím přístroji (při uvažování informací z ostatních senzorů, jako



teplota a otáčky motoru) přeměněn na řídicí napětí pro elektrický akční motor. Tento motor ovládá škrticí klapku nebo regulační páku vstřikovacího čerpadla a zpětně ohlašuje její pozici řídicímu přístroji. Příkazy vydávané od ASR jsou v řídicím přístroji vyhodnocovány přednostně před zásahy řidiče. [3]

Elektronický jízdní pedál může přejímat další funkce [3]:

- nahrazení mechanického pedálu akcelérátoru variabilnějším ústrojím
- regulace nebo omezení rychlosti
- přesná regulace volnoběžných otáček v závislosti na zatížení a teplotě chladicí kapaliny

Pokud ASR zaznamená skluz poháněného kola, upraví okamžik zápalu. Jestliže však ani toto opatření není dostatečné k odstranění skluzu, vypne zapalování úplně. To má však za následek, že do motoru je stále přiváděno palivo, které poté odchází do výfukového potrubí a do katalyzátoru, což má za následek nevhodné složení výfukových plynů. Proto je tedy nezbytné v případě vypnutí zapalování také přerušit vstřikování paliva. Kontrola vstřikování a zapalování se velmi usnadní, pokud se ve vozidle použije moderní řízení motoru (Motor-Management-System), jako například Bosch-Monotronic. [3]

Elektronicky regulované vstřikovací systémy **zážehových motorů** (například Bosch L, Bosch JE-Jetronic) přizpůsobují dávku paliva vstřikovanou do motoru jeho měnícím se stavům (senzory pro množství vzduchu, počet otáček, teplotu). Regulace u **vznětových motorů** přivádí za pomoci senzoru signál z akceleračního pedálu do řídicího přístroje, kde se slučuje s dalšími informacemi (jako třeba otáčky motoru, teplota, plnicí tlak). Řídicí jednotka pak z těchto dat počítá výstupní signál k regulaci mechanického vstřikovacího čerpadla. Samozřejmě jsou upřednostňovány signály přicházející ze systémů ASR. Též mohou být vykonávány další funkce jako u elektronického plynového pedálu. [3]

Jak bylo psáno výše, systém ASR využívá některých prvků regulace ABS. Zvláště pak ale u vozidel s předním pohonem je žádoucí rozdílný druh nárůstu tlaku. Zatímco ASR vyžaduje pro lepší komfort a menší zpětný účinek na volant pomalejší nárůst tlaku, ABS naopak nárůst prudší. Proto je tedy v systému použit tlakový modulátor v plunžrovém provedení. Plunžry jsou řízeny elektromagnetickými ventily. Při činnosti systému ASR je pak pomocí ventilu otevřena primární strana brzdového okruhu, zatímco centrální ventil uzavírá spojení k hlavnímu brzdovému válci a umožňuje tak tlakový nárůst v brzdách hnacích kol. Při brzdění automobilu a činnosti systému ABS protéká kapalina plunžrem hnacího kola volně (bez škrcení). Pokud je systém ASR dodáván jako nadstandardní výbava, může tato koncepce přinášet výhodu v tom, že není nutné měnit hydraulické zařízení ABS a montážní místo pro ASR lze libovolně měnit. [3]

Pokud má vozidlo již jiný nezávislý zdroj tlaku (například pro hydraulickou regulaci podvozku) a tento je pro systém ASR vyhovující, může výše popsaná plunžrová koncepce nabízet vhodné a nenákladné řešení. Pro vozidla se slabší motorizací s pohonem přední nápravy může být vedle hydraulického též elektrické ovládání plunžru. [3]

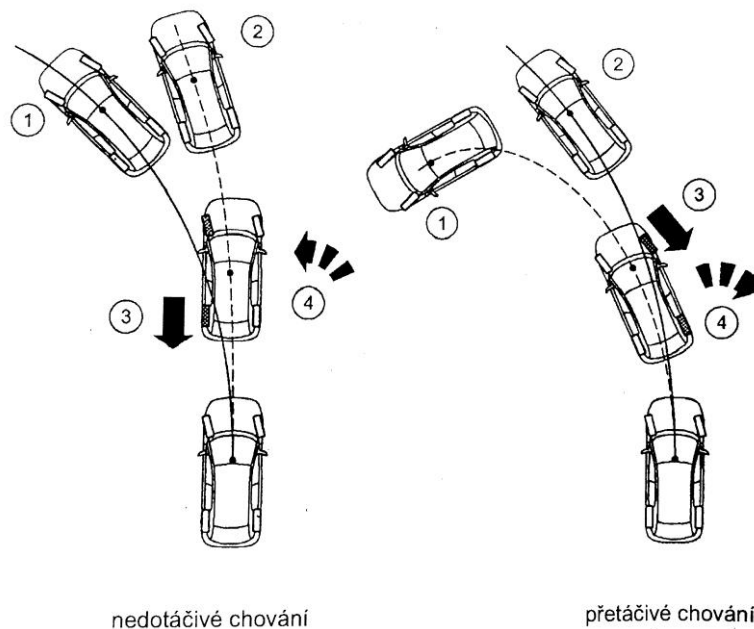


4 ELEKTRONICKÝ STABILIZAČNÍ PROGRAM ESP

Při řízení automobilu mohou nastat situace, ve kterých je vozidlo jen velmi těžko ovladatelné. Často mohou být tyto situace i zkušenými řidiči nesprávně odhadnuty a vozidlo se tak například díky prudkému manévru volantem dostává do smyku. V této situaci nepomůže ani systém ABS, který pomáhá řidiči s prudkým brzděním, ani systém ASR, která zase pomáhá při prudké akceleraci. Ke slovu tedy přichází systém jízdní stability ESP, který reguluje skluz pneumatiky nejen v podélném, ale i příčném směru a zvyšuje tak stabilitu vozidla ve stopě při průjezdu zatáčkou a zároveň snižuje nebezpečí smyku při brzdění, zrychlení i při volném pohybu vozidla. Celá regulační technika systému ESP potřebuje velice výkonnou elektroniku a snímače. [3]

Stabilizace jízdy automobilu je docílena samočinnými zásahy do brzd jednotlivých kol a hnacího momentu motoru bez zásahu řidiče. Pokud systém zjistí díky snímačům příčně dynamický kritický stav, dojde k přibrzdění daných kol a tím se vytvoří točivý moment kolem svislé osy automobilu, který kompenzuje nežádoucí nedotáčivost, popř. přetáčivost vozidla. Současně se sníží hnací moment motoru. To vše má za následek stabilizaci vozidla. [3]

Pokud hrozí například vybočení zadní části u přetáčivého pohybu vozidla, jsou přibrzděna kola na vnější straně, kdy největší brzdná síla působí na přední vnější kolo (*obr. 4.1 vpravo*). V případě nedotáčivého chování vozidla se stabilizace provede přibrzděním kol na vnitřní straně zatáčky, kdy největší brzdná síla působí na zadní vnitřní kolo (*obr. 4.1 vlevo*). Systém současně sleduje, jak na danou kritickou situaci reaguje řidič. [3]



Obr. 4.1 Zásah ESP při nedotáčivém nebo přetáčivém chování vozidla [3]
 vlevo: 1 – s ESP; 2 – bez ESP; 3 – brzdná síla; 4 – vyrovnání nedotáčivosti
 vpravo: 1 – bez ESP; 2 – s ESP; 3 – brzdná síla; 4 – vyrovnání přetáčivosti



4.1 PRINCIP ELEKTRONICKÉHO STABILIZAČNÍHO PROGRAMU ESP

Systém ESP zlepšuje jízdní chování vozidla. Díky ABS se nemohou kola blokovat, díky ASR nemohou zase prokluzovat. Dobré vedení automobilu závisí na tom, jak přesně sleduje jízdní stopu, která je dána průběhem úhlu natočení volantu, a zda automobil zůstává stabilní, tedy při pohybech volantu ani nevybočuje a ani se nestává nestabilním. Proto systém ESP reguluje jak rychlost stáčení (úhlová rychlost otáčení vozidla kolem svislé osy), tak odchylky směru jízdy od podélné osy vozidla (úhel směrové úchyly těžiště vozidla). [3]

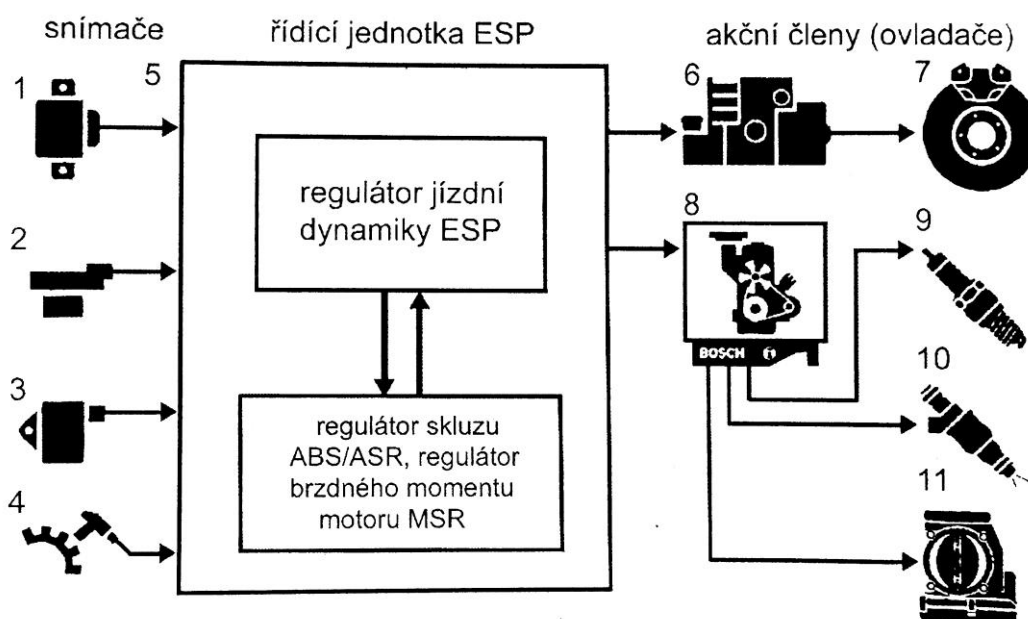
ESP zvyšuje bezpečnost jízdy za těchto situací [3]:

- aktivní podpora řidiče při působení bočních sil na vozidlo
- zvýšená jízdní stabilita ve všech jízdních stavech (jako maximální brzdění, částečné brzdění, volné pojíždění, brzdění motorem)
- zvýšená jízdní stabilita v kritických situacích (reakce ze strachu nebo panická reakce)
- v různých situacích ještě lepší využití součinitele adheze

Systém ESP využívá brzdovou soustavu k cílenému řízení vozidla pomocí toho, že brzdí jednotlivá kola tak, aby vozidlo zůstalo stabilní i v kritických situacích. Hlavní úloha brzd, tedy zpomalení vozidla, ustupuje a ESP je využívá k cílenému podporování řidiče při riziku vzniku smyku. Jednotlivá kola však mohou být nejen bržděna, ale i zrychlována. Brzdícím zásahem na některém z kol vzniká stáčivý moment působící směrem ze zatáčky, zmenší se stáčivá rychlost a omezí se nárůst úhlu směrové úchyly vozidla. Dalšími krátkými brzdnými zásahy se vozidlo zcela stabilizuje a automobil pak sleduje jízdní stopu danou natočením volantu. [3]

Vozidlo se až do mezní rychlosti chová jako vozidlo neregulované. Jelikož se však vozidlo nachází již na mezi stability, systém nereaguje na řidičův požadavek dalšího zrychlování. Zásahy motoru a jednotlivých kolových brzd mají za následek, že se úhel natočení volantu již nemusí zvětšovat a úhel směrové odchylky těžiště vozidla se nezvětšuje. Tím vznikají menší odchylky od zadaného směru jízdy. [3]

Regulační odchylka je rozdíl mezi požadovaným chováním vozidla, které požaduje řidič v mezní situaci, a skutečným chováním. Celý systém regulace vychází ve svých možnostech daleko nad ABS a ABS/ASR. Brzdné, hnací a boční síly na kolech se regulují tak, že se chování vozidla blíží řidičem požadovanému chování. Do výpočtu požadovaného chování vozidla pak vstupují ještě součinitele přilnavosti a rychlost vozidla, které jsou určeny ze snímačů otáček kol, bočního zrychlení, brzdných tlaků a stáčivé rychlosti. Celá regulace je znázorněna na *obr. 4.2.* [3]



Obr. 4.2 Regulační soustava ESP umístěná ve vozidle (Bosch) [3]:
 1 – snímač stáčívé rychlosti se snímačem bočního zrychlení; 2 – snímač úhlu natočení volantu; 3 – snímač neregulovaného brzdného tlaku; 4 – snímače otáček; 5 – řídící jednotka ESP; 6 – hydraulická jednotka; 7 – brzdy; 8 – řídící jednotka managementu motoru; 9 – úhel zážehu; 10 – vstřikování paliva; 11 – škrticí klapka

Změna boční síly nemá přímý vliv na příčnou rychlost a tedy také na úhel směrové úchytky těžiště vozidla. Příčný pohyb však způsobuje stáčívý moment, který má tendenci otáčet vozidlem kolem svislé osy a tím měnit úhel směrové úchytky těžiště vozidla a úhly směrových úchytek pneumatik. Regulátor může navíc ovlivňovat skluz pneumatiky, při kterém se vytvoří boční síly a tím nepřímou požadovaný stáčívý moment, který stabilizuje vozidlo. [3]

Regulační obvod má k dispozici veličiny měřené (stáčívá rychlost, úhel natočení volantu, boční zrychlení) a veličiny odhadované (podélná rychlost vozidla, podélné síly pneumatik a hodnoty skluzu pneumatik) a z nich určuje boční síly na kole, úhly směrových úchytek kol, úhel směrové úchytky těžiště a příčnou rychlost vozidla. [3]

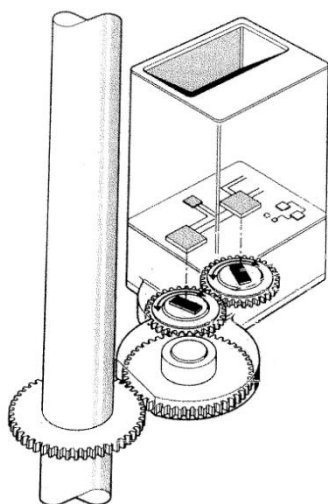
ESP reguluje stáčívou rychlost a úhel směrové úchytky těžiště a vypočítává stáčívý moment, který je nutný ke stabilizaci vozidla do požadovaného stavu. Regulační program má uloženo maximální možné příčné zrychlení a jiné veličiny, které byly pro každé vozidlo zjištěny při ustálené jízdě v kruhu. Přitom základ tvoří zjištěná závislost mezi úhlem natočení volantu a stáčívou rychlostí (uloženo jako jednostopý model). Pokud se dosadí vyšší hodnota adheze pneumatiky než jaká je ve skutečnosti, situace je hodnocena jako příliš příznivá a vozidlo se stává nestabilním. [3]



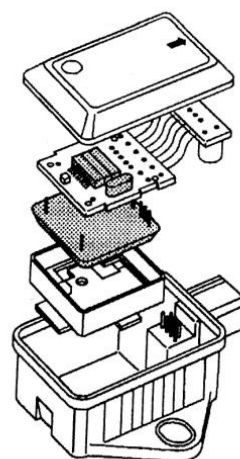
Vstupní signály pro řídicí jednotku ESP jsou [3]:

- poloha spínací skříňky zapalování
- úhel natočení volantu
- otáčky každého kola
- stáčivá rychlost
- příčné zrychlení
- brzdný tlak
- poloha brzdového pedálu a parkovací brzdy

Příklady některých snímačů systému ESP [3]:

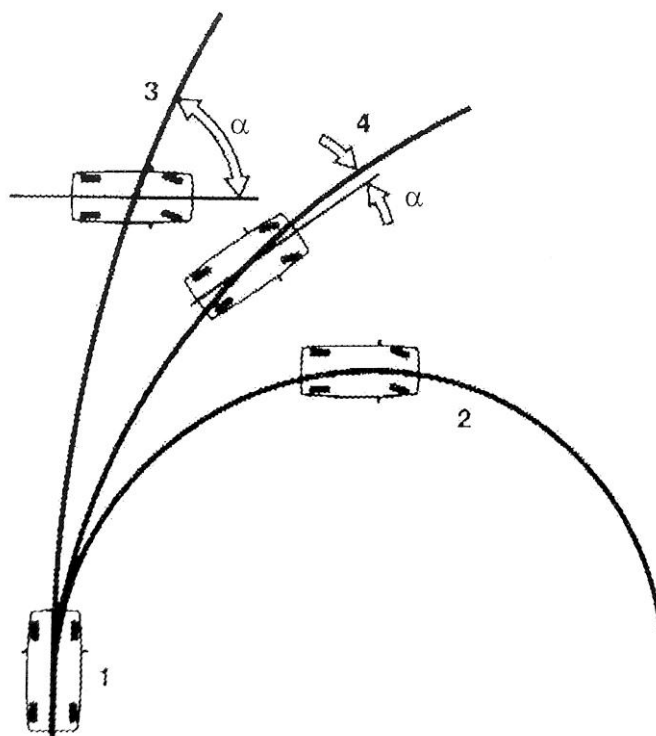


Obr. 4.3 Snímač úhlu natočení volantu [1]



Obr. 4.4 Dvojitý snímač pro snímání bočního zrychlení a stáčivé rychlosti [3]

Odchyšky mezi požadovanými a skutečnými hodnotami se porovnávají s daty v daném vozidle. Mikropočítač z toho pak vypočítá nutné korektury, které vedou ke zmenšení těchto odchylek. Tato operace se provádí, dokud není odchylka téměř nulová. Regulace se ukončí. Obr. 4.5 znázorňuje příčnou dynamiku při fixovaném volantu (kruhová jízda). Poloha 1 představuje okamžik natočení volantu. Poloha 2 je jízdní stopa na vozovce s vysokou adhezí, vozidlo tedy sleduje směr jízdy. Poloha 3 ukazuje stav, kdy je boční zrychlení větší než součinitel adheze (kluzká vozovka) a regulace stáčivé rychlosti vede k tomu, že se vozidlo sice tolik nenatáčí jako v případě 2, ale kvůli velkému úhlu směrové úchylky těžiště hrozí nestabilita vozidla. Poloha 4 pak znázorňuje vozidlo regulované ESP, tedy je regulována stáčivá rychlost i úhel směrové úchylky vozidla α . [3]



Obr. 4.5 Trajektorie vozidla [3]:
 1 – skokové natočení volantů, fixovaný volant;
 2 – jízdní stopa na drsném povrchu vozovky;
 3 – jízdní stopa na kluzké vozovce s řízením
 stáčívé rychlosti;
 4 – jízdní stopa na kluzké vozovce s dodatečnou
 regulací úhlu směrové úchylny α .

4.2 HISTORIE ELEKTRONICKÉHO STABILIZAČNÍHO PROGRAMU ESP

Prvenství v uvedení stabilizačního programu ESP do běžného provozu drží automobilka Mercedes-Benz a firma Bosch. Ti přišli roku 1994 se systémem regulace jízdní dynamiky FDR a o rok později již pod označením ESP. [6]

Cestu systému ESP přichystaly systémy ABS a ASR. Objevila se myšlenka, že nestačí automobil stabilizovat v podélném směru, ale i v příčném, protože například při průjezdu zatáčkou nebo při prudkém vyhýbacím manévru hrozí reálné riziko smyku. Proto byl odstartován projekt regulace příčného skluzu. Po mnoha výpočtech a simulacích byly v roce 1987 připraveny první zkušební vozy, které s tímto systémem najezdily mnoho testovacích kilometrů. [6]

V Berlíně byl tento vynález testován na simulátoru jízdy, kdy 80 řidičů jelo rychlostí 100 km/h po imaginární silnici s různými adhezními podmínkami v zatáčkách. Test prokázal, že 78 % účastníků nemělo bez ESP šanci udržet automobil na vozovce. Proto vývoj sériové verze, který začal v roce 1992, měl velice rychlý nástup. [6]



V roce 1994 dostali novináři z celého světa možnost vidět premiéru aktivního systému bezpečné jízdy ESP, kdy na zamrzlém Hornovanském jezeru (severní Švédsko) mohli sledovat jízdu dvou automobilů Mercedes-Benz, z nichž pouze jedno bylo vybaveno systémem ESP. Toto vozidlo zvládalo kroužit po zkušební dráze bez větších problémů, zatímco vozidlo bez ESP pouze s velkými obtížemi a nutnou neustálou korekcí směru jízdy. Tím bylo světu dokázáno, že aktivní zásah elektroniky do řízení automobilu, může pomoci při zvládnutí smyku při nepříznivých adhezních podmínkách. [6]

Zásahu o větší rozšíření systému ESP má pak Mercedes-Benz třídy A, který se při tzv. losím testu převrátil (losím testem je nazýván prudký úhybný manévr před nečekanou překážkou, ve Švédsku nejčastěji los evropský – tedy losí test). Proto byl v roce 1998 ESP instalován jako sériová výbava třídy A a o rok později pak do všech ostatních automobilů značky Mercedes-Benz. [6]

4.2.1 ESP

Tento základní stabilizační systém vyžaduje velmi výkonnou elektroniku a snímače ABS a ASR. Mimo to také obsahuje snímač úhlu natočení volantu, kombinovaný snímač míry otáčení a příčného zrychlení, snímač tlaku brzdové kapaliny a regulaci točivého momentu motoru. [5]

4.2.2 ESP II

Systém ESP je dále podpořen o nově integrované celky [5]:

- zásah do řízení
- změna útlumu v odpružení
- další regulace pro stabilitu vozidla (nedotáčivost/přetáčivost)

Nejdůležitějším prvkem ESP II je tedy aktivní řízení. To se opírá o způsob, kdy je elektromotorem ovládáno korunové kolo planetové převodovky vložené mezi hřídel volantu a spojovací tyč ve směru k převodce řízení. Vše musí být přesně sladěno s brzdovou soustavou. Největší problém do systému ale vnáší člověk svým nepředvídatelným chováním v krizových situacích. [5]

4.2.3 ESP s FUNKCÍ DSR

I v systému ESP DSR (z anglického Driver Steering Recommendation nebo Dynamic Steering Response) se jedná o zásah do řízení. Oproti ESP II však nejde o automatickou změnu řízení, ale řidiči je do volantu poslán silový impuls ve smyslu protiřízení. Provedení je mnohem jednodušší než u ESP II, protože moment, který je do volantu poslán, pochází od elektrického posilovače řízení. ESP lze většinou deaktivovat tlačítkem, avšak systém DSR zůstává aktivní. [5]



ESP je název stabilizačního programu firmy Bosch. Jednotlivé automobilky pak mohou mít své konstrukce těchto systémů a pro ty pak volí své názvy. Většinou všechny systémy pracují na stejném principu a liší se například pouze v nastavení nebo rozměrech. Některé zkratky stabilizačních programů a jejich plné názvy různých automobilek jsou uvedeny v *tab. 4.1.* [5]

Tab. 4.1 Elektronické systémy jízdní stability [5]

Zkratka systému	Celé označení	Automobilka používající daný systém
ESP	Electronic Stability Program	Audi, VW, Škoda, Seat, Daimler-Chrysler Fiat, KIA, Opel Citroën, Dodge, Ford, Hyundai, Jeep Peugeot, Renault, Saab, Suzuki
ESC	Electronic Stability Control	Honda
VDC	Vehicle Dynamic Control	Fiat, Alfa Romeo, Hyundai, Infiniti, Nissan
DSC	Dynamic Stability Control	BMW, Ford, Jaguar, Land Rover, Mazda, Rover, Mini
VSC	Vehicle Stability Control	Toyota, Lexus (Vehicle Dynamics Integrated Management - VDIM)
VDCS	Vehicle Dynamics Control Systems	Subaru
DSTC	Dynamic Stability and Traction Control	Volvo
StabiliTrak		General Motors
RSC	Roll Stability Control	Ford
CST	Controllo Stabilita	Ferrari
MSP	Maserati Stability Program	Maserati
PSM	Porsche Stability Management	Porsche
PCS	Precision Control System	Oldsmobile
Multimode	Activ Skid and Traction System	Mitsubishi
AdvanceTrac		Mercury, Lincoln
VSA	Vehicle Stability Assist	Hyundai, Acura



5 REGULAČNÍ SYSTÉMY NĚKTERÝCH AUTOMOBILEK

5.1 BMW

Firma BMW používá svůj systém stabilizace s názvem DSC (Dynamic Stability Control), který vychází z principů systému ESP. Podsystemem DSC je systém ASC (Automotive Stability Control), který reguluje ihned výhradně točivý moment motoru. Nejprve jednotka vydá povel ke snížení otáček motoru ubráním plynu (elektronický jízdní pedál), dále může snížit předstih zážehu, popř. vypnout zapalování a nakonec i zastavit dodávku paliva. Systém ASC rozpozná i počínající malý prokluz kola a reaguje přitom bez aktivace brzdy v jednotkách milisekund. [3]

Další rozšíření systému nese název ASC + T (Traction). Podobnost se systémem ASR je v přibrzdování prokluzujícího kola. To je vlastně princip brzděného diferenciálu, avšak pouze do 40 km/h, což vede ke snížení opotřebení brzd. Systém ASC lze vyřadit spínačem na palubní desce, to může být výhodné v některých zvláštních provozních situacích. [3]

Oba systémy ASC i ASC + T mohou navíc ještě eliminovat nadměrný skluz hnacích kol při prudkém ubrání plynu regulací MSR. Elektronické spojení s řídicími přístroji pro regulaci motoru a pohonu se skládá z elektronické regulace výkonu motoru EML (Elektronische Motor Leistungregulung), číslicové elektroniky motoru DME (Digitale Motor Elektronik) a elektronického řízení převodovky EGS (Elektronische Getriebe Steuerung). Podstatnými vstupními signály pak jsou otáčky všech čtyř kol. [3]

5.2 FORD

Značka Ford instaluje do svých vozů systém BTCS (Brake Traction Control System). Ten přibrzdí prokluzující kolo pomocí systému ABS. Tím se větší podíl hnacího momentu přenáší na druhé kolo. Kvůli negativnímu ovlivnění stability při vyšších rychlostech zasahují brzdy pouze do určité rychlosti (u vozu Transit do 40 km/h, u vozů Mondeo a Cougar do 90 km/h). [3]

Některá vozidla jsou vybavena protiprokluzovým systémem SFTC (Spark Fuel Traction Control). Prokluzování hnacích kol se v tomto případě eliminuje společným zásahem do brzd a motoru. Regulační zásah motoru zajišťuje řídicí jednotka úpravou okamžiku zážehu a množstvím paliva (Spark/Fuel). Ta vypočítá potřebný okamžik zážehu a počet odpojených vstříkovačů pro dosažení požadovaného hnacího momentu. Odpojení jednotlivých válců je řízeno tak, aby se zachovala stabilita a říditelnost vozidla. Současně může dojít k přibrzdění prokluzujícího kola jako u regulace BTCS. Zásah motoru je možný i při vyšší rychlosti. [3]

Výhody regulace SFTC vzhledem k regulaci BTCS [3]:

- menší zatížení brzdové soustavy
- menší zatížení hnacího ústrojí
- lepší jízdní stabilita
- lepší říditelnost
- kratší doba odezvy (reakční doba)
- funguje také při vysokých rychlostech



5.3 VW

Automobilka nabízí ve svých vozech stabilizační program EDS se systémem DSR. Vozidlo bez DSR má totiž výrazně delší brzdnu dráhu na vozovce s rozdílnou adhezí, kdy dochází pouze k přibrzdování jednotlivých kol. Systém DSR je schopný vyvinout malý točivý moment, který je poslán do volantu řidiči a ten intuitivně natočí volant v požadovaném směru a aktivně tak podpoří systém ESP. Brzdná dráha se tak může zkrátit až o 10%. [1]



6 BUDOUCNOST ŘÍZENÍ AUTOMOBILŮ

Stejně jako mohlo v minulosti někomu přijít, že lanko či táhlo vedoucí od plynového pedálu do motoru již nelze ničím nahradit, a doba ukázala, že elektronický plyn je mnohem výhodnější, tak i dnes působí některé inovace v automobilech jako příliš futuristické. Příkladem může být další nahrazování mechanických a hydraulických vazeb ve vozidle elektronikou, která může být mnohem lépe regulovatelná a kterou budou moci využívat jednotlivé stabilizační systémy.

U brzd se tak již dnes můžeme setkávat s tzv. Brake by Wire (brzdění po drátě), tedy brzdovou soustavou, která nemá klasickou koncepci. Brzdový pedál není přímo hydraulicko-mechanicky spojen s brzdami jednotlivých kol, ale pohyb brzdového pedálu je díky snímačům elektricky poslán do výkonové jednotky na každém kole. Elektromotory vestavené do kol pak vyvíjejí brzdnu sílu přímo tam, kde je zapotřebí. Může se zdát, že tento systém by se v případě výpadku dodávky proudu stal nebezpečným. Proto jsou zde vyžadovány dva zcela nezávislé elektronické okruhy. [3]

V řízení je rovněž tendence rozšíření elektroniky. Systém řízení bez klasické mechanické vazby mezi volantem a koly je nazýván Steer by Wire (řízení po drátě). Může jít i o vazbu hydraulickou, což používají například kolové traktory, kdy je volant spojen s hydrostatickou jednotkou řízení, která prostřednictvím tlakového oleje působí na hydromotor, který natáčí nápravy. Spíše nás ale zajímá vazba elektronická, který bude v blízké budoucnosti nacházet své místo ve stále větším počtu osobních automobilů. To však bude muset být nejdříve podpořeno legislativou. [5]

Výhody by měl tento systém však jasné. Například by si řidič mohl zvolit řízení přímé či nepřímé, sportovní nebo komfortní jako je tomu dnes u automatických převodovek. Elektronický systém by se též mohl nastavit sám dle jízdního stylu každého řidiče. Pokud budeme hovořit o stabilizaci, pak by mohl systém Steer by Wire mnohem lépe podpořit systémy jako ESP tím, že by velice rychle a přesně korigoval řízení za účelem zajištění stability. Stejně tak i při brzdění by po rychlé brzdě stabilizaci následovala elektronická korekce řízení působící proti směru vznikajícího smyku. Dále by elektronické řízení mohlo zasáhnout při směrové odchylce způsobené poryvem bočního větru nebo při vybočování přívěsu. [3]

Elektronická stabilizace jízdy reaguje v dnešní době pouze na aktuální jízdni stav. V budoucnu je snaha krizové situace v provozu lépe předvídat a snažit se odhadnout i chování řidiče. To vše bude potřebovat výkonnou elektroniku a soustavu kamer, čidel a senzorů k monitorování okolí automobilu. Adaptivní tempomaty, které dnes upravují rychlost vozidla dle situace před ním, by tak mohly být dobrým vodítkem k regulaci jízdy podle situací, které se dějí před vozidlem a stabilizační systémy by tak nemusely pouze reagovat na okamžité hodnoty ze snímačů otáček kol a zrychlení vozidla.



ZÁVĚR

Cílem této práce bylo shrnout a popsat principy základních elektronických stabilizačních systémů používaných v osobních automobilech. Rozhodně jsme se v této práci neseznámili s úplně všemi systémy dostupnými na trhu, protože jejich množství je nepřehledné a jednotlivé automobilky je neustále vyvíjejí a zdokonalují. Je zde však popsáno několik základních systémů regulace prokluzu kol a stabilizace jízdy, ze kterých většina dalších systémů více či méně vychází.

Nové asistenční systémy se snaží co nejvíce zvýšit bezpečnost silničního provozu, protože v dnešní době je patrný nárůst dopravních nehod způsobených zpanikařením či špatnou reakcí řidiče na danou krizovou situaci. Stejně tak ale jednotlivé systémy zvyšují pohodlí a komfort posádky vozidla.

Další vývoj v oblasti automobilů bude určitě znamenat ještě dokonalejší a ještě komplexnější systémy stabilizace jízdy, které se budou snažit co nejvíce eliminovat případné chyby řidiče. Budou reagovat nejen na jízdní situaci v daném okamžiku, ale budou se snažit krizové situace i předvídat, čímž budou opět asistovat řidiči. Systémy stabilizace a komfortu, které dnes můžeme nacházet pouze v dražších a luxusnějších vozech, budou postupně přecházet i do vozů nižších kategorií. Příkladem může být dosavadní zavedení ABS a ESP do všech nových automobilů, což v minulosti rozhodně nebylo samozřejmostí.

Pokud bychom měli vše shrnout, tak není možné jeden či druhý systém označit za lepší, protože každá stabilizace má svou specifickou funkci a každá automobilka jej instaluje do svých vozidel z konkrétních důvodů. Rozhodně však nelze zodpovědnost, kterou má řidič za své vozidlo, přenášet na systémy, které třeba špatně vyhodnotí krizovou situaci, což může vést k dopravní nehodě, protože primárně je za jízdu automobilu zodpovědný právě jeho řidič. Třeba se ale v budoucnu setkáme i s takovými systémy, které budou schopny autonomně řešit dopravní situace místo řidiče, ale to už bychom velice předbíhali.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] VLK, František. *Automobilová elektronika 1: Asistenční a informační systémy*. 1. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2006, 269 s. ISBN 80-239-6462-3.
- [2] SAJDL, Jan. ABS (Anti-lock Braking System). *Autolexicon.net* [online]. ©2013 [cit. 2013-02-20]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/abs-anti-lock-braking-system/>
- [3] VLK, František. *Elektronické systémy motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2002, vii, 299-592 s. ISBN 80-238-7282-6.
- [4] SAJDL, Jan. MBA (Mechanical Brake Assist). *Autolexicon.net* [online]. ©2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/mba-mechanical-brake-assist/>
- [5] JAN, Zdeněk, Bronislav ŽDÁNSKÝ a Jiří ČUPERA. *Automobily*. 2. vyd. Brno: Avid, 2009, 245 s. ISBN 978-80-87143-11-7.
- [6] Autokaleidoskop. Mercedes-Benz – 15 let od premiéry ESP. *Autokaleidoskop.cz* [online]. ©2013 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://www.autokaleidoskop.cz/Ruzne/Mercedes-Benz-15-let-od-premiery-ESP/>
- [7] SAJDL, Jan. ASR (Antriebschlupfregelung). *Autolexicon.net* [online]. ©2013 [cit. 2013-05-22]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/asr-antriebschlupfregelung/>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

F_{ad}	[N]	adhezní síla
F_B	[N]	brzdná síla
$F_{H,L}$	[N]	síly na vozovku
M_A	[Nm]	hnací moment
M_B	[Nm]	brzdny moment
R	[m]	poloměr kol
r_d	[m]	dynamický poloměr kola
s	[-]	skluz
v_k	[m/s]	obvodová rychlost kola
v_v	[m/s]	rychlost vozidla
Z_K	[N]	zatížení kola
α	[rad]	úhel směrové odchylky
μ	[-]	součinitel adheze
φ	[rad]	úhel otočení kola za jednotku času

ABS	Anti-lock Braking System
ASR	Antriebs Cruise Control
BAS	Brems Assistent System
DSR	Driver Steering Recommendation
EBD	Electronic Brakeforce Distribution
EDS	Elektronische Differentialsperre
EMS	Elektronische Motorleistungs Steuerung
ESP	Elektronische Stabilität Programm
MSR	Motor Schlepptomment Regelung