

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií

Systemy
aktívnej a pasívnej
bezpečnosti

Ján Gamec

Aktívna a pasívna bezpečnosť vo vozidlách

Systémy aktívnej bezpečnosti pomáhajú predchádzať možnosti vzniku kolízií a nebezpečných situácií a tak preventívne prispievajú k bezpečnosti cestnej premávky.

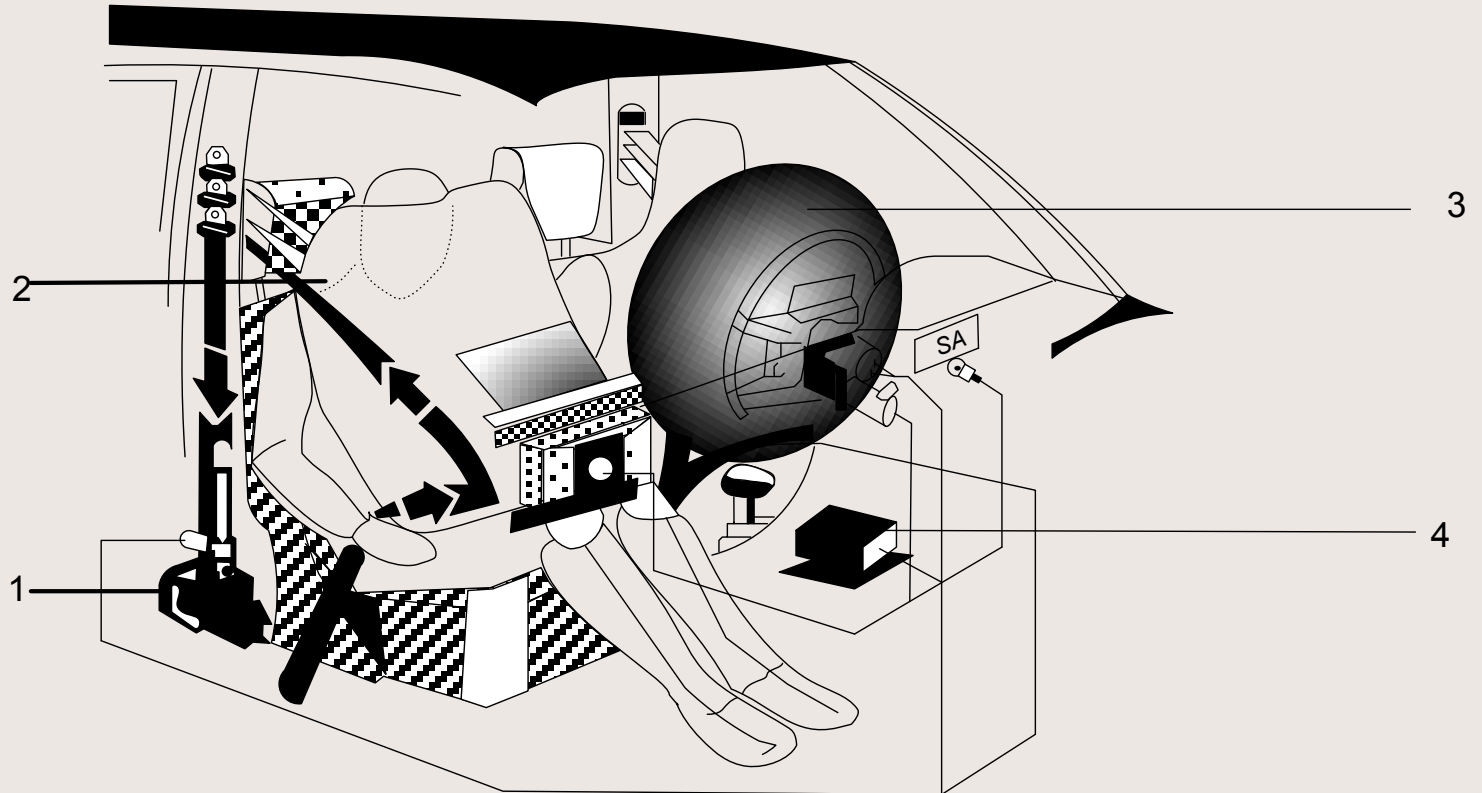
Príkladom je napr. ABS (Antilock Braking System) s ESP (Electronic Stability Program), ktoré slúžia na stabilizáciu vozidla aj v kritických brzdnych manévroch a prispievajú k udržaniu procesu riadenia dráhy a ovládateľnosti vozidla.

Systémy pasívnej bezpečnosti vozidla slúžia na ochranu pasažierov pred nebezpečnými ale aj fatálnymi poraneniami.

Príkladom systému pasívnej bezpečnosti sú airbagy, ktoré chránia pasažierov pred neodvratným nárazom alebo dopadom (na časti karosérie).

Bezpečnostný systém pasažierov s napínačmi pásov a prednými airbagmi

1 Napínač pásu 2 Predný airbag pre spolujazdca 3 Predný airbag pre vodiča 4 ECU



A spiral-bound notebook with a textured, light brown cover. The spiral binding is on the left side. The text "Automatická převodovka" is centered on the cover in a black serif font.

Automatická převodovka

Prevodovka vo vozidle je technické zariadenie, ktoré prispôsobuje krútiaci moment motora meniacim sa podmienkam prevádzky vozidla.

Ovládanie spojky a radenie predstavujú značnú psychickú a fyzickú záťaž pri riadení vozidla. Znížiť badateľne túto záťaž a tým zároveň zvýšiť aktívnu bezpečnosť (pretože sa vodič môže sústrediť výhradne na prevádzku na ceste) to je úloha, ktorú plní prevodovka, ktorá vie radiť sama = **automatická prevodovka.**

Existujú dva typy automatických prevodoviek, ktoré sa odlišujú podľa ich pôsobenia na ovládanie dynamiky vozidla:

-poloautomatické (semiautomatické) prevodovky

sú manuálne prevodovky, v ktorých všetky operácie, zvyčajne vykonané vodičom pri preradzovaní rýchlostného stupňa, sú vykonávané systémom elektronicky riadených aktuátorov.

Vzhľadom k dynamike motorových vozidiel, to znamená, že zmena rýchlostného stupňa vždy vyžaduje rozpojenie spojky, ktorá odpojí pohon od hnacích kolies.

- plne automatické prevodovky

zvyčajne sú označované jednoducho ako automatické prevodovky. Preradzujú rýchlostný stupeň pod zaťažením, t.j . sila je stále prenášaná na hnacie kolesá aj v priebehu operácie radenia.

Rozdiel v ovládaní dynamiky vozidla je základný faktor ktorý určuje nasadenie alebo použitie jedného z týchto dvoch typov prevodového ústrojenstva. Automatické prevodovky sú použité v situáciách, kde by rozpojenie prenosu sily bolo spojené s významným znížením komfortu (predovšetkým na autách s veľkým zrýchlením), alebo kde je neprijateľná významná zmena dynamiky vozidla (napr. pri terénnych vozidlách). Poloautomatické prevodovky sa vyskytujú hlavne v nákladných vozidlách diaľkovej prepravy, autobusoch tiež na malých automobiloch, pretekárskych automobiloch a rýchlych športových vozidlách.

Poloautomatické prevodovky

Čiastočne alebo plne automatizované systémy radenia rýchlostí prispievajú v podstate k zjednodušeniu radenia prevodových stupňov a k nárastu ekonomickosti.

Hlavne ak sa používajú v nákladných automobiloch, sú nevýhody vyplývajúce z prerušenia prenosu sily vyvážené niekoľkými výraznými výhodami:

- užší odstup prevodových pomerov, do 16 rýchlostí,
- zvýšená účinnosť prenosu sily,
- redukované náklady,
- rovnaká základná prevodová jednotka pre manuálne aj poloautomatické riešenia.

Činnosť

Polohovací modul na prevodovke konvertuje elektrické signály na hydraulické alebo pneumatické povely, ktoré ovládajú valce aktuátorov, vykonávajú operáciu radenia. Elektrické riadiace signály sú generované riadiacou jednotkou prevodovky.

Modifikácie

V najjednoduchších systémoch sú mechanické tiahla nahradené systémom diaľkového ovládania.

Riadiacou pákou sa potom iba vysielaajú elektrické signály. Prevodové stupne a procedúry ovládania spojky sú ako pri štandardne manuálne ovládanej prevodovke.

Zložitejšie verzie zlučujú tieto systémy s funkciou odporúčaného bodu radenia.

Výhody sú:

- znížená námaha radenia,
- zjednodušená inštalácia (žiadne mechanické tiahla a páky pre radenie),
- prevencia pred nesprávnou prevádzkou (nadmerné otáčky motora).

Pri plne automatizovaných systémoch radení rýchlostí sú automatizované aj radenie prevodových stupňov aj spojka. Jednotka, ktorú ovláda vodič pozostáva buď z ovládacej páky, ktorá umožňuje voľbu manuálneho režimu s pozíciami +/- alebo gombíkov, prípadne páčok pre radenie smerom hore alebo dolu.

Pri mnoho rýchlostných prevodovkách sú potrebné zložité programy radenia. Systém ktorý radí prevodové stupne podľa fixného vzoru nie je adekvátny. Aktuálny jazdný odpor (určený zaťažením a stavom vozovky) musí byť ovládaný tak, aby sa dosahovala optimálna rovnováha medzi jazdnými vlastnosťami a spotrebou paliva. Splnenie tejto úlohy sa dosahuje mikropočítačom riadeným systémom v súčinnosti so synchronizovaným spôsobom zaradzovania rýchlostných stupňov.

Na koniec, otáčky motora sú nastavené systémom elektronického ovládania klapky (ETC alebo EGAS) na hodnotu, ktorá je požadovaná systémom riadenia prevodovky, prostredníctvom dátovej komunikačnej zbernice. To má za následok čiastočné alebo počiatkové odl'ahčenie systému synchronizácie prevodovky.

Výhody sú:

- optimálna ekonomika prevádzky prostredníctvom automaticky počítačom riadeným radením,
- znížené pracovné zaťaženie vodiča,
- nižšia hmotnosť a menšie rozmery,
- zvýšená bezpečnosť vodiča a vozidla

Plne automatické prevodovky

Plne automatické prevodovky realizujú pripojenie motora a operáciu voľby prevodového stupňa (radenie) bez povelu vodiča. Jednotkou pripojenia výkonu motora zvyčajne býva hydrodynamický menič momentu, ktorý je takmer vždy vybavený premost'ovacou spojkou meniča. Výkonová účinnosť takýchto automatických prevodoviek je zo svojej podstaty trochu nižšia než u manuálnych a poloautomatických prevodoviek. V mnohých aplikáciách je to však vyvážené programami radeniami, navrhnutými pre udržanie prevádzky motora v maximálne ekonomickom rozsahu.

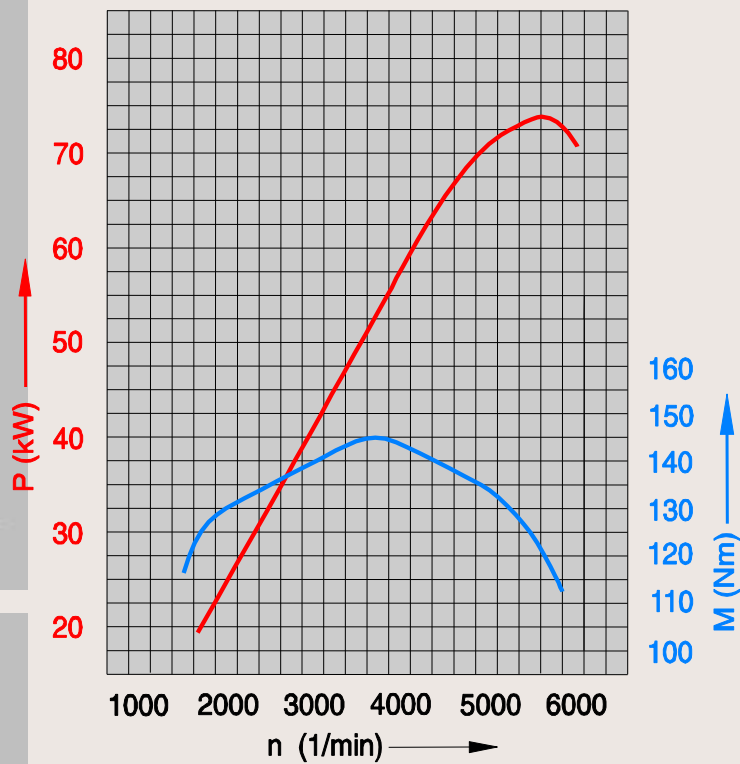
Preto sa tiež automatické prevodovky stávajú stále častejšie súčasťami moderných vozidiel.

Spôsob činnosti automatickej prevodovky je vo všetkých osobných vozidlách (s hydrodynamickým meničom) veľmi podobný. Odlišnosti sú len v konštrukčných detailoch podľa umiestnenia vo vozidle a výkone motora.

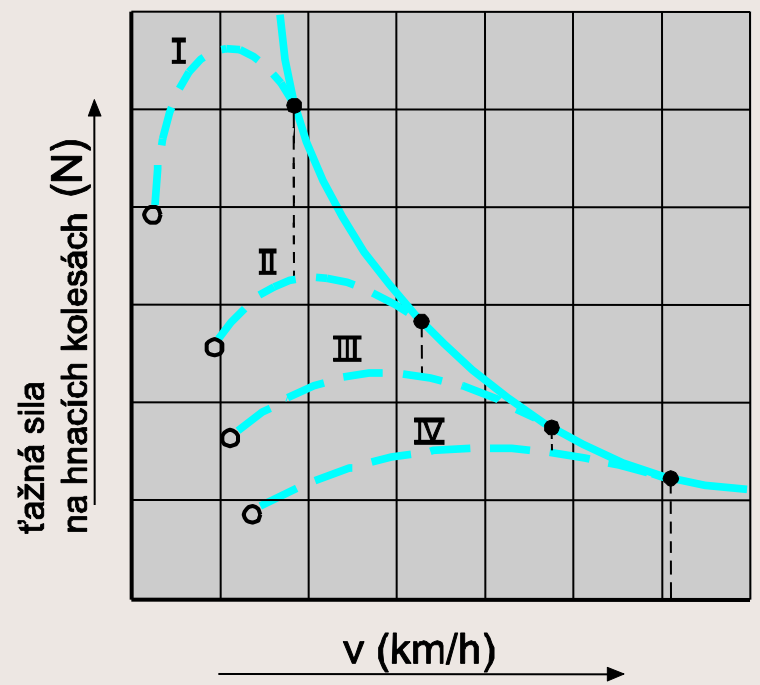
Výkon sa vypočíta:
$$P = M \cdot \omega = \frac{M \cdot n}{9550} [kW; Nm, l/min]$$

Spalovacie motory pracujú len v rozmedzí voľnobežných (*osobné vozidlá asi 600 až 700 1/min*) a maximálnych otáčok (*rôzne podľa druhu motora - v priemere 6000 až 7000 1/min*)

Najvyšší krútiaci moment sa dosahuje v úzkom rozsahu otáčok motora. Moment rastie až do maximálnej hodnoty a potom v rozsahu menovitých otáčok opäť klesá ([obr](#)).



Graf závislosti výkonu a krútiaceho momentu od otáčok benzínového motora



Graf závislosti ťažnej sily od rýchlosti

- ideálna krivka ťažnej sily
- - - krivka ťažnej sily I. až IV. rýchlostného stupňa
- $n = 5000$ 1/min ○ $n = 1000$ 1/min

V skutočnosti je nutné tento obmedzený rozsah otáčok prispôbiť širokej oblasti potreby ťažnej sily. Zariadenie, ktoré toto umožňuje sa nazýva prevodovka.

Teoreticky by bola pre prispôsobenie ťažnej sily potrebná prevodovka, s nekonečným počtom prevodových stupňov. To ale nie je prakticky možné.

V praxi sa dosahuje priblíženie priebehu ideálnej krivky ťažnej sily pomocou niekoľkých konštantných stupňov = zaraditeľných prevodov.

Mechanická prevodovka

Prevodovka je teda zariadenie, ktoré slúži na zmenu krútiaceho momentu.

Pri zmene prevodu sú otáčky n nepriamo úmerné momentu M . T.zn., že ak dôjde na výstupe z prevodovky k zväčšeniu výstupného momentu, dôjde na výstupe zároveň k zníženiu počtu otáčok a naopak. Výkon motora sa prechodom cez prevodovku nemení.

Mechanické prevodovky sú spravidla konštruované ako prevodovky s predlohovým hriadel'om.

Sila sa prenáša z hnacieho hriadeľa cez sústavu ozubených kolies na hlavný hriadeľ rozvodovky.

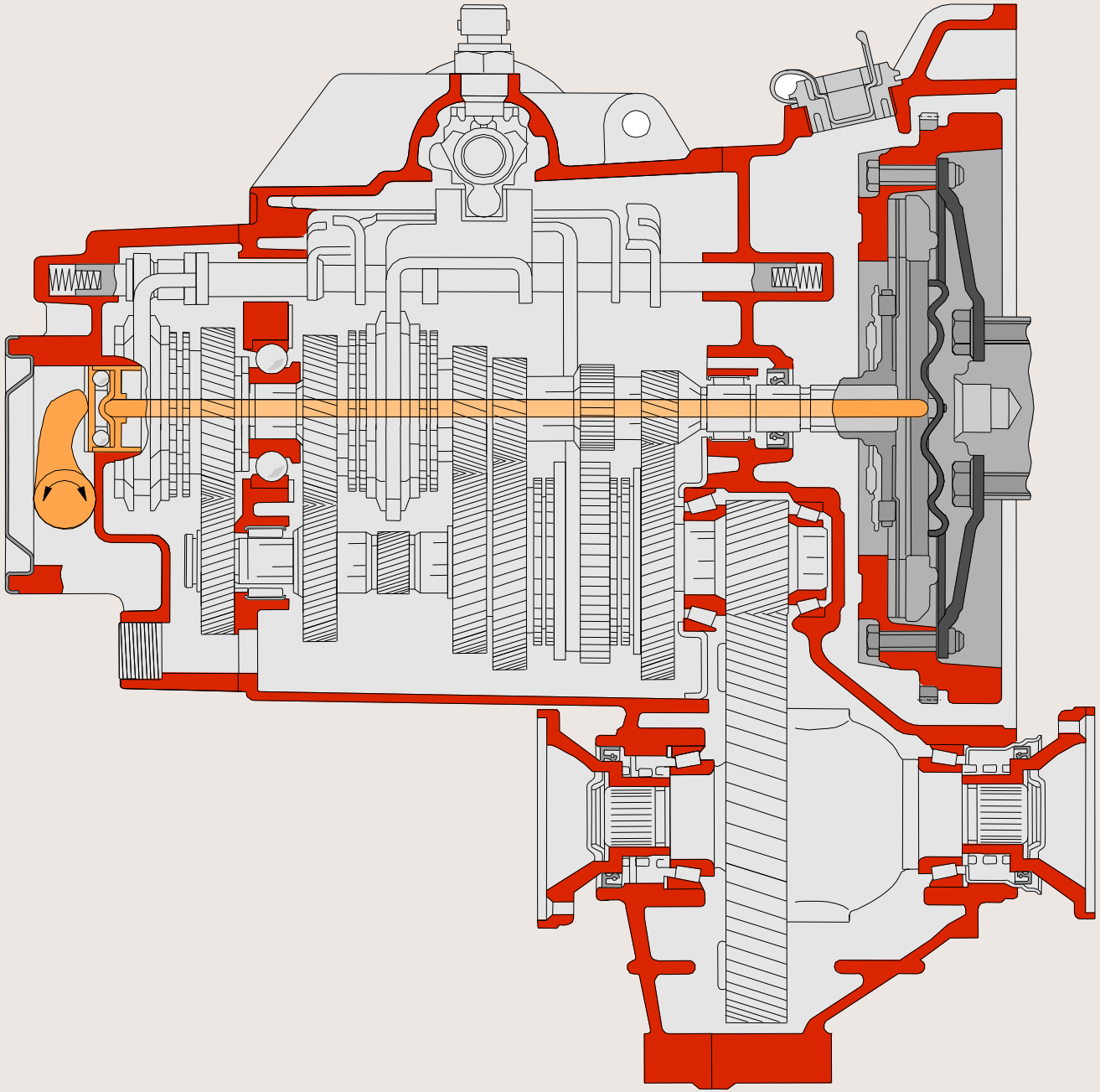
Radiace kolesá na hlavnom hriadeľi sú voľné a až pri radení dôjde pomocou presuvných objímok k ich spojeniu s hlavným hriadeľom.

Mechanické prevodovky sú založené na tvarovom styku – na rozdiel od prevodoviek automatických, ktoré pracujú so stykom silovým.

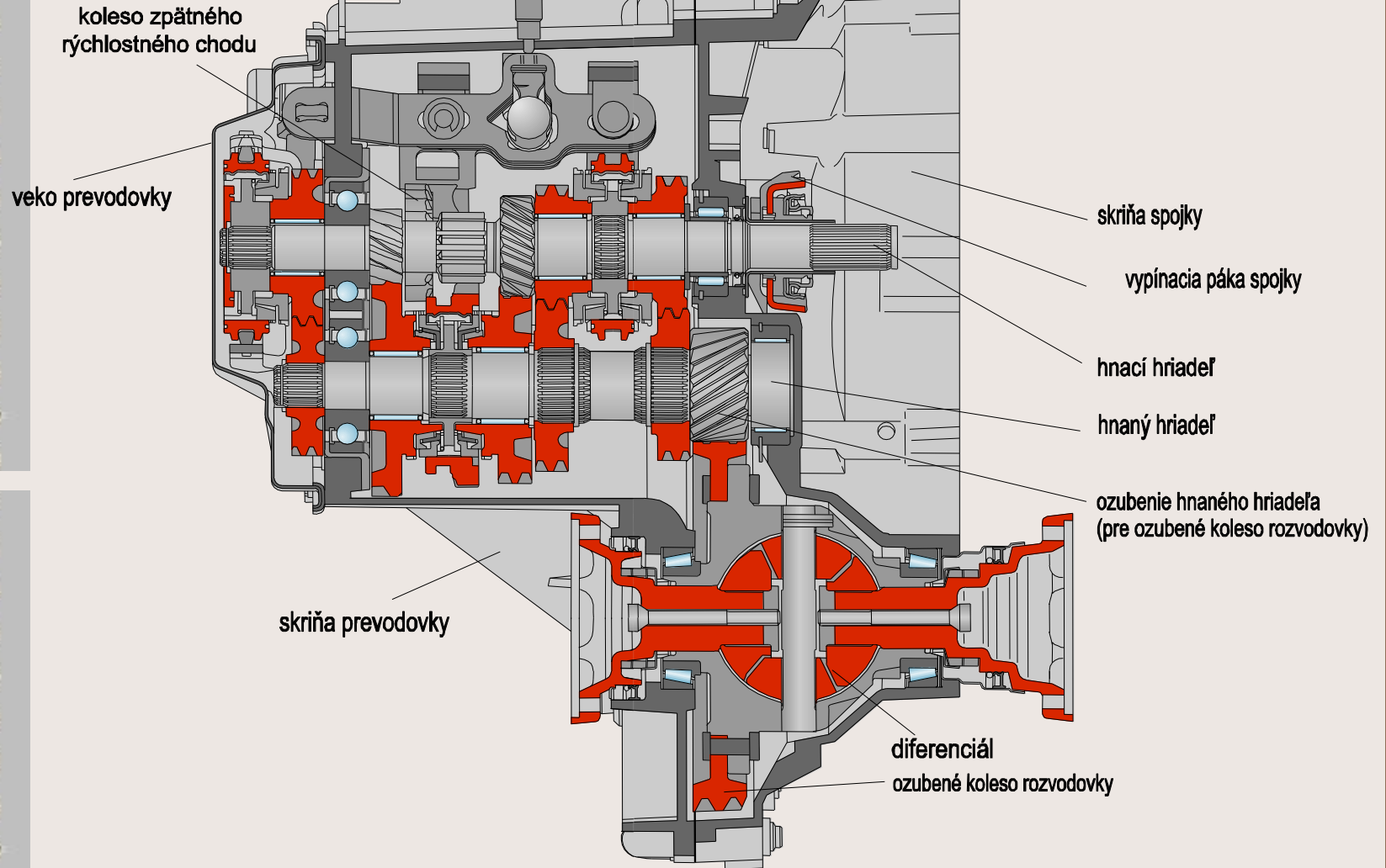
Veľkosť momentu na hnacom hriadeľi je závislá na veľkosti prevodového čísla i .

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{n_{\text{hnacieho kolesa}}}{n_{\text{hnaného kolesa}}}$$

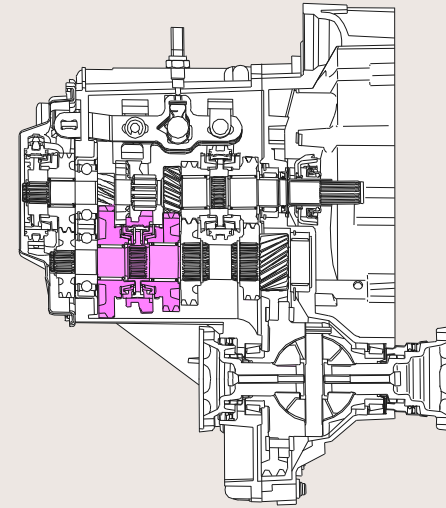
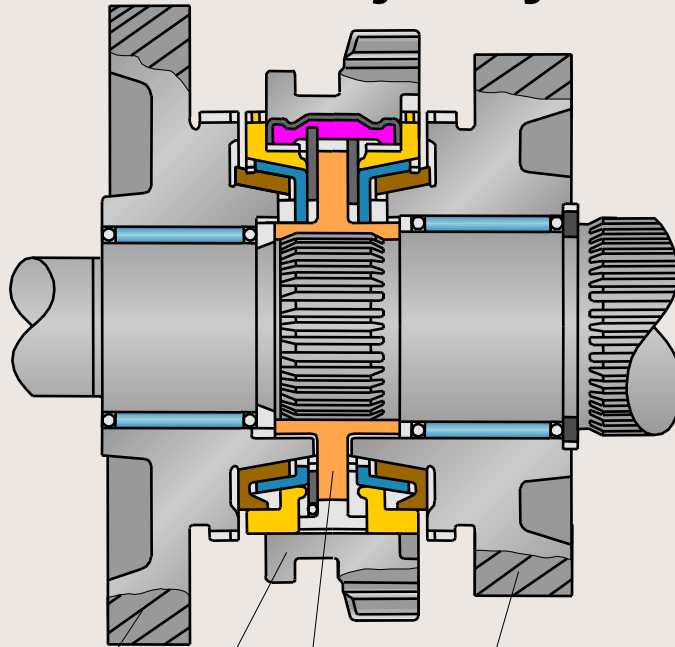
$$M_{\text{hnacieho hriad.}} = M_{\text{hnaného hriad.}} \cdot i$$



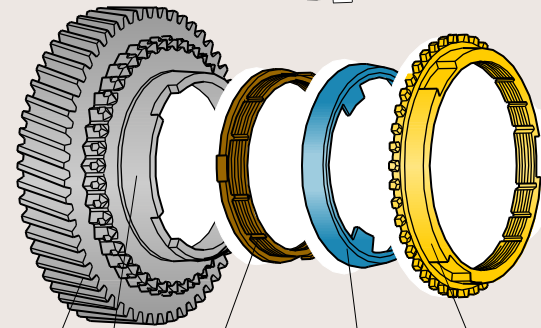
Konštrukcia prevodovky



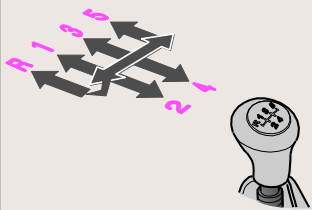
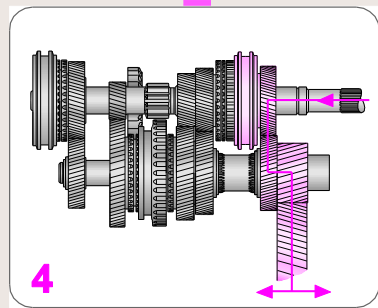
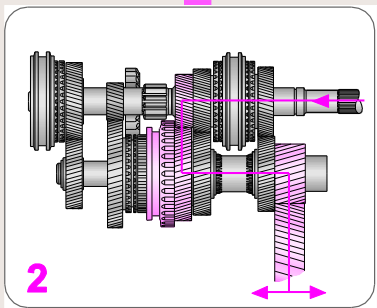
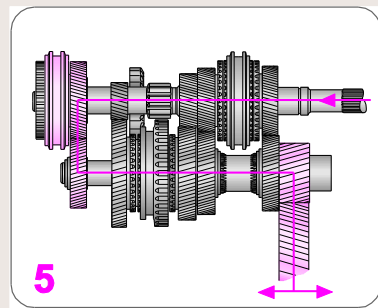
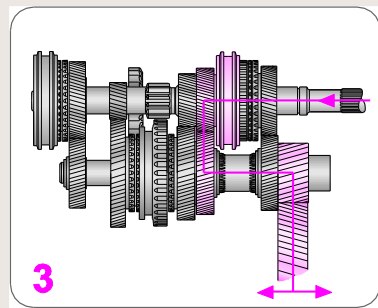
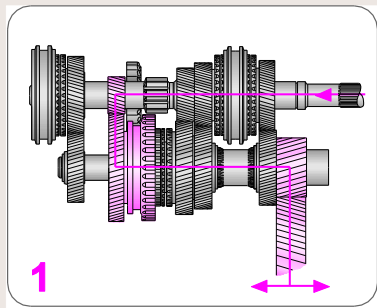
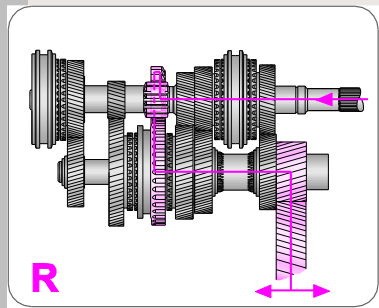
Dvojitá synchronizácia



radené koleso 1.rýchlostného stupňa
presuvná objímka
radené koleso 2.rýchlostného stupňa
jadro synchronnej spojky pre 1. a 2. rýchlostný stupeň



radené koleso
vnútorný synchronný krúžok
kužeľová plocha pre synchronizáciu
krúžok s kužeľovou plochou
vonkajší synchronný krúžok



Ako ukazujú štatistické merania, je na prejazd 10000 km nutné zošliapnuť 30000 až 40000krát spojkový pedál.

Súčasne so zošliapnutím spojkového pedálu je potrebné tiež ručne pomocou radiacej páky zvoliť a zaradiť vhodný rýchlostný stupeň. Nie je sa potom čo čudovať, že názory na radenie sa rôznia.

V priebehu svojho vývoja si automatické prevodovky vyslúžili prívlastky ako „pomalé“ a „nešportové“.

Toto však už dnes zásluhou vyspelej počítačovej techniky, ktorá našla svoje miesto i vo vozidle, neplatí. Radenie je riadené elektronickými programami, ktoré zabezpečujú radenie v správnom okamihu a podľa jazdných podmienok (Fuzzy-Logic)

Konštrukcia

Automatické prevodovky sa starajú samostatne (automaticky) o:

- rozjazd
- voľbu prevodu
- zaradenie zvoleného rýchlostného stupňa

Ako rozjazdový prvok slúži výhradne hydrodynamický momentový menič.

Hlavné časti

Automatická prevodovka

Momentový menič

rozjazd, nárast krútiaceho momentu, potlačenie kmitania

Planétové prevody

mechanické vytvorenie prevodov, rýchlostných stupňov

Radiace prvky

tlakom oleja ovládané lamelové spojky a brzdy (priradené jednotlivým prvkom planétového prevodu), zmena rýchlostného stupňa

Voľnobežné spojky

optimalizácia radenia podľa záťaže radiacimi prvkami

Riadenie prevodovky

elektro - hydraulické podľa programov radenia

Olejové čerpadlo

Doprava oleja k radiacim prvkom a momentovému meniču, mazanie prevodovky

Stanovenie bodu radenia

Snímače

poloha pedála akcelerácie

rýchlosť vozidla

otáčky prevodovky

otáčky motora

teplota prevodového oleja

poloha voliacej páky

ovládanie
brzdového pedála

spínač pohybu pedála
akcelerácie (kick-down)

riadiaca jednotka
automatickej
prevodovky

vlastná
diagnostika

Akčné členy

ventil voľby rýchlosti

ventil pre premostenie
meniča

ventil hlavného tlaku

blokovanie voliacej páky


zmenšenie krútiaceho
momentu

blokovanie spúšťača

zvýšenie voľnobežných
otáčok

klimatizácia

displej automatickej
prevodovky

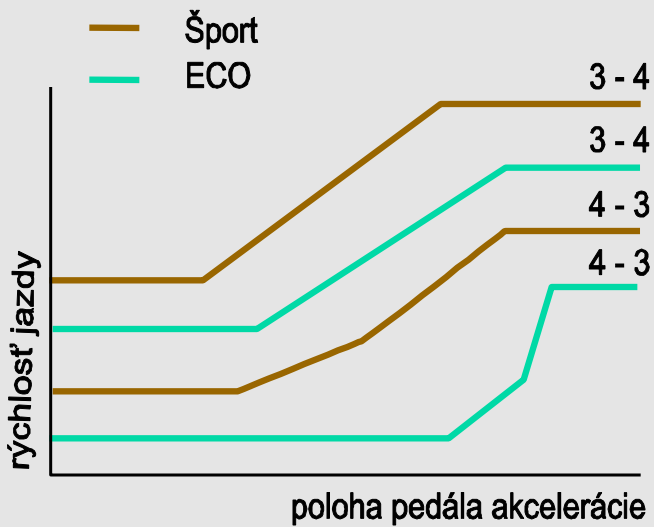
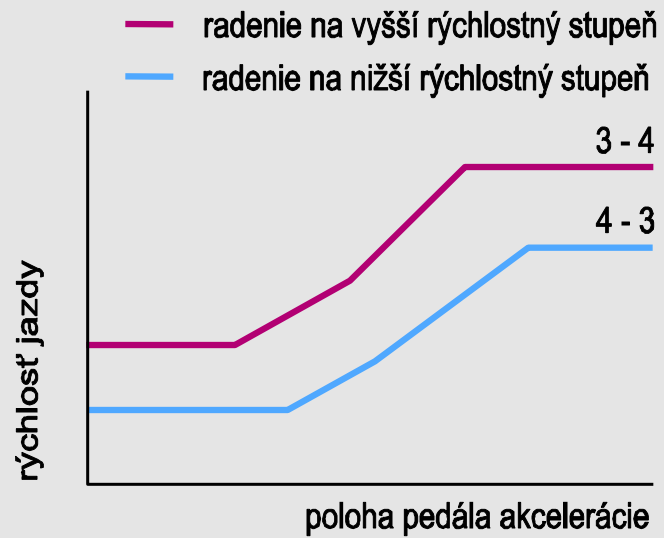


Zákonnosti radenia sú spracovávané počítačom riadiacej jednotky automatickej prevodovky. Elektronické riadenie prevodovky predstavuje neustále opakovanie nasledujúceho cyklu: príjem signálov od snímačov a spínačov, výpočet pre rozhodnutie o možnom zaradení a export signálov k nastavovacím členom.

Na spracovanie tohto cyklu potrebuje riadiaca jednotka automatickej prevodovky 20 ms.

Charakteristika bežného radenia

O preradzovaní medzi dvoma rýchlostnými stupňami rozhoduje riadiaca jednotka automatickej prevodovky podľa charakteristiky radenia. Berie do úvahy rýchlosť jazdy a polohu pedála akcelerácie. Pre radenie na vyšší rýchlostný stupeň platí iná charakteristika ako pre radenie na nižší rýchlostný stupeň. V závislosti od rýchlosti jazdy a polohy pedála akcelerácie je pred každú zmenu rýchlosti daná charakteristika. Výber radiaceho bodu je pomerne nemenný lebo k radeniu dochádza vždy v rovnakých bodoch podľa polohy pedála akcelerácie a rýchlosti jazdy. Graf predstavuje radenie 3. - 4. rýchlostného stupňa.



Charakteristika športového radenia

Charakteristika ekonomického radenia

V počiatkoch elektronicky riadených automatických prevodoviek boli programované iba pevné charakteristiky radenia. V priebehu ďalšieho vývoje bolo možné voliť medzi dvomi programami:

- športovým „ŠPORT“
- a ekonomickým „ECO“

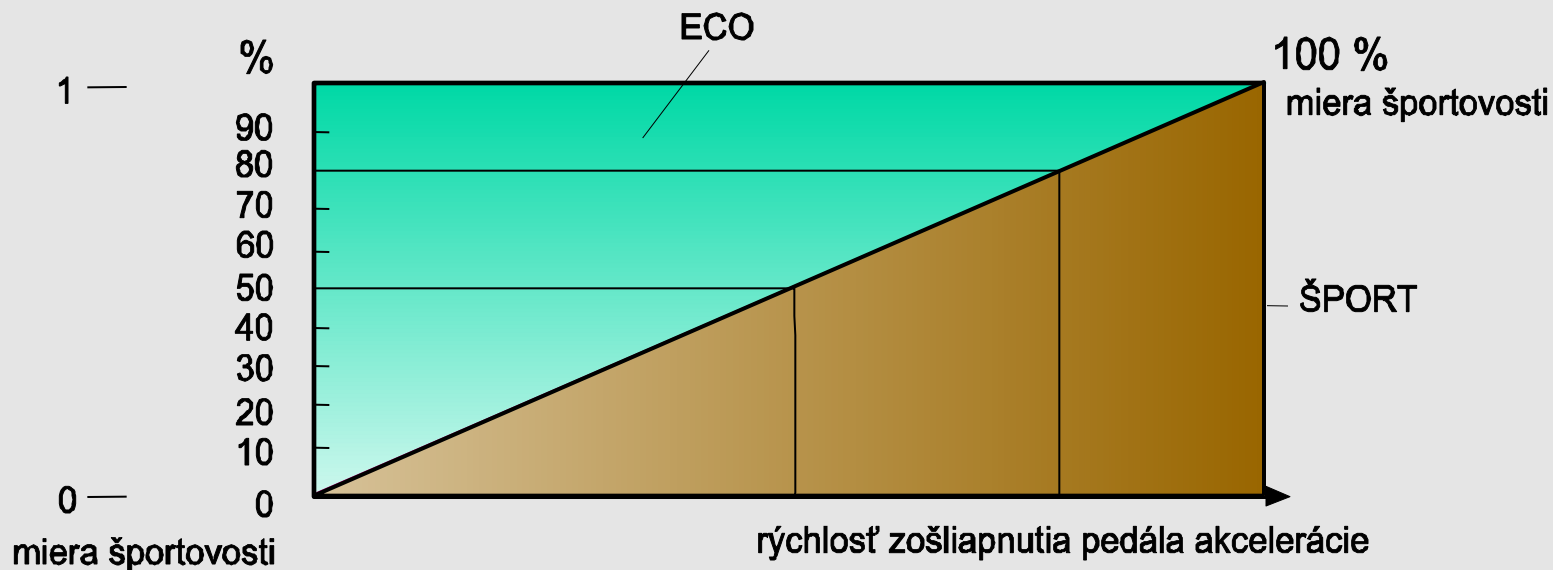
Prepínanie vykonával vodič samostatným spínačom na voliacej páke. Ďalším zlepšením bolo prepínanie automatické, ktoré sa vykonalo v závislosti od rýchlosti zošliapnutia pedálu akcelerácie. Jednalo sa, rovnako ako predtým, o absolútne rozhodovanie.

Adaptívne charakteristiky

Moderné elektronické riadenie automatických prevodoviek vypočítava posun charakteristiky z veľkého počtu informácií, ktoré neustále opisujú aktuálny prevádzkový stav a jazdnú situáciu. K rozhodovaniu o radení sa používa takto individuálne prispôsobená (už nie nemenná) charakteristika.

Radiaci program, ktorý pracuje v závislosti od jazdného odporu, rozoznáva jazdné odpory ako sú jazda do kopca, jazda s prívesom, alebo jazda proti vetru. Podľa rýchlosti jazdy, polohy škrtiacej klapky, otáčok motora a zrýchlenia vozidla vypočítava riadiaca jednotka automatickej prevodovky jazdný odpor a na základe výpočtu stanoví radiaci bod.

Výpočet radiaceho bodu v závislosti od vodiča a jazdnej situácie sa vykonáva na princípe Fuzzy-Logic.



Rýchlosťou zošliapnutia pedála akcelerácie (pomalé alebo rýchle) dosahuje vodič požadovanú mieru športovosti, ktorá je vypočítaná pomocou Fuzzy-Logic. Miera športovosti umožňuje plynulý prechod medzi ekonomickým (úsporným) a športovým (na výkon orientovaným) jazdným programom. Tým sa dosahuje toho, že medzi charakteristikou „ECO“ a „ŠPORT“ je ľubovoľné množstvo radiacich bodov.

Dá sa tak omnoho jemnejšie reagovať na individuálny spôsob jazdy.

FUZZY LOGIKA

Ideu Fuzzy logiky (FL) formuloval **Lotfi Zadeh**, profesor Kalifornskej univerzity v Berkley, v druhej polovici 70-tých rokov. Predstavil ju nie ako metódu riadenia ale ako spôsob spracovania dát. Profesor Zadeh uvažoval, že **človek nevyžaduje presné numerické informácie** a predsa je schopný značne adaptívne riadiť. Z toho vyplýva, že aj ak by regulátor so spätnou väzbou mohol spracovávať nepresné a zašumené signály, mohol by byť implementovaný efektívnejšie a jednoduchšie. Najrýchlejšie sa tejto myšlienky chopili európski a japonskí výrobcovia.

Čo to je fuzzy logika?

V tomto kontexte, je **FL problémovo orientovaný riadiaci systém**, ktorého metodológia sa využíva na implementáciu od jednoduchých, malých, “embedded“ mikrokontroleroch až po veľké, sieťové multikanálové PC alebo na pracovných staniciach založené riadiace systémy zberu dát. Môžu byť implementované **hardvérovo, softvérovo alebo kombinovane**. FL poskytuje jednoduchý spôsob ako dosiahnuť určité definované výroky alebo závery z nejasných, nepresných alebo aj sčasti chýbajúcich vstupných informácií. Riadenie problému na báze FL **napodobňuje osobu pri stanovovaní rozhodnutí**, avšak podstatne rýchlejšie.

Jej odlišnosti

FL pri riešení problému riadenia začleňuje namiesto matematického modelovania systému jednoduché **pravidlo IF X AND Y THEN Z**. Model FL je empiricky orientovaný, opierajúci sa viac o skúsenosť než o technické pochopenie systému. Napr. pri riadení teploty sa namiesto výrazov "SP =500F", "T <1000F" alebo "210C <TEMP <220C", používajú vyjadrenia ako "IF (proces je príliš chladný) AND (proces sa stáva chladnejší) THEN (pridaj teplo do procesu)" alebo "IF (proces je príliš horúci) AND (proces sa prudko zohrieva) THEN (ochladzuj proces rýchlo)". Tieto výrazy sú nepresné ale veľmi opisné na vyjadrenie toho, čo sa má udiť. Ak predpokladáme, že sa sprchujeme ak je teplota príliš nízka, s malými problémami nastavíme vhodnú teplotu veľmi rýchlo. FL je schopná napodobniť tento typ správania ale s oveľa vyššou rýchlosťou.

Ako FL pracuje?

Aby FL pracovala tak ako sa predpokladá, potrebuje nejaké numerické parametre, akými sú signifikantná chyba a signifikantná rýchlosť zmeny chyby.

Exaktné hodnoty týchto čísel nie sú zvyčajne kritické, iba že pri požiadavke veľmi citlivej odozvy je potrebné ich určiť empirickým ladením. Napr. jednoduchý riadiaci systém teploty by mohol v spätnej väzbe používať jeden senzor teploty, ktorého údaje sa pre výpočet “chyby” - “error” odčítavajú od údajov povelu a potom sa pre zistenie rýchlosti zmeny chyby vypočítava časová diferenciacia chýb (ďalej sa označuje ako “chyba s bodkou” – “error-dot”).

Ako FL pracuje?

“Chyba“ - “error“ sa môže udávať v $^{\circ}C$ a za malú chybu sa považuje hodnota chyby $2^{\circ}C$, kým za veľkú chybu sa považuje $5^{\circ}C$. “Chyba s bodkou“ - “error-dot“ môže mať jednotku stupeň/min, pričom malá “chyba s bodkou“ je $5^{\circ}C /min$ a veľká $15^{\circ}C /min$. Tieto hodnoty nemusia byť symetrické a môžu byť za účelom optimalizácie výstupu doladené. Vo všeobecnosti FL sa správa tolerantne k tomu, že systém bude pravdepodobne na začiatku pracovať bez doladovania.

Prečo a kedy sa používa FL?

FL poskytuje niekoľko jedinečných vlastností, ktoré môžu byť zvlášť dobrou voľbou v mnohých problematikách riadenia.

1) **Je vo svojej podstate robustná**, pretože nevyžaduje presné, nezašumené vstupné údaje a môže byť programovaná ako odolná voči poruche ak senzor prestane pracovať alebo sa zničí. Riadiacim výstupom je hladká riadiaca funkcia aj napriek širokému rozsahu vstupných variácií.

2) Pretože riadiaci obvod na báze FL **spracováva používateľom definované pravidlá**, ktoré regulujú cieľový riadiaci systém, môže byť pre zlepšenie alebo výrazne zmeny vlastností systému jednoducho modifikovaný a doladený. Nové senzory môžu byť do systému začlenené jednoduchým vygenerovaním primeraných regulačných pravidiel.

Prečo a kedy sa používa FL?

3) **FL nie je limitovaná malým počtom spätnoväzobných vstupov** a jedným alebo dvoma riadiacimi výstupmi, tiež nie je potrebné merať alebo počítať rozsah zmien parametrov, pre ktorý môže byť implementovaná. Postačujúce sú ľubovoľné dáta senzora, ktoré indikujú akcie a reakcie systému. To umožňuje používať nepresné a lacné senzory, čo znižuje cenu systému a jeho zložitosť.

4) Pretože činnosť je založená na pravidlách, **môže sa spracovávať ľubovoľný počet vstupov** (1-8 alebo viac) a generovať mnoho výstupov (1-4 alebo viac), hoci zložitosť definovania pravidiel prudko narastá s rastom počtu vstupov a výstupov. Je lepšie rozčleniť riadiaci systém na menšie časti a požiť niekoľko menších riadiacich jednotiek na báze FL, ktoré sú distribuované v systéme, pričom každá má viac obmedzenú pôsobnosť.

Prečo a kedy sa používa FL?

5) FL **môže riadiť nelineárne systémy**, ktoré by sa dali ťažko alebo nedali matematicky modelovať. To otvára možnosť pre riadiace systémy, ktoré by normálne boli považované za neprijateľné pre automatizáciu.

Ako sa FL používa?

- 1) **Definujú sa ciele a kritéria riadenia:** Čo sa pokúšam riadiť? Čo musím urobiť aby som systém riadil? Aký druh odozvy je potrebný? Aké sú možné (pravdepodobné) poruchové módy systému?
- 2) **Stanovia sa vzťahy vstupu a výstupu** a zvolí sa minimálny počet premenných ako, vstup jednotky FL (typicky chyba a rýchlosť zmeny chyby).

Ako sa FL používa?

3) Použitím štruktúry FL, orientovanej na pravidlá sa **rozčlení problém riadenia na sériu IF X AND Y THEN Z pravidiel**, ktoré pre dané vstupné podmienky definujú požadovanú odozvu na výstupe. Počet a zložitosť pravidiel závisí od počtu vstupných parametrov, ktoré majú byť spracovávané a od počtu fuzzy premenných, spojených s každým parametrom. Ak je to možné, treba použiť najmenej jednu premennú a jej časovú deriváciu. Aj keď je možné použiť jediný parameter - okamžitú chybu, bez poznania jeho rýchlosti zmeny by to viedlo k redukcii schopnosti systému minimalizovať jeho prekmitnutie v dôsledku skokovej zmeny na vstupe.

Ako sa FL používa?

4) **Vytvoria sa funkcie príslušnosti**, ktoré definujú význam (hodnoty) vstupno/výstupných výrazov, použitých v pravidlách.

5) **Vytvoria sa rutiny FL** potrebné k pre- alebo post- processingu - ak je implementácia softvérová alebo sa naprogramujú tieto pravidlá do hardvéru jednotky FL.

6) **Systém sa testuje**, vyhodnotia sa výsledky, vyladia sa pravidlá a funkcie príslušnosti a znovu sa testuje, kým sa nedosiahnu uspokojivé výsledky.

LINGVISTICKÉ PREMENNÉ

V roku 1973 prof. Lotfi Zadeh predstavil ideu lingvistických alebo “fuzzy“ premenných. Považoval ich viac za lingvistické objekty alebo **slová** ako za **čísla**. Vstup senzora je **podstatné meno** napr. “teplota“, “posunutie“, “rýchlosť“, “tok“, “tlak“ atď. Pretože chyba je príslušná diferenciacia, môže sa ponímať rovnakým spôsobom. Fuzzy **premenné** samé o sebe sú **prídavné mená**, ktoré **modifikujú premennú** (napr. “veľká pozitívna“ chyba, “malá pozitívna“ chyba, “nulová“ chyba, “malá negatívna“ chyba, “veľká negatívna“ chyba).

Minimum, na ktoré by sa to dalo zjednodušiť je “**pozitívna**“, “**nulová**“ a “**negatívna**“ ako premenná pre každý parameter. Ďalšie rozsahy ako “veľmi veľký“ a “veľmi malý“ by mohli byť pridané na to, aby rozšírili schopnosť reagovať na výnimočné alebo veľmi nelineárne podmienky, avšak nie sú nevyhnutné pre základný systém.

MATICA PRAVIDIEL

Fuzzy parametre chyba (povel-spätna väzba) a chyba s bodkou boli modifikované prídavnými menami “negatívna“, “nulová“ a “pozitívna“. Pre ilustráciu toho si treba predstaviť najjednoduchšiu praktickú implementáciu a to maticu 3x3. **Stĺpce** reprezentujú “**negatívnu chybu**“, “**nulovú chybu**“ a “**pozitívnu chybu**“ zľava vpravo. **Riadky** reprezentujú “**negatívnu**“, “**nulovú**“ a “**pozitívnu**“ chybu s bodkou zhora nadol. Takto vytvorená plocha sa nazýva matica pravidiel. Má dve vstupné podmienky “chybu“ a “chybu s bodkou“ a jednu výstupnú výslednú odpoveď (na každom priesečníku riadka a stĺpca). V danom prípade existuje 9 možných logických súčinov (AND) ako výstupných záverečných odpovedí alebo odoziev.

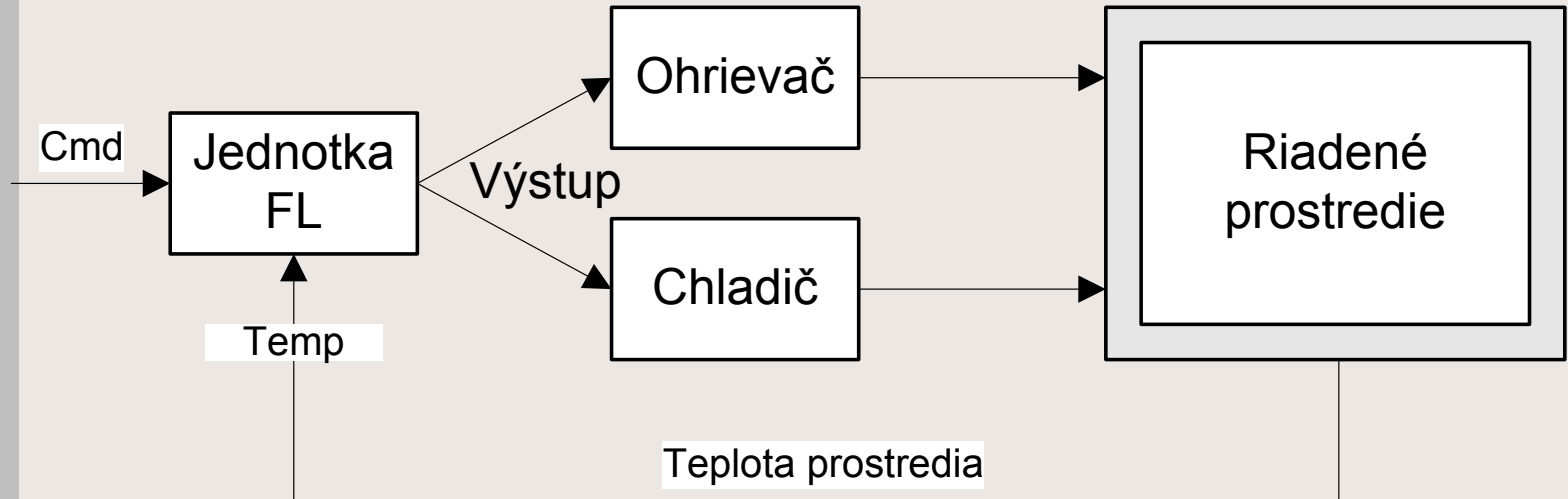
MATICA PRAVIDIEL

Aj keď to nie je absolútne nevyhnutné, matica pravidiel má zvyčajne **nepárny počet riadkov a stĺpcov** preto, aby “nula“ mala centrálnu pozíciu. Nemusí to byť nevyhnutné ak funkcie vytvárajú prekrytie po oboch stranách od stredu a kontinuálne prechody na výstupe sú akceptovateľné z toho dôvodu, že regióny “nula“ odpovedajú výstupu “bez zmeny“. Tak isto je možný odlišný počet riadkov a stĺpcov. To sa vyskytuje vtedy ak je potrebný značný počet vstupov. Maximálny počet možných pravidiel je jednoducho súčin počtu riadkov a stĺpcov, avšak definícia všetkých týchto pravidiel nemusí byť žiaduca, pretože niektoré vstupné podmienky sa pri praktickej prevádzke nemusia nikdy vyskytnúť. Primárnym zámerom tejto konštrukcie je zmapovanie všetkých možností vstupov počas držania systému dostatočne pod kontrolou.

Začiatok procesu

Prvým krokom pri implementácii FL je exaktné rozhodnutie čo a ako je riadené. Napr. predpokladajme, že chceme navrhnúť jednoduchý proporcionálny regulátor teploty s elektrickým vyhrievacím prvkom a chladiacim ventilátorom s premenlivými otáčkami. Kladný signál na výstupe vyvoláva 0 – 100% vyhrievanie, kým negatívny signál na výstupe vyvoláva 0 – 100% ochladzovanie. Riadenie sa dosahuje prostredníctvom správneho vyvažovania a riadenia týchto dvoch aktívnych zariadení.

JEDNODUCHÝ RIADIACI SYSTÉM NA BÁZE FL



Cmd: Cieľová teplota

Temp: Senzor spätnej väzby riadenia

Error: Chyba $Cmd - Temp$ (- = príliš horúci, + = príliš chladný)

Error-dot: Časová derivácia chyby (- = ohrieva sa, + = chladne)

Výstup: ZOHRIEVAJ alebo NEMEŇ alebo OCHLADZUJ

Jednoduchá bloková schéma systému riadenia

Začiatok procesu

Je potrebné vytvoriť zmysluplný systém pre reprezentáciu lingvistických premenných v matici. V tomto príklade budú použité:

"N" = "negative" error alebo error-dot vstupná úroveň

"Z" = "zero" error alebo error-dot vstupná úroveň

"P" = "positive" error alebo error-dot vstupná úroveň

"H" = "Heat"- ZOHRIEVAJ výstupná odozva

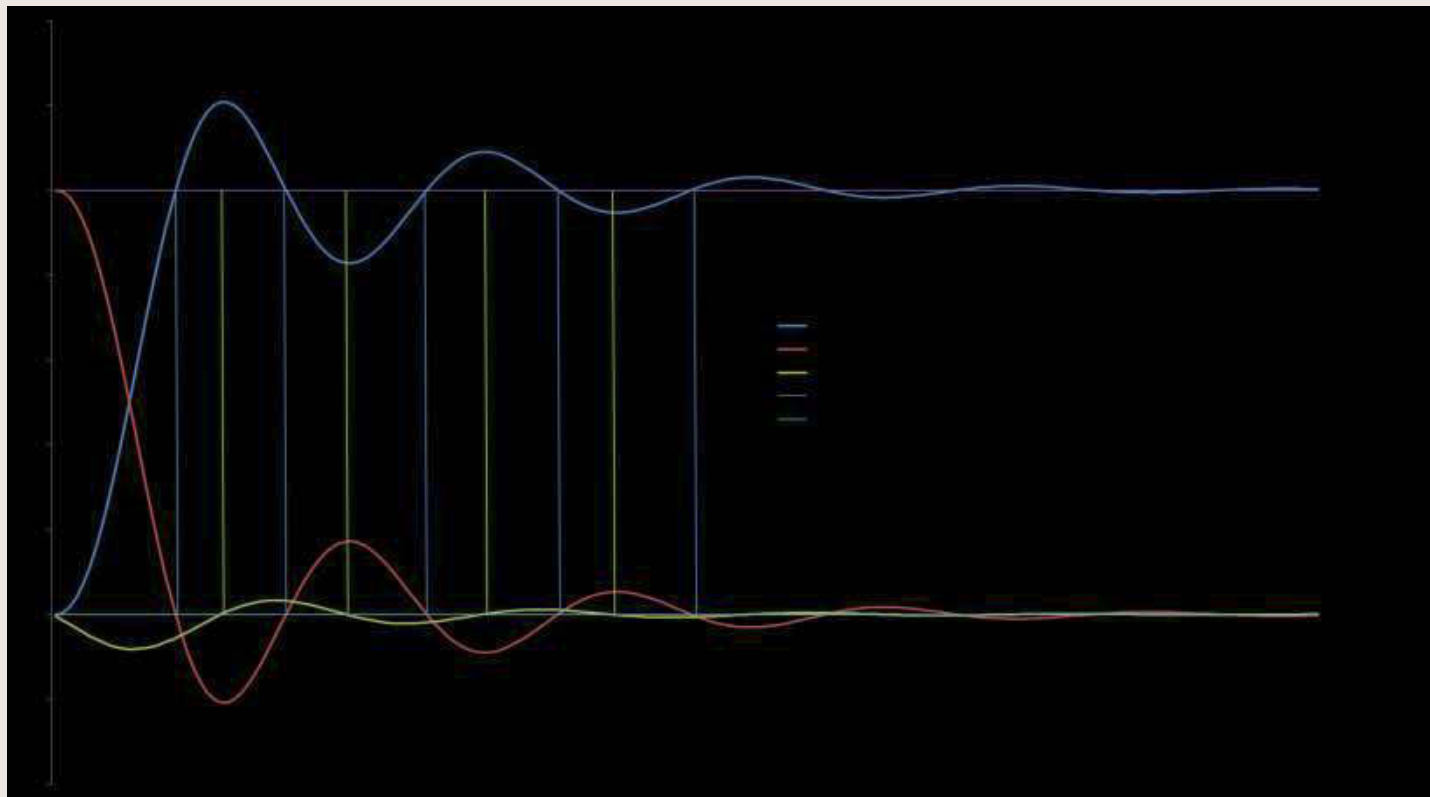
"-" = "No Change"- NEMEŇ aktuálny výstup

"C" = "Cool"- OCHLADZUJ výstupná odozva

Začiatok procesu

Ďalej sa definuje minimálny počet možných vstupných súčinov kombinácií a odpovedajúce výstupné záverečné odozvy, použitím týchto výrazov. Pre maticu 3x3 s výstupnými odozvami ZOHRIEVAJ a OCHLADZUJ je treba aby bolo definovaných všetkých 9 pravidiel. Závery pravidiel spolu s lingvistickými premennými, asociovanými s výstupnými odozvami pre každé pravidlo, sa prenesú do matice.

Čo bude riadené a ako:



Obrázok znázorňuje ako vyzerá povel a chybová odozva typického riadiaceho systému vzhľadom k nastavenej hodnote povelu ak je systém v stabilnom rozsahu.

Čo bude riadené a ako:

DEFINÍCIE:

VSTUP#1: ("Error", positive (P), zero (Z), negative (N))

VSTUP #2: ("Error-dot", positive (P), zero (Z), negative (N))

ZÁVER: ("Výstup", Heat (H), No Change (-), Cool (C))

VSTUP #1 Stav Systému

Error = Command-Spätná väzba

P=Príliš chladný, Z=Správny, N=Príliš horúci

VSTUP#2 Stav Systému

Error-dot = $d(\text{Error})/dt$

P=Ohrieva sa Z=Bez zmeny N=Chladne

VÝSTUP Záver & Odozva systému

Výstup

H = Požiadavka na ohrev - = Nič nemeň

C = Požiadavka na ochladzovanie

PREVÁDZKOVÉ PRAVIDLÁ SYSTÉMU

Lingvistické pravidlá, ktoré opisujú riadenie systému pozostávajú z dvoch častí:

blok predpokladov -“ predchodcov“ (medzi IF a THEN) a

blok záverov – “následníkov“ (nasleduje po THEN)

V závislosti od systému, nie je vždy nevyhnutné vyjadrovať všetky možné kombinácie (pre matice 5x5 a väčšie), pretože niektoré sa vyskytnú zriedkavo alebo vôbec. Po vykonaní tohto vyjadrenia (zvyčajne to vykonáva skúsený operátor) sa dajú niektoré pravidlá vyjadriť tak, že zjednodušia logiku spracovania čím sa môže zlepšiť aj celkové správanie FL.

Štruktúra pravidiel a matica pravidiel

Blok predpokladov (predchádzajúci stav)

Blok záverov
(nasledujúci stav)

1
2
3
4
5
6
7
8
9

IF Cmd-Temp=N AND d(Cmd-Temp)/dt=N
IF Cmd-Temp=Z AND d(Cmd-Temp)/dt=N
IF Cmd-Temp=P AND d(Cmd-Temp)/dt=N
IF Cmd-Temp=N AND d(Cmd-Temp)/dt=Z
IF Cmd-Temp=Z AND d(Cmd-Temp)/dt=Z
IF Cmd-Temp=P AND d(Cmd-Temp)/dt=Z
IF Cmd-Temp=N AND d(Cmd-Temp)/dt=P
IF Cmd-Temp=Z AND d(Cmd-Temp)/dt=P
IF Cmd-Temp=P AND d(Cmd-Temp)/dt=P

THEN Výstup=C
THEN Výstup=C
THEN Výstup=H
THEN Výstup=C
THEN Výstup=NC
THEN Výstup=H
THEN Výstup=C
THEN Výstup=H
THEN Výstup=H

Error-dot = d(Error)/dt

		Error = Cmd-Temp		
		N	Z	P
N	1	C	2 C	3 H
	4	C	5 NC	6 H
	7	C	8 H	9 H
Z				
P				

Čo bude riadené a ako:

Po prenose záverov z deviatich pravidiel do matice je evidentná symetria matice. To naznačuje (ale negarantuje) primerane dobré správanie (lineárne) systému. Táto implementácia sa môže javiť ako príliš zjednodušená pre niektoré problémy riadenia, avšak ilustruje proces. Ak si to odozva systému vyžaduje, môžu byť pridané ďalšie stupne chyby alebo časovej zmeny chyby. To vyvoláva nárast počtu pravidiel a zložitosti ale môže to viesť k nárastu kvality riadenia.

FUNKCIE PRÍSLUŠNOSTI

V predchádzajúcej časti bola ozrejmená matica pravidiel. Nasledujúca logická otázka je **ako platia pravidlá**. To vedie k nasledujúcej idei, funkcia príslušnosti. Funkcia príslušnosti je **grafickou reprezentáciou veľkosti príspevku každého vstupu**. Priraduje váhu každého vstupu, ktorý je spracovávaný, definuje funkčné prekrývanie medzi vstupmi a v konečnom dôsledku určuje výstupnú odozvu. V pravidlách sa využívajú hodnoty príslušnosti ako váhové koeficienty na to, aby sa určil ich vplyv na súbor fuzzy výstupov a vytvorenie finálneho záverečného výstupu. Len čo sú funkcie zavedené, škálované a vytvoria kombinácie, ďalej sú “defuzzyfikované“ do tzv. “crisp“ výstupov, podľa ktorých je systém riadený. Existujú odlišné funkcie príslušnosti, ktoré sú spojené s každým vstupom a výstupnou odozvou.

FUNKCIE PRÍSLUŠNOSTI

Niektoré vlastnosti:

TVAR – bežný je trojuholníkový ale používajú sa aj lichobežníkové, zvonové, exponenciálne a haversinové. Možné sú aj zložitejšie funkcie ale vyžadujú pre implementáciu väčšiu výpočtovú nadstavbu.

VÝŠKA alebo veľkosť (zvyčajne normovaná na hodnotu 1)

ŠÍRKA – základňa funkcie

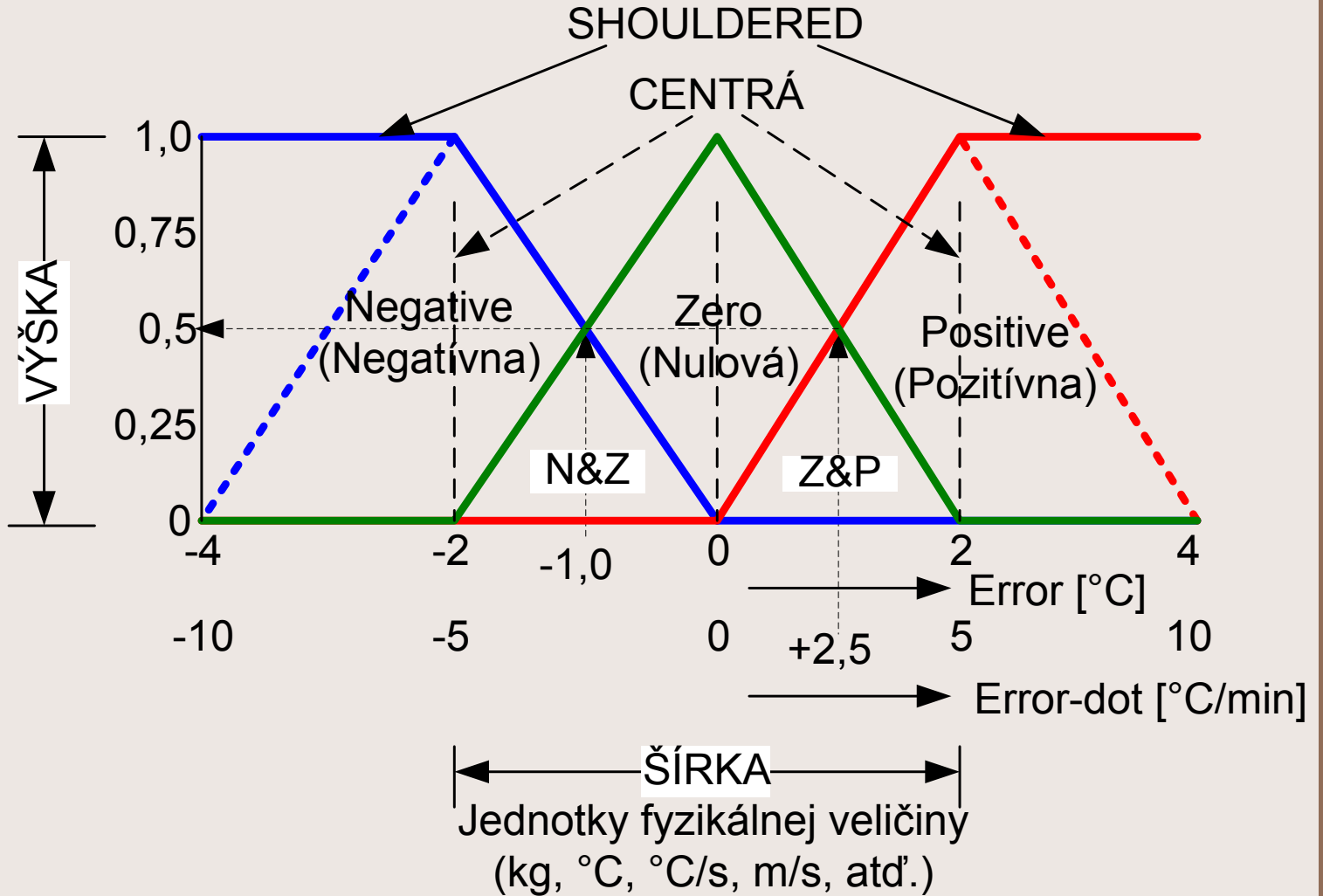
SHOULDERING – ohraničuje výšku na maximum ak je funkcia vonkajšia. “Shouldered“ funkcie sa vyjadrujú ako hodnoty 1,0 mimo ich stredu - centra,

CENTRÁ – body – stredy tvaru funkcie príslušnosti,

PREKRYTIE – N&Z, Z&P, typicky okolo 50% ale môže byť aj menej.

FUNKCIE PRÍSLUŠNOSTI

Stupeň príslušnosti
Typicky 0-1



ERROR A ERROR-DOT

Stupeň príslušnosti chyby “error“ $-1,0$ sa premieta do stredu, kde sa prekrývajú časti funkcií “negative“ a “zero“ tak, že výsledok je príslušnosť k “negative“ $= 0,5$ a príslušnosť k “zero“ $= 0,5$. Na aktuálnu výstupnú odozvu bude aplikované iba pravidlo, ktoré je asociované s “negative“ & “zero“. Tým sa zvolí iba ľavý a prostredný stĺpec matice pravidiel. Pre “error-dot“ napr. s hodnotou $+2,5$ sú indikované “zero“ a “positive“ príslušnosti $0,5$. Tým sa volí prostredný a spodný riadok matice pravidiel. Je zrejmé, že prekrývaním dvoch spomínaných oblastí matice pravidiel bude generovaný nenulový záverečný výstup z oblasti matice s rozmerom 2×2 , čo je ľavý dolný roh (pravidlá 4, 5, 7, 8). Ostatné majú nulovú váhu, pretože pravidlo používa logický súčin AND.

ERROR A ERROR-DOT

Pravidlá sa vyhodnocujú po prijatí dát na vstupe.

Vstupné dáta sú testované v bloku predpokladov-predchodcov (IF X AND Y). Blokmi následníkov (THEN Z) sú niektoré pravidlá vybavené iné nie. Závery sa kombinujú do tvaru logických súm. Tieto závery vstupujú do procesu posudzovania (inference), kde je stanovená významnosť každej funkcie príslušnosti na výstupnú odozvu (0 až 1).

ERROR A ERROR-DOT

Pravidlá sa vyhodnocujú po prijatí dát na vstupe.

Vstupné dáta sú testované v bloku predpokladov-predchodcov (IF X AND Y). Blokmi následníkov (THEN Z) sú niektoré pravidlá vybavené iné nie. Závery sa kombinujú do tvaru logických súm. Tieto závery vstupujú do procesu posudzovania (inference), kde je stanovená významnosť každej funkcie príslušnosti na výstupnú odozvu (0 až 1).

STUPEŇ PRÍSLUŠNOSTI NA VSTUPE

"error" = -1.0: "negative" = 0.5 a "zero" = 0.5

"error-dot" = +2.5: "zero" = 0.5 a "positive" = 0.5

BLOKY PREDCHODCOV A NÁSLEDNÍKOV

(e = error, er = error-dot alebo error-rate)

Teraz vzhľadom k predchádzajúcim pravidlám sa uplatnia váhové koeficienty z funkcií príslušnosti. "Error" vyberie pravidlá 1,2,4,5,7,8, kým "error-dot" vyberie pravidlá od 4 po 9. Vytvorí sa ich kombinácia prostredníctvom logického súčinu. Z deviatich pravidiel vyhovujú alebo majú nenulový výsledok iba 4 (pravidlá 4, 5, 7, 8). To vracia veľkosti výstupnej záverečnej odozvy iba "Cooling-C" a "No_Change-NC", ktoré musia byť posúdené, kombinované a defuzzyfikované, aby vytvorili aktuálny tzv. crisp výstup. V nasledujúcom zozname pravidiel sú aplikované nasledujúce pravidlá, pričom (e)=error, (er)=error-dot:

1. If $(e < 0)$ AND $(er < 0)$ then Cool $0.5 \& 0.0 = 0.0$
2. If $(e = 0)$ AND $(er < 0)$ then Cool $0.5 \& 0.0 = 0.0$
3. If $(e > 0)$ AND $(er < 0)$ then Heat $0.0 \& 0.0 = 0.0$
4. If $(e < 0)$ AND $(er = 0)$ then Cool $0.5 \& 0.5 = 0.5$
5. If $(e = 0)$ AND $(er = 0)$ then No_Chng $0.5 \& 0.5 = 0.5$
6. If $(e > 0)$ AND $(er = 0)$ then Heat $0.0 \& 0.5 = 0.0$
7. If $(e < 0)$ AND $(er > 0)$ then Cool $0.5 \& 0.5 = 0.5$
8. If $(e = 0)$ AND $(er > 0)$ then Heat $0.5 \& 0.5 = 0.5$
9. If $(e > 0)$ AND $(er > 0)$ then Heat $0.0 \& 0.5 = 0.0$

USUDZOVANIE – INFERENCE

V poslednom kroku príkladu bolo určené, že významnosť každého pravidla (4, 5, 7, 8) je 0,5 alebo 50%. Ostatné majú významnosť 0. Logické súčiny sa pre vytvorenie výstupu musia pred vstupom do defuzzyfikačného procesu posúdiť (max-min, priemer, odmocnina sumy štvorcov, atď.). Existuje niekoľko metód posudzovania.

MAX-MIN metóda testuje veľkosti každého z pravidiel a vyberá najväčšie z nich. Horizontálna súradnica “fuzzy centroidu“- fuzzy ťažisko oblasti pod funkciou sa považuje za výstup. Táto metóda nezohľadňuje vplyv všetkých aplikovateľných pravidiel ale vytvára spojitú výstupnú funkciu a je jednoduchá na implementáciu.

USUDZOVANIE – INFERENCE

Metóda MAX-DOT alebo MAX-PRODUCT škáluje každú funkciu príslušnosti tak, aby sa vybalancovala pod príslušnú špičkovú hodnotu a ako výstup považuje horizontálnu súradnicu “fuzzy centroidu“ kompozitnej oblasti pod funkciou(ami). V podstate sú funkcie príslušnosti modifikované tak, že ich špičkové hodnoty sa rovnajú veľkostiam im prislúchajúcim funkciám ("negative", "zero", a "positive"). Tato metóda zohľadňuje vplyv všetkých aktívnych pravidiel a vytvára hladký spojitý výstup.

Metóda spriemerňovania – AVERAGING je iným prístupom ale zlyháva ak má na výstupnú funkciu príslušnosti poskytnúť zvýšený počet vážení viacerých posudzovaných pravidiel. Napr. ak platia tri pravidlá “negatív“ ale iba jedno “zero“, spriemerňovanie nebude zohľadňovať tieto rozdiely, pretože oba priemery budú 0,5. Každá funkcia je obmedzená na priemer a vypočíta sa fuzzy centroid kompozitnej oblasti.

USUDZOVANIE – INFERENCE

Metóda odmocniny zo sumy štvorcov - ROOT-SUM-SQUARE (RSS) zohľadňuje vplyv všetkých aplikovateľných pravidiel, škáluje funkcie na ich prislúchajúce veľkosti a vypočítava “fuzzy centroid“ kompozitnej oblasti. Táto metóda je matematicky komplikovanejšia než iné metódy, ale bola vybraná pre tento príklad, lebo sa dá považovať, že najlepšie zohľadňuje vážený vplyv všetkých potenciálnych pravidiel.

DEFUZZYFIKÁCIA- NÁVRAT K ČÍSLAM

Metóda RSS bola zvolená preto, aby zohľadnila všetky príspevky pravidiel, pretože existuje niekoľko funkcií príslušnosti spojených so vstupmi a výstupmi. V tomto príklade "error" = -1,0 a "error-dot" = +2,5 vyberú z výstupnej funkcie príslušnosti oblasti "negative" a "zero". Váhy príslušných výstupných funkcií príslušnosti (rozsah 0 - 1) z možných pravidiel sú:

DEFUZZYFIKÁCIA- NÁVRAT K ČÍSLAM

$$\begin{aligned} \text{"negative"} &= \sqrt{P_1^2 + P_4^2 + P_7^2 + P_2^2} \quad (\text{Cooling}) = \\ &= \sqrt{0,0^2 + 0,5^2 + 0,5^2 + 0,0^2} = 0,707 \end{aligned}$$

$$\text{"zero"} = \sqrt{P_5^2} \quad (\text{No Change}) = \sqrt{0,5^2} = 0,500$$

$$\begin{aligned} \text{"positive"} &= \sqrt{P_8^2 + P_3^2 + P_6^2 + P_9^2} \quad (\text{Heating}) = \\ &= \sqrt{0,5^2 + 0,0^2 + 0,0^2 + 0,0^2} = \sqrt{0,5^2} = 0,500 \end{aligned}$$

ALGORITMUS "FUZZY CENTROID"

Defuzzyfikácia dát na ostrý – crisp výstup sa dosiahne zlúčením výsledkov procesu posudzovania a následným výpočtom “fuzzy centroidu“ – ťažiska oblasti. Vážené intenzity každej výstupnej funkcie príslušnosti sú vynásobené im odpovedajúcim centrom výstupnej funkcie príslušnosti a sú spočítané. Nakoniec je táto plocha vydelená sumou vážených intenzít funkcií príslušnosti. Výsledok je považovaný za ostrý – “crisp“ výstup. Je treba poznamenať , pretože centrum – stred “zero“ je v nule intenzita sa automaticky ráta v nule. Ak stred funkcie “zero“ vykazuje ofset – posunutie (čo je pravdepodobné v reálnych systémoch, kde pôsobenie ohrevu - “heating“ a ochladzovania – “cooling“ nie úplne rovnaké), potom by mal mať tento faktor vplyv.

ALGORITMUS "FUZZY CENTROID"

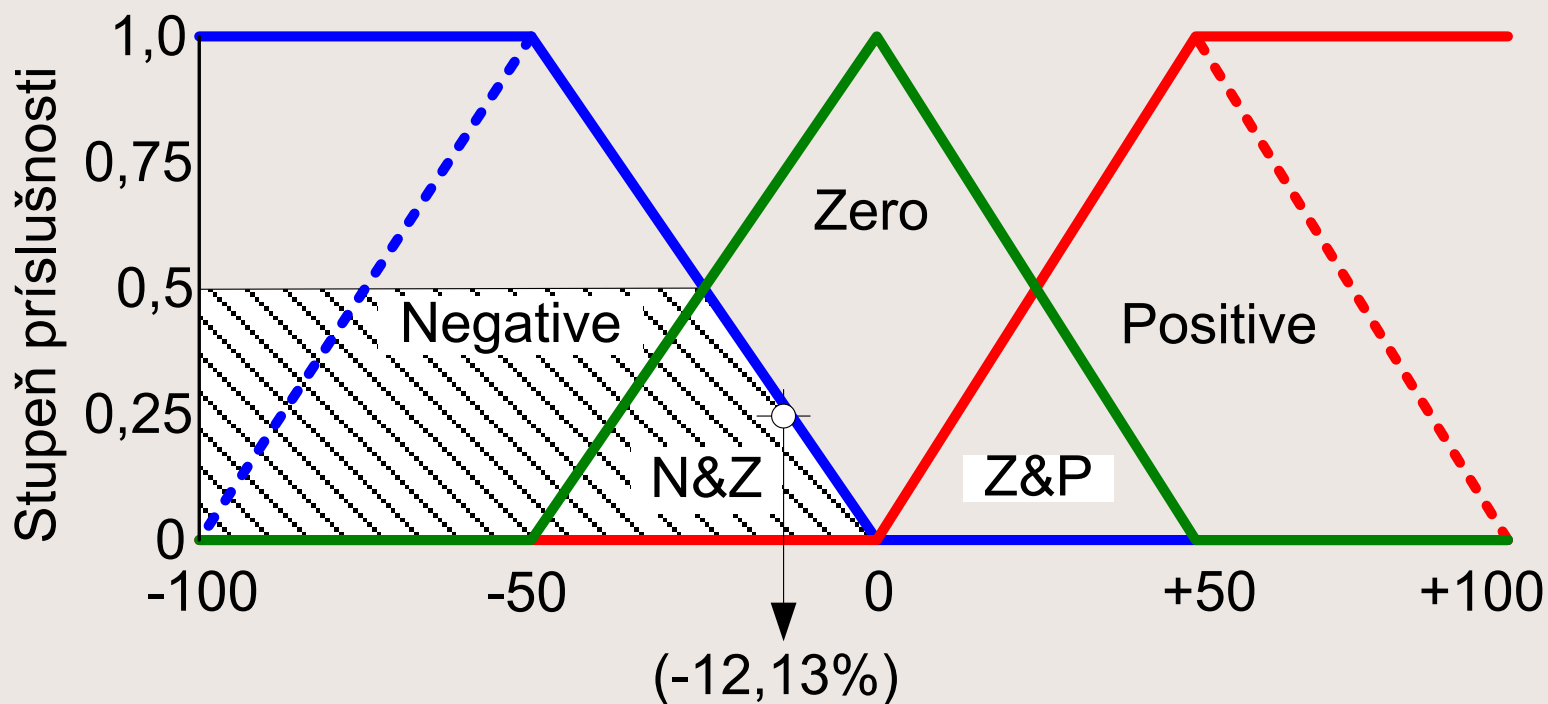
VÝSTUP =

$$\frac{\text{neg center} \times \text{neg intenz} + \text{zero center} \times \text{zero intenz} + \text{pos center} \times \text{pos intenz}}{\text{neg intenz} + \text{zero intenz} + \text{pos intenz}}$$

VÝSTUP =

$$\frac{-100 \times 0,707 + 0 \times 0,500 + 100 \times 0,500}{0,707 + 0,500 + 0,500} = -12,13\%$$

ALGORITMUS "FUZZY CENTROID" VÝSTUPNÉ FUNKCIE PRÍSLUŠNOSTI



Percentuálny výstup – (-100 až 0=Cooling, 0 až 100=Heating)

Horizontálna súradnica centroidu – ťažiska sa považuje za ostrý výstup

ALGORITMUS "FUZZY CENTROID"

Horizontálna súradnica centroidu – ťažiska plochy, vyznačenej v obr. sa považuje za normalizovaný ostrý – crisp výstup. Táto hodnota -63,4% (63,4% Cooling) sa javí ako logický, pretože čiastkové vstupné podmienky (Error=-1, Error-dot=+2.5) indikuje, že spätná väzba prekročila povel – Cmd a ďalej narastá preto je ochladzovanie predpokladaná a požadovaná odozva systému.

LADENIE A ROZŠIROVANIE SYSTÉMU

Ladenie systému sa dá dosiahnuť zmenou pravidiel predpokladov alebo záverov, zmenou stredov vstupných ako aj výstupných funkcií príslušnosti alebo pridaním ďalších stupňov vstupných ako aj výstupných funkcií ako “low“, “medium“ a “high“ úroveň chyby -“error“, chyby s bodkou - “error-dot“ a výstupnej odozvy. Tieto nové úrovne spôsobia generovanie ďalších pravidiel a funkcií príslušnosti, ktorých prekrytie so susednými funkciami vytvára dlhšie “horstvá“ funkcií a odoziev. Technika takejto systematickej činnosti je témou samou o sebe.

Hydrodynamický menič momentov

Hydrodynamický menič momentov je vlastne prídavnou prúdovou prevodovkou automatickej prevodovky. Je vstupným prvkom automatickej prevodovky. Princíp momentového meniča bol prvýkrát využitý Hermannom Föttingerom pri stavbe lodí. Preto tiež býva hydrodynamický menič momentov označovaný ako Föttingerov. Princíp meniča:

Čerpadlo nasáva kvapalinu – v našom prípade špeciálny prevodový olej ATF – urýchľuje ju a predáva ju ďalej na turbínové koleso. Kinetická energia kvapaliny je tak premenená na mechanický otáčavý pohyb.

Olej pre automatické prevodovky = ATF (Automatic Transmission Fluid)

Olej v automatických prevodovkách musí splňovať najrôznejšie požiadavky.

- prenášať sily (v momentovom meniči)
- vykonávať radenie (v hydraulických radiacích členoch)
- vytvárať trenie (v lamelových spojkách a brzdách premostovacej spojke)
- zaisťovať mazanie (všetkých rotujúcich častí prevodovky)
- odvádzať teplo
- dopravovať častice vznikajúce oterom.

Tieto úlohy musí olej plniť v teplotnom rozsahu od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Teplota meraná v olejovej vani prevodovky.)

Na lamelách spojok a brzd môže dokonca teplota pri radení krátkodobo dosiahnuť hodnoty $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Momentový menič tvoria tri základné súčasti:

– **čerpacové koleso**

(je zároveň skriňou momentového meniča)

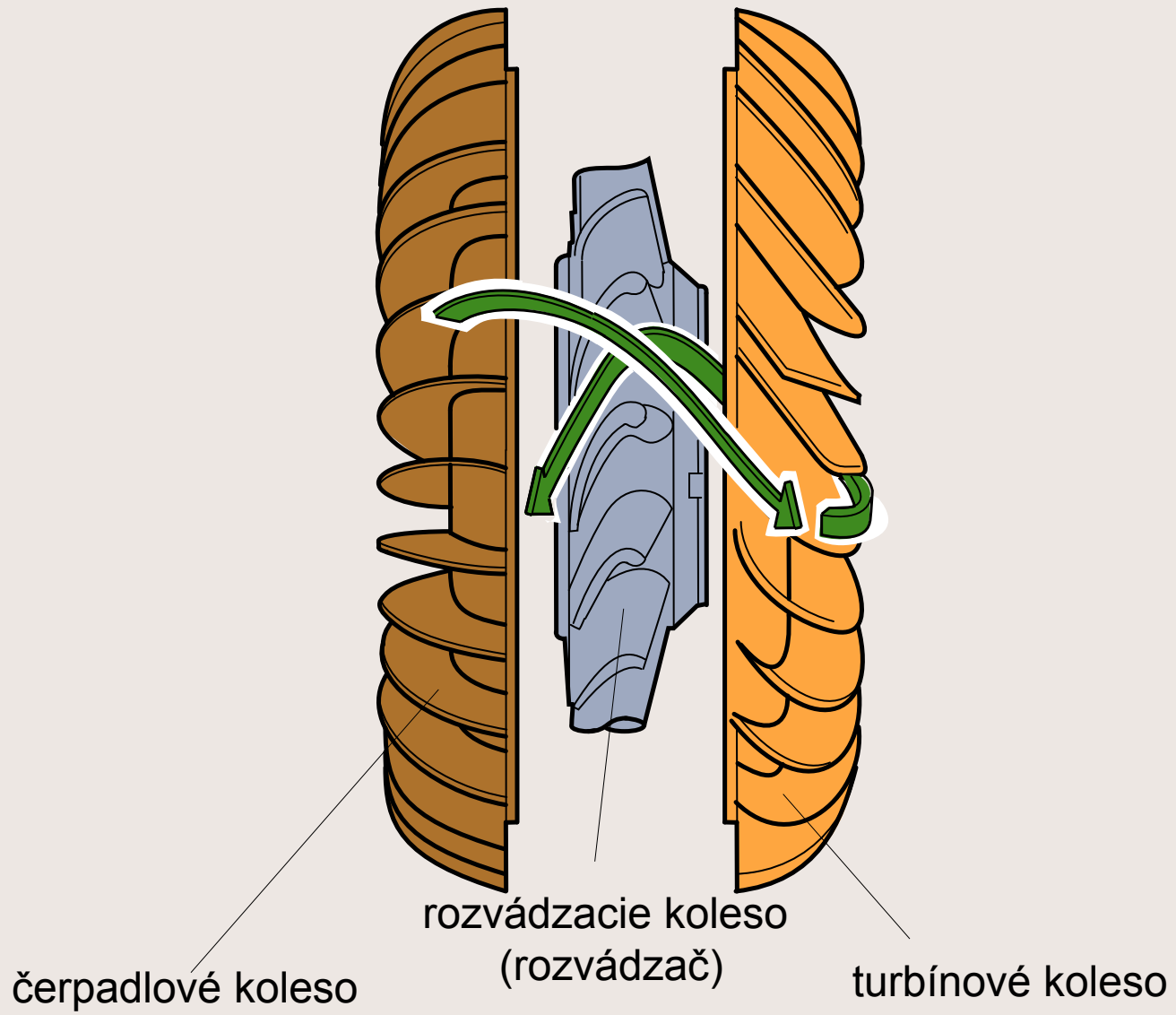
– **turbínové koleso**

(poháňa turbínový hriadeľ, a tým aj prevodovku)

– **rozdávacie koleso**

(pomocou voľnobežnej spojky spojené so skriňou prevodovky, môže sa otáčať len v rovnakom smere ako čerpacové a turbínové koleso)

Je plnený špeciálnym prevodovým olejom ATF a je pod tlakom.



Vstupný moment a výkon na čerpadlovom kolese sa dajú vyjadriť:

$$M_{\check{c}} = \lambda \cdot \rho \cdot D^5 \cdot \omega_{\check{c}}^2, \quad P_{\check{c}} = \lambda \cdot \rho \cdot D^5 \cdot \omega_{\check{c}}^3,$$

kde jednotlivé symboly predstavujú

λ ukazovateľ akosti,

ρ hustota média ($\approx 870 \text{ kg/m}^3$ pre ATF)

D priemer [m]

$\omega_{\check{c}}$ uhlová rýchlosť čerpadlového koleša.

Konverzný pomer momentu je daný

$$\mu = -M_T / M_{\check{c}}.$$

Faktor ν je definovaný ako pomer rýchlosti turbínového kolesa a čerpadlového kolesa. Má rozhodujúci vplyv na ukazovateľ akosti λ aj konverzný pomer μ

$$\nu = \omega_T / \omega_{\check{c}}$$

Sklz $s = 1 - \nu$ a konverzný pomer μ spolu určujú hydraulickú účinnosť:

$$\eta_{hyd} = \mu \cdot (1 - s) = \mu \cdot \nu$$

Maximálne zvýšenie momentu sa dosahuje pre

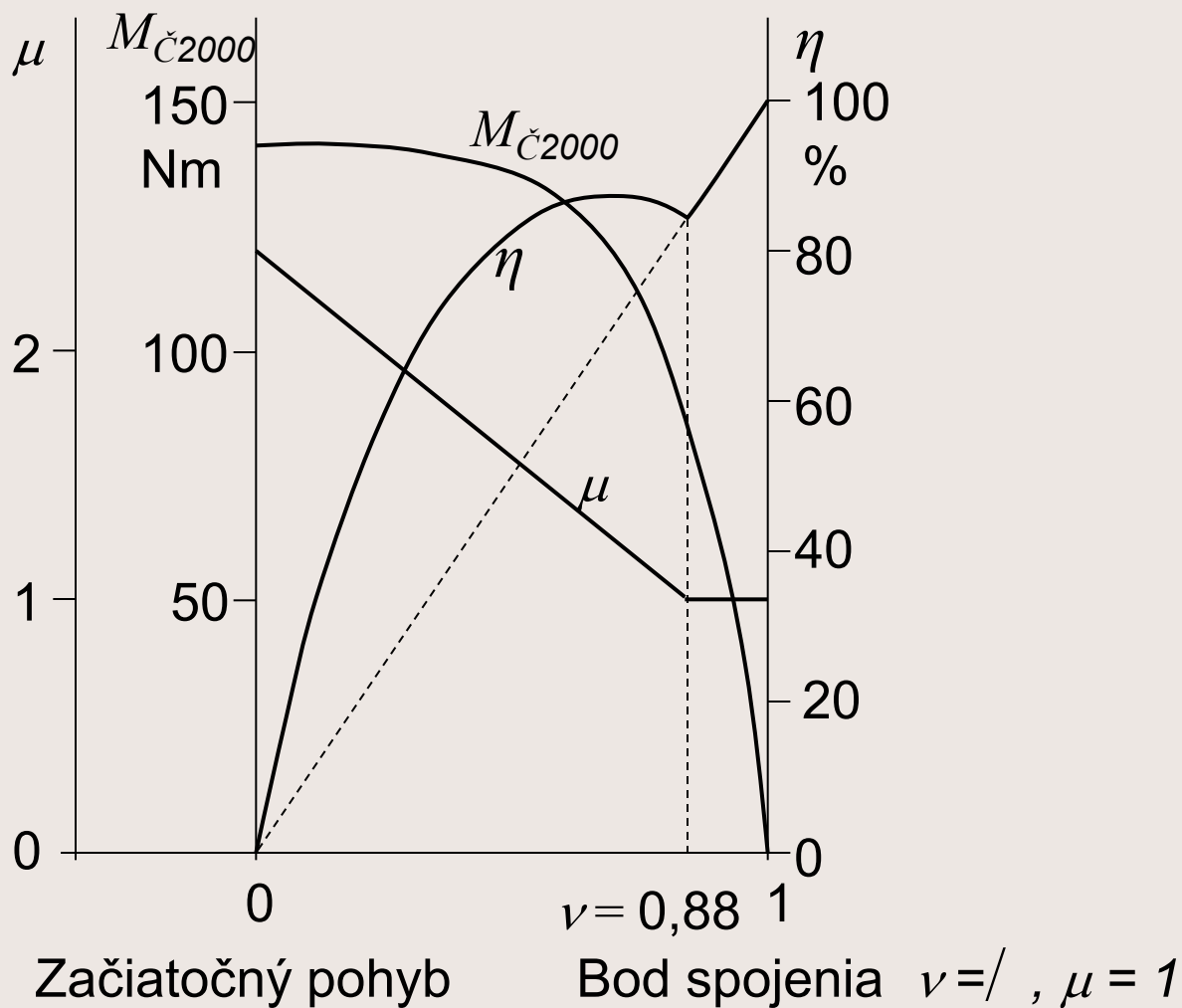
$$\nu = 0,$$

t.j. ak turbínové koleso stojí.

Typické priebehy spomínaných veličín v závislosti od ν sú na [obr.](#)

Typické závislosti veličín pre osobné vozidlo

$$M_{\check{c}2000} = M_{\check{c}} \text{ pri } n = 2000n^{-1}$$



Od motora vozidla je priamo poháňané čerpadlové koleso (je tvorené skriňou) otáčkami zhodnými s motorom. Vplyvom odstredivej sily je olej tlačенý lopatkami čerpadlového kolesa smerom von. Lopatky turbínového kolesa preberajú kinetickú energiu kvapaliny a turbínové koleso sa roztočí. Dochádza k premene kinetickej energie kvapaliny na otáčavý pohyb. Prúd oleja preteká lopatkami rozvádzacieho kolesa v blízkosti osi meniča usporiadane naspät' k čerpadlovému kolesu. Tým je vnútorný obeh oleja v meniči uzavretý ([obr.](#)).

Zmena krútiaceho momentu

Vo fáze zmeny vykonáva momentový menič znižovanie otáčok so súčasným zvyšovaním krútiaceho momentu. V okamihu rozjazdu sa najskôr roztočí čerpadlové koleso a turbínové koleso ešte stojí. Rozdiel v otáčkach – označovaný ako sklz – má hodnotu 100 %. Sklz sa znižuje úmerne množstvu predanej kinetickej energie kvapaliny, ktorú predá olej turbínovému kolesu. Otáčky čerpadlového a turbínového kolesa sa vyrovnávajú.

Sklz je pre činnosť meniča pri zmenách krútiaceho momentu nevyhnutným kritériom. Ak je sklz veľký, tak isto je veľký nárast krútiaceho momentu. T. zn., ak je rozdiel medzi otáčkami čerpadlového a turbínového kolesa značný, dochádza k zmene prúdu oleja cez rozvádzač. Rozvádzač tak spôsobí vo fáze zmeny zväčšenie krútiaceho momentu.

Pritom sa opiera o vol'nobežnú spojku na skrini prevodovky.

Pri malom sklze, čiže ak sa otáča čerpadlové a turbínové koleso približne rovnakými otáčkami nespôsobuje rozvádzacie koleso zvyšovanie krútiaceho momentu.

Rozvádzač sa otáča rovnakým smerom ako čerpadlové a turbínové koleso. Prakticky tým nedochádza k žiadnym stratám účinnosti.

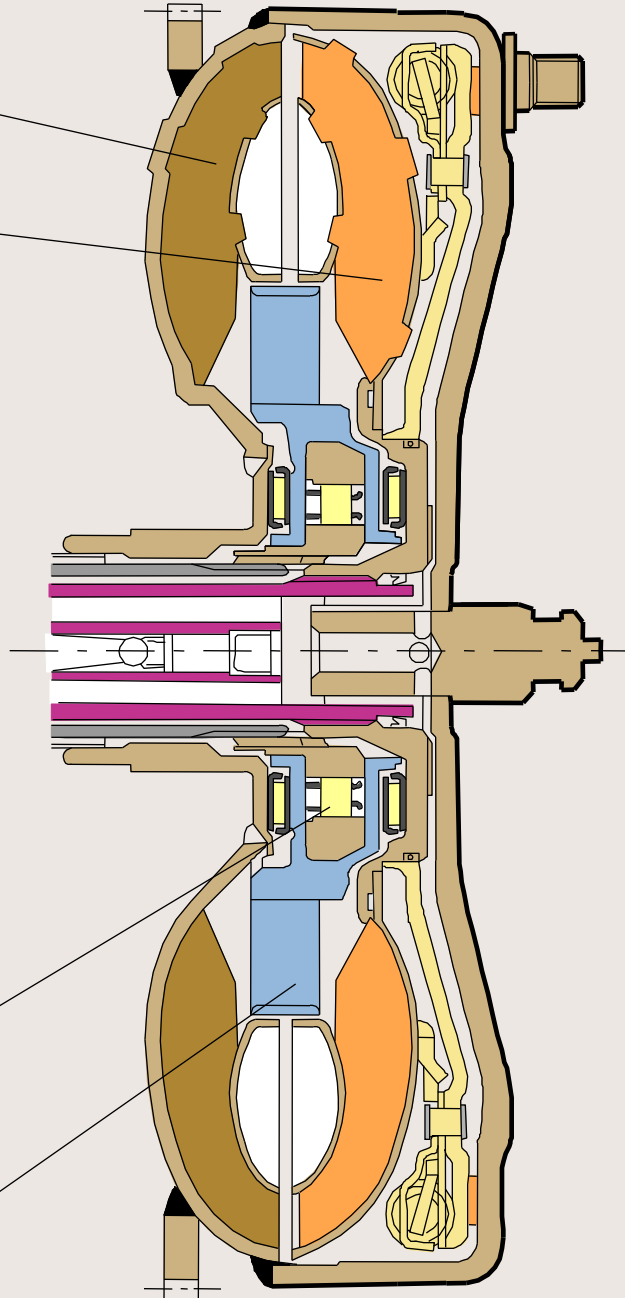
Menič momentu teda pracuje v rozsahu sklzu ako hydraulická spojka s premenlivým prevodom (obr.).

čerpádkové koleso

turbínové koleso

voľnobežná spojka

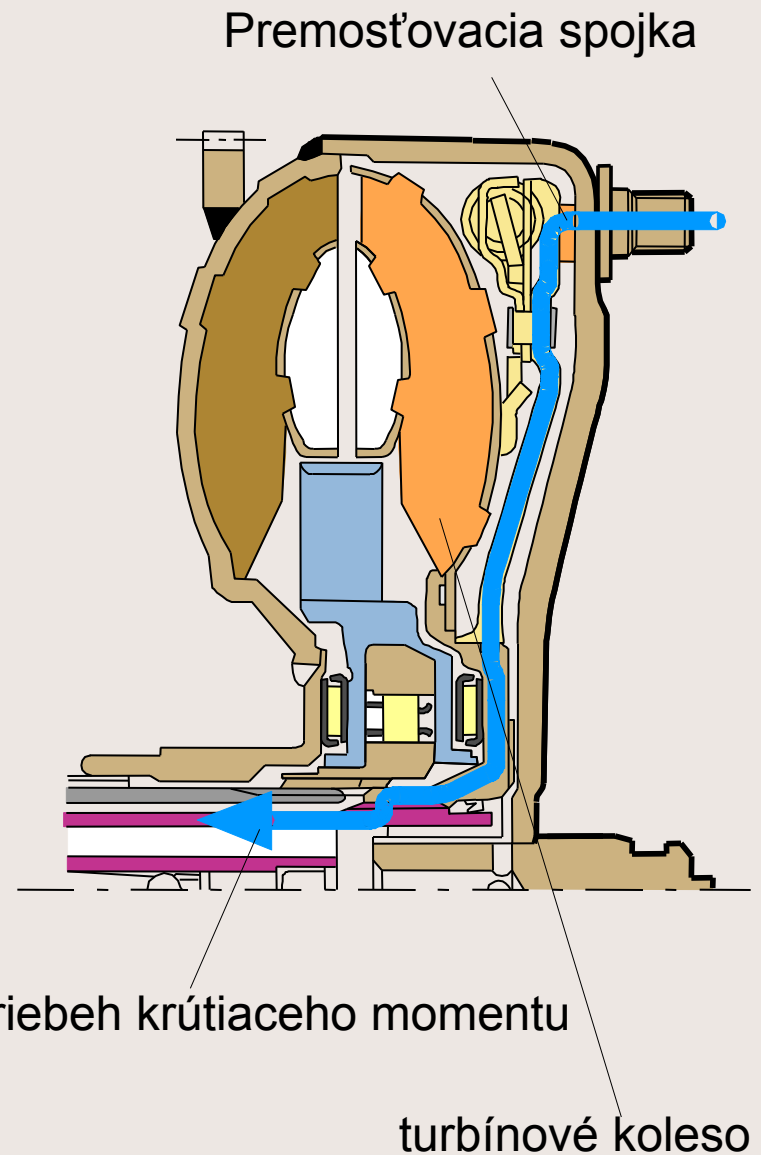
rozdávacie koleso
(rozdávzač)



Ak je dosiahnutá fáza spojky, čiže ak je pomer krútiacich momentov 1:1, pracuje momentový menič s pomerne vysokými stratami. Účinnosť sa pohybuje spravidla okolo 85 %, pri vysokých otáčkach až 97 %.

Dvoj až trojpercentný sklz je pre prenos síl vždy potrebný, lebo inak by sa prenos síl zastavil.

Preto sú moderné prevodovky vybavené premost'ovacou spojkou. Má kruhové trecie obloženie a o jej aktivovaní rozhoduje riadiaca jednotka prevodovky (úspora paliva 2 až 8 %).



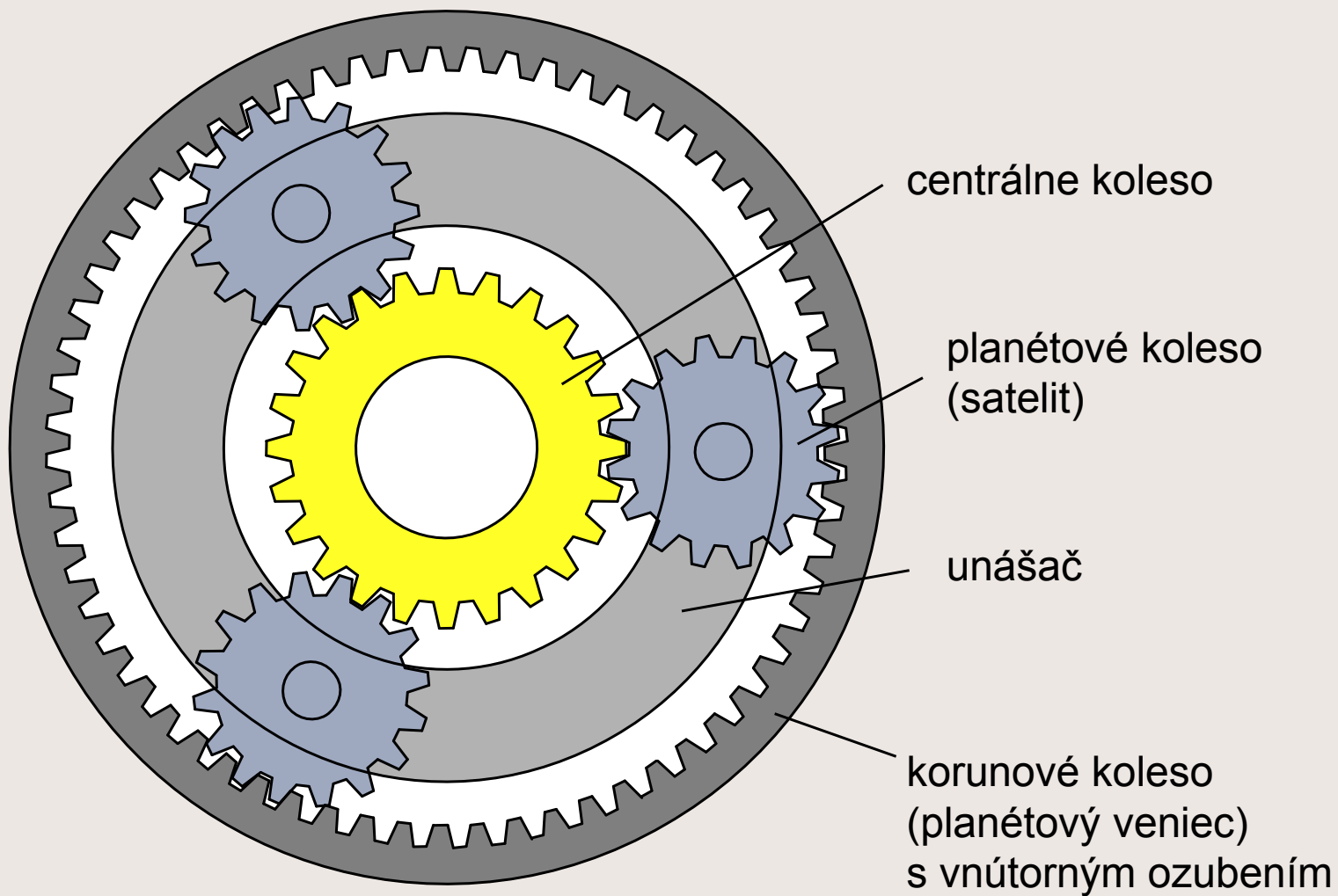
Planétový prevod

Pre automatické prevodovky sú vhodné také prevody, pomocou ktorých je možné vykonávať radenie bez prerušenia prenosu síl. Tak je to práve pri planétových prevodoch. Stali sa preto východnou konštrukčnou základňou takmer pre všetky automatické prevodovky.

Planétový prevod sa skladá z dvoch až štyroch planétových súkolí. Súkolia sú medzi sebou spojené pevne alebo pomocou spojok. Činnosť sa dá ľahko vysvetliť na jednoduchom planétovom súkolí.

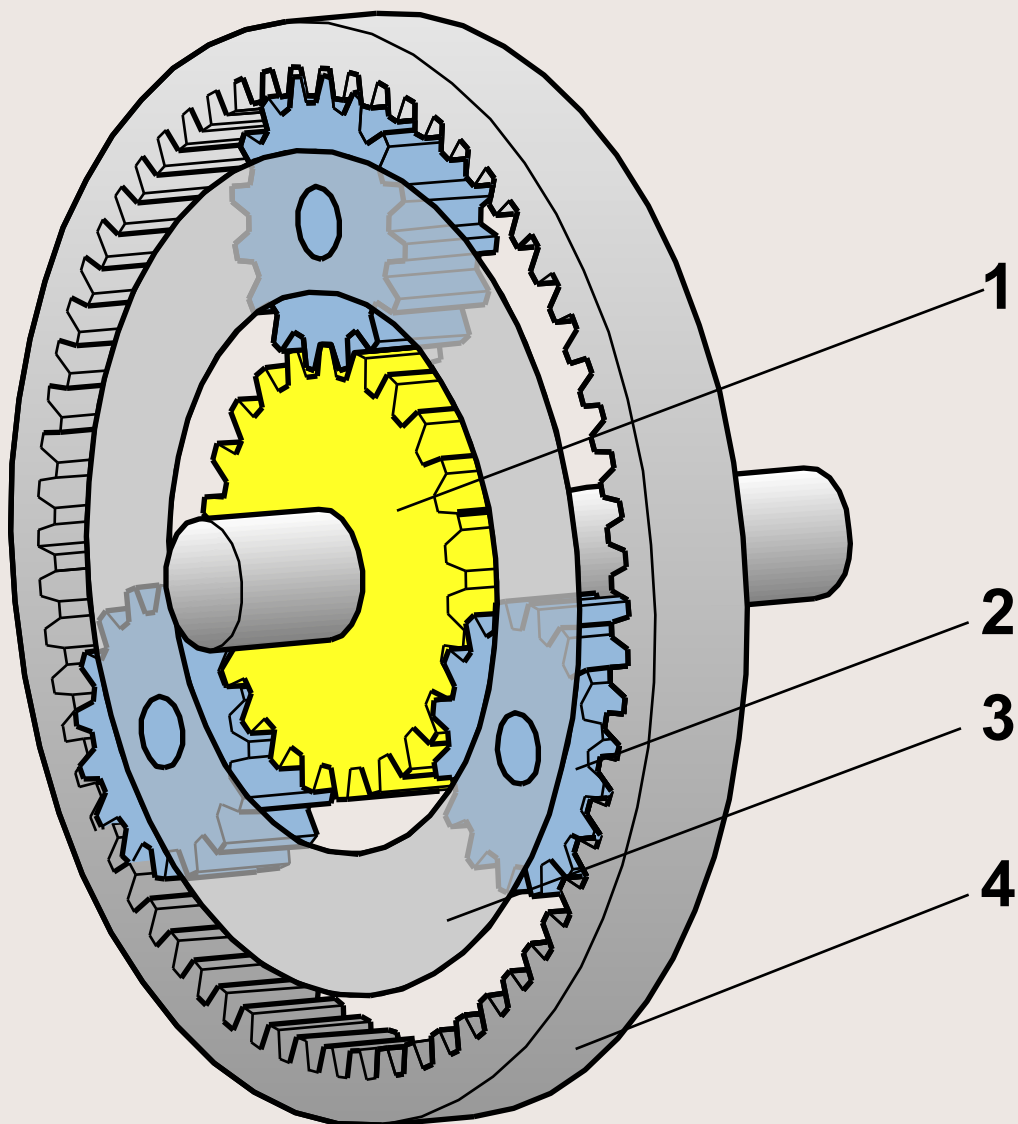
Planétové súkolie tvorí:

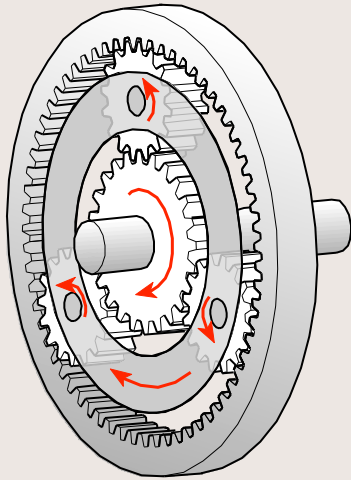
- jedno centrálné koleso – 1
- niekoľko (3 až 6) planétových kolies (satelity) – 2
- unášač – 3
- korunové koleso (planétový veniec) s vnútorným ozubením – 4



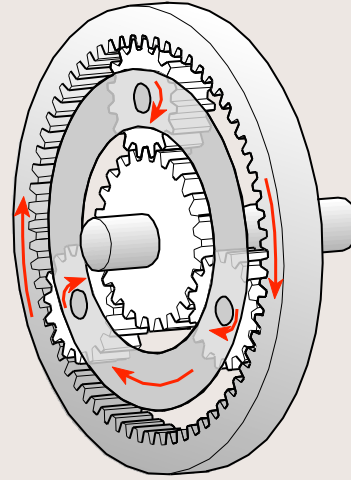
Vo vnútri prevodu sa okolo hlavnej osi otáča centrálne koleso – 1. Do ozubenia centrálneho kolesa zapadajú planétové kolesa (satelity) – 2. Satelity sa môžu otáčať okolo vlastnej osi aj okolo centrálneho kolesa. Satelity sú svojimi čapmi spojené s unášačom – 3. Unášač preberá obežný pohyb satelitov okolo centrálneho kolesa a tým samozrejme okolo hlavnej osi. Korunové koleso – 4 zaberá svojim ozubením so satelitmi a uzatvára celkovo planétové súkolie. Hlavná os je osou otáčania tak aj pre korunové koleso. Korunové koleso, unášač a centrálne koleso majú hlavnú väzbu k jedinému hriadelu.

Pomocou planétového súkolia sa dajú dosiahnuť ako veľké, tak aj malé prevody do pomala, prípadne do rýchla. Ak sa zastaví (spojí sa s rámom) jeden člen súkolia, prevezmú ostatné dva pohon a výstup. Ak sa zastaví unášač, dôjde k zmene smeru otáčania. Ak sa zablokujú dva členy vznikne prevod 1:1.

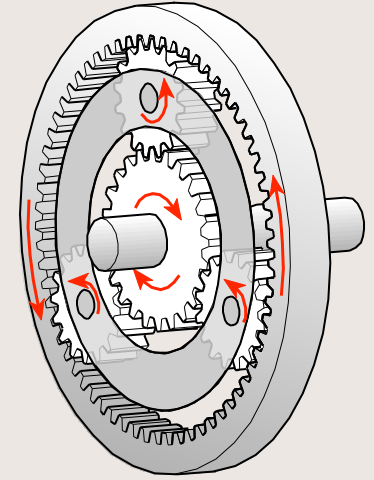




- korunové koleso zastavené
- pohon od centrálného kolesa
- = veľký prevod do pomala



- centrálné koleso zastavené
- pohon od korunového kolesa
- = malý prevod do pomala



- unášač zastavený
- pohon od centrálného kolesa
- = zmena smeru otáčania

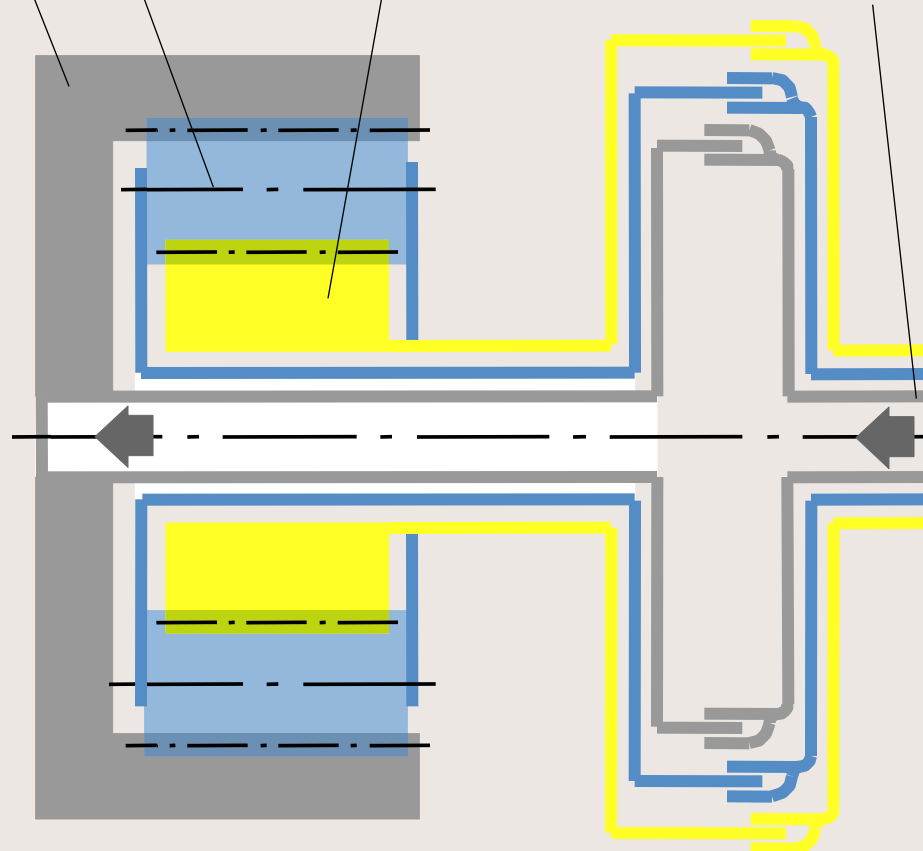
- Súčasti planétového súkolia musia byť z vonku brzdené alebo poháňané. Aby sa to mohlo uskutočniť, musia byť hriadele uvažovaných súčastí vyvedené von (zo skrine) a spojené s protihriadel'mi. Konštrukčne je to vyriešené do seba zapadajúcimi hriadel'mi = koaxiálne (súosé) hriadele. Hriadele majú zvonku zvonovitý tvar a sú podľa ovládania spojované silovým stykom s analogicky tvarovaným protihriadel'om.
- Príruby spojky sú vybavené spojkami a brzdami.
- Pri brzdení sa brzdy opierajú o skriňu prevodovky.

korunové koleso

satelity na unášači

centrálne koleso

hriadeľ turbínového kolesa

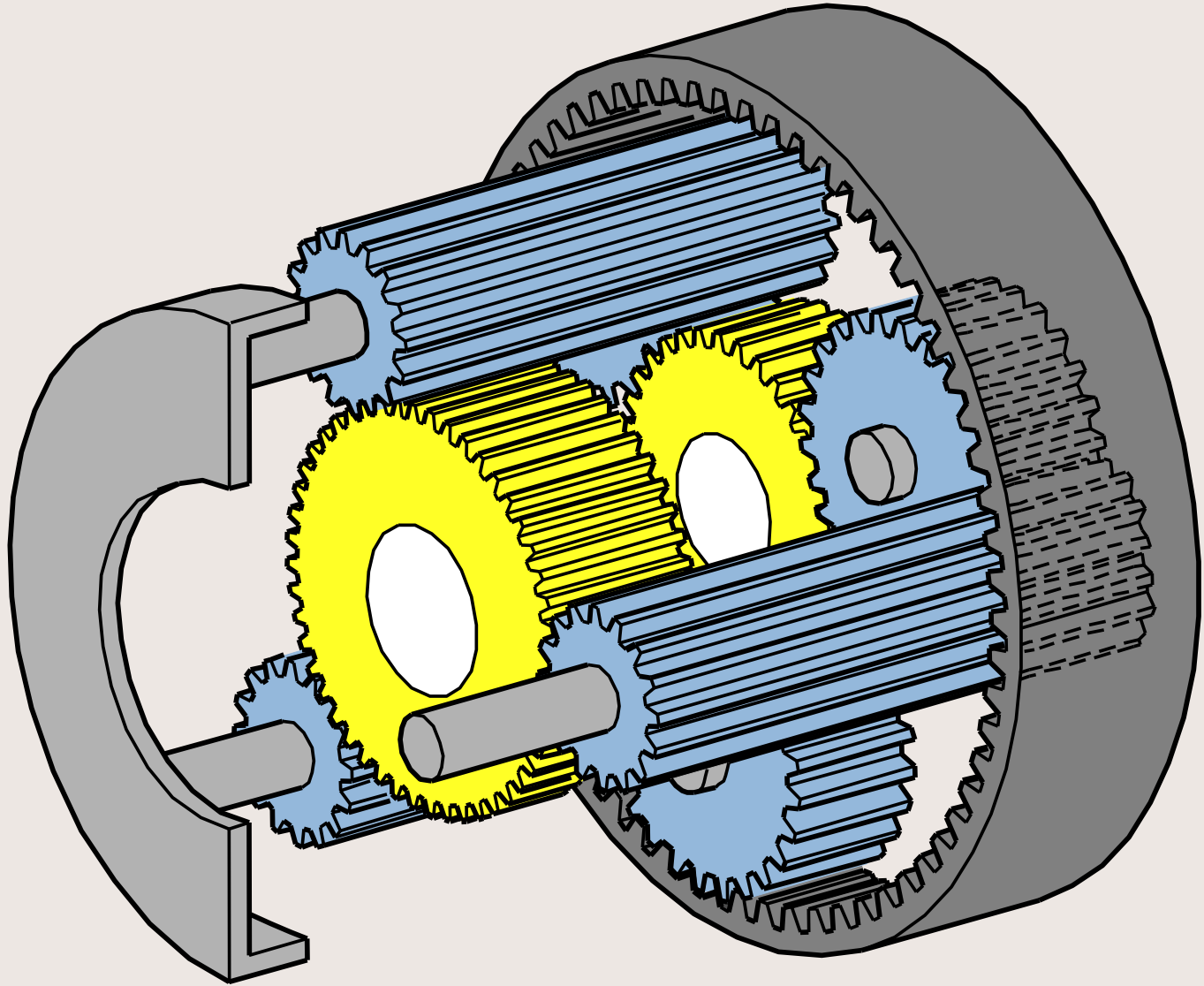


V planétových prevodovkách vozidiel sa používajú viacstupňové planétové prevody, ktoré sa vytvárajú radením prevodov za sebou. Pomocou tejto kombinácie sa potom dá zostaviť požadované odstupňovanie prevodov.

Rozdielne kombinácie a štandardné technické usporiadanie sú označované menami svojich objaviteľov.

- Wilsonov prevod
- Simpsonov prevod
- Ravigneauxov prevod-[*Raviňov*] Unášač nesie dve sady satelitov:
 - krátke satelity s veľkým priemerom sú v zábere s malým centrálnym kolesom
 - dlhé satelity s malým priemerom sú v zábere s veľkým centrálnym kolesom a krátkymi satelitmi

Ravigneauxov prevod má len jedno korunové koleso, ktoré obopína krátke satelity. Korunové koleso je vždy výstupným členom. Týmto prevodom sa dajú dosiahnuť štyri rýchlosti vpred a jedna spätná rýchlosť. Vďaka svojej kompaktnej konštrukcii je tento prevod vhodný najmä pre vozidlá s pohonom prednej nápravy .



Radiace prvky

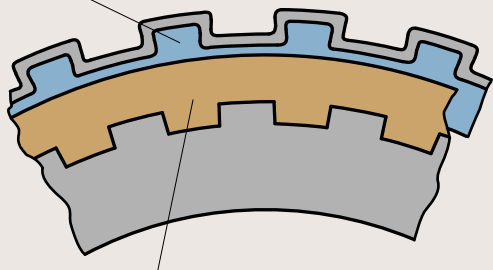
Lamelové spojky

Každý rýchlostný stupeň má aspoň jeden radiaci člen, ktorý vytvára silový styk pomocou trenia. Lamelové spojky sa používajú na prenos sily z turbínového hriadeľa na planétové súkolie. Spojka má vnútorné a vonkajšie lamely. Oboje lamely do seba hrebeňovito zapadajú a sú spojené s otáčajúcimi sa dielmi. Ak je spojka rozpojená, sú medzi lamelami medzery, ktoré sú vyplnené olejom. Lamely sa môžu voľne otáčať. Sústava lamiel je stláčaná hydraulickým piestom. Piest sa otáča spolu s olejovou náplňou, ktorá naňho pôsobí zozadu. Olej sa preto privádza dutým hriadelom. Uvoľnenie lamiel spojky po jej vypnutí zaisťujú pružiny (tlačné alebo tiež tanierové).

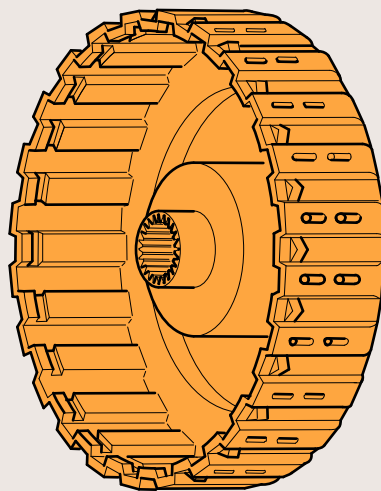
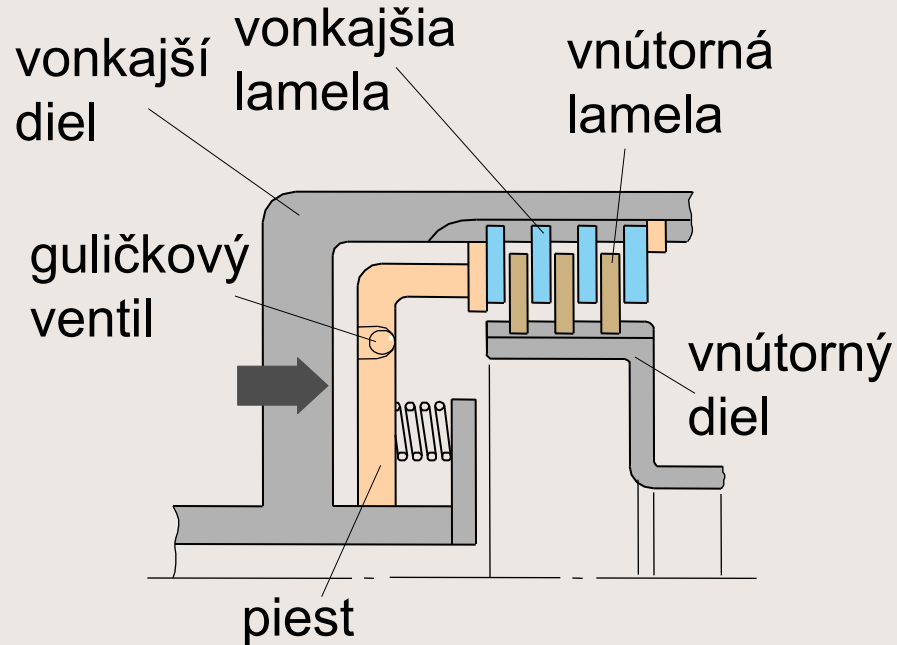
Guličkové ventily (čiastočne v pieste, čiastočne v prírube spojky) zaisťujú rýchle zníženie tlaku a odtok oleja po rozpojení spojky. Nosiče lamiel vedú na svojom vnútornom a vonkajšom obvode lamely pomocou drážok. Je tým vytvorený tvarový styk. Vonkajšie lamely sú kovové. Vnútorne lamely sú z pevného plastu. Tvorí zároveň trecie obloženie. Nosná časť je z celulózy. Pevnosť pri vysokých teplotách sa dosahuje prímiesami, odolných plastových vlákien z aramidu.

Na ovplyvňovanie koeficienta trenia sa pridávajú minerálne látky. Ako spojivo slúžia fenolová živica. Počet lamiel závisí od prevedenia prevodovky. Vôľa medzi lamelami je pre činnosť automatického radenia veľmi dôležitá a je predpísaná konštrukciou. Pri montáži je špeciálne nastavovaná.

vonkajšia lamela
spojená s vonkajším dielom



vnútorná lamela
spojená s vnútorným dielom



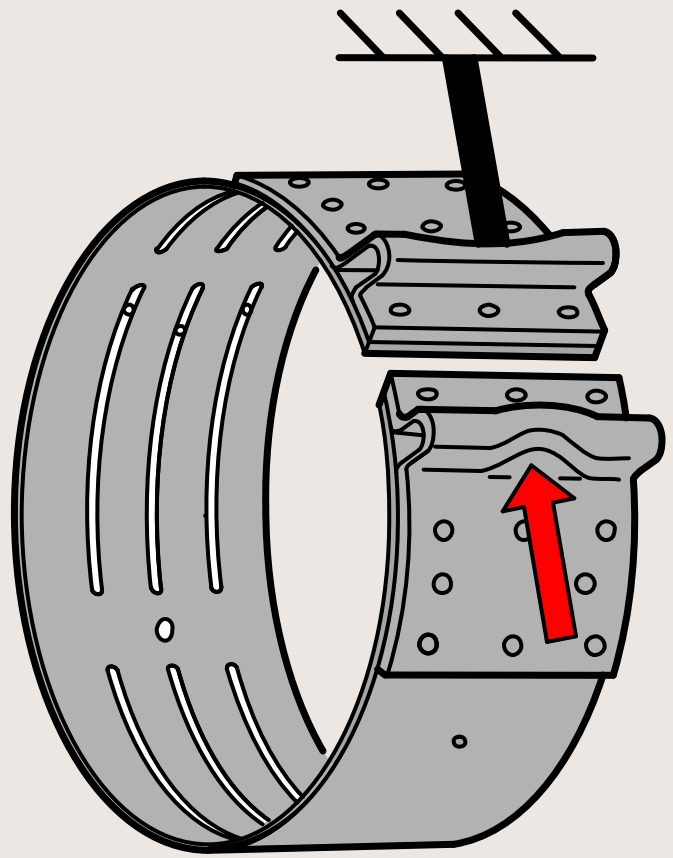
nosič lamiel (príruba spojky) slúži na vedenie vonkajších lamiel

Lamelové brzdy

Lamelové brzdy sa používajú na zastavovanie členov planétového súkolia. Podobajú sa na lamelové spojky. Majú tiež vnútorné a vonkajšie lamely. Tiež aj tu sú vnútorné lamely spojené drážkovaním s rotačným dielom, pokým vonkajšie lamely sú pevne usadené v skrini prevodovky. Pri brzdení stláča hydraulický valec sústavu lamiel k sebe. Na rozdiel od lamelovej spojky sa tu hydraulický piest neotáča. Tiež pri lamelovej brzde má pre bezchybnú funkciu veľký význam správne nastavenie vôle medzi lamelami.

Ďalšou konštrukčnou možnosťou, ako zastaviť nejaký člen planétového súkolia, je pásová brzda.

Nevýhodou pásových brzd je pôsobenie veľkých radiálnych síl na skriňu prevodovky.



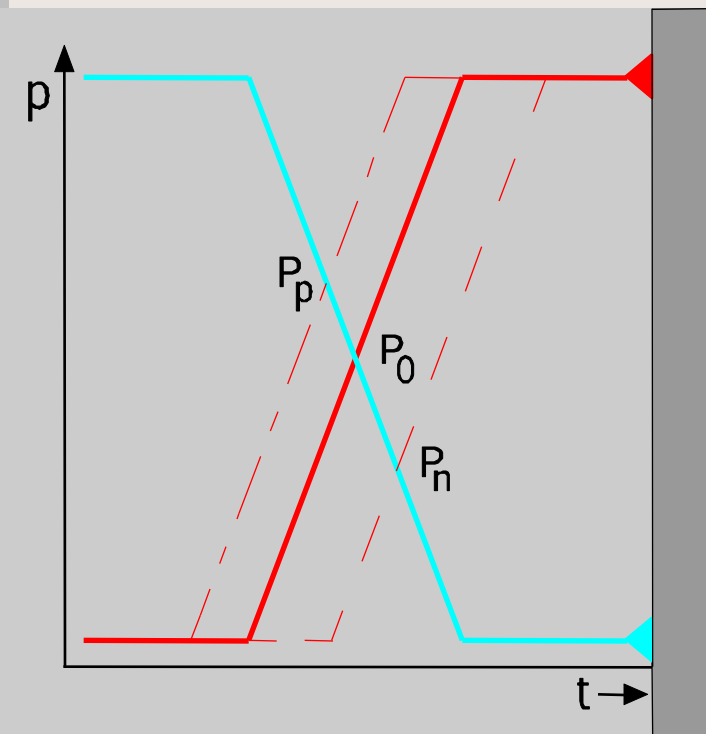
Prekrývanie

Pri elektrohydraulickej zmene rýchlostného stupňa sa jeden radiaci člen otvára, druhý zatvára. Tento proces prebehne za zlomok sekundy. Počas tohto procesu klesá prenášaný krútiaci moment otváraného radiaceho člena, kým v zatváranom stúpa. Nový rýchlostný stupeň zaberá, akonáhle je krútiaci moment zapojovaného radiaceho člena väčší, ako odpojovaného. Tento jav sa označuje ako prekrývanie.

Pri tzv. nulovom prekrytí preberá zapojovaný člen práve taký veľký krútiaci moment, aký odpojovaný člen odovzdáva. Celkový moment zostáva rovnaký. Riadenie prekrývania sa vykonáva hydraulickým obvodom, ktorý je regulovaný radiacou jednotkou automatickej prevodovky. Pripojovaný člen prevezme plný pracovný tlak.

Okrem nulového prekrytia existuje ešte prekrytie negatívne a pozitívne.

S výhodou sa dajú použiť v určitých prevádzkových stavoch.



p = tlak

t = čas

— = priebeh tlaku odpojovaného člena pri nulovom prekrytí

— = priebeh tlaku pripojovaného člena pri nulovom prekrytí

- - - = negatívne prekrytie

- - - = pozitívne prekrytie

P_0 = bod nulového prekrytia

P_p = bod pozitívneho prekrytia

P_n = bod negatívneho prekrytia

Negatívne prekrytie

Pripojovaný radiaci člen zaberá neskôr.

T.zn. v priebehu radenia smerom hore pri ťahu, (radenie dolu pri brzdení) sa tlak prvého radiaceho člena znižuje skôr

alebo

v priebehu radenia smerom dolu pri ťahu, (radenie hore pri decelerácii) tlak pripojovaného člena narastá neskôr.

Pri ťahu motora dôjde oddelením odpojovaného člena k zvýšeniu otáčok.

Pri decelerácii otáčky motora poklesnú.

Pozitívne prekrytie

Pripojovaný radiaci člen zaberá skôr.

T.zn. v priebehu radenia smerom hore pri ťahu, (radení dolu pri brzdení) sa tlak prvého radiaceho člena znižuje neskôr

alebo

v priebehu radenia smerom dolu pri ťahu, (radenie hore pri decelerácii) tlak pripojovaného člena rastie skôr.

Dôjde krátkodobo k zablokovaniu prevodovky, a tým k prudkému poklesu momentu.

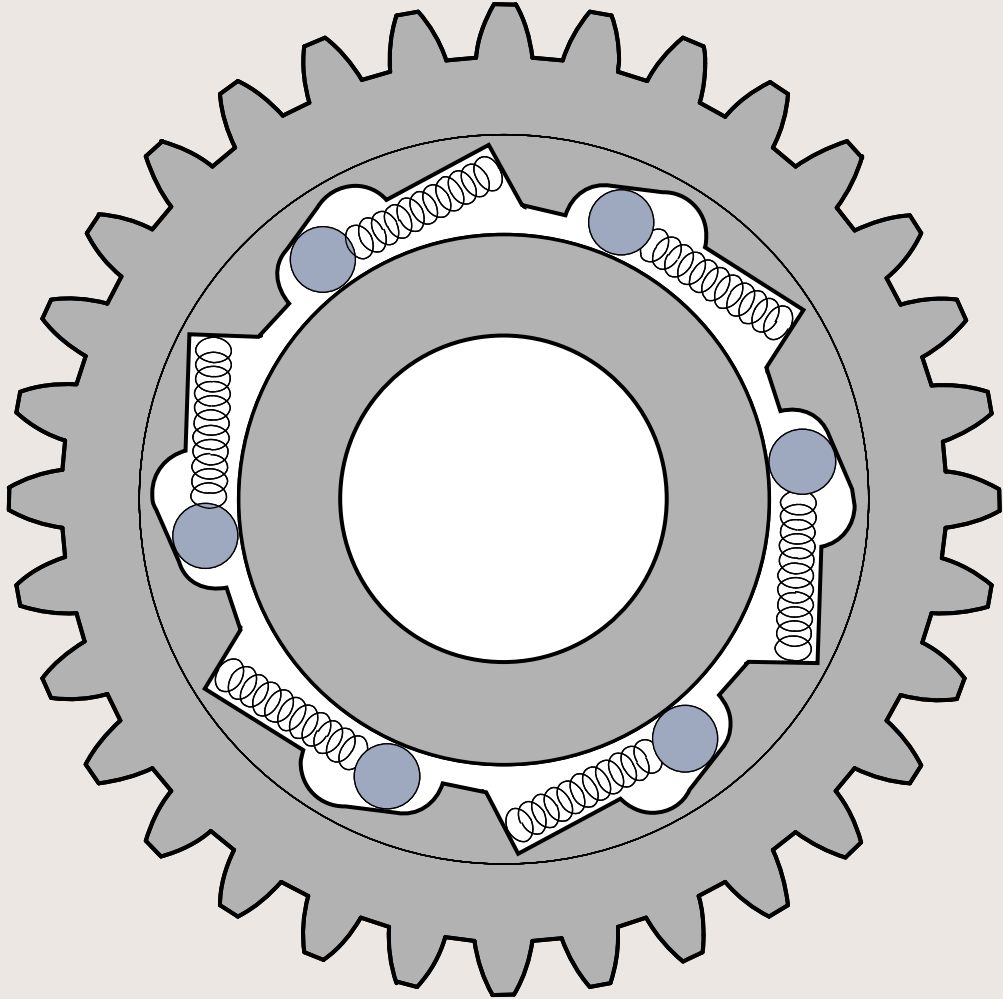
To môže byť aj výhodné; napr. vtedy, ak má dôjsť k rýchlemu poklesu otáčok motora.

Voľnobežné spojky

Ovládanie prekrývání sa dá zjednodušiť tým, že ho budeme podporovať voľnobežnými spojkami.

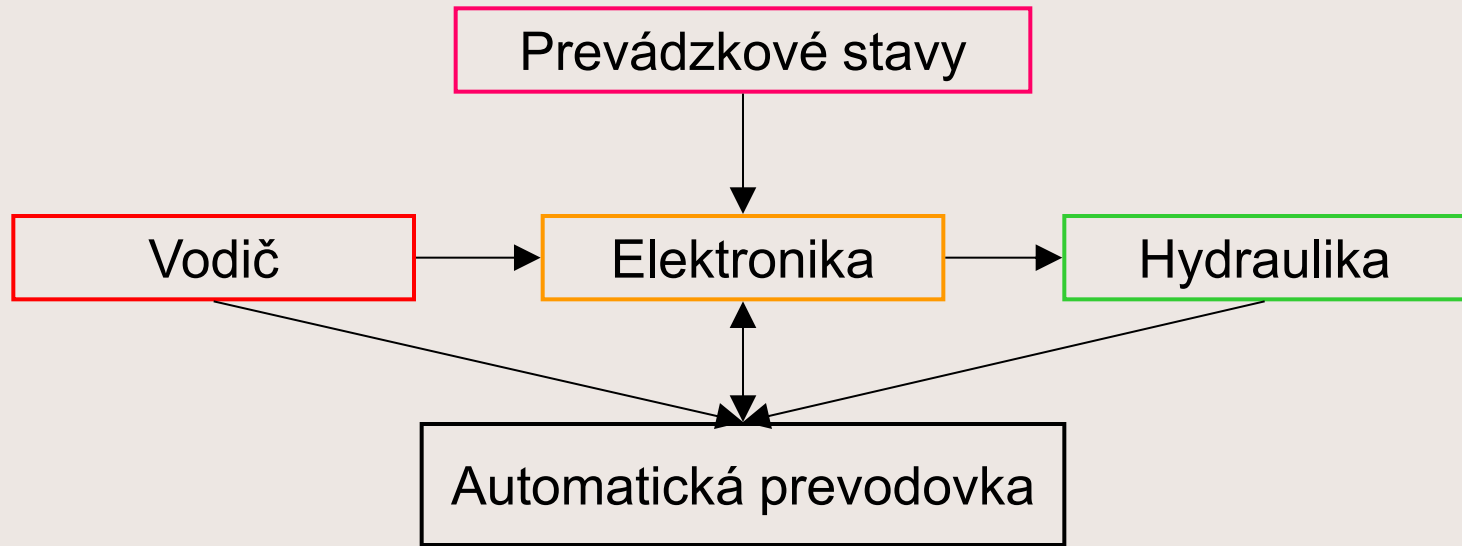
Voľnobežná spojka (voľnobežka) prenáša krútiaci moment len v jednom smere. V opačnom smere sa voľne pretáča. Používa sa preto, aby bolo možné radiť bez prerušenia ťažnej sily, s čo najmenším vynaložením technickej náročnosti. Voľnobežná spojka dovoľuje presný prechod pri radení bez zvláštnych nárokov na ovládanie zaradzovaného člena. Pri decelerácii vozidla sa sila prenáša opačným smerom. Voľnobežná spojka by sa tým otvorila a nedovolila by brzdenie motorom.

Z tohto dôvodu sú zároveň s voľnobežnou spojkou zapojované brzdy alebo spojky.



Ovládanie prevodovky

Zjednodušene sa dá povedať, že sa na logike riadenia modernej automatickej prevodovky podieľajú štyri hlavné



Vodič - rozhoduje o tom kedy, kam ako rýchlo a či športovo alebo ekonomicky. Sprostredkovateľom mu je pedál akcelerácie a radiaca páka.

Prevádzkové stavy – ovplyvňuje jazdný odpor, či do kopca alebo z kopca, s prívesom, proti vetru, so zaťaženým motorom, či decelerácia. Snímače predávajú o tom informácie do riadiacej jednotky prevodovky.

Elektronika – vyhodnocuje, preberá duševnú prácu a ovláda hydraulické členy

Hydraulika – preberá vytváranie pracovných tlakov a radiacích ciest.

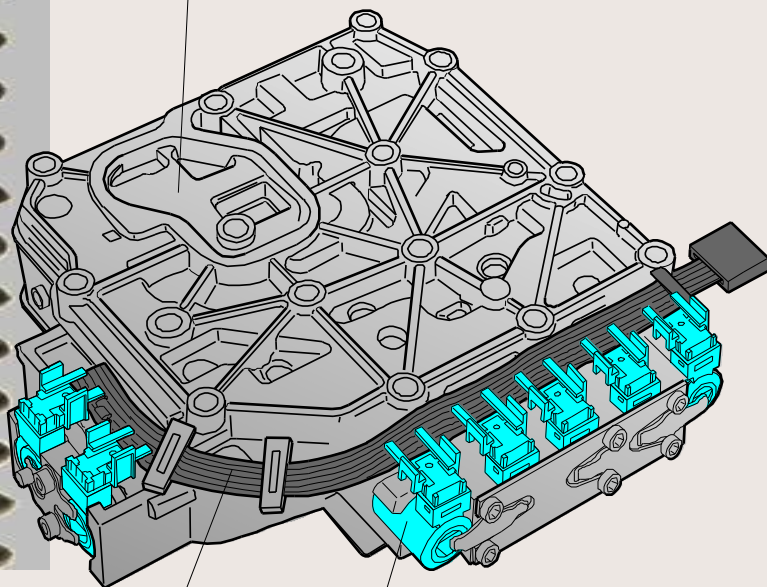
Hydraulika

Šupátková skriňa

Šupátková skriňa je riadiacim centrom tlaku oleja. Tu sa tlak oleja reguluje a rozdeľuje k radiacim členom podľa signálov z riadiacej jednotky automatickej prevodovky. Šupátková skriňa sa spravidla skladá z niekoľkých ventilových skriň. Ventilová skriňa je teleso spoločné pre všetky ventily, ktoré sa v nej nachádzajú (radiace ventily, elektromagnetické regulačné ventily, tlakové regulačné ventily). Okrem toho sú v šupátkovej skrini olejové kanály. Sú vytvorené podľa plánu hydrauliky a nikde sa priamo nekrížia. Potrebné prekríženia sa vytvoria v medzibloku. Tým je možné vytvoriť cesty pre olej v rôzne nad sebou ležiacich ventilových skriniach. Elektricky ovládané ventily (tzv. elektromagnetické ventily), ktoré sú aktivované riadiacou jednotkou automatickej prevodovky, sú do ventilovej skrine zasunuté z vonku. Sú tak pri servisných prácach ľahko prístupné.

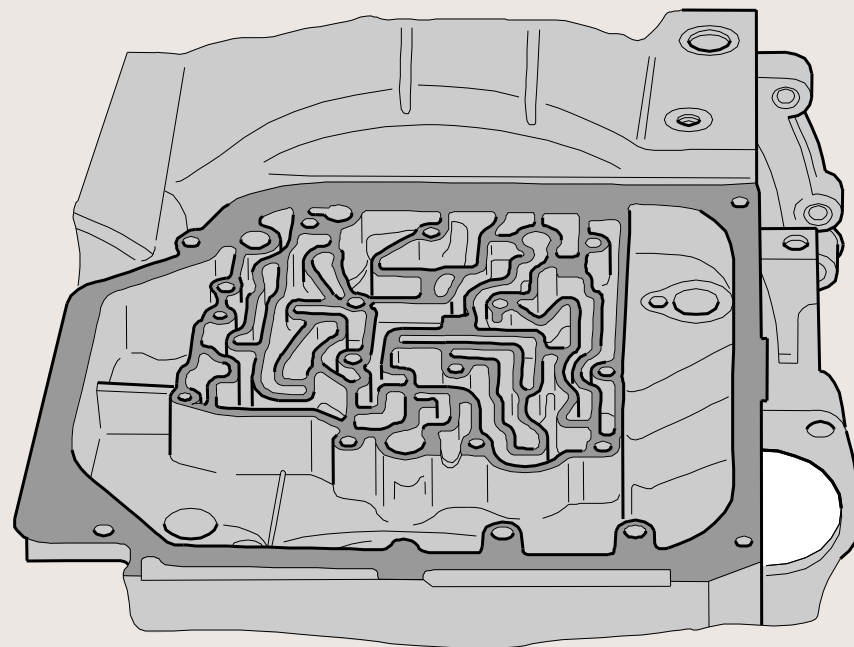
Šupátková skriňa je okrem elektrického pripojenia spojená aj mechanicky, prostredníctvom ručného šupátka, s radiacou pákou, čím sa zabezpečuje núdzový režim v prípade poruchy elektroniky.

šupátková skriňa



elektromagnetický ventil

fólia vodičov;
signály riadiacej jednotky



olejové kanály v skrini prevodovky

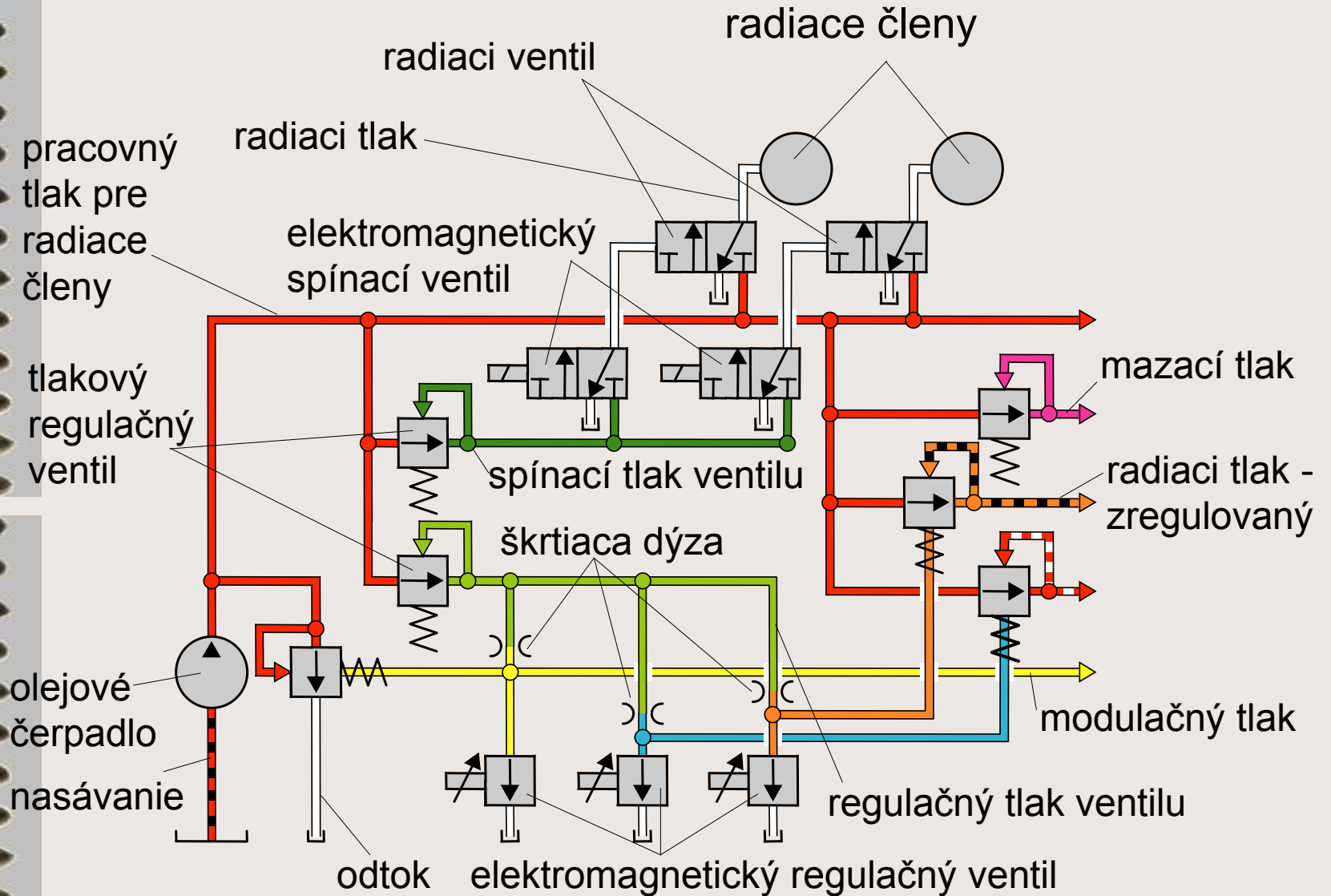
Hydraulická schéma

Hydraulická schéma je zjednodušeným výrazom plánu hydrauliky automatickej prevodovky. Táto schéma slúži na vysvetlenie inak komplikovaného labyrintu hydraulického ovládania.

V danej schéme sú znázornené dva radiace členy. Podľa konštrukcie automatickej prevodovky môže byť v modernej štvorstupňovej prevodovke šesť až osem trecích prvkov (spojok a brzd).

V schéme sú ventily v kľudovej polohe

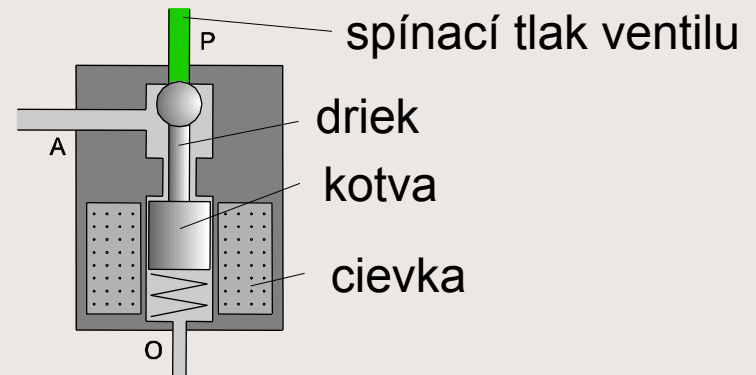
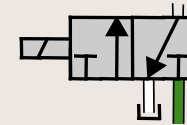
Hydraulická schéma



Hydraulické radiace prvky

Elektromagnetický spínací ventil

V elektricky riadenej automatickej prevodovke sa používajú elektromagnetické ventily ako hydraulické radiace prvky (elektromagnetický spínací ventil, elektromagnetický regulačný ventil). Okrem toho sa používajú aj radiace ventily, ktoré pracujú len hydraulicky.



Elektromagnetické spínacie ventily vedú tlak oleja na radiaci ventil alebo tlak oleja znižujú. Svojím spínaním alebo rozpínaním spôsobujú prepínanie radiacích ventilov, napr. pri začiatku procesu radenia.

V neaktívnej polohe je vplyvom pôsobenia pružiny uzavretý. Kotva je spojená s driekom ventilu. Pri aktivovaní riadiacou jednotkou automatickej prevodovky prekoná kotva tlak pružiny a vtiahne sa do cievky.

Driek ventilu uvoľní priechod z **P** do **A** spínaciemu tlaku ventilov a uzavrie odtok **O**.

Elektromagnetické spínacie ventily sú riadené digitálnym spínacím signálom (zopnuté - rozopnuté). Spínací tlak ventilu pôsobí ako radiaci tlak na radiaci ventil.

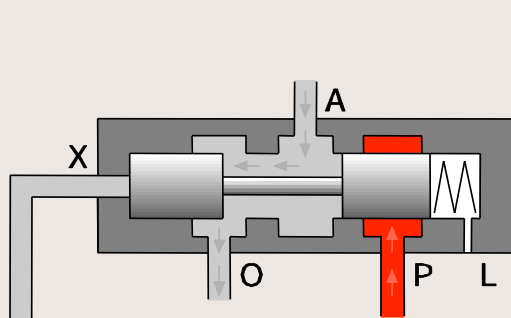
Radiaci ventil

- je čisto hydraulický ventil. Slúži na rozdeľovanie tlaku do radiacích členov. Spravidla má dve polohy, do ktorých sa privádza jedným alebo druhým radiacím tlakom.

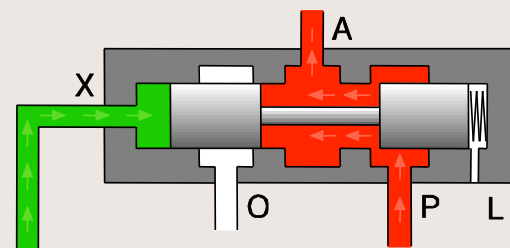
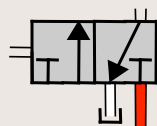
V neaktívnej polohe je pracovná prípojka **A** spojená s odtokom **O**. Na radiace členy preto nepôsobí žiadny tlak.

V pracovnej polohe pôsobí radiaci tlak na prípojku **X**, tlak **P** je pripojený na prípojku **A** a odtok **O** je uzavretý. Otvor **L** je otvor pre vyrovnávanie tlaku.

Radiace ventily sú prevážne šupátkové ventily a preto sa často označujú ako šupátka alebo radiace šupátka.



neaktívna poloha



pracovná poloha

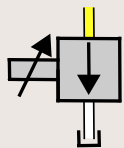
Elektromagnetický regulačný ventil

- reguluje tlak oleja plynulo.

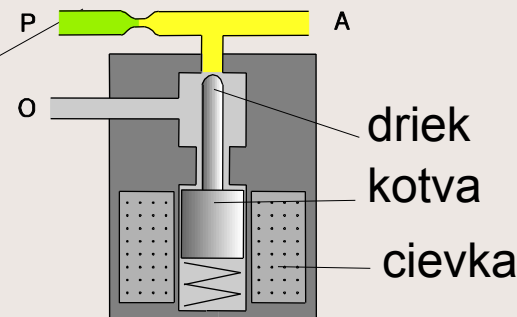
V neaktívnej polohe uzatvára drier pôsobením pružiny otvor regulačného tlaku ventilu. Tlak **A** je rovnaký ako tlak **P**.

Pri aktivovaní kotva prekonáva silu, vytváranú pružinou a pritiahne. Dôjde k prepojeniu otvoru **P** a odtoku **O**. Tlak **A** poklesne, a to úmerne veľkosti aktivačného prúdu – plynulá regulácia.

Elektromagnetické regulačné ventily sa používajú v spojení so škrtiacou dýzou a sú napájané tlakom regulačných ventilov. Neovládajú priamo tlak oleja radiaceho člena, avšak dodávajú riadiaci tlak, ktorý cez **A** pôsobí na následný tlakový regulačný ventil (napr. modulačný tlak).

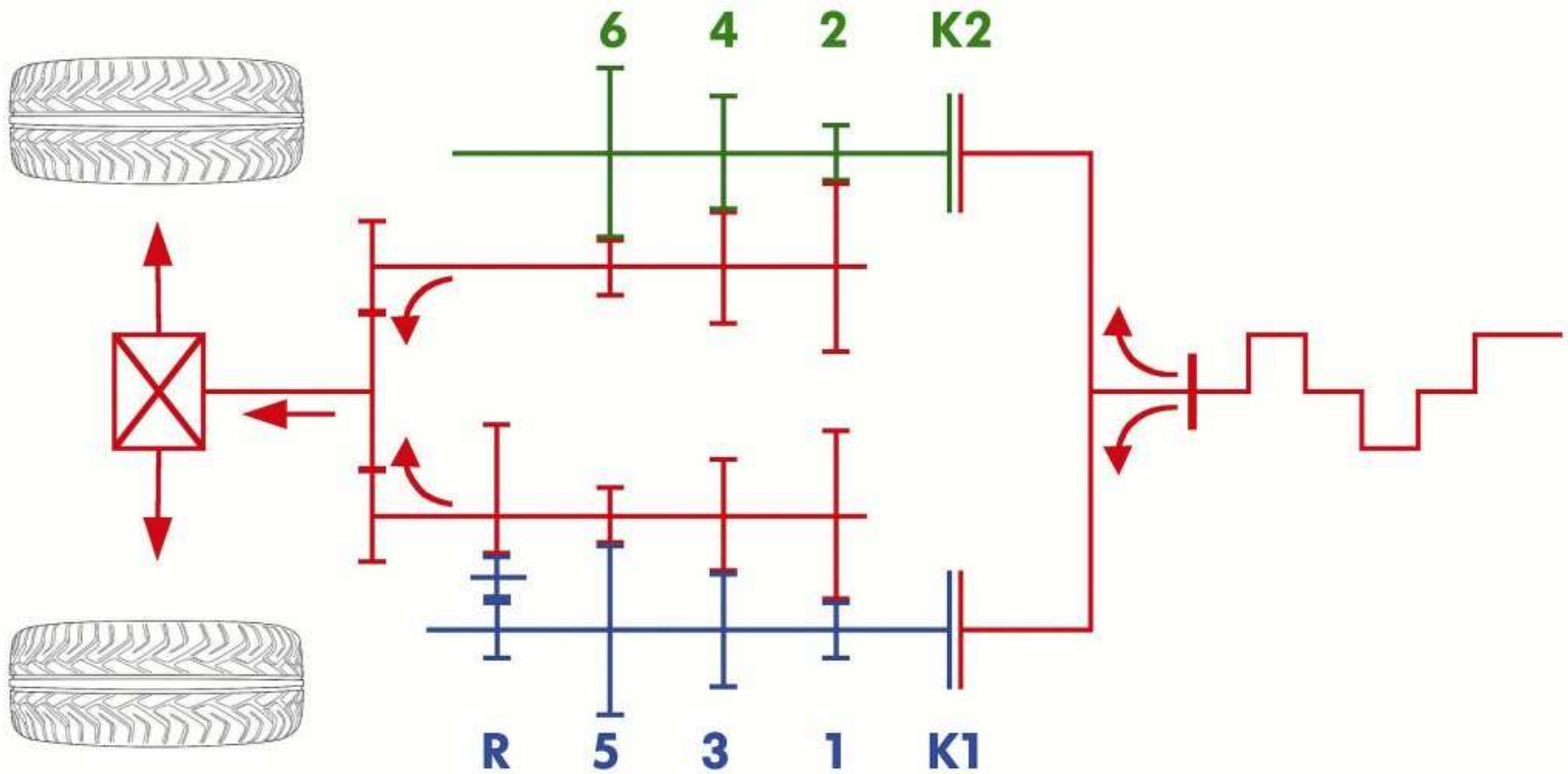


regulačný tlak ventilu

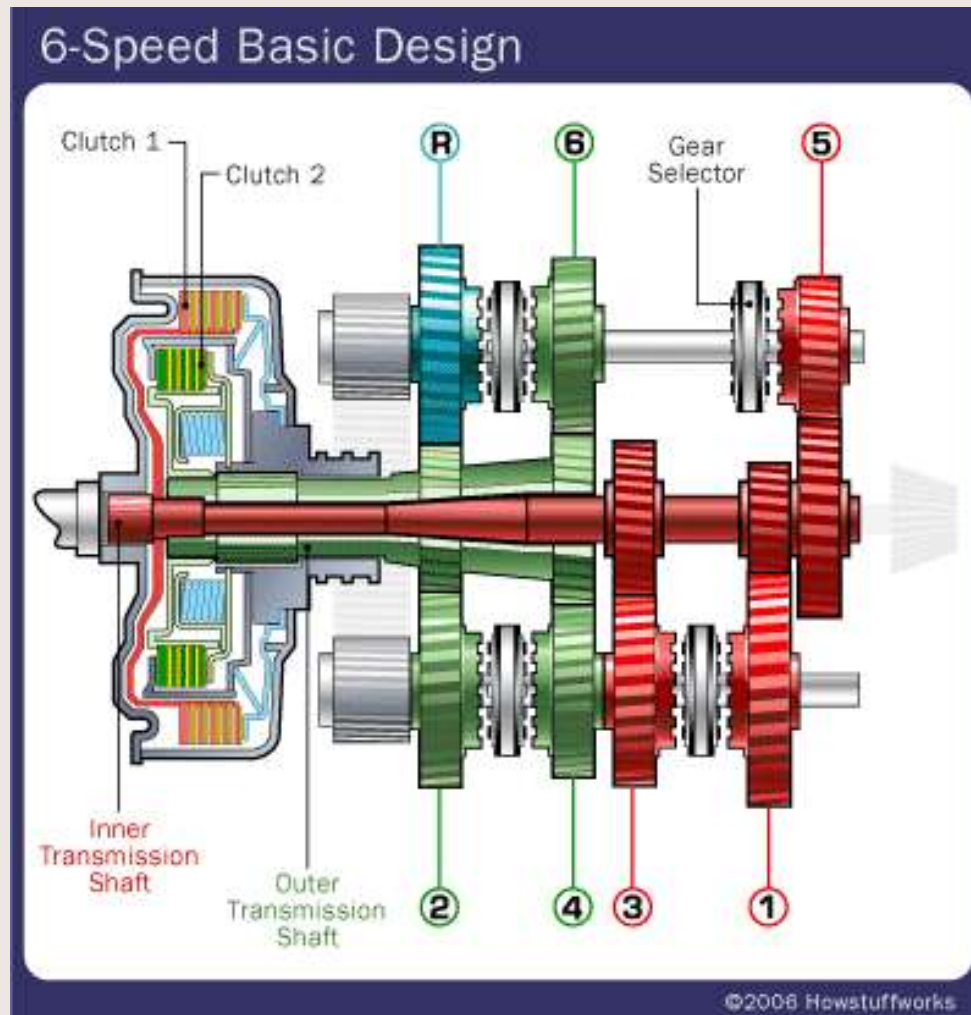


Prevodovka DSG (Direct Shift Gear)

Hlavná myšlienka



Prevodovka DSG (Direct Shift Gear)



Prevodovka DSG (Direct Shift Gear)



Audi TT 3.2 quattro

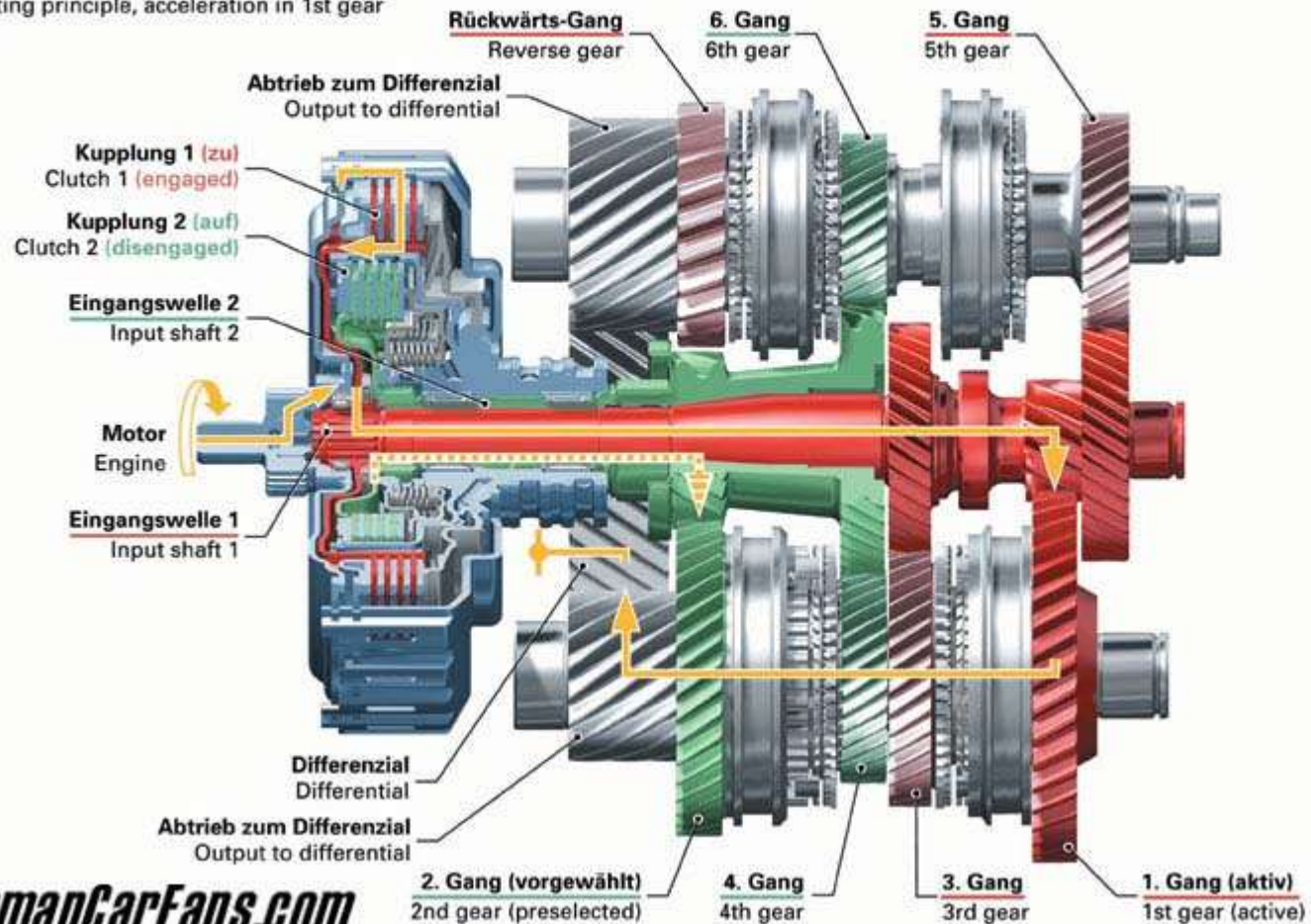
mit neuartigem automatischem Sportgetriebe (DSG)

Funktionsprinzip, Beschleunigung im 1. Gang

with the new automatic sports transmission (DSG)

Operating principle, acceleration in 1st gear

11/02



Prevodovka DSG (Direct Shift Gear)

Audi TT 3.2 quattro

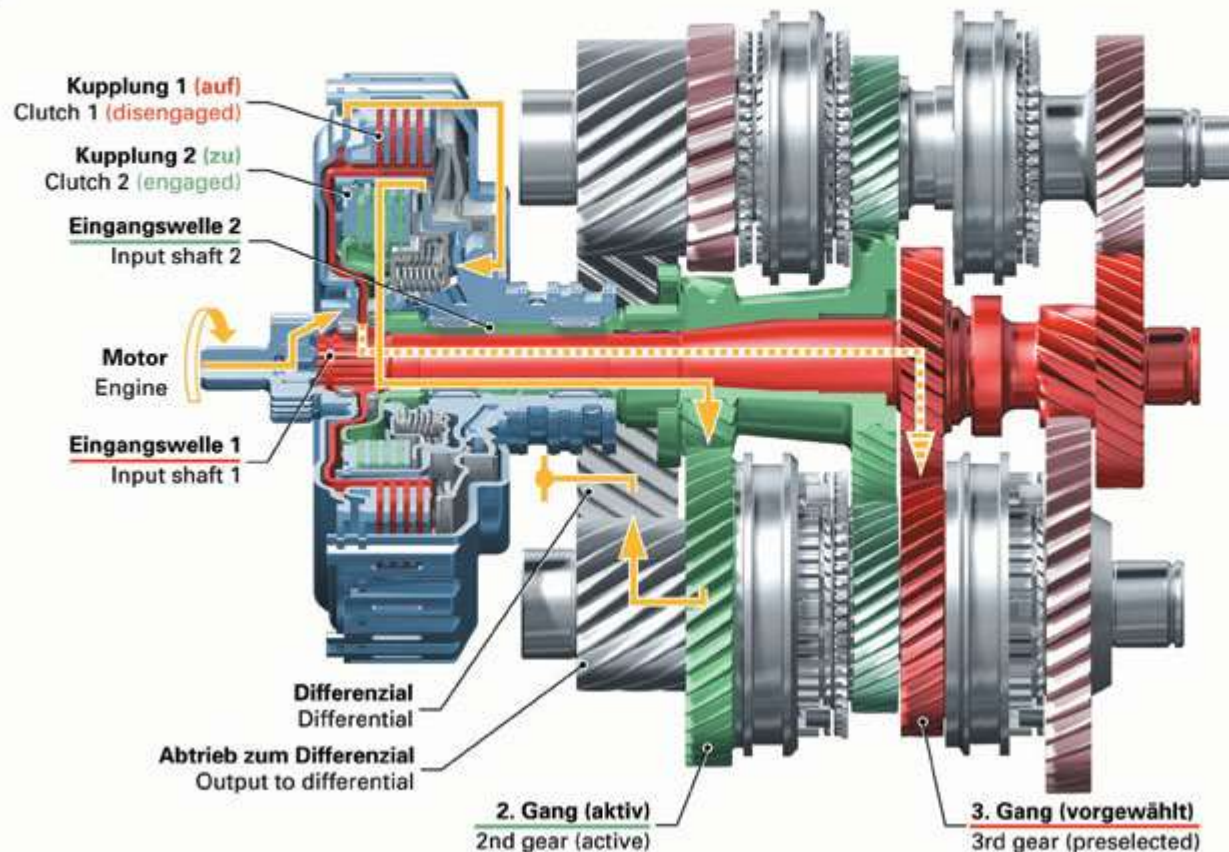
mit neuartigem automatischem Sportgetriebe (DSG)

Funktionsprinzip, Beschleunigung im 2. Gang

with the new automatic sports transmission (DSG)

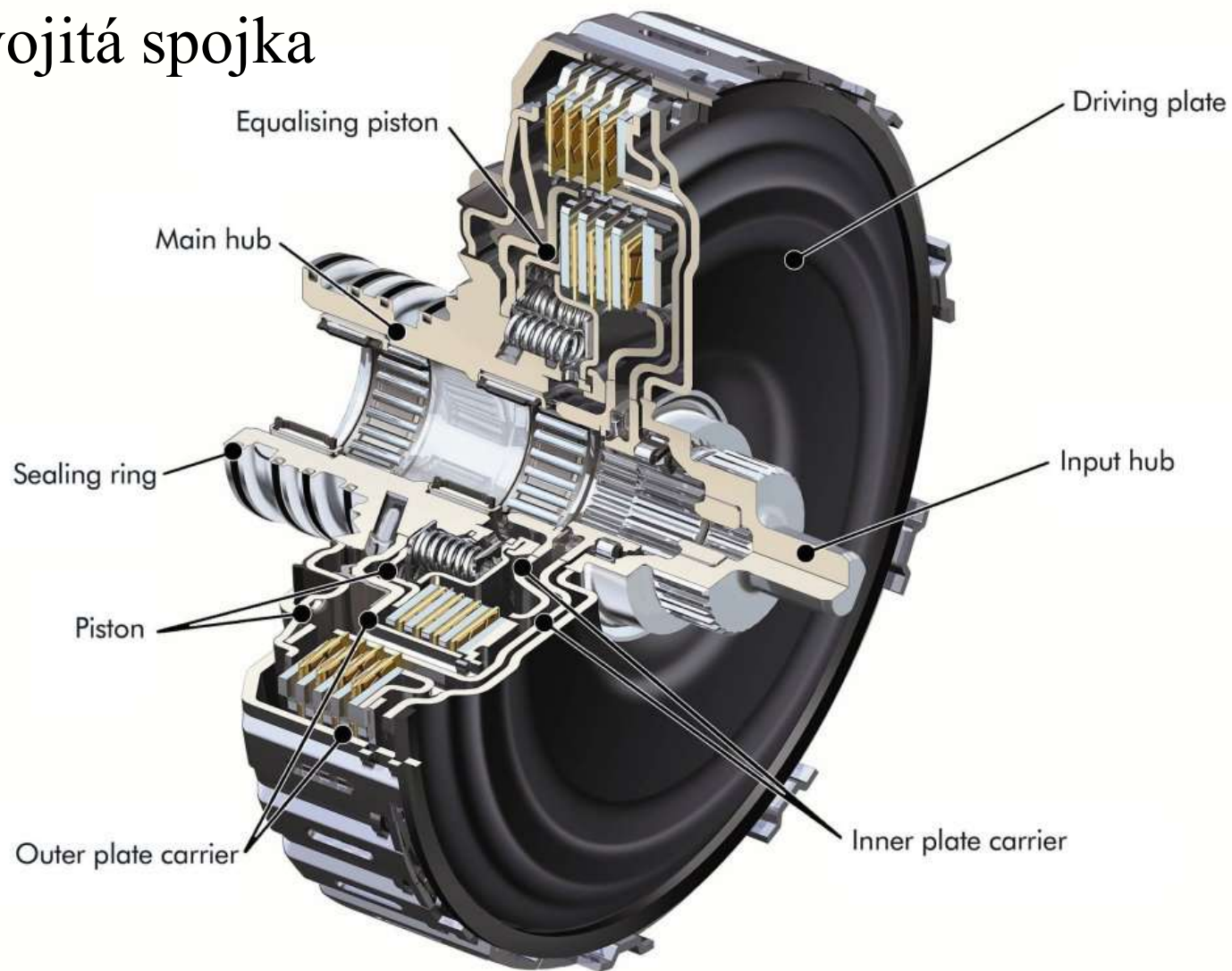
Operating principle, acceleration in 2nd gear

11/02

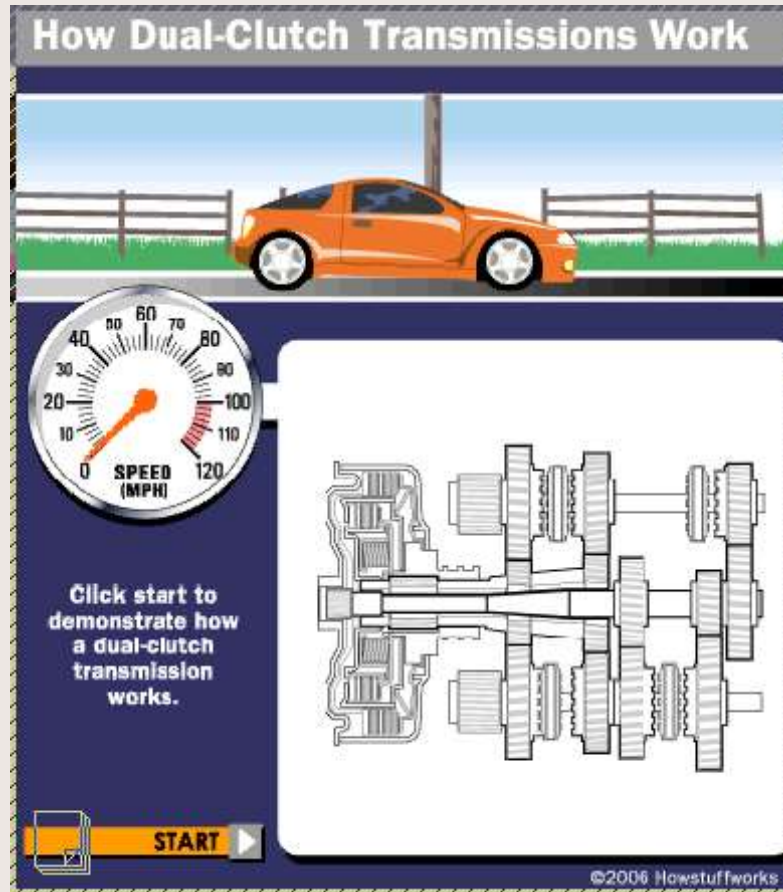


Prevodovka DSG (Direct Shift Gear)

Dvojitá spojka



Prevodovka DSG (Direct Shift Gear)



Prevodovka DSG (Direct Shift Gear)



Prevodovka DSG (Direct Shift Gear)



A spiral-bound notebook with a light beige, textured cover. The metal spiral binding is visible on the left side. The text is centered on the cover.

ABS

Anti - Blokovací - Systém

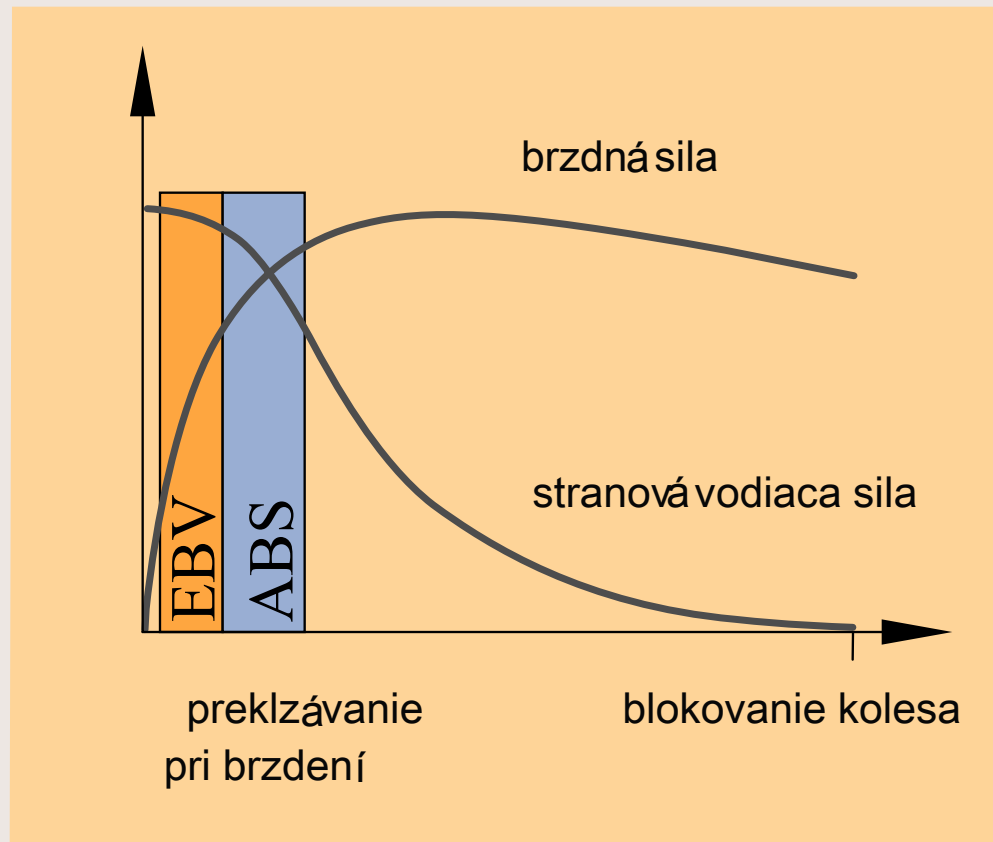
ABS + EBV

EBV – elektronické rozdeľovanie brzdnej sily

V agregáte ABS je často zakomponované aj elektronické rozdeľovanie brzdnej sily a je súčasťou softvéru ABS. V takto vybavených vozidlách odpadá zát'azový regulátor na zadnej náprave.

Činnosť

V priebehu normálneho brzdenia, keď ešte nedochádza k blokovaniu kolies, je v činnosti rozdeľovanie brzdnej sily. Preto je na každom kolese neustále sledované spomalenie. Porovnávaním spomalenia kolies na prednej náprave s kolesami na zadnej náprave zisťuje riadiaca jednotka ABS rozdelenie brzdnych síl. Ak sú brzdne sily na zadnej náprave príliš vysoké, dôjde elektromagnetickými ventilmi hydraulickej jednotky k redukcii (zníženiu) tlaku. Dosiahne sa optimálne rozdelenie brzdnej sily s veľkými stranovými vodiacimi silami na zadnej náprave a taká regulácia brzdneho tlaku, že nemôže dôjsť k prebrzdzeniu zadných kolies.



V riadiacej jednotke sú funkcie ABS a EBV z bezpečnostných dôvodov realizované oddelene. Pri poruche tej časti riadiacej jednotky, ktorá zaisťuje činnosť ABS, zostáva EBV stále funkčné a naopak. Vodič je o prípadnom výpadku regulácie EBV informovaný pomocou kontrolky ABS.

Sklz kolesa a uhol sklzu pneumatiky

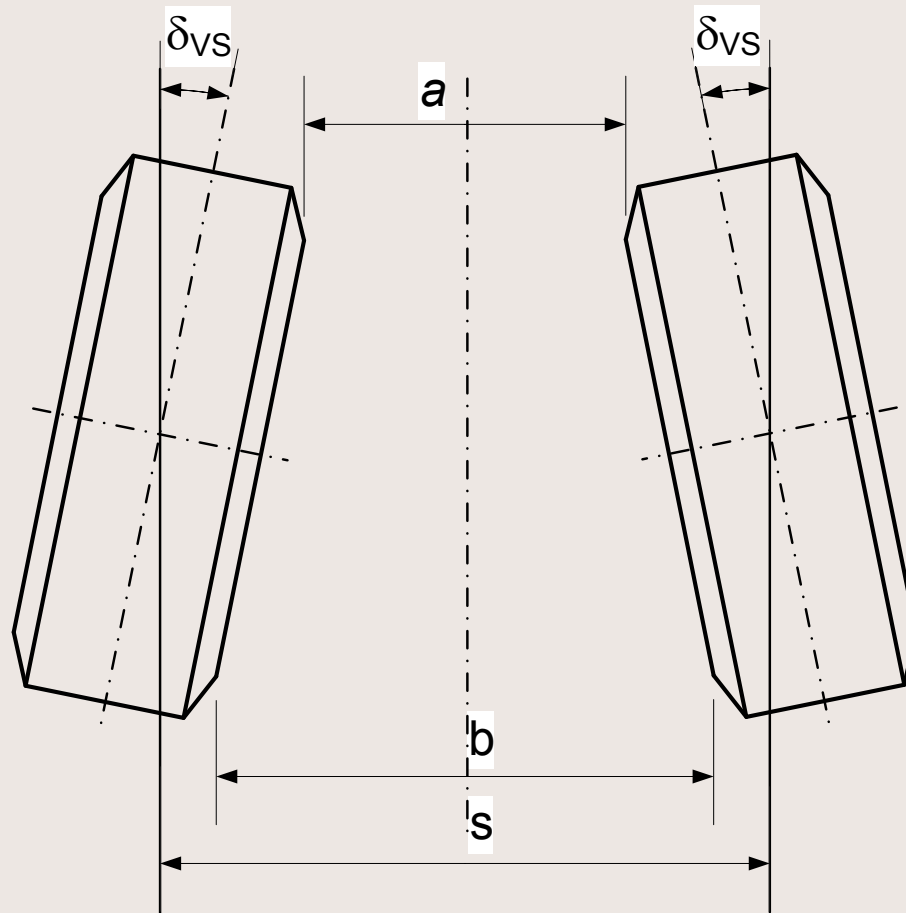
Sklez kolesa sa musí určovať veľmi presne, pretože gradient charakteristík koeficienta príľnavosti je extrémne veľký. Ak sa vozidlo pohybuje bez bočného sklzu (*side slip*) pneumatiky sklez kolesa (*longitudinal slip*) je jednoducho definovaný ako ekvivalent rotačnej rýchlosti kolesa a rýchlosti ťažiska vozidla. Pri súčasnom objavení sa pozdĺžneho a bočného sklzu existuje viacero definícií. Nasledujúce definície pozdĺžneho sklzu vychádzajú z rýchlosti pohybu kontaktného bodu v_{wij} (Burckhardt) a bočný sklez v smere kolmom na túto rýchlosť. Geometria kolesa a pohyb bodu kontaktu sú zrejmé z obr.

	Brzdenie $v_R \cos \alpha \leq v_W$	Akcelerácia $v_R \cos \alpha > v_W$
Pozdĺžny sklez	$s_L = (v_R \cos \alpha - v_W) / v_W$	$s_L = (v_R \cos \alpha - v_W) / v_R \cos \alpha$
Bočný sklez	$s_S = v_R \sin \alpha / v_W$	$s_S = \tan \alpha$

Sklz kolesa a uhol sklzu pneumatiky

Zbiehavosť kolies (Toe-in)

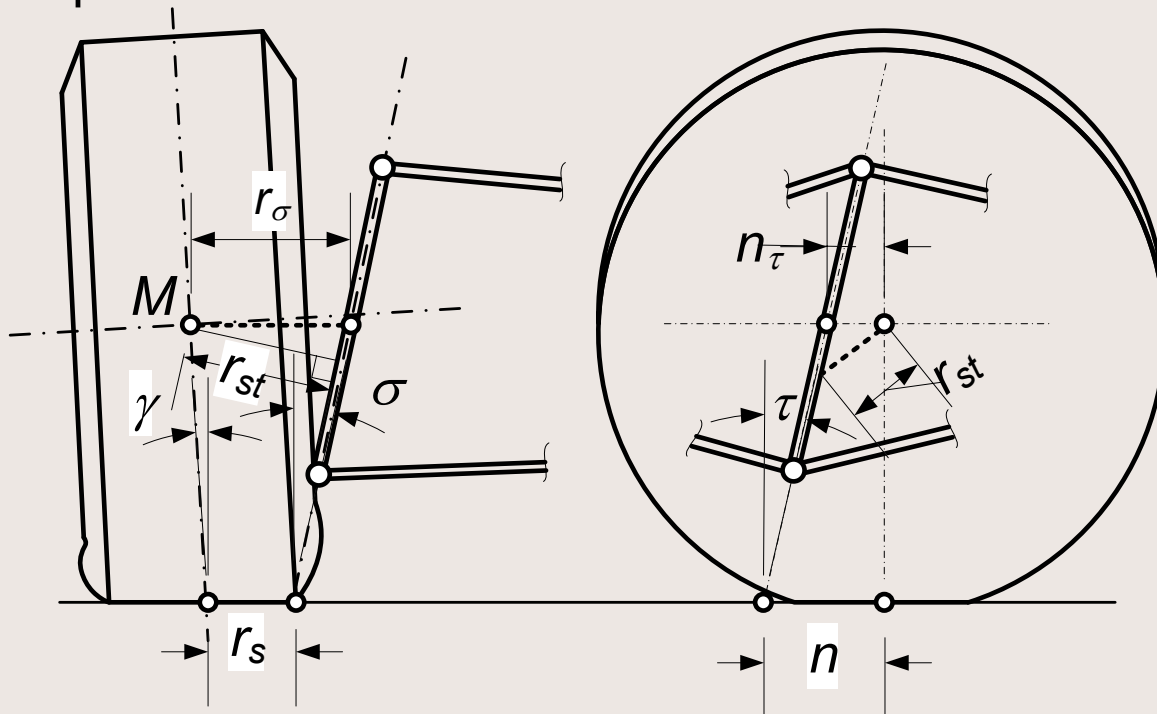
δ_{vs} uhol zbiehavosti, Vzdialenosť medzi kolesami:
 a predná, b zadná, $b-a$ zbiehavosť, s rozchod



Sklz kolesa a uhol sklzu pneumatiky

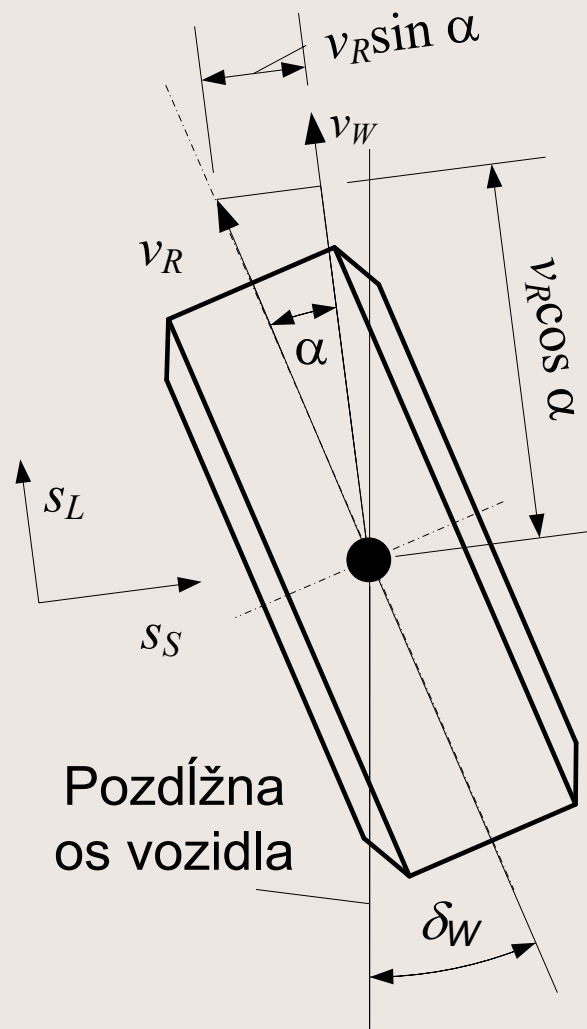
Geometria kolesa

M stred kolesa, r_{st} polomer páky odklonu, n_τ ofset závleku (caster), n pozitívny závlek, τ uhol záklonu osi výkyvu, r_σ ofset zvislého čapu (kingpin) s príklonom, r_s ofset zvislého čapu, γ uhol sklonu kolesa, σ uhol príklonu zvislého čapu



Sklz kolesa a uhol sklzu pneumatiky

Výpočet sklzu kolesa



v_R : ekvivalent rotačnej rýchlosti kolesa

v_W : rýchlosť pohybu kontaktného bodu kolesa a vozovky

Skľz koleasa a uhol skľzu pneumatiky

Výsledný skľz s_L musí byť vždy menší ako 1. Preto sú diferencie rýchlosti delené príslúchajúcou väčšou rýchlosťou, t.j. v_W pre brzdenie a v_R pre akceleráciu. Výsledný skľz je geometrickým súčtom pozdĺžneho a bočného skľzu.

$$s_{Res} = \sqrt{s_L^2 + s_S^2}$$

Koeficient trenia

Trenie kolies môže byť aproximované parametrickými charakteristikami, ktoré sú zrejmé z [obr.](#) Trenie alebo koeficient príľnavosti μ je definovaný ako pomer trecej sily F_{fric} , pôsobiacej v rovine kolesa a sily pôsobiacej v kontaktnom bode F_Z (kolmo na podložku).

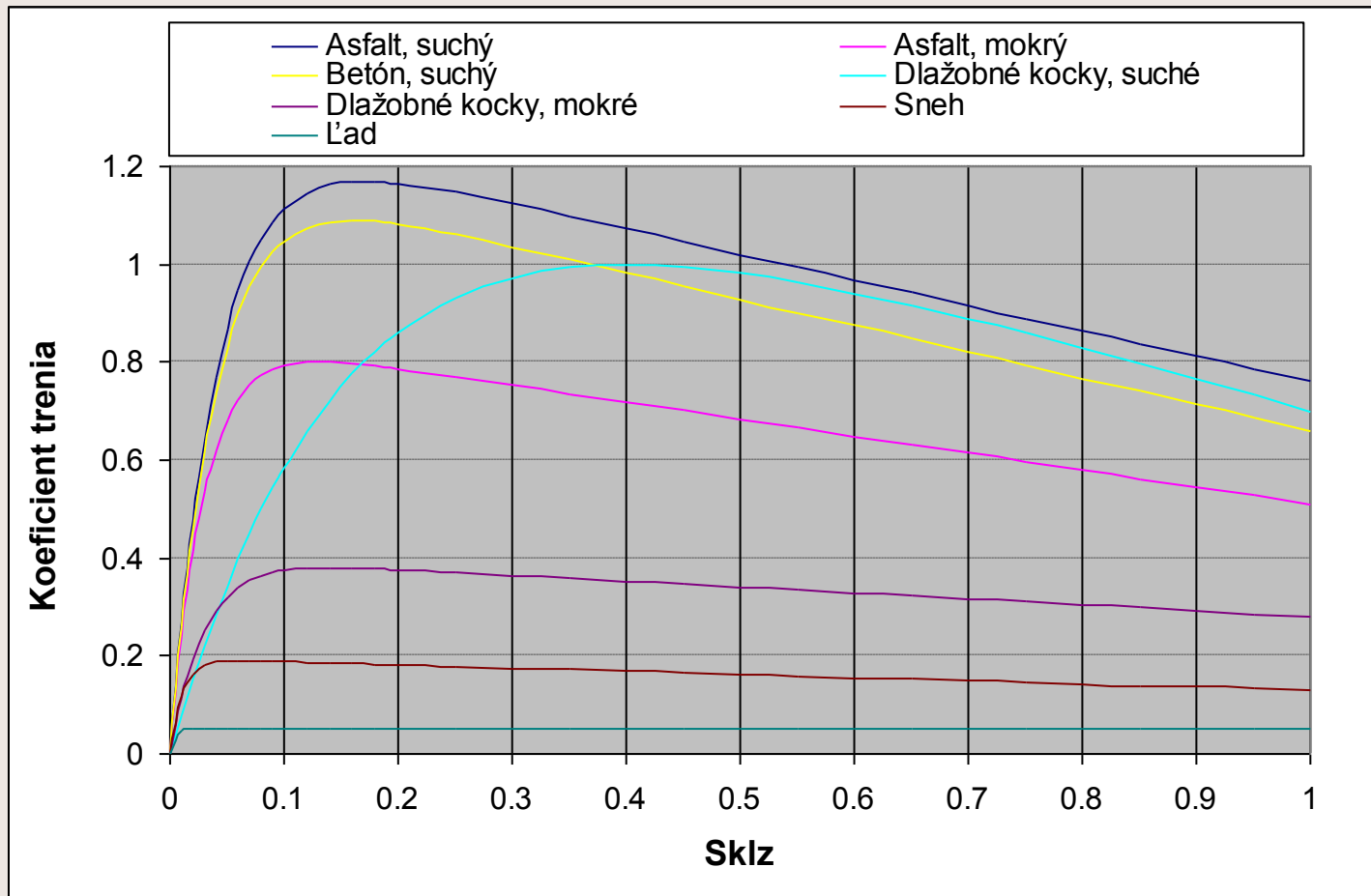
$$\mu = \frac{F_{fric}}{F_Z}$$

Treacie sily môžu byť tiež vypočítané podľa (Burckhardt)

$$\mu(s_{Res}) = c_1 \cdot \left(1 - e^{-c_2 \cdot s_{Res}}\right) - c_3 \cdot s_{Res}$$

c_1 , c_2 a c_3 sú konštanty, ktorých hodnoty sú definované materiálmi povrchu a vlastnosťami pneumatík. Burckhardtov vzťah môže byť rozšírený o dvojicu koeficientov c_4 a c_5 , ktoré zohľadňujú vplyv zaťaženia kolesa a rýchlosti pohybu vozidla.

Koeficient trenia



Koeficient trenia

Hodnoty koeficienta trenia na obr. vyhovujú iba pre kvázi statický stav. Výsledný sklz s_{Res} má ten istý smer ako výsledný koeficient trenia (priľnavosti) μ_{Res} . Rozložením sa získa pozdĺžna a priečna zložka

$$\mu_L = \mu_{Res} \frac{s_L}{s_{Res}} \quad \text{a} \quad \mu_S = \mu_{Res} \frac{s_S}{s_{Res}}$$

Kamm-ov kruh poskytuje informáciu o smere výsledného koeficienta trenia. Kontakt medzi pneumatikou a vozovkou, spolu s rýchlosťou vozidla a zaťažením kolesa určujú úroveň maximálneho výsledného koeficienta trenia $\mu_{Res,max}$, ktorý môže byť rozdelený na zložky. V prípade ak dezén na veľkosť jednotlivých zložiek sklzu, tento vplyv sa zahrnie do koeficienta tlmenia k_S .

$$\mu_L = \mu_{Res} \frac{s_L}{s_{Res}} \quad \text{a} \quad \mu_S = k_S \cdot \mu_{Res} \frac{s_S}{s_{Res}}$$

Koeficient trenia

V prípade ak $k_S = 1$, to znamená, že trenie je v oboch smeroch rovnaké. Pre bežné nízkoprofilové pneumatiky je k_S v rozsahu 0,9 až 0,95. Odlišnosti sa môžu vyskytnúť aj pre prípad brzdenia a akcelerácie. Vzťah medzi trecími silami a koeficientom trenia je zrejмый aj z [obrázka](#):

$$F_L = \mu_L F_Z = \mu_{Res} \frac{S_L}{S_{Res}} \cdot F_Z$$

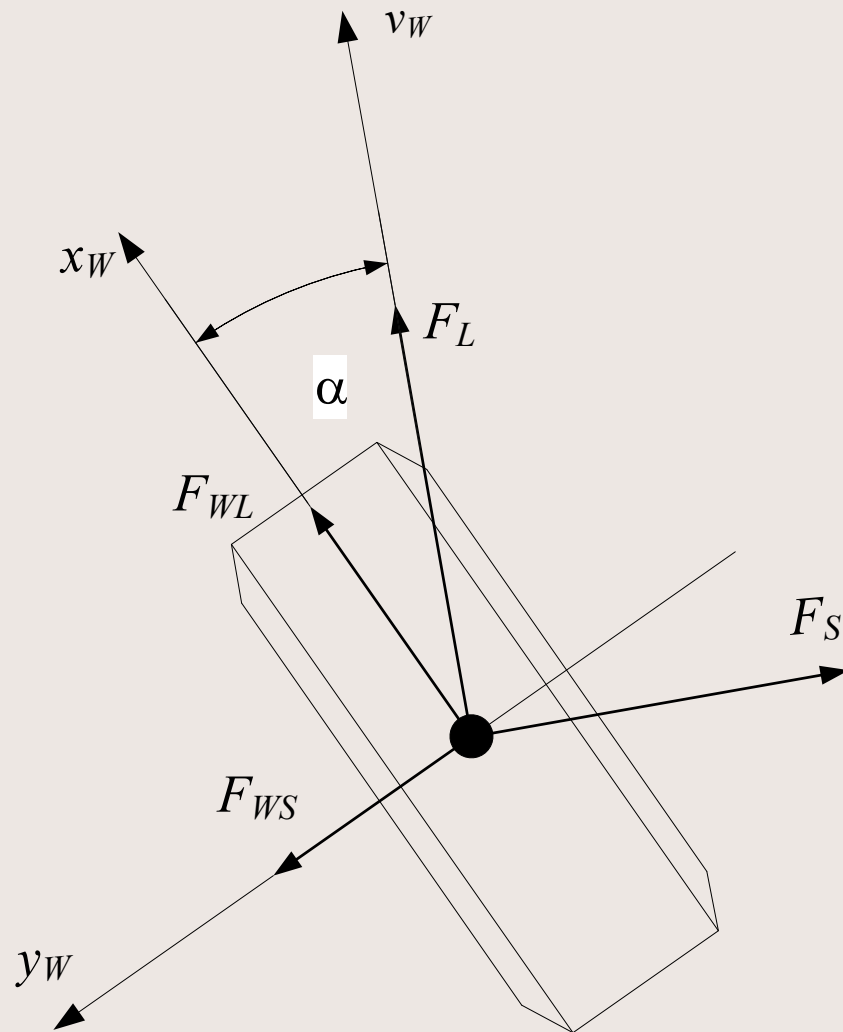
$$F_S = \mu_S F_Z = \mu_{Res} \cdot k_S \cdot \frac{S_S}{S_{Res}} \cdot F_Z$$

$$F_{WL} = F_L \cos \alpha - F_S \sin \alpha = \mu_{Res} \cdot \frac{S_L}{S_{Res}} \cdot F_Z \cos \alpha - \mu_{Res} \cdot k_S \cdot \frac{S_S}{S_{Res}} \cdot F_Z \sin \alpha$$

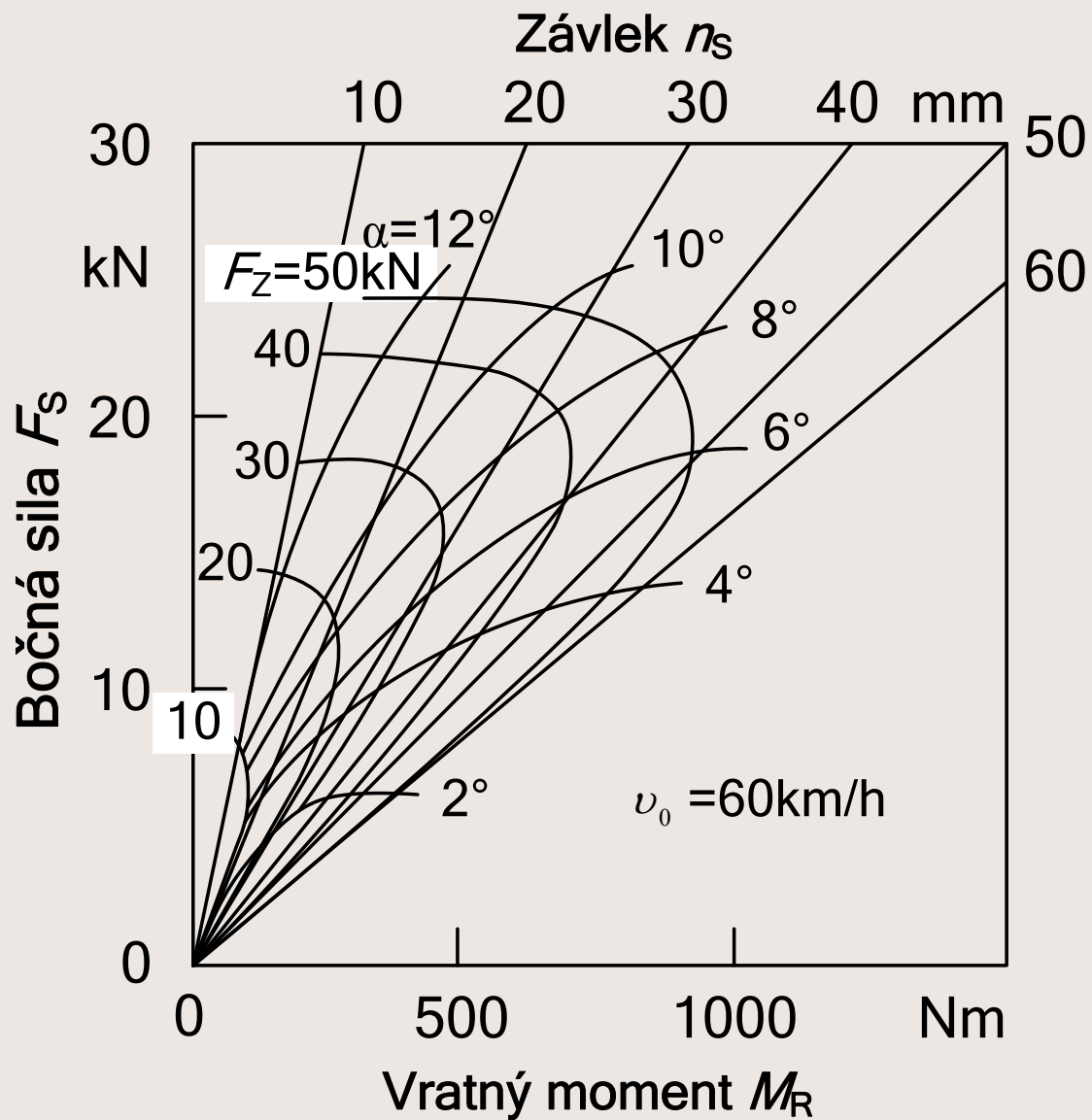
$$F_{WS} = -F_S \cos \alpha - F_L \sin \alpha = -\mu_{Res} \cdot k_S \cdot \frac{S_S}{S_{Res}} \cdot F_Z \cos \alpha - \mu_{Res} \cdot \frac{S_L}{S_{Res}} \cdot F_Z \sin \alpha$$

Závislosti trecích síl a trecích koeficientov od sklzu sú na [obr.](#)

Orientácia trecích síl

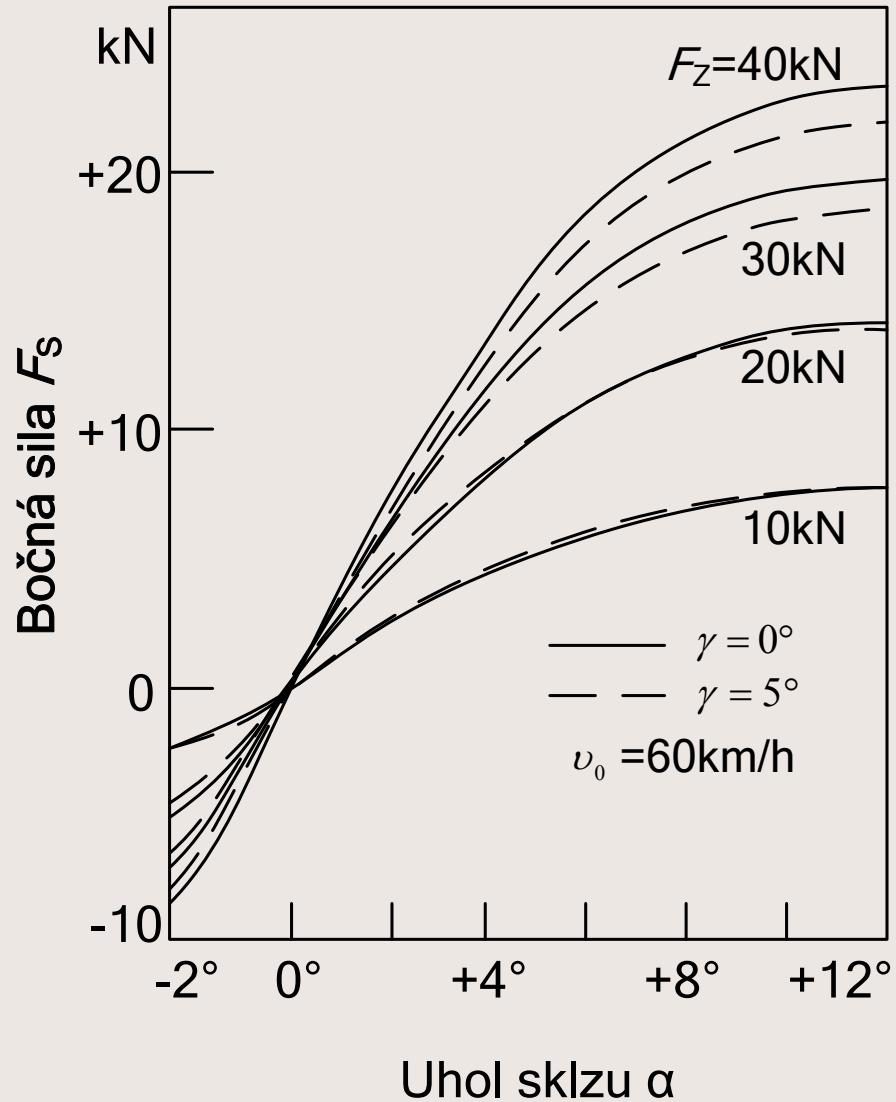


Goughov diagram vlastnosti pneumatiky (B)



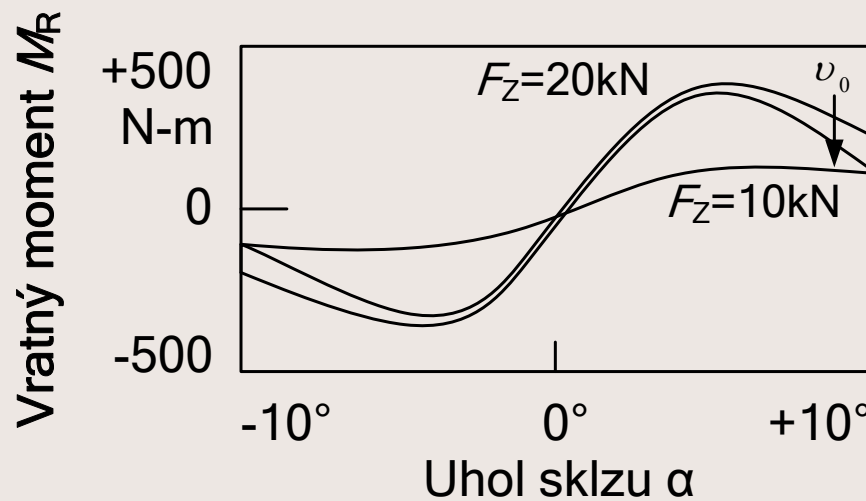
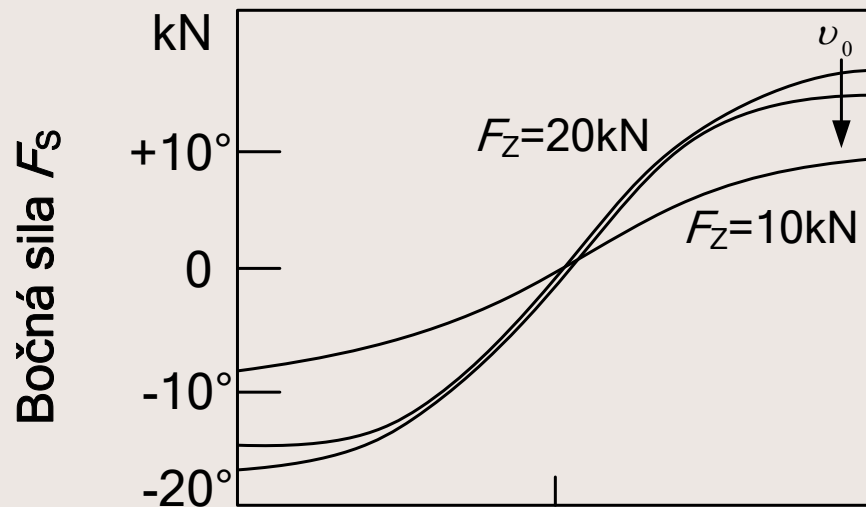
Bočná sila vs. uhol sklzu (C)

Parameter: zaťaženie kolesa a
uhol sklonu kolesa



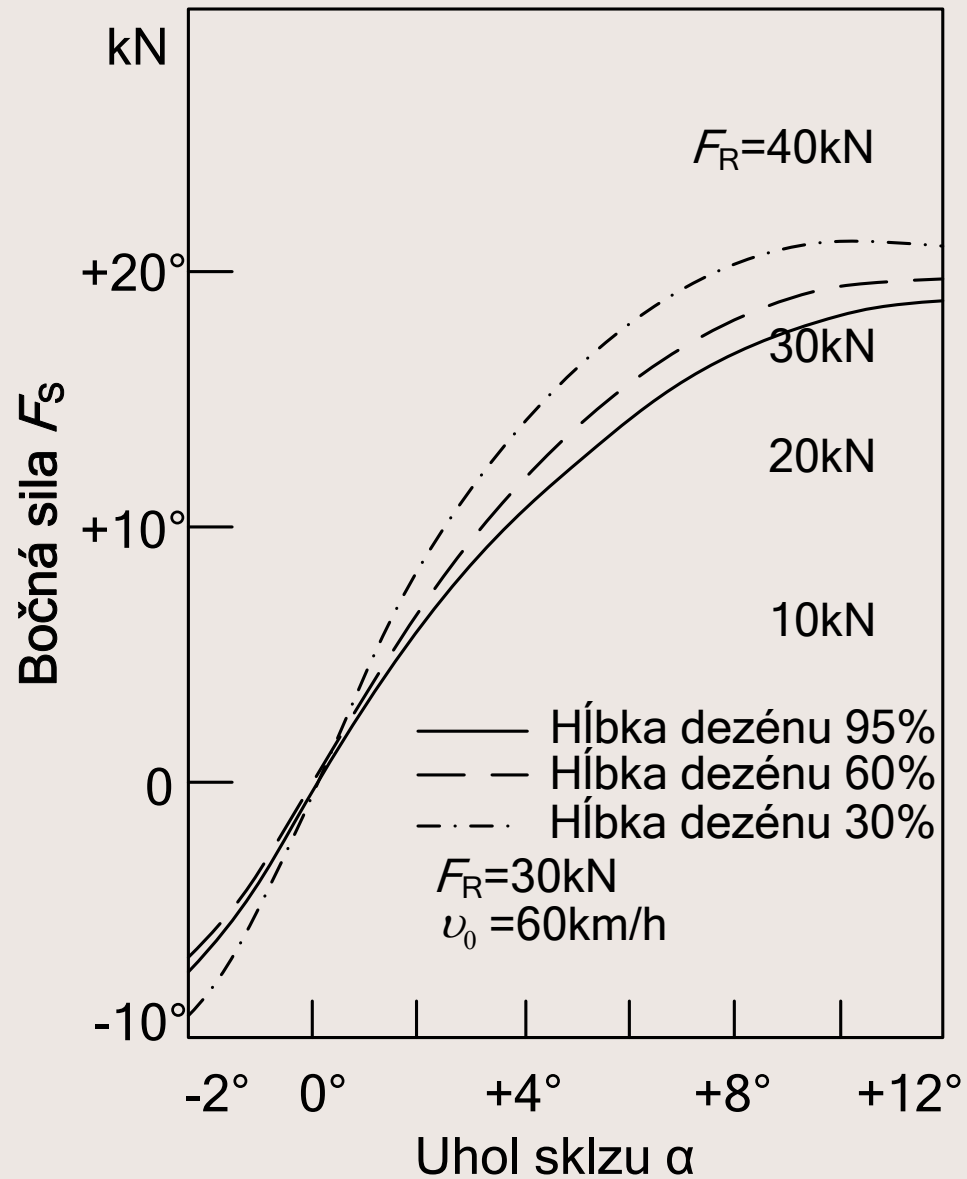
Bočná sila a vratný moment vs. uhol sklzu (A)

Parameter: rýchlosť $20\text{km/h} \leq v_0 \leq 100\text{km/h}$



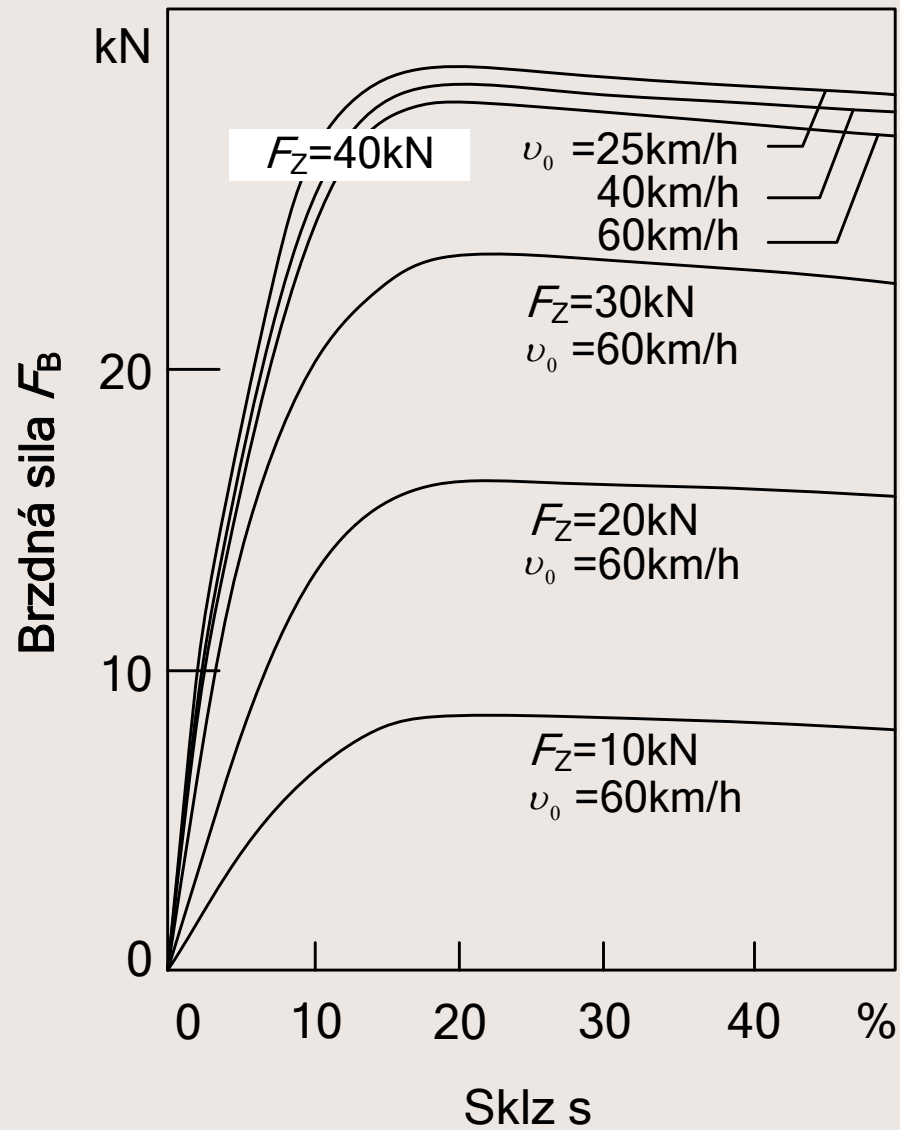
Bočná sila vs. uhol sklzu (D)

Parameter: hĺbka dezénu.



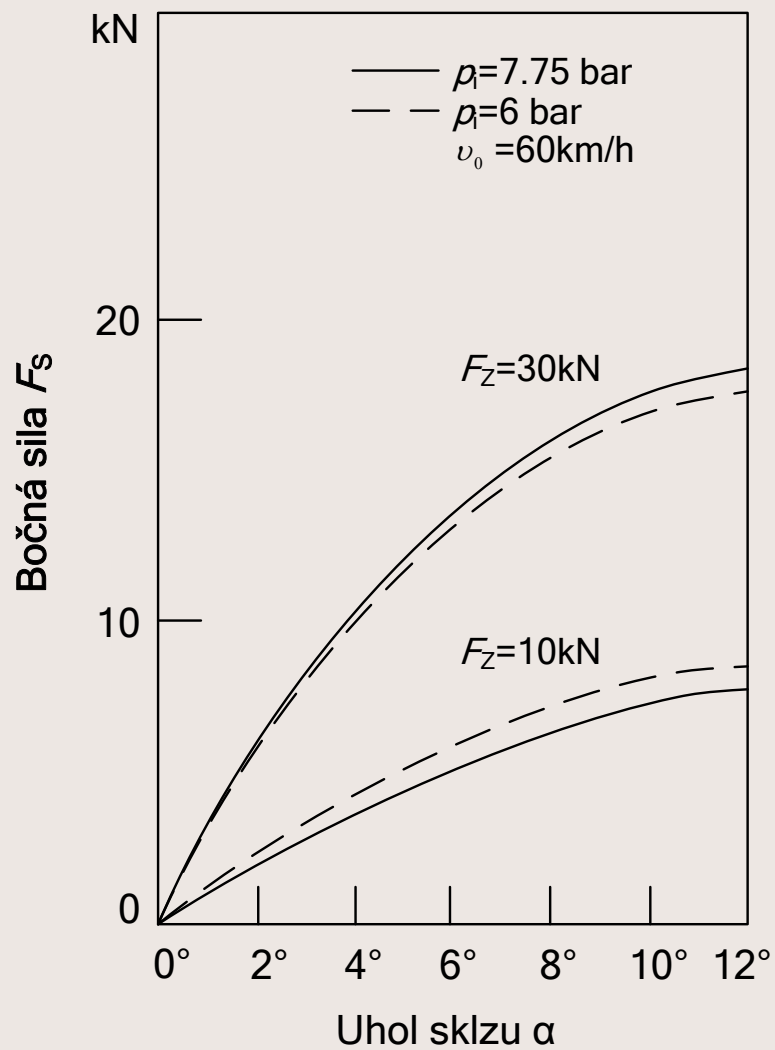
Brzdná sila vs. sklz (E)

Parameter: zaťaženie kolesa a rýchlosť.

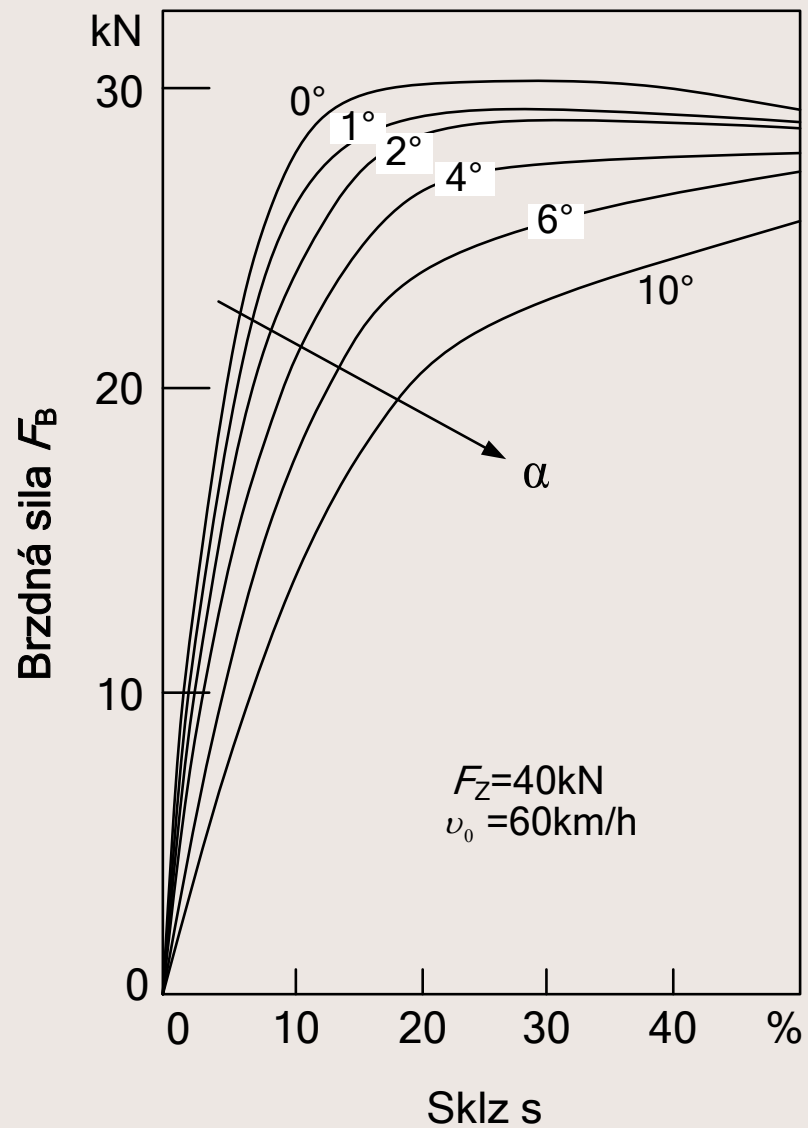


**Bočná sila vs. uhol sklzu na pneumatikách
pre ťažké nákladné automobily (F)**

Parameter: tlak pneumatiky a zaťaženie
kolesa.

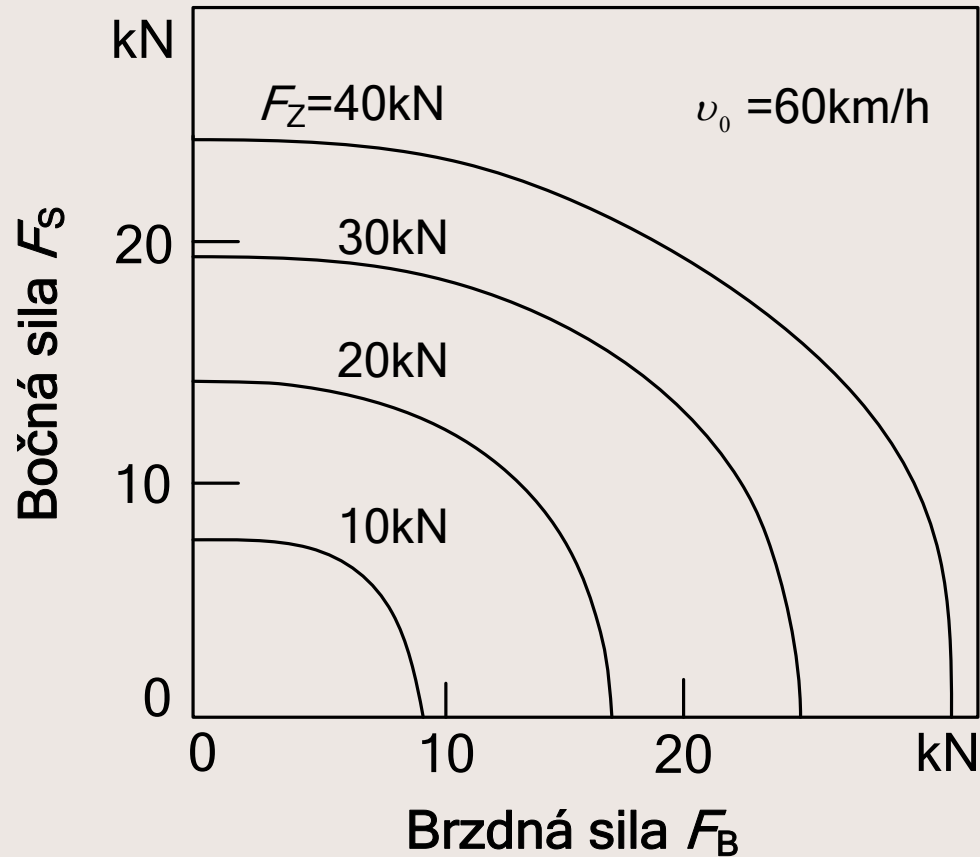


Brzdná síla vs. sklz (I)
Parameter: uhol sklzu.

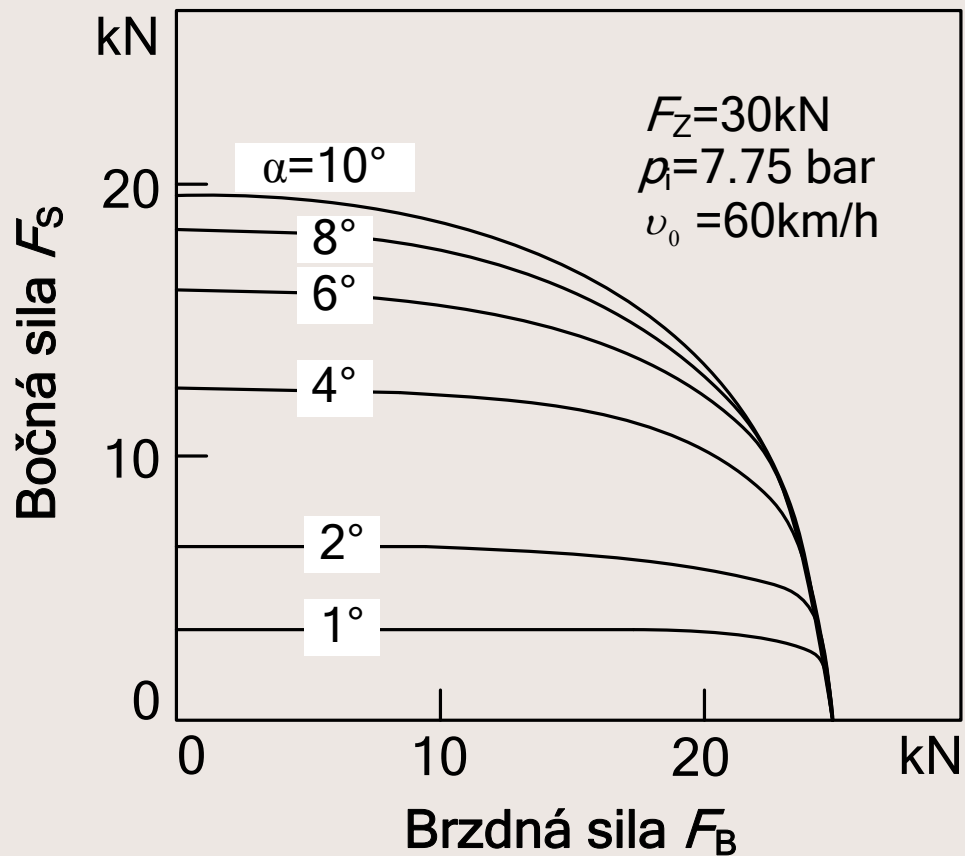


Postranná síla vs. brzdná síla (H)

Maximálna dosiahnuteľná príľnavosť pri konštantnom zaťažení kolesa.



*Charakteristika vlastnosti pneumatiky
odmeraná pri zaťažení koleasa 30 kN (K)
Parameter: uhol sklzu.*



Riadenie ABS

ABS systém slúži na minimalizáciu dráhy brzdenia, pri udržiavaní ovládateľnosti vozidla počas brzdenia. Najkratšia brzdňá dráha sa dá dosiahnuť ak kolesá pracujú pri sklze s maximálnym koeficientom trenia μ_L (obr.).

Vyváženost' momentov v kontaktnom bode

Modelovaním rovnováhy momentov v kontaktnom bode sa dá dosiahnuť lepšie pochopenie ako ABS systém dokáže pracovať v tesnom okolí maxima trenia. Na obr. sú znázornené sily, ktoré pôsobia na koleso.

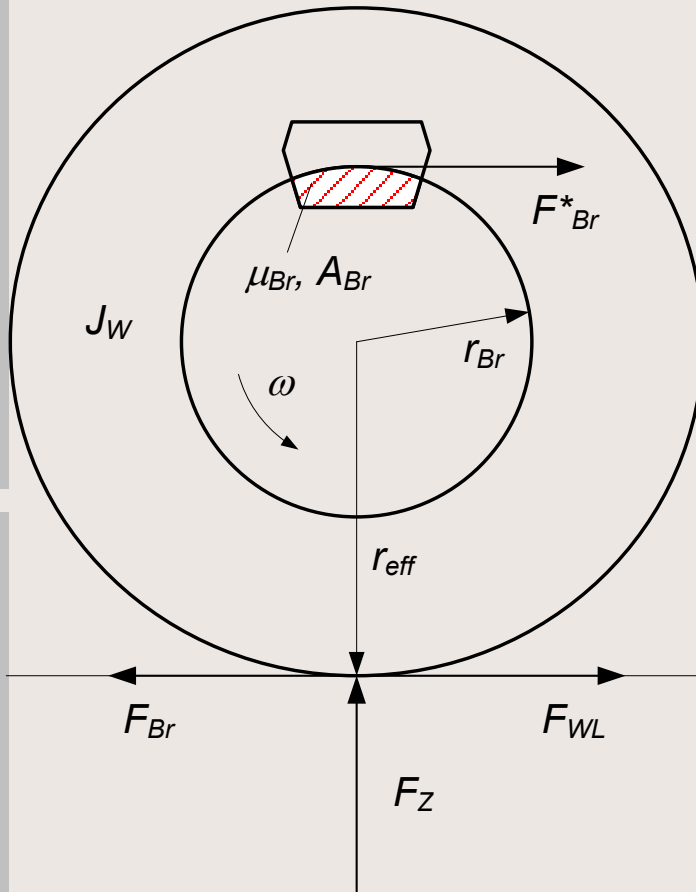
V prípade hydraulických brzd je brzdňý moment na kotúči vytváraný brzdňým tlakom

$$T_{Br} = F_{Br} \cdot r_{eff} = r_{Br} \cdot \mu_{Br} \cdot A_{Br} \cdot p_{Br} = r_{eff} \cdot k_{Br} \cdot p_{Br}$$

Odhliadnuc od momentu pohonu je momentová rovnováha

$$J_W \dot{\omega} = r_{eff} \cdot \mu_L(s_L) \cdot F_Z - r_{eff} \cdot k_{Br} \cdot p_{Br}$$

Momentová rovnováha v mieste styku kolesa a povrchu vozovky



F^*_{Br} Brzdná sila na kotúči

r_{eff} efektívny brzdný polomer

μ_{Br} koeficient trenia na brzdom obložení

A_{Br} plocha brzd

p_{Br} brzdný tlak

F_{Br} Brzdná sila na kolese v mieste kontaktu

$F^*_{Br} \cdot r_{Br} / r_{eff}$

T_{Br} Brzdný moment na kolese v mieste kontaktu

ω uhlová rýchlosť kolesa

J_W moment zotrvačnosti kolesa

F_Z styková sila medzi kolesom a podložkou

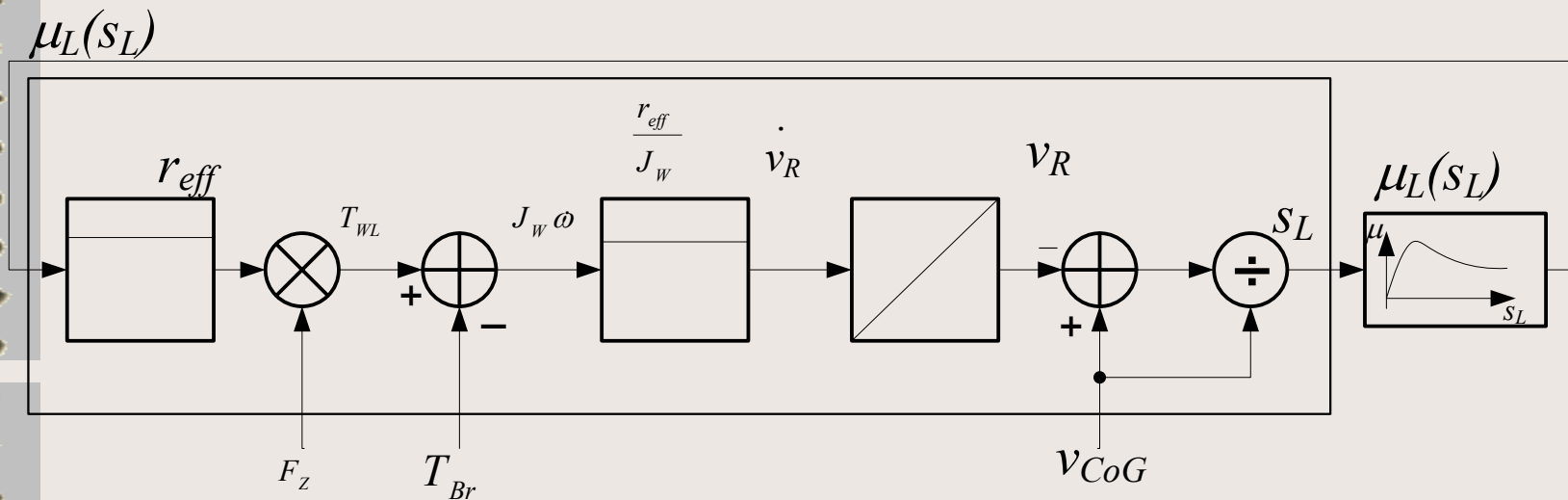
F_{WL} trecia sila $\mu_L(s) \cdot F_Z$

T_{WL} trecí moment $r_{eff} \cdot F_{WL}$

Riadenie ABS

Táto rovnica sa dá schematicky vyjadriť

Bloková schéma vyvažovania momentu



Riadenie ABS

Pôsobením brzdneho tlaku p_{Br} brzdny moment T_{Br} narastá. Rozdiel medzi trecim momentom T_{WL} a brzdny momentom T_{Br} na kolese vedie k decelerácii. Ekvivalent rotačnej rýchlosti v_R (po integrovaní v [obr](#)) sa začína znižovať a to vedie k nárastu sklzu s_L . Spočiatku koeficient trenia $\mu_L(s_L)$ prudko narastá, vytvára trecí moment T_{WL} , ktorý znižuje diferenciu momentov.

Prekročením maxima koeficienta trenia, sa mení znamienko gradientu (prvá derivácia). Tým sa slučka stáva *nestabilná*, čo by bez riadenia viedlo k prudkému zníženiu otáčok koleasa, k jeho zablokovaniu.

Riadenie ABS

Riadiace cykly ABS systému

Riadiace cykly sú znázornené na obr. Pri brzdení vodič zvyšuje brzdný tlak (Fáza 1).

Na získanie akcelerácie (zrýchlenia) \dot{v}_{Rij} sa merá rotačný ekvivalent rýchlosti kolesa v_{Rij} . Bod maxima koeficienta trenia je prekročený ak derivácia rýchlosti kolesa klesne pod daný prah a_1 .

$$\dot{v}_R < -a_1$$

V úplne prvom riadiacom cykle je dokonca uplatnený nižší prah a_2 . Medzi prahmi a_1 a a_2 sa brzdný tlak udržiava na konštantnej úrovni (Fáza 2). Zavedenie ďalšieho prahu a_2 slúži na potlačenie rušivých vplyvov. Pre

$$\dot{v}_R < -a_2$$

Sa brzdný tlak znižuje (Fáza 3)

Riadenie ABS

Koleso nabera znovu rychlost'. Ked' sa znovu dosiahne a_1 pokles tlaku sa zastavi (Fáza 4). Ak derivacia rychlosti prekroci a_4

$$\dot{v}_R > a_4$$

Brzdny tlak sa zvacsuje cim sa zamedzuje aby sa sklz nedostal na velmi nizke hodnoty (Fáza 5). Pri hodnotach derivacie rychlosti medzi

$$a_4 > \dot{v}_R > a_3$$

je tlak udrziovany na konstantnej úrovni (Fáza 6) a pod

$$\dot{v}_R < a_3$$

mierne narasta (Fáza 7). Ak derivacia rychlosti klesne pod a_1

$$\dot{v}_R < -a_1$$

zacina sa druhy riadiaci cyklus. Teraz sa brzdny tlak znizi okamzite bez cakania na dosiahnutie prahu a_2 (druhá fáza 3).

Prechadzanim tychto cyklov sa otacanie kolesa udrziava v takom sklze, ktorý odpoveda maximu koeficienta trenia.

Riadenie ABS

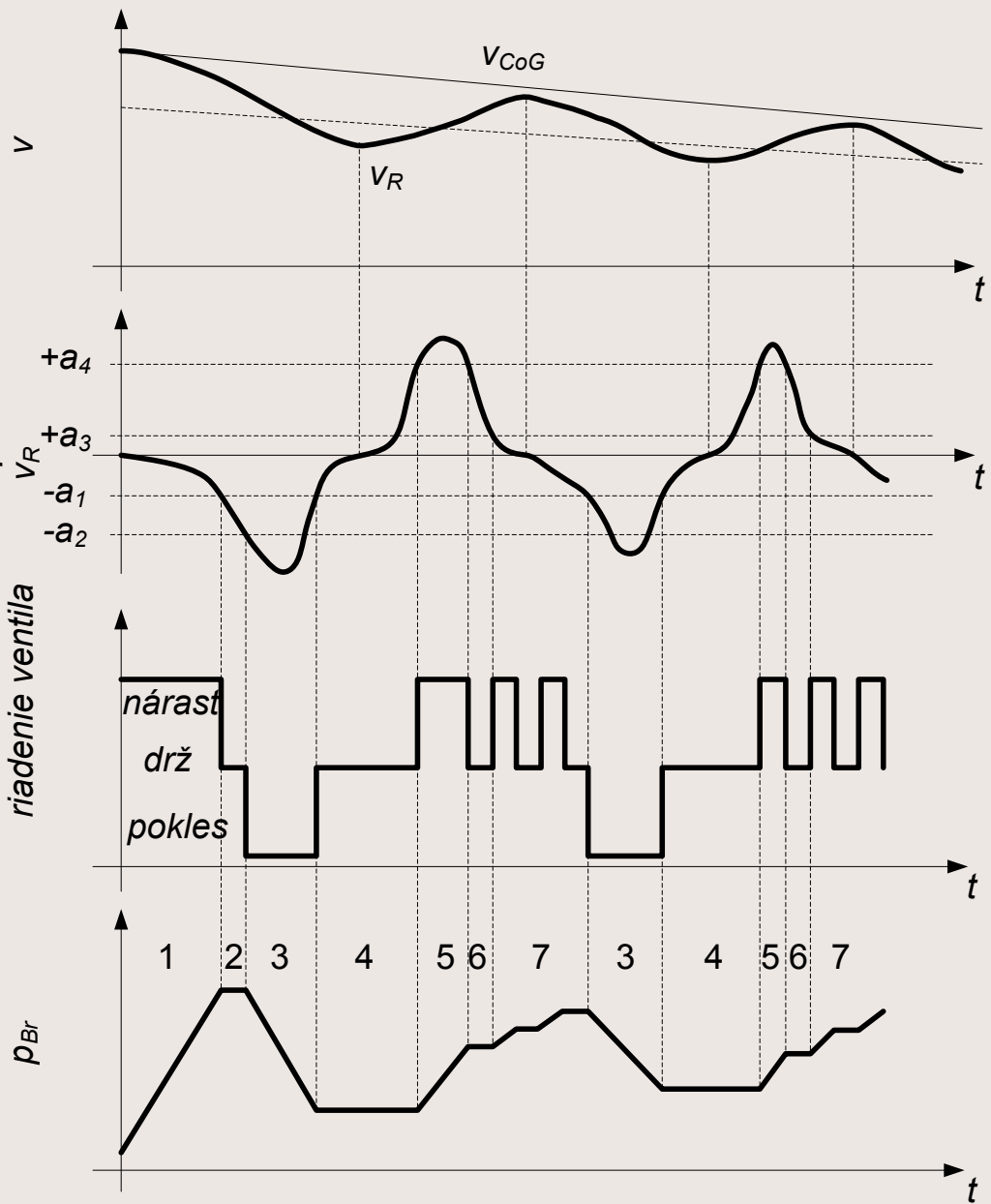
V prípade veľkého momentu zotrvačnosti J_W kolesa s malým koeficientom trenia $\mu_L(s_L)$ a pomalým nárastom brzdného tlaku (v dôsledku opatrného brzdenia, napr. na zľadovatelej vozovke) sa môže koleso zablokovat' bez dosiahnutia prahu decelerácie $-a_1$. Takáto situácia by mohla ohroziť ovládateľnosť vozidla. Preto, nezávisle od predchádzajúcich riadiacich cyklov je brzdný tlak znížený ak rotačný ekvivalent rýchlosti klesne pod

$$v_R < (1-s_{L,max})v_{CoG}$$

Za žiadnych podmienok nebude maximálny sklz $s_{L,max}$ prekročený aj keď sa nedosiahne maximálny koeficient trenia $\mu_L(s_L)$.^{1a}

Predné kolesá vozidla sú riadené nezávisle, zatiaľ čo zadné spoločne dostávajú nižší tlak. To zabezpečí stabilitu riadenia.

Riadiace cykly ABS systému



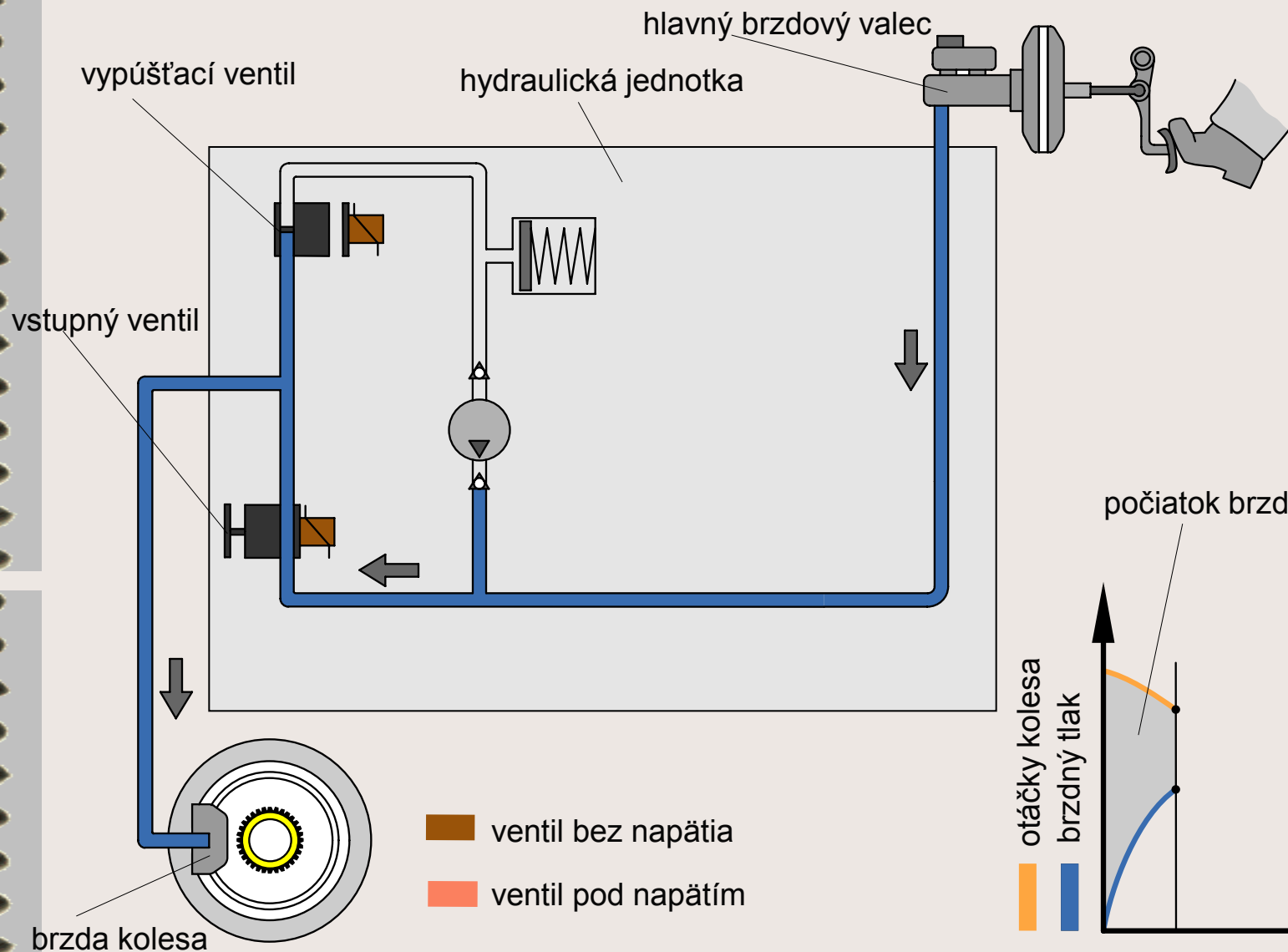
Brzdenie s protiblokovacou reguláciou

Počiatok brzdenia – fáza vytvorenia brzdného tlaku

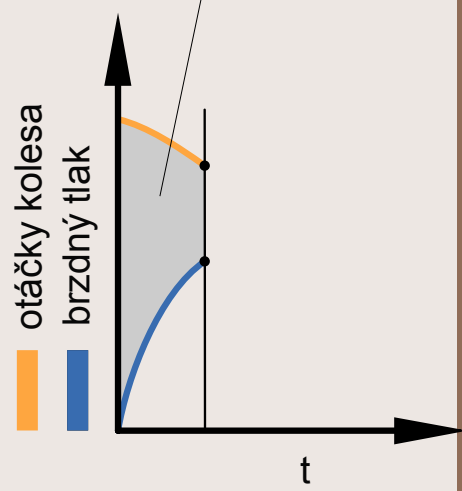
Tlak potrebný pre brzdenie sa vytvára v hlavnom brzdovom valci. Brzdny tlak postupuje cez otvorený vstupný ventil (bez napätia) k brzde kolesa. Vypúšťací ventil je uzavretý (je tiež bez napätia).

Otáčky kolesa sa znižujú až do okamihu, keď riadiaca jednotka ABS, na základe signálu zo snímača otáčok, rozpozná tendenciu kolesa k blokovaniu .

Brzdenie s protiblokovacou reguláciou



počiatok brzdenia



Brzdenie s protiblokovacou reguláciou

Fáza udržiavania brzdného tlaku na stálej hodnote

Hneď čo je rozpoznáný sklon kolesa k blokovaniu, je treba zabrániť ďalšiemu zvyšovaniu brzdného tlaku. Na vstupný ventil sa privedie napätie, čím sa vstupní ventil uzavrie.

Vypúšťací ventil zostáva aj naďalej bez napätia. Je tiež uzavretý.

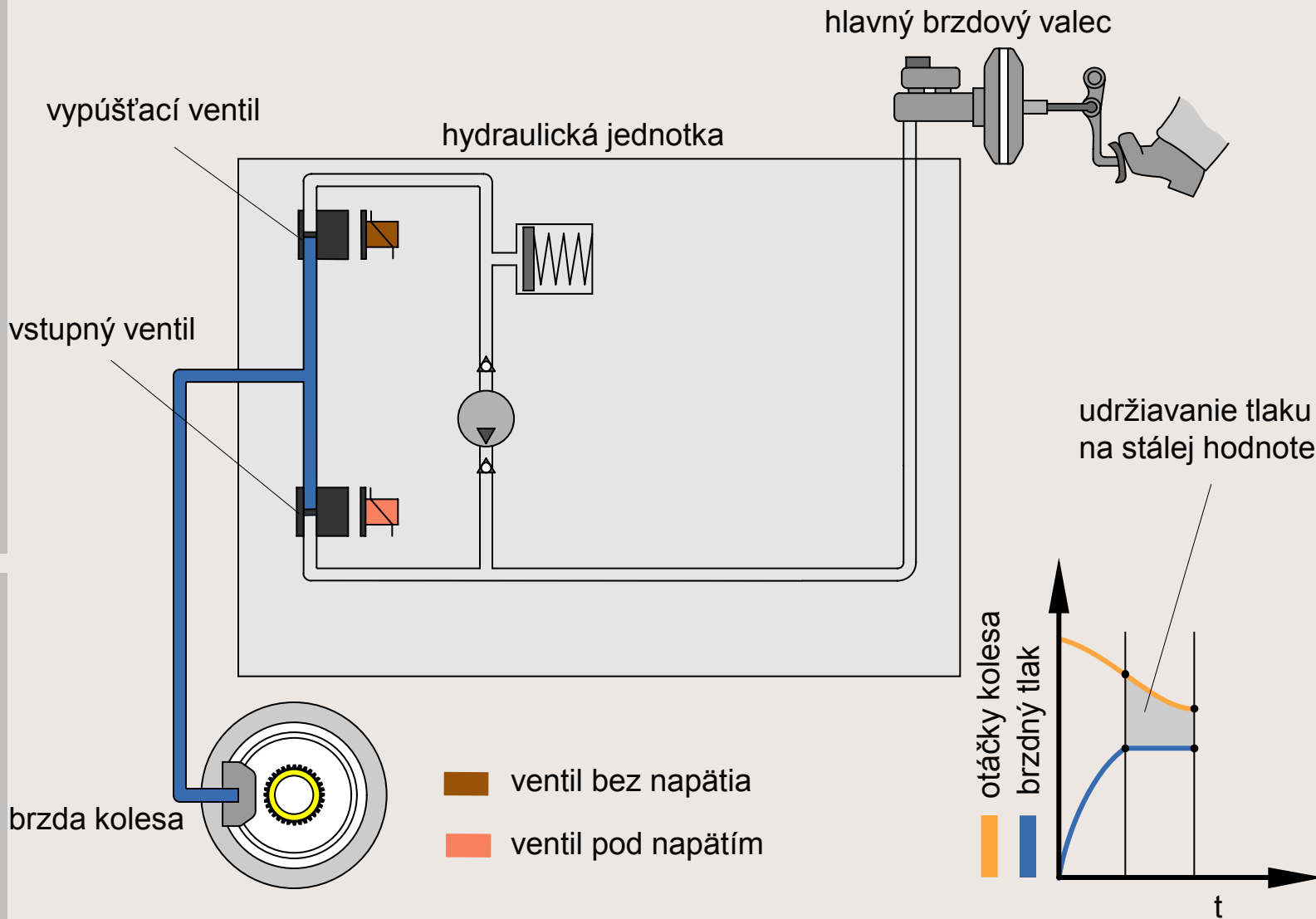
Brzdny tlak medzi vstupným a vypúšťacím ventilom zostáva v tejto fáze konštantný (nemenný).

Pozn.:

Konštrukčná zvláštnosť:

Vstupný ventil bez napätia - otvorený. Vypúšťací ventil bez napätia - uzavretý. Toto konštrukčné riešenie má veľký význam, lebo umožňuje vytvárať brzdny tlak aj bez ABS.

Brzdenie s protiblokovacou reguláciou



Brzdenie s protiblokovacou reguláciou

Fáze poklesu brzdného tlaku

Ak počet otáčok kolesa ďalej klesá aj napriek tomu, že brzdný tlak zostáva konštantný, sklon kolesa k blokovaniu pretrváva.

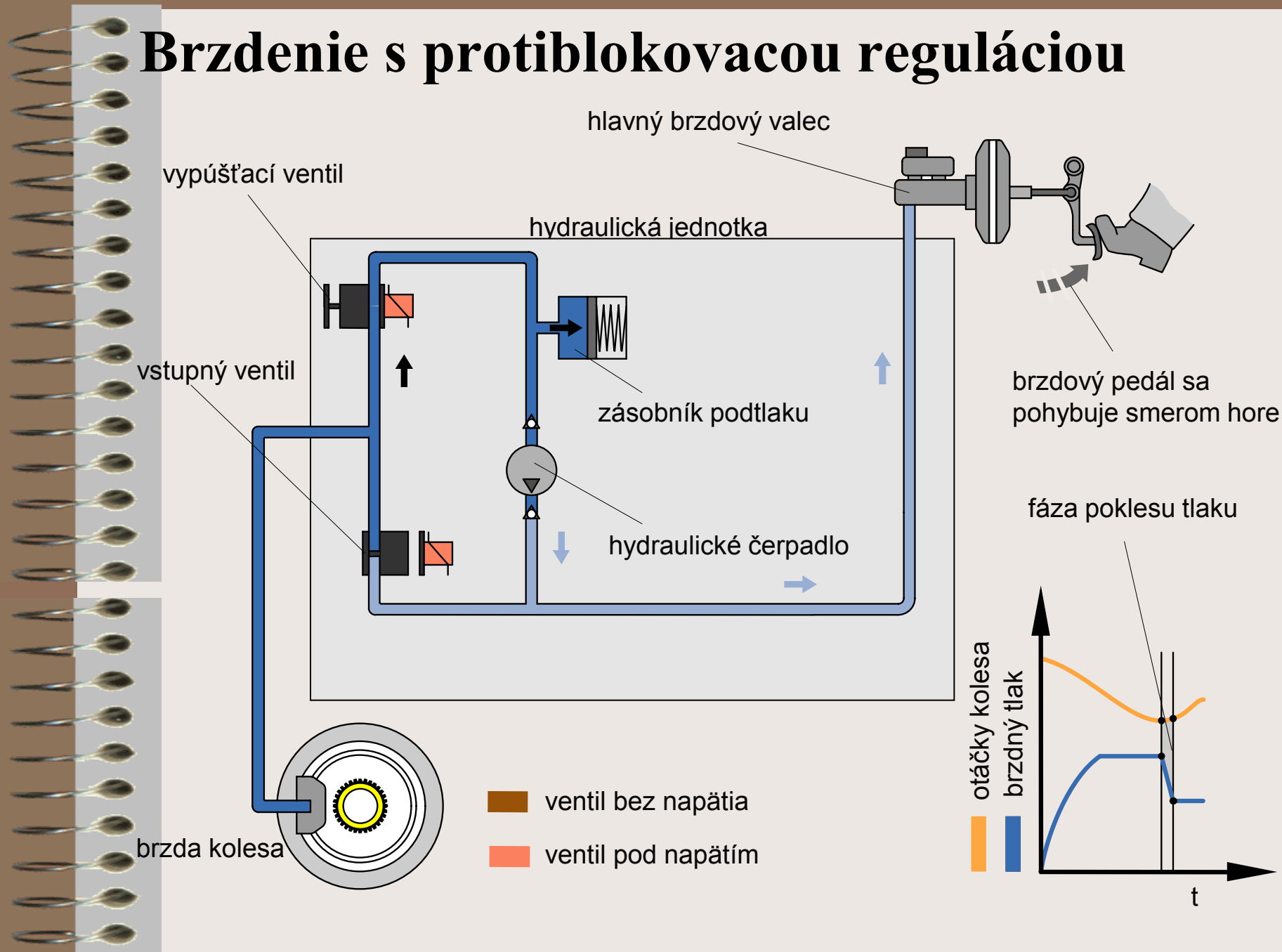
Je preto potrebné brzdný tlak znížiť. Na vypúšťací ventil sa privedie napätie. Ventil sa otvorí a brzdný tlak sa prostredníctvom zásobníka podtlaku zníži. Na vstupnom ventile napätie zostane, tzn., že vstupný ventil je aj ďalej uzavretý.

Rozbehne sa hydraulické čerpadlo, ktoré dopraví zo zásobníka podtlaku brzdovú kvapalinu do hlavného brzdového valca.

Brzdový pedál sa v tomto okamihu pohybuje smerom hore.

Otáčky kolesa so sklonom k blokovaniu sa opäť zvýšia.

Brzdenie s protiblokovacou reguláciou



Brzdenie s protiblokovacou reguláciou

Fáza zvýšenia brzdného tlaku

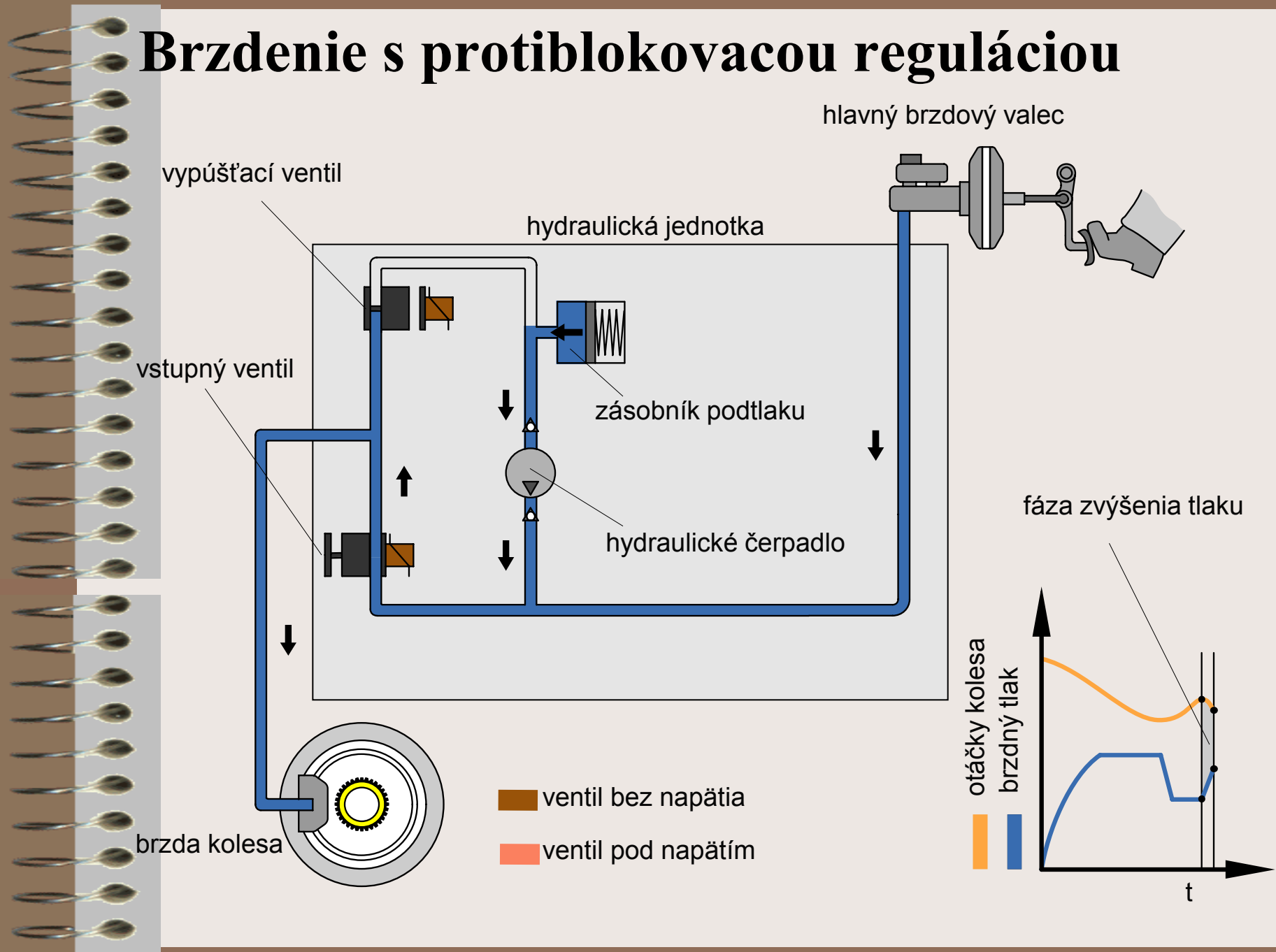
Aby proces brzdenia prebiehal optimálne, je potrebné, aby od určitého počtu otáčok kolesa opäť došlo k zvýšeniu brzdného tlaku.

Na vstupný ventil sa prestane privádzať napätie. Ventil sa otvorí. Tiež na vypúšťací ventil sa prestane privádzať napätie. Vypúšťací ventil sa zavrie.

Hydraulické čerpadlo ABS beží ďalej. Odsáva zvyšnú brzdovú kvapalinu zo zásobníka podtlaku a dopravuje ju do brzdového okruhu = hydraulická podpora brzdného tlaku. Narastajúcim brzdovým tlakom bude koleso opäť brzdené. Počet otáčok kolesa sa začne zase znižovať.

Uvedené fázy regulácie Anti-Blokovacieho-Systemu sa na kolese opakujú 5 až 6 krát za sekundu. Regulácia je zrejmá z pulzujúceho brzdového pedálu.

Brzdenie s protiblokovacou reguláciou



ABS komponenty (Bosch)

Senzor otáčok kolies

Často indukčný alebo magnetorezistívny snímač otáčok poskytuje riadiacej jednotke (ECU) informáciou o otáčkach kolesa.

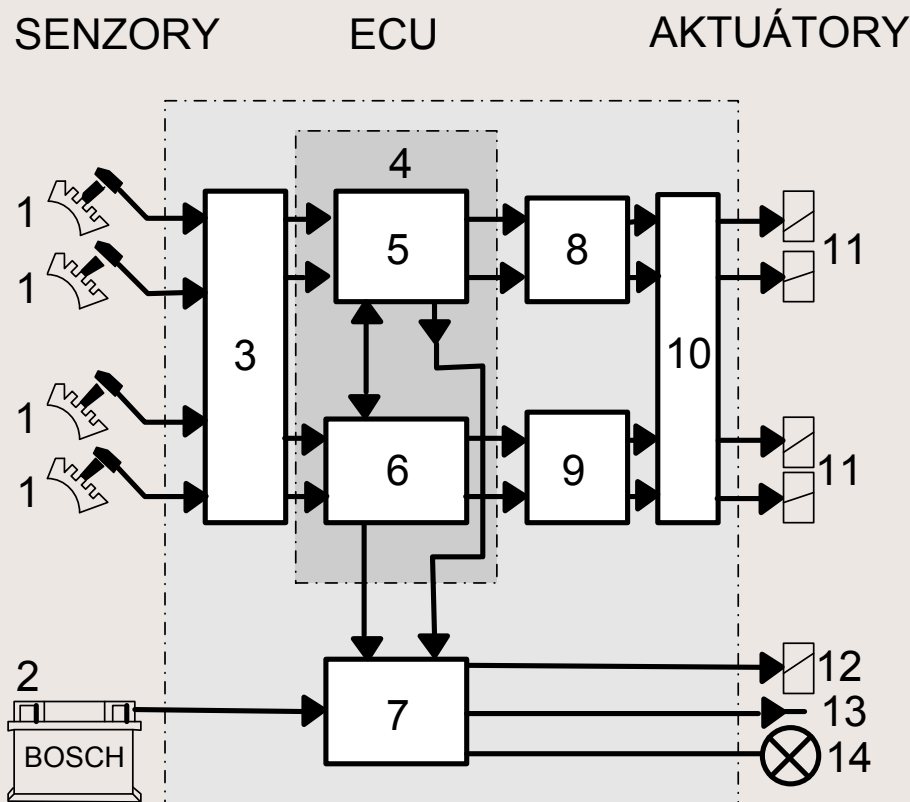
ECU so špecifickými LSI (integrovanými obvodmi) pre použitie v automobiloch

ECU zobrazená blokovo v 4- kanálovom systéme prijíma, filtruje a zosilňuje signály snímačov otáčok a zisťuje z nich stupeň sklzu kolesa a zrýchlenie individuálnych kolies ako aj referenčnú rýchlosť, ktorá je čo najlepším možným prepočtom dráhovej rýchlosti vozidla .

Vstupný obvod

Vstupný obvod pozostáva z dolnopriepustných filtrov a vstupného zosilňovača; obvod potláča interferencie a zosilňuje signály zo senzorov otáčania kolies. (Kanály 1...4)

ECU (Bosch, 4-kanálová konfigurácia)



1 snímač otáčok kolesa, 2 batéria, 3 vstupný obvod, 4 číslicový radič
5 LSI obvod 1, 6 LSI obvod 2, 7 stabilizátor napätia / pamäť chýb,
8 výstupný obvod 1, 9 výstupný obvod 2, 10 výstupný stupeň, 11
solenoidové ventily, 12 bezpečnostné relé, 13 stabilizované napätie
batérie, 14 kontrolka.

ABS komponenty (Bosch)

Číslicový radič

Číslicový radič sa skladá v prípade ABS2S z dvoch identických, ale nezávislých LSI obvodov, z ktorých každý spracúva informácie z dvoch kolies (kanály 1+2 alebo 3+4) súčasne a uskutočňujú logické operácie. Ako náhle sú spracované, údaje o frekvencii kola vstupujú do sériovej aritmeticko - logickej jednotky. Táto logická jednotka, následne, používa údaje pre výpočet hodnoty sklzu kola a obvodové spomalenie alebo obvodové zrýchlenie požadované pre riadenie v uzavretom regulačnom obvode. Samo adaptujúca sa, zložitá riadiaca logika konvertuje riadiace signály na príkazy pre zmenu pozície solenoidových ventilov. Sériové rozhranie prepája vstup, aritmeticko- logickú jednotku a riadiacu logiku a udržiava dátovú komunikáciu medzi dvomi digitálnymi LSI obvodmi.

ABS komponenty (Bosch)

Zároveň iný funkčný blok obsahuje monitorovacie obvody pre rozpoznávanie chýb a analýzu. V prípade zlyhania ECU, kontrolka oznámi vodičovi, že ABS už nie je funkčné. Napriek tomu, brzdová sústava si zachováva plnú schopnosť normálnej prevádzky keď ABS je deaktivované.

Výstupné obvody

Dva výstupné obvody pracujú ako regulátory prúdu solenoidových ventilov pre kanály 1 + 2 a 3 + 4 na základe príkazov z LSI obvodov.

Výstupný stupeň

Výstupný (koncový) stupeň využíva pre budenie solenoidov výstupy z regulátorov prúdu v dvoch výstupných obvodoch.

ABS komponenty (Bosch)

Napät'ový stabilizátor, chybová pamäť

Tento funkčný blok stabilizuje napájacie napätie a monitoruje ho či je v toleranciách požadovaných pre spoľahlivú prevádzku. Blok tiež rozpoznáva pokles napätia. Pri nízkom napätí palubnej siete vypne jednotku, ako aj relé a zapne výstražné svetlo riadiaceho obvodu.

ECU jednotka s mikroprocesormi

Namiesto špeciálnych LSI obvodov pre automobily, má tato riadiaca jednotka dva mikroprocesory, ktorých úlohou je spracovanie signálu, "chod" riadiaceho programu a monitorovanie činnosti súčastí systému ABS. Jednotka tiež vykonáva diagnostiku v súlade s normami ISO, umožňujúcu lokalizovať chybné ABS komponenty buď prostredníctvom výstražnej signalizácie alebo "inteligentného" testera.

ABS komponenty (Bosch)

Použitie mikroprocesorov umožňuje docielenie významnej optimalizácie riadiacich algoritmov začlenením používateľského nastavenia podľa vozidla a požiadaviek vodiča. Napríklad, presnejšia kalkulácia sklzu kolesa umožňuje včasné zistenie nadbytočného brzdovania zadného kolesa, ktoré môže byť korigované okamžitými zmenami brzdového tlaku s tým výsledkom, že na určitých vozidlách nie je žiaduci obmedzovač brzdového tlaku zadného kolesa. Tým dosiahneme lepšie celkové zabrzdzenie vozidla (elektronické rozdelenie brzdnej sily na nápravy vozidla).

Ďalšia hybridizácia elektronických prvkov prispela k značnému redukovaniu ich počtu a týmto aj k zmenšeniu rozmerov riadiacej jednotky.

ABS komponenty (Bosch)

Hydraulický modulátor (ABS2S aj ABS5S, II aj X distribúcia)

Hydraulický modulátor každého okruhu pozostáva z:

- vratného čerpadla **P**, poháňaného elektrickým motorom,
- akumuláčnej komory **S** (zásobník),
- tlmiacej komory **D** a
- rôznych solenoidových ventilov.

Vratné čerpadlo **P**:

Vracajú brzdovú kvapalinu z brzdových valcov kolesa do hlavného valca.

Akumulátor **S**:

Akumulátory slúžia na dočasné uchovanie veľkého množstva brzdovej kvapaliny, čoho sprievodným znakom je redukcia tlaku

ABS komponenty (Bosch)

Tlmiaca komora **D**:

Tlmiče a ich škrtiace prvky slúžia na vyhladzovanie vysokých hodnôt pulzácie ktoré sa vytvárajú počas návratu brzdovej kvapalina do hlavného valca. Zabezpečujú aby sa znížila hlučnosť na minimum.

3/3 solenoidový ventil na ABS2S:

Každému kolesu je pridelený 3/3 solenoidový ventil. Tento ventil slúži na modulovanie tlaku v brzdových valčekoch počas činnosti ABS. Tato modulácia prebieha v 3 režimoch (vytvoriť , držať , redukovať)

2/2 solenoidovi ventil na ABS5:

Každému kolesu prislúcha EV/AV pár ventilov, ktorým je možné dosiahnuť rovnaký modulačný režim tlaku. Okrem účinku tlmiacej komory, PWM riadením 2/2 solenoidových ventilov je možné v brzdových valčekoch dosiahnuť zmeny tlaku s vyšším stupňom komfortu vodiča v zmysle zníženia hluku, vibrácii a odozvy pedálu.

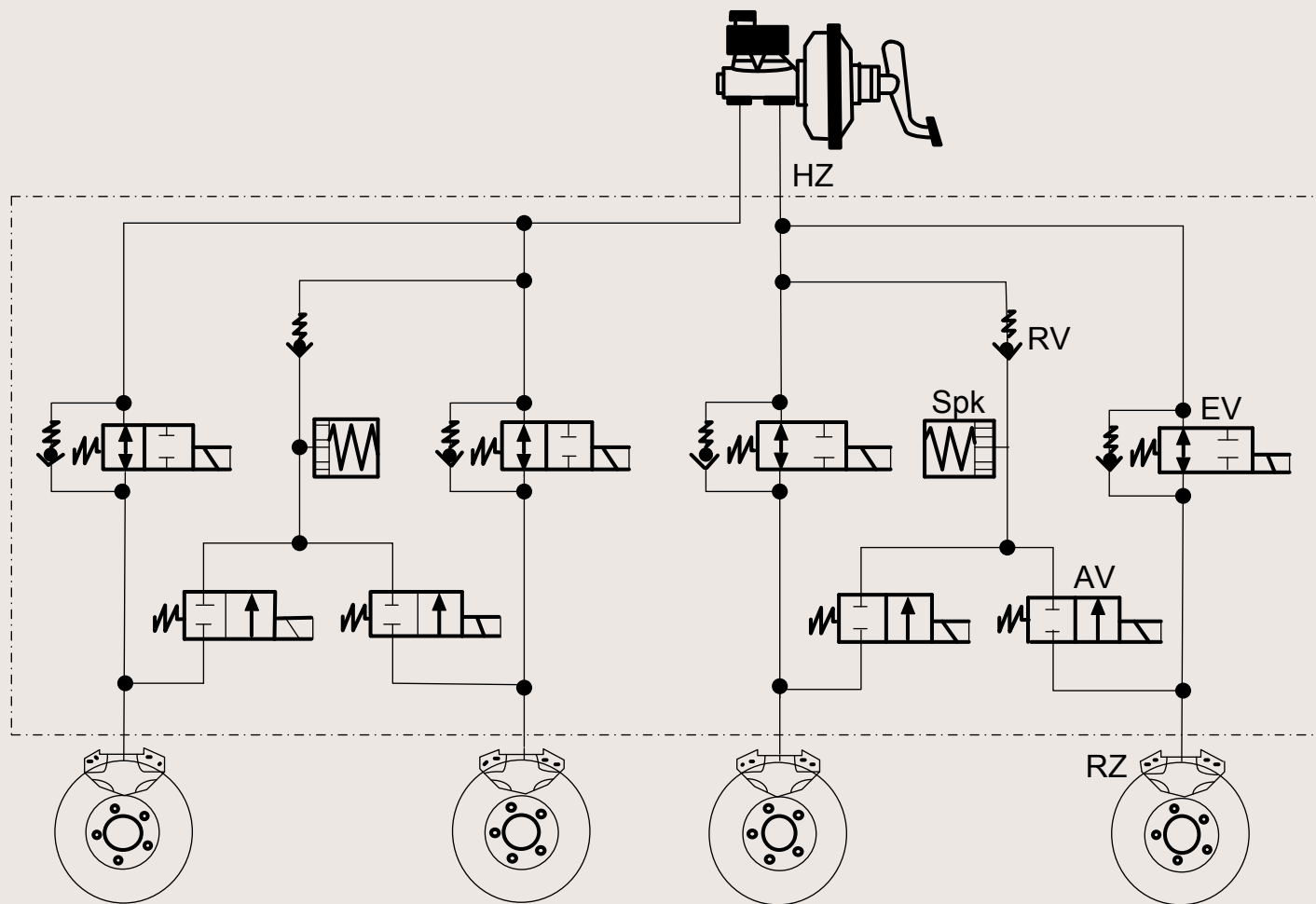


Schéma ABS bez vratného čerpadla (Denso)

EV vstupný ventil, AV vypúšťací ventil, Spk akumulátorová komora, RV jednocestný ventil, HZ hlavný valec, RZ brzdový valček kola

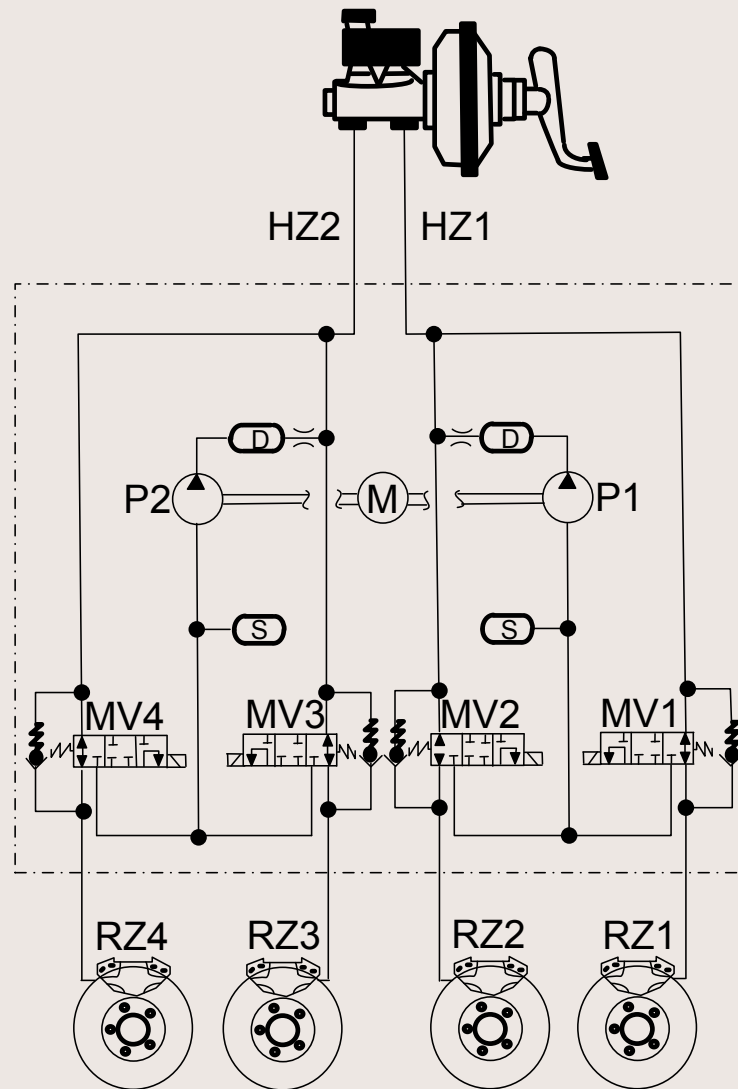
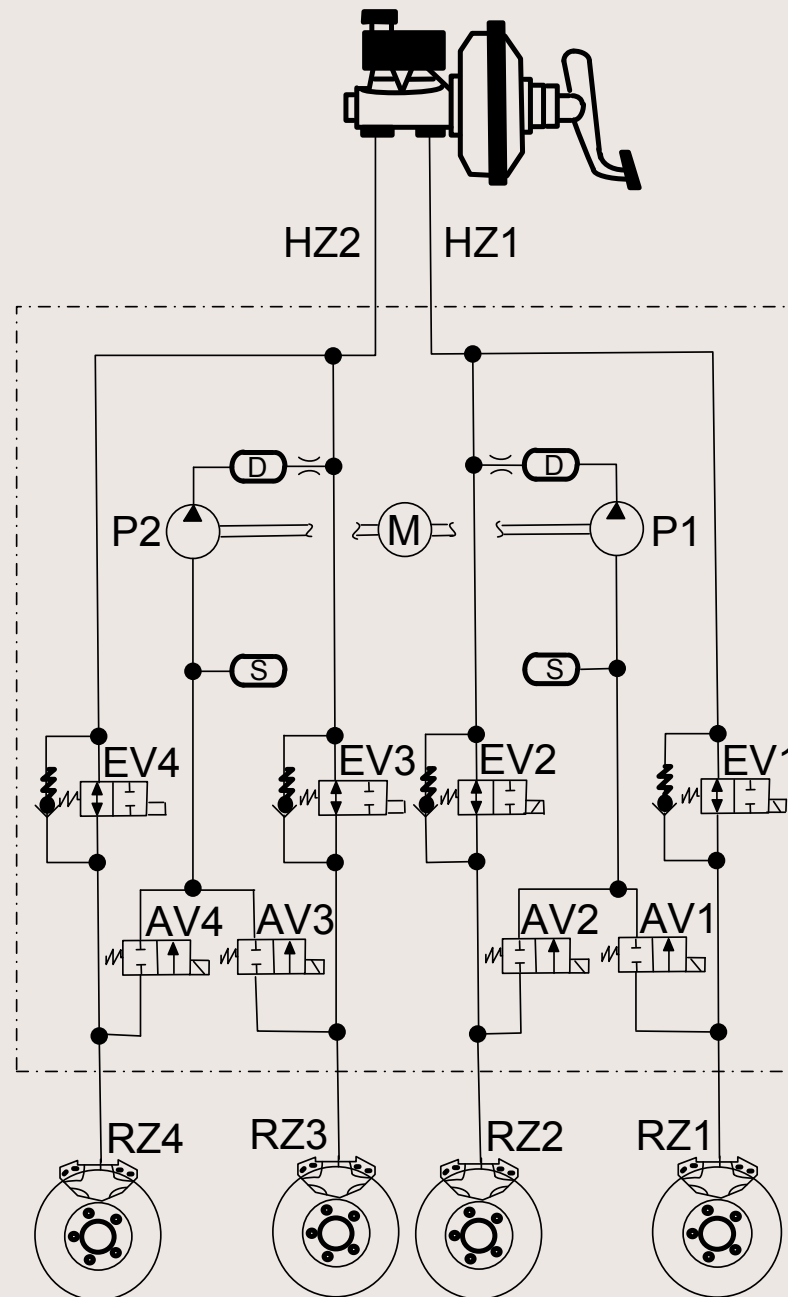


Schéma ABS2S

HZ hlavní valec, M elektrický motor, P čerpadlo, D tlmič,
 S akumulátor, MV 3/3 solenoidový ventil, RZ brzdový valček kola

Schéma ABS5S

HZ hlavní valec,
EV 2/2 vstupný ventil,
AV 2/2 vypúšťací ventil, M
elektrický motor,
P čerpadlo,
D tlmič,
S akumulátor,
RZ brzdový valček kola

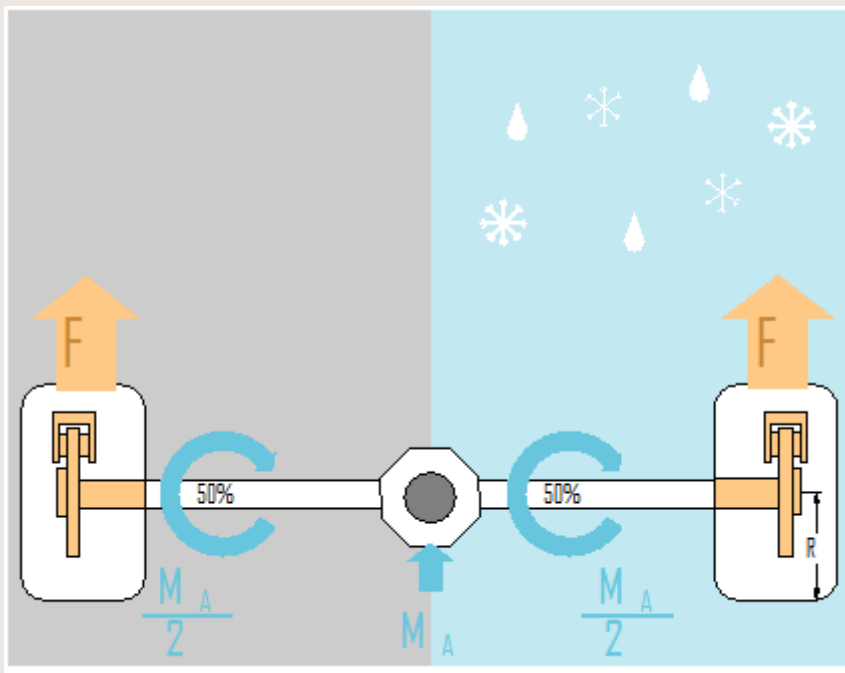


EDS

elektronická uzávierka diferenciálu

Teoretické predpoklady

Pri diferenciálnom pohone pôsobí, za predpokladu dostatočne veľkého trenia medzi pneumatikou a vozovkou, na každom hnacom kolese 50 % hnacieho momentu M_A . V prípade, že je jazdný pruh na jednej strane klzký, určuje veľkosť prenášaného hnacieho momentu $1/2 \cdot M_A$ koleso s nižším súčiniteľom trenia. Ak je polomer kolies R , sú výsledkom hnacích momentov $1/2 \cdot M_A$ sily F .



$$F_{\text{celk. 1}} = F + F$$

Koleso na časti vozovky s dostatočne veľkým trením však môže preniesť len takú veľkú hnaciu silu, akú dovoľuje koleso, na časti s nižšou priľnavosťou. Preto môže byť oboma kolesami prenesená len časť hnacej sily, ktorú poskytuje motor. Výsledkom prenosu je celková dopredná sila $F_{\text{celk. 1}}$, ktorá je daná súčtom oboch hnacích síl F .

Ak dôjde k prekročeniu hranice priľnavosti, začne sa koleso (tu pravé) pretáčať.

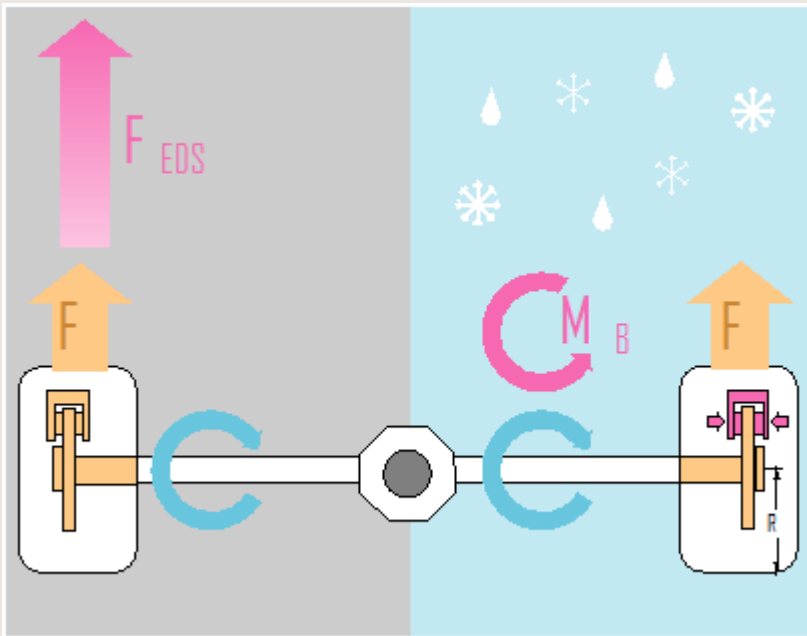
Pretáčanie kolesa ihneď zaznamená snímač otáčok a informáciu o tom predá riadiacej jednotke ABS/EDS.

Riadiaca jednotka ABS/EDS dá pokyn k miernemu a kontrolovanému pribrzdeniu kolesa.

Tým sa vytvorí brzdný moment M_B .

Koleso, ktoré sa nepretáčalo, môže teraz preniesť prídavnú doprednú silu F_{EDS} , ktorá je výsledkom pôsobenia brzdneho momentu M_B na polomere R .

Výsledkom je väčšia ťažná sila vďaka prídavnej hnacej sile F_{EDS} . Celková dopredná sila je teraz $F_{celk. 2}$.

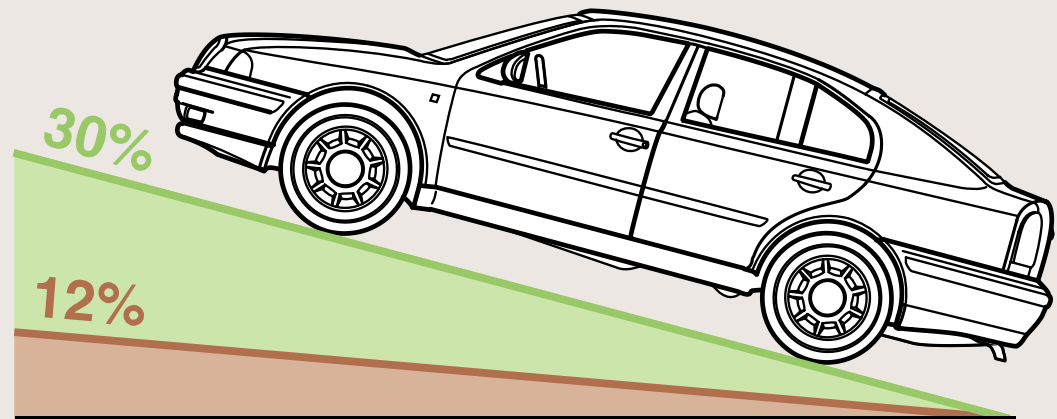
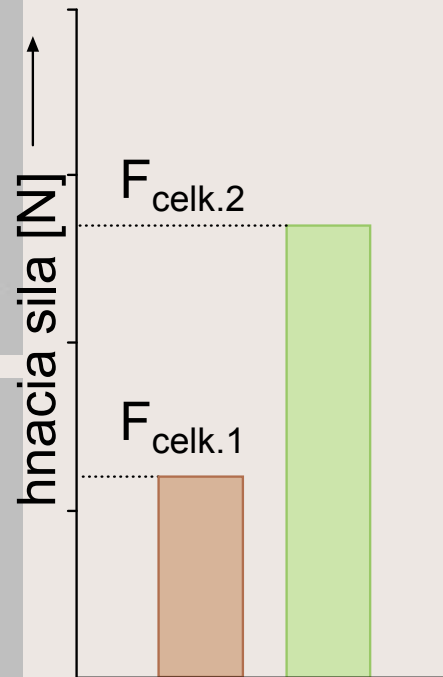




$$F_{EDS} = M_B / R$$

$$F_{celk. 2} > F_{celk. 1}$$

$$F_{celk. 2} = F + F + F_{EDS}$$

Hnacia sila a stúpavosť vozidiel s EDS a bez EDS na jednostranne klzkej vozovke



-  pohon predných kolies s EDS
-  pohon predných kolies bez EDS

Elektronická uzávierka diferenciálu je rozšírením ABS. EDS pracuje s prvkami ABS. Rozširuje ponuku bezpečnosti a zvyšuje ťažnú silu v prípade nepriaznivého stavu vozovky - na jednej strane klzký jazdný pruh. Prednosti EDS vyniknú najmä pri rozjazde, zrýchlení alebo pri jazde do kopca na takejto vozovke. Aby bolo možné využívať agregát ABS i pre funkciu EDS, bol agregát doplnený o ďalšie ventily a elektronické prvky.

Elektronická riadiaca jednotka ABS/EDS neustále prijíma prostredníctvom snímačov otáčok kolies ABS informácie o otáčkach hnacích kolies a neustále ich vyhodnocuje. Ak zaznamená taký rozdiel v otáčkach, ktorý odpovedá pretáčaniu kolesa, bude toto koleso prostredníctvom agregátu ABS/EDS brzdou kolesa pribrzdené tak, aby sa jeho otáčky priblížili otáčkam kolesa, ktoré sa nepretáča. Tým zároveň dôjde k vytvoreniu brzdného momentu M_B , ktorý vyvolá rovnaký účinok ako skutočná mechanická uzávierka diferenciálu. Koleso, ktoré sa otáča na podklade s vyššou príľnavosťou prenesie väčšiu hnaciu silu.

Opis činnosti

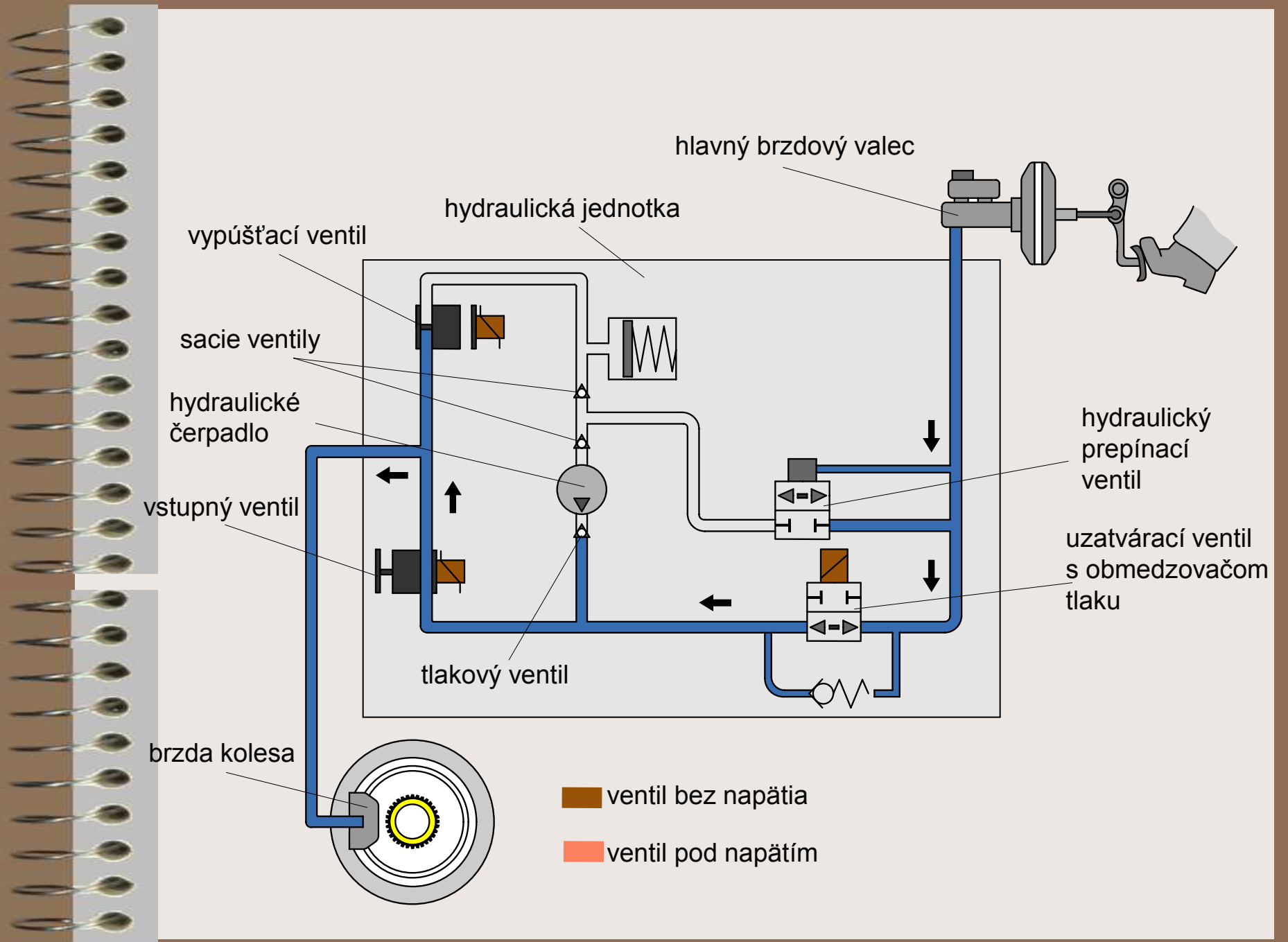
Kvôli jednoduchosti je zobrazený regulačný okruh len jedného kolesa.

Pri brzdení dochádza k vytvoreniu brzdného tlaku hlavným brzdovým valcom. Hydraulický prepínací ventil je pri vytváraní brzdného tlaku uzavretý. Uzatvárací ventil s obmedzovačom tlaku a vstupný ventil sú bez napätia. Obidva sú otvorené. Brzdny tlak sa tak cez tieto ventily dostane až k brzde kolesa.

Pozn.

Hydraulická jednotka ABS/EDS okrem ventilov ABS obsahuje ešte dva elektromagnetické ventily (uzatváracie ventily s obmedzovačmi tlaku) a dva hydraulické prepínacie ventily v brzdových okruhoch predných kolies.

Brzdenie začína zošliapnutím brzdového pedálu.



Vytvorenie tlaku pri EDS

Len čo riadiaca jednotka ABS/EDS počas zrýchľovania spozná, na základe signálov zo snímačov otáčok kolies, že sa niektoré z hnacích kolies pretáča, aktivuje funkciu EDS.

Vstupné ventily brzdových okruhov zadných kolies sa zavrú.

To znamená, že zadné kolesa nie sú funkciou EDS brzdené.

Na uzatvárací ventil s obmedzovačom tlaku sa dostane napätie a ventil sa uzavrie. Spustí sa hydraulické čerpadlo, ktoré začne dopravovať brzdovú kvapalinu z hlavného brzdového valce k brzde pretáčajúceho sa kolesa.

Pretáčajúce sa koleso začne pribrzd'ovať.

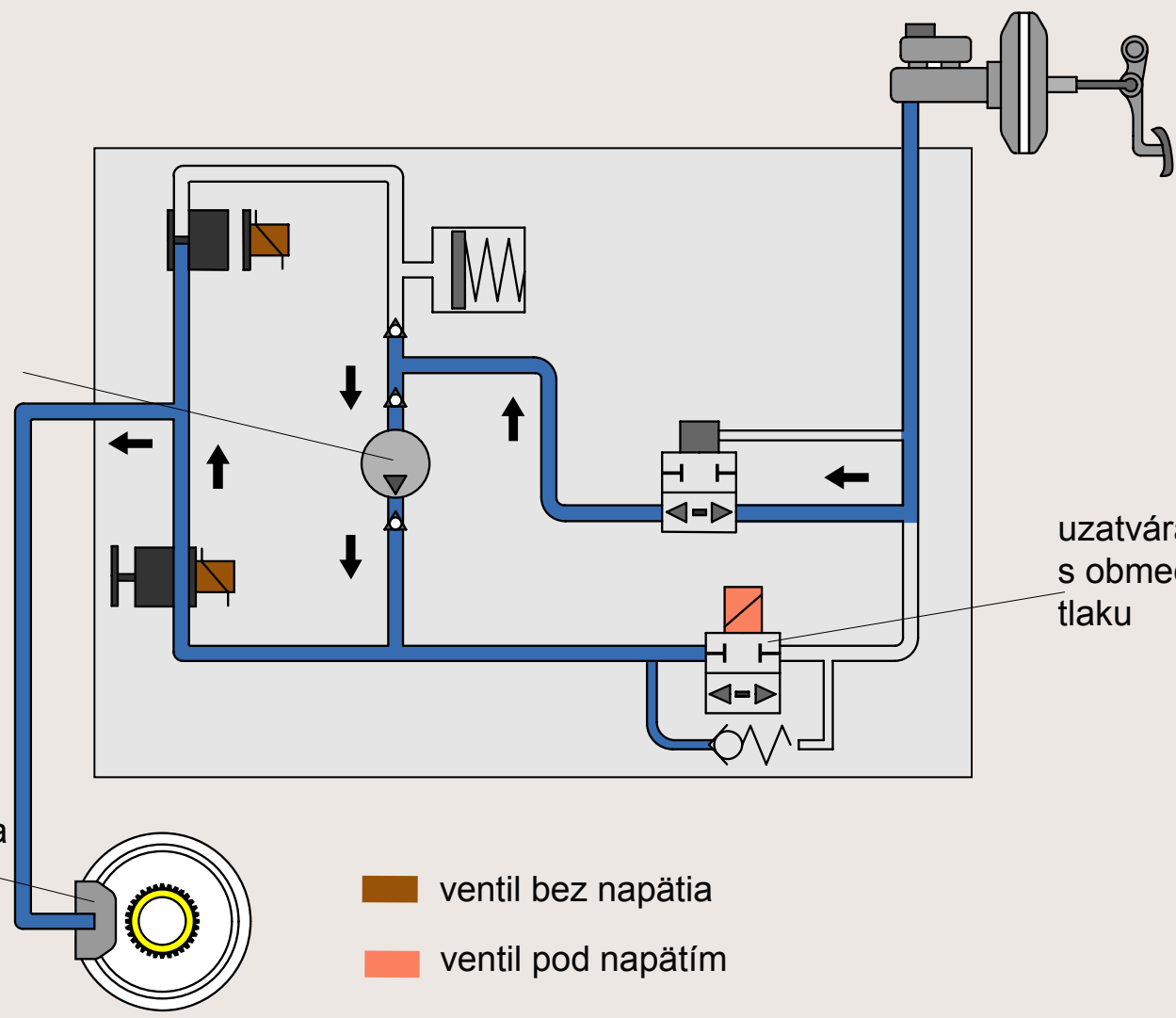
Uzavretý uzatvárací ventil zabráni, aby sa brzdová kvapalina okruhu pretáčajúceho sa kolesa vracala späť k hlavnému brzdovému valcu. Úlohou obmedzovača tlaku je obmedzovať brzdny tlak vytváraný hydraulickým čerpadlom.

hydraulické čerpadlo

brzda kola

- ventil bez napätia
- ventil pod napätím

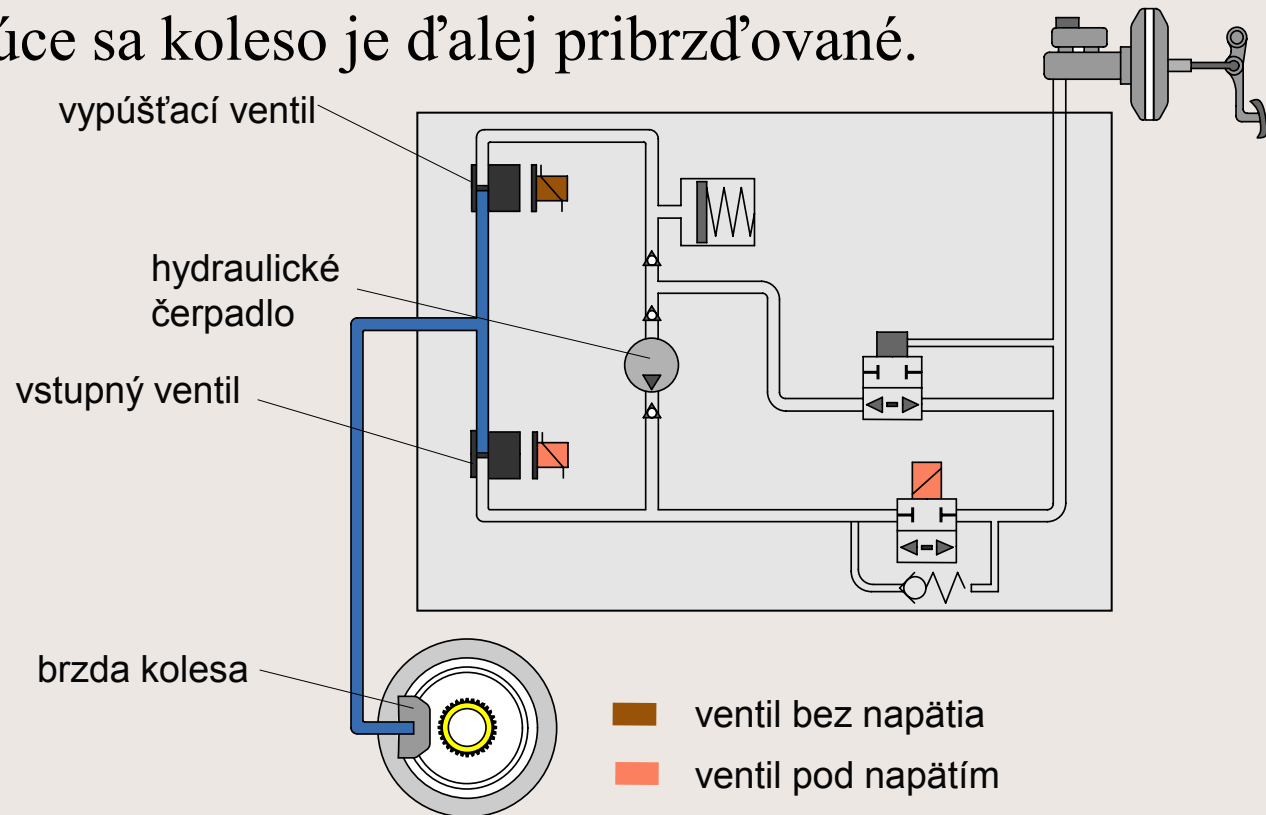
uzatvárací ventil s obmedzovačom tlaku



Fáza udržiavania tlaku na stálej hodnote pri EDS

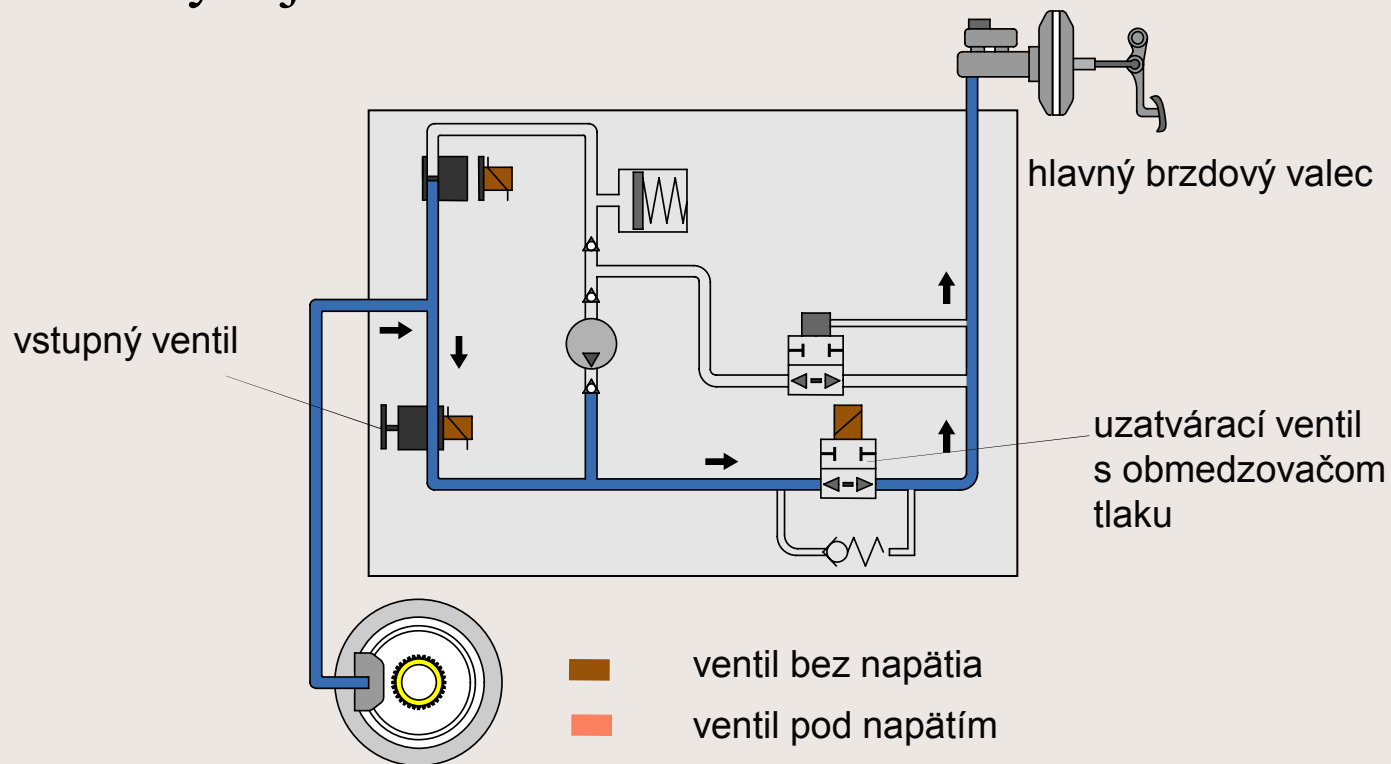
Len čo riadiaca jednotka ABS/EDS rozpozná, na základe signálov zo snímačov otáčok, že koleso už nie je viac zrýchľované, odpojí najskôr hydraulické čerpadlo, aby nebol tlak ešte viac zvyšovaný. Na vstupný ventil je privedené napätie, čím sa ventil uzavrie. Vypúšťací ventil zostáva aj naďalej bez napätia, a teda uzavretý.

Pretáčajúce sa koleso je ďalej pribrzdované.



Fáza poklesu tlaku pri EDS

Len čo riadiaca jednotka ABS/EDS v priebehu zrýchľovania rozpozná, na základe signálov zo snímačov otáčok, že sa ani jedno z hnacích kolies už nepretáča, prestane sa na vstupný ventil privádzať napätie a ventil sa otvorí. Otvorí sa aj uzatvárací ventil. Tlak tak dostane možnosť rozšíriť sa smerom k hlavnému brzdovému valcu, čím dôjde k poklesu jeho veľkosti. Tým je činnosť funkcie EDS ukončená.



ESBS

brzdový systém s elektronickou
stabilizáciou

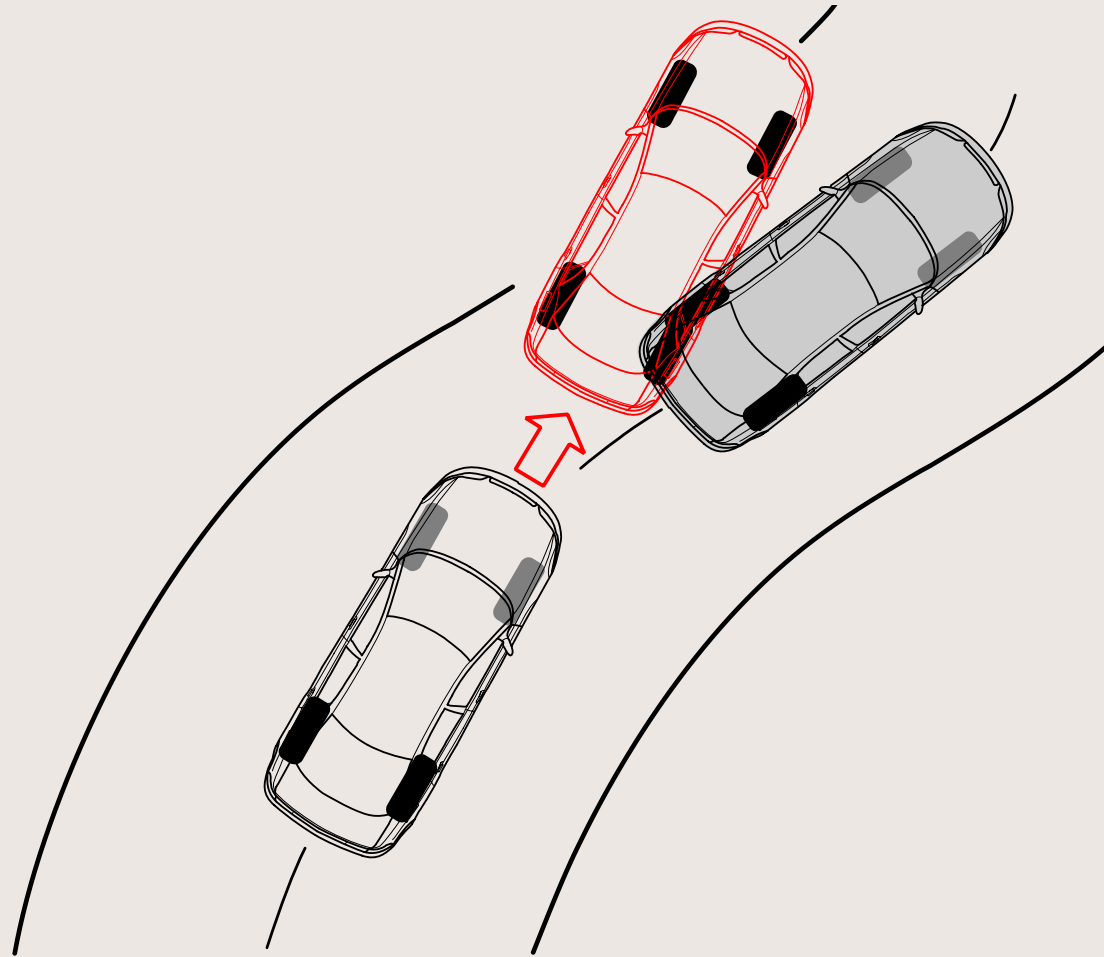
Brzdový systém s elektronickou stabilizáciou zlepšuje svojimi cieľenými zásahmi do procesu brzdenia ovládateľnosť brzdeného vozidla a jeho ľahšie udržanie v stope. Systém využíva dostupné snímače, senzory a akčné členy ABS.

ESBS predstavuje vývojovo vyššiu fázu softvéru riadiacej jednotky

Nedotáčavosť

Pod nedotáčavosťou sa rozumie pohyb vozidla smerom k vonkajšiemu okraju zákruty v dôsledku neudržania predných kolies v stope. (Typické pre vozidlá s pohonom predných kolies.) Ak sa vozidlo pri brzdení nedotáča, znamená to, že bola prekročená maximálna stranová vodiaca sila predných kolies. Vozidlo sa sunie k vonkajšiemu okraju zákruty.

Riadiaca jednotka ABS je schopná túto situáciu na základe obvodovej rýchlosti kolies rozpoznať. Sila, ktorou sú brzdené predné kolesa sa zníži natoľko, aby sa stranová vodiaca sila zvýšila na takú hodnotu, ktorá zaistí stabilitu vozidla pri jazde vo zvolenom smere.



■ plný účinok brzdnej sily

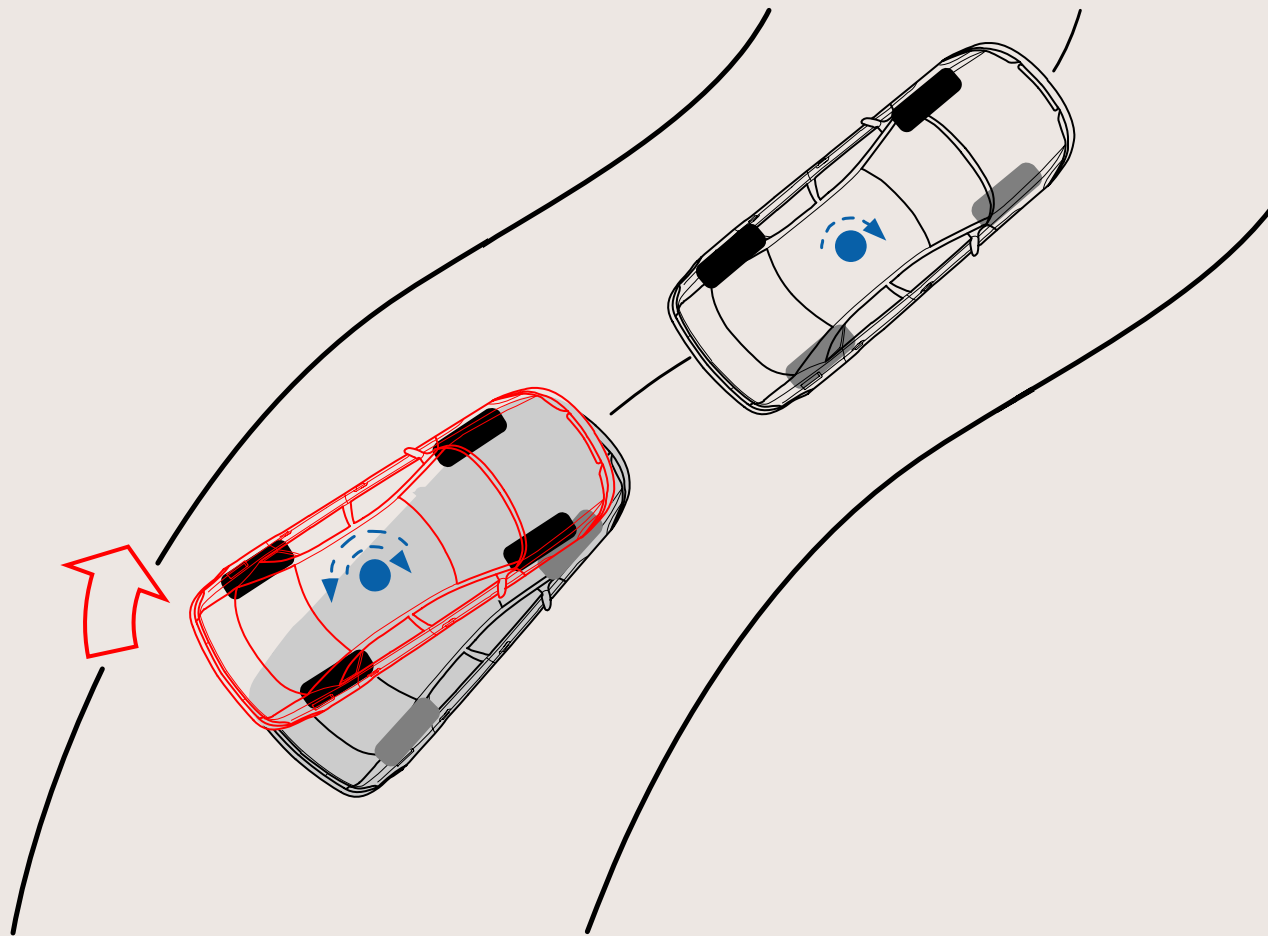
■ zásah do procesu brzdenia
zmenšená brzdná sila

← pohyb vozidla pri nedotáčaní

K nedotáčavosti, prípadne pretáčavosti vozidla môže za určitých okolností dôjsť opačne, ako by sa dalo čakať. To znamená k pretáčavosti pri vozidle s pohonom predných kolies a k nedotáčavosti pri vozidle s pohonom zadných kolies. V oboch prípadoch sa jedná o kritické jazdné stavy, ktoré vyvedú z miery aj inak skúseného vodiča. Znamenajú nechcené vychýlenie voza z plánovaného smeru.

Pretáčavosť

Pri pretáčavosti dôjde k tomu, že zadná časť voza vybočí smerom k vonkajšiemu okraju zákruty. (Typické pre vozidlá s pohonom zadných kolies.) Ak sa počas brzdenia začne auto pretáčať, znamená to, že došlo k prekročeniu maximálnej stranovej vodiacej sily zadných kolies. Zadná časť vozidla sa sunie k vonkajšiemu okraju zákruty. Riadiaca jednotka ABS je schopná túto situáciu z obvodovej rýchlosti zadných kolies rozpoznať a zaistí zmenšenie brzdnej sily na kolesách prilahlých k vnútornej strane zákruty. Stranové vodiace sily na kolesách prilahlých k vnútornej strane zákruty sa tým zvýšia a dôjde k vytvoreniu opačne orientovaného rotačného momentu zotrvačnosti. Tým sa vozidlo stabilizuje.



■ plný účinok brzdnej sily

■ zásah do procesu brzdzenia
zmenšená brzdná sila

← pohyb vozidla
pri nedotáčaní

● zvislá os vozidla

↻ rotačný moment zotrvačnosti

↻ opačne orientovaný
rotačný moment zotrvačnosti
(korekčný)

MSR

regulácia krútiaceho momentu motora
- prídavná funkcia k ABS

Tato prídavná funkcia je možná vďaka prepojeniu elektronickej riadiacej jednotky ABS s riadiacou jednotkou motora. Rozširuje sa tiež softvér oboch riadiacich jednotiek.

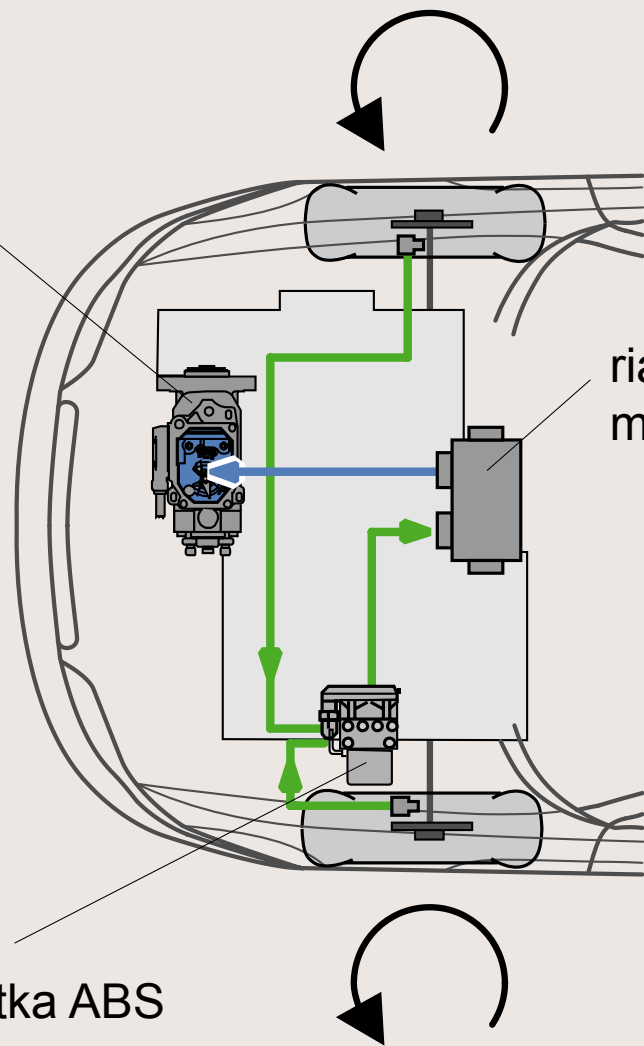
Význam regulácie krútiaceho momentu motoru

Počas decelerácie vytvára motor krútiaci moment, ktorý pôsobí na hnacie kolesá a brzdí vozidlo (tzv. brzdenie motorom). Na klzkej vozovke však môže dôjsť k tomu, že keď vodič uberie plyn alebo podradí, bude krútiaci moment vytvorený motorom taký silný, že dôjde k zablokovaniu kolies. Brzdenie motorom bude príliš intenzívne.

Spôsob regulácie

Protiblokovací systém je schopný rozoznať tendenciu hnacích kolies k blokovaniu. Cez CAN-BUS je riadiacej jednotke motora vyslaná správa, aby vydala pokyn k zvýšeniu otáčok motora. Riadiaca jednotka správu príjme a okamžite zaistí primerané zvýšenie otáčok motora. Aby sa zamedzilo sklonu hnacích kolies k blokovaniu, musí byť krútiaci moment motora dostatočne malý. Regulácia krútiaceho momentu motora je možná v celom rozsahu otáčok motora (jednoduché v prípade elektrického ovládania polohy škrtiacej klapky).

vstrekovacie čerpadlo



riadiaca jednotka motora

riadiaca jednotka ABS

The image shows the cover of a spiral-bound notebook. The cover is a light beige or tan color with a fine, woven fabric texture. On the left side, there is a silver metal spiral binding. The text is centered on the cover in a black, serif font.

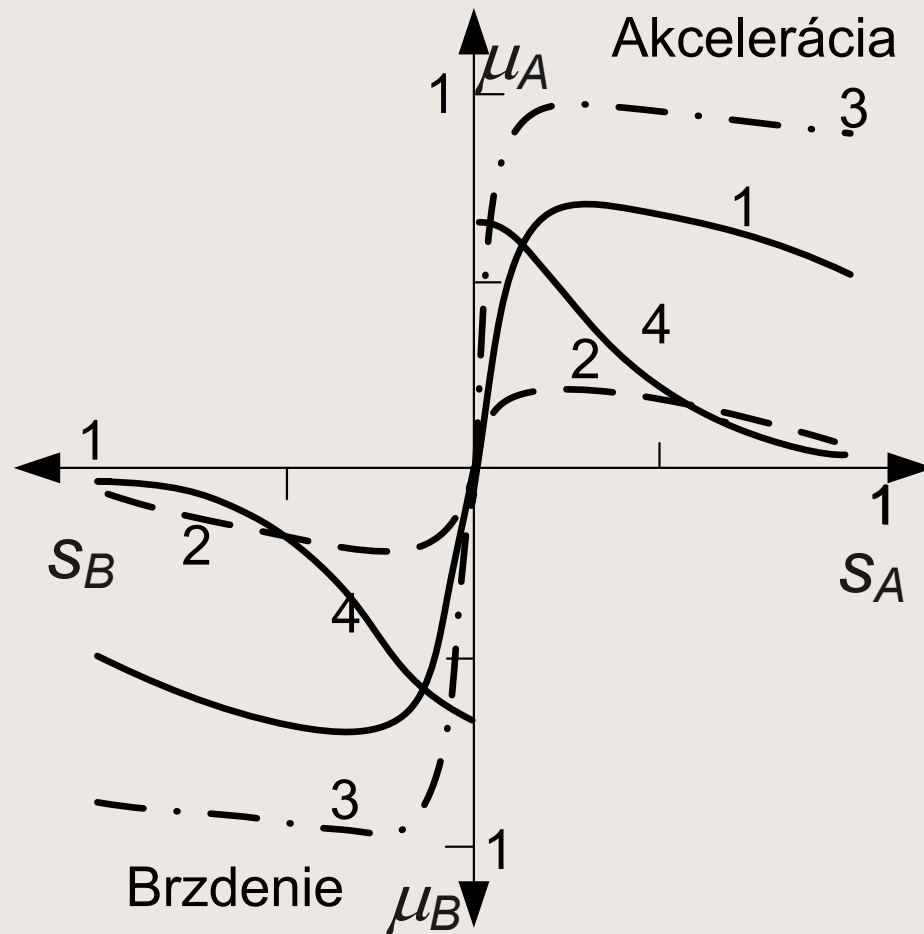
TCS

System riadenia trakcie
(Traction Control System)

Úvod

Počas rozjazdu, akcelerácie ako aj pri brzdení, účinnosť s akou môže byť prenášaná sila na vozovku závisí na tretej sile, dosiahnuteľnej medzi pneumatikami a povrchom cesty.

Charakteristiky príľnavosti a sklzu majú rovnaký charakter pre zrýchlenie ako aj pre brzdenie (pozri [obr.](#)). Veľká časť procedúr akcelerácie a brzdenie sa vykonáva iba v obmedzenom rozsahu sklzu, ktorý dovoľuje udržiavať odpoveď v stabilnej oblasti grafu, kde pre určitý bod, každý nárast v sklzu je sprevádzaný odpovedajúcim vzrastom využiteľnej príľnavosti. Za týmto bodom, ďalším zvyšovaním sklzu krivka prejde cez maximum do oblasti nestability, kde každé ďalšie zvyšovanie sklzu má obvykle za následok redukciu príľnavosti. Pri brzdení to bude mať za následok zablokovanie kolies počas niekoľkých desiatín sekundy. Pri akcelerácií, sa jedno ale obe hnacie kolesá budú pretáčať so stále väčším sklzom preto, že krútiaci moment prekračuje mieru príľnavosti so stále stúpajúcou hodnotou.



Krivky priľnavosť/ sklz

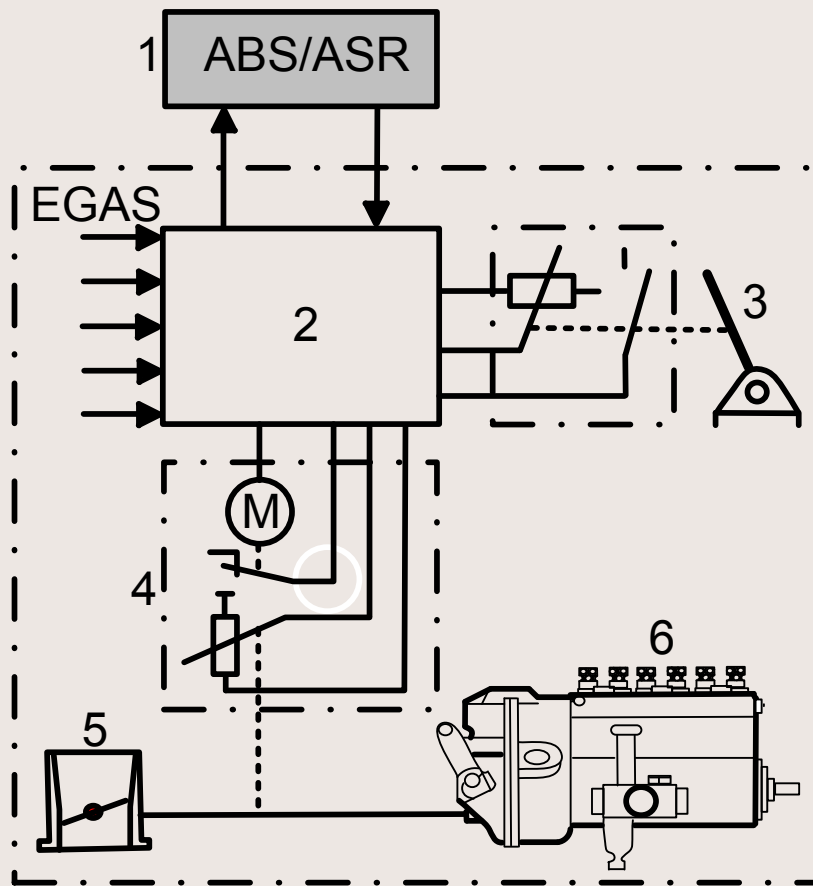
Koeficient trenia pri akcelerácii/ brzdení $\mu_{A,B}$. Sklz pri akcelerácii/ brzdení $s_{A,B}$. Stranový koeficient trenia μ_S .
 1 Mokrý asfalt $\mu_{A,B}$, 2 Ujazdený sneh $\mu_{A,B}$, 3 Betón $\mu_{A,B}$,
 4 Mokrý asfalt μ_S .

ABS zodpovedá za prvý prípad (brzdenie) zamedzením zablokovaniu kolies. ASR má na starosti druhý prípad, udržiavaním sklzu akcelerácie na prípustných hodnotách aby zamedzil prešmykovaniu kolies. Systém vlastne vykonáva dve funkcie:

- posilňuje trakciu (účinnosť prenosu sily),
- udržiava stabilitu vozidla (držaním vozidla v stope)

ABS/TCS 2I(Bosch)

Pre zabezpečenie optimálneho riadenia točivého momentu na hnacích kolesách s takzvanou “uzavretou slučkou riadenia“, je mechanické spojenie medzi akceleračným pedálom a škrtiacou klapkou (alebo pedálom a ovládacou pákou vstrekovacieho čerpadla v dieselových motoroch) nahradené ETC elektronickým riadením klapky (EGAS alebo elektronickým riadením akcelerátora “po vodiči“ – “drive by wire“). Senzor konvertuje pozíciu akceleračného pedála na elektrický signál ktorý následne používa ECU (elektronická riadiaca jednotka) na generovanie riadiaceho napätia. Servomotor odpovedá na tento signál polohovaním škrtiacej klapky (alebo ovládacej páky vstrekovacieho čerpadla v dieselových motoroch) po natočení klapky posiela správu späť do riadiacej jednotky. Krátkodobo je na podporu ETC simultánne aktivovaná funkcia bŕzd (zlepšené trakčné vlastnosti prostredníctvom obmedzenia sklzu).



EMS elektronické riadenie výkonu motora pre TCS
 1 ABS/TCS riadiaca jednotka, 2 ETC riadiaca jednotka,
 3 Plynový pedál, 4 Servomotor, 5 Škrtiaca klapka,
 alebo 6 Dieselové vstrekovacie čerpadlo

ABS/TCS 2I(Bosch)

Štandardná ABS hydraulický jednotka je rozšírená o TCS sekciu, obe majú poskytovať dodatočnú hydraulickú energiu pre brzdenie a pre TCS operácie. Solenoidové ventily ABS v hydraulickej jednotke majú svojim prepínaním plniť tri funkcie

- nárast tlaku,
- udržiavanie tlaku a
- znižovanie tlaku.

Tieto funkcie slúžia pre reguláciu toku alebo smerovania tlaku systému a zabezpečenie potrebnej modulácie tlaku pre rýchle a presné riadenie brzdnej sily na hnacích kolesách.

ABS/TCS 2I(Bosch)

Riadiaca jednotka ETC, ktorá je spojená cez rozhranie s riadiacou jednotkou ABS/TCS riadi škrtiacu klapku alebo vstrekovacie čerpadlo pri dieselových motoroch za účelom riadiť točivý moment motora.

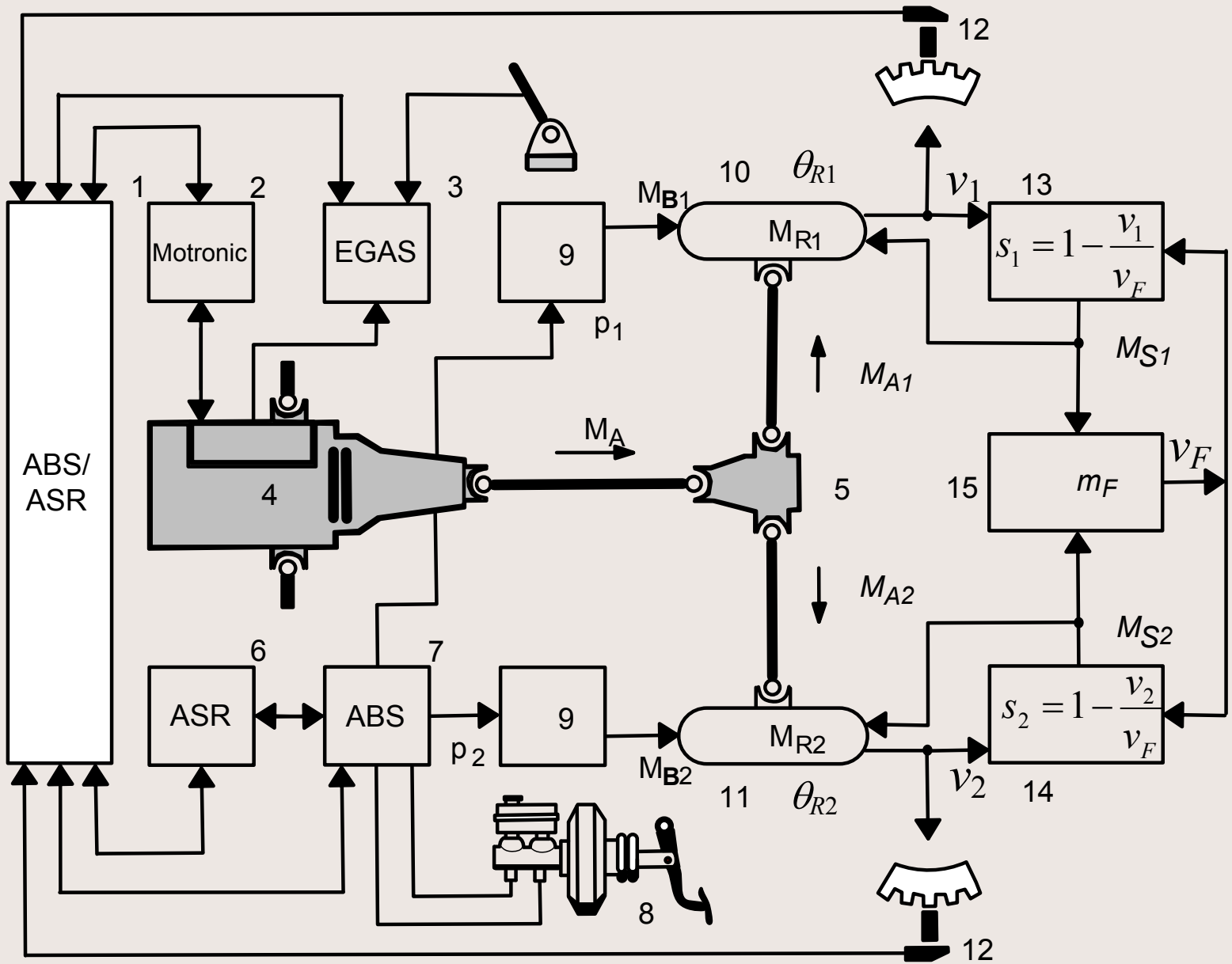
Na zážihových motoroch, je odpoveď systému presnejšia pri riadení oneskorenia zapálenia, čím sa potlačia relatívne značné oneskorenia vznikajúce pri riadení krútiaceho moment motora iba škrtiacou klapkou.

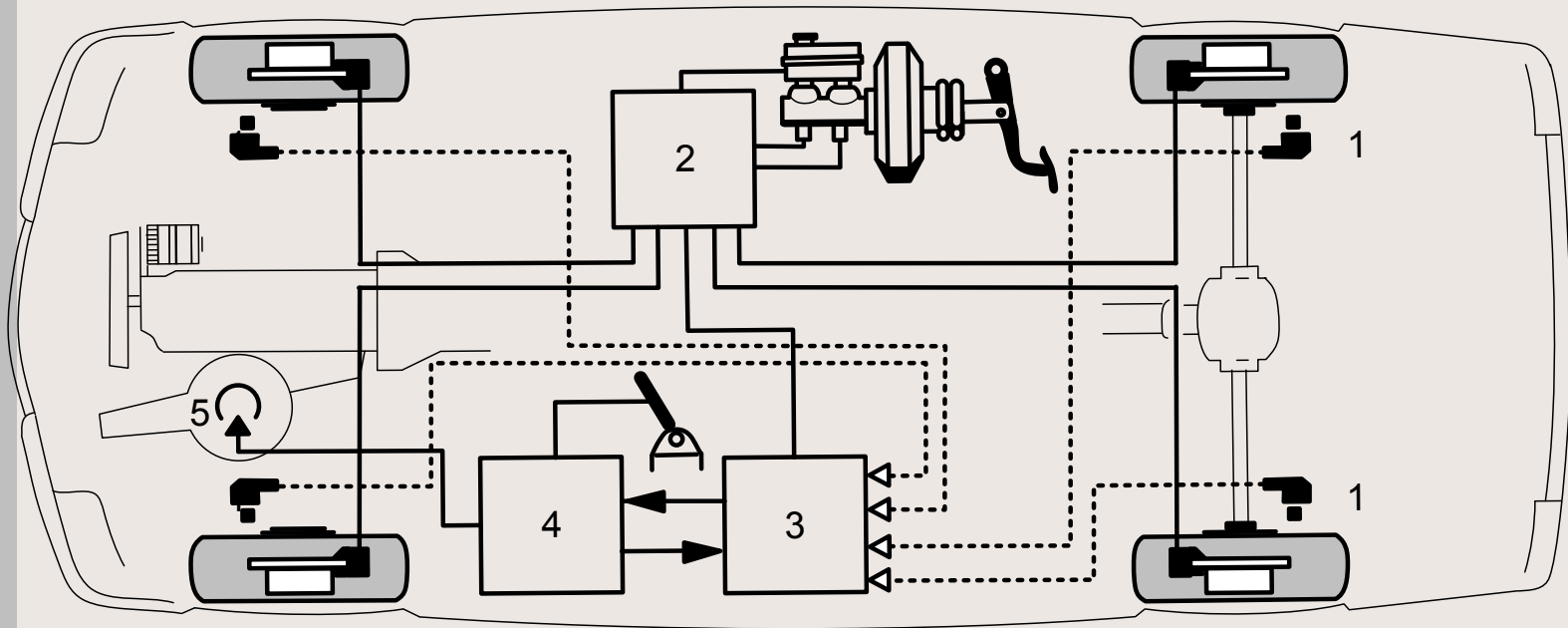
ABS/TCS 2I(Bosch)

ABS/TCS bloková schéma

- 1 ABS/TCS riadiaca jednotka,
- 2 Motronic ECU,
- 3 ETC riadiaca jednotka,
- 4 Motor, spojka, prevodovka,
- 5 Diferenciál,
- 6 TCS zdroj tlaku,
- 7 ABS hydraulický modulátor,
- 8 Hlavný brzdový valec s posilňovačom,
- 9 Brzdy,
- 10 Koleso 1,
- 11 Koleso 2,

12 Merač rýchlosti kolesa,
13 Povrch cesty kolesa 1,
14 Povrch cesty kolesa 2,
15 Hmotnosť vozidla m_F ,
 p brzdny tlak, v rýchlosť kolesa, v_F rýchlosť vozidla, s sklz, θ_R zotrvačnosť kolesa, M_A hnací moment, M_B brzdny moment, M_R výsledny moment na kolese, M_S sila medzi povrchom vozovky a kolesom.
Indexy 1,2: Koleso 1,2.





ABS/TCS systémové komponenty automobilu

1 Rýchlostný senzor, 2 ABS/TCS hydraulický modulátor, 3 ABS/TCS riadiaca jednotka, 4 ETC riadiaca jednotka, 5 Škrtiaca klapka (benzínový motor)/Dieselové vstrekovacie čerpadlo.

ABS/TCS5 (Bosch)

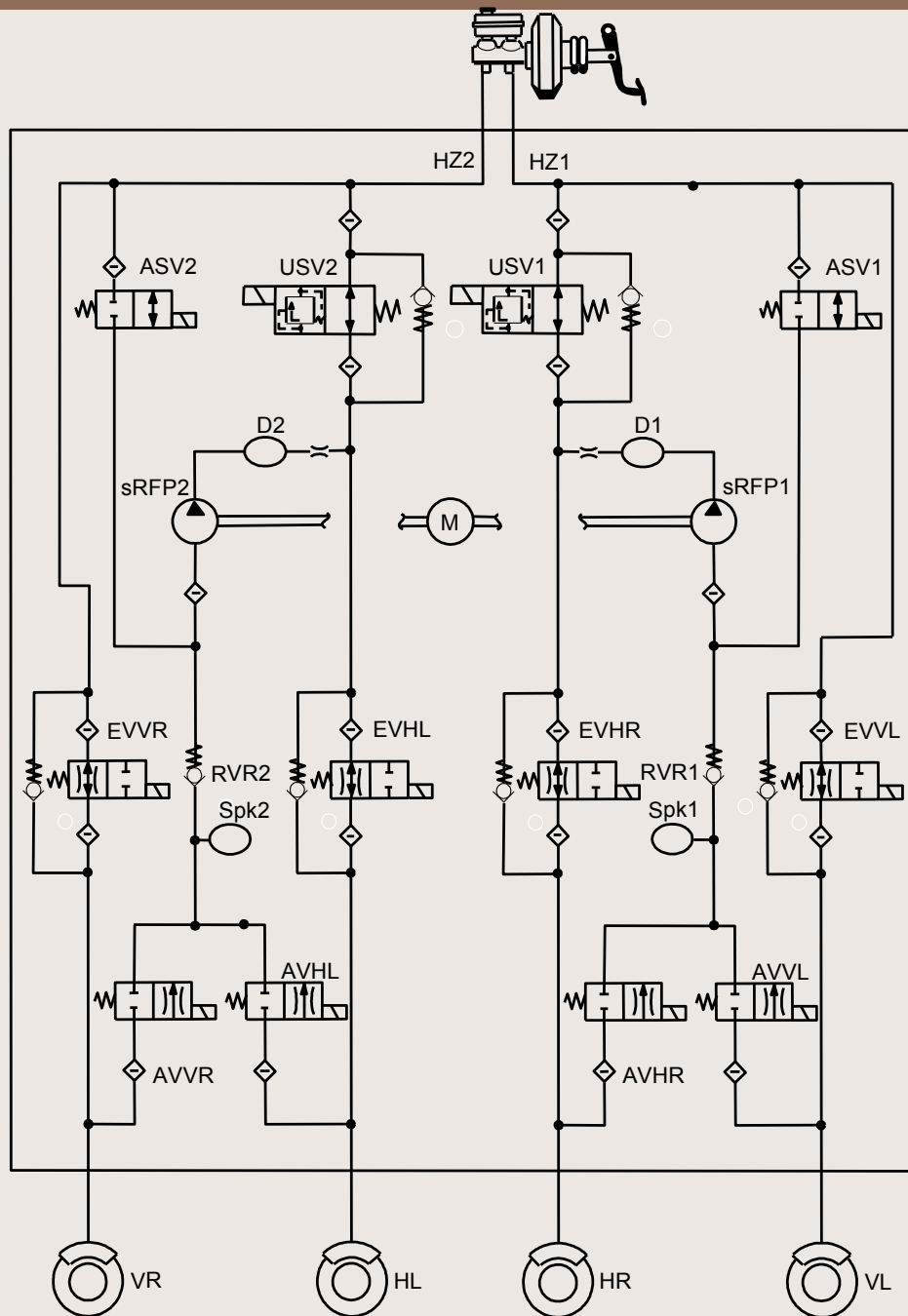
S takto navrhnutým ABS systémom so solenoidovými ventilmi len s dvoma hydraulickými spojeniami a dvoma prepínacími polohami (solenoidný ventil 2/2) je možné dosiahnuť zníženie hmotnosti a nákladov —pričom tento systém kombinuje všetky štandardné funkcie s výhodami uzavretých brzdnych okruhov.

Pretože hydraulická jednotka je založená na stavebnicovom princípe, je možné ju použiť s oboma štandardnými konfiguráciami brzdnych systémov (model II a X) ako aj vo vozidlách s iným pohonom (zahŕňajúc pohon na všetky kolesá).

ABS/TCS 5 (Bosch)

Schematický diagram hydrauliky brzdného okruhu s konfiguráciou X

HZ1, 2 Vedenia hlavného valca,
AVS1, 2 Sacie (vypúšťacie) ventily,
USV1, 2 Ventily riadenia okruhov,
D1, D2 Tlmiace komory,
sRFP1, 2 Samoinicializačné spätné čerpadlo,
Spk1, 2 Akumulačné komory,
EV(HR, HL, VR, VL) Ventily s reguláciou tlaku,
RVR1, 2 Podtlakové/bezpečnostné ventily,
AV (HR, HL, VR, VL) Prepúšťacie ventily,
HR, HL, VR, VL Brzdy kolies.
HR Zadná Pravá
HL Zadná Ľavá
VR Predná Pravá
VL Predná Ľavá



The image shows the cover of a spiral-bound notebook. The cover is a light beige or tan color with a fine, woven fabric texture. On the left side, there is a silver metal spiral binding. The text is centered on the cover.

ESP[®]

Elektronický Stabilizačný Program

ESP je skratka pre systém zabezpečujúci „elektronický stabilizačný program“.

Tento systém má za úlohu pomôcť vodičovi v ťažkých situáciách, ako je napr. vyhnutie sa neočakávanej prekážke na vozovke. Má vyrovnávať vodičove prehnané reakcie a zabraňovať tomu, aby sa vozidlo dostalo do nestabilného stavu.

Nie je však možné pomocou ESP obísť fyzikálne zákony.

Už v dvadsiatych a štyridsiatych rokoch sa objavovali prvé mechanické nadstavby protiblokovacích systémov. Tie však neboli ešte schopné rýchlo reagovať a nemohli preto svoje poslanie dobre plniť. V 60-tých rokoch s nástupom polovodičových prvkov sa začali objavovať prvé elektronické systémy.

Elektronický stabilizačný program patrí svojimi znakmi k aktívnej bezpečnosti vozidla. Niekedy sa o ňom hovorí ako o systéme „jazdnej dynamiky“.

Veľmi zjednodušene sa dá tento program označiť ako „protišmykový program“. Dokáže totiž včas rozpoznať nebezpečenstvo šmyku a cielene vyrovnať vychýlenie voza z jazdnej dráhy.

Výhody

- Keďže sa nejedná o samostatný systém, ale o systém postavený na ostatných trakčných systémoch, obsahuje v sebe aj ich výkonnostné rysy.
- Znamená pre vodiča odľahčenie.
- Vozidlo zostáva stále ovládateľné.
- Znižuje riziko vzniku nehody pri extrémnej reakcii vodiča.

Skratky používané v jazdnej dynamike

ABS (Anti-Blokier-System)

(regulácia prešmykovania kolies pri brzdení)

Zabraňuje zablokovaniu kolies počas brzdenia. Aj pri vysokej účinnosti bŕzd zostáva vozidlo v stope a je ovládateľné.

ASR (Antriebs-Schlupf-Regelung)

(regulácia prešmykovania poháňaných kolies)

Zabraňuje pretáčaniu poháňaných kolies pri zrýchľovaní, napr. na ľade alebo štrku, zásahom do procesu brzdenia a riadenia motora.

EBV (Elektronische Bremskraftverteilung)

(elektronické rozdeľovanie brzdnnej sily)

Zabraňuje prebrzdeniu zadných kolies skôr, než začne účinkovať ABS, často aj v prípadoch, keď je z dôvodov poruchy nefunkčné ABS.

EDS (Elektronische Differentialsperre)

(elektronická uzávierka diferenciálu)

Umožňuje rozjazd na vozovke s rozdielnymi koeficientmi trenia pod pravým a ľavým kolesom pribrzd'ovaním pretáčajúceho sa kolesa.

ESP (Elektronisches Stabilitäts-Programm)

(elektronický stabilizačný program)

Cieleným zásahom do procesu brzdenia a riadenia motora zabraňuje tomu, aby sa vozidlo dostalo do šmyku.

Iní výrobcovia používajú pre ten istý systém iné označenia:

AHS Active Handling System (Chevrolet), **DSC** Dynamic Stability Control (BMW), **PSM** Porsche Stability Management (Porsche), **VDC** Vehicle Dynamics Control (Subaru), **VSC** Vehicle Stability Control (Lexus)

MSR (Motor-Schleppmoment-Regelung)

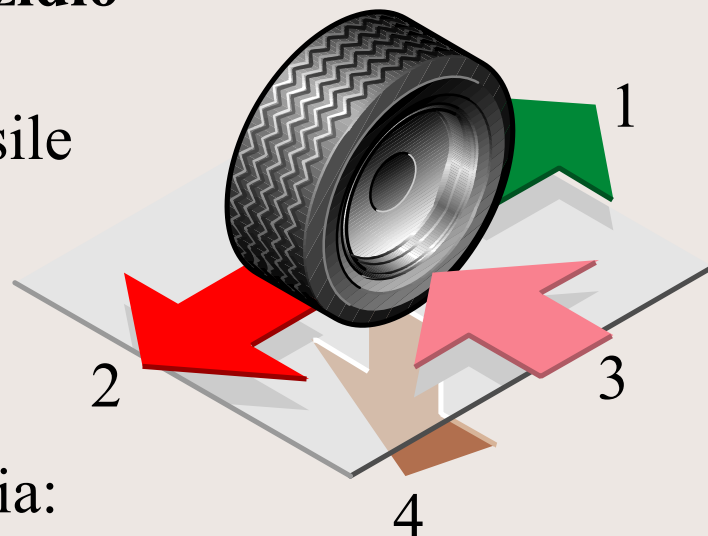
(regulácia krútiaceho momentu motora)

Zabraňuje zablokovaniu kolies pri brzdení motorom, po uvoľnení pedála akcelerácie, alebo po zaradení nižšieho rýchlostného stupňa.

Fyzikálne javy

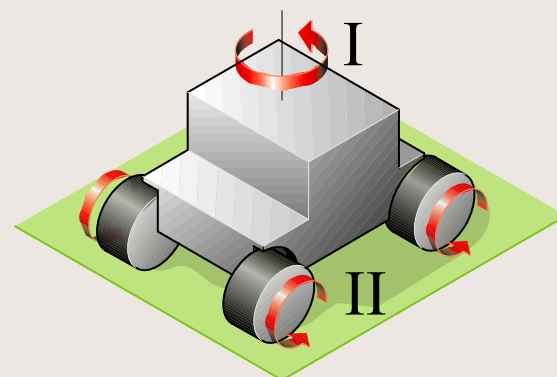
Sily a momenty pôsobiace na vozidlo

- 1 hnacia sila
- 2 brzdná sila, pôsobí proti hnacej sile
- 3 stranové vodiace sily, zaisťujú riaditeľnosť voza
- 4 tiaž, spolu s trením umožňuje pôsobenie ostatných síl

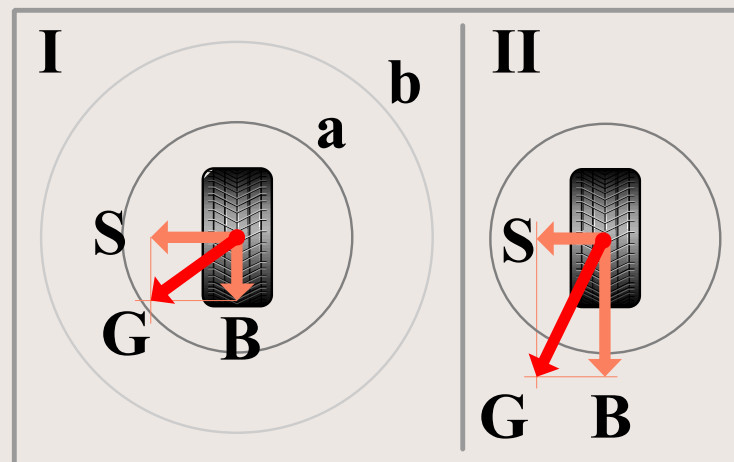


Okrem toho na vozidlo ešte pôsobia:

- momenty, ktoré majú tendenciu vozidlom otáčať okolo zvislej, priečnej a pozdĺžnej osi;
napr. rotačný moment zotrvačnosti I
- momenty zotrvačnosti kolies II, ktoré sa snažia udržať vozidlo v aktuálnom smere
- ďalšie sily, ako napr. odpor vzduchu, bočný vietor, odstredivá sila



Vzájomné pôsobenie jednotlivých síl sa dá dobre opísať pomocou Kammovho kruhu trenia. Polomer uvažovaného kruhu je daný silou, ktorá znázorňuje príľnavosť medzi povrchom vozovky a pneumatikou. To znamená, že ak je príľnavosť menšia, je menší aj polomer kruhu **a**, a ak je príľnavosť väčšia, je tiež väčší polomer Kammovho kruhu **b**. Kvôli jednoduchosti uvažujme len silové pomery na jednom kolese. Základom kruhu trenia je rovnobežník síl tvorený stranovou vodiacou silou **S** a brzdou (prípadne hnacou) silou **B**. Výslednica týchto síl je sila **G**. Ak leží výslednica vo vnútri Kammovho kruhu trenia, vozidlo sa nachádza v stabilnom stave **I**. Ak je však výslednica väčšia, ako polomer kruhu trenia, dostáva sa vozidlo do neovládateľného stavu **II**.

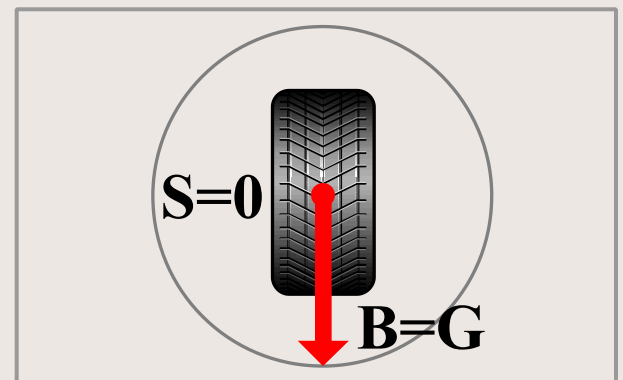
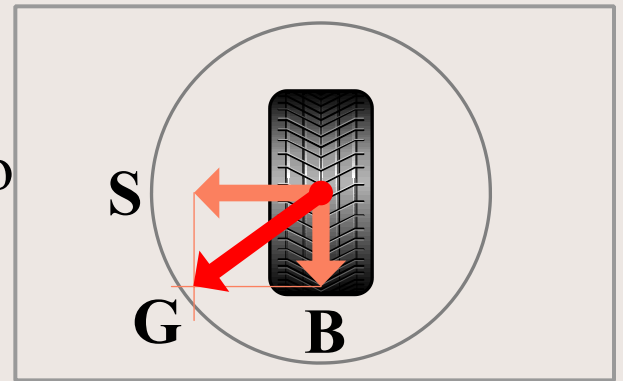


Brzdňá sila **B** a stranová vodiaca sila **S** sú také, že ich výslednica **G** leží vo vnútri kruhu. Vozidlo sa dá jednoducho riadiť.

Zväčšujeme brzdňú silu **B**. Stranová vodiaca sila **S** sa bude zmenšovať.

Výsledná sila **G** je rovnaká ako brzdňá sila **B**. Koleso je zablokované.

Absencia stranevej vodiacej sily spôsobuje, že vozidlo je neriaditeľné. Podobná situácia vzniká aj medzi hnacou silou a stranovou vodiacou silou. Ak sa zmenší stranová vodiaca sila vplyvom plného využitia hnacej sily na nulu, hnacie koleso sa pretáča.



Riadenie jazdnej dynamiky zjednodušené

Aby ESP mohol na kritické situácie reagovať, musí si odpovedať na dve otázky:

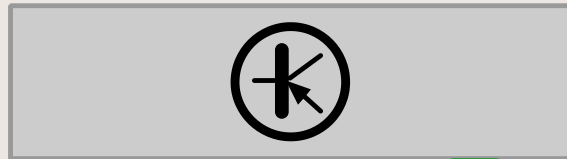
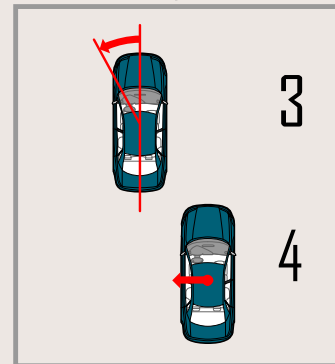
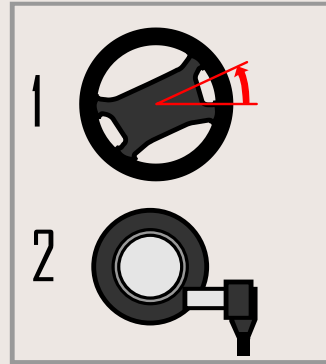
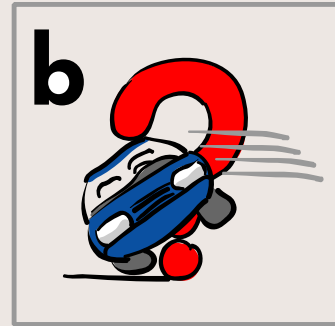
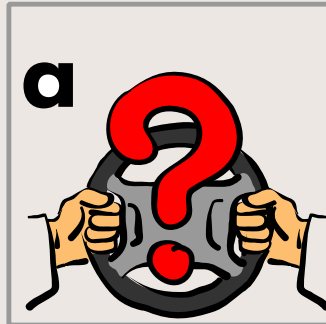
- a. Kam vodič vozidlo smeruje?
- b. Kam vozidlo skutočne ide?



Odpoveď na prvú otázku dostáva systém zo snímača uhla natočenia volantu **1** a zo snímačov otáčok **2** na kolesách.

Odpoveď na druhú otázku prináša meranie miery rotačného momentu zotrvačnosti **3** a priečneho zrýchlenia **4**.

Z prijatých informácií sa porovnáva, či požadovaný smer odpovedá skutočnému. Ak odpoveď na otázku **a** je iná, ako na otázku **b**, z toho vyhodnotí ESP, že môže dôjsť ku kritickej situácii a preto je nutné zasiahnuť.



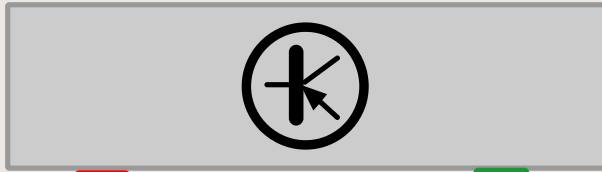
$a \neq b$

$a = b$

Kritickú situáciu je možno v podstate vyjadriť dvoma spôsobmi správania sa vozidla:

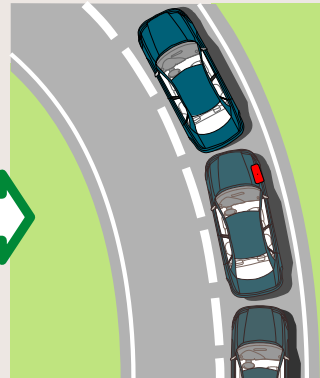
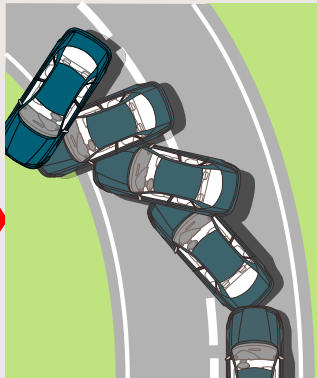
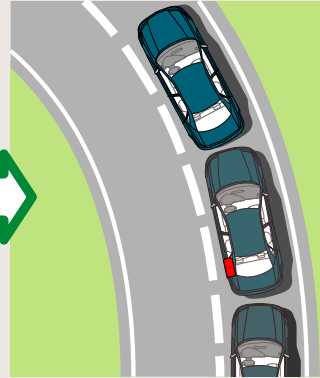
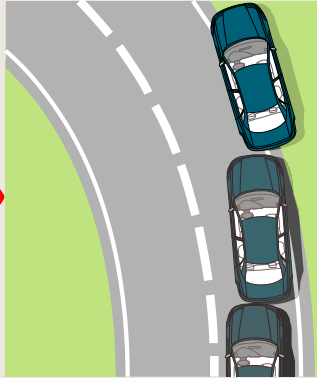
- I. Vozidlu hrozí nedotočenie. Cieleným pribrzd'ovaním zadného kolesa na vnútornej strane zákruty a zásahom do riadenia motora a prevodovky (ak je automatická) zabráni ESP, tomu aby vozidlo vyšlo zo zákruty.
- II. Vozidlu hrozí pretočenie. Cieleným pribrzd'ovaním predného kolesa na vonkajšej strane zákruty a zásahom do riadenia motora a prevodovky (ak je automatická) zabráni ESP, tomu aby sa vozidlo dostalo do šmyku.





$a \neq b$

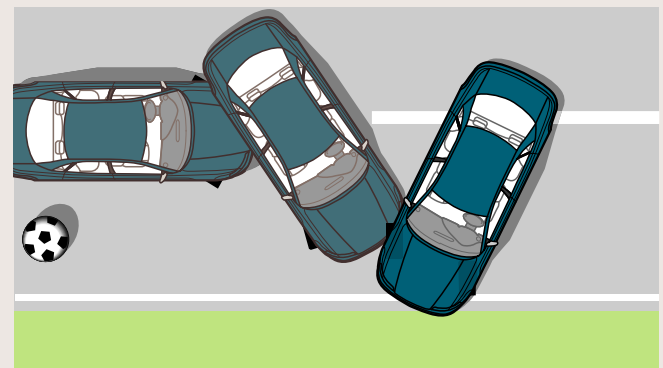
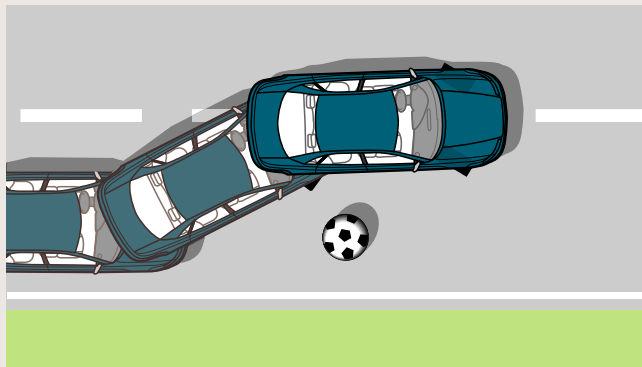
$a = b$



Z uvedeného príkladu je vidieť, že ESP pôsobí ako proti pretočeniu, tak aj nedotočeniu vozidla. Dôležité je, že sa zmena smeru jazdy dosahuje bez priameho zásahu do riadenia.

Uvažujme najprv vozidlo bez ESP.

Vozidlo sa musí vyhnúť predmetu, ktorý sa náhle objavil na vozovke. Vodič najprv trhne volantom doľava a hneď nato zase doprava. Vozidlo sa po tomto manévri dostáva do šmyku, jeho zadná časť sa pohybuje rýchlejšie. Otáčaním vozidla okolo zvislej osi sa vozidlo stáva pre vodiča neovládateľné.

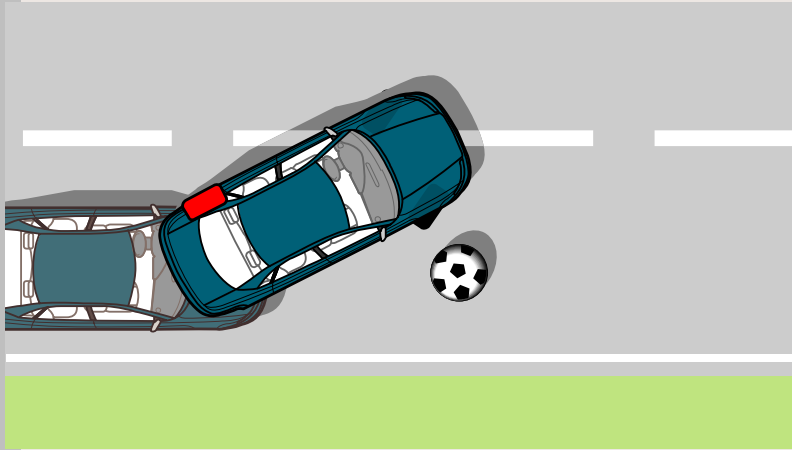


Situácia vozidla s ESP

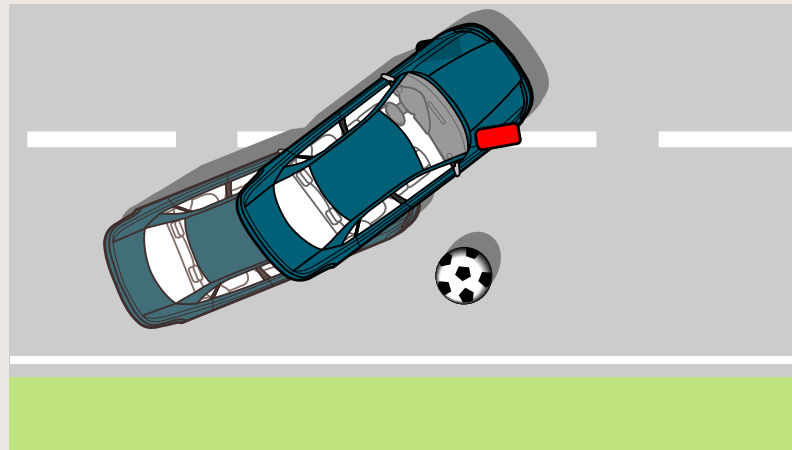
Vozidlo sa snaží prekážke vyhnúť. Vďaka údajom, ktoré prichádzajú zo senzorov, ESP rozpozná, že sa vozidlo dostáva do nestabilného stavu. Systém vypočítava opatrenie, ako tomu zabrániť:

ESP pribrzdí ľavé zadné koleso. Tým podporí zatočenie vozidla doľava. Stranová vodiaca sila na predných kolesách zostáva zachovaná. Kým voz ešte zatača doľava, strháva vodič volant doprava. Aby sa podporilo zabočenie doprava, ESP pribrzdí predné pravé koleso. Zadné kolesa sa otáčajú voľne, a tým zaisťujú vytvorenie optimálnej stranovej vodiacej sily.

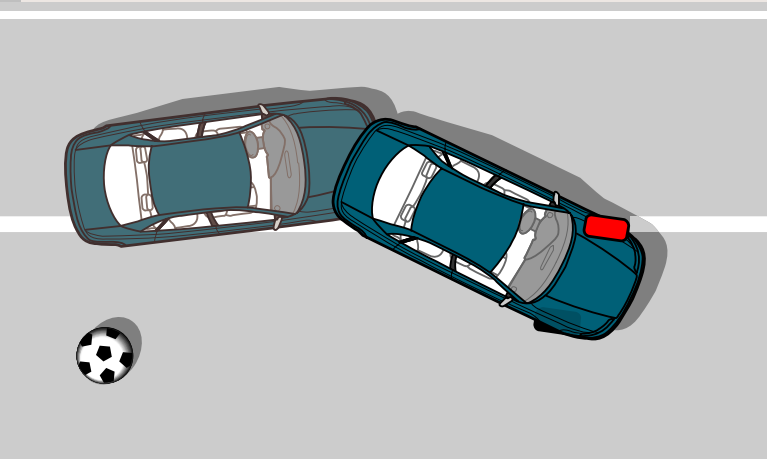
Vykonávaný manéver môže viesť k šmyku a k otáčaniu vozidla okolo jeho zvislej osi. Aby sa zabránilo vybočeniu zadnej časti vozidla, ESP pribrzdí ľavé predné koleso. Vo zvlášť kritických situáciách je možno koleso pribrzdiť alebo dokonca aj krátko zablokovať, aby došlo k obmedzeniu stranovej vodiacej sily na prednej náprave (Kammov kruh trenia). Po ukončení korekcií všetkých nestabilných stavov ukončuje ESP svoju činnosť.



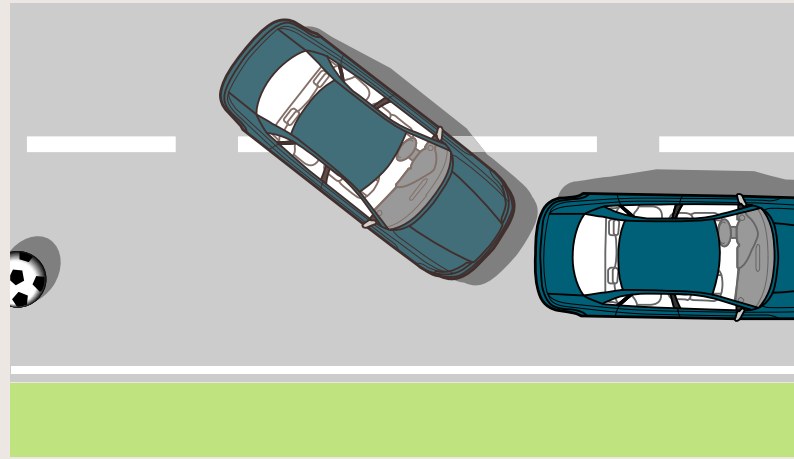
a



b



c



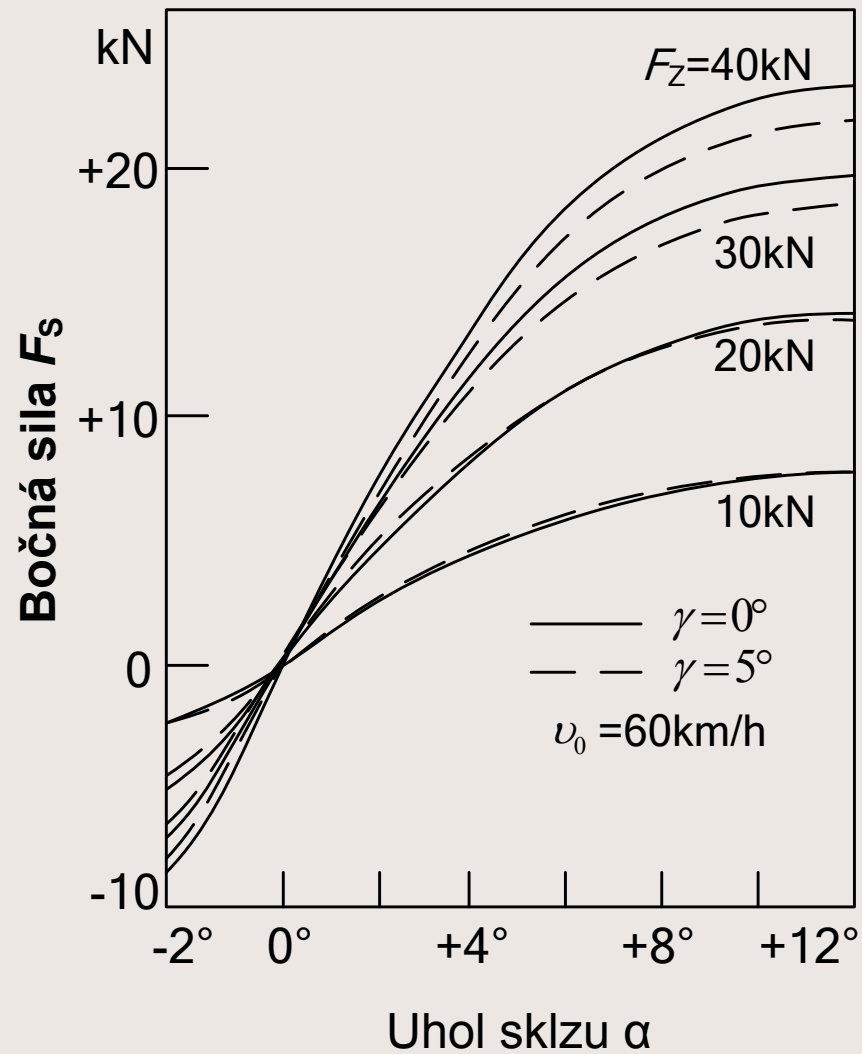
d

Ovládanie vozidla (podrobnejšie)

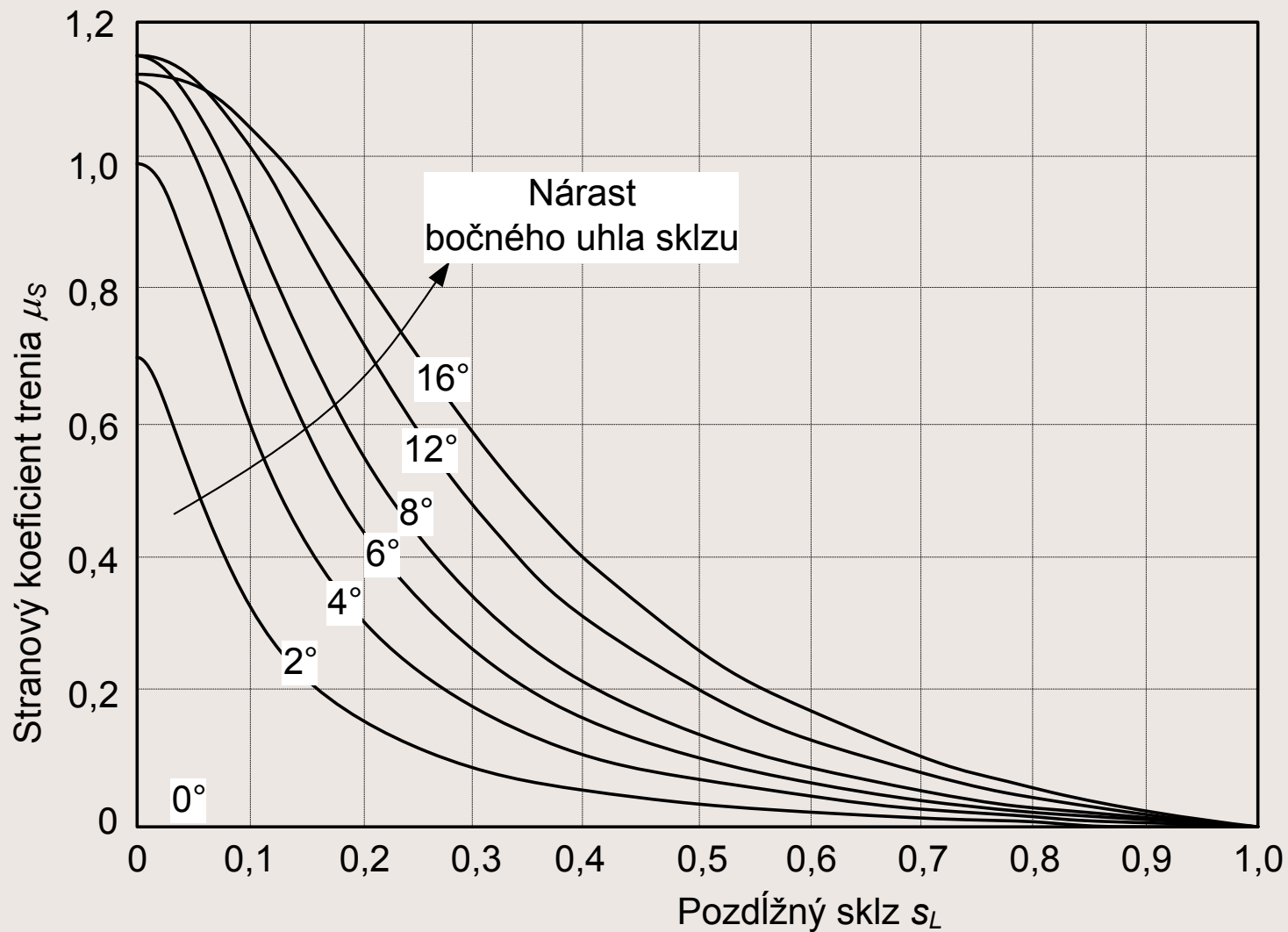
Vlastnosti riadenia vozidla vyplývajú zo stranovej dynamiky vozidla. Tento opis je odvodený z ustáleného zatáčania a využíva závislosť uhla sklzu pneumatiky α na stranovom (bočnom) zrýchlení vozidla a preto aj na stranových silách, prenášaných pneumatikou. Tiež zdôrazňuje závislosť postranných síl prenášaných pneumatikou od sklzu pneumatík (vid' ABS a TCS). Toto znamená, že vlastnosti riadenia automobilu môžu byť ovplyvnené sklzom pneumatiky. ESP využíva pre ovládanie vozidla tieto vlastnosti pneumatík za účelom ovplyvňovať servo-riadenie.

Bočná sila vs. uhol sklzu (C)

Parameter: zaťaženie kolesa a uhol sklonu kolesa



Závislost' stranového koeficienta trenia μ_s na pozdĺžnom sklze s_L



Ovládanie vozidla

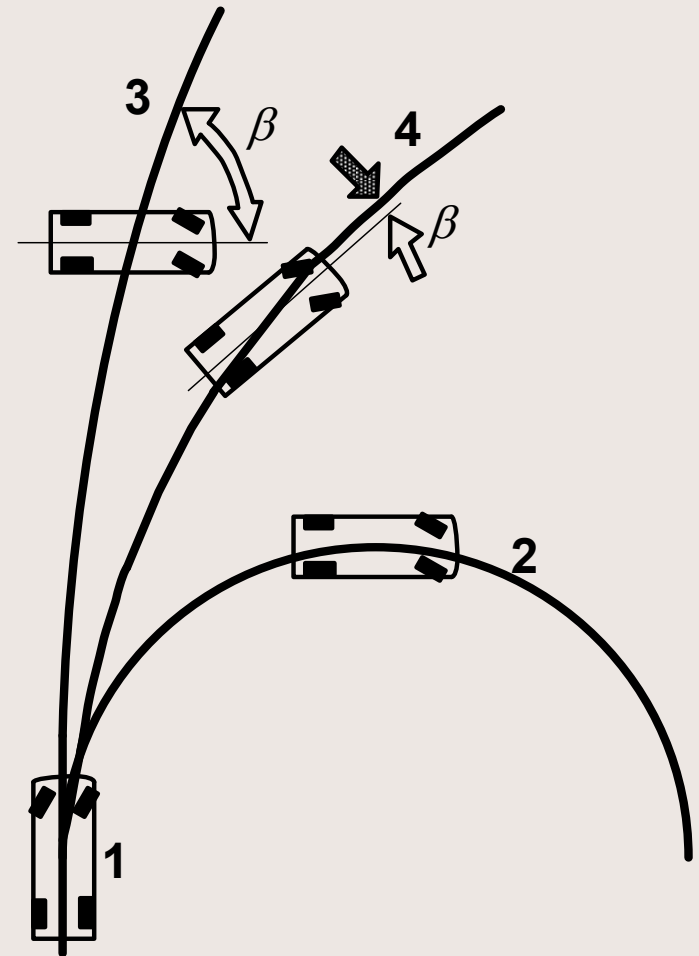
Riadenie rýchlosti zatačania (yaw rate) systémom ESP iba podľa uhla natočenia kolies sa javí ako nedostatočné a automobil sa môže stať nestabilný ([vid' obr., krivka 3](#)).

Z tohto dôvodu, ESP riadi nie len rýchlosť zatačania, ale taktiež uhol medzi vektorom rýchlosti ťažiska vozidla a pozdĺžnou osou vozidla (uhol sklzu).

ESP riadenie ovládania vozidla nie je obmedzené iba na ABS a TCS/MSR operácie, ale tiež siaha do oblasti v ktorej auto jazdí zotrvačnosťou, a tiež sa aktivuje počas mierneho brzdzenia ak sa vozidlo pohybuje vo fyzikálnych limitoch riadenia.

Stranová dynamika vozidla

- 1 Skoková zmena riadenia kolies, uhol natočenia kolies zostáva konštantný,
- 2 Drahá na vozovke s vysokým μ ,
- 3 Drahá na vozovke s nízkym μ s „rozpojenou slučkou“ korekcie riadenia a riadenia rýchlosti zatáčania (yaw-rate),
- 4 Drahá na vozovke s nízkym μ keď je uhol sklzu riadený (ESP)

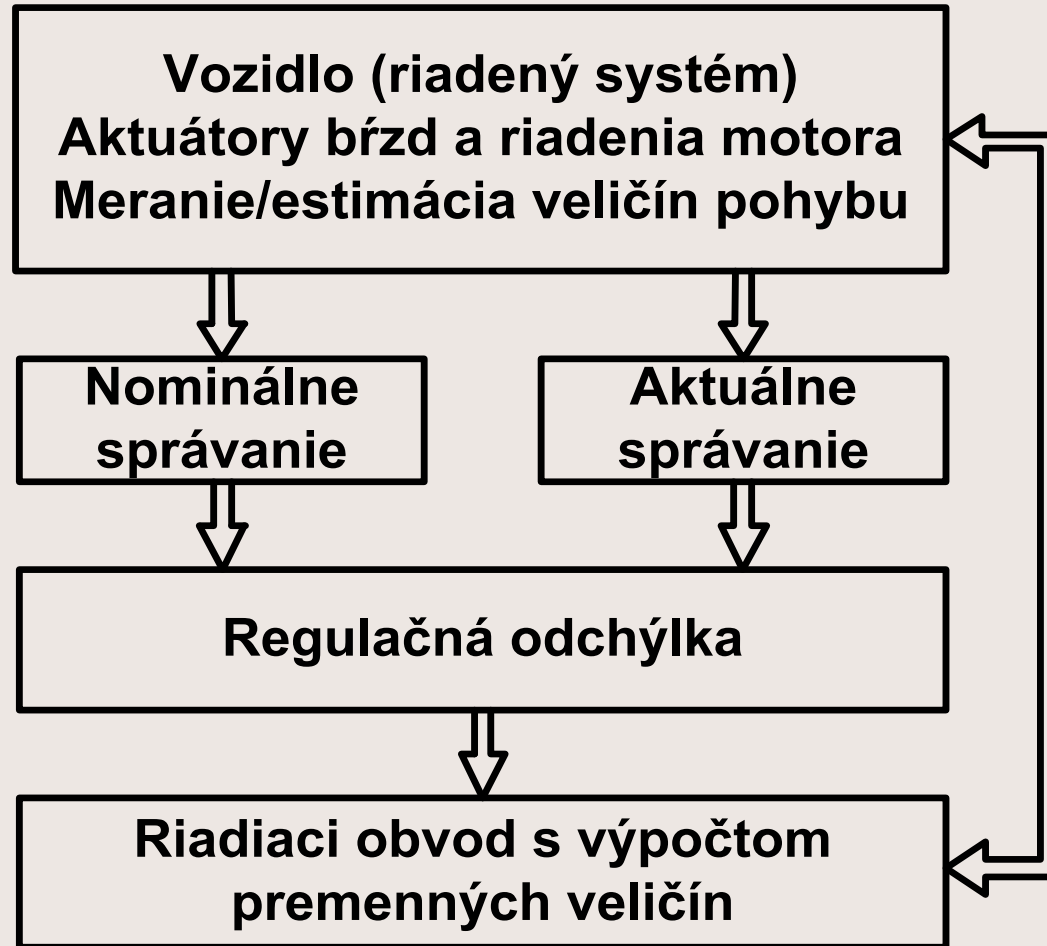


Systemy riadenia ESP

Riadenie

Riadenie správania sa vozidla za jazdy v medziach fyzikálnych limitov vozidla musí ovplyvňovať **tri stupne voľnosti** v rovine vozovky (pozdĺžna rýchlosť, priečna rýchlosť, moment otáčania okolo vertikálnej osi) tak, že ovládanie vozidla je späté s povelmi vodiča a s prevládajúcim stavom vozovky. Po tejto stránke, ako to ukazuje [bloková schéma](#), musí byť ako prvé definované ako sa má vozidlo správať počas fyzikálnych limitov riadenia v súlade so vstupom vodiča (nominálne správanie sa za jazdy), a ako sa aktuálne správa (aktuálne správanie sa za jazdy). Pri požiadavke minimalizovať rozdiel medzi nominálnym a aktuálnym správaním sa za jazdy (odchýlka), musia byť sily prenášané pneumatikou v určitých prípadoch riadené akčnými ovládacími prvkami.

Bloková schéma riadiacej jednotky ESP

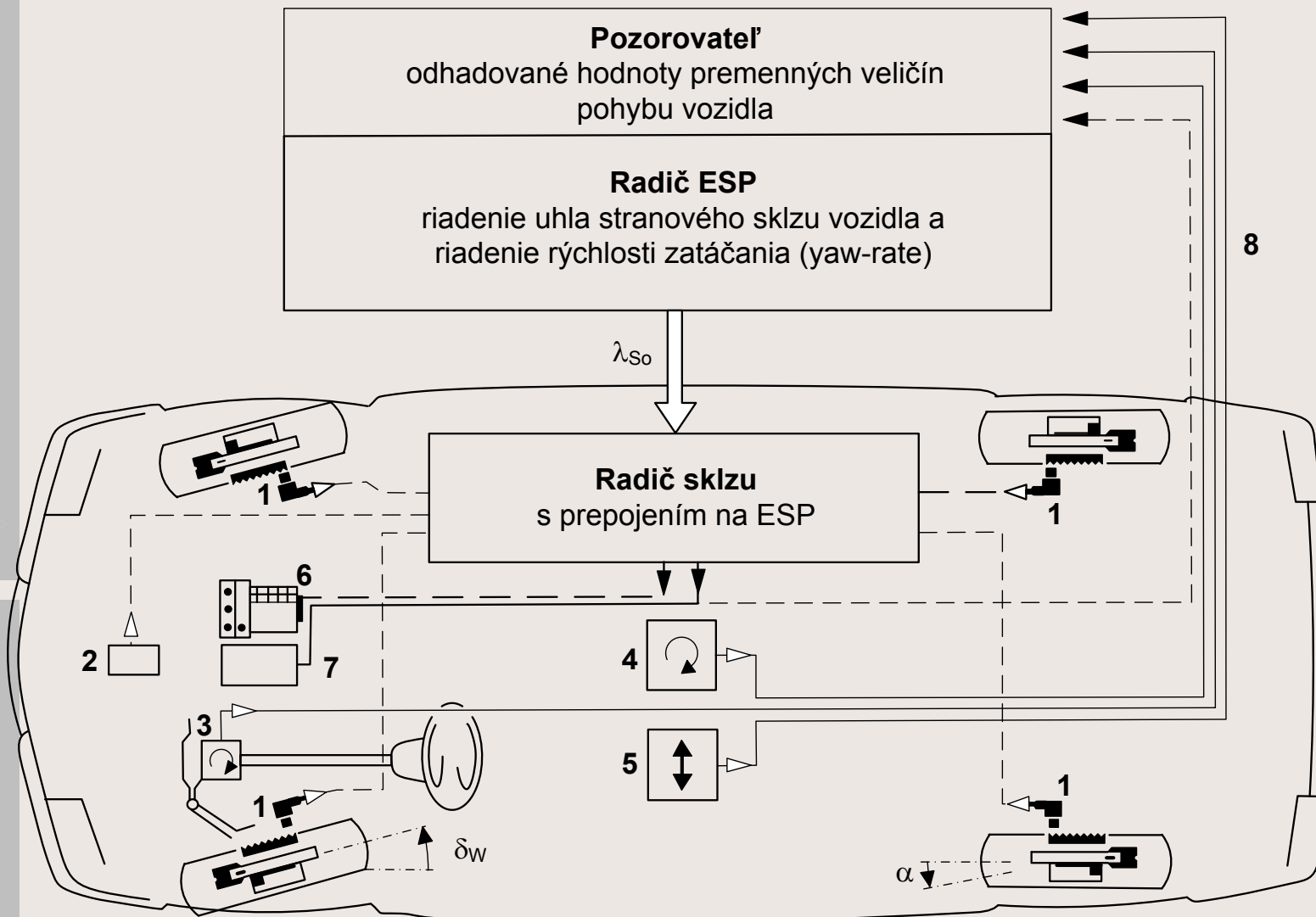


Systemy riadenia ESP

Celkový systém naznačuje vozidlo ako riadený systém, so senzormi (1...5), ktoré poskytujú vstupné premenné riadiaceho systému, a ovládacích prvkov (6 a 7), ovplyvňujúcich trakčnú silu a brzdnu silu. Taktiež sú znázornený hierarchicky štruktúrovaný radič zahrňujúci radič dynamiky vozidla vo vyššej úrovni a radič sklzu v nižšej úrovni. Radič na vyššej úrovni poskytuje vstup pre nižšiu úroveň radiča vo forme nominálnej hodnoty sklzu. “Pozorovateľ” zistí riadenú stavovú premennú (uhol sklzu vozidla β).

Celkový riadiaci systém ESP

1 Senzor rýchlosti otáčania kolesa, 2 Senzor brzdného tlaku, 3 Senzor natočenia volantu, 4 Senzor rýchlosti zatočenia (yaw-rate), 5 Senzor bočného (stranového) zrýchlenia, 6 Modulácia tlaku, 7 Manažment motora, 8 Signály senzorov pre ESP, α Uhol sklzu kolesa, δ_w Uhol natočenia kolesa, λ_{No} Nominálny sklz.



Systemy riadenia ESP

Pre dosiahnutie požadovaných vlastností sú vyhodnocované signály ako signály, ktoré sú výsledkom povelov vodiča. Tieto zahrňujú signály zo senzora natočenia riadenia (3, vodičom definované natočenie volantu), senzora brzdného tlaku (2, vstup požadovaného brzdenia), a riadenie motora (7, požadovaný krútiaci moment motora). Okrem rýchlosti vozidla, vyžaduje výpočet požadovaných charakteristík taktiež zohľadnenie koeficientov trenia medzi pneumatikami a vozovkou. Tie sú počítané z výstupných signálov senzorov otáčok kolies (1), senzora stranového zrýchlenia (5), senzora rýchlosti otáčania okolo zvislej osi (4), a senzora brzdného tlaku (2). V závislosti od regulačnej odchýlky je vypočítaný moment zatačania, ktorý je potrebný na priblíženie sa aktuálnych hodnôt stavových premenných požadovaným.

Systemy riadenia ESP

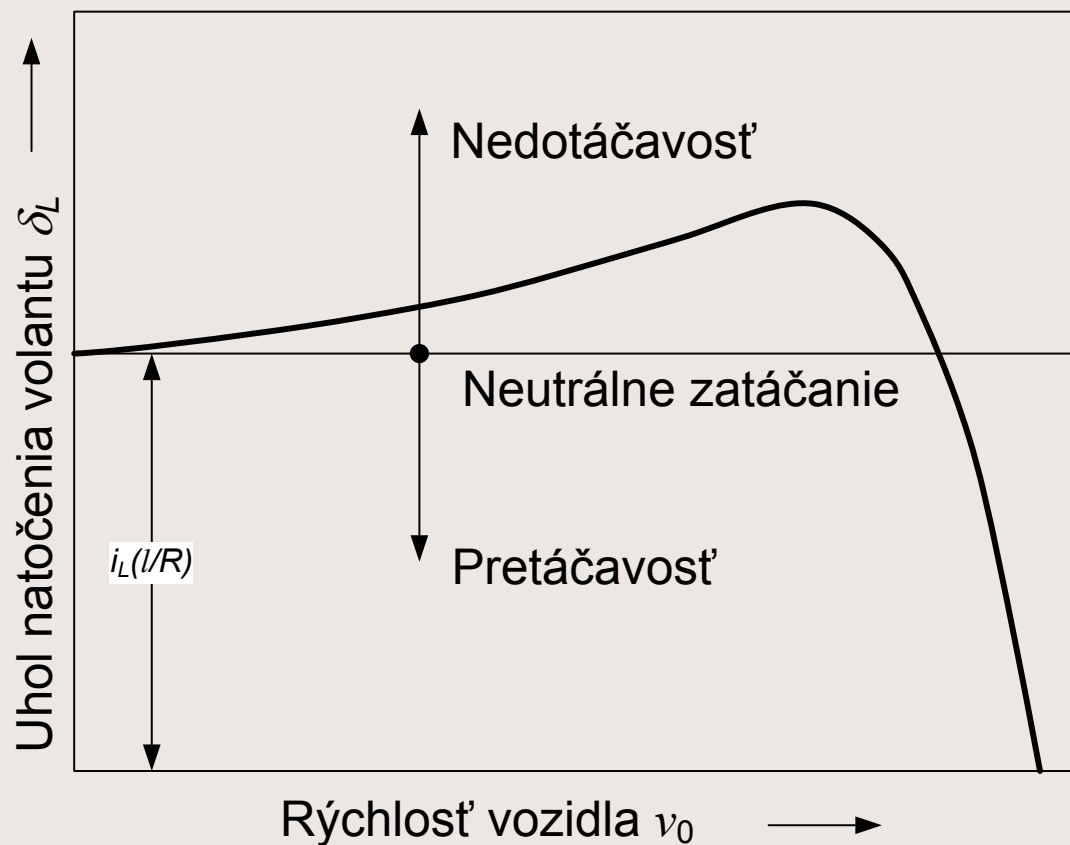
Pre generovanie požadovaného momentu zatáčania je potrebné, aby radič jazdnej dynamiky určil žiadúce zmeny v požadovanom sklze kolies. Tieto sa potom na nižšej úrovni nastavlia prostredníctvom radičov sklzu pri brzdení, radiča trakcie pomocou elektro-hydraulických aktuátorov bŕzd (6) a aktuátorov manažmentu motora (7). Systém sa opiera o vyskúšané a osvedčené ABS a TCS komponenty. TCS hydraulický modulátor (6), ktorý je opísaný v predchádzajúcich častiach, umožňuje vyššie úrovne dynamického brzdenia na všetkých kolesách zohľadňujúc celkový rozsah teplôt. Potrebný krútiaci moment motora môže byť nastavený prostredníctvom riadiacej jednotky motora (7) a CAN prepojenia, čím môže byť nastavená adekvátne hodnota trakčného sklzu na kolesách.

Prvky systému

Radič dynamiky vozidla

Vzt'ah medzi uhlom natočenia kolies, rýchlosťou vozidla, a uhlovou rýchlosťou zatočenia vozidla počas ustálenej jazdy na kruhovej dráhe (obr.) sú základom pre požadovaný pohyb vozidla počas ustáleného riadenia, pri brzdení alebo aj akcelerácii. **Nominálna uhlová rýchlosť** otáčania vozidla sa vypočíta z **rýchlosti vozidla a uhla natočenia kolies**, použitím “**jednostopového modelu (bicykel)**“, podľa

$$\dot{\psi}_{No} = \frac{v_x \delta_W}{(a + c) \left(1 + \frac{v_x^2}{v_{CH}^2} \right)}$$



Definície pomerov pri ustálenom prejazde zákruty

i_L prevodový pomer riadenia, l rázvor kolies,

R (=konšt.) polomer zákruty, $i_L(l/R)$ Ackermanov efekt

Prvky systému

Radič dynamiky vozidla

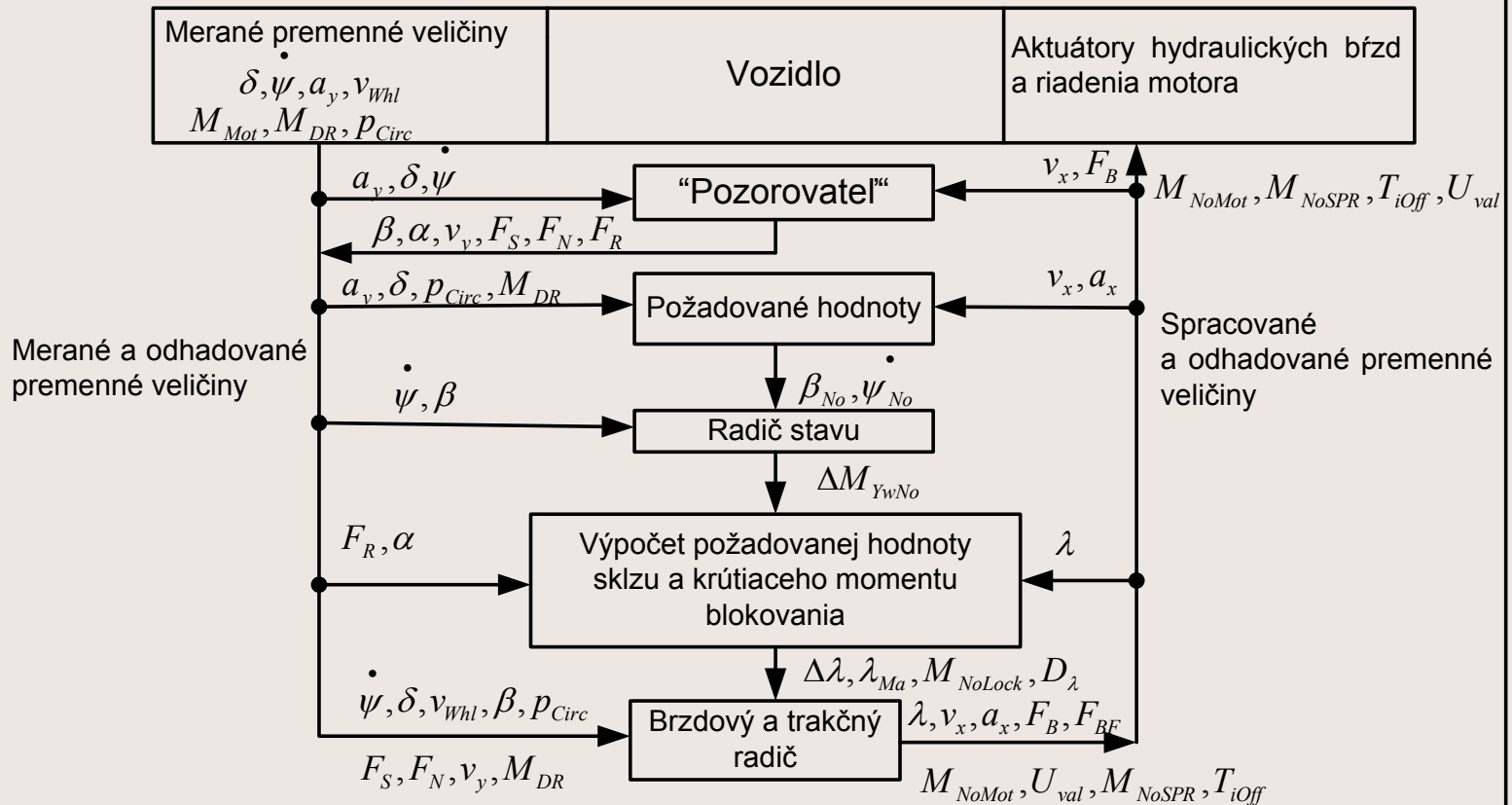
Pre riadenie **uhla stranového sklzu** je ako prvá zo všetkých limitovaná práve hodnota **uhlovej rýchlosti otáčania** vozidla, a to podľa koeficienta trenia povrchu vozovky

$$\left| \dot{\psi}_{No} \right| \leq \mu_{HF} \cdot g / v_V$$

kde g je gravitačné zrýchlenie, pričom koeficient trenia μ_{HF} a rýchlosť vozidla v_V sú odhadované hodnoty.

Na základe zmien bočných síl sa nevykonáva žiaden zásah na priame ovplyvnenie priečnej rýchlosti a tým stranového sklzu. Lepšie je nastavovať bočný pohyb nepriamo, pomocou zmien **uhla sklzu**, potom čo je iniciovaná rotácia vozidla vytvorením momentov rotácie okolo zvislej osi. Zjednodušená bloková schéma štruktúry radiča dynamiky vozidla je na [obr.](#)

Bloková schéma ESP radiča dynamicky vozidla so vstupnými a výstupnými premennými veličinami



Prvky systému

Radič dynamiky vozidla

Tzv. “pozorovateľ“ určuje **uhol sklzu** pozdĺžnej osi vozidla β , **uhol stranového sklzu** kolesa α , **priečnu rýchlosť** vozidla v_y , **sily na kolesách** v priečnom a vertikálnom smere F_S a F_N a **výsledné sily** na kolese F_R v rovine vozovky, pričom využíva jednoduchý **model vozidla**, **merané premenné** (nominálna uhlová rýchlosť otáčania $\dot{\psi}_{No}$, uhol natočenia volantu δ a stranové zrýchlenie vozidla a_y) a **odhadované premenné** (pozdĺžna rýchlosť vozidla v_X a brzdné sily F_B).

Prvky systému

Radič dynamiky vozidla

Nominálny uhol sklzu vozidla β_{No} , a nominálna uhlová

rýchlosť otáčania $\dot{\psi}_{No}$ sa určia:

- zo vstupov od vodiča (uhol natočenia volantu δ , požadovaný krútiaci moment motora M_{DR} -poloha plynového pedálu a brzdny tlak p_{Circ}),
- pomocou odhadovanej pozdĺžnej rýchlosti v smere vozidla v_x , koeficienta trenia μ_{HF} , ktorý je určený použitím odhadovaného pozdĺžneho zrýchlenia a_x a
- meraného priečného zrýchlenia a_y .

Pri spracovaní sa zohľadňuje dynamická odpoveď vozidla v špeciálnych situáciách akými sú, naklonenia, sklony vozovky, rozdielnosť μ povrchu vozovky (rozdielne koeficienty trenia medzi pneumatikami a vozovkou na ľavej a pravej strane vozidla).

Prvky systému

Radič dynamiky vozidla

Radič dynamiky vozidla je navrhnutý ako **stavový regulátor**.
Riadenými stavovými premennými veličinami sú:

- **uhol stranového sklzu** a
- **otáčavá rýchlosť** vozidla (uhlová rýchlosť vozidla okolo zvislej osi).
- Čím viac narastá uhol stranového sklzu, tým viac ho zohľadňuje radič dynamiky.

Výstupná premenná stavového regulátora korešponduje s **momentom otáčania vozidla** M_{YwNo} .

Pre konverziu **momentu otáčania** vozidla na zmeny **nominálneho sklzu** príslušných kolies je **aplikovaný linearizovaný model vozidla** spolu s aktuálnymi hodnotami sklzu λ , výslednými silami na kolesách F_R a **uhlami sklzu pneumatiky** α .

Prvky systému

Radič dynamiky vozidla

V prípade ak sa predpokladá, že vozidlo sa pohybuje voľnobežne a nastane **stav pretáčavosti v pravostrannej zákrute** tak, že je prekročená nominálna otáčavá rýchlosť (uhlová rýchlosť vozidla okolo zvislej osi), je okrem iného na **prednom ľavom kolese požadovaný nominálny brzdny sklz**. To vyvolá na vozidle zmenu momentu otáčania v protismere hodinových ručičiek, ktorá redukuje prílišnú otáčavú rýchlosť. **Nominálny sklz** sa mení **radičom nižšej úrovne**- ABS alebo TCS. Ak **neboli aktivované brzdy** alebo vodičom inicializovaný brzdový tlak nepostačoval na nastavenie požadovaného nominálneho sklzu (brzdenie v čiastočnom rozsahu), **tlak** v brzdových okruhoch sa **zvýši aktívne** (bez zásahu vodiča).

Prvky systému

Radič dynamiky vozidla

V prípade **ak je TCS v činnosti**, výstupom radiča dynamiky vozidla je pre nastavenie **nominálneho momentu otáčania** M_{YwNo} **stredná absolútna hodnota sklzu** pri akcelerácii λ_{Ma} , **tolerančné pásmo sklzu pri akcelerácii** D_λ a **nominálny moment blokovania brzd** M_{NoLock} .

Na to, aby sa dosiahlo **badateľné zlepšenie základných funkcií ABS a TCS** využitím potenciálu trenia v **nadväznosti na situáciu riadenia**, sú v radičoch sklzov v plnej miere aplikované všetky dostupné merané veličiny a odhadované hodnoty.

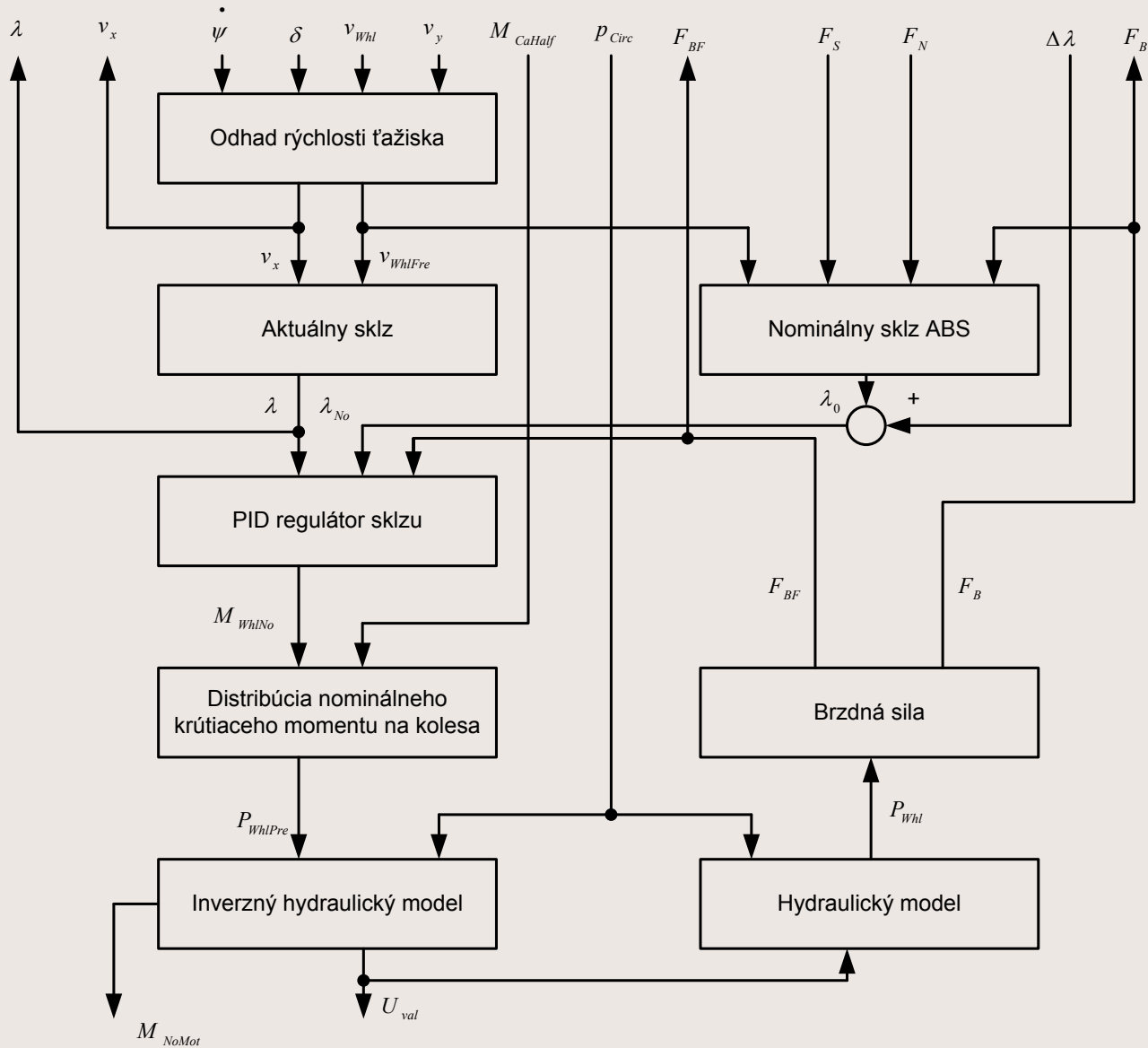
Prvky systému

Nižšia úroveň riadenia – radič blokovania kolies pri brzdení (ABS) a radič krútiaceho momentu motora (MSR)

Možnosť riadenia sklzu kolesa na definovanej úrovni, nutne vyžaduje jeho vyjadrenie s požadovaným stupňom presnosti.

Pozdĺžna rýchlosť vozidla sa **nemeria**, ale je určená z otáčok kolies v_{Whl} . Aby sa to dalo splniť, je počas pôsobenia ABS, každé koleso individuálne **udržiavané pod žiadanou hranicou brzdenia**. Inými slovami, na určitý čas **je riadenie sklzu prerušené, okamžitý brzdný moment** na kolese sa **redukuje o definovanú hodnotu** a udržiava sa konštantný. Za predpokladu, že **rýchlosť kolesa** je v konečnej fáze tohto intervalu **stabilná**, môže sa z **okamžitej brzdnnej sily** a **tuhosti C_λ** pneumatiky vypočítať **rýchlosť kolesa bez sklzu** (voľnobežná) $v_{WhlFree}$ podľa vzťahu:

Bloková schéma radiča sklzu kolies pri brzdení pre ABS a MSR so vstupnými a výstupnými veličinami



Prvky systému

Nižšia úroveň riadenia – radič blokovania kolies pri brzdení (ABS) a radič krútiaceho momentu motora (MSR)

$$v_{WhlFre} = v_{Whl} \cdot \frac{C_\lambda}{C_\lambda - \frac{F_B}{F_N}}$$

Z rýchlosti otáčania vozidla $\dot{\psi}$, uhla natočenia kolies priechnej rýchlosti v_y a geometrie vozidla, je pre stanovenie rýchlosti pohybu ťažiska v_x v pozdĺžnom smere vozidla, transformovaná vol'nobežná rýchlosť kolesa do ťažiska. Nakoniec je pre vyjadrenie vol'nobežných rýchlosti všetkých štyroch kolies v_x spätne pretransformovaná na pozície kolies. Tým je možné vypočítať aktuálny sklz λ pre riadenie troch zvyšných kolies.

$$\lambda = 1 - \frac{v_{Whl}}{v_{WhlFre}}$$

Prvky systému

Nižšia úroveň riadenia – radič blokovania kolies pri brzdení (ABS) a radič krútiaceho momentu motora (MSR)

Nominálny moment na kolese môže byť vypočítaný ako **funkcia odchýlky sklzu**, pričom sa vyžíva štruktúra **PID** regulátora, ktorého počiatočné podmienky vychádzajú zo **statickej brzdnej sily** F_{BF} .

$$\begin{aligned} M_{WhlNo} = & F_{BR} \cdot R + K_P (\lambda_{No} - \lambda) R \\ & + K_d \left(\frac{d}{dt} v_{Whl} - \frac{d}{dt} v_{WhlFre} \right) \frac{J_{Whl}}{R} \\ & + K_i \cdot C_p \cdot SUM \{ (\lambda_{No} - \lambda) \cdot D_T \} \end{aligned}$$

Prvky systému

Nižšia úroveň riadenia – radič blokovania kolies pri brzdení (ABS) a radič krútiaceho momentu motora (MSR)

Nominálny brzdný moment M_{WhlNo} môže byť v prípade hnacích kolies (ak sa má zohľadniť riadenie brzdného momentu motora) čiastočne (alebo úplne ak nie sú aktivované brzdy) stanovovaný podľa motora. Hnacie koleso s nižším nominálnym momentom kolesa je v dovolených limitoch riadené zásahom motora.

Nasledujúci vzťah sa uplatňuje pre náhon na zadných kolesách:

$$M_{NoMot} = -\frac{2m}{\ddot{U}_{Tr}} + \frac{J_{Mot} \cdot \ddot{U}_{Tr}}{R} \cdot \frac{d}{dt} v_x$$

$$m = \text{MIN}(M_{Whl3}, M_{Whl4})$$

Prvky systému

Nižšia úroveň riadenia – radič blokovania kolies pri brzdení (ABS) a radič krútiaceho momentu motora (MSR)

Pre negatívne hodnoty je nominálny moment motora M_{NoMot} limitovaný maximálnym brzdiacim momentom motora a v prípade náhonu z motora (kladné hodnoty) je limitovaný momentom maximálnej dynamiky, ktorá je stanovená výrobcom. V prípade kladného nominálneho brzdného momentu M_{WhlNo} musí byť zvyškový brzdný moment nastavený prostredníctvom brzdného tlaku.

$$p_{WhlPre} = \frac{M_{WhlNo} + M_{CaHalf}}{C_p}$$

Prvky systému

Nižšia úroveň riadenia – radič blokovania kolies pri brzdení (ABS) a radič krútiaceho momentu motora (MSR)

Tlak p_{WhlPre} , aplikovaný radičom na brzdové valce kolies je nastavený hydraulikou bŕzd a **vhodným spínacím režimom ventilov** U_{val} . Potrebný čas ventilu sa vypočíta pomocou **inverzného modelu hydrauliky**, ktorého **parametre** x_1 a x_2 sú **definované vopred** a sú **zapamätané v radiči**. V zásade sa v **modeli** využíva **Bernoulliho teoréma** pre nestlačiteľné média a charakteristiky **tlak vs. objem**.

$U_{val} > 0$ Vytvorenie tlaku,

$U_{val} = 0$ Podržanie tlaku,

$U_{val} < 0$ Zmenšenie tlaku.

$$U_{val} = \frac{p_{WhlPre} - p_{Whl}}{(x_1 + x_2 \cdot p_{Whl}) \sqrt{|p_{Circ} - p_{Whl}|}}$$

Prvky systému

Nižšia úroveň riadenia – radič blokovania kolies pri brzdení (ABS) a radič krútiaceho momentu motora (MSR)

Pretože je **mód riadenia** ventilu U_{val} limitovaný vzorkovacou periódou a je kvantovaný, **upravený tlak** p_{Whl} , ktorý má byť aktuálne nastavený musí byť vypočítaný použitím **hydraulického modelu**. **Aktuálna brzdná sila** na pneumatike F_B a **brzdná sila v ustálenom stave** F_{BF} môže byť tak vypočítaná podľa rovníc dynamiky kolesa, v ktorých sa zohľadní známy (estimovaný) **brzdný tlak** kolesa a meraná **rýchlosť kolesa**.

$$F_B = C_p \cdot \frac{p_{Whl}}{R} - \frac{M_{CaHalf}}{R} + \frac{J_{Whl}}{R^2} \cdot \frac{d}{dt} v_{Whl}$$

$$F_B = T_i \cdot \frac{d}{dt} F_{BF} + F_{BF}$$

Prvky systému

Nižšia úroveň riadenia – radič blokovania kolies pri brzdení (ABS) a radič krútiaceho momentu motora (MSR)

Ustálená (filtrovaná) brzdná sila F_{BF} tak slúži ako referenčná premenná pre PID radič. Využitím vypočítaného pracovného bodu λ_0 , a zmeny sklzu, stanovenej radičom dynamiky vozidla, vypočíta ABS radič nominálny sklz pneumatiky λ_{No} .

$$\lambda_0 = A_0 \cdot \mu_{Res} + \frac{A_1}{v_{WhlFre}} + A_2$$

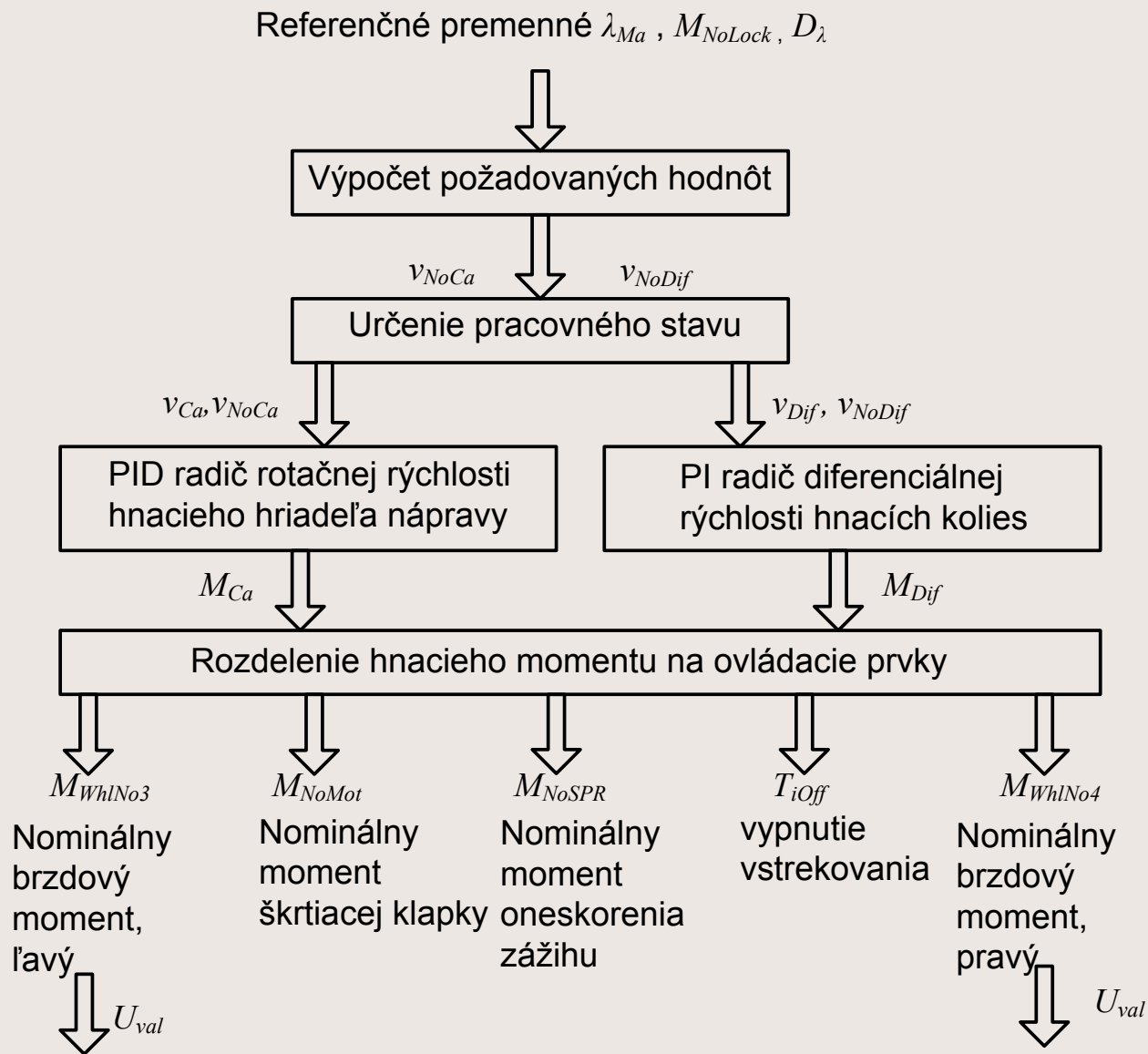
$$\mu_{Res} = \frac{\sqrt{F_B + F_S}}{F_N}$$

Prvky systému

Nižšia úroveň riadenia – radič trakcie (TCS)

Pri vozidlách s pohonom zadnej nápravy, je radič trakcie používaný pre kontrolu sklzu len pre poháňané kolesá. Aktívne zasahovanie do činnosti predných kolies sa vykonáva prostredníctvom radiča brzdiaceho sklzu. Na rozdiel od ABS, radič trakcie prijíma od radiča dynamiky vozidla nominálnu strednú hodnotu sklzu trakcie λ_{Ma} obidvoch poháňaných kolies a nominálnu hodnotu krútiaceho momentu blokovania brzd M_{NoLock} , ktorá je využitá ako referenčná premenná pre priame ovplyvňovanie momentu otáčania vozidla.

Bloková schéma radiča TCS so vstupnými a výstupnými hodnotami



Prvky systému

Nižšia úroveň riadenia – radič trakcie (TCS)

Nominálnou hodnotou pre diferenciálne rýchlosti dvoch poháňaných kolies v_{NoDif} je rozdiel ich (voľnobežných) rýchlostí, pomocou čoho radič dynamiky vozidla taktiež špecifikuje rozsah tolerancie D_λ pre rozdiel medzi dvoma hodnotami sklzu kolies vozidla. Tento rozdiel predstavuje mŕtvu zónu pre regulačnú odchýlku, čím sa môže vygenerovať nominálny krútiaci moment blokovania brzd M_{NoLock} .

Prvky systému

Nižšia úroveň riadenia – radič trakcie (TCS)

TCS modul počíta:

- nominálny brzdný moment M_{WhlNo} pre obe poháňané kolesá,
- nominálny krútiaci moment motora M_{NoMot} , nastavený zásahom škrtiacej klapky motora,
- nominálnu hodnotu M_{NoSPR} pre redukciu krútiaceho momentu motora, využitím nastavenia bodu zážihu (SPR = zmenšenie predstihu zážihu) a ako
- voliteľné možnosti sa môžu aplikovať časový interval T_{iOFF} , počas ktorého je EFI (Electronic Fuel Injection) prerušené, pričom sa tiež môže určiť počet valcov s prerušenou dodávkou paliva.

Prvky systému

Nižšia úroveň riadenia – radič trakcie (TCS)

Nominálne hodnoty rýchlosti kľukového (kardanového) hriadeľa a diferenciálnych rýchlosti kolies (v_{NoCa} a v_{NoDif}) sú vypočítané z nominálnych hodnôt sklzu spolu s (voľnobežnou) rýchlosťou kolies v_{WhlFre} . Riadené premenné veličiny v_{Ca} a v_{Dif} su vypočítané z rýchlostí kolies v_{Whl3} a v_{Whl4} :

$$v_{Ca} = \frac{1}{2} (v_{Whl3} + v_{Whl4})$$

$$v_{Dif} = v_{Whl3} - v_{Whl4}$$

Prvky systému

Nižšia úroveň riadenia – radič trakcie (TCS)

Dynamická reakcia závisí od značne sa líšiacich pracovných režimov riadeného systému. Z toho dôvodu je nevyhnutné určovať pracovný režim, aby sa dali adaptovať riadiace parametre podľa dynamických reakcií riadiacich systémov a podľa nelinearít. Veľký moment zotrvačnosti celkového hnacieho ústrojenstva (motor, prevodovka, kardanový hriadeľ nápravy, a hnacie kolesá) má vplyv na rýchlosť kardanového hriadeľa nápravy v_{Ca} . Preto sú hnacie ústrojenstvo a tým aj rýchlosť kardanového hriadeľa v_{Ca} , charakteristické relatívne veľkou časovou konštantou (dlhá dynamická odpoveď). Na druhej strane je časová konštanta diferenciálnej rýchlosti kolies v_{Dif} relatívne malá, preto je dynamická odpoveď v_{Dif} určovaná takmer v celkovej miere malými momentmi zotrvačnosti dvoch kolies.

Prvky systému

Nižšia úroveň riadenia – radič trakcie (TCS)

Okrem iného, v_{Dif} na rozdiel od v_{Ca} nie je priamo ovplyvňovaná motorom. v_{Dif} a v_{Ca} sú preto využívané ako riadené premenné veličiny pretože umožňujú separáciu systému hnacieho ústrojenstva (meraná rýchlosť kolies, zadné ľavé a zadné pravé, v_{Whl3} a v_{Whl4} jednotlivo) na dva podsystemy s odlišnou dynamickou odpoveďou a odlišným pôsobením motora. Zásah motora a “symetrická“ časť brzdneho pôsobenia reprezentujú riadené premenné veličiny radiča rýchlosti kardanového hriadeľa v_{Ca} . Asymetrická časť brzdaceho zásahu je budiacim signálom pre radič diferenciálnych rýchlosti v_{Dif} .

Prvky systému

Nižšia úroveň riadenia – radič trakcie (TCS)

Rýchlosť kardanového hriadel'a je riadená prostredníctvom nelineárneho PID radiča, z čoho najmä zisk časti I (v závislosti od pracovného režimu) sa môže meniť v širokom rozsahu. Počas ustáleného stavu je I- zložka mierou pre krútiaci moment, ktorý môže byť prenesený na povrch vozovky. Krútiaci moment kardanového hriadel'a M_{Ca} je riadeným výstupom.

Pre riadenie diferenciálnej rýchlosti kolies v_{Dif} sa používa nelineárny PI radič. Parametre radiča sú závislé na zaradenom rýchlostnom stupni a na vplyve motora. Z tolerančného pásma D_λ diferencií sklzu poháňaných kolies (je výstupom radiča dynamiky vozidla) je vypočítaná a mŕtva zóna pre regulačnú odchýlku od v_{Dif} .

Prvky systému

Nižšia úroveň riadenia – radič trakcie (TCS)

Pre zaistenie adekvátneho pohonu, riadenie dynamiky vozidla presne určí relatívne úzku mŕtvu zónu pre "rozdelenie μ ".

Preto zvýši citlivosť radiča na rozdielovú rýchlosť kolies v_{Dif} .

Ak sa zníži nominálny moment blokovania brzd M_{NoLock} , alebo v prípade voľby "Select-Low control", radič dynamiky vozidla definuje širšie tolerančné pásmo. V týchto prípadoch radič diferencií otáčok kolies v_{Dif} povolí väčšie rozdiely medzi uhlovými rýchlosťami zadných kolies. Výstupom radiča je nominálny diferenciálny krútiaci moment M_{Dif} .

Krútiacim moment kardanového hriadeľa M_{Ca} a nominálny diferenciálny krútiaci moment M_{Dif} sú distribuované k aktuátorom.

Prvky systému

Nižšia úroveň riadenia – radič trakcie (TCS)

Príslušným módom otvárania ventilov U_{val} v hydraulickom modulátore sa nastaví nominálny diferenciálny krútiaci moment M_{Dif} diferenciou brzdného momentu medzi ľavým a pravým hnacím kolesom. Nominálny krútiaci moment kardanového hriadeľa M_{Ca} sa dosiahne zásahom motora a symetrickým brzdným zásahom. To predstavuje relatívne veľké oneskorenie (mŕtvy čas a prechodový dej motora) kým sa uplatní zásah škrtiacej klapky. Pre rýchly zásah motora, ak je to voliteľné, je oneskorené zapálenie a vstrekovanie paliva je prerušené. Krátkodobú podporu pre redukciu točivého momentu motora poskytuje symetrický brzdný zásah.

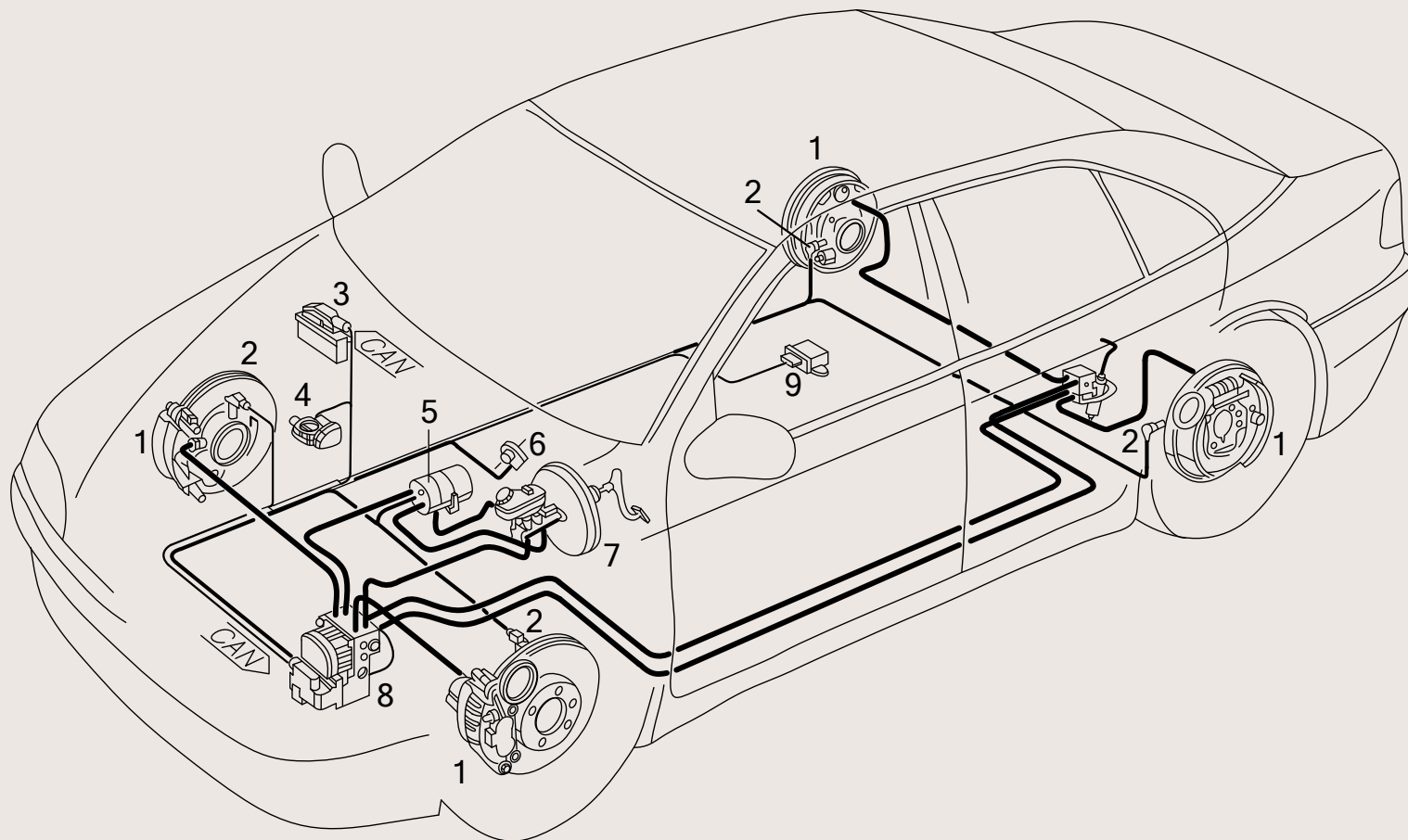
Pomocou tohto modulu môže byť radič trakcie relatívne jednoducho prispôsobený na rôzne typy zásahu motora.

Realizácia systému

Hydraulický modulátor a snímače otáčok kolies sú vhodné pre prevádzku v podobných podmienkach (ABS). Snímač rýchlosti otáčania, snímač stranového zrýchlenia, snímač uhla natočenia volantu a ECU sú navrhnuté pre inštalácie v časti pre pasažierov alebo v motorovej časti. Príklad inštalácie súčiastok vo vozidle spolu s ich elektrickými i mechanickými prepojeniami je na [obrázku](#).

ESP systém s elektrickým príslušenstvom vo vozidle

1 Brzdy kolies, 2 Snímače otáčok kolies, 3 Riadiaca jednotka motora ECU pripojená na CAN, 4 Ovládač škrtiacej klapky, 5 Tlakové čerpadlo so snímačom tlaku, 6 Snímač uhla natočenia volantu, 7 Posilňovač bŕzd s hlavným valcom, 8 Hydraulický systém so snímačom brzdného tlaku a pripojená ECU, 9 Snímač otočenia okolo zvislej osi s integrovaným snímačom stranového zrýchlenia



Senzory

Monitorovanie prepojenia je nevyhnutnosť a môže byť zrealizované efektívne a za nízku cenu v súčasných moderných ECU. To má rozhodujúci vplyv na architektúru prepojenia snímačov.

Potreby, ktoré sa odrážajú v požiadavkách na snímače boli stanovené podľa hodnotiacich simulačných štúdií spolu s rozsiahlym programom cestných skúšok. Boli tiež ozrejmené dôsledky vedľajších účinkov na činnosť ESP (vplyv pozičných tolerancií, vzájomné väzby a iné poruchy snímačov). Výsledkom bola viacúrovňová a tak veľmi hustá monitorovacia sieť, v ktorej sú začlenené aspekty analytickej nadbytočnosti. Aby bolo možné zvládnuť požadovanú spoľahlivosť tak zložitých systémov, ktoré sú podstatné z pohľadu bezpečnosti, aspekt analytickej redundancie musí byť začlenený aj napriek nárastu ceny z dôvodu aplikácie nadbytočných senzorov.

ECU

ECU je konštruovaná na konvenčných (4 vrstvových) pcb (dosky plošných spojov) technológiách a okrem dvoch čiastočne predimenzovaných mikropočítačov zahŕňa všetky ovládacie obvody pre spínanie ventilov a indikátorov ako aj polovodičové spínacie prvky pre ventily a čerpadlo, vstupné obvody pre úpravy signálov snímačov a príslušné vstupy prepínačov prídavných signálov, ako napr. od spínača brzdových svetiel. Ďalej je integrované rozhranie CAN, ktoré umožňuje komunikáciu s inými systémami vo vozidle (napríklad riadenie motora a riadenie prevodovky). Veľký počet pripojených vstupných signálov vyžaduje používanie špeciálnych konektorov na to aby rozmery zapuzdrenej ECU boli minimálne.

Monitorovací systém

Komplexný systém monitorovania bezpečnosti má fundamentálnu dôležitosť pre spoľahlivé fungovanie ESP. Používaný systém zahŕňa celý systém spolu so všetkými súčastami a zohľadňuje všetky ich funkčné vzájomné ovplyvňovanie. Bezpečnostný systém sa opiera o metódy bezpečnosti, ako napríklad FMEA, ETA a štúdie simulácie chýb. Na základe toho sú odvodené opatrenia pre zamedzenie chýb, ktoré by mohli mať dôsledky na bezpečnosť. Rozsiahle monitorovacie programy zaručujú spoľahlivé zistenie porúch zo všetkých snímačov, ktorým sa úplne nedá predísť. Tieto programy vychádzajú z dobre preverených softvérov bezpečnosti ABS a ABS/TCS systémov, ktoré monitorujú všetky pripojenia súčiastok k ECU spolu s ich signálmi a funkciami. Softvér bezpečnosti bol ďalej zlepšený plným využitím možností, ponúkanými ďalšími snímačmi a ich prispôbením pre špeciálne komponenty a funkcie ESP.

Monitorovací systém

Snímače sú monitorované na niekoľkých stupňoch:

V prvom stupni sú snímače plynulé monitorované na rozpojenie obvodu a na neprijateľnosť signálu (kontrola mimo rozsah, zistenie rušenia, fyzikálna prijateľnosť).

V druhom stupni sú najdôležitejšie snímače skúšané jeden po druhom. Snímač rýchlosti otáčania je skúšaný úmyselným rozladením a časť snímača potom hodnotí signál odpovede. Dokonca snímač zrýchlenia má interné monitorovanie na pozadí. Keď je aktivovaný snímač tlaku, musí sa vykazovať preddefinované charakteristiky a ofset ako aj zosilnenie je kompenzované interne. Senzor uhla natočenia volantú je vybavený "lokálnou inteligenciou" a má svoju vlastnú monitorovaciu funkciu, ktorá priamo dodáva každé chybové správy do ECU. Navyše prenos digitálneho signálu do ECU je permanentne sledovaný.

Monitorovací systém

V tretom stupni ja analytická redundancia aplikovaná na monitorovanie snímačov počas prevádzky vozidla v ustálenom stave. Tu sa kontrolujú vzťahy medzi signálmi senzorov, ktoré sú určené pohybom vozidla, ich prípadne narušenie, použitím modelu vozidla. Tieto modely sú taktiež často uplatňujú pri výpočte a kompenzácii ofsetov snímačov, v medziach ich technických špecifikácií.

V prípade chyby sa systém vypne buď čiastočne alebo úplne v závislosti od druhu vyskytujúcej sa chyby. Odpoveď systému na chyby závisí tiež na tom, či riadenie je aktivované alebo nie.

Niektoré konštrukčné detaily

Používajú sa rôzne systémy ESP (napr. koncern VW používa dva typy)

- CONTINENTAL TEVES (ITT AUTOMOTIVE)
- BOSCH

Rozdiel:

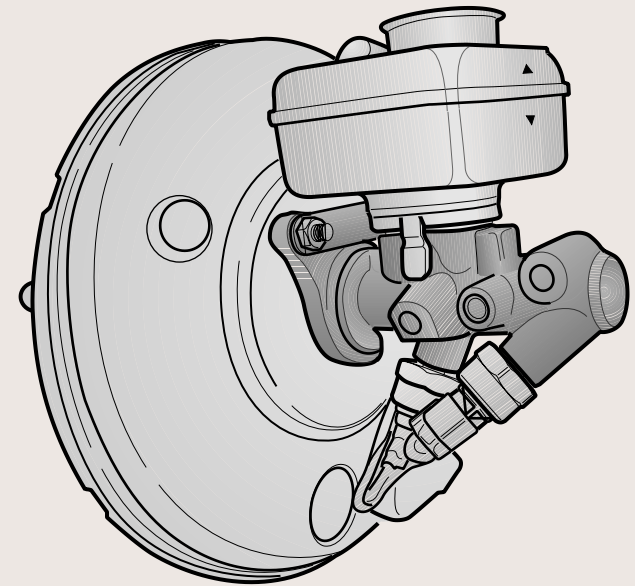
Aby sa vozidlo nedostalo do šmyku, musí na brzdy začať pôsobiť systém jazdnej dynamiky, ako je napr. ESP, v zlomku sekundy. Zvýšenie tlaku zaisťuje hydraulické čerpadlo ABS. Pre zlepšenie výkonu čerpadla, najmä pri nízkych teplotách, je potrebné, aby na strane nasávania čerpadla bol k dispozícii dostatočný predtlak. A práve v spôsobe zaisťovania tohto predtlaku tkvie rozdiel medzi oboma systémami.

V systéme CONTINENTAL TEVES je predtlak vytváraný aktívnym posilňovačom brzd alebo vlastným hydraulickým čerpadlom ABS. Hydraulická jednotka a riadiaca jednotka ABS s EDS/ASR/ESP tvorí jednu konštrukčnú skupinu.

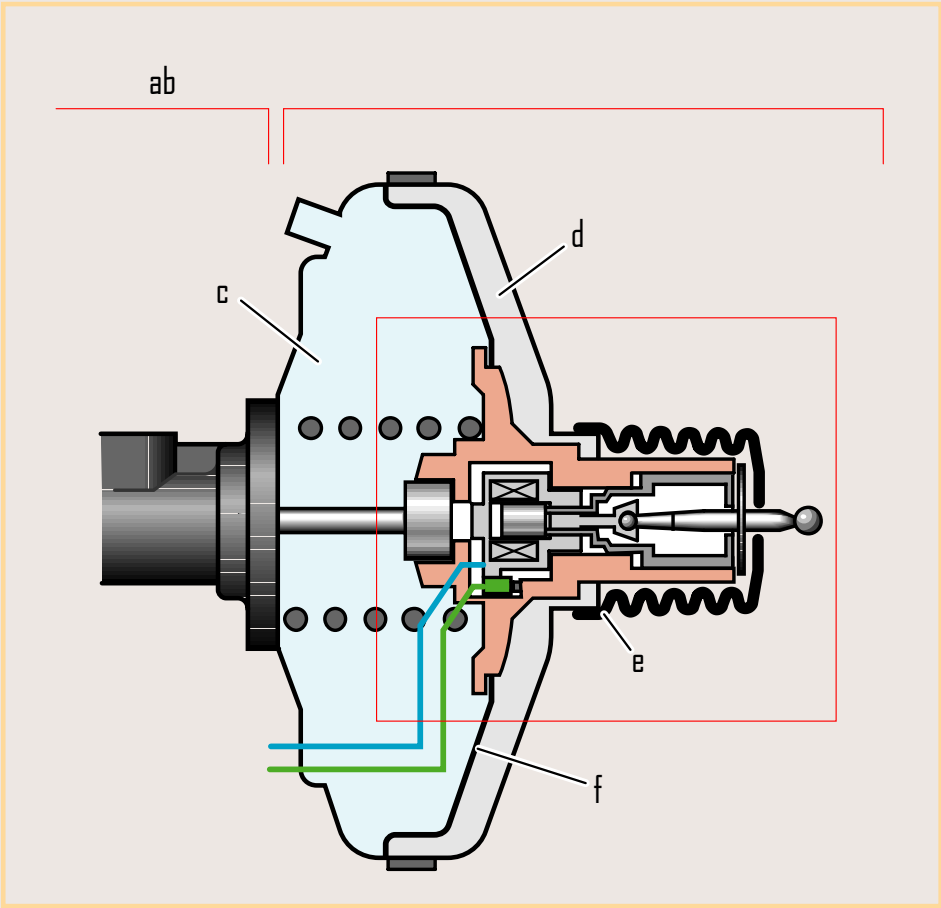
V systéme BOSCH je predtlak vytváraný pomocou predplňovacieho čerpadla. Čerpadlo sa tiež označuje ako hydraulické čerpadlo pre reguláciu jazdnej dynamiky a nachádza sa pod hydraulickou jednotkou. Riadiaca jednotka ABS s EDS/ASR/ESP je od hydraulickej jednotky oddelená. Novšie systémy BOSCH pracujú aj bez predplňovacieho čerpadla.

Aktívny posilňovač brzd s brzdovým valcom

Aktívny posilňovač brzd alebo aktívny booster okrem obvyklej funkcie, zosilňovať tlak vyvolaný nohou na brzdový pedál (zosilnenie sa vykonáva pomocou podtlaku zo sacieho potrubia alebo od podtlakového čerpadla), vytvára predtlak pre regulačný proces ESP. Vytváranie predtlaku je dôležité preto, že nasávanie hydraulického čerpadla ABS nestačí vždy na to, aby bol vytvorený potrebný tlak. Príčinou je vysoká viskozita (odpor medzi časticami tekutiny pri prúde) brzdovej kvapaliny pri nízkych teplotách.

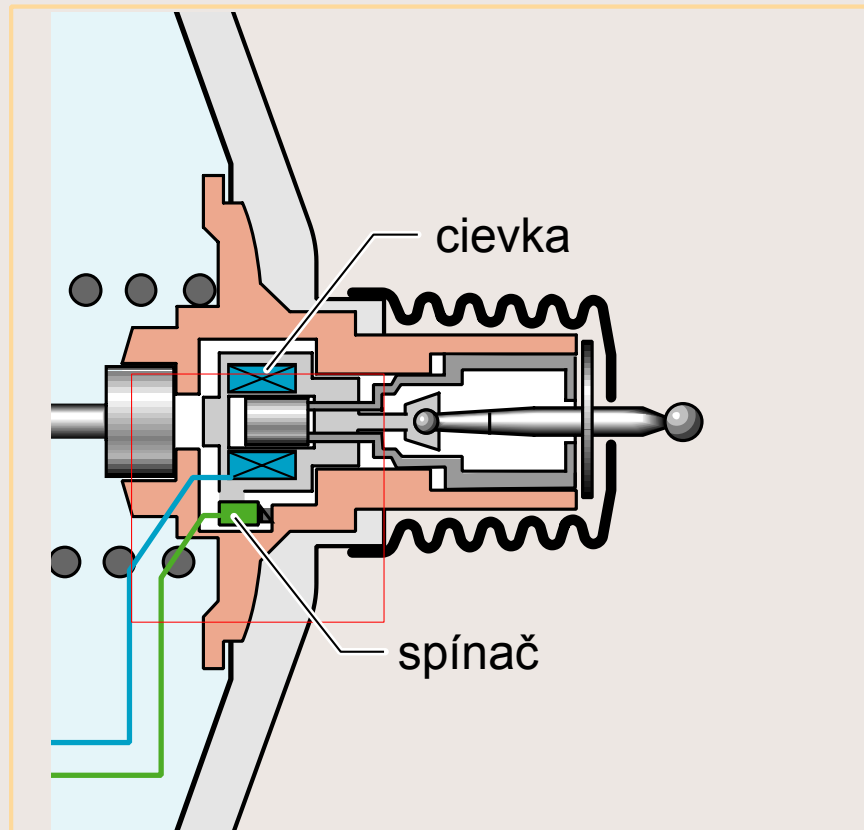


Booster sa skladá z modifikovaného (upraveného) brzdového valca **a** a posilňovača bŕzd **b**. Posilňovač bŕzd sa delí na podtlakovú časť **c** a tlakovú časť **d**. Obe časti sú oddelené membránou **f**. Posilňovač má ešte elektromagnetickú jednotku piestu ventilu **e**.

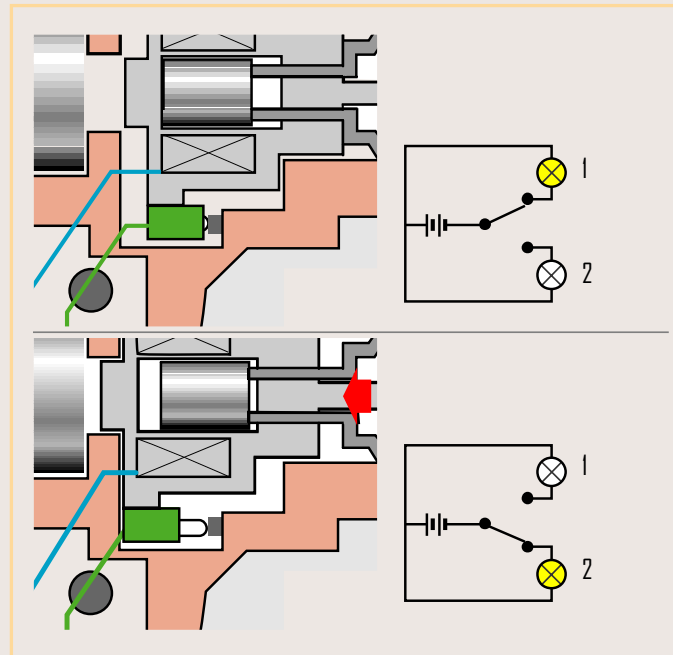


Elektromagnetická jednotka piesta ventila je elektricky spojená so systémom ESP a skladá sa:

- zo spínača pre rozpoznanie brzdzenia ESP
- z elektromagnetickej cievky tvorby brzdneho tlaku
- zo sústavy ventilov pre vedenie vzduchu

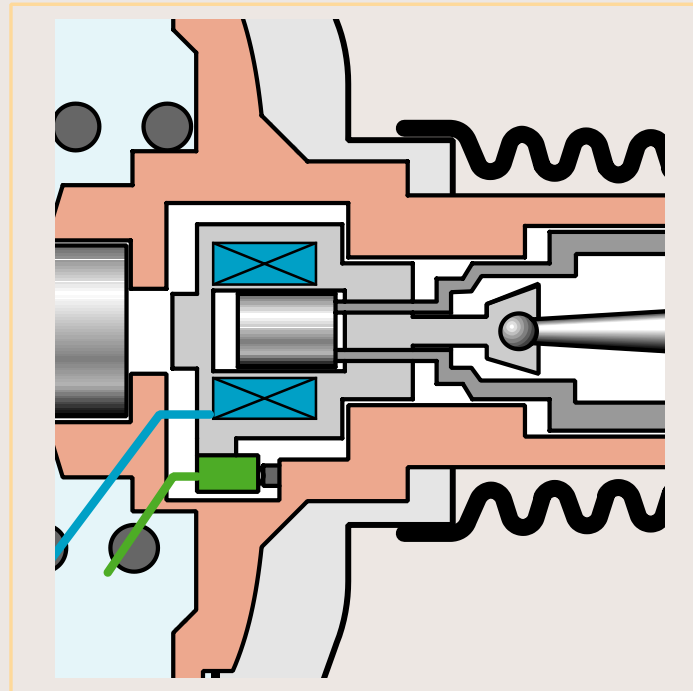


Spínač pre rozpoznanie brzdzenia ESP je možno tiež označiť ako spúšťací spínač. Jedná sa vlastne o prepínač. Ak nie je brzdový pedál zošliapnutý, je stredový kontakt spojený so signálnym kontaktom 1. Zošliapnutím brzdového pedálu sa prepne a spojí sa tak so signálnym kontaktom 2. Žiarovky 1 a 2 v skutočnosti v spínači nie sú. Znázorňujú rôzne zopnuté elektrické obvody. Vzhľadom k tomu, že je vždy zopnutý jeden kontakt, je signál spínača stále jednoznačný. Vďaka tomu poskytuje tento spínač vysokú vlastnú bezpečnosť.

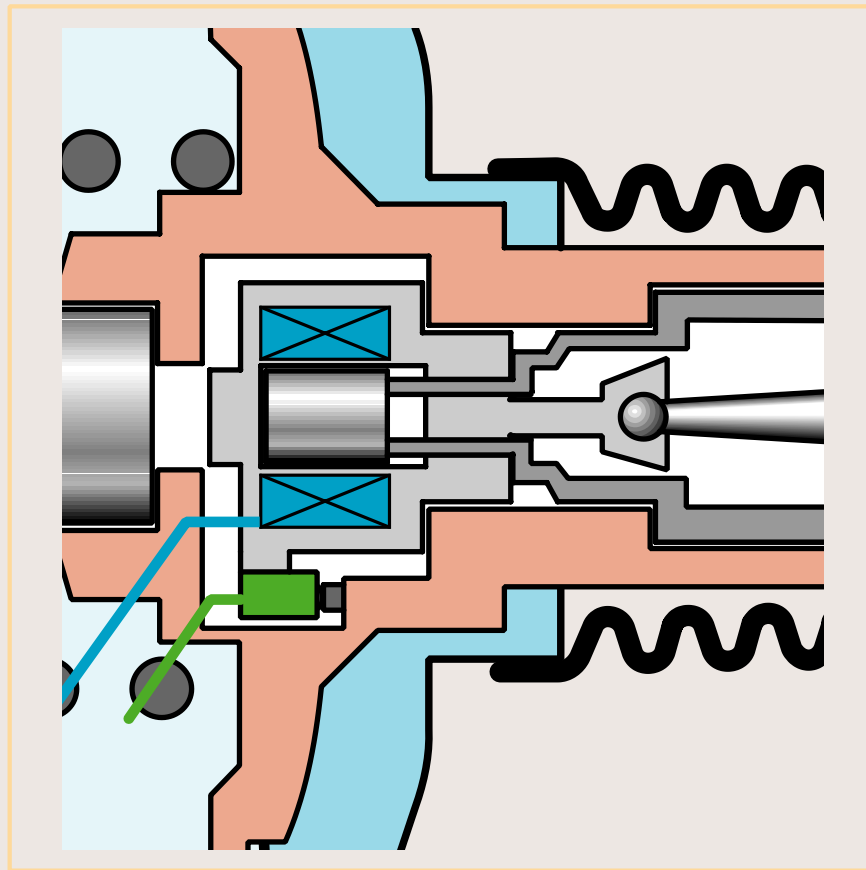


Činnosť elektromagnetickej jednotky piesta ventilu

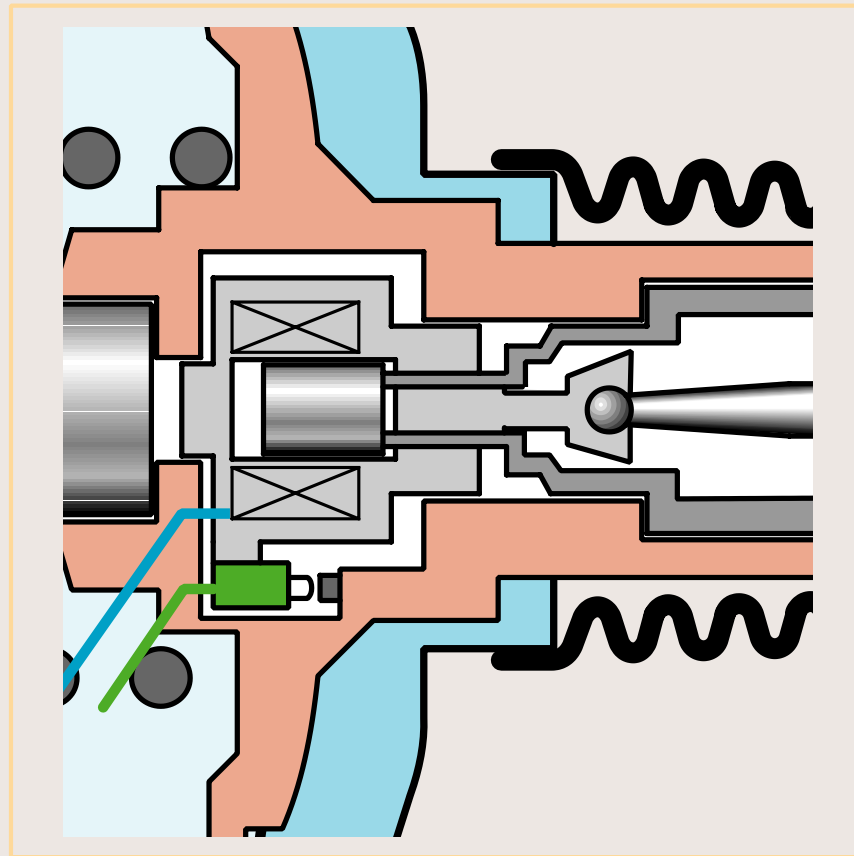
Elektromagnetickou jednotkou piesta ventilu sa vytvára predtlak 1 MPa (10 bar), ktorý je potrebný na sacej strane hydraulického čerpadla, bez toho, aby vodič musel zošliapnuť brzdový pedál. Ak systém zistí, že je potrebné použiť ESP a vodič zatiaľ ešte brzdový pedál nezošliapol, aktivuje riadiaca jednotka ABS s EDS/ASR/ESP elektromagnetickú cievku tvorby brzdného tlaku.



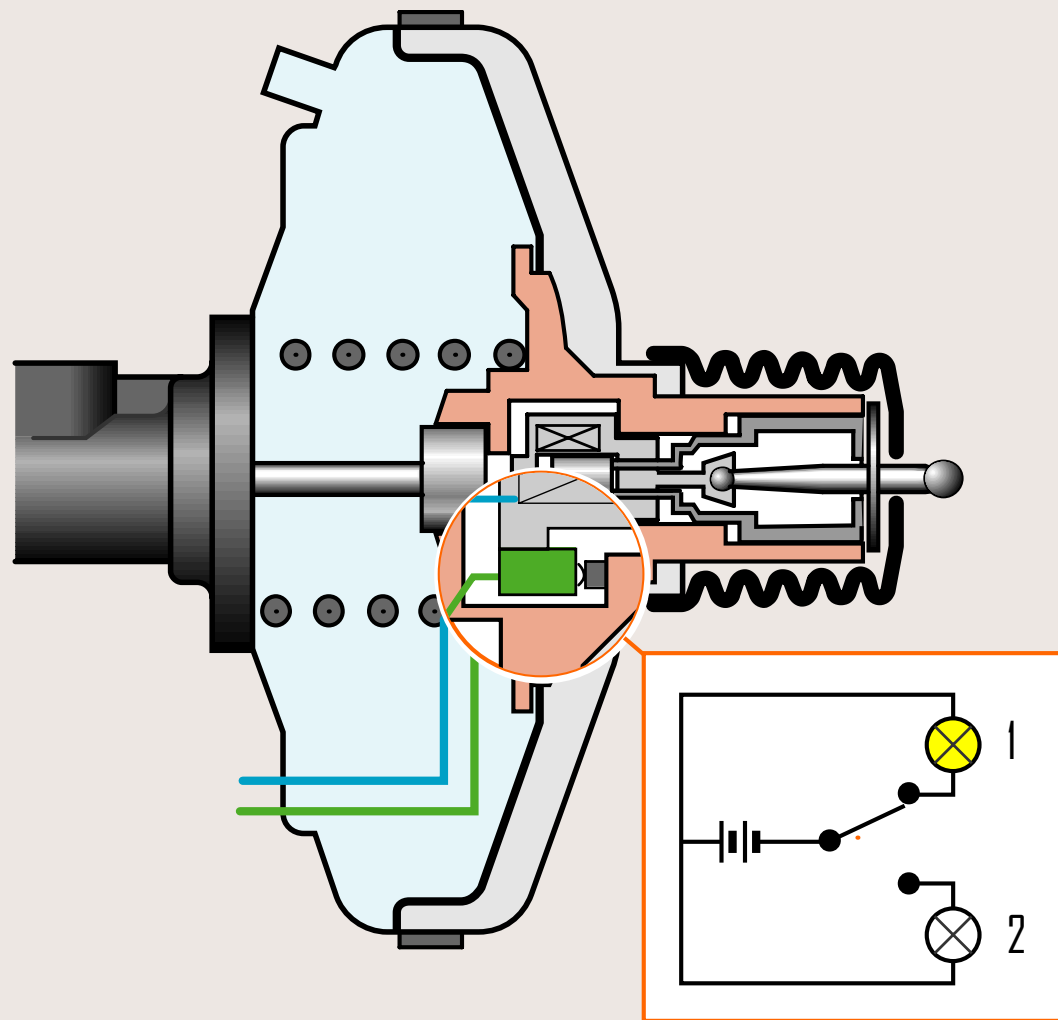
V elektromagnetickej cievke sa vytvorí magnetické pole a ocelové jadro sa vtiahne do cievky. Týmto pohybom sa otvoria ventily v elektromagnetickej jednotke piesta ventilu a do posilňovača brzd začne prúdiť dostatok vzduchu na to, aby sa vytvoril predtlak 1 MPa (10 bar).



Len čo dôjde k prekročeniu požadovaného predtlaku, zmenší sa veľkosť prúdu, ktorý preteká elektromagnetickou cievkou. Ocelové jadro sa vracia do pôvodnej polohy a predtlak klesá. Po ukončení činnosti ESP, prípadne po zošliapnutí brzdového pedála riadiaca jednotka ABS s EDS/ ASR/ESP elektromagnetickú cievku zase vypne.



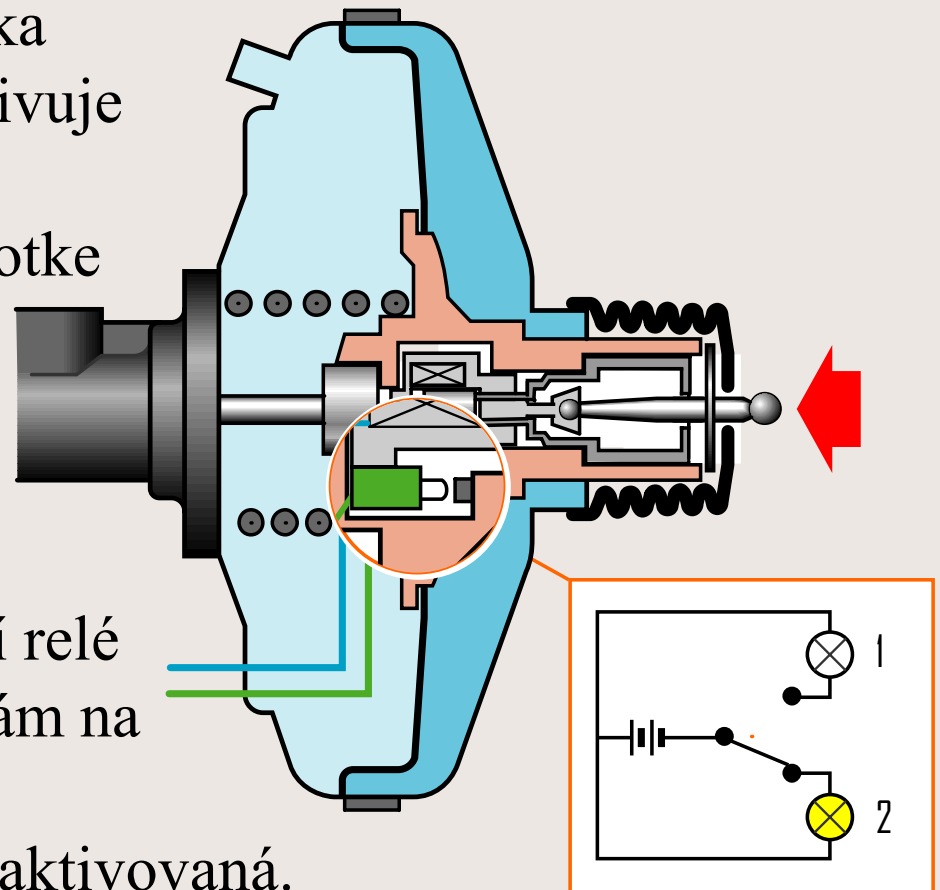
Spínač oznamuje systému ESP, či vodič brzdí. Ak je stredový kontakt spojený s kontaktom 1, znamená to, že si systém ESP musí potrebný predtlak vytvoriť sám.



Ak vodič zošliapne brzdový pedál, posunie sa elektromagnetická cievka smerom k hlavnému brzdovému valcu. Tým sa stredový kontakt odpojí zo signálneho kontaktu 1 a spojí sa so signálnym kontaktom 2. Systém ESP pozná, že vodič brzdí. Predtlak sa vytvorí zošliapnutím brzdového pedála a elektromagnetická cievka nemusí byť aktivovaná.

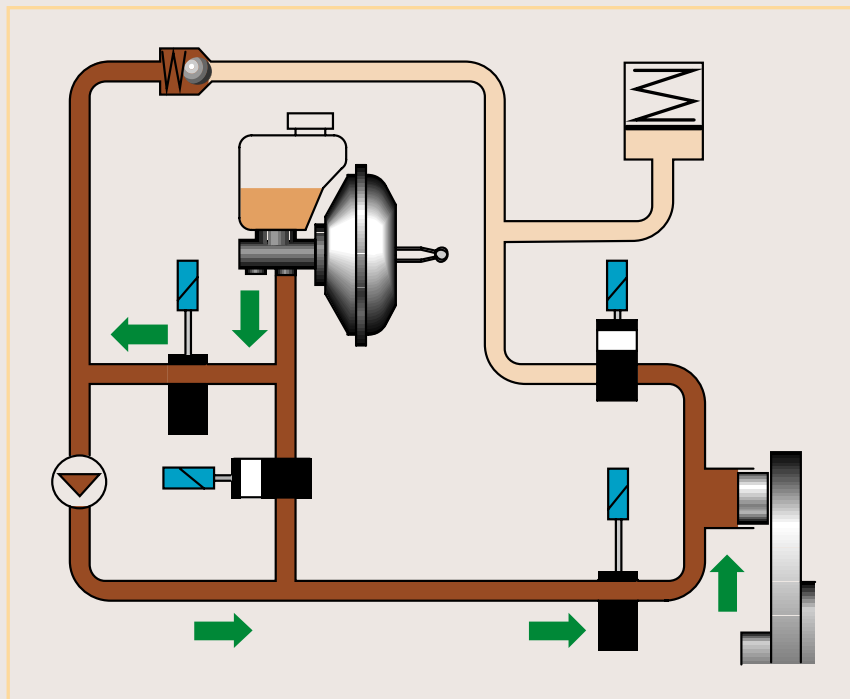
Ako náhle riadiaca jednotka ABS s EDS/ASR/ESP aktivuje elektromagnetickú cievku v elektromagnetickej jednotke piesta ventilu, mohlo by sa stať, že spínač brzdových svetiel rozsvieti brzdové svetlá.

Aby sa tak nestalo, preruší relé vedenie k brzdovým svetlám na celú dobu, počas ktorej je elektromagnetická cievka aktivovaná.



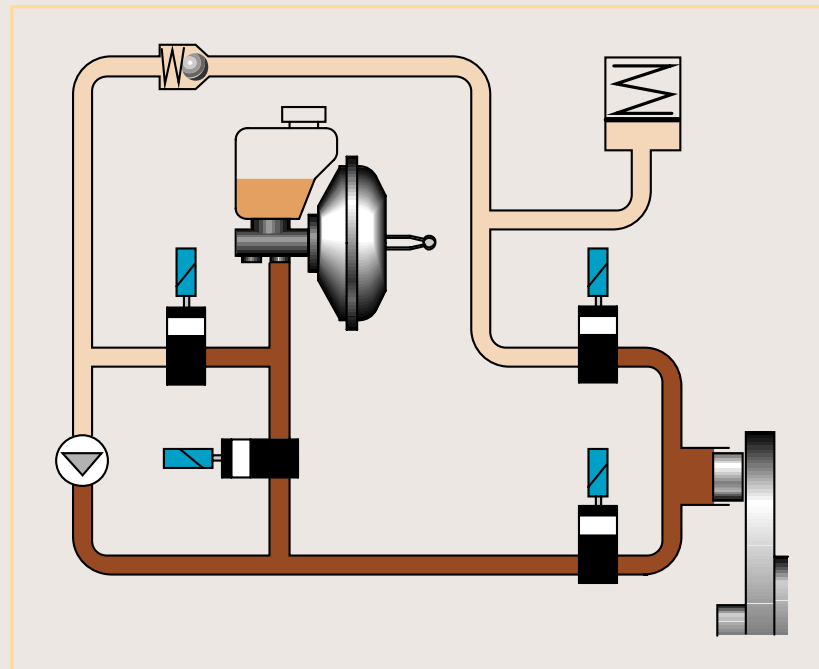
Tvorba tlaku

Aby mohlo hydraulické čerpadlo ABS nasávať hydraulickú kvapalinu, musí booster vytvoriť predtlak. (V niektorých systémoch je predtlak vytváraný priamo hydraulickým čerpadlom ABS.) vypúšťací ventil ESP **a** sa zavrie napúšťací ventil ESP **b** je otvorený Napúšťací ventil ABS **c** zostane tak dlho otvorený, dokiaľ bude potreba koleso pribrzd'ovat'.



Udržiavanie tlaku

Všetky ventily sú zatvorené.

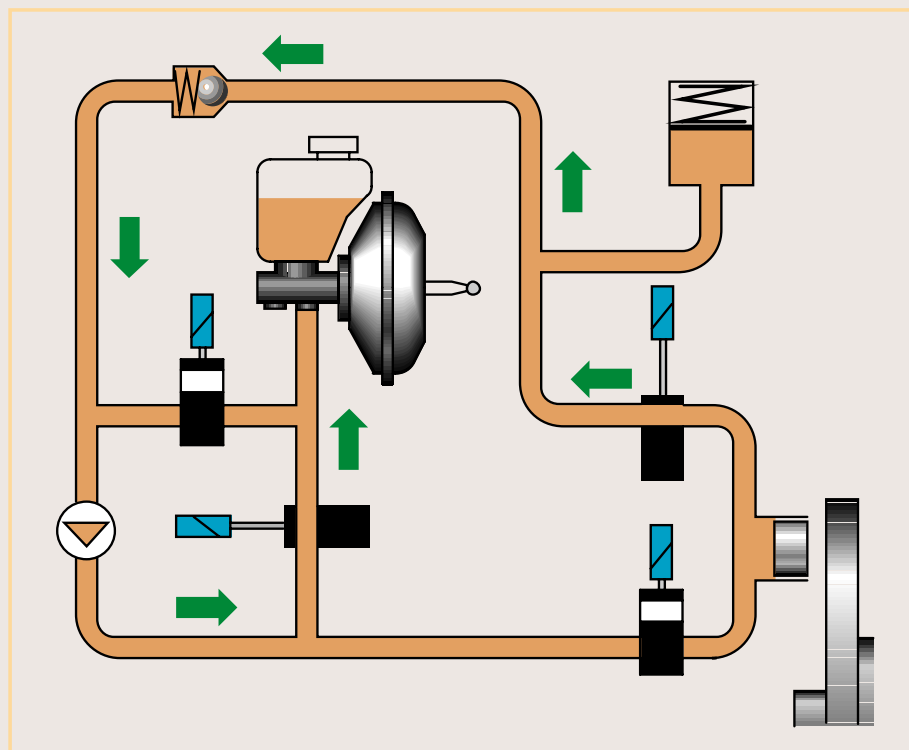


Znižovanie tlaku

Vypúšťací ventil ABS **d** je otvorený, vypúšťací ventil ESP **a** je v závislosti od veľkosti tlaku otvorený alebo zavretý.

Napúšťací ventil ESP **b** a napúšťací ventil ABS **c** sú uzavreté.

Brzdová kvapalina je vedená cez vypúšťací ventil ESP **a** a brzdový valec späť do zásobnej nádobky.



Veličiny a termíny

a	Vzdialenosť predných kolies od ťažiska automobilu
a_x	Odhadované pozdĺžne zrýchlenie vozidla
a_y	Odmerane stranové zrýchlenie automobilu
A_0, A_1, A_3	Parametre pre výpočet pracovného bodu pneumatiky
c	Vzdialenosť zadných kolies od ťažiska automobilu
C_p	Brzdny krútiaci moment
C_λ	Pozdĺžna tuhosť pneumatiky
D_T	Vzorkovacia perióda riadenia
D_λ	Prípustná odchýlka rozdielu sklzu hnacích kolies vozidla
F_B	Brzdiaca sila na kolese
F_{BF}	Ustálený (filtrovaný) stav brzdiacej sily na kolese
F_N	Priečna sila na kolese
F_R	Výsledná sila na kolese
F_S	Bočná (stranová) sila na kolese
J_{Mot}	Moment zotrvačnosti motora
J_{Wh}	Moment zotrvačností koleša
K_p, K_d, K_i	Zisky riadenia pre časti P, D a I

Veličiny a termíny

M_{Dif}	Lokálny rozdiel brzdného krútiaceho momentu medzi hnacími kolesami
M_{DR}	Točivý moment motora požadovaný vodičom
M_{YwNo}	Nominálny moment otáčania vozidla
ΔM_{YwNo}	Mala zmena v nominálnom momente zatáčania vozidla
M_{CaHalf}	Polovičný točivý moment na kardanovom hriadeli nápravy
M_{Ca}	Točivý moment na kardanovom hriadeli nápravy
M_{Mot}	Aktuálny krútiaci moment motora
M_{WhlNo}	Nominálny brzdny krútiaci moment
M_{NoMot}	Nominálny krútiaci moment motora
M_{NoLock}	Rozdiel nominálnych brzdnych krútiacich momentov medzi hnacími kolesami
M_{NoSPR}	Redukcia nominálneho točivého momentu motora znižovaná predstihom zážihu
p_{Circ}	Tlak v brzdovom okruhu vyvolaný vodičom
p_{Whl}	Tlak brzdovom valci kolesa
p_{WhlPre}	Nominálny tlak v brzdovom valci kolesa
R	Polomer kolesa

Veličiny a termíny

T_{iOFF}	Doba je vypnutia vstrekovania paliva
\dot{U}_{Tr}	Prevodový pomer
U_{val}	Ovládací režim od solenoidového ventilu
v_{CH}	Charakteristická rýchlosť automobilu
v_{Dif}	Rozdiel medzi rýchlosťami hnacích kolies
v_V	Rýchlosť vozidla
v_{Ca}	Rýchlosť kardanového hriadeľa nápravy
v_{Whl}	Meraná rýchlosť kolesa
v_{Whl3}	Meraná rýchlosť zadného ľavého kolesa
v_{Whl4}	Meraná rýchlosť zadného pravého kolesa
v_{WhlFre}	Rýchlosť kolesa (voľné odvalovanie)
v_{NoDif}	Nominálny rozdiel medzi rýchlosťami kolies
v_{NoCa}	Nominálna rýchlosť kardanového hriadeľa nápravy
v_x	Rýchlosť vozidla v pozdĺžnom smere (v smere osi x)
v_y	Rýchlosť vozidla v postrannom smere (v smere osi y)
x_1, x_2	Parametre inverzného hydraulického modelu

Veličiny a termíny

α	Uhol sklzu pneumatiky
α_0, λ_0	Pracovný bod pneumatiky
β	Uhol sklzu automobilu
β_{No}	Nominálny uhol sklzu automobilu
δ	Uhol natočenia volantu
δ_w	Uhol natočenia riadenia predných kolies
λ	Sklz pneumatiky
λ_{No}	Nominálny sklz pneumatiky
λ_{Ma}	Nominálny priemerný sklz hnacích kolies vozidla
μ_{HF}	Koeficient trenia medzi pneumatikami a povrchom vozovky
μ_{Res}	Výsledný koeficient trenia medzi pneumatikou a vozovkou
$\dot{\psi}$	Uhlová rýchlosť zatáčania vozidla
$\dot{\psi}_{No}$	Nominálna uhlová rýchlosť zatáčania vozidla
m	Minimálna hodnota nominálneho brzdiaceho krútiaceho momentu hnacieho kolesa
MIN	Minimálna hodnota operátora
SUM	Udalosťou riadené integrovanie
ZWV	Oneskorenie predstihu zapalovania (SPR)

A spiral-bound notebook with a textured, light brown cover. The spiral binding is on the left side. The text is centered on the cover.

Radarové systémy v automobiloch

Úvod

S narastajúcou hustotou premávky na pozemných komunikáciách narastá aj dopyt po stále sofistikovanejších a hlavne cenovo dostupnejších prvkoch aktívnej bezpečnosti, ktoré by znížili počet dopravných nehôd a smrteľných zranení. Takými to, a dnes už v automobiloch vyšších tried dostupnými systémami, sú moderné radarové systémy [1], často v kombinácii s obrazovými senzormi. Ich hlavnou úlohou je predísť kolíznym situáciám v stále hustejšej a dynamickejšej premávke.

Úvod

Na rozdiel od pasívnych systémov bezpečnosti, ktoré reagujú vtedy, keď kolízia už nastala, radarový systém môže upozorniť na riziko zrážky, a tak ju vylúčiť, respektíve minimalizovať jej následky. Bývajú súčasťou adaptívnych tempomatov, systémov snímajúcich vybočenie z jazdného pruhu, systémov snímajúcich mŕtvy uhol spätného zrkadla a pod. Za posledných pár rokov sa pre automobilové radary stala dôležitou a zaujímavou oblasť milimetrových vln (MMW- MiliMeter Waves) [2], [3]..

Úvod

Existujú dva dominantné faktory, ktoré predurčujú MMW technológiu pre použitie v automobilových radaroch: cena a rozmery. Kľúčovým faktorom pre spotrebiteľa je nízka cena, ktorá z radaru robí dôležitý bezpečnostný a cenovo dostupný prvok. Minimálne rozmery sú základom pre jednoduchú integráciu radaru do vozidla bez nutnosti väčšieho zásahu do dizajnu a výkonu.

Výhody

Použitie milimetrových vln - MMW (30-300 GHz) ponúka oproti mikrovlnám v pásme 0,3-30 GHz (frekvenčné pásmo je preplnené, väčšie rozmery antén) množstvo výhod: vyššia smerovosť, redukcia rušenia a interferencií, kompaktnejšie a ľahšie zariadenie (obzvlášť antény), vyššia presnosť merania rýchlosti, lepšie rozlíšenie v diaľke, koexistencia niekoľkých systémov blízko seba redukujúca rušenie (v dôsledku pomerne veľkej absorpcie prostredím) a dobré uhlové rozlíšenie.

Predpoklady

Zavedenie nových a lacných radarových systémov s lepšími charakteristickými vlastnosťami je podmienené inováciou polovodičových výrobných procesov s vysokou opakovateľnosťou a efektívnosťou, integrovaných MMW obvodov s veľkou účinnosťou aj citlivosťou a moderných anténových riešení. Pokroky v GaAs alebo kremíkových integrovaných obvodoch operujúcich v pásme milimetrových vln dovoľujú zmenšiť rozmery, znížiť hmotnosť a výrobné náklady.

Predpoklady

Lepšie rozlíšenie radaru a spolupráca s inými senzormi (obrazovými) zvýši výkonnosť a funkčnosť automobilových elektronických systémov budúcnosti, ktoré vytvoria nové inteligentné prvky ako napr. autonómne vedenie vozidla.

ŠTANDARDIZAČNÉ PROCESY

Oblasť milimetrových vln pokrýva frekvenčné pásmo od 30 do 300 GHz, čomu zodpovedá vlnová dĺžka od 10 mm do 1 mm.

V roku 1979 konferencia **WARC** (World Administrative Radio Conference) po prvý krát ustanovila pre radary 10 radarových pásiem situovaných nad 40 GHz. **IEEE** zaviedla dokument, v ktorom oblasť 33-36 GHz pre radar pomenovala ako pásmo Ka, oblasť od 46 do 56 GHz ako pásmo V a 56 - 110 GHz ako pásmo W. Ostatné oblasti pásma milimetrových vln neboli dokumentom presne špecifikované [3].

ŠTANDARDIZAČNÉ PROCESY

CEPT (The European Conference of Postal and Telecommunications Administrations - Európska konferencia poštových a telekomunikačných administratív) reprezentuje 43 európskych regulačných inštitúcií. CEPT v rozhodnutí (92)02 Európskeho rádiokomunikačného výboru (European Radiocommunications Committee) [4] stanovila, že pásmo 76 – 77 GHz by malo byť určené pre radarové systémy automobilov. Toto rozhodnutie taktiež podporila správa č.3 Európskeho rádiokomunikačného výboru „Harmonizácia frekvenčných pásiem určených pre dopravné informačné systémy“.

ŠTANDARDIZAČNÉ PROCESY

Ustanovenia FCC (Federal Communications Commission – Federálny komunikačný úrad) v časti 15.253 [5] podporujú používanie frekvenčných pasiem 46,7 – 46,9 GHz a 76 – 77 GHz v rámci USA pre automobilové senzory a pre použitie v automobilových radarových systémoch. Časť 15.255 [6] FCC výslovne zakazuje používanie „senzorov, ktoré ovplyvňujú elektromagnetické pole, vrátane automobilových radarov“ v pásme 59 – 64 GHz, s výnimkou špecifikovaných činností.

ŠTANDARDIZAČNÉ PROCESY

Norma EN 301 091 (1998-06) ETSI

(European Telecommunications Standards

Institute - Európskeho inštitútu pre

telekomunikačné normy) špecifikuje

požiadavky [7] pre 76 GHz až 77 GHz radar,

ktorý je určený pre aplikácie Telematiky

cestnej dopravy a prepravy (Road Transport

and Traffic Telematics - RTTT), medzi inými

aj systémy automobilových tempomatov

(Automotive Cruise Control - ACC), výstrahy

pred kolíziou (Collision Warning - CW) a

antikolízne systémy (Anti-Collision - AC).

ŠTANDARDIZAČNÉ PROCESY

Odporúčanie M.1310 **ITU-R** (International Telecommunication Union - Medzinárodná telekomunikačná únia) v sebe zahŕňa požiadavky [8] z hľadiska TICS systémov dopravných informácií a riadenia dopravy - (Transport Information and Control Systems - Informačné a riadiace systémy dopravy). TICS obsahujú systémy riadenia v núdzových situáciách, služby elektronického mýta, systémy riadenia vozového parku, systémy verejnej dopravy (kyvadlová doprava) a pokročilé systémy riadenia vozidiel.

ŠTANDARDIZAČNÉ PROCESY

Automobilový radar je klasifikovaný ako element pokročilých systémov riadenia vozidiel. Predbežné odporúčanie **ITU-R** navrhuje pre automobilové radarové systémy pásma 60 - 61 GHz a 76 - 77 GHz. Toto predbežné odporúčanie opisuje technické a pracovné charakteristiky radaru s nízkym výkonom, ktorý je súčasťou väčšieho dopravného a riadiaceho systému. Taktiež sa odvoláva na to, že:

ŠTANDARDIZAČNÉ PROCESY

- FCC používa pre tento účel pásmo 76 – 77 GHz,
- Japonské Ministerstvo pôšt a telekomunikácií používa pre tento účel pásma 60 - 61 GHz a 76 – 77 GHz,
- dokument ETSI EN 301 091 (1998-06) [7], ktorý hovorí o aplikácii pásma 76 - 77 GHz pre účely automobilového radaru a
- ASTAP (Asia-Pacific Telecommunications Standardization Program – Ázijsko –pacifický telekomunikačný normalizačný program) schválil predbežný návrh na normu pre „Automobilový radar s nízkym výkonom operujúci v pásmach 60 - 61 GHz a 76 - 77 GHz“.

Zhrnutie frekvenčných pásiem

Frekvenčné pásma určené pre automobilové radary

Podporované frekvenčné pásma	Organizácia
76 - 77 GHz	CEPT (Európa)
76 - 77 GHz	ETSI (Európa)
46.7 - 46.9 GHz, 76 - 77 GHz	FCC (USA)
60 - 61 GHz, 76 - 77 GHz	ITU-R
60 - 61 GHz, 76 - 77 GHz	ASTAP (Ázia, Tichomorie)

APLIKÁCIE AUTOMOBILOVÝCH RADAROV A ICH KLASIFIKÁCIA

Vývoj prediktívnych systémov zamedzujúcich potenciálnej zrážke (CAS - Crash Avoidance Systems) je momentálne zameraný na systémy, ktoré by boli absolútne nezávislé na vozidle, v ktorom sa nachádzajú, a takisto, aby nevyžadovali externú podporu od ostatných dopravných prostriedkov alebo od cestnej infraštruktúry. Pre kooperatívne a plnoautomatické cestné systémy ďalšieho desaťročia budú nevyhnutné autonómne systémy, ktoré budú alebo sú nasadené v týchto aplikáciách:

APLIKÁCIE AUTOMOBILOVÝCH RADAROV A ICH KLASIFIKÁCIA

- 1) adaptívny tempomat (Adaptive Cruise Control - ACC);
- 2) systém predčasného varovania použitý pri riadení spúšťania airbagov, predpínačov bezpečnostných pásov atď.;
- 3) antikolízny systém;
- 4) systém „Stop and Go“;
- 5) systém výstrahy zmeny jazdného pruhu;
- 6) systém monitorovania mŕtveho uhla;
- 7) asistent parkovania a cúvania.

APLIKÁCIE AUTOMOBILOVÝCH RADAROV A ICH KLASIFIKÁCIA

Automobilové radarové systémy môžeme z hľadiska rozsahu, v ktorom sú schopné pracovať, rozdeliť na

LRR (Long Range Radar) – radar dlhého dosahu, ktorý využíva napr. systém ACC a

SRR (Short Range Radar) – radar krátkeho dosahu, ktorý zahŕňa senzory snímajúce zmenu jazdného pruhu, senzory snímajúce mŕtvy uhol spätného zrkadla, a pod.

APLIKÁCIE AUTOMOBILOVÝCH RADAROV A ICH KLASIFIKÁCIA

Systemy fungujúce na princípe LRR operujú vo frekvenčnom pásme 76 -77 GHz, zatiaľ čo systémy na báze SRR operujú aj v pásme 24 GHz, aj keď už boli prijaté rozhodnutia a opatrenia, ktoré by mali zabezpečiť prechod na pásmo 79 GHz. Kombináciou oboch týchto radarových systémov sa z automobilu stáva oveľa bezpečnejší a komfortnejší dopravný prostriedok, nehovoriac o prínosoch pre životné prostredie.

APLIKÁCIE AUTOMOBILOVÝCH RADAROV A ICH KLASIFIKÁCIA

Hlavné parametre jednotlivých kategórií radarov sú [19]:

LRR

- dosah do 150 – 200 m,
- detegovateľná rýchlosť nad 30 km/h do 250 km/h,
- úzky vyžarovací diagram pre riadenie jazdnej dráhy pred vozidlom, tak aby sa určila vzdialenosť ku pred nim idúcemu vozidlu (pre udržiavanie minimálnej bezpečnej vzdialenosti),
- šírka frekvenčného pásma menej ako 1GHz a typické priestorové rozlíšenie 0,5 m.

APLIKÁCIE AUTOMOBILOVÝCH RADAROV A ICH KLASIFIKÁCIA

SRR

- dosah do 30 m,
- detegovateľná rýchlosť nad 5 km/h do 150 km/h,
- široký vyžarovací diagram,
- šírka frekvenčného pásma menej ako 5GHz a typické priestorové rozlíšenie 0,1 m.

Pre kategóriu LRR sa častejšie uvažuje o FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave - frekvenčne modulovaná spojitá vlna) technike a pre kategóriu SRR aj o UWB (Ultra Wide Band – extrémne široké pásmo) technike.

KONCEPCIA UWB RADAROV

Časť automobilového radaru, v ktorom sa spracováva signál má tri hlavné úlohy:

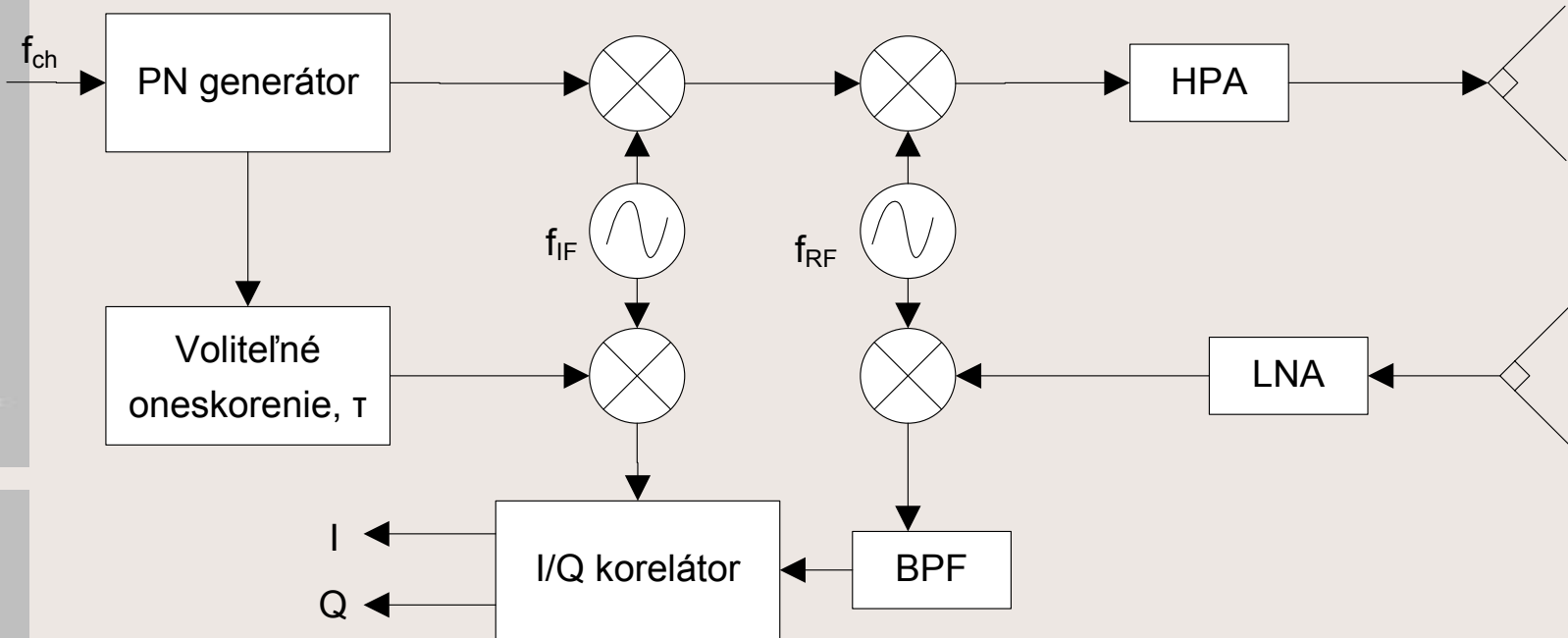
- Spracovanie informácií o vzdialenosti.
- Spracovanie informácií o rýchlosti.
- Spracovanie informácií o uhle.

Požiadavky kladené na tieto úlohy sú presnosť a doba spracovania nameraných údajov.

Bloková schéma automobilového UWB radaru s je na Obr. 1.

KONCEPCIA UWB RADAROV

Obr. 1 Bloková schéma automobilového UWB radaru.



PN (PseudoNoise) – pseudo náhodná postupnosť, HPA (High Power Amplifier) – výkonový zosilňovač, LNA (Low Noise Amplifier) - zosilňovač s nízkym šumom, BPF (Band-Pass Filter) – pásmový priepust.

KONCEPCIA UWB RADAROV

Vzdialenosť od vozidla k cieľu je vypočítavaná pomocou polovice času, ktorý je potrebný na prekonanie vzdialenosti postupujúcou elektromagnetickou vlnou medzi vysielateľom, cieľom a prijímačom. Tento čas sa vypočítava pomocou rôznych techník výpočtu korelácie medzi prijatou pseudonáhodnou (PN) postupnosťou a referenčnou PN postupnosťou, ktorá je známa v prijímači. Presnosť výpočtu vzdialenosti je nepriamo úmerná dobe trvania jedného symbolu PN postupnosti (chip) a priamo úmerná počtu jej symbolov [9], [10].

KONCEPCIA UWB RADAROV

Výhody:

- 1) jednoduchá implementácia,
- 2) odpadá problém so synchronizáciou referenčnej PN postupnosti a vysielanej PN postupnosti (pretože obe využívajú rovnaký zdroj signálu),
- 3) krátky čas výpočtu, ktorý nie je závislý na „chipovej“ rýchlosti.

KONCEPCIA UWB RADAROV

Nevýhody:

- 1) presnosť je limitovaná šírkou frekvenčného pásma, ktorá môže byť riadená modulátorom / demodulátorom v IF časti, zatiaľ čo stav fázy a amplitúdy sa uchováva,
- 2) prílišné zväčšenie frekvenčného pásma prispieva k zvýšeniu šumu,
- 3) pevne stanovená presnosť (okrem prípadu variabilnej „chipovej“ rýchlosti [11]).

KONCEPCIA UWB RADAROV

Metódy výpočtu korelácie však čelia problému, a to že presnosť je fixná a po implementácii systému sa nedá meniť, čo je veľmi významná požiadavka pri prepínaní systému z fázy detekcie do fázy sledovania pohybu objektov [12], [13].

KONCEPCIA UWB RADAROV

Pri spracovaní údajov o rýchlosti v radare sa využíva fakt, že keď sa signál odrazí od pohybujúceho sa objektu, je frekvencia vysielaného signálu ovplyvnená Dopplerovým posuvom. Konvenčným postupom je možné Dopplerovu frekvenciu vyrátať výpočtami rýchlej Fourierovej transformácie (FFT), avšak problémom tohto konvenčného postupu je, že sa nedá určiť znamienko Dopplerovej frekvencie, to znamená že nie je jasné, či sa objekt približuje alebo vzd'ahuje.

KONCEPCIA UWB RADAROV

Ďalším problémom je, že doba merania záznejových signálov je závislá na rozlíšení z hľadiska rýchlosti, a preto každá snaha o zvýšenie rozlíšenia z hľadiska rýchlosti so sebou prináša zvýšenie meracieho času. To zvyšuje nároky na systém. Problémom metódy pre meranie Dopplerovej frekvencie využitím výhod gradientných charakteristík frekvencie je skutočnosť, že záznejový signál je najprv vedený cez hornopriepustný filter kvôli odstráneniu nízkofrekvenčných zložiek [14]. Tým sa však strácajú dôležité údaje v situácii, keď sa cieľ pohybuje rovnakou rýchlosťou ako vozidlo s radarom.

KONCEPCIA UWB RADAROV

Spracovanie údajov informujúcich o uhlovej pozícii cieľa je nevyhnutné na to, aby sa detegované objekty dali do súvislosti s ich okolím, a aby tieto objekty boli klasifikované ako nebezpečné. Na určenie potenciálnych kolíznych trajektórií, musia byť objekty, ako aj ich aktuálne a predpokladané trajektórie, vopred odhadnuté a navyše priradené k jednotlivým jazdným pruhom.

KONCEPCIA UWB RADAROV

Automobilové proti-kolízne radarové systémy sú predmetom skúmania už dlhé roky, ale až experimenty ukázali, že množstvo nesprávne vyhodnotených informácií - falošných alarmov, v tomto systéme je príliš vysoké. Jednou z príčin sú nedostatky pri rozlíšení v uhle. Tento nedostatok sa rieši anténnymi systémami so syntetickou apertúrou alebo fázovanými anténnymi sústavami so šošovkami.

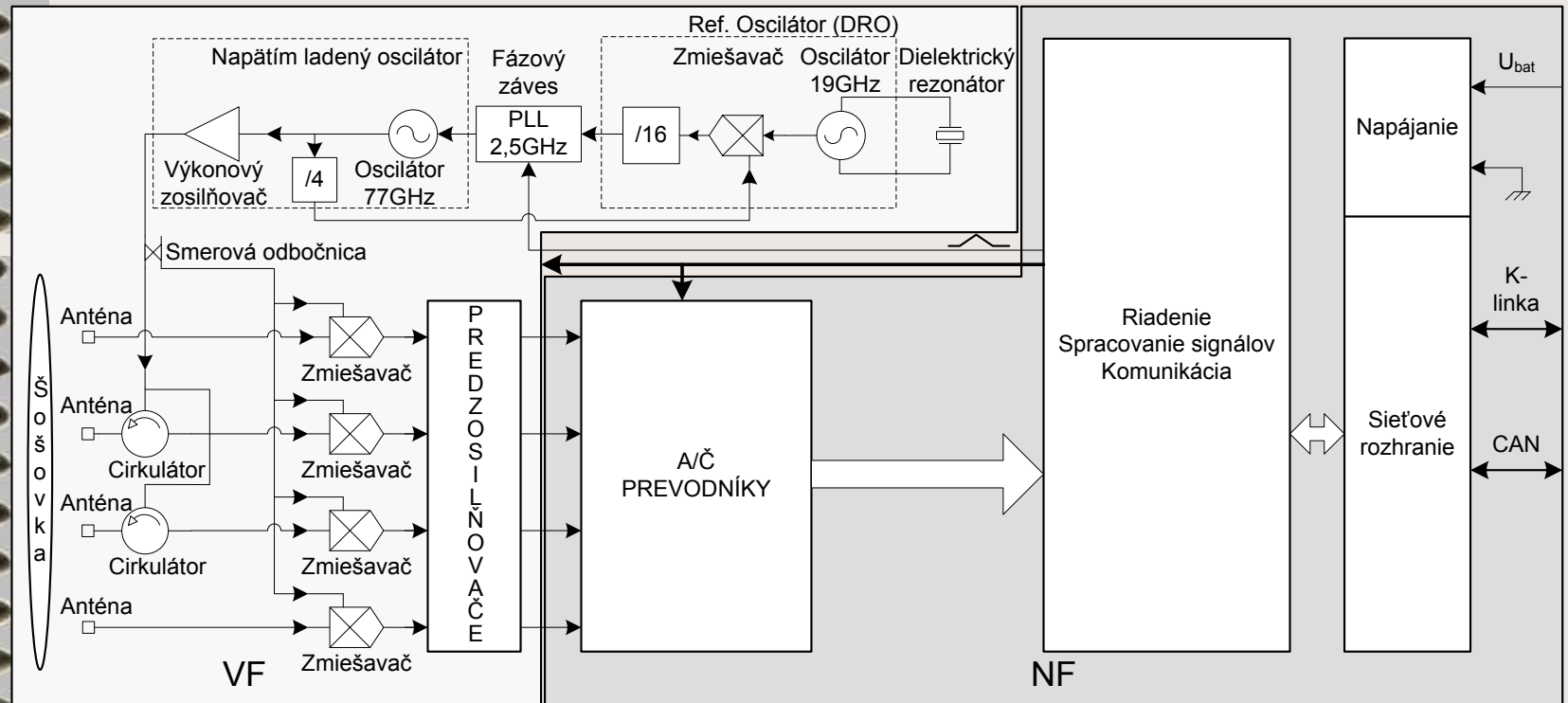
KONCEPCIA FMCW RADAROV

FMCW radar (Frequency Modulated Continuous Wave - frekvenčne modulovaná spojitá vlna) je radar s maximálnym uvádzaným dosahom 200 metrov pre aplikácie v automobiloch. Jedná sa o tzv. homodynový radar využívajúci moduláciu FMCW.

Na Obr.2 je schéma prototypu homodynového FMCW radaru typu LRR3 (Bosch) [19], [20].

KONCEPCIA FMCW RADAROV

Obr. 2 FMCW radarový systém automobilu s homodynovým prijímačom (Bosch: LRR3-Prototype).



KONCEPCIA FMCW RADAROV

Výhody FMCW radaru v porovnaní s inými typmi radarov sú:

- 1) modulácia (FMCW) je kompatibilná so širokou škálou polovodičových vysieláčov,
- 2) meranie frekvencie nutnej pre meranie vzdialenosti môže byť realizované digitálne použitím FFT,
- 3) bežnými prijímačmi je pomerne ťažké zachytiť FMCW signály.

KONCEPCIA FMCW RADAROV

Medzi ďalšie výhody FMCW radaru patria: tvar vlny FMCW (poskytuje jednoduchú moduláciu), vysoký priemerný výkon, široké frekvenčné pásmo (umožňuje veľmi dobré rozlíšenie v diaľke a Dopplerovo spracovanie), dobré vlastnosti aj na krátkych vzdialenostiach, vysoká presnosť. Taktiež môže pracovať na extrémne krátkych vzdialenostiach, umožňuje použitie nízkonapäťového napájania, kompaktnej vysielacej jednotky a vysokofrekvenčného prvku vysielача [3], [15].

KONCEPCIA FMCW RADAROV

Hlavnými nevýhodami FMCW radaru sú:

- 1) vysoké nároky na výrobu hardvéru,
- 2) pre požadovanú presnosť je potrebný výpočet FFT s veľkým počtom bitov na vzorku,
- 3) privysoká spotreba energie (výkonné procesory pre spracovanie signálov),
- 4) rozsiahly softvér pre riešenie algoritmov,
- 5) rozptýlený signál a jednosmerný posun signálov môžu zamaskovať malé objekty [16], [18].

KONCEPCIA FMCW RADAROV

Vzdialenosť k cieľu a rozlíšenie v diaľke sa v FMCW systémoch získava rozmietaním vysielanej frekvencie, čo je presnejší spôsob, ako generovať, vysielat' a prijímat' veľmi úzke impulzy. Z toho vyplýva, že veľmi vysoké rozlíšenie vo vzdialenosti je oveľa ľahšie dosiahnuť metódou FMCW ako impulzovým radarom. Kritickou úlohou pri metóde FMCW je zaistiť linearitu frekvenčného rozmietania 76,5 GHz zdroja. To je dôvod použitia fázového závesu (Phase Locked Loop – PLL). U novších návrhov sa používa napätím riadený oscilátor na báze mikrovlnných monolitických integrovaných obvodov [3].

KONCEPCIA FMCW RADAROV

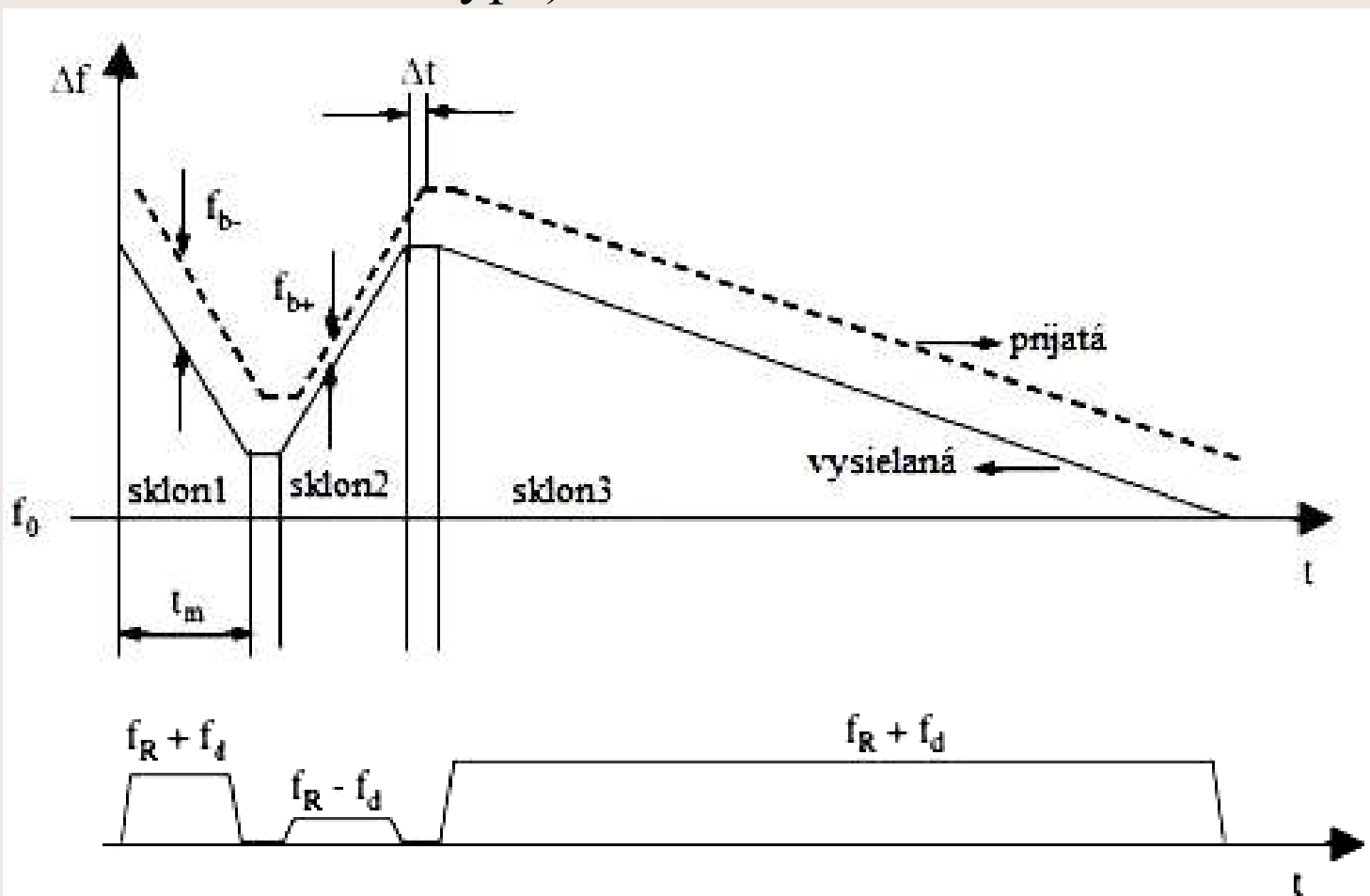
Frekvencia nepretržite vysielaého FMCW signálu je modulovaná ako funkcia času s periodickým tvarom modulačného signálu, akým je napríklad trojuholníkový signál (Obr. 3). Frekvencia vysielaého signálu je $f_t(t) = f_0 + \Delta f(t)$. Signál odrazený od cieľa sa oneskorí o čas Δt , ktorý je priamo úmerný vzdialenosti cieľa a má frekvenciu $f_r(t) = f_0 + \Delta f(t - \Delta t)$. Demoduláciou týchto dvoch frekvencií $f_t(t)$ a $f_r(t)$ v prijímači radaru vzniká výstupná frekvencia, ktorá je známa ako prechodná (stredná) frekvencia $f_R = \Delta f(\Delta t)$ alebo ako záznejová frekvencia $f_b = f_R$.

KONCEPCIA FMCW RADAROV

Pre pohybujúci sa objekt bude záznejová frekvencia obsahovať okrem frekvencie f_R aj Dopplerovu frekvenciu f_d , t.j. $f_b = f_R + f_d$. V takom prípade je záznejová frekvencia iná pre klesajúci nábeh (sklon1) a iná pre stúpajúci nábeh (sklon2) modulačnej krivky na Obr.3. Výsledkom spriemernenia prechodnej (strednej) frekvencie je frekvenčný údaj, ktorý zodpovedá vzdialenosti cieľa, zatiaľ čo rozdielom sa získa informácia o rýchlosti cieľa [15].

KONCEPCIA FMCW RADAROV

Obr. 3 Schéma modulácie FMCW automobilového radaru a frekvenčný rozdiel medzi vyslaným a prijatým signálom (Bosch: LRR2-Prototype).



KONCEPCIA FMCW RADAROV

Rozptyl z vysieláča k prijímaču a nežiaduce viacnásobné odrazy („clutter“), vznikajúce na prekážkach medzi vysieláčom a cieľom, je prakticky najvýznamnejším faktorom, s ktorým treba uvažovať pri návrhu FMCW radaru. Tento sa nevyskytuje pri impulzových radaroch. Na zvýšenie dosahu merania v prítomnosti viacnásobných nežiaducich odrazov, môže byť použitá istá forma digitálnej filtrácie ako priestorový filter, ktorý by eliminoval nežiaduce odrazy.

KONCEPCIA FMCW RADAROV

Veľké uhlové pokrytie (charakteristické pri použití v automobiloch), spôsobuje, že každý senzor musí v rámci CFAR procedúry spracovať množstvo detekcií každého kanála radaru, čo je spôsobené situáciami s viacerými cieľmi a špecifickými situáciami.

Experimentálne výsledky dokázali, že pre spoľahlivú detekciu cieľa v prostredí s viacerými cieľmi je vhodná metóda ordered-statistics OS - CFAR [15].

KONCEPCIA FMCW RADAROV

V reálnych aplikáciách sú viacnásobné odrazy komplikovaným variantom stochastického procesu, čo sa týka času a priestoru. Všetky tieto okolnosti si vyžadujú adaptívnu metódu v detekcii a spracovaní signálu, ktorá by pri detekčnom procese nepracovala s fixnou ale variabilnou prahovou hodnotou, a ktorá by rozhodovala v závislosti od lokálne pozorovaných nežiaducich odrazov o rôznej vzdialenosti, intenzite a fluktuácii. Pri reálnom použití radaru je priemerná hladina výkonu šumu a rušenia neznáma a musí byť odhadnutá procesom detekcie ako prvá v poradí.

KONCEPCIA FMCW RADAROV

Na tento odhad sa používa niekoľko známych CFAR techník, ako sú: CFAR s technikami posuvného okna, CA-CFAR (CA - Cell Averaging - spriemerňovanie bunky), CAGO-CFAR (CAGO - Cell Averaging with Greatest Of – spriemerňovanie bunky z ich najväčších hodnôt), OS-CFAR. (OS - Ordered Statistic – poriadková štatistika), WCA-CFAR („vyvažovaná“ CA-CFAR z angl. „weighted“) a iné [15].

Opodstatnenosť radarov

Na podčiarknutie dôležitosti a opodstatnenosti radarových systémov v automobile je potrebné poukázať na štúdiu SeiSS (Socio Economic Impacts of Intelligent Vehicle Safety System - Prieskumná štúdia o možných pozitívnych sociálnych a hospodárskych vplyvoch zavedenia inteligentných bezpečnostných systémov v cestných vozidlách), v ktorej sú naznačené značne pozitívne dopady zavedenia inteligentných bezpečnostných systémov [16],[17].

Opodstatnenosť radarov

Automobilový radar je dôležitou časťou inteligentných dopravných systémov, od ktorých sa očakáva veľké zlepšenie v bezpečnosti cestnej dopravy a jej efektívnosti. ITS sú vo fáze celosvetového vývoja a v budúcnosti budú prostriedkom pre redukciu strát na životoch a obmedzenie nákladov. Bude potrebné spomínané navrhnuté riešenia rozšíriť aj o uvažovanie v situáciách s viacerými cieľmi, t.j. použitie systému anténnych polí pre identifikáciu cieľa v situáciách s viacerými jazdnými pruhmi [14].

LITERATÚRA

- [1] R. H. Rasshofer, K. Gresser: „Automotive Radar and Lidar Systems for Next Generation Driver Assistance Functions“. *Advances in Radio Science*, 3, pp. 205–209, 2005.
- [2] J. Grubert, J. Heyen, C. Metz, L. C. Stange, A. F. Jacob: „Planar millimeter wave radar frontend for automotive applications“. *Advances in Radio Science* 1: pp. 125–129, 2003.
- [3] William David: „FMCW MMW Radar for Automotive Longitudinal Control“. University of California, Berkeley, pp.1055-1425, Máj 1997.
<http://www.path.berkeley.edu/path/publications/pdf/PRR/97/PRR-97-19.pdf>

LITERATÚRA

[4]ECC Decision of 15 March 2002 on the withdrawal of the ERC Decision (92)02 "Decision on the frequency bands to be designated for the co-ordinated introduction of Road Transport Telematic Systems",

www.eroocdb.dk/docs/doc98/official/word/DEC0202.doc

[5]Federal Communications Commission § 15.253,
http://edocket.access.gpo.gov/cfr_2007/octqtr/pdf/47cfr15.253.pdf

[6]Federal Communications Commission § 15.255,
http://edocket.access.gpo.gov/cfr_2009/octqtr/pdf/47cfr15.255.pdf

[7]A Review of Automotive Radar Systems - Devices and Regulatory Frameworks,
http://acma.gov.au/webwr/radcomm/frequency_planning/spps/0104spp.pdf

LITERATÚRA

[8] DSRC Standards Development in ITU-R and Japan,
<http://www.itsforum.gr.jp/Public/E4Meetings/P06/SS30%20oyama.pdf>

[9] W. Mezel, J. Buechler, and J. Taech, „An experimental 24 GHz radar using phase modulation spread spectrum techniques“. 28th European Microwave Conference, vol.2, pp.56-60, Oct. 1998.

[10] V. Filimon and J. Buechler, „A pre-crash radar sensor system based on pseudo-noise coding“. Microwave Symposium Digest., 2000 IEEE MTT-S International, vol.3, pp.1415-1418, 2000.

[11] S. Lindenmeier, S. Mayer, and D. Knopf, „Communicating near range sensor system for automotive application.“. MTT-S Workshop, Dig., 6, 2002.

LITERATÚRA

[12] M. Watanabe, K. Inomata, S. Noda, K. Okazaki, T. Fukae, H. Yamabuchi, „A sideways-looking radar and its measuring principles“. 31st European Microwave Conference, London 2001, pp.261-264, Sept 2001.

<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4140083>

[13] O. A. Aly and A. Omar, „New implementation of the correlation function of the pn code for application in automotive radars“. Antennas and Propagation Society International Symposium, 2003. IEEE, vol.3, pp. 272- 275, 22-27 June 2003.
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1219841>

LITERATÚRA

[14] Alebel Arage Hassen: „Indicators for the Signal Degradation and Optimization of Automotive Radar Sensors under Adverse Weather Conditions“. PhD Thesis, Darmstadt 2006.

<http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/epda/000765/PhdThesis.pdf>

[15] H. Rohling: „Some radar topics: Waveform design, range CFAR and target recognition“. Technical University Hamburg, Germany, 2005. <http://nato-us.org/sensors2005/papers/rohling.pdf>

[16] G. Bootsma, L. Dekker, „Road to the Future“. Rijkswaterstaat, NL, april 2007.

[17] “Towards Europe-wide Safer, Cleaner and Efficient Mobility: The First Intelligent Car Report.” Commission of the European Communities, Brusel 2007.

<http://repositories.cdlib.org/its/path/reports/UCB-ITS-PRR-2001-13/>

LITERATÚRA

[18] World Intellectual Property Organisation, WO/2001/013141, „Neural network radar processor”, <http://www.wipo.int/pctdb/en/wo.jsp?IA=US2000022007&DISPLAY=DESC>

[19] R. Lachner, „Development Status of Next Generation Automotive Radar in EU“. ITS Forum, Tokyo, 2009. <http://www.itsforum.gr.jp/Public/J3Schedule/P22/lachner090226.pdf>

[20] D.Hoetzer, D. Freundt, B. Lucas, "Automotive Radar and Vision Systems – Ready for the Mass Volume Market". Department | 10/3/2008 | © 2008 Robert Bosch LLC and affiliates. All rights reserved. Vehicle Dynamics Expo 2008.

The image shows the cover of a spiral-bound notebook. The cover is a light beige or tan color with a fine, woven fabric texture. On the left side, there is a silver metal spiral binding. The notebook is slightly open, showing a white page on the left and a grey page on the right. The title is printed in the center of the cover.

Systemy pasívnej bezpečnosti

Aktívna a pasívna bezpečnosť

Aktívne bezpečnostné zariadenia pomáhajú predchádzať nehodám a takto preventívne prispievajú k bezpečnosti v cestnej doprave. Jedným príkladom aktívneho riadenia bezpečnostného systému je systém ABS s elektronickým stabilizačným programom ESP, ktorý stabilizuje auto v každej kritickej brzdnjej situácii a v tomto čase udržiava stabilitu vozidla.

Pasívne bezpečnostné zariadenia slúžia k ochrane pasažierov proti vážnym alebo dokonca smrteľným zraneniam. Príkladom pasívnej bezpečnosti sú airbagy, ktoré chránia pasažierov od následkov neodvrátiteľných zrážok.

Napínače bezpečnostných pásov

Funkcia:

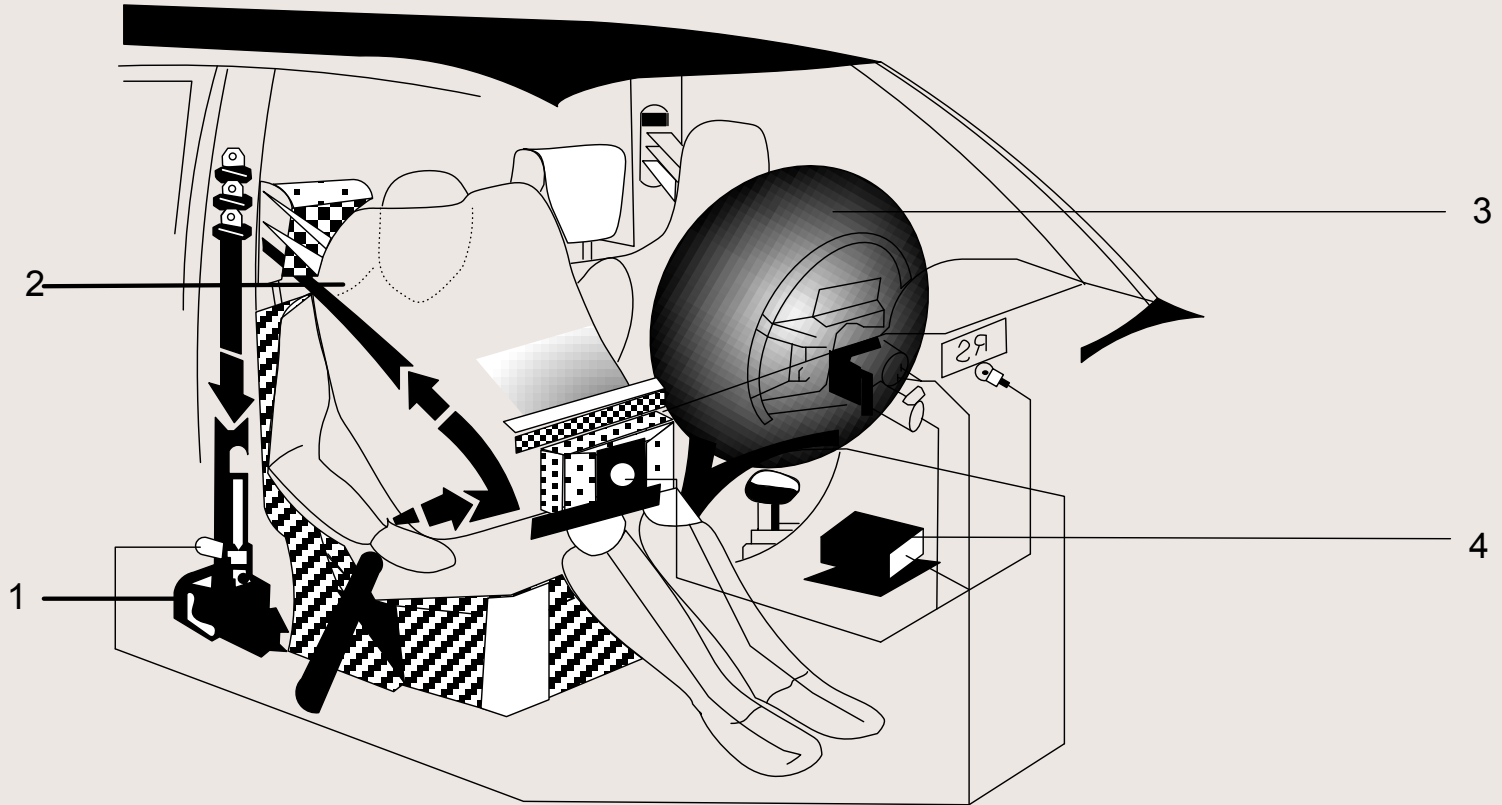
Funkciou bezpečnostných pásov je držať pasažierov vozidla na svojich sedadlách, keď vozidlo zasiahne prekážku.

Napínače bezpečnostných pásov zlepšujú charakteristiky spomalenia trojbodových pásov s odstredivým navíjaním a tak zvyšujú ochranu pred úrazom. V prípade čelného nárazu bezpečnostné pásy silnejšie pritáhujú telo a takto držia vrchnú časť tela na operadle sedadla najtesnejšie ako je to len možné. Takto sa predchádza neúmernému posunutiu pasažierov vpred, pôsobením ich zotrvačnosti.(pozri obr.)

Napínače bezpečnostných pásov

Bezpečnostný systém pasažierov s napínačmi pásov a prednými airbagmi

1 Napínač pásu 2 Predný airbag pre spolujazdca 3 Predný airbag pre vodiča 4 ECU



Napínače bezpečnostných pásov

Spôsob prevádzky:

Pri čelnej zrážke s pevnou prekážkou v rýchlosti 50 km/h musia bezpečnostné pásy pohltiť úroveň energie, ktorá je porovnateľná s kinetickou energiou voľného pádu osoby zo štvrtého podlažia budovy.

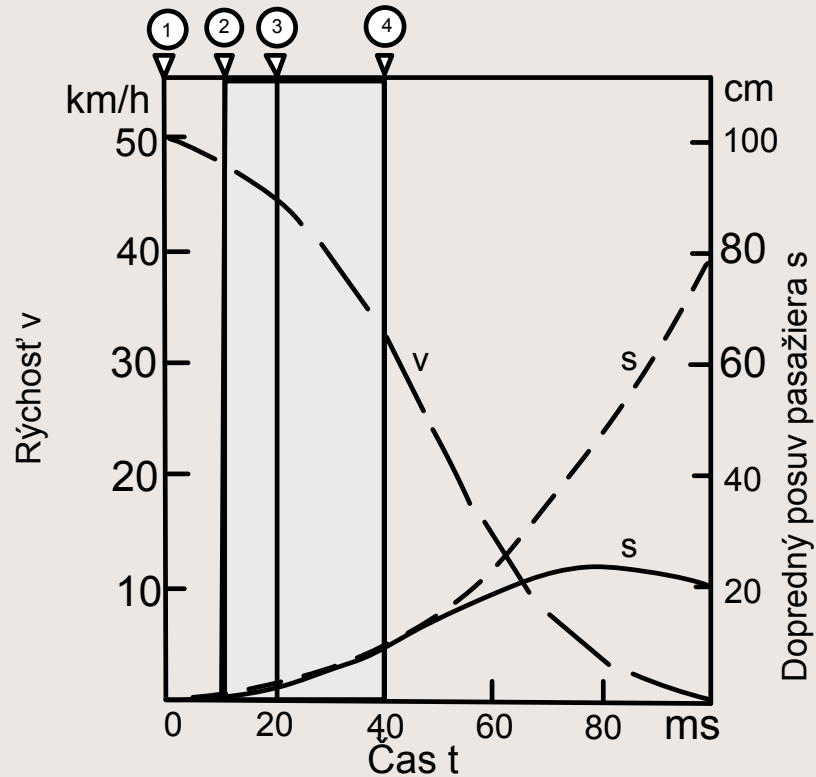
Ak je pás uvoľnený, natáhuje sa a účinok navíjača pásu je oneskorený (efekt navíjania filmu). Trojbodové pásy poskytujú iba obmedzenú ochranu pri čelnej zrážke s tuhými prekážkami rýchlosťou nad 40 km/h, pretože nemôžu ďalej bezpečne chrániť hlavu a telo od nárazu do volantů alebo prístrojovej dosky. Pasažier sa bez obmedzujúcich zariadení výrazne posúva vpred. (obr.)

Napínače bezpečnostných pásov

Brzdenie k zastaveniu a posuv vpred pasažiera v nárazovej rýchlosti 50 km/h

1 Náraz 2 Spustenie napínača pásu/airbag 3 Pritiahnutý pás 4 Nafúknutý airbag

----- bez / ——— s obmedzovacími systémami



Napínače bezpečnostných pásov

Spôsob prevádzky:

Pri náraze, ramenný napínač pásu naťahuje uvoľnený pás a navíjačom spätne napína popruh na páse. Od nárazovej rýchlosti 50 km/h, tento systém dosiahne plného využitia počas prvých 20 ms nárazu a takt podporí airbagy, ktoré na celkové nafúknutie potrebujú približne 40 ms. Pasažier pokračuje pomalým posúvaním vpred až do kontaktu so sfukovaným airbagom a takýmto spôsobom je chránený voči úrazom.

Napínače bezpečnostných pásov

Spôsob prevádzky:

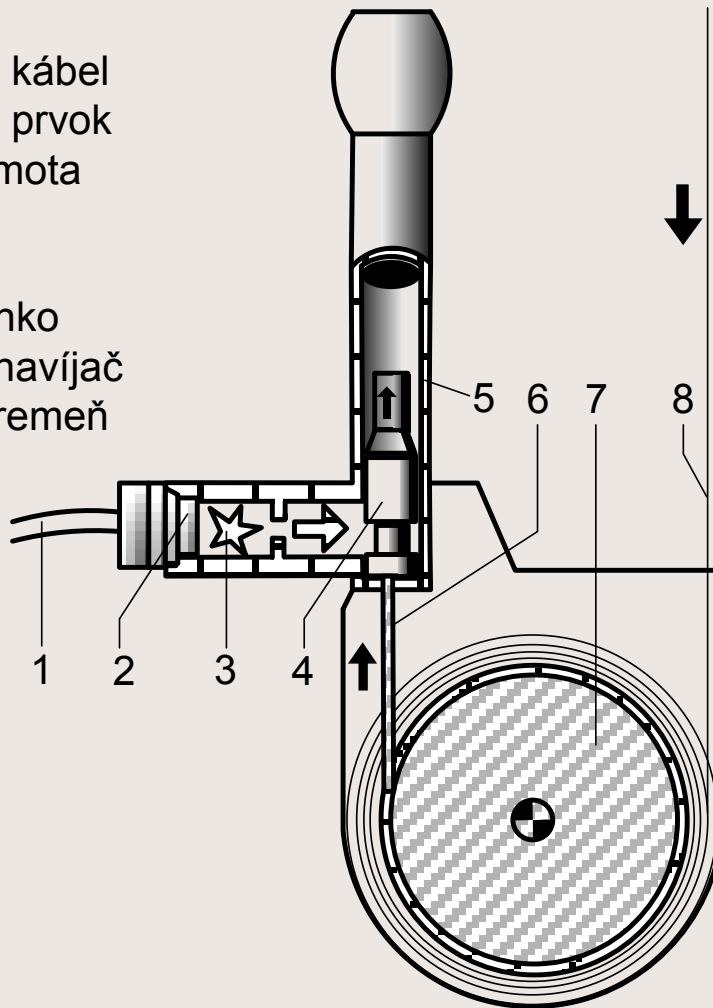
Predpokladom pre optimálnu ochranu je to, že pohyb pasažierov vpred mimo ich miest trvá minimálne toľko ako sa súčasne brzdí vozidlom. Toto sa dosahuje spúšťaním napínača pásov, okamžite po začiatku zrážky, kvôli bezpečnému zaisteniu pasažierov na predných sedadlách, štartujú čo najskôr. Najväčší posuv vpred s pritiahnutými bezpečnostnými pásmi je približne 1 cm a trvanie mechanického napínania je 5....10 ms.

Aktivovanie pyrotechnickej náložky sa realizuje elektrickým zapálením. Tlak výbuchu pôsobiaci na piest navíja cievku s pásom prostredníctvom oceleového lanka takým spôsobom, že pás zostáva tesne pri tele. (obr.)

Napínače bezpečnostných pásov

Rameno napínača pásu

- 1 Zapaľovací kábel
- 2 Zapaľovací prvok
- 3 Výbušná hmota
- 4 Piest
- 5 Valec
- 6 Oceľové lanko
- 7 Obvodový navíjač
- 8 Obvodový remeň



Napínače bezpečnostných pásov

Varianty:

Inou možnosťou napínača pásov ťahaných navíjačom sú varianty, ktoré ťahajú zámok pásu a takto súčasne napínajú ramenný a panvový pás. Spomaľovací efekt a zamedzovanie posunu pasažierov vpred popod panvový pás (podklížnutie) je ďalej zlepšované zámkom napínača pásu. Napínací proces v týchto dvoch zariadeniach prebieha časovo rovnako ako pre ramenný napínač pásov.

Mechanické napínače pásu sa tiež spúšťajú pyrotechnicky. V prípade mechanického napínania pásu, mechanické alebo elektrické čidlo uvoľňuje vopred napnutú pružinu, ktorý ťahá späť zámok pásu. Hlavnou výhodou týchto zariadení je cena.

Ďalšie vývojové trendy

Napínanie vykonávané pyrotechnickým napínaním pásu je neustále zlepšované: “veľmi účinné napínače“ sú schopné ťahať späť približne 18 cm vytiahnutého pásu za 5 ms.

Predný airbag

Funkcia

Funkciou predných airbagov je chrániť vodiča a spolujazdca na prednom sedadle pred úrazom hlavy a hrudníka pri zrážke auta s pevnou prekážkou do rýchlosti 60km/h. Pri čelnej zrážke medzi dvoma dopravnými prostriedkami, predné airbagy poskytujú ochranu pri relatívnych rýchlostiach do 100 km/h. Samotný napínač pasov nemôže zabrániť nárazu hlavy o volant následne po zrážke. Splnenie tejto ochrannej funkcie závisí od umiestnenia airbagov, typu vozidla, a štruktúry deformačnej odpovede. Airbagy majú preto rozdielne plniace kapacity a doby nárastu tlaku prispôsobene špecifickému stavu vozidla.

Predný airbag

Funkcia

V niektorých typoch vozidiel, predné airbagy pracujú tiež v spojení s "nafukovacím nákolenníkom", ktorý chráni proti tzv. "podkláznutiu", t. j. zníženie rýchlosti cestujúcich spolu s poklesom rýchlosti interiéru. Takto sa zabezpečí rotačný pohyb hornej časti tela a hlavy vpred, ktorý je potrebný pre najvhodnejšiu ochranu airbagom a je určitou výhodou v krajinách kde používanie bezpečnostného pásu nie je povinné.

Predný airbag

Spôsob prevádzky

Na ochranu vodiča a pasažiera na prednom sedadle, sa veľmi krátko po zrážke, detekovanej snímačmi, nafúknu pyrotechnické vyvíjače plynu ich airbagov. Aby postihnutý pasažier mal čo najväčšiu ochranu, musí byť airbag úplne nahustený skôr než sa dostane do kontaktu s ním. Airbag potom reaguje na kontakt s vrchnou časťou tela čiastočným splasnutím (modelovo vypočítaným), čím sa "mierne" pohltí energia nárazu na podkritické hodnoty povrchových tlakov a spomaľujúcej sily. Tento spôsob významne zmenší, až eliminuje úraz hlavy a hrudníka.

Predný airbag

Spôsob prevádzky

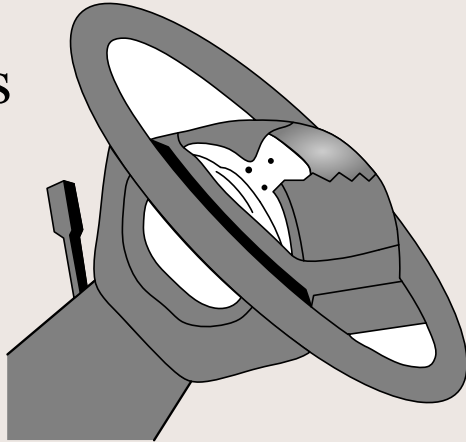
Maximálny dovolený posuv vpred, pred úplne nafúknutým airbagom vodiča je približne 12,5 cm, čo odpovedá dobe približne $10\text{ ms} + 30\text{ ms} = 40\text{ ms}$, po prvotnom náraze (pri 50 km/h s pevnou prekážkou – obr.). Airbag potrebuje 10 ms pre elektronické zapálenie explózie a 30 ms pre nafúknutie.

Pri havárii rýchlosťou 50 km/h, airbag potrebuje približne 40 ms na úplne nafúknutie a ďalej 80÷100ms na vypustenie vzduchu cez vypúšťacie otvory. Celý proces tak trvá trochu viac než jednu desatinu sekundy, t. j. okamih.

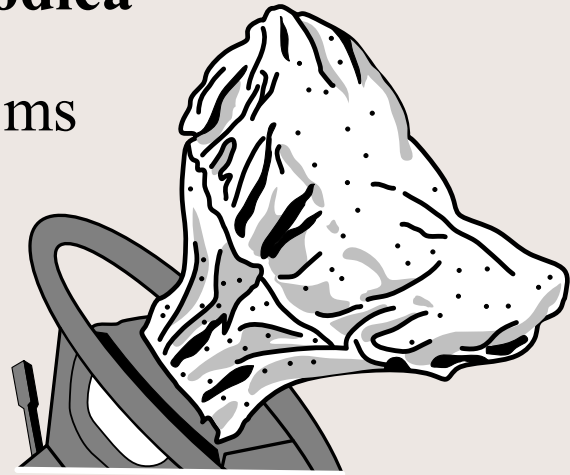
Predný airbag

Dynamika nafúknutia airbagu vodiča

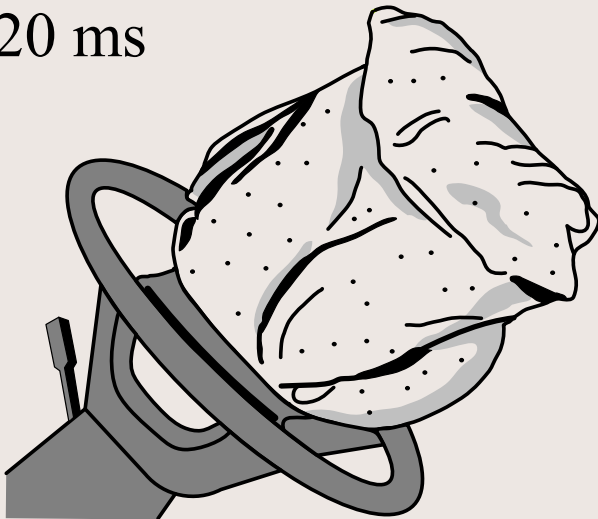
0 ms



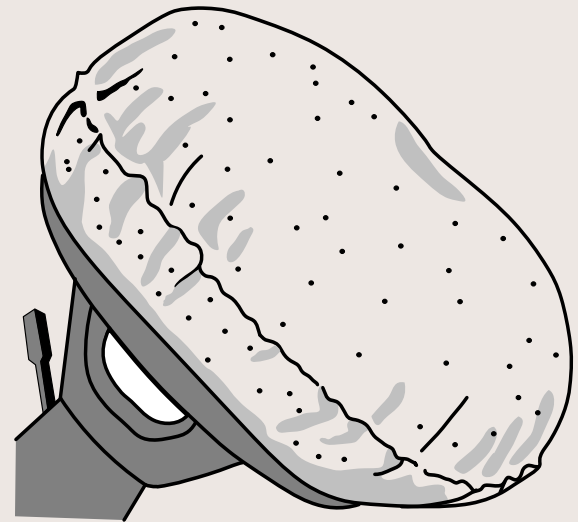
10 ms



20 ms



30 ms



Predný airbag

Detekcia zrážky

Najvhodnejšia ochrana cestujúcich proti účinkom čelného, bočného, šikmého nárazu alebo nárazu na stĺp, sa získa pomocou presne koordinovaného vzájomného pôsobenie elektricko-pyrotechnicky vystreľovaných predných airbagov a napínačov bezpečnostných pásov. Pre maximalizovanie efektu oboch ochranných zariadení, sú ochranné zariadenia aktivované s optimalizovanou časovou odpoveďou spoločnej ECU (riadiaca jednotka), inštalovanej v priestore pre cestujúcich. Brzdne výpočty ECU sú založené na údajoch z jedného alebo dvoch elektronických snímačov zrýchlenia použitých na monitorovanie spomaľujúcich síl, sprevádzajúcich náraz. Náraz musí byť tiež analyzovaný. Airbag sa nesmie spúšťať na údery kladiva v dielni, pozvoľné nadskakovanie, prejazd cez obrubník alebo výmol'.

Predný airbag

Detekcia zrážky

V snahe predchádzať úrazom spôsobených airbagom a smrteľným nehodám pasažierov "mimo - pozície" alebo malého dieťaťa v detskej sedačke smerujúcej proti smeru jazdy, je nutné, aby predné airbagy boli spustené a nafúknuté v súlade s jednotlivými situáciami.

K tomuto účelu slúžia nasledovné zlepšovacie opatrenia:

1. Deaktiváčne prepínače. Môžu byť použité na deaktiváciu vodičovho alebo spolujazdcovho airbagu. Stav airbagu je indikovaný pomocou kontroliek.

Predný airbag

Detekcia zrážky

2. USA, kde bolo približne 130 nehôd spôsobených airbagmi, sa robia pokusy so znížením agresívneho nafúknutia airbagov, známych ako oslabené "Depowered" airbagy. Airbagy, v ktorých bol výkon vyvíjačov plynu znížený o 20÷30 percent sa zmenšila rýchlosť nafúknutia, prudkosť nafúknutia i nebezpečenstvo poranenia cestujúcich "mimo pozície". Oslabené airbagy môžu väčší a ťažší cestujúci ľahšie sploštiť tzn. že tieto airbagy majú nižšiu energetickú pohltivosť

Kvôli možnosti čelného nárazu sú cestujúci povinný sa pripútať bezpečnostnými pásmi.

Predný airbag

Detekcia zrážky

3. “Inteligentne systémy airbagov“

Zlepšenie riadiacich vlastností nafukovania sa airbagu a jeho funkcií, spolu so zlepšovaním účinnosti ochrany, malo za následok postupné zníženie vzniku poranení.

Medzi takéto zlepšenia patria:

- detekcia tvrdosti zrážky prostredníctvom zdokonaleného spúšťacieho algoritmu alebo pomocou jedného alebo dvoch predných snímačov inštalovaných v deformačnej zóne vozidla (napríklad na chladiči). Tieto snímače zrýchlenia umožňujú skoré zistenie zrážky/nárazu ktoré je ťažko zistiť centrálnie napr. ODB (Offset Deformable Barrier kolízie -bočný náraz na zvodidlá tzv. mäkké bezpečnostné bariéry), stĺpy alebo podbehnutia pod väčšie zvodidlá.

Predný airbag

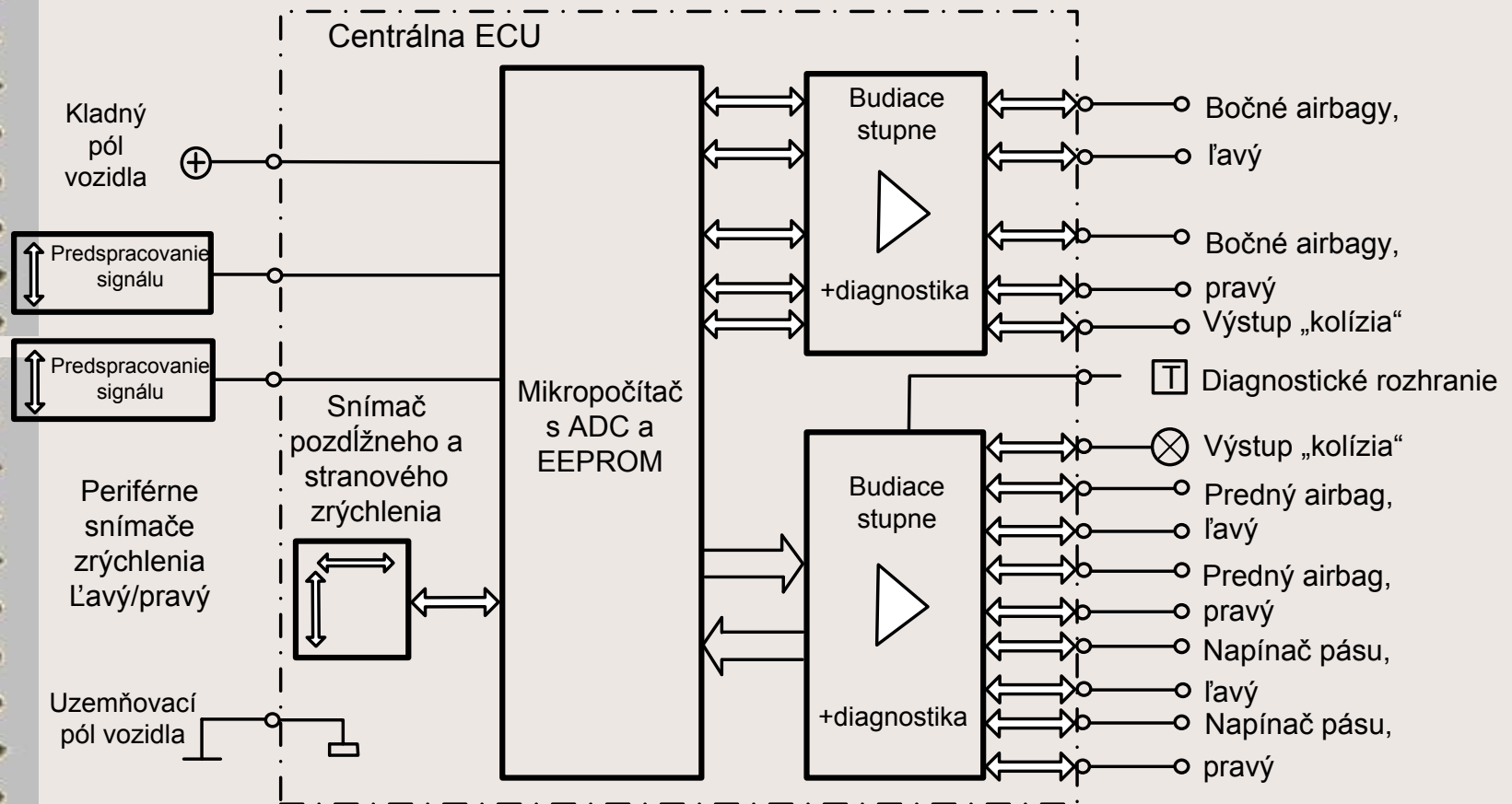
Energiu nárazu možno tiež určiť za pomoci týchto snímačov:

- detektor zapnutia bezpečnostných pasov
- detektor prítomnosti pasažiera a jeho hmotnosti,
- detektor polohy sedadla a sklonu operadla
- zavedenie desiatich a viacerých spúšťacích prahov
- použitie airbagov s dvojstupňovými alebo s jedноступňovými vyvíjačmi plynu a pyrotechnicky aktivovaným ventilom pre sfúknuťie airbagu.
- použitie napínača záchranného pásu s obmedzením napínacej sily v závislosti od hmotnosti pasažiera,
- začlenenie systému bezpečnosti pasažierov do siete zbernice CAN pre dátovú komunikáciu (diagnostická informácia, aktivácia výstražného svetla atď.), a pre synergetické použitie informácií zo snímačov iných systémov (riadenie, rýchlosť, ovládanie brzd, nadpínač bezpečnostného pásu a údaj dverového kontaktu).

Predný airbag

Výstup "kolízia" sa používa pre núdzové volania následkom havárie, aby sa aktivovali tzv. "sekundárne bezpečnostné systémy" (výstražný systém, otváranie systému centrálného zamykania, zastavenie palivového čerpadla atď.) obr.

Kombinovaná ECU pre napínače pásov a predné/bočné airbagy



Bočný airbag

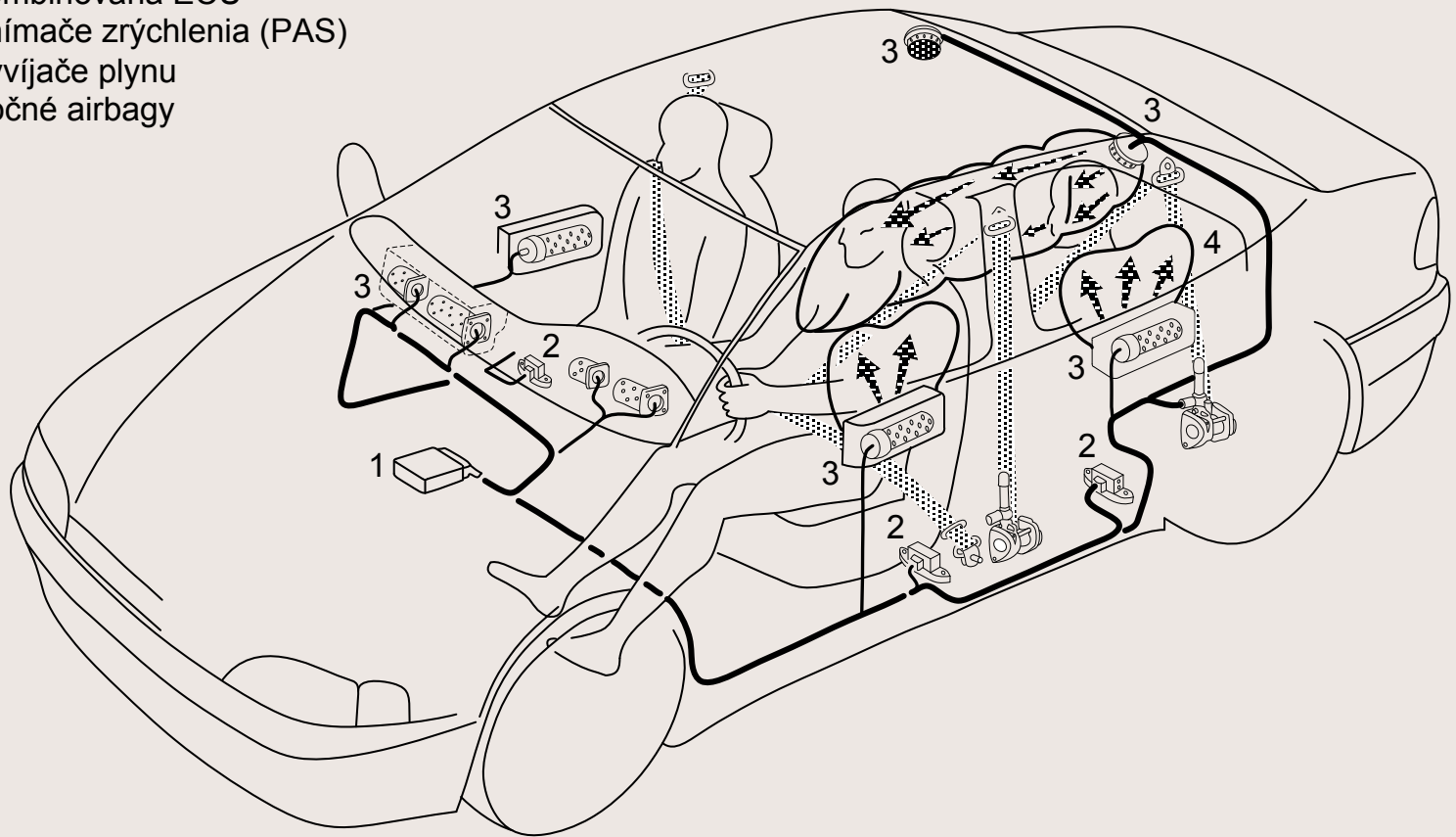
Funkcia

Bočné nárazy tvoria približne 20% všetkých kolízií. Toto robí z bočnej zrážky druhý najbežnejší typ nárazu po čelnom náraze. Čoraz väčší počet vozidiel sa preto vybavuje bočnými airbagmi spolu s napínačmi bezpečnostných pásov a prednými airbagmi. Bočné airbasy, ktoré majú chrániť hlavu a vrchnú časť tela, sa nafúknu pozdĺž čalúnenia strechy (napr. nafukovacie systémy tvaru trubice, airbasy v bočných oknách, nafukovacie záclony) a dvere alebo operadlá sedadiel (hrudníkové vaky) sú navrhnuté tak, aby jemne odpružili pasažiera a tak zabránili zraneniu v prípade bočného nárazu (vid' obr.).

Bočný airbag

Systém ochrany pri bočnom náraze

- 1 Kombinovaná ECU
- 2 Snímače zrýchlenia (PAS)
- 3 Vyvíjače plynu
- 4 Bočné airbagy



Bočný airbag

Spôsob prevádzky

Kvôli nedostatočnej deformačnej zóne vozidla a minimálnej vzdialenosti medzi pasažiermi a bočnými konštrukčnými prvkami vozidla, je obzvlášť obtiažne nafúknuť bočný airbag včas. Z toho dôvodu v prípade nepriaznivých zrážok čas potrebný pre zistenie zrážky a aktivovanie bočného airbagu musí byť približne 3 až 5 ms a čas potrebný pre nafúknutie približne 12-litrových hrudníkových vakov nesmie presahovať 10 ms.

Bosch používa pre splnenie týchto požiadaviek samostatnú časť ECU, ktorá spracováva vstupný signál z periférnych bočných snímačov zrýchlenia (namontovaných vo vhodných bodoch na karosérii). Táto môže spustiť bočné airbagy a tiež napínače pásov a predné airbagy.

Komponenty

Snímače zrýchlenia

Snímače zrýchlenia pre zisťovanie nárazov sú integrované priamo v ECU (napínač bezpečnostného pásu, predný airbag) a sú namontované vo vybraných bodoch na ľavej a pravej strane karosérie (bočný airbag) alebo v prednej deformačnej oblasti vozidla (predný snímač pre "inteligentný systém airbagu"). Presnosť a správnosť údajov z týchto snímačov je rozhodujúca pre záchranu života. Sú to obvykle povrchové mikromechanické snímače zložené z pevných, pohyblivých a pružných častí. Špeciálnou technológiou je vyrábaný systém, zložený z týchto častí, vytvorený na povrchu kremíkovej doštičky. Pretože kapacita snímačov je nízka (1 pF), je nutné umiestniť elektronický vyhodnocovací systém v puzdre spolu so snímačom aby sa obmedzili vplyvy parazitných kapacít, ako aj iné formy rušenia.

Komponenty

Kombinovaná ECU pre napínače bezpečnostných pásov a predných/bočných airbagov

Centrálne elektronická riadiaca jednotka (ECU), taktiež nazývaná spúšťacia jednotka, zahŕňa nasledovné funkcie (aktuálny stav):

- zisťovanie nárazu prostredníctvom snímača zrýchlenia a bezpečnostného spínača, alebo dvoma snímačmi zrýchlenia bez bezpečnostného spínača (prídavné, plne elektronické snímanie).
- okamžitá aktivácia predných airbagov a napínačov bezpečnostných pásov ako odozva na rozdielne typy dopadu v pozdĺžnom smer vozidla (napríklad predný, šikmý, bočný, náraz do stĺpa, náraz do zadnej časti vozidla). Tu je zrýchlenie zaznamenané v centrálnom bode v priestore pre cestujúcich a signál je vyhodnotený spúšťacím algoritmom.

Komponenty

Kombinovana ECU pre napínače bezpečnostných pásov a predných/bočných airbagov

- pre bočné airbagy, ECU pôsobí spoločne s centrálnym snímačom stranového zrýchlenia a dvoma alebo štyrmi vonkajšími snímačmi zrýchlenia. Tie sú pripojené k priečnemu nosníku sedadiel, stĺpiku medzi prednými a zadnými (bočnými) dverami, alebo stĺpiku medzi prednými a zadnými dverami a stĺpiku za zadnými dverami. Periférne snímače stranového zrýchlenia (PAS) vysielajú spúšťaciu inštrukciu centrálnej ECU prostredníctvom digitálneho rozhrania. Centrálna ECU spustí bočný airbag, ak vnútorný bočný snímač potvrdí bočný náraz pri kontrole hodnovernosti nárazu.

Komponenty

Kombinovana ECU pre napínače bezpečnostných pásov a predných/bočných airbagov

- v prípade, že dodávka energie z akumulátora vo vozidle by bola prerušená sú zdrojom el. energie napätový transformátor a akumulátor.
- selektívne spúšťanie napínačov bezpečnostných pásov podľa snímaného stavu zámku pásu; k spusteniu dôjde až keď je zapojená spona pásu .
- pre dvojstupňové napínače bezpečnostných pásov a dvojstupňové predné airbagy dôjde k spusteniu až po dosiahnutí desiatich spúšťacích prahov v závislosti na stave použitia pásu a obsadenia sedadla.

Komponenty

Kombinovaná ECU pre napínače bezpečnostných pásov a predných/bočných airbagov

- prispôsobenie k rozdielnym vlastnostiam vozidla (absorpcia sily a vibračné vlastnosti konštrukcie vozidla).
- diagnostikovanie vnútorných a vonkajších funkcií a prvkov systému.
- ukladanie typov a trvania chýb so záznamom kolízií; vyčítanie prostredníctvom diagnostického rozhrania alebo CAN zbernice.
- aktivácia výstražnej kontrolky.

Komponenty

Vyvíjače plynov

Pyropatróna spôsobuje nafúknutie airbagu plynom (hlavne dusíkom - chemická reakcia) a napínačov bezpečnostných pásov aktivácia je spustená elektricky ovládaným elementom.

Airbag vodiča zabudovaný v hlave volantu (35 – 67 l) alebo airbag spolujazdca (70 – 150 l) inštalovaný do príručnej skrinky v palubnej doske je nafúknutý približne 30 ms po aktivácii pyropatróny.

Komponenty

Odpalovanie striedavým prúdom

Aby sa predišlo neúmyselnému spusteniu prostredníctvom náhodného spoja medzi spúšťacím elementom a napätím systému (napríklad chybná izolácia v zväzku vodičov), využíva sa spúšťanie striedavým elektrickým prúdom s frekvenciou približne 80 kHz. Kondenzátor v konektore spúšťacieho elementu, zaradený v spúšťacom obvode neprepustí jednosmerný prúd na spúšťací element. Toto oddelenie jednosmerného napätia zabraňuje mimovoľnému spusteniu dokonca v dôsledku takej nehody, keď airbag zostane nespustený a pasažier musí byť uvoľnený z deformovaného priestoru záchrannými službami, ktoré by museli prerezávať kábel zapalovania s (trvalým) kladným potenciálom v káblovom zväzku umiestnenom v stĺpiku riadenia.

Systemy ochrany pri prevrátení

Funkcia

V prípade nehody, keď sa vozidlo prevaľuje cez strechu, automobily s otvorenou strechou ako napríklad kabriolet, terénne vozidlá atď. nemajú ochrannú a podpornú strešnú konštrukciu ako automobily s uzatvorenou strechou. Spočiatku boli z toho dôvodu snímacie a ochranné systémy pre preklopenia nainštalované len v kabrioletoch a športových automobiloch bez spevňovacích ochranných výstuží proti prevráteniu.

V dnešnej dobe, inžinieri vyvíjajú snímače preklopenia pre použitie v uzavretých osobných vozidlách, kde existuje pre nepripútaných pasažierov nebezpečenstvo vyhodenia cez bočné okná v prípade havárie a ich následného rozdrvenia vlastným autom. Je tiež nebezpečenstvo, že sa môže odtrhnúť časť karosérie z vozidla a vážne poraniť pripútaných pasažierov, a spôsobiť napríklad zranenia rúk, hlavy a vrchnej časti tela.

Systemy ochrany pri prevrátení

Funkcia

Na ochranu pred týmto nebezpečenstvom už existujú obmedzovacie systémy, napríklad napínače bezpečnostných pásov a airbagy pre hlavu sú spustené v každom prípade, a v kabrioletoch sú použité výsuvné ochranné výstuže proti prevráteniu alebo vysúvateľné opierky hlavy.

Spôsob prevádzky

Staršie spôsoby snímania (z polovice roka 1989) začínali s citlivosťou pre všetky smery, t.j. cieľ bol zistiť prevrátenia vo všetkých smeroch. K tomuto účelu výrobcovia používali pre snímanie prevrátenia snímač zrýchlenia a snímač sklonu (zapojených v logickom súčine) so spínačom alebo "hladinomerom" zadnej nápravy vozidla (princíp vodováhy) a gravitačné snímače (snímač - jazýčkový kontakt blízko držiaka listovej pružiny, keď sa stratí kontakt s zemou).

Systemy ochrany pri prevrátení

Spôsob prevádzky

Dnešné spôsoby snímania už neuvedú do činnosti systém iba v jedinej situácii, ale skôr jeden stav sa prispôsobí len pre najbežnejšie situácie pri preklopení, t.j. prevrátenie vozidla okolo pozdĺžnej osi. Spôsob snímania Bosch zahŕňa povrchový mikromechanický snímač otáčania vozidla okolo zvislej osi (obr.) a snímač zrýchlenia s vysokou rozlišovacou schopnosťou v priečnom a zvislom smere vozidla (osi Y a Z).

Snímač otáčania vozidla okolo zvislej osi je primárny snímač; snímač zrýchlenia v osiach Y a Z slúži v prvom rade pre kontrolu hodnovernosti identifikovanej situácie prevrátenia.

Tieto senzory sú súčasťou spúšťacej jednotky airbagu.

Systemy ochrany pri prevrátení

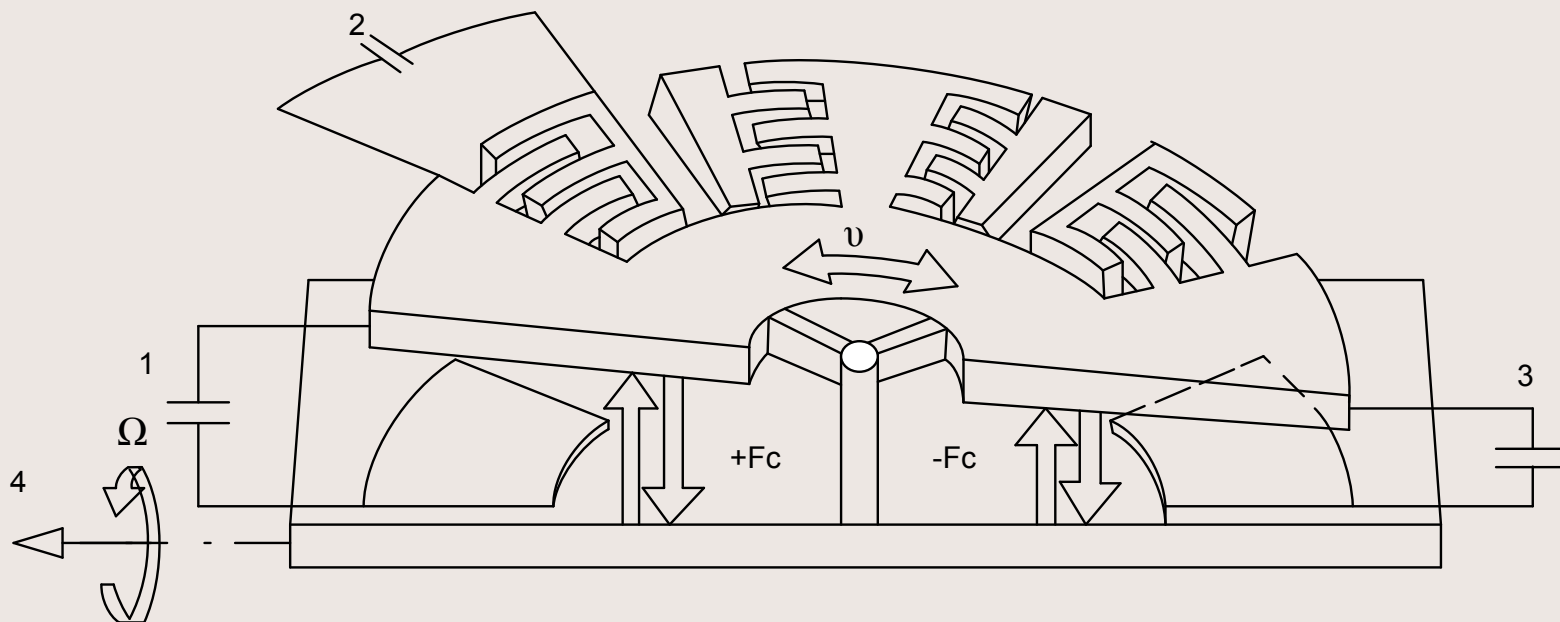
Princíp činnosti senzora otáčania

1 Vyšetrovacía kapacita, 2 Riadiaca kapacita, 3 Vyšetrovacía kapacita, 4 Os snímania

F_c Coriolisova sila

v Rýchlosť riadenia

Ω Rýchlosť otáčania



Systemy ochrany pri prevrátení

Spôsob prevádzky

Ochrana pasažierov je adaptovaná podľa situácie a spôsobu prevrátenia (prevrátenie na šikmom svahu alebo nájazdom na prekážku pod vozidlom), otočenia a od stranového zrýchlenia. Inými slovami používa sa automatická voľba a aplikácia modulu algoritmu podľa spôsobu prevrátenia. Spustenie trvá 30 až 3000 ms.

Systemy ochrany pri prevrátení

Snímanie v kabíne

Senzory na klasifikáciu obsadenosti pasažierom, ktoré merajú tlakový profil sedadla, sa používajú na identifikovanie či je sedadlo obsadené osobou alebo objektom. Okrem toho, rozloženie tlaku a rozstup panvovej kosti sa používajú na indikáciu užívateľovej veľkosti a tak nepriamo užívateľovej váhy. Podložky sa skladajú z jednotlivovo vložených na silu citlivých bodov, v ktorých s narastajúcim tlakom klesá odpor (Force Sensing Resistor – odporový snímač sily). Meranie absolútnej váhy sa tiež uskutočňuje s dvoma až štyrmi piezorezistívnymi senzormi alebo drôtovými tenzometrami na ráme sedadla. Na detekciu pozície “mimo sedadla” sa používajú aktívne infračervené alebo ultrazvukové zameriavacie senzorové rady.

Zatiaľ ešte nie je jednotný štandard pre snímanie interiéru kabíny. Kvôli tomu sú podložky na klasifikáciu pasažiera tiež kombinované s ultrazvukovými senzormi.