

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ
ELEKTRONIKY**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Systémy aktivního tlumení automobilu

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub FENCL**
Osobní číslo: **E13B0015P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Název tématu: **Systémy aktivního tlumení automobilu**
Zadávatel katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Systémy aktivního tlumení automobilu.

1. Proveďte základní analýzu možností v oblasti aktivního tlumení automobilů.
2. Popište detailně některé Vámi vybraná řešení a uveďte jejich výhody a nevýhody z hlediska aktivních prvků (pohonů).
3. Porovnejte vlastnosti konvenčního a aktivního tlumení.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


1. Elektronické informační zdroje IEEE (dostupné přes knihovnu ZČU - <http://ieeexplore.ieee.org/>).

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Vladimír Kindl, Ph.D.
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2015
Termín odevzdání bakalářské práce: 2. června 2016


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Prof. Ing. Václav Kús, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá možnostmi využití aktivního tlumení v automobilech. Čtvrtinový model definuje chování aktivního a pasivního systému tlumení. Dochází zde k základní analýze aktivního tlumení, které se v současné době využívají v automobilovém průmyslu. Práce popisuje lineární motor, jeho stavbu, princip a využití v aktivním tlumení.

Klíčová slova

Tlumič, automobil, aktivní tlumení, lineární elektromagnetický motor, čtvrtinový model automobilu, magnetoreologická kapalina, pružina, pneumatické tlumení, hydraulické tlumení

Abstract

The bachelor theses deals with possibilities of application the vehicle active suspension system. Quarter car model defines the behaviour of active and passive suspension system. The theses analyzes the principle of active suspension system, which is used in the automotive industry nowadays. The theses describes the construction, principles and application of linear motor in active suspension system.

Key words

Damper, car, active suspension, linear electromagnetic motor, quarter car model, magneto-rheological fluid, spring, air suspension, hydraulic suspension

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 30.5.2016

Jakub Fencel

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Vladimíru Kindlovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
1 SYSTÉMY TLUMENÍ AUTOMOBILU	11
1.1 ČTVRTINOVÝ MODEL AUTOMOBILU.....	12
1.2 PASIVNÍ TLUMENÍ.....	16
1.3 SEMI-AKTIVNÍ TLUMENÍ	17
1.3.1 <i>Magnetoreologické tlumení</i>	17
1.3.2 <i>Tlumení GenShock</i>	21
1.4 AKTIVNÍ TLUMENÍ	22
1.4.1 <i>Aktivní systém tlumení Bose</i>	23
1.4.2 <i>Vzduchové odpružení s řízeným tlumením</i>	26
1.4.3 <i>Hydraulické tlumení</i>	40
2 LINEÁRNÍ MOTOR	41
2.1 KONSTRUKCE	41
2.2 LINEÁRNÍ MOTOR JAKO AKČNÍ ČLEN SYSTÉMU AKTIVNÍHO TLUMENÍ.....	43
ZÁVĚR	45
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	47

Úvod

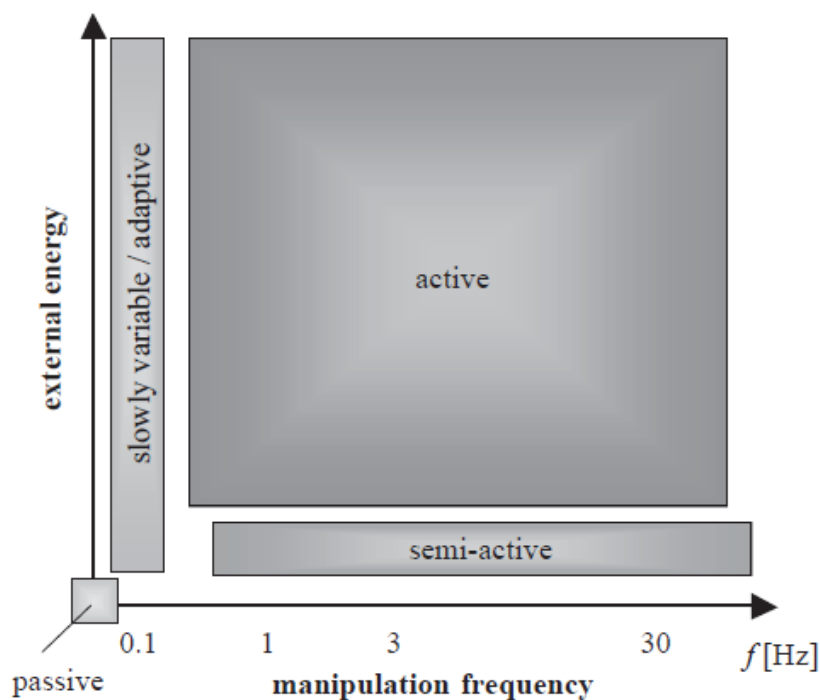
Cestování automobilem je dnes pro mnohé z nás každodenní rutina. Abychom se mohli automobilem bezpečně přepravovat, je nutné, aby automobil udržoval neustálý kontakt s vozovkou. Vzájemnou interakci zajišťuje pneumatika, která dosedá na vozovku. Zřídka kdy je povrch vozovky hladký a bez poruch. Kvalita a profil vozovky ovlivňuje jízdní vlastnosti automobilu stejně tak jako jeho technický stav. Pneumatika je neodpruženou částí automobilu. Kdyby se všechny nárazy, které způsobují kmity karoserie, přenášely na cestující ve své maximální hodnotě, tedy tak, jak působí na pneumatiku, byla by jízda automobilem velice nepohodlná. Nejen že by takováto jízda byla nepohodlná, ale byla by rovněž nebezpečná. Proto jsou automobily vybaveny systémy tlumení. Systém tlumení se nachází mezi pneumatikou a karoserií vozu. Jeho hlavním úkolem je zajistit bezpečnou a komfortní jízdu. Bezpečnost a pohodlí se bohužel navzájem negativně ovlivňují. Bezpečnost ustupuje na úkor pohodlí a naopak. Proto se výrobci snaží najít vždy ideální kompromis nastavení systému tlumení tak, aby jízda byla bezpečná a zároveň co nejvíce komfortní. Vědci hledají způsob, kterým by bylo možné tlumení automobilu přizpůsobit stavu vozovky a stylu jízdy. V dnešní době již existuje takovéto tlumení a je označováno jako aktivní systém tlumení automobilu. Cílem této bakalářské práce je definovat základní problematikou systémů tlumení v automobilovém průmyslu, popsat jednotlivé typy tlumení automobilů, vzájemně je porovnat a zhodnotit jejich využitelnost. Dále se práce zabývá využitím akčních členů v systému aktivního tlumení. V této části je práce zaměřena především na lineární motor jako akční člen. Práce zahrnuje jednoduchý čtvrtinový model automobilu, který slouží k objasnění silového působení vozovky na vozidlo v průběhu jízdy.

Seznam symbolů a zkratek

M_a	Hmotnost odpružené části automobilu (kg)
M_k	Hmotnost neodpružené části automobilu (kg)
K_k	Tuhost pružiny znázorňující pneumatiku (N/m)
K_p	Tuhost pasivní pružiny (N/m)
C_t	Konstanta tlumiče (Ns/m)
F	Síla generovaná akčním členem (N)
MATLAB	Matrix laboratory
CO_2	Oxid uhličitý
CAN	Controller Area Network
C_1, C_2	Kondenzátor (F)
m	Hmota
g	Gravitační zrychlení (m/s^2)

1 Systémy tlumení automobilu

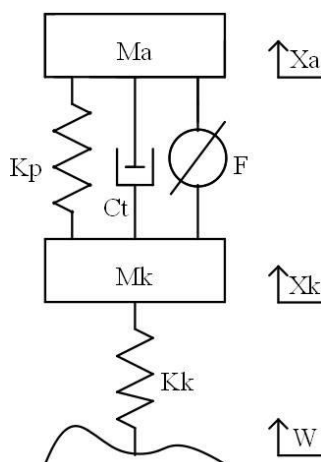
Automobilové tlumení je systém, který se nachází mezi karoserií a kolem automobilu. Systémy tlumení mají za úkol zajistit bezpečné a komfortní cestování automobilem. Zprostředkovávají zpětnou vazbu mezi vozovkou a kostrou automobilu, udržují nepřetržitý kontakt pneumatiky s vozovkou, minimalizují nárazy a síly působící na karoserii, zajišťují dobré jízdní vlastnosti automobilu. Bohužel, vylepšení bezpečnosti pomocí tlumení, má negativní vliv na komfort pasažérů a naopak. Ideální nastavení systému tlumení je takové, kdy pro reakci na nerovnosti vozovky bude nastavení tlumení takzvaně měkké, oproti tomu nastavení tlumení na základě zatížení vozidla bude takzvaně tvrdé. To znamená, že rozsah odpružení v reakci na změny na vozovce bude výrazně vyšší, než bude rozsah reakce odpružení na změnu zatížení vozidla. Tyto dva aspekty se zároveň vylučují, proto se snažíme nacházet ideální kompromis pro běžný provoz. Základem složení systému tlumení automobilu je pružina a tlumič. Hlavním úkolem pružiny je vstřebat energii z nerovností vozovky a přeměnit ji na svou pohybovou energii. Úkolem tlumiče je rozložit následky nerovností vozovky tak, aby nedocházelo ke kmitání v karoserii. Systémy tlumení rozdělujeme na pasivní, semi-aktivní a aktivní. Hlavní rozdíl mezi jednotlivými typy tlumení je schopnost měnit tlumicí charakteristiku systému.



Obr. 1 Rozdíl mezi pasivním, semi-aktivním a aktivním tlumením.
(převzato z [10])

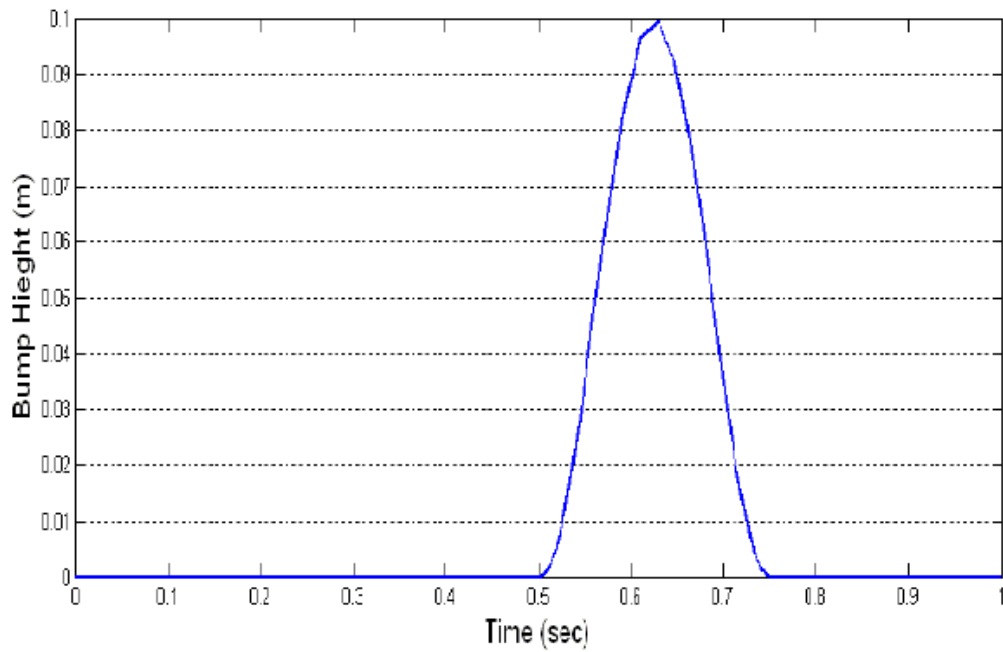
1.1 Čtvrtinový model automobilu

K analýze tlumení automobilu se nejčastěji využívá čtvrtinového modelu automobilu. Není to jediný typ modelu, který se využívá. Existují modely poloviční či úplné. Čtvrtinový model se využívá pro analýzu systému tlumení, protože je jednoduchý a zachycuje důležité charakteristiky celkového modelu. Rovnice pro pohyb modelu se získají na základě působení vertikálních sil na odpružené a neodpružené části modelu. Odpružená část modelu reprezentuje karoserii, neodpružená část modelu představuje pneumatiku a nápravu. Pružina, tlumič a systém generující sílu jsou umístěny mezi odpruženou a neodpruženou částí. Největší pozornost se soustředí na matematický model čtvrtinového modelu automobilu. Dynamický model, který popisuje vztahy mezi vstupními a výstupními informacemi, umožňuje pochopit chování systému tlumení. Na dynamickém modelu probíhá praktické testování. Úkolem matematického modelu je získat stavový popis čtvrtinového modelu automobilu. Systém tlumení je nastaven jako lineární. Stavové proměnné mohou být znázorněny jako vertikální pohyby karoserie a vertikální pohyby kol. Existují modely reprezentující pasivní typ tlumení nebo aktivní typ tlumení. Jelikož je tato práce zaměřena na systémy aktivního tlumení, bude proto použit model pro aktivní tlumení. Čtvrtinový model znázorňuje jedno kolo, jeden systém tlumení a čtvrtinovou část karoserie. Skládá se z odpružené části M_a , která reprezentuje karoserii, neodpružené části M_k , která reprezentuje kolo. Pneumatika je znázorněna jako lineární pružina K_k . Pasivní prvky systému tlumení představují pružina K_p a tlumič C_t . Paralelně je k pasivním prvkům umístěn aktivní zdroj síly F , který je řízený zpětnou vazbou. Tato kombinace zajišťuje spolehlivost systému. [4]

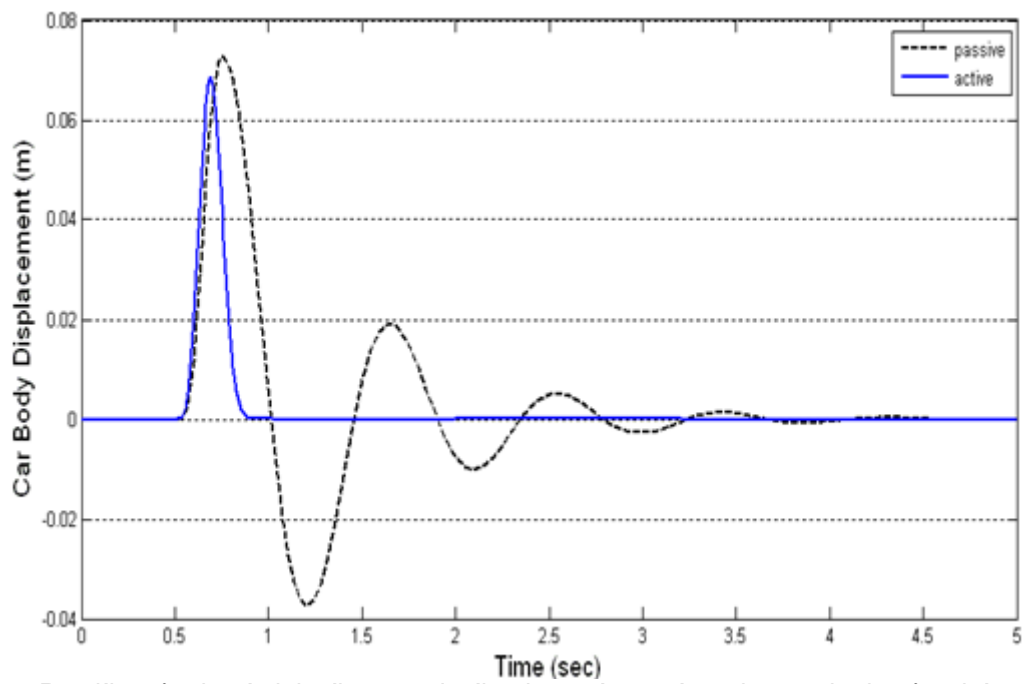


Obr. 2 Čtvrtinový model automobilu pro aktivní tlumení.

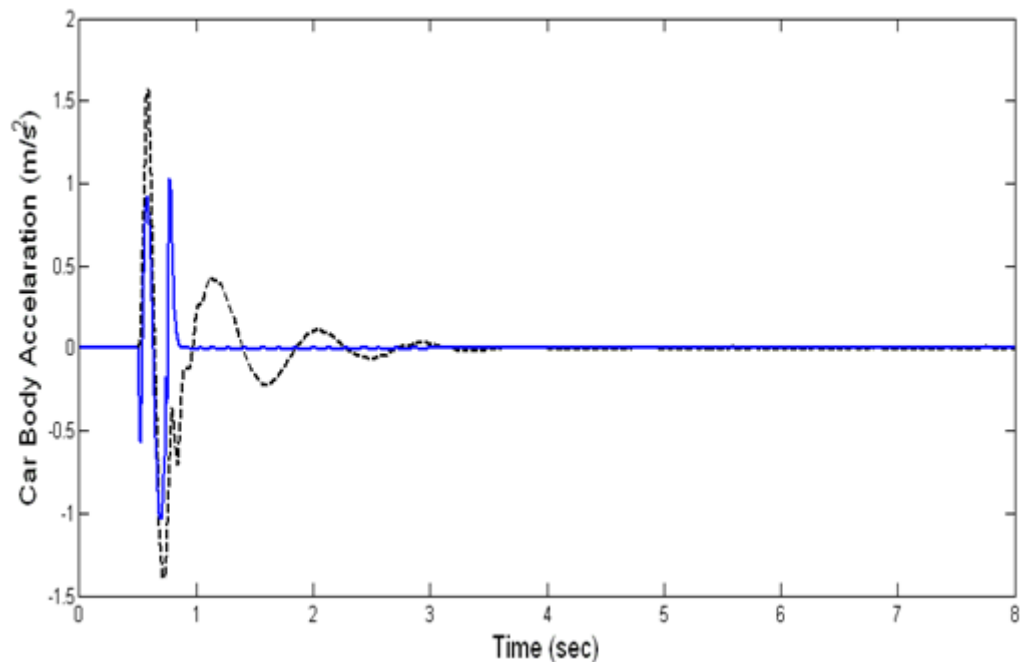
Chování systému tlumení se dá stanovit pomocí programu pro provedení simulací, jakým je například MATLAB. Program využije modelu automobilu a na základě vstupních parametrů, kterými jsou hmotnost karoserie, hmotnost kola, tuhost pružiny, tuhost pružiny znázorňující pneumatiku, tlumicí charakteristika tlumiče a síla generovaná akčním členem tlumení, stanoví chování systému. Dále se do systému zaznamená změna povrchu vozovky a program vykreslí grafy pro znázornění působení tlumicího systému na karoserii vozidla vlivem změny vozovky. Z výsledných grafů lze pochopit rozdíl chování mezi typy tlumení. Pro znázornění chování pasivního a aktivního tlumení nám poslouží případ, kdy automobil najede na hrbol vozovky o výšce 10 cm znázorněném na *Obr. 3*. Najetí vozidla na nerovnost vyvolá patřičné změny v chování automobilu. Vychýlí se poloha karoserie. Její navrácení do původního stavu znázorňuje *Obr. 4*. Z tohoto obrázku je patrné, že aktivní tlumicí systém uvede karoserii do původního stavu ve velice krátké době a to díky silovému působení akčního členu. Oproti tomu pasivní tlumení negeneruje sílu, která by působila proti nerovnosti vozovky, pouze náraz absorbuje a tlumí ho parametry pasivních prvků, a proto navrácení karoserie do původní pozice trvá dobu delší. Vliv nerovnosti na pohodlí cestujících zobrazuje *Obr. 5*, na kterém je znázorněno zrychlení karoserie a jeho utlumení v závislosti na čase. Z *Obr. 5* vyplývá, že zrychlení karoserie u automobilu s aktivním typem tlumení dosahuje menších amplitud a je utlumeno dříve než u automobilu využívajícího pasivní tlumení. Nerovnost na vozovce má samozřejmě vliv na pohyb kola, který je znázorněn v *Obr. 6*, kde je vidět působení tlumicích systémů na návrat kola do původní pozice před najetím na hrbol. Stejně jako při působení na změnu pozice karoserie i v tomto případě aktivní tlumení navrácí kolo do původní pozice rychleji než pasivní tlumení. Vychýlení kola ovšem dosahuje větších amplitud při použití aktivního tlumení než při použití pasivního tlumení. Samotná tlumicí jednotka vykonává při najetí na nerovnost pohyb, který popisuje *Obr. 7*. Aktivní tlumení ukončuje svůj pohyb dříve a nedosahuje svým pohybem takových drah jako pasivní tlumení. [4]



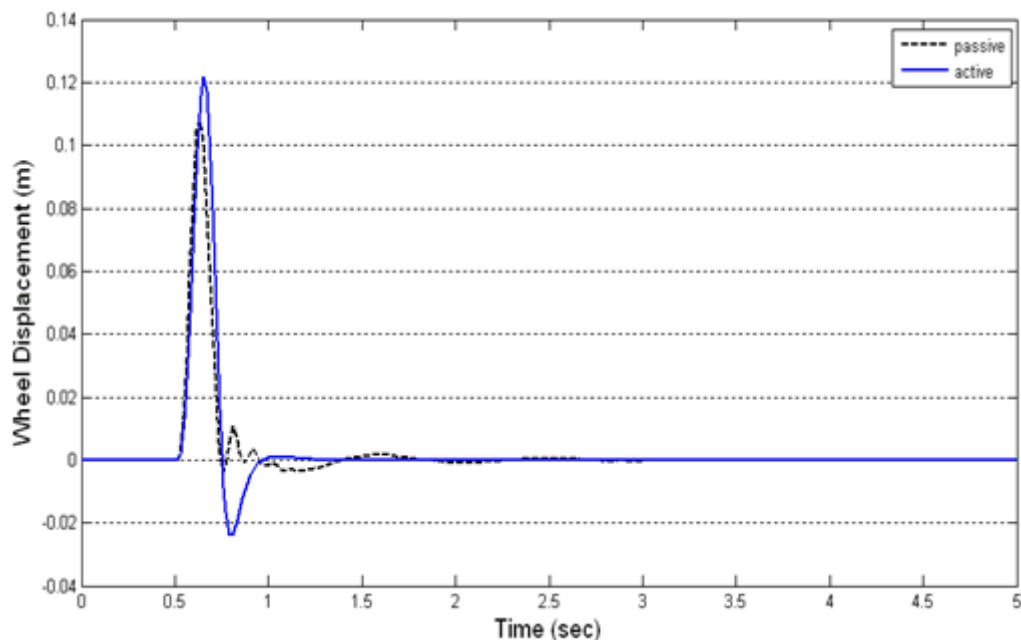
Obr. 3 Znáornění nerovnosti vozovky.
(převzato z [4])



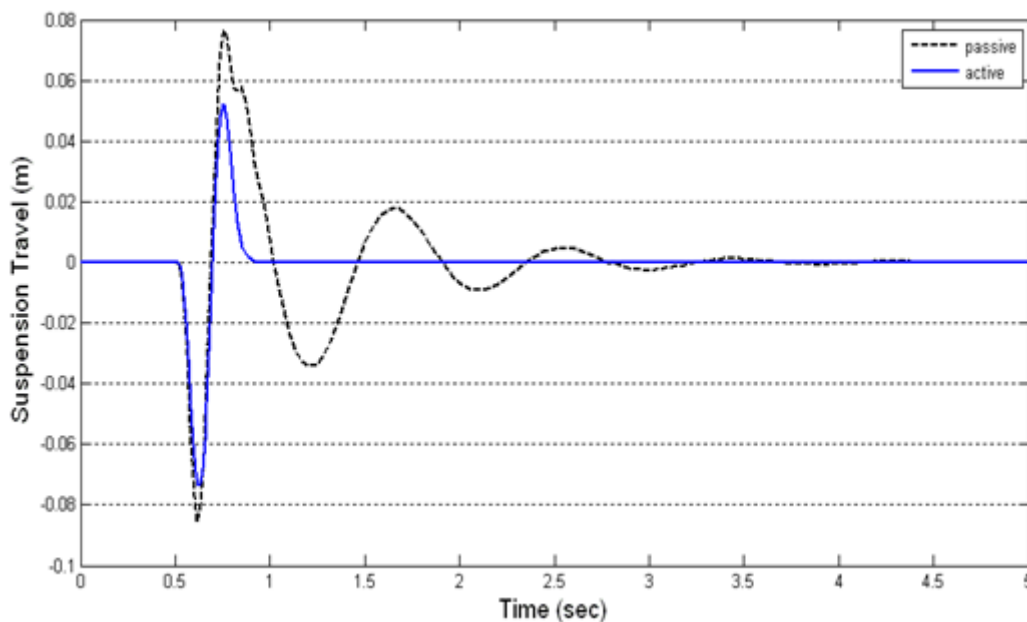
Obr. 4 Rozdíl v působení aktivního a pasivního tlumení pro návrat karoserie do původní pozice.
(převzato z [4])



Obr. 5 Zrychlení karoserie a jeho utlumení vlivem působení aktivního (modrá křivka) a pasivního tlumení (černá, přerušovaná křivka).
(převzato z[4])



Obr. 6 Vliv aktivního a pasivního tlumení na návrat kola do pozice před nájездem na hrbol.
(převzato z [4])



Obr. 7 Pohyb tlumicích systémů vlivem nerovnosti vozovky.
(převzato z [4])

1.2 Pasivní tlumení

Pasivní tlumení je složeno z konvenčních prvků, kterými jsou tlumiče a pružiny. Tlumič zajišťuje nepřetržitý kontakt kola s vozovkou, tlumí nárazy, snižuje naklánění automobilu při průjezdu zatáčkou. Tlumič se dá popsat jako píst, jehož pracovním médiem může být plyn, kapalina nebo jejich kombinace. Pružina slouží k zamezení přenosu kmitání z neodpružené části vozidla, kterou může být náprava, na odpruženou část vozidla, kterou může být karoserie. Pružiny dělíme podle použitého materiálu na ocelové, kam patří listová, vinutá a zkrutná pružina. Dalšími typy pružin jsou pryžové a pneumatické. Nastavení tuhosti pružiny ovlivňuje komfort pasažérů vozidla. Pasivní typ tlumení je po dobu jízdy neregulovatelný, proto jsou jeho vlastnosti omezeny nastavením tlumiče a pružiny. Jediná možnost, kdy lze tento typ tlumení upravit, je v době, kdy automobil není v pohybu. Vlastnosti pružiny se dají měnit velice obtížně. Změny tuhosti pružiny v určitém bodě její tlumicí charakteristiky lze dosáhnout jejím stlačením. Snazší je tak regulace tlumiče, kdy je možné stavícimi šrouby nastavit průtok hydraulické kapaliny v tlumiči. Dle nastavení rozdělujeme tlumiče na takzvaně měkké a tvrdé tlumiče. Měkké tlumiče zajišťují komfortní jízdu, ale zhoršují ovladatelnost a stabilitu vozidla, a to především při zatáčení a brzdění. Tvrdé tlumiče upřednostňují bezpečnost oproti komfortu. Jelikož se nastavení pasivního systému nedá provádět za jízdy, nepotřebuje tento systém žádnou přídavnou energii. Pasivní tlumení lépe pohlcuje vibrace o vyšších frekvencích, pro tlumení nižších

frekvencí je nutné použít aktivního tlumení. Největší výhodou pasivního tlumení je cena a jednoduchost. [1] [8]

1.3 Semi-aktivní tlumení

Semi-aktivní tlumení se dá popsat jako aktivní systém tlumení, který neobsahuje vnější zdroj síly. Dodávaná síla pohonům je tak nulová, na rozdíl od plně aktivního systému, který vyžaduje dodávání energie pro své akční členy. Semi-aktivní systém tlumení využívá zařízení s nízkou energetickou náročností. Jeho zařízení potřebují energii na měření, zpracování a zesílení proměnného systému, který se využívá k řízení pístu tlumiče za účelem změny koeficientu tlumení. [1]

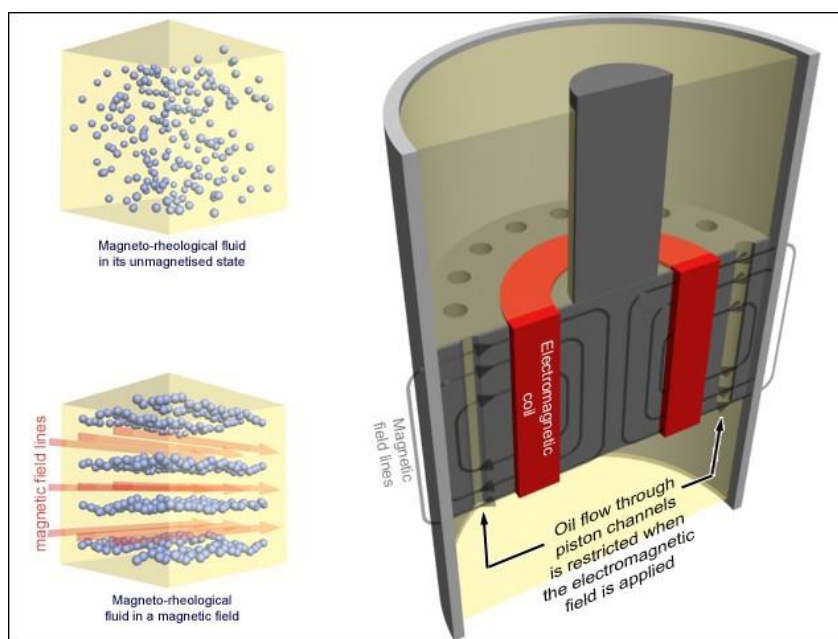
Nejvyužívanějším řešením pro stavbu semi-aktivního tlumení je systém s magnetoreologickou kapalinou protékající uvnitř tlumiče. V systému se využívá změny hustoty magnetoreologické kapaliny při průtoku magnetickým polem. Tlumič je závislý kromě továrního nastavení pouze na energii, která je dodávána magnetoreologické kapalině. Algoritmus řídicí tento systém tlumení se nazývá Skyhook a je navržený tak, aby zajistil dobrý kontakt pneumatiky s vozovkou a co nejmenší přenos kmitů na karoserii automobilu. Z důvodu přirozeného chování semi-aktivního systému tlumení je průměrná energie dodávaná systému nízká. Hodnota výkonu dodávaného do systému se pohybuje v řádu jednotek wattů. [5]

Další systém využívaný jako semi-aktivní typ tlumení nese název GenShock. Tento typ tlumení funguje jako hydraulický válec napojený na soubor ventilů a hydraulický motor, který je připojen ke generátoru. V momentu, kdy najede automobil na nerovnost na vozovce, lineární pohyb tlumiče způsobí pohyb kapaliny v okruhu. V tomtéž okruhu je napojen hydraulický motor, který je pohybem kapaliny uveden do pohybu a následně se chová jako generátor elektrické energie. Tato energie se nashromáždí v baterii. [5]

1.3.1 Magnetoreologické tlumení

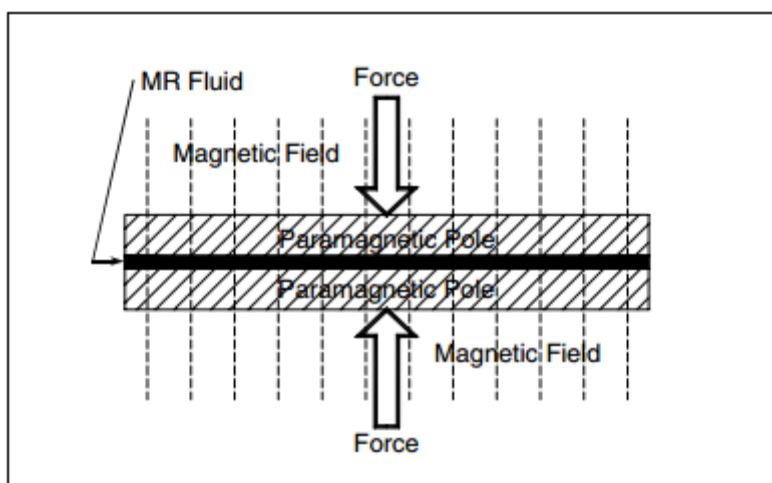
Syntetický uhlovodíkový olej obsahující miniaturní magnetické částice je magnetoreologická kapalina. Proud procházející cívkou uvnitř pístu tlumiče vytvoří kolem cívký magnetické pole. V magnetickém poli se magnetické částice kapaliny uspořádají do řad napříč tlumičem. Tlumič se svými pohyby snaží kapalinu stlačit nebo naopak ji nechává rozpínat. Změnou struktury kapaliny, kdy se magnetické částice uspořádají do řad, dojde ke změně viskozity kapaliny a ta se tak stává v magnetickém poli tužší. Takováto

kapalina je pak méně pohyblivá a celý systém tlumení se tak stává tvrdším. Nenachází-li se magnetoreologická kapalina v magnetickém poli, pak se chová jako běžná kapalina. [12]



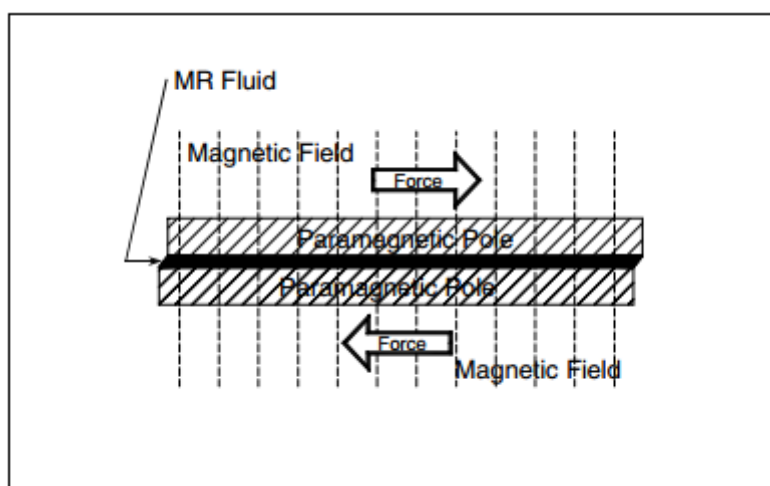
Obr. 8 Uspořádání magnetických částic v magnetoreologické kapalině.
(převzato z [12])

Magnetoreologická kapalina může být v tlumiči využita ve třech různých režimech. V režimu stlačení je vrstva magnetoreologické kapaliny, tenká přibližně 0,5 mm, umístěna mezi povrchy dvou paramagnetických polí, které jsou vlivem působení magnetického pole přitahovány. [13]



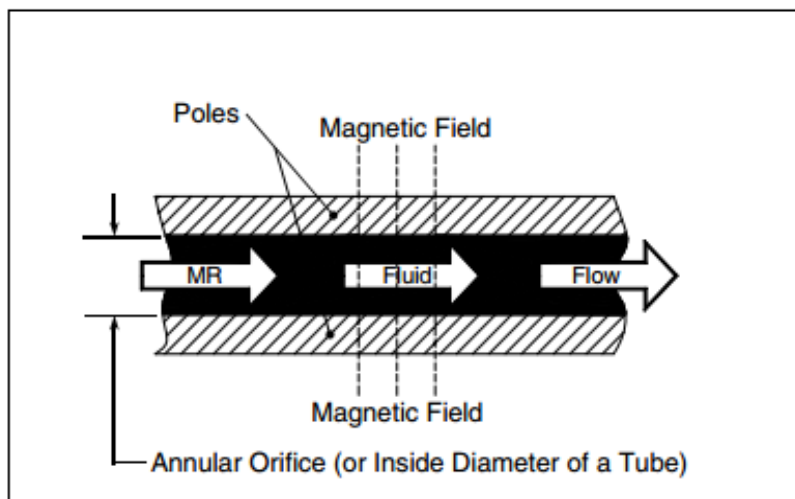
Obr. 9 Magnetoreologická kapalina v režimu stlačení.
(převzato z [13])

Druhým režimem, ve kterém se magnetoreologická kapalina může nacházet, je režim smýkání. Kapalina je umístěna mezi paramagnetickými poli, na které působí síla v opačných směrech. Tloušťka vrstvy kapaliny v tomto režimu se pohybuje v rozmezí od 0,127 do 0,381 mm. Režim smýkání je určen především pro tlumiče, které nejsou navrženy ke generování velké síly. [13]



Obr. 10 Magnetoreologická kapalina v režimu smýkání.
(převzato z [13])

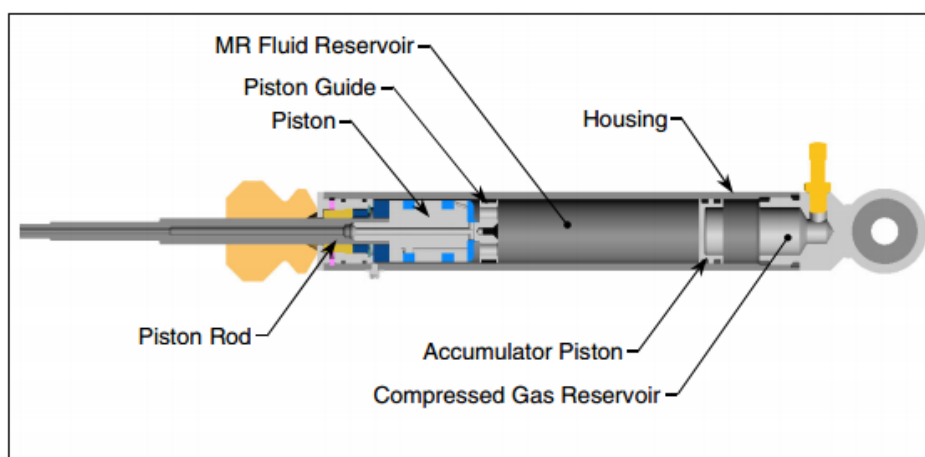
Třetím pracovním režimem a zároveň nejvyužívanějším je ventilový režim. V tomto režimu magnetoreologická kapalina omezuje průtok kapaliny z jedné strany pístu do druhé a to v místech, kde na kapalinu působí magnetické pole. Změny síly působení magnetického pole na kapalinu umožňují změnu viskozity magnetoreologické kapaliny. S rostoucí silou magnetického pole roste tuhost kapaliny. Dosažením saturačního bodu magnetických částic dojde k ztuhnutí kapaliny a tlumič se stává nepohyblivým. Proto je nutné elektricky řídit průchod magnetického pole kapalinou a tím regulovat hustotu kapaliny, aby tlumič i nadále plnil svou funkci. [13]



Obr. 11 Magnetoreologická kapalina v pístovém režimu.
(převzato z [13])

1.3.1.1 Jedno-trubicový magnetoreologický tlumič

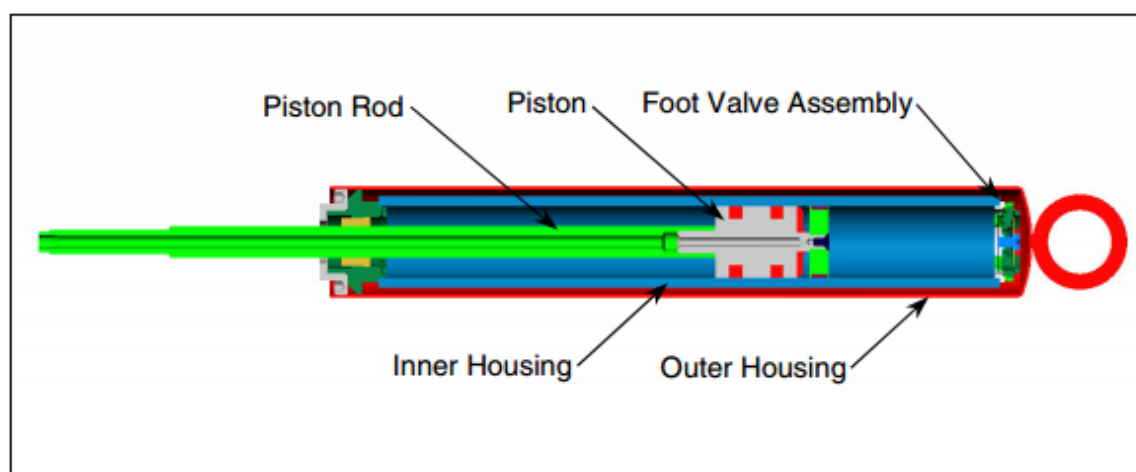
Jedno-trubicový magnetoreologický tlumič má pouze jednu nádobu s magnetoreologickou kapalinou a několik možností, jak změnit množství kapaliny v tlumiči, což vede k pohybu tyče pístu. Pro přizpůsobení množství kapaliny v tlumiči bývá často tlumič vybaven akumulátorovým pístem, který slouží jako hranice mezi magnetoreologickou kapalinou a stlačeným plynem. Stlačený plyn slouží k nutným změnám množství média v tlumiči. [13]



Obr. 12 Řez jedno-trubicovým magnetoreologickým tlumičem.
(převzato z [13])

1.3.1.2 Dvou-trubicový magnetoreologický tlumič

Dvou-trubicový magnetoreologický tlumič zahrnuje dvě nádoby do sebe vložené, ve kterých proudí magnetoreologická kapalina. Tlumič je sestaven z vnitřního a vnějšího pouzdra. Vnitřní pouzdro je zcela vyplněno magnetoreologickou kapalinou tak, že se v něm nenachází žádné vzduchové bubliny. Změnou množství kapaliny vyvolanou pohybem pístu kooperuje vnitřní pouzdro s vnějším, které je kapalinou naplněno jen z části. V praxi to znamená, že na dně vnitřního pouzdra je umístěn soubor ventilů, který reguluje průtok kapaliny mezi jednotlivými nádobami. Množství kapaliny, která proteče z vnitřní nádoby do vnější, odpovídá množství kapaliny, kterou svým pohybem nahradila ve vnitřním pouzdře tyč pístu. Při pohybu tyče pístu mimo tlumič, se kapalina přesune z vnějšího pouzdra pomocí zpětného ventilu do vnitřního pouzdra. Pro správnou funkci tlumiče musí být tlakový ventil dostatečně pevný, aby vydržel tlakové působení mezi oběma stranami pístu. Zpětný ventil je navržen tak, aby byl co nejcitlivější a kladl co nejmenší odpor průtoku kapaliny. [13]

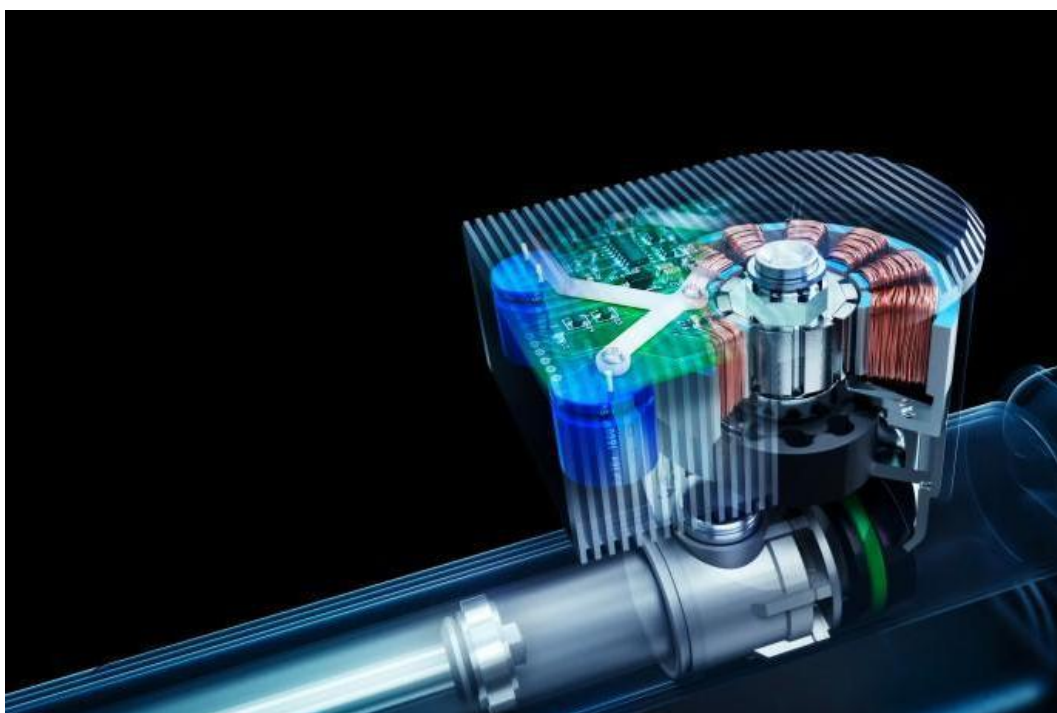


Obr. 13 Řez dvou-trubicovým magnetoreologickým tlumičem.
(převzato z [13])

1.3.2 Tlumení GenShock

Systém tlumení GenShock je výsledkem spolupráce firem ZF a Levante Power Corp. Tento typ tlumení by měl nalézt uplatnění mezi luxusními a sportovními vozy. Hlavním cílem je ale uvést tento tlumicí systém do automobilů s hybridním pohonem nebo do elektromobilů. Systém GenShock je navržen tak, aby byl schopen přeměnit kinetickou energii, kterou tlumič vyvine při nájezdu na hrbol svým pohybem na energii elektrickou. Takto vytvořená elektrická energie je poté použitelná pro pohon celého automobilu

s vhodným typem motoru. Systém pístů automaticky využívá pohybu pístu tlumiče tak, že může rekuperovat energii. Systém vede olej v tlumiči takovým způsobem, že se olej stává pohonem pro elektrické čerpadlo. Čerpadlo poté funguje jako generátor, přemění kinetickou energii na energii elektrickou a pošle takto vytvořenou elektrickou energii do napájení vozidla. Takovýto způsob získu energie by našel nejlepší uplatnění na nekvalitních vozovkách. Využitím takového typu tlumení dosáhneme snížení emisí CO₂. Dnešní trendy ekologicky přátelských automobilů nacházejí v GenShock systému tlumení další možnost, jak být co nejvíce ohleduplné k životnímu prostředí. [15]

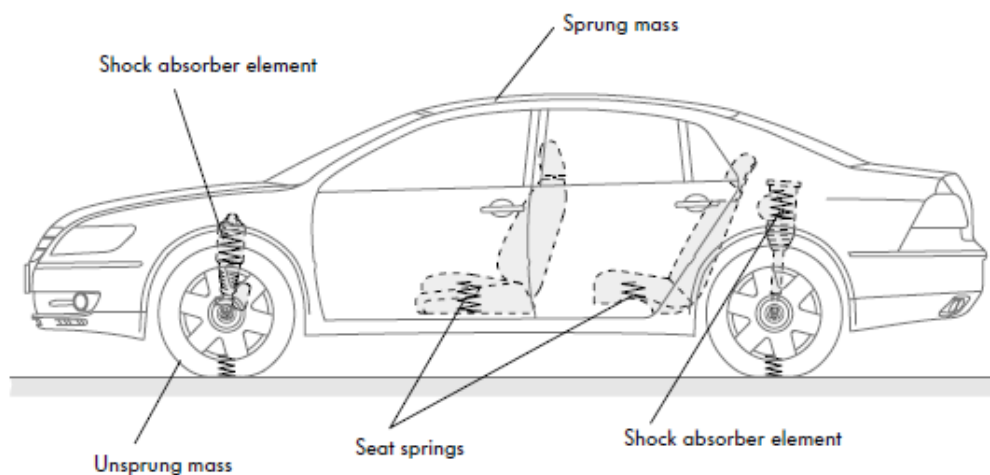


Obr. 14 GenShock tlumení s možností rekuperace energie.
(převzato z [15])

1.4 Aktivní tlumení

Aktivní tlumení se dá popsat jako uzavřená smyčka řídicího systému se zpětnou vazbou, kterou obstarávají systémy ovládající pohony. Systém aktivního tlumení se skládá z vnějšího zdroje energie, pohonu, který může být hydraulický, vzduchový nebo elektromechanický, jako zdroje síly, dále z měřicích přístrojů, chladicích a zesilujících zařízení. Užití aktivního systému tlumení by mělo vést ke zvýšení komfortu přepravovaných cestujících a zároveň k vylepšení jízdních vlastností vozidla v průběhu jízdy. Oproti pasivnímu systému tlumení, který má přesně nastavenou prioritu, zdali upřednostnit bezpečnost nebo komfort, by aktivní tlumení mělo využívat možnosti

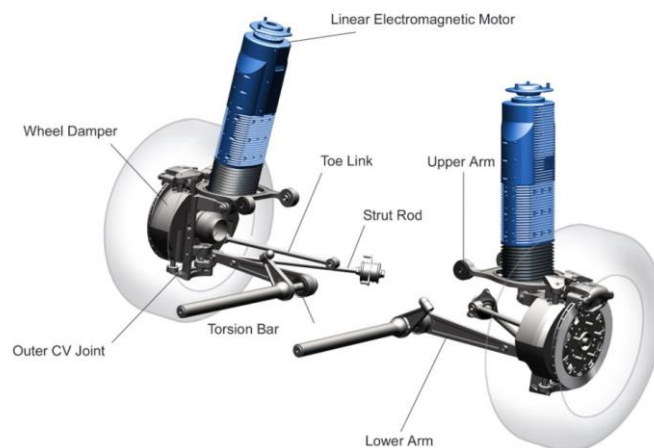
ideálního vyvážení těchto dvou vlastností. To znamená, že úkolem aktivního tlumení je co nejvíce minimalizovat překmit odpružené části vozidla při přejetí nerovnosti na vozovce. Z lidského hlediska se jedná o kmity v rozmezí od 4 do 8 Hz. Proto se právě vylepšení jízdního komfortu řeší především v tomto frekvenčním rozsahu. Pro zlepšení jízdních vlastností musíme přemýšlet o stabilitě, brzdění a zatažení vozidla. Pro čtvrtinový model se dají jízdní vlastnosti sledovat na zrychlení neodpružené části vozidla, kterou je pneumatika. Komfort a bezpečnost se vzájemně omezují, a proto, aby mohlo být splněno vylepšení obou těchto vlastností vozidla, je nutná možnost dynamické změny charakteru tlumení podle stavu vozovky. Těto změny se dosáhne přidáním akčního členu do systému tlumení. Toto je hlavní rozdíl oproti pasivnímu systému tlumení. [1]



Obr. 15 Znárodnění odpružené a neodpružené části vozidla s tlumícími prvky.
(převzato z [9])

1.4.1 Aktivní systém tlumení Bose

Aktivní systém tlumení Bose zahrnuje lineární elektromagnetické motory a výkonové zesilovače pro každé kolo, senzory a řídicí algoritmus. Kombinací těchto prvků je možné dosáhnout vysokého komfortu s vysokou kvalitou řízení a to u jednoho vozidla. Jízda vozidlem je tak velmi pohodlná, téměř jako v komfortních limuzínách, a při agresivní jízdě bezpečná jako ve sportovních speciálech. [6]



Obr. 16 Popis zavěšení a jednotlivých částí systému tlumení Bose.
(převzato z [7])

1.4.1.1 Princip fungování systému Bose

Systém Bose využívá lineárního elektromagnetického motoru, kterým je vybaveno každé kolo automobilu. Uvnitř lineárního elektromagnetického motoru jsou permanentní magnety a závity cívky. Průchodem střídavého elektrického proudu závity cívky je vytvořeno magnetické pole, které uvede pohyblivou část lineárního motoru do akce. Lineární motor tak vykonává pohyb mezi kolem a karoserií vozidla. Napájecí napětí tlumicího systému je 300 V, ale napětí v palubní síti automobilu je zachováno na 12 V. Hlavní výhodou elektromagnetického motoru je jeho rychlost. Dokáže dostatečně rychle reagovat na hrboly a výmoly vozovky, čímž udržuje komfortní jízdu. Rychlost reakce celého systému na stav vozovky je umožněna senzory, které zaznamenávají aktuální stav pohybu vozidla a informace zprostředkovávají řídicí jednotce. Ta informace zpracovává a vysílá motoru řídicí signály. Díky rychlému přenosu informací mezi senzory, řídicí jednotkou a motorem dochází k vyvinutí požadovaného množství síly motorem v potřebném směru tak, aby jízda byla pohodlná a bezpečná zároveň. Motor je navržen tak, aby jeho hmotnost byla co nejmenší pro požadovaný výkon. Je schopný vyvinout dostatečnou sílu pro ochranu automobilu před nežádoucími horizontálními pohyby karoserie při jízdách manévrech. Zlepšuje tedy jak bezpečí, tak pohodlí pasažérů. [6]

Výkonový zesilovač dodává elektrickou energii do motoru na základě signálů z řídicí jednotky. Rekuperační zesilovače mohou přijímat energii z lineárního elektromagnetického motoru, ale mohou taktéž energii do lineárního elektromagnetického motoru dodávat. Když kolo vjede do výmolu, je energie motoru využita k izolování odpružené

a neodpružené části vozidla. V opačném případě, najede-li vozidlo na hrbol vozovky, funguje lineární motor jako generátor a ukládá energii pro další použití. Energie se akumuluje ve vysokokapacitních kondenzátorech označovaných jako superkapy. Díky této schopnosti stačí tlumení Bose třetinová energie v porovnání s energií potřebnou pro provoz klimatizace automobilu. Využití tohoto typu systému aktivního tlumení s možností rekuperace se jeví ideálně při výrobě elektromobilů či automobilů s hybridním pohonem, které budou využívat více baterií. [6]

Bose systém aktivního tlumení je řízen matematickým algoritmem. Na autě jsou umístěny měřicí přístroje, které zasílají signály pro řídicí algoritmus. Ten na základě těchto informací vysílá signály k výkonovým zesilovačům, které jsou umístěny v oblasti každého kola automobilu a předávají pokyny lineárnímu elektromagnetickému motoru. Hlavním úkolem řídicího algoritmu je zajistit plynulou jízdu vozidla a minimalizovat jeho kývavé pohyby v průběhu jízdy. [6]



Obr. 17 Porovnání chování vozidla při průjezdu zatáčkou. Vlevo vozidlo s využitím konvenčního tlumení a vpravo vozidlo využívající systém tlumení Bose. (převzato z [6])

1.4.1.2 Umístění systému Bose

Systém tlumení Bose je vyroben z modulu pro zadní a přední část tlumení vozidla. Výhodou toho systému je možnost jeho zařazení do běžného automobilu s minimálními úpravami. Stavba modulu Bose umožňuje nahrazení stávajícího systému tlumení automobilu systémem tlumení Bose. Modul pro přední část automobilu zahrnuje torzní pružinu, která nese váhu vozu. Lineární motory pro přední část vozu jsou připevněny dvojími lichoběžníkovými závěsy. Tyto závěsy udržují systém tlumení v pozici mezi

karoserií a kolem vozu. Vidlice motoru spojují přední část tlumení s karoserií vozu. Montáží se nastaví potřebná výška oddělitelného modulu tlumení. Systém Bose obsahuje tlumič pro každé kolo, který zajišťuje, aby nedocházelo při rotačním pohybu pneumatiky k jejímu odražení od vozovky. Tlumič v systému Bose nepřenáší vibrace na cestující ve vozidle, což ho odlišuje od konvenčního tlumiče a netlačí proti karoserii, čímž zajišťuje pohodlí cestujících. [6]

1.4.2 Vzduchové odpružení s řízeným tlumením

Vzduchové odpružení s řízeným tlumením je kombinací systému pneumatického odpružení s nepřetržitě řízeným tlumením. Pro sériově vyráběné automobily se využívá tři stupňů nastavení výšky podvozku. Normální výška podvozku odpovídá obvyklé jízdě. Snížená výška podvozku se uplatňuje pro rychlou a agresivnější jízdu. Podvozek je o 15 mm blíže vozovce oproti normálnímu nastavení. Systém automaticky uvádí vozidlo do režimu snížené výšky podvozku při vysoké rychlosti na dálnici a zároveň sám automaticky tento režim vypíná. Zvýšená výška podvozku se využívá pro jízdu na nekvalitních silnicích a v terénu. Podvozek v režimu zvýšené výšky je o 25 mm výše nad vozovkou oproti normálnímu nastavení podvozku. [9]

1.4.2.1 Pneumatické odpružení

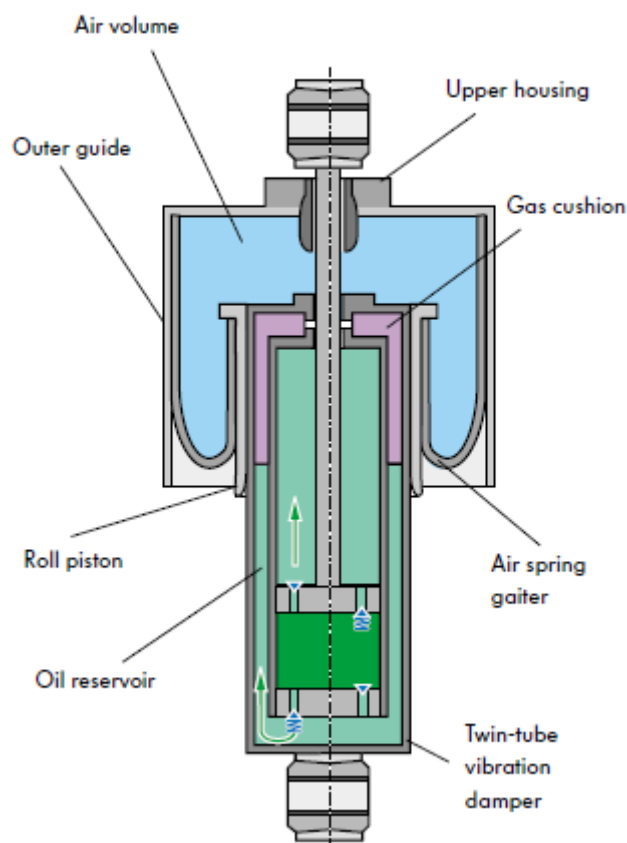
Pneumatické odpružení je výškově proměnný systém, který může být využit v kombinaci se systémem tlumení vibrací. Samonivelační odpružení udržuje karoserii na konstantní výšce. To znamená, že systém udržuje konstantní vzdálenost mezi středem kola a spodním okrajem blatníku. Řízení výšky automobilu probíhá přizpůsobením tlaku vzduchu působícího na pneumatickou pružinu a změnou objemu vzduchu v pružinách. Samonivelační odpružení zajišťuje pohodlné cestování. Karoserie si zachovává konstantní výšku bez ohledu na váhové zatížení vozidla, dokonce i při maximálním zatížení. Díky pneumatickému odpružení dochází k menšímu opotřebení pneumatik. Nedochozí ke změně sbíhavosti kol vzhledem k ideálnímu poměru zatížení. [9]

Pneumatické odpružení využívá vzduchové pružiny. Síla pneumatické pružiny je definována jako efektivní kruhová plocha, ta je dána efektivním průměrem pružiny, a tlak působící na pneumatickou pružinu. Pružina tak může snadno reagovat na změnu zatížení vozidla změnou tlaku v pružině, čímž se změní síla, kterou pružina působí a zůstává tak neměnná výška karoserie vozidla. Změna tlaku v pružině vede ke změně tuhosti pružiny a tím pádem ke změně její charakteristiky. Tuhost pružiny se nemění přímo úměrně

vzhledem k celkové hmotnosti vozidla. Hlavním faktorem pro komfort pasažérů je přenos kmitů na karoserii, z tohoto důvodu udržuje odpružení vnitřní frekvenci karoserie konstantní. Změna tlaku pružiny vede ke změně efektivní hodnoty průměru pružiny z důvodu pohybu po válcovém pístu. Charakteristika pneumatické pružiny pro cylindrický píst je progresivní. Objem plynu v pružině určuje křivku charakteristiky tuhosti. Při konstantním odpružení kola narůstá tlak v systému s nižším objemem plynu rychleji, než v systému s vyšším objemem plynu. Velké množství plynu v pružině vytvoří měkkou charakteristiku pružiny. Malé množství plynu v pružině vytvoří tvrdou charakteristiku pružiny. Křivku tuhosti pružiny ovlivňuje i tvar válce pístu, který může měnit efektivní hodnotu průměru pružiny a tím pádem sílu, kterou pružina vyvíjí. [9]

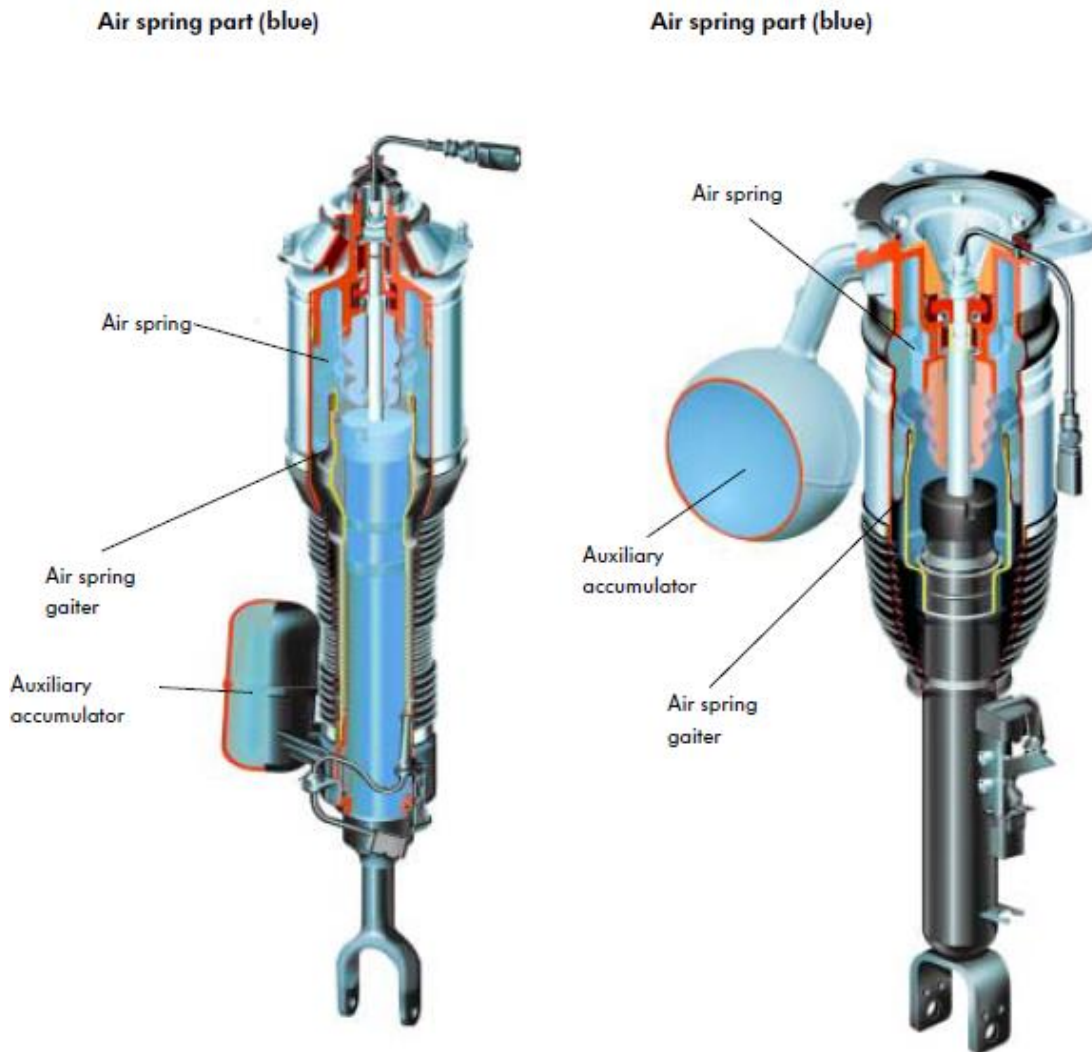
1.4.2.2 Stavba pneumatické pružiny

Pneumatická pružina se skládá z horního pouzdra s vnějším obalem, obalu pro pneumatickou pružinu, válcového pístu a tlumiče vibrací. Návlek pneumatické pružiny je vyroben ze speciálního, vysoce kvalitního, vícevrstvého elastického materiálu vyztuženého nylonovými vlákny. Vyztužený materiál má tak schopnost pohltit síly vyplývající z působení pneumatické pružiny. Speciální vnitřní vrstva návleku utěsňuje návlek tak, aby neunikal žádný vzduch. Uspořádání vrstev vaku vzduchové pružiny umožňuje přesnou reakci pro tlumení. Všechny materiály jsou odolné vůči vnějším vlivům a teplotám v rozmezí od -35 °C do 90 °C. Vnější obal pneumatické pružiny tvoří kovová objímka. [9]



Obr. 18 Řez pneumatiké pružiny s dvou-trubicovým tlumičem.
(převzato z [9])

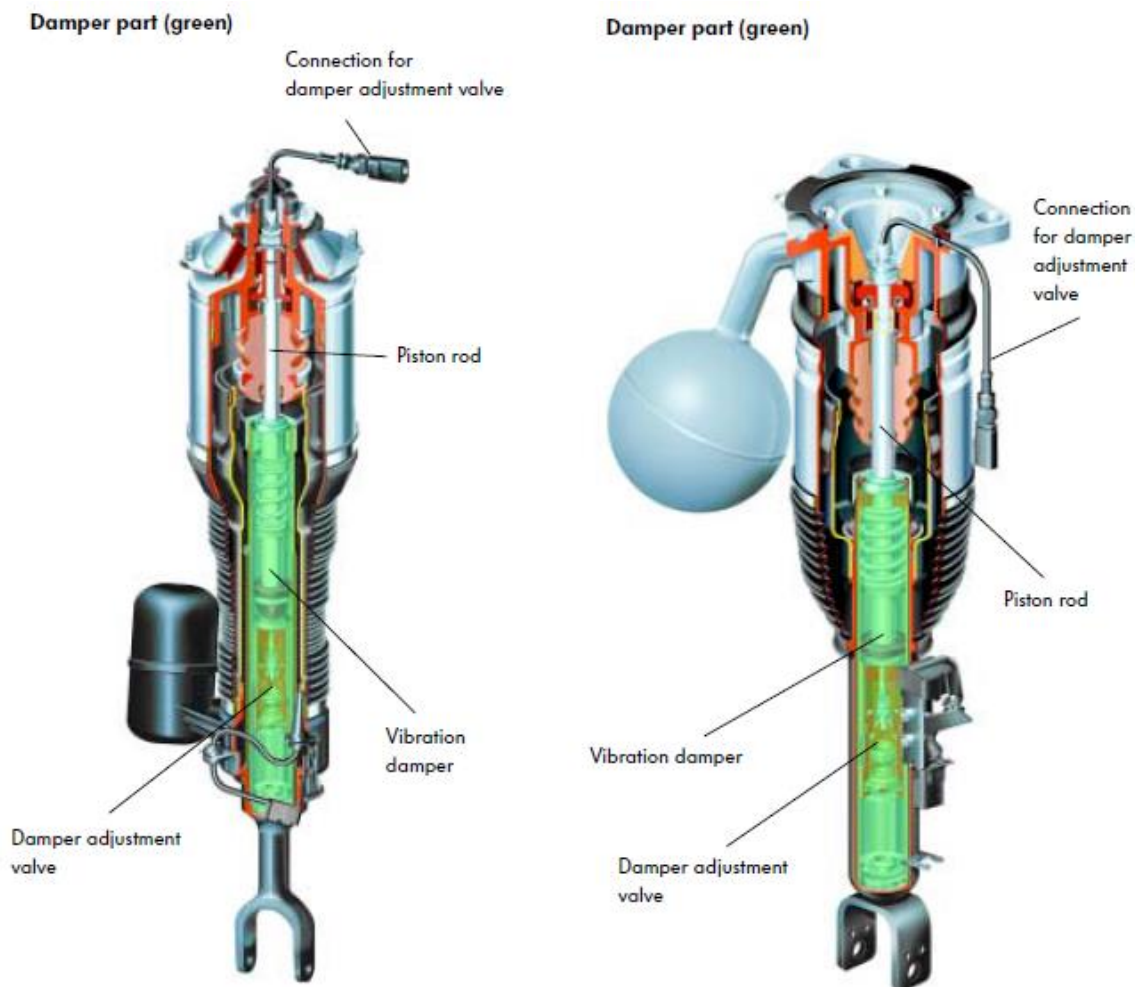
Obal pneumatiké pružiny je koncentricky uspořádan kolem vzduchem plněného tlumiče. Tenká stěna obalu pneumatiké pružiny zajišťuje vynikající reakci tlumicího systému. Požadovanou tuhost pružiny obstarává kombinace válcového pístu, vnější obal a pomocný zásobník plynu připojený k nosníku pružiny. Zásobníky použité na přední a zadní nápravě se liší. Jejich odlišnosti jsou ve tvaru a objemu. Zásobník pro přední nápravu má objem 0,4 litru a má válcový tvar. Objem zásobníku pro zadní nápravu je 1,2 litru a zásobník je kulového tvaru. Uchycení pružiny co nejvíce zmírňuje působení příčných sil na tlumič. Vnější obal ochraňuje stěnu pneumatiké pružiny proti znečištění a proti poškození vnějšími vlivy. [9]



Obr. 19 Vzduchová pružina aktivního pneumatického tlumení. Vlevo pružina pro přední nápravu, vpravo pružina pro zadní nápravu. (převzato z [9])

1.4.2.3 Tlumič vibrací

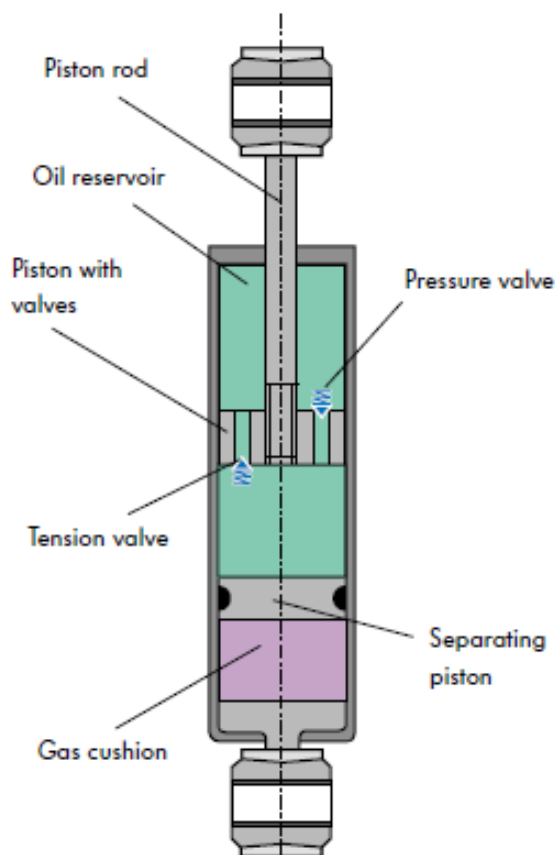
Úkolem tlumiče vibrací je redukovat přenos vibrací kola s co největší účinností za pomoci přeměny vibrační energie na teplo. Bez tlumiče vibrací by kolo vlivem nerovností vozovky mohlo ztrácet kontakt s vozovkou a to by mohlo vést až ke ztrátě kontroly nad vozidlem. [9]



Obr. 20 Tlumič aktivního pneumatického tlumení. Vlevo tlumič pro přední nápravu, vpravo tlumič pro zadní nápravu. (převzato z [9])

1.4.2.4 Jedno-trubicový tlumič

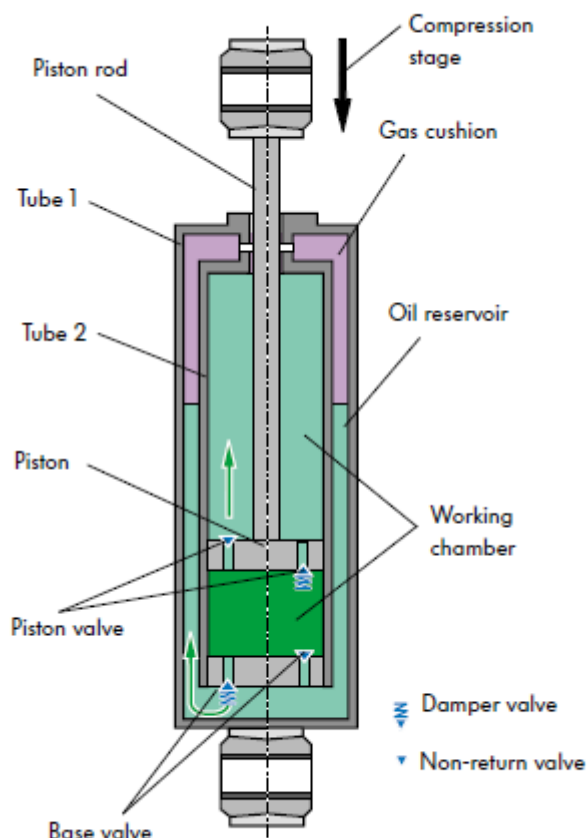
Tento typ tlumiče pracuje s olejem, který se nachází v jednoduchém válci. Změny objemu oleje vlivem teplotních změn a pohybu tyče pístu, když dojde ke stlačení pružiny, vyrovnává plyn, který je pod tlakem v plynové komoře pístu. Tlumičí ventily pro stlačení a rozpínání plynu jsou součástí pístu. [9]



Obr. 21 Řez jedno-trubicovým tlumičem.
(převzato z [9])

1.4.2.5 Dvou-trubicový tlumič

Dvou-trubicový tlumič se skládá ze dvou do sebe zapadajících trubíc. Vnitřní trubice slouží jako pracovní komora. Hydraulická kapalina zcela vyplňuje vnitřní trubici. Píst se pohybuje nahoru a dolů uvnitř pracovní komory společně se svojí tyčí a svými ventily. Základ pracovní komory je sestaven z ventilů a základní desky. Vnější trubici obklopuje olejová nádrž. Olej částečně vyplňuje olejovou nádrž. Nad částí zaplněnou olejem je část vyplněná plynem. Olejová nádrž vyrovnává změny objemu oleje v pracovní komoře. [9]



Obr. 22 Řez dvou-trubicovým tlumičem.
(převzato z [9])

Kmitání je tlumeno dvěma jednotkami tlumicích ventilů. Jedna jednotka se nachází na pístu a druhá je umístěna na dně pracovní komory. Jednotky obsahují systém pružných podložek, spirálových pružin a škrťací ventily. Při stlačení pístu je tlumení určeno především ventily a částečně průtokovým odporem pístu. Při rozpínání, tedy při pohybu pístu nahoru, jsou vibrace tlumeny samotnými písty ventilů. Tento proces ventilů definuje odpor vůči oleji jako proudění oleje směrem dolů. [9]

Tlumicí síla dvou-trubicového, vzduchem plněného tlumiče s nepřetržitým řízením tlumení má použitím elektricky říditelného ventilu zabudovaného do pístu široký rozsah. Tlumicí síla je nastavena na požadovanou hodnotu s reakční dobou menší než milisekundy díky elektrickému proudu protékajícího cívkou, který mění množství protékajícího oleje přes ventil pístu. [9]

Senzory zrychlení instalované na každém tlumiči vytvářejí signály, které společně se signály generovanými senzory zrychlení karoserie jsou využity k výpočtu požadovaného nastavení tlumiče. Systém aktivního tlumení rychle detekuje a řídí fáze výfuku a stlačení

tlumiče, a proto je aktuální tlumicí síla přizpůsobená dané jízdě situaci. Jízdní situace je vyhodnocována v řídicí jednotce samonivelačního tlumení. [9]

1.4.2.6 Nastavení tlumiče

U tlumiče musíme rozlišovat jeho dvě základní pracovní fáze. Jedná se o fázi komprese a o fázi rozpínání. Tlumicí síla během kompresní fáze je nižší než během fáze rozpínání. Výsledkem působení tlumiče dochází ke zmírnění přenosu otřesů způsobených nerovností vozovky na karoserii. Tlumiče s měnitelným nastavením tlumení a s nepřetržitým řízením jsou umístěny v luxusních automobilech. Řídicí jednotka určuje s rychlostí v řádu milisekund, jaký stupeň nastavení tlumení bude pro jaké kolo. Stupeň tlumení určuje, s jakou rychlostí musí být kmity redukovány. Stupeň tlumení je limitován tlumicí silou tlumiče vibrací a velikostí odpružené části vozu. Vzárostající hmotnost odpružené části vozu snižuje stupeň tlumení. Proto je tlumení kmitů u těžších vozidel pomalejší. Odlehčení odpružené části vozu vede k rychlejšímu tlumení kmitů. [9]

1.4.2.7 Systém vzduchových tlumičů s nepřetržitým řízením tlumení vozidla Phaeton

Pneumatický tlumič se nachází na každé nápravě automobilu v oblasti kola. Z toho vyplývá, že se systém tlumení skládá ze čtyř tlumicích jednotek, které jsou nepřetržitě řízeny. Systém tohoto typu tlumení udržuje výšku karoserie na požadované hodnotě vzhledem k silnici bez ohledu na zatížení automobilu. To znamená, že dochází k neustálé regulaci tlumení tak, aby mezi podvozkem automobilu a vozovkou byla konstantní vzdálenost bez ohledu na jízdě manévry nebo rychlost vozidla. [9]

1.4.2.7.1 Popis systému

Systém pneumatického aktivního tlumení zahrnuje řídicí jednotku, která přijímá signály ze senzorů, zpracovává je a vysílá řídicí signály k tlumičům. V každém rohu automobilu je namontována vzduchová pružina se senzorem snímajícím výšku vozidla. Na pneumatické pružiny navazují nastavitelné tlumiče vibrací, které jsou instalovány na podpěry pružin. Dále systém obsahuje kompresor s vysoušečem vzduchu a čidlem teploty, tlakový zásobník spolu se senzorem tlaku. Kompresor propojují s každou pneumatickou pružinou a tlakovým zásobníkem hadičky, ve kterých proudí vzduch. Blok elektromagnetických ventilů řídí průchod vzduchu jednotlivými pružinami. Nedílnou

součástí jsou senzory zrychlení kol na každé nápravě a tři senzory zrychlení umístěné na karoserii automobilu. [9]

Systém aktivního pneumatického tlumení přepíná automaticky mezi třemi nastavitelnými výškami podvozku v závislosti na jízdních situacích pomocí speciální řídicí strategie. Nastavení výšky podvozku probíhá plynule, aniž by si toho pasažéři povšimli. Při jízdě ve vysoké rychlosti se podvozek automaticky sníží, čímž se zajistí lepší dynamické vlastnosti a stabilita vozu než při normálním nastavení podvozku. Poklesne-li rychlost vozidla, přechází podvozek automaticky do normálního režimu. Tato změna nastavení výšky podvozku probíhá samovolně a není ovládána řidičem vozu. [9]

1.4.2.7.2 Ovládání systému řidičem

Nastavení podvozku vozidla Phaeton firmy Volkswagen je možné měnit na palubní desce. Systém se ovládá pomocí tlačítka nastavení tlumiče nebo pomocí tlačítka samonivelačního tlumení. Obě tato tlačítka jsou umístěna za řadicí pákou vozu. Volbou tlačítka samonivelačního tlumení si může řidič vybrat na displeji mezi normálním nastavením výšky podvozku nebo zvýšenou výškou podvozku. Nelze nastavit snížený režim výšky podvozku, tento režim automobil nastavuje automaticky sám. Při volbě tlačítka nastavení tlumiče má řidič na výběr režim komfort, základní režim a režimy sport 1 a sport 2. [9]

1.4.2.7.3 Řízení samonivelačního tlumení

Pozice karoserie vůči kolu měří čtyři senzory zaznamenávající výšku vozidla. Informace ze sensorů se přenášejí do řídicí jednotky, která je vyhodnocuje a porovnává se stávajícím nastavením výšky podvozku. V případě nesouladu vysílá řídicí jednotka signál, který upraví výšku podvozku. Požadovaný vzduch pro samonivelační tlumení je poskytován z kompresoru. Při rychlosti vyšší než 35 km/h je nastavení tlumení řízeno kompresorem. V případě, že je rychlost nižší než 35 km/h, je nastavení tlumení řízeno tlakovým zásobníkem. U vozidla Phaeton má tlakový zásobník objem 5 litrů. Při rozdílu tlaku plynu mezi pneumatickou pružinou a tlakovým zásobníkem, který odpovídá hodnotě 3 bary, dojde k vyrovnávání tlaku. Dojde-li ke změně výšky vozidla z důvodu zvýšení či snížení jeho hmotnosti, obnoví řídicí jednotka nastavení výšky podvozku na normální výšku. V případě zvýšení hmotnosti vozidla je vzduch odváděn přes elektromagnetický ventil do pneumatické pružiny. Sníží-li se hmotnost vozidla, vyfukuje se vzduch přes vypouštěcí ventil. [9]

Ve zvláštních případech, kterým může být například výměna kola, je nutné, aby samonivelační systém tlumení byl vypnut, a to především v momentě, kdy je automobil zvedán na heveru. V případě, že by nedošlo k vypnutí systému samonivelačního tlumení, došlo by k úniku vzduchu z pneumatické pružiny, protože senzory by zaznamenaly, že podvozek je ve zvýšeném stavu a tlumicí systém by se snažil výšku podvozku vyrovnat. Vypnutí systému řidič provede současným stlačením tlačítek pro nastavení tlumiče a samonivelační tlumení po dobu 5 sekund. Opětovné zapnutí systému se provádí stejně jako jeho vypnutí nebo se systém automaticky spustí sám v případě, že automobil svou rychlostí přesáhne 10 km/h. [9]

1.4.2.7.4 Řízení tlumiče vibrací

Systém řídicí tlumič zaznamenává stav vozovky a pohyby vozidla pomocí čtyř čidel zrychlení umístěných na kolech a tří čidel zrychlení umístěných na karoserii vozidla. Charakteristika každého tlumiče je upravena v závislosti na vypočteném tlumícím požadavku. V tomto případě během procesů nárazů a odrazů fungují tlumiče jako semiaktivní prvky. Nepřetržitě řízení tlumiče má základ v tlumičích vibrací, jejichž tlumicí charakteristika se dá elektricky měnit. Tlumicí síla se nastavuje v závislosti na charakteristice proporcionálního ventilu zabudovaného uvnitř tlumiče vibrací. Výsledná tlumicí síla je pak adekvátní jízdě situaci a stavu vozovky s reakční rychlostí menší než milisekundy. [9]

Řízení se snaží nastavit tlumicí sílu podle Shyhook řídicí strategie. Shyhook řízení tlumiče spočívá na principu imaginárního zavěšení karoserie vozu na oblohu. Karoserie se tak v ideálním případě vznáší nad vozovkou a není tak rušena žádnými dalšími pohyby, jakými jsou vertikální kmity kol a karoserie. Tímto stylem řízení tlumení je zajištěno maximální pohodlí cestujících. [9]

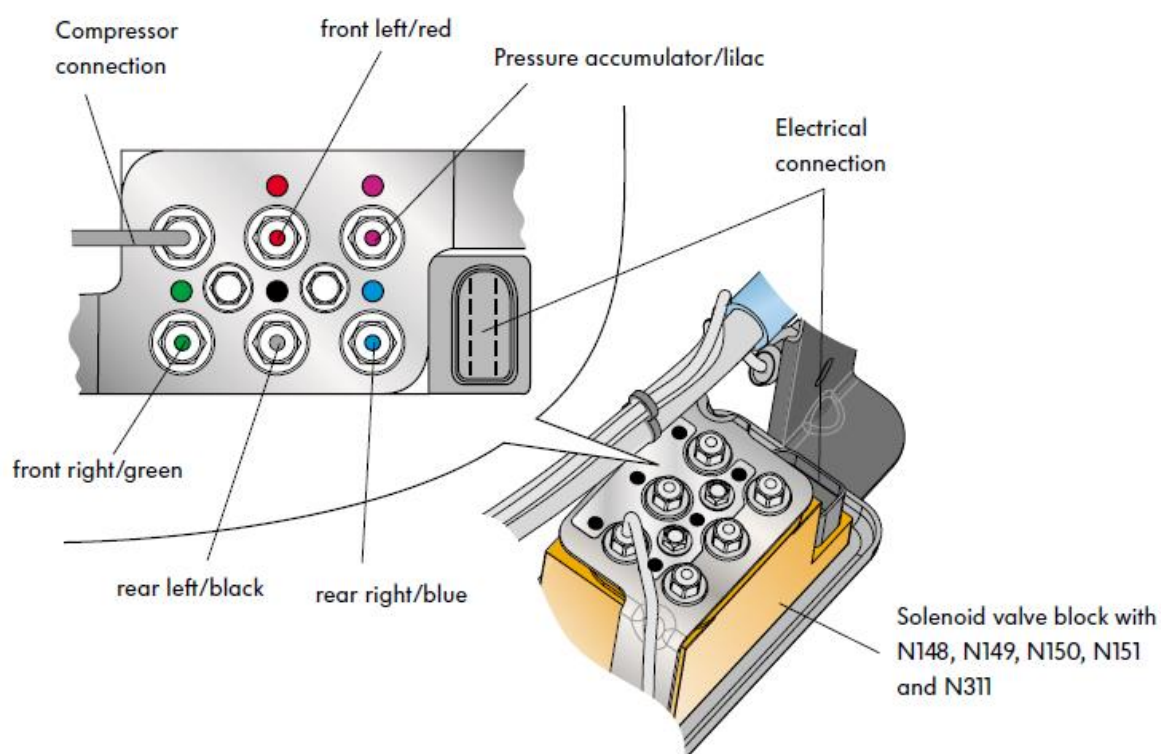
1.4.2.8 Řídicí jednotka

Samonivelační tlumení využívá řídicí jednotky J197. Umístění této jednotky je v zavazadlovém prostoru na levé straně za bočním obložením. Jakožto hlavní řídicí jednotka má za úkol řídit pneumatické tlumení a tlumiče vibrací, sledovat a diagnostikovat celý systém tlumení a komunikovat se sběrníci CAN. Vzhledem ke své důležitosti využívá řídicí jednotka redundantního procesoru. Na prvním procesoru běží přednostně algoritmus pro řízení pneumatických pružin. Na druhém procesoru běží přednostně algoritmus pro řízení tlumičů. Informace o stavu pneumatického tlumení a řízení tlumiče si vyměňují

řídící jednotka samonivelačního tlumení se síťovou řídící jednotkou prostřednictvím sběrnice CAN. [9]

1.4.2.9 Solenoidové ventily

Pneumatické tlumení obsahuje šest solenoidových ventilů. Výpustný vzduchový ventil má v systému pneumatického tlumení dvě základní funkce. Výpustný ventil omezuje tlak a obstarává udržení zbytkového tlaku v systému. Výpustný vzduchový ventil spolu s tlakovým zásobníkem pro samonivelační tlumení a vzduchovými pružinami tvoří jednotný blok. Ventily v tomto bloku jsou dvoucestné a dvoupolohové. Přerušením průchodu elektrického proudu cívkou se ventily uzavírají. Řídící jednotka tak svými signály ovlivňuje polohu ventilu, čímž je ovlivněno množství a tlak média v tlumícím systému. Tlak na straně pneumatické pružiny nebo na straně zásobníku působí v závěrném směru. Pro dobrou orientaci mezi jednotlivými tlakovými drahami jsou tyto dráhy barevně odlišeny. Barvy drah se shodují s barevným označením jednotlivých částí na celém bloku. [9]



Obr. 23 Blok solenoidových ventilů.
(převzato z [9])

1.4.2.10 Čidla pro systém aktivního pneumatického tlumení

Čidla pro snímání jednotlivých informací jsou nedílnou a nezbytnou součástí aktivního systému tlumení. Jednotlivá čidla zaznamenávají požadované informace, které jsou dále zpracovány v řídicí jednotce, která je vyhodnotí a zareaguje na ně. [9]

1.4.2.10.1 Čidlo teploty kompresoru

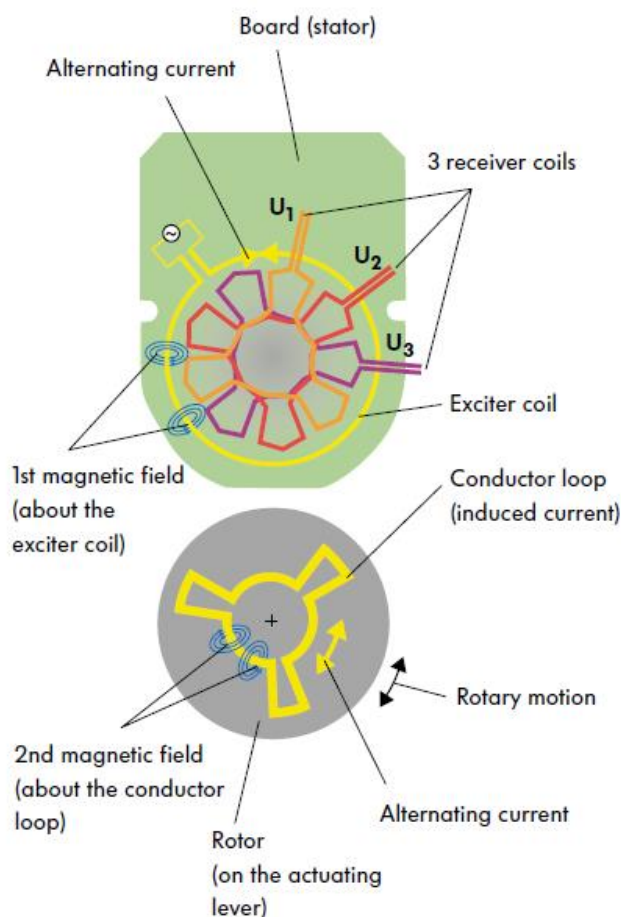
Čidlo teploty kompresoru má své umístění na povrchu hlavy válce kompresoru. Zaznamenává teplotu kompresoru. V případě překročení maximální dovolené teploty kompresoru řídicí jednotka kompresor vypne a po poklesu teploty do dovolených mezí kompresor opět zapne. [9]

1.4.2.10.2 Čidlo tlaku samonivelačního systému tlumení

Čidlo tlaku je umístěno v bloku, kde jsou umístěny solenoidové ventily. Zaznamenává tlak v tlakovém zásobníku a v pneumatických pružinách. Hodnoty tlaku v zásobníku jsou potřebné pro regulaci a provedení vlastní diagnostiky systému. Tlak v jednotlivých pneumatických pružinách a v tlakovém zásobníku se zjistí aktivováním solenoidových pístů a to tak, že se tlak měří při plnění nebo vypouštění média z pneumatických pružin nebo zásobníku tlaku. Takto zjištěná hladina tlaku se ukládá v řídicí jednotce a ta ji při každém měření aktualizuje. Při jízdě automobilu se měření tlaku v zásobníku provádí každých šest minut. [9]

1.4.2.10.3 Čidla výšky podvozku vozidla

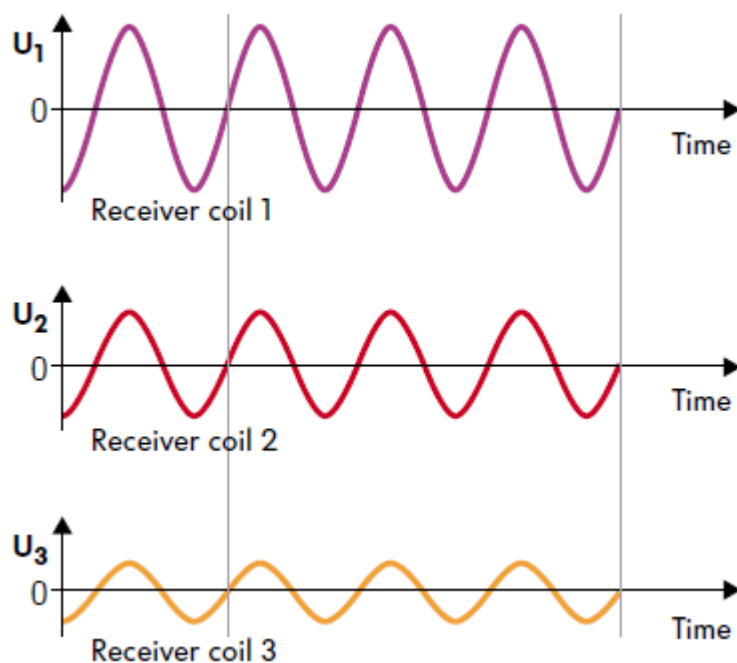
Změny výšky podvozku vozidla jsou zaznamenávány a převáděny na změny úhlu spojovací tyče. Čidlo úhlu náklonu kola pracuje na principu indukce. Výstupní signál poskytuje proporcionální úhel signálu pulzně-šířkové modulace pro samonivelační tlumení. Všechna čtyři čidla výšky podvozku jsou totožná. Liší se pouze ve způsobu montáže podle typu nápravy. [9]



Obr. 24 Vnitřní stavba čidla výšky podvozku.
(převzato z [9])

Základními stavebními jednotkami čidel výšky podvozku automobilu jsou stator a rotor. Stator je tvořen vícevrstvou deskou, na které je umístěna budicí cívka a další tři cívky. Dále se na statoru nachází řídicí a vyhodnocovací elektronická jednotka. Tři cívky na statoru jsou uspořádány do hvězdy. Budicí cívka je umístěna na zadní straně desky. Rotor je propojen s ovládací pákou a pohybuje s ní. V rotoru se nachází vodič uzavřený do smyčky, jehož tvar je totožný s uspořádáním cívek na statoru. Průchodem střídavého elektrického proudu budicí cívkou se kolem cívky vytvoří střídavé elektromagnetické pole. Elektromagnetické pole vytvořené budicí cívkou na statoru prochází vodičem v rotoru. Elektrický proud indukovaný ve vodiči v rotoru vytvoří kolem vodiče elektromagnetické pole. Střídavé elektromagnetické pole vytvořené vodičem rotoru a budicí cívkou na statoru vyvolají vznik střídavého indukovaného napětí ve zbylých třech cívkách na statoru. Napětí indukované v těchto cívkách závisí na vzdálenosti cívek od rotoru a také na relativním úhlu natočení rotoru vůči cívkám. Natočení rotoru vzhledem k poloze cívek má vliv na amplitudu indukovaného napětí v cívkách. Elektronická vyhodnocovací jednotka upraví a zesílí střídavé napětí indukované statorovými cívkami. Napětí se upraví pomocí poměrné

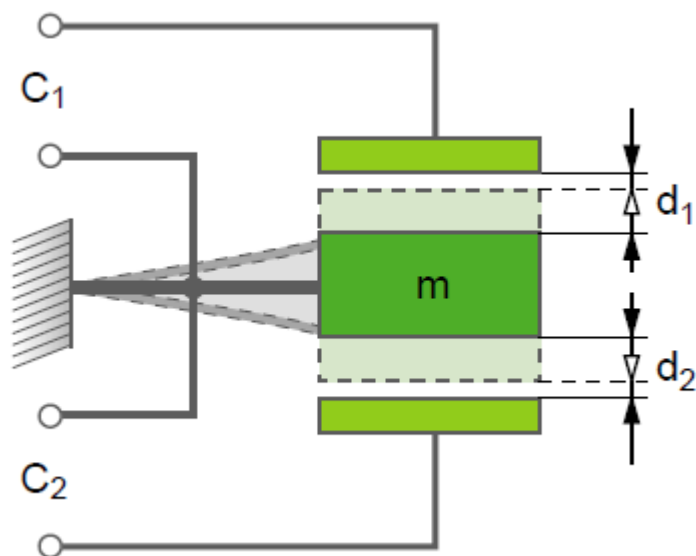
metody a výsledné, upravené napětí se vysílá jako výstupní signál z čidla výšky podvozku do řídicí jednotky, kde proběhne jeho zpracování a případná změna nastavení pneumatického tlumení. [9]



Obr. 25 Příklad odlišných amplitud indukovaného napětí na statorových cívkách. (převzato z [9])

1.4.2.10.4 Čidla zrychlení karoserie a čidla zrychlení kol

Čidla zrychlení karoserie i čidla zrychlení kol jsou identická. Tato čidla pracují na principu kapacitního měření. Namontovaná hmota m , která je pružná, se chová jako centrální elektroda kmitající mezi deskami kondenzátorů a svým pohybem mění kapacitu kondenzátorů C_1 a C_2 ve stejném poměru, ale v opačném směru než je její kmitání. Narůstá-li vzdálenost desky jednoho kondenzátoru od středové elektrody, musí se vzdálenost desky druhého kondenzátoru od středové desky o stejnou vzdálenost zmenšit. Výsledkem je změna kapacity jednotlivých kondenzátorů. Elektronická vyhodnocovací jednotka dodává řídicí jednotce samonivelačního tlumení analogový signál napětí. Čidla se liší mechanickým upevněním na vozidlo a svým měřicím rozsahem. [9]



Obr. 26 Měření zrychlení části vozidla kapacitním principem.
(převzato z [9])

Čidla zrychlení karoserie měří vertikální zrychlení karoserie automobilu. Dvě čidla jsou umístěna na předních kolech, na každém kole jedno, a to v místě ukotvení kola ke karoserii. Jedno čidlo je umístěno v pravé části zavazadlového prostoru. Měřicí rozsah čidla je $\pm 1,3$ g. [9]

Čidla zrychlení kol jsou instalována přímo na kostru pneumatikových pružin a to na jak na přední, tak na zadní nápravy. Měřicí rozsah čidla je ± 13 g. [9]

1.4.3 Hydraulické tlumení

Hydraulické tlumení obsahuje jako svoje pracovní médium kapalinu. Všechny varianty hydraulického tlumení obsahují zdroj kapaliny, která je stlačena. Tlak kapaliny řídí hydraulická pumpa, kterou doplňují zásobníky, do kterých kapalina proudí při potřebě snížení tlaku nebo naopak je ze zásobníků brána při nutnosti pokrytí špiček. Servoventil řídí průtok kapaliny do všech částí systému tlumení. Hydraulický píst umístěný uvnitř zavěšení přeměňuje hydraulický tlak na sílu mezi odpruženou a neodpruženou částí automobilu. Paralelně k zavěšení tlumení může být namontována pružina, která nese část váhy automobilu. Systém musí obsahovat olejový chladič, který reaguje na teplo vytvořené hydraulickou kapalinou a ochlazuje tak celý systém. Nepostradatelnou součástí systému jsou čidla snímající polohu a zrychlení kol, zrychlení karoserie a zatížení každé nápravy vozidla. Řídicí signály pro servoventil generuje řídicí jednotka na základě signálu, které přicházejí z čidel. [11]

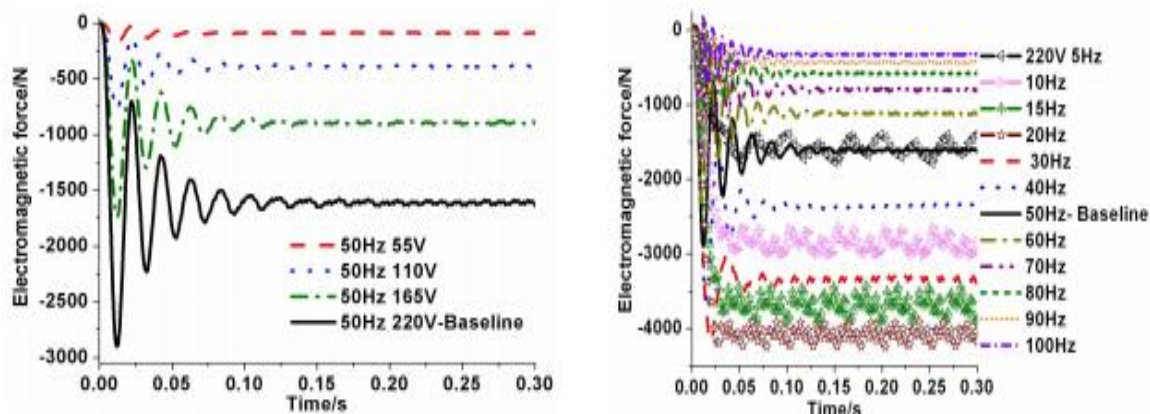
Ve své podstatě hydraulické aktivní tlumení pracuje na stejném principu jako pneumatické aktivní tlumení s to změnou, že pracovním médiem není vzduch, ale kapalina.

2 Lineární motor

Lineární motor je takový motor, který vykonává posuvný pohyb, čímž se liší od točivých motorů. Jedná se tedy o netočivý elektrický stroj. Liší se také svou stavbou, kdy rotor ani stator nemají kruhový tvar. Motor přeměňuje elektrickou energii na mechanickou práci a naopak. Pro svůj typ pohybu, kdy se nejedná o rotační, ale o posuvný pohyb, je vhodný pro využití v aktivním tlumení jako akční člen, tedy zdroj síly působící proti směru působení síly vlivem kmitání vozidla. Zásadní odlišností oproti točivým strojům je skutečnost, že při pohybu stroje se dostává některá jeho část mimo oblast magnetického pole.

2.1 Konstrukce

Vznik lineárního motoru se dá popsat jako rozstříhnutí a narovnání točivého stroje. Stator lineárního motoru se označuje jako primární díl, rotor se označuje jako díl sekundární. Primární díl se svou stavbou tolik neodlišuje od běžných točivých strojů, je tvořen feromagnetickým svazkem, který je vytvořen z elektrotechnických plechů. Další jeho část je trojfázové vinutí uložené v drážkách. Sekundární část lineárního motoru tvoří permanentní magnety nalepené na ocelové podložce a nachází se proti primárnímu dílu lineárního motoru. Obě části lineárního motoru od sebe odděluje vzduchová mezera, ve které přivedením řídicího proudu do primární části vznikne magnetické pole. Vznik magnetického pole způsobí pohyb sekundárního dílu. Regulace elektromagnetické síly generované motorem může probíhat dvěma způsoby. Jedna možnost je regulace při konstantním napájecím napětí změnou frekvence. Druhá možnost je regulace při konstantní frekvenci změnou napájecího napětí. [2] [3] [14]



Obr. 27 Vlevo vliv změny napětí na výslednou elektromagnetickou sílu při frekvenci 50 Hz. Vpravo vliv změny frekvence na výslednou elektromagnetickou sílu při napětí 220 V. (převzato z [14])

Vyrábějí se jak asynchronní, tak synchronní lineární motory. Stejnoseměrné lineární motory nenacházejí využití. Lineární motory se využívají tam, kde je potřeba zrychleného posuvného pohybu a přesnosti polohování. Výhodou posuvného pohybu lineárního motoru oproti pohybu točivého stroje je, že není potřeba převádět otáčivý pohyb na lineární. Dochází tak k vyvarování se použití mechanických převodů, což vede ke zvýšení spolehlivosti a životnosti systému. Nejčastěji se využívá synchronní třífázový lineární motor. Ten se realizuje ve dvou variantách. [3]

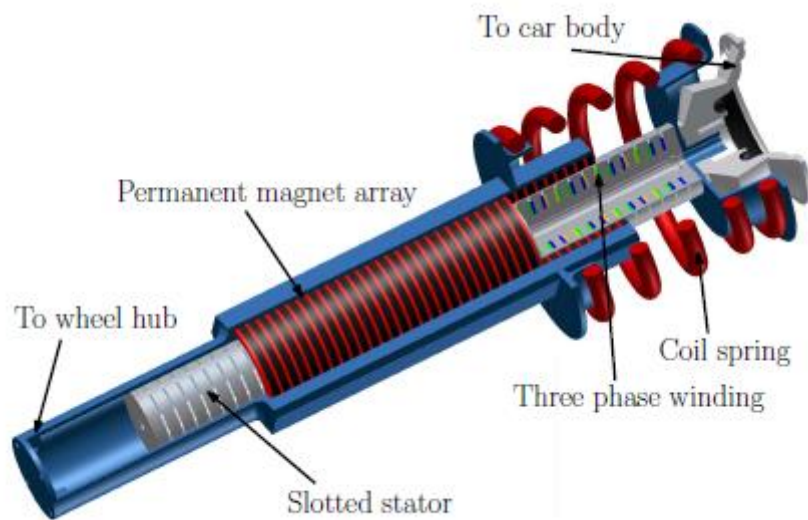
První možností je tvorba primárního dílu třífázovým vinutím a sekundárního dílu permanentními magnety. Přidáním dalších magnetů se tak může prodlužovat délka posuvu. Při tomto provedení je nutné použití pohyblivých přívodů elektrické energie speciálními kabely. I v tomto případě platí, tak jako obecně pro lineární motory, že nastává problém s efektivním chlazením cívek. Uspořádání motoru způsobuje neefektivní chlazení. Takovéto uspořádání takřka vylučuje použití vodního chlazení. Z tohoto důvodu nemůže dojít k maximální dosažitelné síle motoru. Reálně využitelná síla je tak o řád nižší. [3]

Druhou možností uspořádání je umístění třífázového vedení v pevné, nepohyblivé primární části. Permanentní magnety tvoří sekundární díl. Při tomto uspořádání lze použít účinné vodní chlazení, čímž se dosáhne po celou dobu provozu využití maximální síly motoru. Díky této variantě uspořádání není nutné řešit problematiku přívodu elektrické energie speciálními kabely. Pomocí valivého vedení, případně zdvojením motorů, které svou paralelní prací vyruší přitažlivé síly, se řeší problematika přitažlivých sil obou částí. Vzájemná přitažlivá síla působí směrem kolmo ke směru pohybu a je několikanásobně větší než síla posuvná. [3]

Jako ideální varianta uspořádání se jeví tzv. eletroválec, kdy se tvar primárního dílu shoduje s tvarem točivého stroje. Primární díl obsahuje žebrování pro zlepšení chlazení a T-drážky pro upínání. Magnety jsou umístěny v průvlekové pístnici, ta je obklíčena aktivním železem s vinutím. Díky konstrukčnímu uspořádání je motor dobře chráněn proti vnikajícím nečistotám. Hlavní výhodou elektroválce je kompenzace přitažlivých sil. Může být provedena i varianta s vinutím v sekundárním dílu. [3]

2.2 Lineární motor jako akční člen systému aktivního tlumení

Užití lineárního motoru jako akčního členu v systému aktivního tlumení automobilu se zdá jako nejvýhodnější varianta. V automobilovém průmyslu se uvažuje o využití střídavého lineárního motoru. Hlavní předností při výběru lineárního motoru jako pohonu se jeví jeho přímá přeměna elektrické energie na mechanickou a to v takovém směru a v takové síle, že je přímo použitelná. Jeho elektromagnetická síla se používá bez nutnosti užití převodovky na rozdíl od užití točivého stroje. To vede k vyšší pevnosti celého systému. Dalšími aspekty, které ukazují na lineární motor jako na ideální zdroj energie v systému tlumení automobilu, jsou jeho vysoká přesnost, která je způsobená nízkým třením, vysoké zrychlení a s tím související vysoká síla. Dalším bodem je vysoká spolehlivost lineárního motoru a jeho dlouhá životnost, zde hraje roli užití přímé síly motoru bez použití převodních systémů. Všechny tyto vlastnosti jsou důležité pro zajištění co nejlepší funkce aktivního tlumení. Rychlost lineárního motoru se může pohybovat až do 200 m/s, jeho zrychlení se pohybuje v několiknásobcích g a síla, kterou dokáže lineární motor vyprodukovat, se pohybuje v jednotkách kN. Střídavý lineární motor dokáže vyprodukovat potřebné síly mezi odpruženou a neodpruženou částí vozidla, čímž izoluje nárazy vyvolané nerovnostmi vozovky od odpružené části vozu. Lineární motor jako akční člen aktivního tlumení má další výhodu v tom, že se dá použít pro rekuperaci. Mohlo by tak dojít k převedení jeho mechanické energie na energii elektrickou, kterou by bylo možné uschovat a využít ve vhodném okamžiku. V momentu, kdy je generovaná síla ve stejném směru jako rychlost tlumení, je možné energii poskytnout do systému automobilu. Tímto způsobem by mohla být energie rekuperována a nashromážděna pro použití v budoucnu. Tento proces může být důležitý především pro využití u automobilu s hybridním pohonem nebo u elektromobilů. [3]



Obr. 28 Elektromagnetický pohon aktivního tlumení doplněný paralelně o pružinu.
(převzato z [5])

Závěr

V první kapitole bylo pomocí čtvrtinového modelu a simulačního programu zjištěno, že tlumicí systém využívající akční člen, dokáže při nájezdu na nerovnost rychleji vyrovnat změny působící na odpruženou část automobilu. Pohodlí cestujících je tak značně vylepšeno a nedochází k jeho vylepšení na úkor bezpečnosti. Z tohoto faktu vyplývá, že pro využití u osobních automobilů je v současné době aktivní systém tlumení využíván v sériové výrobě.

Porovnáním stavby jednotlivých typů tlumicích systémů dojdeme k závěru, že nejjednodušším systémem je pasivní typ tlumení. Jeho stavba není složitá, systém je energeticky nezávislý a vysoce spolehlivý. Se složitostí stavby souvisí i cena, kdy aktivní tlumení je vzhledem ke své složitosti a nutnosti dodávky elektrické energie a propojení s řídicí jednotkou dražší. Cena byla aspektem, který dlouhodobě bránil firmě Bose s uvedením jejich tlumicího systému na trh. Další nevýhodou systému Bose oproti konvenčnímu typu tlumení je jeho hmotnost. Automobil s tímto typem tlumení váží řádově o 100 kg více, nežli stejné vozidlo využívající konvenční tlumení. Všechny zde zmíněné typy aktivního tlumení jsou řízeny elektrickou energií. Systémy zahrnují množství senzorů, které zaznamenávají změny způsobené jízdou. Nutností je řídicí jednotka, která všechny signály zpracovává a zajišťuje adekvátní odpověď v podobě řídicího signálu, kterým reguluje nastavení tlumicího systému. Systém tlumení využívající jako akční člen lineární elektromagnetický motor reaguje na změny vozovky rychle a přesně. Pneumatické a hydraulické typy tlumení pracují na stejném principu, kdy pracovní médium prochází tlumičem a množství média regulují elektrické signály, které uzavírají nebo otevírají ventily pro průchod média. I pro tyto systémy je nutné využití výpočetní techniky a čidel. Speciálním typem hydraulického tlumení je tlumení využívající magnetoreologické kapaliny. Tento typ pracuje na principu změny viskozity kapaliny a tím i na změně tlumicí charakteristiky vlivem průchodu kapaliny magnetickým polem.

Poslední kapitolu této práce věnují lineárnímu motoru, který se jeví jako vhodný akční člen pro aktivní tlumení. Jeho reakční rychlost je vysoká a energie, kterou dokáže vyvinout, je dostatečná, aby dokázal zajistit bezpečnou a zároveň pohodlnou jízdu. Pro využití v aktivním tlumení se zdá být nejlepší elektroválec v kombinaci s pružinou.

Využití aktivního tlumení nachází v současné době stále větší uplatnění a dá se očekávat, že jeho význam v automobilovém průmyslu bude dále narůstat. Tento fakt souvisí s možností využitelnosti přeměny mechanické energie tlumicího systému na elektrickou energii, což s narůstajícími tendencemi výroby automobilů s elektrickým pohonem nese značné výhody.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] HASSAN, Samy Aly. *Fundamental studies of passive, active and semi-active automotive suspension systems* [online]. Dostupné z: http://etheses.whiterose.ac.uk/2691/1/Hassan_SA_MechanicalEngineering_PhD_1986.pdf
- [2] BARTOŠ, Václav, ČERVENÝ, Josef, HRUŠKA, Josef, KOTLANOVÁ, Anna, SKALA, Bohumil. *Elektrické stroje*. ZČU. Plzeň 2011
- [3] ZNAMENÁČEK, Karel. *Lineární motor jako akční člen aktivního tlumiče* [online]. Dostupné z: https://support.dce.felk.cvut.cz/mediawiki/images/3/3e/Dp_2004_znamenacek_karel.pdf
- [4] AGHARKAKLI, Abdovlahab, SABET, Ghobad Shafiei, BAROUZ, Armin. *Simulation and Analysis of Passive and Active Suspension System Using Quarter Car Model for Different Road Profile* [online]. Dostupné z: <http://ijettjournal.org/volume-3/issue-5/IJETT-V3I5P215.pdf>
- [5] VAN DER SANDE, T.P.J. *Control of an automotive electromagnetic suspension system* [online]. Dostupné z: <http://mate.tue.nl/mate/pdfs/12819.pdf>
- [6] The Bose® Suspension System [online]. Dostupné z: <https://www.bose.co.uk/GB/en/automotive/innovations/suspension-system/the-system/>
- [7] HOWARD, Bill. *Bose's amazing active suspension uses speaker technology* [online]. Dostupné z: <http://www.extremetech.com/extreme/97177-bose-active-suspension-moves-toward-market>
- [8] HARRIS, William. *How Car Suspensions Work* [online]. Dostupné z: <http://auto.howstuffworks.com/car-suspension.htm>
- [9] Self-Study Programme 275. *The Phaeton Air Suspension with Controlled Damping*. [online]. Dostupné z: http://www.volkspage.net/technik/ssp/ssp/SSP_275_d1.pdf
- [10] FISCHER, Daniel, ISERMANN, Rolf. *Mechatronic semi-active and active vehicle suspension* [online]. Dostupné z: <http://www.ingenieria.unam.mx/posgmecanica/wp-content/uploads/2016/04/Mechatronic-vehicle-suspension.pdf>

- [11] BRADSHAW, Thomas, TAN, Han-Shue. *Model identification an automotive hydraulic active suspension systém* [online]. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=611992>
- [12] THE SUSPENSION BIBLE [online]. Dostupné z: http://www.carbibles.com/suspension_bible_pg3.html
- [13] POYNOR, James. *Innovative Designs for Magneto-Rheological Dampers* [online]. Dostupné z: <http://writing.engr.psu.edu/me5984/poynor.pdf>
- [14] DENG, Zhaoxiang, LAI, Fei. *Elctromagnetic Active Vehicle Suspension System* [online]. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5721005>
- [15] JAYNES, Nick. *Potholes full of free? ZF introduces GenShock suspension tech that puts out electrical power* [online]. Dostupné z: <http://www.digitaltrends.com/cars/potholes-full-of-free-juice-zf-introduces-genshock-suspension-tech-that-puts-out-power/>