



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

VYUŽITÍ „TORQUE VECTORING“ DIFERENCIÁLU U SOUČASNÝCH AUTOMOBILŮ

TORQUE VECTORING DIFFERENTIAL UTILIZATION IN THE DESIGN OF THE CURRENT
AUTOMOBILES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN MAREK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR PORTEŠ, Dr.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Marek

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

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

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

Využití "Torque Vectoring" diferenciálu u současných automobilů

v anglickém jazyce:

Torque vectoring differential utilization in the design of the current automobiles

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rešerše konstrukčního řešení a uspořádání pohonu vozidel využívajících "Torque Vectoring" diferenciál.

Cíle bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce je analýza konstrukčních řešení "Torque Vectoring" diferenciálů a pohonu vozidel využívajících tento typ diferenciálu. Do rešerše zahrňte i vývojové studie vozidel.

Seznam odborné literatury:

ACHTENOVÁ, Gabriela a TŮMA, Vlastislav. Vozidla s pohonem všech kol. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2009, 380 s. ISBN 978-80-7300-236-7.

REIMPELL, J., STOLL, H., BETZLER, J. W. The Automotive Chassiss. 2nd edition. Oxford: Butterworth - Heinemann, 2001. 444 s. ISBN 0-7506-5054-0.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Porteš, Dr.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 19.11.2013



prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

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



ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je vytvoření analýzy konstrukčního řešení „Torque Vectoring“ diferenciálů a hnacího ústrojí vozidel, které využívají tento typ diferenciálu. Začátek práce je věnován vysvětlení, co to je diferenciál a jak funguje a dále pak rozdělení diferenciálů. Další část se zabývá aktivními diferenciály, jejich principem funkce a konstrukčním řešením. Konec práce obsahuje konstrukční řešení hnacího ústrojí některých modelů vozidel využívajících aktivní diferenciály. Práce má charakter rešerše a neobsahuje žádné výpočty ani vlastní konstrukční návrhy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Aktivní diferenciál, hnací ústrojí

ABSTRACT

The object of this bachelor thesis is to create analysis of the structural design "Torque Vectoring" differentials and powertrain vehicles which use this type of differential. The project outset is devoted to an explanation of what the differential is and how it works, and then the distribution of differentials. The next section deals with active differentials, their principle function and design solutions. The end of thesis includes design solutions powertrain some models of vehicles using active differentials. The thesis has the character of search and contains no calculations or custom designs.

KEYWORDS

Active differential, powertrain



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MAREK, M. *Využití "Torque Vectoring" diferenciálu u současných automobilů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 38 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Porteš, Dr..



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 30. května 2014

.....

Martin Marek



PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Petru Portešovi, Dr. za připomínky a rady při tvorbě této práce. Dále pak mé rodině za toleranci a podporu během studia.



OBSAH

Úvod	10
1 Diferenciál	11
1.1 Účel a princip činnosti diferenciálu	11
1.1.1 Přímá jízda	12
1.1.2 Jízda v zatáčce	12
2 Rozdělení diferenciálů	13
2.1 Otevřené diferenciály	13
2.1.1 Kuželový diferenciál	13
2.1.2 Čelní diferenciál	13
2.2 Diferenciály s uzávěrkou	14
2.2.1 Závěr diferenciálu aktivovaný řidičem	14
2.2.2 Samočinně ovládaný závěr diferenciálu	15
2.3 Svorné diferenciály	15
2.3.1 Kuželový diferenciál s přídavnými třecími členy	15
2.3.2 Šnekový diferenciál	16
2.3.3 Diferenciály Torsen (Torque Sensing)	16
2.3.4 Čelní svorné diferenciály	18
2.3.5 Diferenciály s kapalinovým ovládním svornosti	19
2.3.6 Diferenciály s vnějším ovládním svornosti	19
3 Aktivní diferenciály	20
3.1 Části aktivního diferenciálu	20
3.2 Funkce aktivního diferenciálu	20
3.2.1 Přímá jízda	20
3.2.2 Jízda v zatáčce	20
4 Konstrukční řešení aktivních diferenciálů jednotlivých výrobců a jejich princip činnosti	21
4.1 Honda	21
4.1.1 Konstrukce systémů ATTS a SH-AWD	21
4.1.2 Princip činnosti při přímé jízdě	22
4.1.3 Princip činnosti v zatáčce	22
4.2 Mitsubishi	23
4.2.1 Konstrukce systému AYC, S-AYC a ACD	23
4.2.2 Princip činnosti při přímé jízdě	25
4.2.3 Princip činnosti při jízdě v zatáčce	25
4.3 Audi	26



4.3.1	Konstrukce sportovního diferenciálu	26
4.3.2	Princip činnosti při přímé jízdě	26
4.3.3	Princip činnosti při jízdě v zatáčce	26
4.4	ZF Friedrichshafen.....	27
4.4.1	Konstrukce systému Torque Vectoring	27
4.4.2	Princip činnosti při přímé jízdě	27
4.4.3	Princip činnosti při jízdě v zatáčce	27
4.5	Ricardo.....	28
4.5.1	Konstrukce Torque Vectoring diferenciálu	28
4.5.2	Princip činnosti Torque Vectoring diferenciálu	28
4.6	Subaru	29
4.6.1	Konstrukce systému DCCD	29
4.6.2	Princip činnosti systému DCCD.....	29
4.7	Další aktivní diferenciály	31
4.7.1	BMW	31
4.7.2	Mercedes.....	32
4.7.3	Nissan	32
4.7.4	Volkswagen	32
5	Konstrukční uspořádání hnacího ústrojí vozidel využívajících aktivní diferenciál	33
5.1	Vozidla s pohonem dvou kol	33
5.1.1	Vozidla s pohonem přední nápravy	33
5.2	Vozidla s pohonem všech kol	33
5.2.1	Vozidla se stálým pohonem všech kol	33
5.2.2	Vozidla se stálým pohonem předních kol a připojitelným pohonem zadních kol	34
5.2.3	Vozidla se stálým pohonem zadních kol a připojitelným pohonem předních kol	34
5.3	Shrnutí.....	34
	Závěr.....	35
	Použité informační zdroje.....	36
	Seznam použitých zkratk a symbolů	38



ÚVOD

Diferenciály jsou už dlouhou dobu nedílnou součástí hnacího ústrojí vozidel, kde rozdělují točivý moment z jednoho vstupního hřídele na dva výstupní hřídele. A to podle funkce buď mezi kola na jedné nápravě, nebo mezi nápravami. Dále umožňují rozdíl otáček jednotlivých kol na nápravě nebo mezi nápravami při průjezdu vozidla zatáčkou či přejezdu nerovnosti. Nejjednodušší diferenciály ovšem nedokázali při prokluzu jednoho z kol přenést na druhé kolo dostatečně velký moment pro pohyb vozidla a to se tedy nemohlo hýbat. Proto byly diferenciály dále vyvíjeny a tento problém byl vyřešen pomocí uzávěrky nebo pomocí snížení vlastní účinnosti diferenciálu. V případě potřeby se u diferenciálů se sníženou účinností může diferenciál částečně nebo úplně vyřadit z činnosti, kdy spojí oba výstupy dohromady. U diferenciálů s uzávěrkou se v případě potřeby vyřadí diferenciál úplně z činnosti. S rozvojem elektrotechniky bylo možné do diferenciálů přidat různé elektronické součástky a pomocí řídicí jednotky ovládat takto upravené diferenciály podle potřeby za daných situací. Tím se z těchto diferenciálů staly aktivní diferenciály. Aktivní diferenciály tedy aktivně pomáhají řidiči při řešení různých situací. Tato bakalářská práce se zabývá právě těmito aktivními diferenciály. Dále pak popsáním konstrukčních řešení aktivních diferenciálů a také popsáním konstrukčního řešení hnacího ústrojí vozidel využívajících aktivní diferenciály.



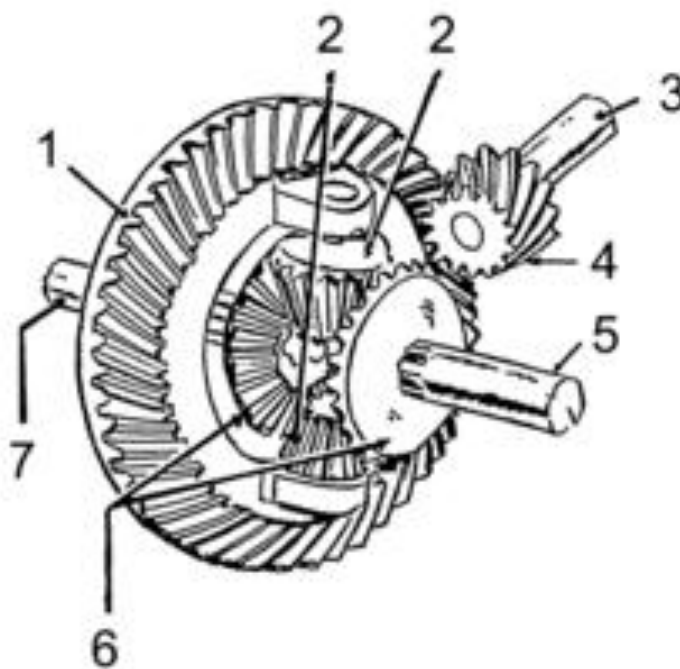
1 DIFERENCIÁL

Diferenciál je mechanismus, který nám dovoluje rozdílné úhlové rychlosti hnacích kol a zároveň rozděluje rovnoměrně přiváděný kroutící moment u nápravového použití nebo v určitém poměru u mezinápravového použití. Musí mít alespoň 2° volnosti proto, aby umožnil rozdílné otáčky nebo i rozdílnou velikost momentů na výstupech. Navíc v diferenciálu dochází k dělení výkonu mezi hnací kola. Kinematickou vazbou mezi těmito výstupy je vozovka, viz [1].

1.1 ÚČEL A PRINCIP ČINNOSTI DIFERENCIÁLU

Pokud by u hnací nápravy byla obě kola pevně spojena, docházelo by při průjezdu zatáčkou, kdy se kola musí pohybovat různou rychlostí, k jejich smýkání a k obvodovým deformacím pneumatik. Tím se zvyšuje jejich namáhání, snižuje jejich životnost a zároveň se zhoršuje ovládání vozidla, viz [2]. Účelem diferenciálů je díky své konstrukci dovolit různou rychlost otáčení kol a tím i zabránění jejich smýkání.

Princip činnosti diferenciálu bude vysvětlen na kuželovém diferenciálu, viz obr. 1.1. Kuželový diferenciál se skládá z planetových kol (6), které jsou spojeny s hnacími hřídeli kol (5) a (7). A dále pak ze satelitů (2), které jsou upevněné v kleci diferenciálu pomocí volně otočných čepů.



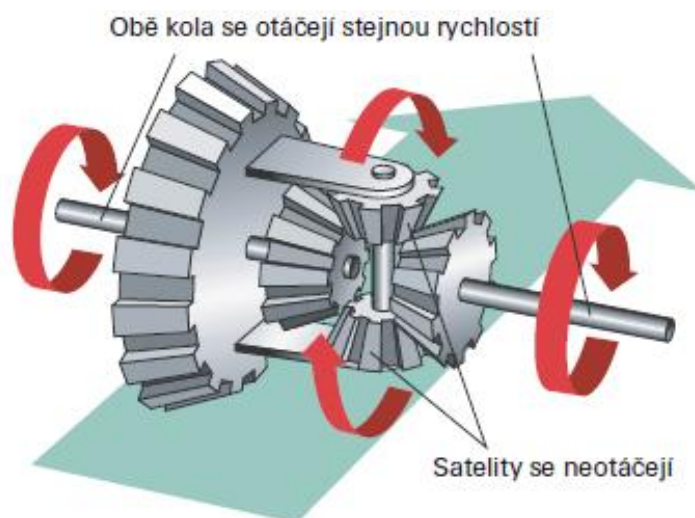
Obr. 1.1 Kuželový diferenciál [3]

1-Talířové kolo; 2-Satelit; 3-Vstupní hřídel; 4-Kuželové kolo; 5-Pravý výstupní hřídel;
6-Planetová kola; 7-Levý výstupní hřídel



1.1.1 PŘÍMÁ JÍZDA

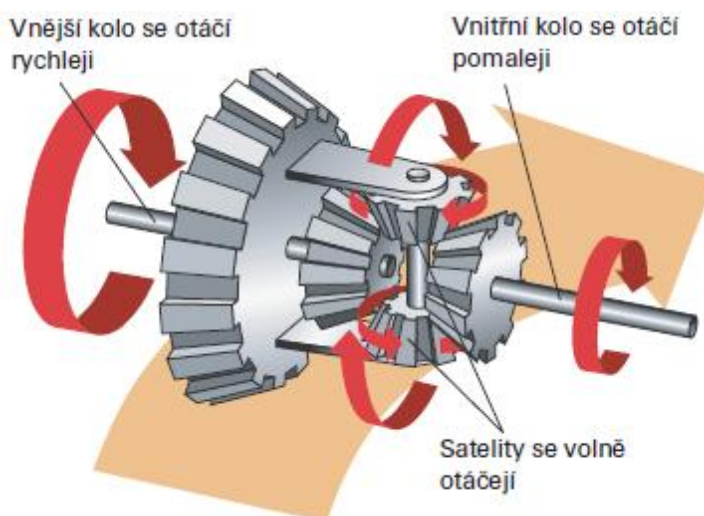
Při přímé jízdě jedou obě kola po stejné dráze a všechny členy diferenciálu se otáčejí jako jeden celek, takže obě kola mají stejné otáčky jako talířové kolo stálého převodu.



Obr. 1.2 Princip činnosti kuželového diferenciálu při přímé jízdě [4]

1.1.2 JÍZDA V ZATÁČCE

Při jízdě automobilu zatáčkou jedou kola po různých drahách, kdy vnější kolo musí urazit větší vzdálenost, a tedy se musí otáčet rychleji než kolo vnitřní. Díky tomu, že jsou planetová kola navzájem spojena pomocí satelitů, dochází k tomu, že pokud je jedno kolo zrychlováno, je druhé kolo o toto zrychlení zpomalováno. K rozdílu drah kol může také dojít při přejíždění nerovnosti nebo vlivem nestejných poloměrů kol, které závisí na opotřebením, huštění, výrobní toleranci a zatížení kola, viz [1].



Obr. 1.3 Princip činnosti kuželového diferenciálu při jízdě v zatáčce [4]



2 ROZDĚLENÍ DIFERENCIÁLŮ

Diferenciály se rozdělují podle funkce nebo podle konstrukce.

Podle funkce se diferenciály rozdělují na nápravové a mezinápravové diferenciály.

Nápravové diferenciály rozdělují točivý moment mezi hnací kola nápravy, kdy tento moment dělí symetricky mezi obě kola. Tudíž na obě kola připadá moment o stejné velikosti.

Mezinápravové diferenciály rozdělují točivý moment mezi hnací nápravy díky své konstrukci většinou nesymetricky, tedy na každou nápravu připadá moment o různé velikosti. Ovšem některé mezinápravové diferenciály mohou rozdělovat točivý moment i symetricky.

Podle konstrukce se diferenciály dělí na otevřené diferenciály, diferenciály s uzávěrkou a na svorné diferenciály.

2.1 OTEVŘENÉ DIFERENCIÁLY

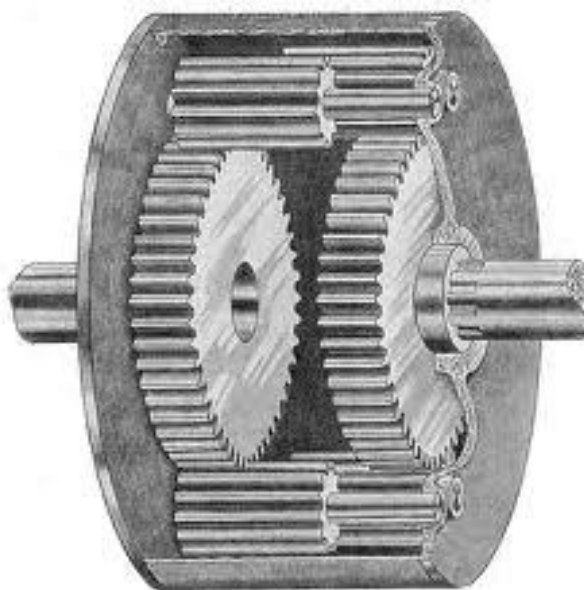
Jsou to diferenciály, které mají velmi dobrou vlastní účinnost, pomocí které mají tyto diferenciály malé ztráty. Ale bohužel díky této vlastnosti dokážou přenést hnací kola na vozovku pouze takovou hnací sílu, jakou dokáže přenést nejméně zatížené kolo. To znamená, že pokud klesne hnací síla na jednom kole nápravy, tak na druhém kole nápravy tato síla klesne o stejnou velikost. Například když stojí jedno kolo na asfaltu a druhé kolo na ledu, tak se kolo na ledu protáčí a kolo na asfaltu stojí, přičemž bude kolo na asfaltu poháněno tak velkou silou, jakou prokluzující kolo dokáže přenést na vozovku, viz [1].

2.1.1 KUŽELOVÝ DIFERENCIÁL

Je to nejvíce používaný diferenciál u motorových vozidel. Tento diferenciál se původně používal u parních žacích strojů, viz [1]. Funkce a jeho konstrukce byla popsána v předchozí kapitole.

2.1.2 ČELNÍ DIFERENCIÁL

Čelní diferenciál má všechna kola s čelním ozubením, viz obr. 2.1. Vstupním členem je zde stejně jako u kuželového diferenciálu klec diferenciálu, ta slouží jako unašeč satelitů, které jsou spojené s planetovým kolem. Ale na rozdíl od kuželového diferenciálu zabírá jeden satelit pouze s jedním planetovým kolem. Proto, aby se mohli snižovat otáčky jednoho planetového kola a zároveň se stejně zvyšovat otáčky druhého planetového kola, jsou tato dvě planetová kola spojena pomocí satelitů, které jsou vzájemně spojeny. Čelní diferenciály mívají dva páry satelitů, které jsou vzájemně posunuty o 180° . Tyto diferenciály se používají například u vozů Tatra, viz [1].



Obr. 2.1 Čelní diferenciál [5]

2.2 DIFERENCIÁLY S UZÁVĚRKOU

Tyto diferenciály řeší nevýhodu otevřených diferenciálů. U nichž při jízdě na vozovce s nízkou adhezí, dokážou hnací kola přenést na vozovku pouze takovou hnací sílu jako nejméně zatížené kolo tím, že ho vyřadí z činnosti. Jsou to prakticky otevřené diferenciály, které jsou vybavené mechanismem, jež umožní toto vyřazení diferenciál z činnosti. Závěr diferenciálu je nejčastěji zubová spojka, která ve většině případů spojuje výstupní hřídel z diferenciálu s klecí diferenciálu.

2.2.1 ZÁVĚR DIFERENCIÁLU AKTIVOVANÝ ŘIDIČEM

Prakticky nejčastěji jsou závěry diferenciálu aktivované samotným řidičem, kdy sám řidič rozhodne o vyřazení diferenciálu z činnosti. Tento způsob aktivace závěru má však nevýhodu v tom, že když řidič zapomene po vyproštění vozidla závěr vypnout, může dojít k poškození nápravy, díky parazitním momentům, které vznikají při jízdě na povrchu s dobrou adhezí. U většiny takto aktivovaných závěru musí při aktivaci automobil stát, viz [1].

Mechanické řazení diferenciálu

V tomto případě nejenom, že řidič volí okamžik, kdy aktivuje závěr diferenciálu, ale také pomocí páky musí samotné řazení provést, viz [1].

Elektromechanické ovládání řazení závěru

Zde řidič volí, kdy aktivuje závěr diferenciálu zmáčknutím tlačítka a tím vyšle povel elektromotoru, který posune řadící vidličku závěru diferenciálu a dojde k aktivaci závěru. O aktivaci závěru řidiče informuje kontrolka na palubní desce, viz [1].



Elektropneumatické ovládání závěru

I zde řidič volí, kdy aktivuje závěr tím, že zmáčkne tlačítko, a poté co řídicí jednotka potvrdí správnost jeho rozhodnutí, vyšle signál k elektromagnetickým ventilům. Ty přepouští podtlak k pneumatickému ovladači závěru, který závěr aktivuje. O aktivaci závěru opět řidiče informuje kontrolka na palubní desce, viz [1].

2.2.2 SAMOČINNĚ OVLÁDANÝ ZÁVĚR DIFERENCIÁLU

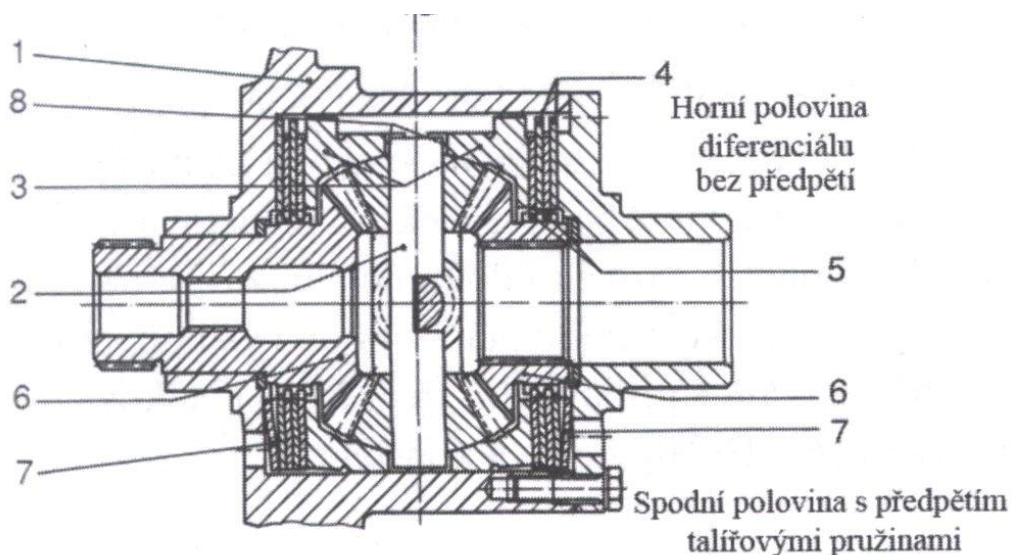
Samočinně ovládané závěry diferenciálů jsou méně používané než závěry aktivované řidičem. Závěr se aktivuje samočinně, jakmile začne jedno z kol prokluzovat. A poté, co vozidlo vyjede z kluzkého podloží, se sám deaktivuje, viz [1].

2.3 SVORNÉ DIFERENCIÁLY

Svorné diferenciály stejně jako diferenciály s uzávěrkou řeší problém otevřených diferenciálů. Ale oproti diferenciálům s uzávěrkou mají složitější konstrukci a oproti otevřeným diferenciálům sníženou vlastní účinnost. Naopak tím, že se snížila jejich vlastní účinnost, se zlepšila jejich trakční schopnost. Tyto diferenciály se samočinně aktivují buď při rozdílných točivých momentech či úhlových rychlostech na výstupech, nebo o jejich aktivaci rozhodne řídicí jednotka.

2.3.1 KUŽELOVÝ DIFERENCIÁL S PŘIDAVNÝMI TŘECÍMI ČLENY

Pro zvýšení svornosti tohoto typu diferenciálu se používají různé druhy třecích elementů. Ty jsou umístěny mezi klecí diferenciálu a obě hnací hřídele kol, nebo mezi klecí diferenciálu a jednu hnací hřídel. Popřípadě mohou být tyto diferenciály vybaveny lamelovými spojkami. Přítlačná síla může být na třecí elementy či lamely vyvolána pomocí pružiny a je tedy konstantní, anebo pomocí axiálních sil vzniklých při záběru kuželových kol, kdy tato síla závisí na přenášeném momentu. Popřípadě kombinací obou těchto způsobů, viz [1].



Obr. 2.4 Kuželový diferenciál s lamelovými spojkami [1]

1-Klec; 2-Čep satelitů; 3-Přítlačné kroužky; 4-Vnější lamely; 5-Vnitřní lamely;
6-Planetová kola; 7-Talířová pružina; 8-Klínová drážka



2.3.2 ŠNEKOVÝ DIFERENCIÁL

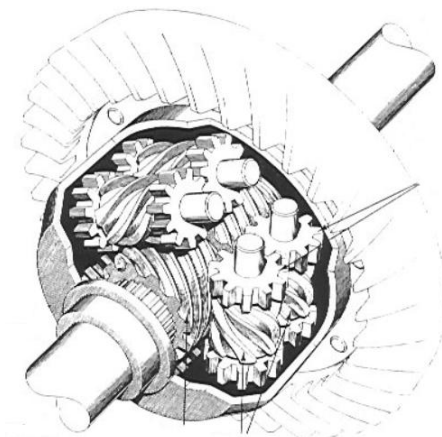
U šnekového diferenciálu se nízké vlastní účinnosti dosahuje pomocí nízké účinnosti záběru šnekového soukolí, kdy je účinnost soukolí závislá na počtu zubů šneku. Když nám klesá počet zubů, klesá i účinnost soukolí. U těchto diferenciálů se využívá globoidního soukolí (globoidní šnek i šnekové kolo), to má oproti soukolím válcových a smíšených s válcovým šnekem 2-krát až 3-krát větší únosnost. Jeho ztráty se, při použití vícechodého šneku, pohybují okolo 10 %. Tento diferenciál opět využívá jako vstupní člen klec diferenciálu, která unáší 12 šnekových satelitů. Ty se skládají ze čtyř šnekových kol, které jsou rozmístěny po obvodu po 90° a na každé straně zabírají se čtyřmi globoidními šneky pohánějícími šneková planetová kola. Třecí moment šnekového diferenciálu nezávisí na rozdílu otáček výstupu, ale na přenášeném točivém momentu, a jeho celková svornost zůstává konstantní, viz [1].

2.3.3 DIFERENCIÁLY TORSEN (TORQUE SENSING)

Tento diferenciál se dělí na tři typy a jeho velikost třecího momentu závisí na velikosti vstupního momentu do diferenciálu, viz [1].

Torsen typ A

Diferenciál Torsen typ A vychází ze šnekového diferenciálu. Vstupním členem je opět klec diferenciálu, která pohání tři páry šnekových kol, které jsou v kleci ukotveny pomocí čepů. Jedno šnekové kolo zabírá s jedním šnekem a druhé s druhým šnekem. Pro zachování funkce diferenciálu, jsou šneková kola navzájem spojena pomocí ozubených kol s čelním ozubením, která jsou připevněna k čelům šnekových kol. Tyto páry šnekových kol jsou navzájem posunuty o 120°. Každý šnek je pomocí drážkování spojen s výstupní hřídelí. Svornost tohoto diferenciálu se pohybuje podle tvaru ozubení od 20 % do 60 % a jeho nastavená svornost se během používání nemění, viz [1].



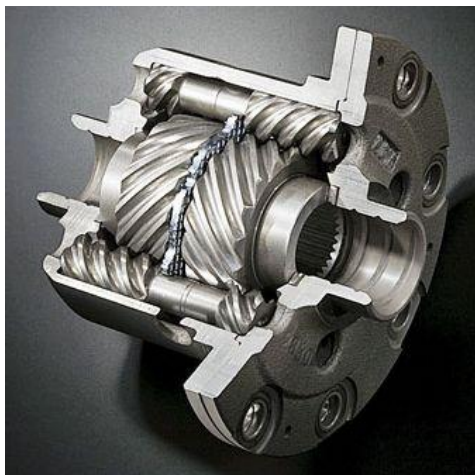
Obr. 2.5 Diferenciál Torsen typ A [6]

Torsen typ B

Torsen typu B prakticky vypadá jako typ A, ovšem jeho šneková kola a šneky jsou nahrazeny čelními koly s patentovaným šikmým ozubením Equex. Vstupním členem je opět klec diferenciálu, ovšem satelity zde nejsou uloženy na čepch, ale pouze leží ve výřezích klece. Satelity jsou po párech rovnoměrně rozmístěny po obvodu klece. Pro zachování funkce



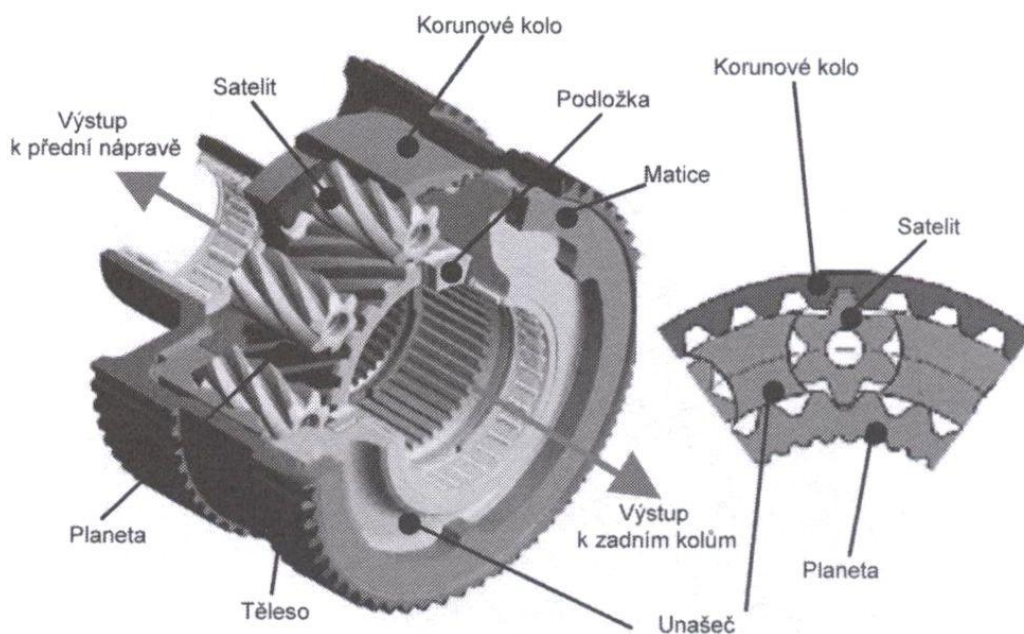
diferenciálu, zabírají dva satelity spolu a zároveň každý z nich zabírá s jedním planetovým kolem, jež je spojeno s výstupním hřídelem. Pro zvýšení svornosti jsou mezi obě planety a každou planetu a klec diferenciálu vloženy třecí kroužky, na které jsou, díky axiálním silám vznikajících při záběru plovoucích satelitů a planetových kol, tyto kola přitlačovány. Jeho svornost se pohybuje od 16 % do 50 % a během používání se opět nemění. Dá se použít jako nápravový nebo mezinápravový diferenciál, viz [1].



Obr. 2.6. Diferenciál Torsen typ B [7]

Torsen typ C

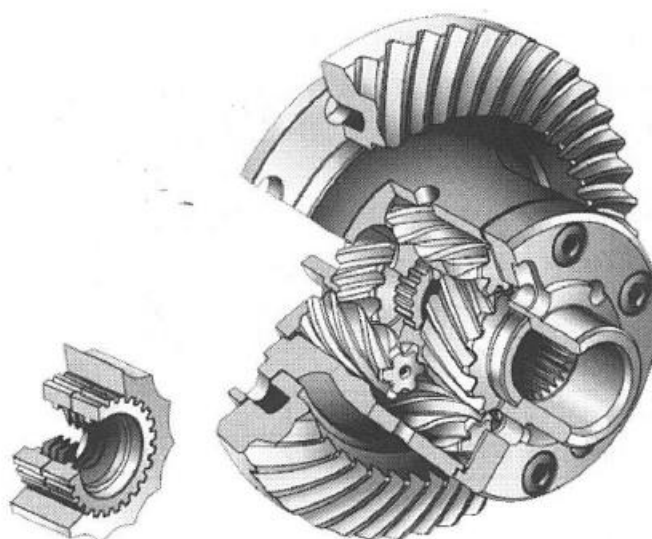
Torsen typu C je planetový mezinápravový diferenciál, který se skládá z planetového kola, satelitů, korunového kola a unašeče, přičemž všechna kola mají šikmé ozubení, viz obr. 2.7. Vstupním členem je zde korunové kolo, které zabírá se satelity a ty s planetovým kolem, které pohání jednu nápravu. Satelity oproti klasickým planetovým soukolím nejsou uloženy na čepech unašeče, ale pouze leží ve výřezech v rameni unašeče, čímž dochází k hlavnímu zvýšení svornosti diferenciálu. Unašeč zároveň pohání druhou nápravu. Pro další zvýšení svornosti je mezi planetové a korunové kolo vložena třecí kroužek, na který je díky axiálním silám vznikajících při záběru soukolí přitlačováno volně uložené planetové kolo, viz [1].



Obr. 2.7. Diferenciál Torsen typ C [1]

2.3.4 ČELNÍ SVORNÉ DIFERENCIÁLY

Čelní svorné diferenciály mají podobnou konstrukci jako Torsen typu B. Vstupním členem je opět klec diferenciálu. Satelity opět leží volně ve výřezích v kleci diferenciálu a jsou po dvojicích rovnoměrně rozmístěny po obvodu klece diferenciálu. Pro zachování činnosti opět zabírají dva satelity navzájem a současně každý z nich zabírá s jedním planetovým kolem. Oproti Torsenu typu B mají však ozubená kola místo ozubení Equex pouze šikmé evolventní ozubení. Další změnou je u diferenciálu nazvaného Quaife prstenec vložený mezi výstupní kola, po kterém se odvalují satelity. Navíc jsou na vnitřním průměru prstence vloženy další třecí elementy, které zvyšují třecí moment v závislosti na velikosti axiálních sil, viz [1].



Obr. 2.8. Diferenciál Quaife [1]



U diferenciálu Power-Track jsou satelity také uloženy v kleci, ovšem oproti Torsenu typu B nejsou rozmístěny rovnoměrně, ale ve vybráních ve tvaru čtyřlístku. Mezi planetovými koly má navíc distanční váleček, který má na koncích speciální podložky. Podložky mají výstupky ve tvaru prstů, viz [1].

2.3.5 DIFERENCIÁLY S KAPALINOVÝM OVLÁDÁNÍM SVORNOSTI

Tyto diferenciály mají mimo mechanických ztrát navíc kapalinové tření, které zvyšuje jejich svornost. Díky kapalinovému tření mají proměnnou svornost, a její hodnota nezávisí na velikosti přenášeného točivého momentu, ale na rozdílu úhlových rychlostí výstupních hřídelů, viz [1].

2.3.6 DIFERENCIÁLY S VNĚJŠÍM OVLÁDÁNÍM SVORNOSTI

U těchto diferenciálů nezávisí přenášený moment na kolo, na přenášeném momentu ani na rozdílu otáček výstupních hřídelů. Přestože tyto diferenciály obsahují třecí elementy, tak jejich svornost podléhá řídicí jednotce. Ta na základě dynamiky jízdy a funkce ostatních elektronických systémů, rozhodne o velikosti svornosti diferenciálu, která může být až 100 %, viz [1].



3 AKTIVNÍ DIFERENCIÁLY

Aktivní diferenciály nejenže dokážou umožnit různé úhlové rychlosti hnacích kol jako ostatní diferenciály, ale také díky povelu z řídicí jednotky dokážou urychlit či zpomalit libovolné hnací kolo, viz [8]. Díky tomu, že tyto diferenciály dokážou optimálně rozdělit točivý moment mezi hnací kola tak, aby byly co nejlépe využity hnací síly, které jsou kola schopné přenést na vozovku. Díky tomu zůstane vozidlo lehce ovladatelné a stabilní i v limitních situacích. Vzhledem k těmto vlastnostem se aktivní diferenciály zařazují do systému aktivní bezpečnosti, viz [1]. Navíc některé z těchto diferenciálů dokážou přenést až 100 % točivého momentu na jedno hnací kolo u nápravového použití nebo na jednu nápravu u mezinápravového použití. Jejich nevýhody oproti ostatním diferenciálům jsou vyšší výrobní cena, větší složitost konstrukce diferenciálu a také jejich větší hmotnost, viz [9].

3.1 ČÁSTI AKTIVNÍHO DIFERENCIÁLU

Aktivní diferenciál se skládá z otevřeného diferenciálu, nejčastěji z kuželového nebo planetového, který umožňuje dělení točivého momentu z jednoho vstupního hřídele na dva výstupní hřídele. Zároveň propojuje tyto dva hřídele navzájem pomocí satelitů a tím umožňuje jejich rozdílné otáčky. Některé systémy otevřený diferenciál vůbec nemají a funkce diferenciálu v těchto systémech musí být nahrazena jiným mechanismem. Dále se sestávají ze dvou lamelových spojek ovládaných buď elektricky, elektromechanicky nebo hydraulicky. Spojky jsou spojeny s planetovým soukolím. Planetová soukolí mají buď stejné převodové poměry a jsou každá připojená ke své výstupní hřídeli, nebo rozdílné převodové poměry tak, že jedno planetové soukolí funguje jako rychloběh a druhé jako redukce. Přičemž jsou obě připojena k jednomu výstupnímu hřídeli u nápravového použití. U mezinápravového použití funguje vícelamelová spojka spíše jako elektronicky řízená uzávěrka diferenciálu. Poslední částí je řídicí jednotka, která pomocí získaných dat vyhodnocuje situaci a podle potřeby rozhoduje o ovládní diferenciálu. Data vstupující do řídicí jednotky jsou například: otáčky kol, úhel natočení předních kol, boční zrychlení vozidla, otáčky motoru, otevření škrtkové klapky a další, viz [1].

3.2 FUNKCE AKTIVNÍHO DIFERENCIÁLU

Funkce aktivního diferenciálu bude vysvětlena na vozidle se zadním aktivním diferenciálem.

3.2.1 PŘÍMÁ JÍZDA

Při přímé jízdě se točivý moment rovnoměrně rozdělí v diferenciálu mezi oba výstupní hřídele, a tento diferenciál tedy pracuje jako klasický diferenciál.

3.2.2 JÍZDA V ZATÁČCE

Ve chvíli, kdy řidič pro vjezd do zatáčky zatočí volantem, se aktivuje řídicí jednotka, která pomocí dat vyhodnotí situaci a podle potřeby začne spínat příslušnou lamelovou spojku. Pomocí planetového soukolí urychluje vnější kolo, které díky většímu zatížení může přenést větší hnací sílu na vozovku než kolo vnitřní. Otáčky vnějšího kola jsou díky planetovému soukolí větší a naopak o stejnou hodnotu nižší u vnitřního kola, než kdybychom použili klasický diferenciál. Tím vzniká kolem těžiště vozidla přídavný točivý moment, který vozidlo doslova „vtlačí“ do zatáčky a nám tím pomáhá při zatáčení, viz [9].



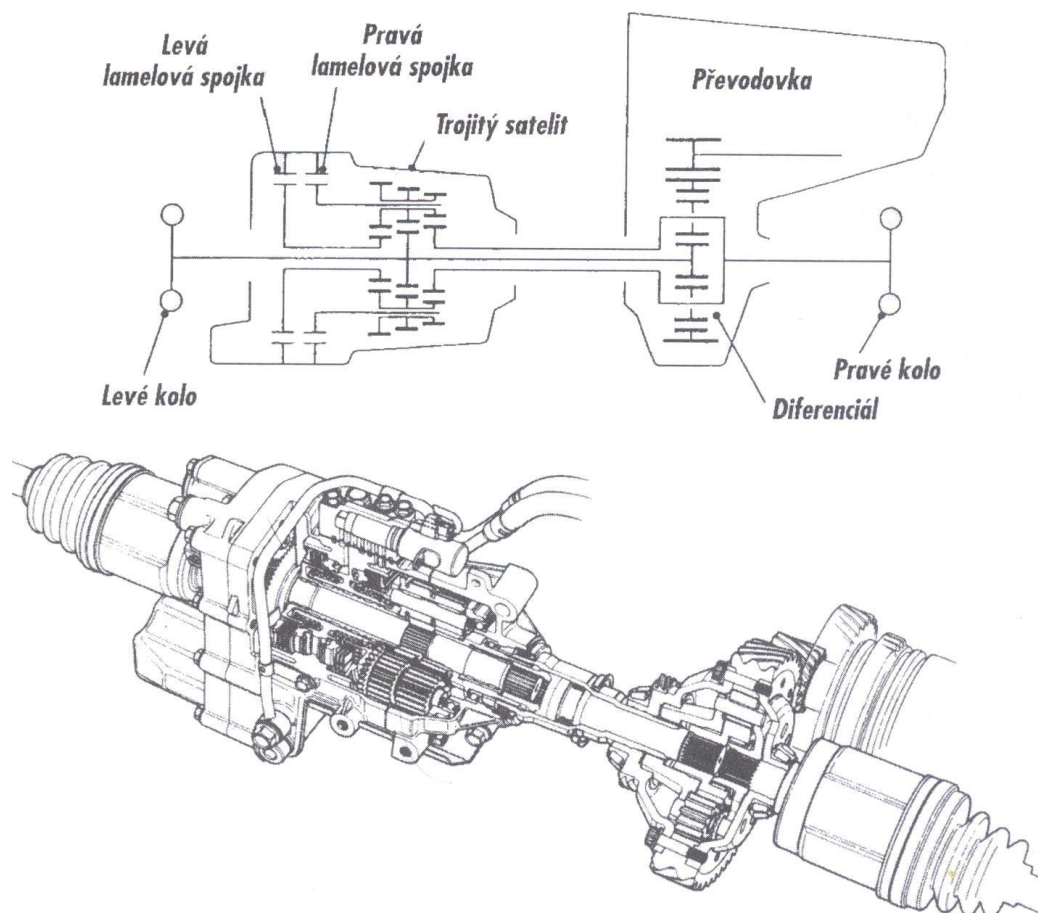
4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ AKTIVNÍCH DIFERENCIÁLŮ JEDNOTLIVÝCH VÝROBCŮ A JEJICH PRINCIP ČINNOSTI

4.1 HONDA

Společnost Honda v roce 1991 představila na autosalonu v Tokiu systém ATTS (Actie Torque Transfer System). Jedná se o aktivní diferenciál, který byl původně určen pouze pro pohon všech kol. Tento systém byl poté zdokonalen i pro automobily s jednou hnací nápravou. Další systém od Hondy se nazývá SH-AWD (Super Handling-All Wheel Drive), který funguje jako aktivní mezinápravový diferenciál a zároveň jako aktivní zadní diferenciál, viz [1].

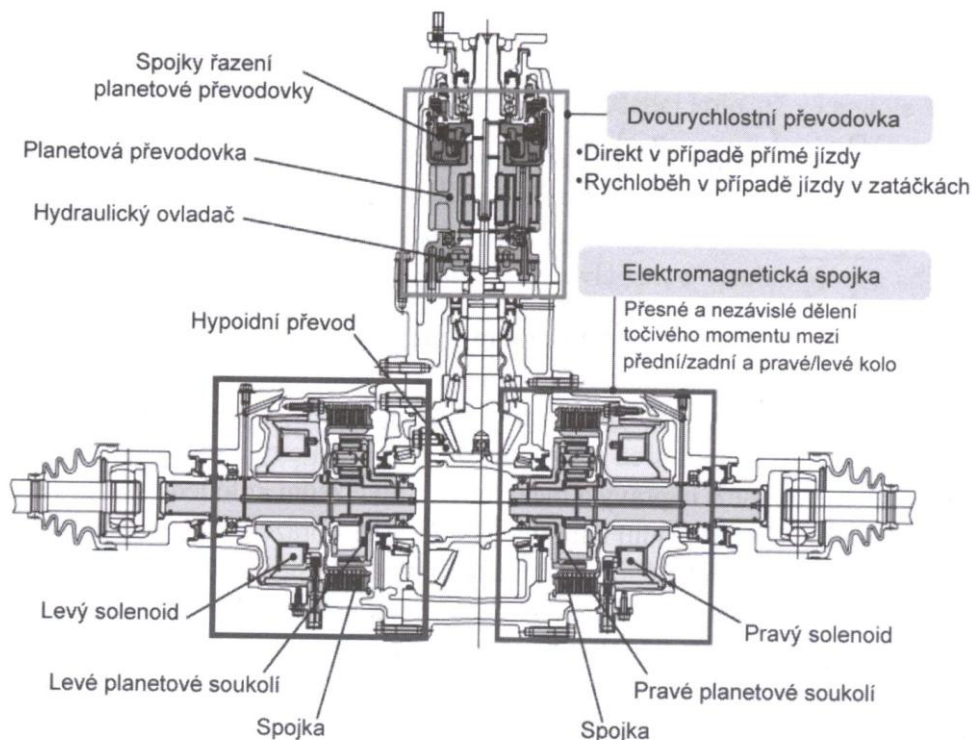
4.1.1 KONSTRUKCE SYSTÉMŮ ATTS A SH-AWD

Systém ATTS se skládá z planetového nápravového diferenciálu, kdy je planeta diferenciálu pevně spojena s levým kolem nápravy a unašeč diferenciálu je spojen s pravým kolem nápravy. Dále ze dvou lamelových spojek, které jsou řídicí jednotkou ovládány hydraulicky. Nejdůležitější částí celého systému jsou čtyři trojitě satelity. Každý je vyroben jako jeden kus a má tři řady ozubení s různými průměry a počty zubů. Pravá planeta soukolí je spojena s dutým hřídelem, kterým prochází hřídel levého kola. Dutý hřídel je spojen s unašečem diferenciálu a tedy i s pravým kolem. Prostřední planeta soukolí je spojena s levým hřídelem. Levá planeta soukolí je spojena s levou lamelovou spojkou a pravá lamelová spojka je spojena s unašečem trojitých satelitů, viz [1].



Obr. 4.1. Schéma mechanismu ATTS [1]

System SH-AWD se skládá z dvourychlostní převodovky a dvou elektromagnetických spojek, které jsou poháněny dvourychlostní převodovkou pomocí hypoidního převodu. Dvourychlostní převodovku tvoří planetová převodovka, která je řazena pomocí dvou lamelových spojek. Podle toho, která z těchto spojek je aktivní, funguje převodovka buď jako rychloběh nebo jako direkt, přičemž rychlost a moment na vstupu je stejný jako moment a rychlost na výstupu. Elektromagnetická spojka se skládá ze solenoidu, planetového soukolí a lamelové spojky. Moment je od hypoidního soukolí přiváděn na korunové kolo planetového soukolí a na hnací hřídel je odváděn pomocí unašeče. Planetové kolo je podle potřeby brzděno pomocí elektromagnetické spojky, čímž se zvětšuje moment na výstupním hřídeli, viz [1].



Obr. 4.2. Řez rozvodovkou SH-AWD [1]

4.1.2 PRINCIP ČINNOSTI PŘI PŘÍMÉ JÍZDĚ

Při přímé jízdě se jednotka ATTS chová jako klasický diferenciál, který pouze rozděluje točivý moment mezi obě kola ve stejném poměru, přičemž jsou obě lamelové spojky rozepruty, viz [1].

Při klidné jízdě systém SH-AWD rozděluje točivý moment mezi přední a zadní nápravu v poměru 70 : 30 %. Naopak při sportovní jízdě je, pro podporu dynamického chování automobilu, tento poměr opačný, viz [10].

4.1.3 PRINCIP ČINNOSTI V ZATÁČCE

System ATTS je řídicí jednotkou okamžitě aktivován poté, co řídicí jednotka zjistí počátek zatáčení. Při zatáčení doprava je tlak oleje přiveden k pravé lamelové spojce, kterou tlak oleje začne brzdít nebo úplně zastaví. Trojitý satelit se otáčí kolem pozastaveného či zastaveného unašeče a je poháněn pouze planetou zcela vpravo. Zároveň pohání přes prostřední planetu hnací hřídel levého kola. V tu chvíli je na levé kolo diferenciálem posílána část momentu patřící pravému kolu, viz [1].



Při zatáčení doleva je tlakem oleje brzděna nebo úplně zastavena levá spojka, která pozastaví nebo úplně zastaví levou planetu. Tím pádem začne trojitý satelit včetně unašeče rotovat kolem této planety a rotující satelity začnou pohánět planetu pravého kola, viz [1].

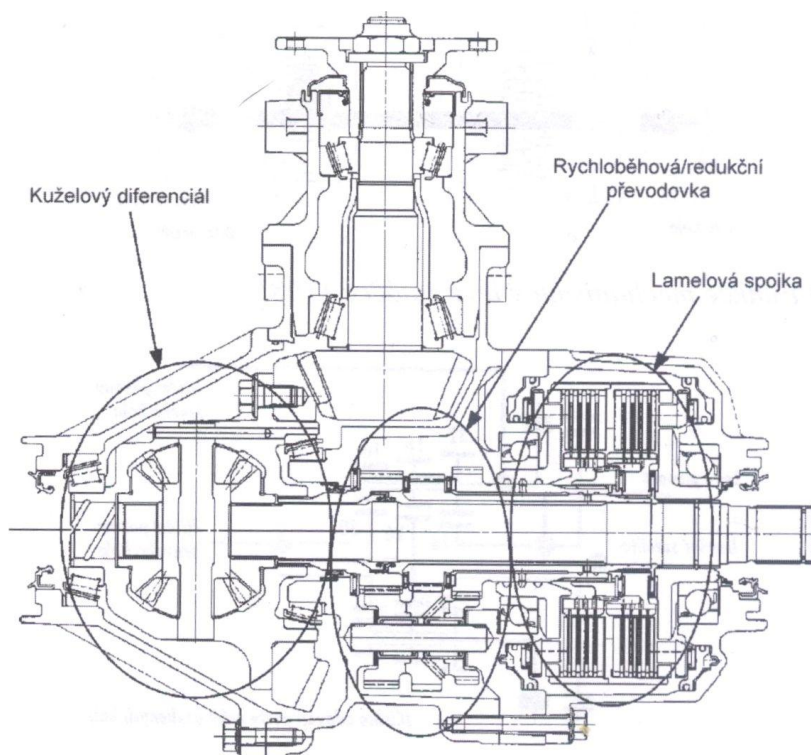
Při jízdě v zatáčce pokud začne vozidlo zrychlovat, začne systém SH-AWD urychlovat vnější kolo a to až o 5 %. Navíc může na vnější kolo přenést až 100 % točivého momentu patřící zadní nápravě. Naopak při brzdění v zatáčce systém působí proti přetáčení a to tak, že urychlí vnitřní kolo, viz [10].

4.2 MITSUBISHI

V roce 1996 představila společnost Mitsubishi systém AYC (Active Yaw Control), který dále vyvíjela a v roce 2003 představila systém S-AYC (Super Active Yaw Control). Další systém, který společnost Mitsubishi představila je ACD (Active Centre differential)

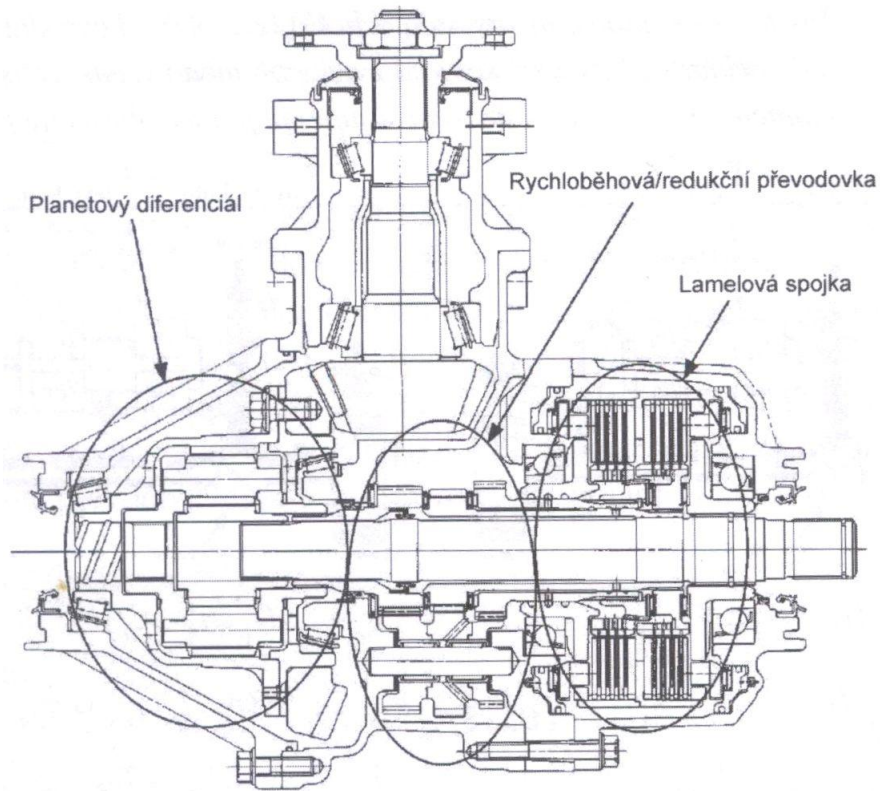
4.2.1 KONSTRUKCE SYSTÉMU AYC, S-AYC A ACD

Systém AYC se skládá z kuželového nápravového diferenciálu, kde jsou planety diferenciálu spojeny s hnacími hřídelemi jednotlivých kol nápravy. Dále z planetové převodovky, která je řazena dvěma lamelovými spojkami, viz obr. 4.3. V závislosti na tom, která ze spojek je sepnuta pracuje převodovka jako rychloběh nebo redukce. Planetová převodovka se skládá ze třech planetových kol a z pevně uloženého unašeče, na kterém je nasazen trojitý satelit. Trojitý satelit je poháněn prvním planetovým kolem, který je vyveden z klece kuželového diferenciálu. Další dvě planetová kola jsou poháněna od trojitého satelitu, kdy prostřední planeta je spojena s pravou lamelovou spojkou a pracuje jako rychloběh. Poslední planeta je spojena s levou lamelovou spojkou a pracuje jako redukce. Obě lamelové spojky jsou spojeny s pravým výstupním hřídelem pomocí drážkování, které je jak na hřídeli, tak na vnějším paketu lamel, viz [1].



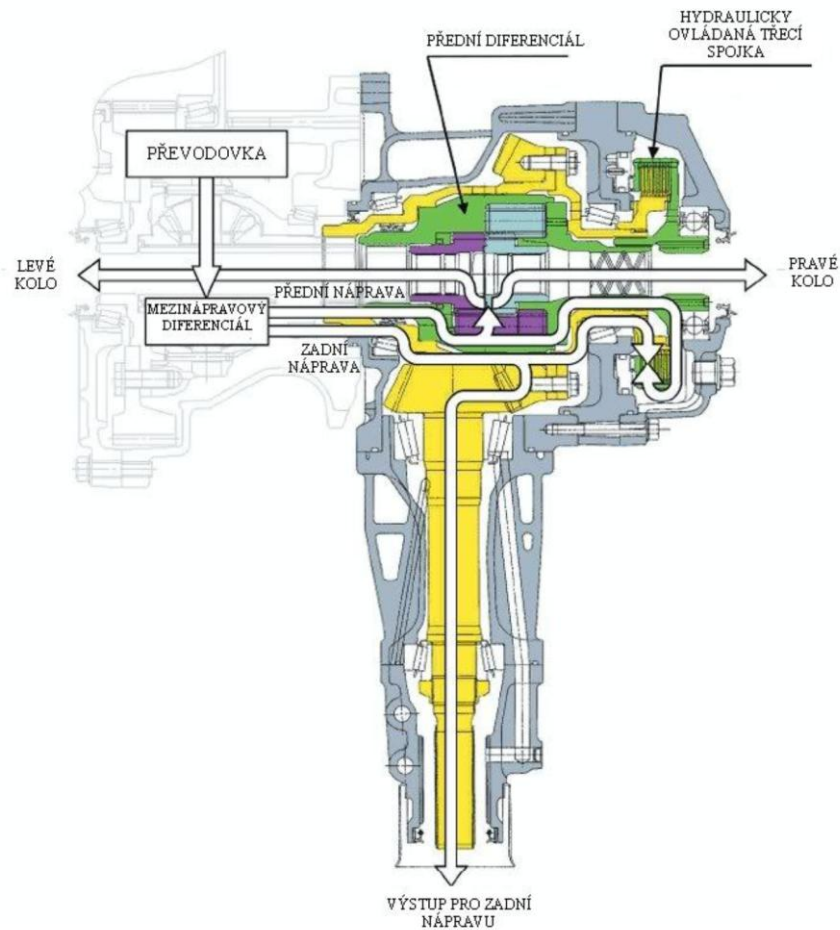
Obr. 4.3. Rozvodovka zadní nápravy se systémem AYC [1]

System S-AYC je prakticky stejný. Odlišuje se pouze v tom, že místo kuželového nápravového diferenciálu je zde použit planetový nápravový diferenciál, kde unašeč pohání levé kolo nápravy a planeta pravé kolo nápravy. Planetová převodovka je stejná jako u systému AYC s tím rozdílem, že první planetové kolo je zde vyvedeno z unašeče nápravového diferenciálu. Zbytek je stejný jako u systému AYC, viz [1].



Obr. 4.4. Rozvodovka zadní nápravy se systémem S-AYC [1]

System ACD se skládá z kuželového mezinápravového diferenciálu a z hydraulicky ovládané vícelamelové spojky. Jednotka ACD je umístěn na přední nápravě společně s nápravovým diferenciálem. Točivý moment z převodovky vstupuje na klec diferenciálu, kde je pomocí planetových kol rozdělen mezi obě nápravy. Levé planetové kolo je spojeno s klecí předního nápravového diferenciálu a pravé planetové kolo s pohonem zadní nápravy. Lamelová spojka je umístěna mezi klec diferenciálu a pohon zadní nápravy. Vnější paket lamel je spojen s pohonem zadní nápravy a vnitřní paket lamel s klecí diferenciálu.



Obr. 4.5. Řez mezinápravovým diferenciálem ACD [11]

4.2.2 PRINCIP ČINNOSTI PŘI PŘÍMÉ JÍZDĚ

Při přímé jízdě se jednotky AYC i S-AYC chovají stejně jako normální diferenciál. Ovšem při prokluzu kol, když je rozdíl obvodových rychlostí mezi koly větší než 20 %, může diferenciál přivést více točivého momentu na to kolo, které se neprotáčí, viz [1].

4.2.3 PRINCIP ČINNOSTI PŘI JÍZDĚ V ZATÁČCE

I zde je systém AYC i S-AYC aktivován řídicí jednotkou poté, co řídicí jednotka zjistí počátek zatáčení. Při zatáčení doprava je tlak oleje přiveden k levé lamelové spojce, která je spojena s redukční převodovkou. Proto začne zpomalovat pravý hřídel a díky funkci diferenciálu urychlí o stejný díl levé kolo.

Při zatáčení doleva je tlak oleje přiveden k pravé lamelové spojce, která je spojena s rychloběžnou převodovkou. Ta urychluje pravou hřídel a zároveň zpomaluje o stejný díl levou hřídel, viz [1].

Při brzdění před vjezdem do zatáčky systém ACD kvůli vyšší stabilitě zvyšuje svojí svornost. Naopak při jízdě v zatáčce svojí svornost zmenšuje, kvůli lepší ovladatelnosti vozidla



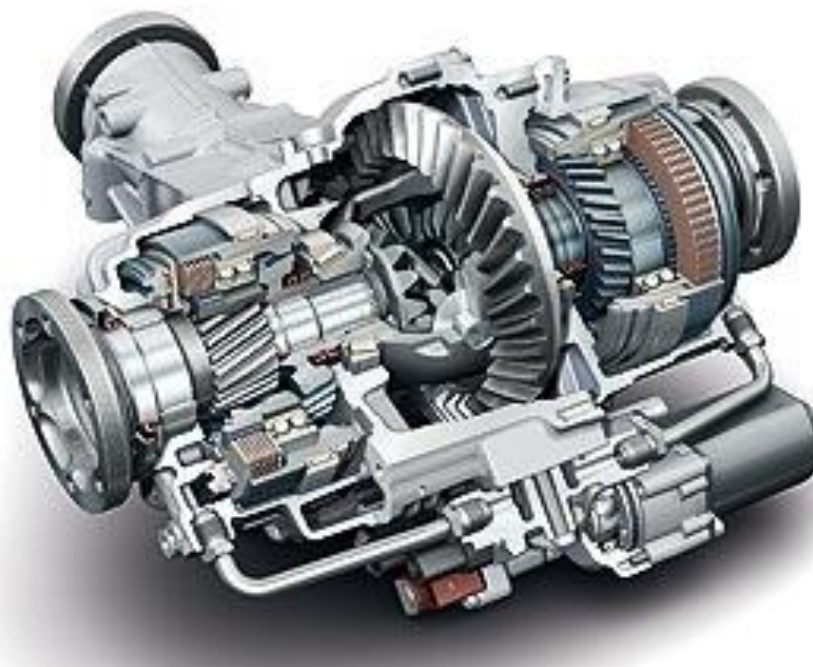
v zatáčce. Při výjezdu ze zatáčky opět systém ACD zvyšuje svojí svornost z důvodu zlepšení trakce vozidla, viz [4].

4.3 AUDI

Také společnost Audi vyvinula také aktivní diferenciál, který má název sportovní diferenciál.

4.3.1 KONSTRUKCE SPORTOVNÍHO DIFERENCIÁLU

Sportovní diferenciál se skládá z otevřeného kuželového nápravového diferenciálu, jehož planety jsou spojeny s hnacími hřídeli kol. Dále ze dvou planetových převodovek, které jsou umístěny na obou hnacích hřídelích. Planetové převodovky jsou připojovány pomocí lamelové spojky, která je ovládána elektrohydraulicky. Každá planetová převodovka má svou vlastní lamelovou spojku. Planetová převodovka je poháněna od klece diferenciálu a díky své konstrukci má na svém výstupu o 10 % vyšší otáčky než hnací hřídel, viz [12].



Obr. 4.4. Sportovní diferenciál [13]

4.3.2 PRINCIP ČINNOSTI PŘI PŘÍMÉ JÍZDĚ

Při přímé jízdě sportovní diferenciál pouze rozděluje točivý moment ze vstupního hřídele na dva výstupní hřídele ve stejném poměru. Obě lamelové spojky jsou rozepnuty a nezasahují do rozdělení momentu.

4.3.3 PRINCIP ČINNOSTI PŘI JÍZDĚ V ZATÁČCE

Při jízdě v zatáčce je diferenciál opět aktivován řídicí jednotkou poté, co jednotka zjistí počátek zatáčení. Při zatáčení doprava je tlak oleje přiváděn k levé lamelové spojce, čímž začne spínat levou převodovku. Ta začne urychlovat levé kolo a díky kuželovému diferenciálu o stejný díl zpožďovat pravé kolo.

Při zatáčení doleva se naopak přivede tlak oleje k pravé spojce, která díky převodovce začne urychlovat pravé kolo a opět díky diferenciálu zpožďovat levé kolo.



za následek že dvojitý satelit začne pohánět pravý hnací hřídel, který zároveň urychluje. Díky tomu je pravému kolu navíc přiváděna část točivého momentu od levého kola, viz [1].

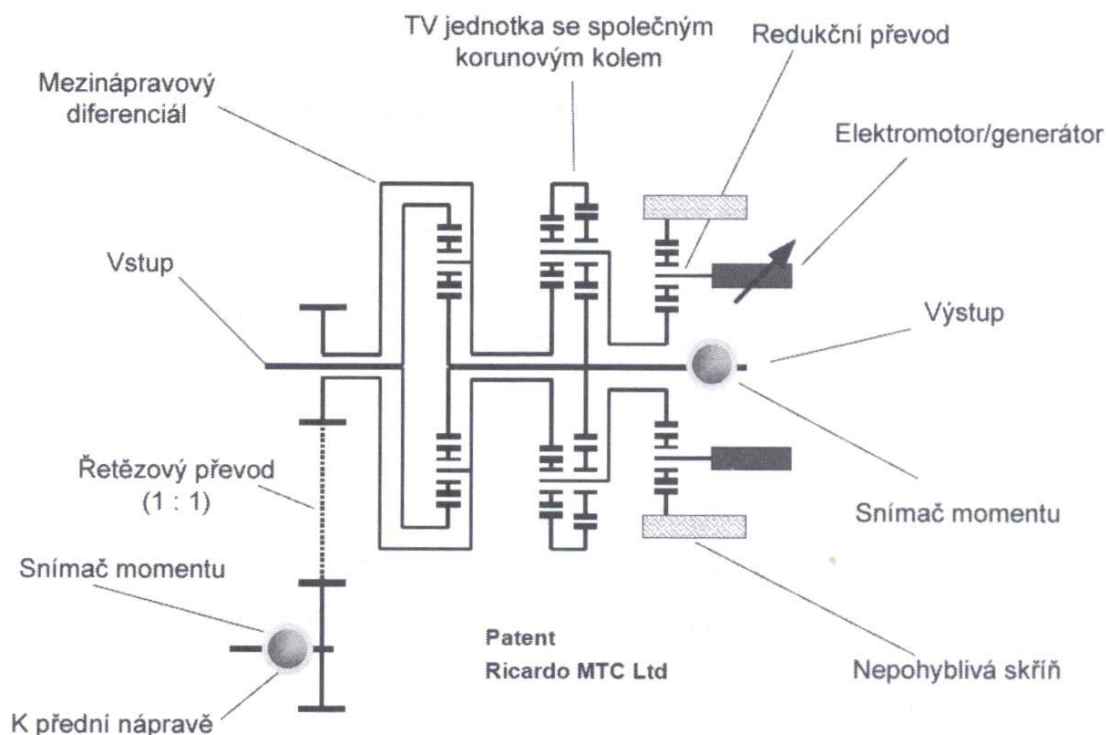
Při jízdě doprava je aktivována lamelová brzda na levé straně, která začne přibrzďovat unašeč satelitu, a tím začne satelit pohánět levý hnací hřídel, který je urychlován. I zde je část točivého momentu odebírána z vnitřního kola a je přiváděna na vnější kolo.

4.5 RICARDO

V roce 2004 anglická společnost Ricardo představila systém pro plynulou změnu momentu mezi nápravami, který byl nazván jako u společnosti ZF Friedrichshafen Torque Vectoring.

4.5.1 KONSTRUKCE TORQUE VECTORING DIFERENCIÁLU

Tento Torque Vectoring diferenciál je tvořen mezinápravový planetovým diferenciálem, kdy točivý moment od převodovky vstupuje na korunové kolo. Výstup na přední nápravu je řešen unašečem a výstup na zadní nápravu je řešen pomocí planetového kola diferenciálu. Dále je zde planetová převodovka, která je tvořena dvěma planetovými koly, společným korunovým kolem a osmi satelity. Levé planetové kolo je poháněno od pohonu přední nápravy, naopak pravé planetové kolo od pohonu zadní nápravy. Unašeč je spojen s elektromotorem, mezi který je vložen další planetový převod, aby otáčky motoru nepřesáhly 5000 1/min i při rychlostech nad 150 km/h. Díky tomu mohl být elektromotor menší. Tento systém byl dále vyvíjen a výsledkem je odstranění redukčního soukolí u elektromotoru, viz [1].



Obr. 4.6. Mezinápravový Torque Vectoring diferenciál [1]

4.5.2 PRINCIP ČINNOSTI TORQUE VECTORING DIFERENCIÁLU

Mezinápravový diferenciál bez zásahu řídicí jednotky rozděljuje točivý moment mezi přední a zadní nápravu v poměru 40 : 60 %. Po zásahu jednotky se tento poměr může optimálně



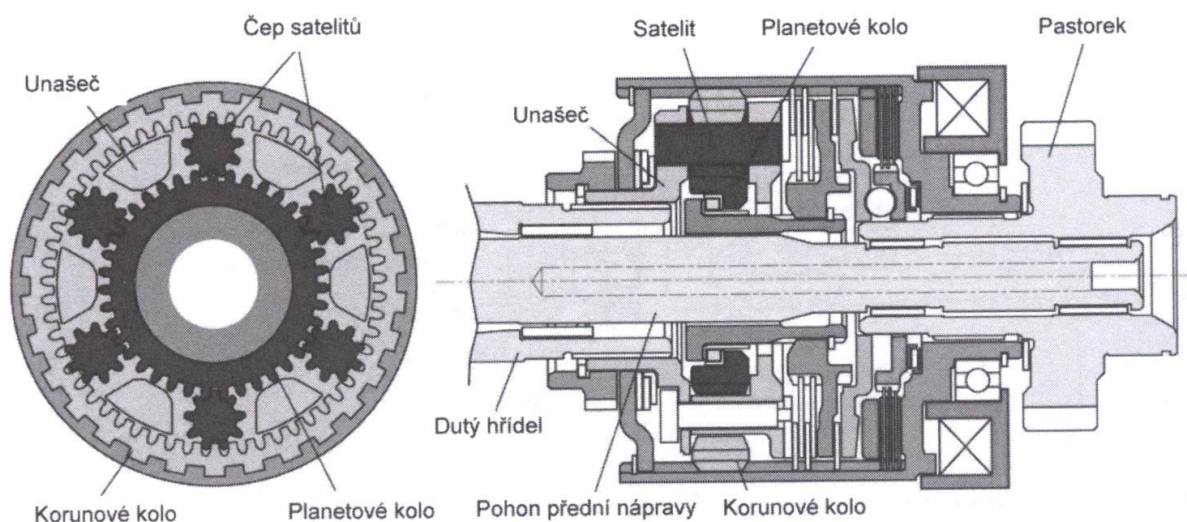
měnit a planetová převodovka může zajistit stálý rozdíl mezi přední a zadní nápravou 100 N.m točivého momentu, viz [1].

4.6 SUBARU

Společnost Subaru vyvinula systém pro optimální změnu točivého momentu mezi nápravami, který nazvala DCCD (Driver's Control Center Differential)

4.6.1 KONSTRUKCE SYSTÉMU DCCD

Systém DCCD se skládá z mezinápravového planetového diferenciálu, kdy točivý moment vstupuje na unašeč satelitů. Výstup na přední nápravu je přes centrální kolo a výstup na zadní nápravu přes korunové kolo. Dále se skládá z mechanicky ovládané lamelové spojky a navíc ještě z jedné lamelové spojky, která je ovládána elektromagneticky, viz [1].

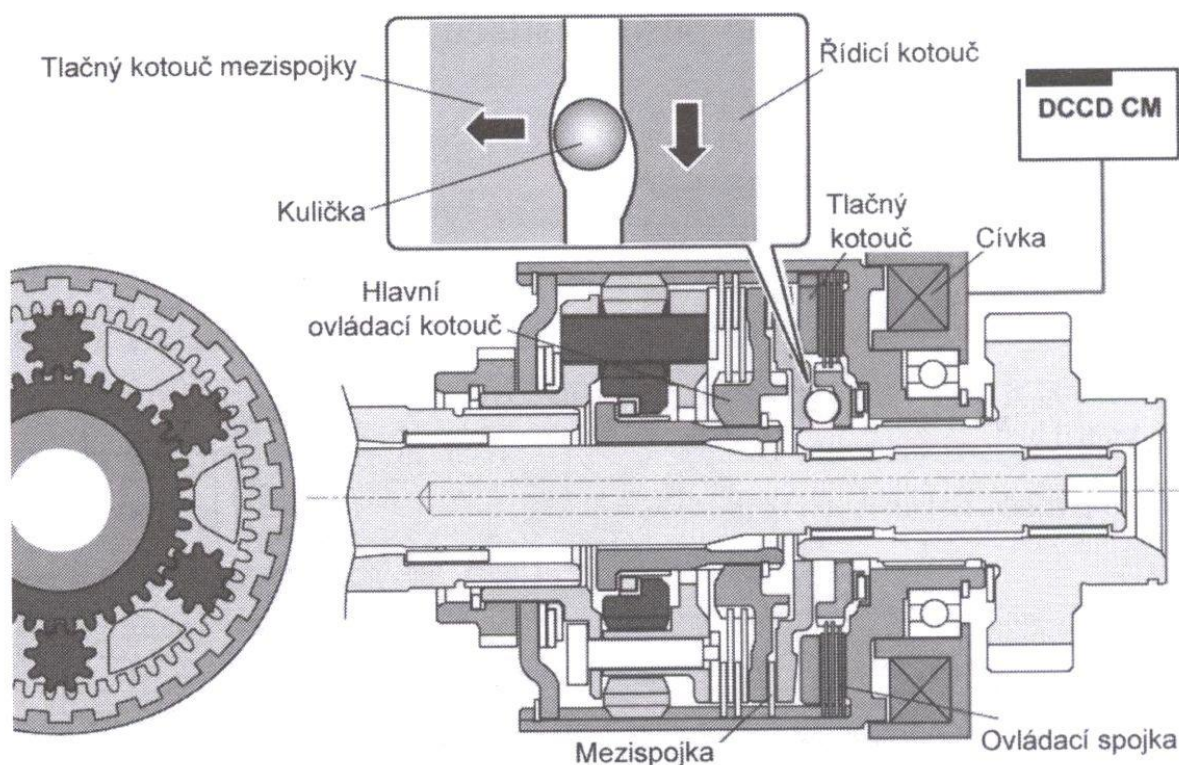


Obr. 4.7. Řez mezinápravovým diferenciálem DCCD II generace [1]

4.6.2 PRINCIP ČINNOSTI SYSTÉMU DCCD

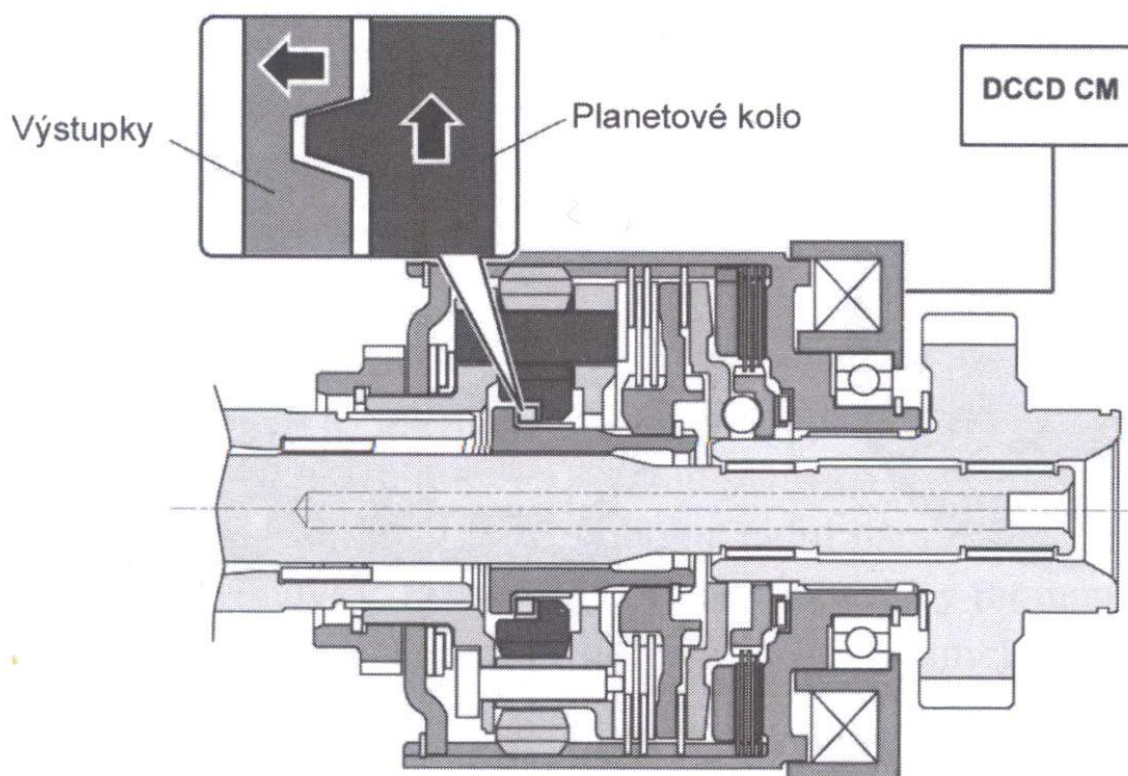
Při jízdě, kdy mezinápravový diferenciál není řízen řídicí jednotkou a je tedy plně otevřen, rozděljuje diferenciál DCCD I generace točivý moment na přední a zadní nápravu v poměru 35 : 65 %, viz [15]. Takto byl moment rozdělován do roku 2006, kdy Subaru představilo diferenciál DCCD II generace, který má poměr mezi přední a zadní nápravou 41 : 59 % točivého momentu, viz [1]. Řidič také může volit mezi dvěma režimy uzavírání diferenciálu a to mezi manuálním režimem zvaným MANUAL, kde si dále může vybrat mezi šesti stupni uzavření diferenciálu a to mezi 0 % uzavření, kdy je diferenciál úplně otevřen, dále 15 %, 35 %, 65 %, 85 % a 100 %, kdy je diferenciál úplně uzavřen. Druhý režim je automatický AUTO, kdy míru uzavření diferenciálu řídí elektronika, viz [16]. Ale i zde může řidič řídicí jednotce říct, jak bude diferenciál uzavírán, pokud mu čistě automatický režim nevyhovuje. Může tedy navíc ještě volit mezi dalšími dvěma stupni. AUTO [+], kdy je pro zlepšení trakce zvýšena uzavírací síla diferenciálu, a AUTO [-], kde je naopak pro lepší ovladatelnost vozidla snížena uzavírací síla diferenciálu, viz [17].

Pro nastavení svornosti zvolené řidičem při manuálním režimu nebo od řídicí jednotky, při automatickém režimu používá diferenciál elektromagnetické ovládní závěru diferenciálu. Elektromagnetická spojka se skládá z ovládací lamelové spojky s elektromagnetickým tlačným kotoučem, mezispojky s kuličkovým vačkovým mechanismem a cívky. Pro nastavení svornosti je do cívky přiveden určitý proud, který vyvolá magnetické pole a tím začne přitahovat elektromagnetický kotouč. Svornost diferenciálu závisí na velikosti přivedeného proudu. Pokud po nastavení svornosti dojde k náhlé změně otáček mezi nápravami, pak mechanický systém mezispojky začne axiálně působit na hlavní lamelovou spojku. Axiální síla vzniká při vzájemném pootočení náboje ovládací lamelové spojky a kotouče mezispojky, ve které je ve vačkových drážkách rozmístěno 6 kuliček vyvolávajících tuto sílu, viz [1].



Obr. 4.8. Elektromagnetické ovládní mezinápravového diferenciálu DCCD II. generace[1]

Pokud je jedna náprava na povrchu se sníženou adhezí a dochází k prokluzu kol, v tomto případě mají planetové kolo a objímka mechanického závěru rozdílné otáčky. Je aktivován mechanický závěr diferenciálu. Planetové kolo začne axiálně odtlačovat objímku mechanického závěru, která začne stlačovat hlavní lamelovou spojku a tím zvyšuje svornost diferenciálu. Axiální síla je v tomto případě vyvozena díky vzájemnému pootočení planetového kola, které má po obvodě výstupky, a objímky mechanického závěru, která má po obvodě drážky, do kterých výstupky zapadají, viz [1].



Obr. 4.9. Mechanický závěr mezinápravového diferenciálu DCCD II. generace [1]

Před vjezdem do zatáčky v režimu AUTO, kdy řidič brzdí, je diferenciál zcela otevřen. V průběhu zatáčky poté, co automobil začne akcelarovat, začne řídicí jednotka uzavírat diferenciál. Při výjezdu ze zatáčky je pro optimální akceleraci v přímém směru diferenciál zcela uzavřen, viz [18].

4.7 DALŠÍ AKTIVNÍ DIFERENCIÁLY

V této kapitole bylo detailně rozebráno několik systémů aktivních diferenciálů. Těchto diferenciálů existuje samozřejmě mnohem víc, ale vzhledem k rozsahu této práce není možné se zabývat detailním rozebráním všech systémů. Dále budou uvedeny pouze některé další systémy, které nebudou rozebrány detailně jako předchozí diferenciály. Především z důvodu, že následující diferenciály fungují na podobném principu jako výše uvedené, rozdíl spočívá pouze v konstrukčním uspořádání.

4.7.1 BMW

Dalším aktivním mezinápravovým diferenciálem je systém xDrive od společnosti BMW. Jedná se o systém pohonu všech kol, který byl představen v roce 2003.

Základem je rozdělovací převodovka, na kterou je nasazen výstup k zadní nápravě. Zadní náprava je vždycky hnaná. Výstup na přední nápravu je řešen u osobních vozidel, řady „3“ a „5“, pomocí ozubených kol a u vozidel pro volný čas, řady „X3“ a „X5“, pomocí řetězu. Mezi výstup na zadní nápravu a řetězovým nebo ozubeným kolem je vložena vícelamelová spojka, která je ovládána elektromechanicky. Tento systém dokáže dělit točivý moment mezi přední a zadní nápravu v poměru od 0 : 100 % až po poměr 50 : 50 %, viz [1].



4.7.2 MERCEDES

4Matic je aktivní systém pro dělení točivého momentu mezi přední a zadní nápravu od společnosti Mercedes.

Systém 4Matic nejdříve využíval otevřený mezinápravový planetový diferenciál, kde je točivý moment přiváděn na korunové kolo diferenciálu. Výstup na zadní nápravu je řešen přes planetové kolo a výstup na přední nápravu přes unašeč satelitů. 4Matic nejprve dělil točivý moment mezi přední a zadní nápravu v poměru 35 : 65 %. Tento poměr se postupně měnil přes 40 : 60 %, konečný poměr je 45 : 55 %. Pro urychlení nápravy s jednotkou 4Matic je využíván systém 4ETS, kdy systém 4ETS v případě potřeby začne přibrzďovat pomocí brzd kola na jedné nápravě a tím pomocí planetového diferenciálu urychlí druhou nápravu, viz [1].

Systém 4Matic byl dále vyvíjen a Mercedes představil tento systém pro automobily se stálým pohonem přední nápravy a připojitelným pohonem zadní nápravy. Pohon pro zadní nápravu je vyveden přímo ze sedmistupňové automatické převodovky. Mezinápravový diferenciál v tomto případě nahradila elektrohydraulická lamelová spojka, která je umístěna před zadní diferenciál a která podle potřeby připojuje zadní nápravu. Protože lamelová spojka připojuje zadní nápravu, dochází k dělení točivého momentu mezi přední a zadní nápravu, viz [19].

4.7.3 NISSAN

I Nissan vyvinul systém pro optimální dělení točivého momentu mezi přední a zadní nápravu. Jejich systém má název ATTESA E-TS (Advanced Total Traction Engineering System for All-terrain with Electronic Torque Split).

Tento systém je používán u vozidel se stálým pohonem všech kol. Místo nápravového diferenciálu je zde na hnacím hřídeli pro zadní nápravu umístěna hydraulicky ovládaná lamelová spojka. Vnější paket lamel je spojen s hnací hřídelí zadní nápravy a vnitřní paket je spojen s řetězovým kolem, které pomocí řetězu pohání hnací hřídel přední nápravy. Podle toho, jak velký je na lamelovou spojku přiveden tlak oleje, je mezi jednotlivé nápravy rozdělen točivý moment a to v poměru až 50 : 50 % mezi přední a zadní nápravou. Při rychlé akceleraci je mezi přední a zadní nápravu točivý moment rozdělen v poměru 2 : 98 %, viz [20].

4.7.4 VOLKSWAGEN

Společnost Volkswagen společně se společností Haldex vyvinuli vlastní aktivní diferenciál s názvem VAQ.

VAQ je aktivní diferenciál přední nápravy, který se skládá z otevřeného kuželového diferenciálu a hydraulicky ovládané vícelamelové spojky. Spojka je vložena mezi klec diferenciálu a pravou hnací hřídel. Řídící jednotka podle situace řídí tlak oleje a tím i svornost tohoto diferenciálu, viz [21].



5 KONSTRUKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ HNACÍHO ÚSTROJÍ VOZIDEL VYUŽÍVAJÍCÍCH AKTIVNÍ DIFERENCIÁL

Vozidla se podle uspořádání hnacího ústrojí dají rozdělit na vozidla s pohonem dvou kol a na vozidla s pohonem všech kol.

5.1 VOZIDLA S POHONEM DVOU KOL

Vozidla s pohonem dvou kol se dále dělí na vozidla s pohonem přední nápravy a na vozidla s pohonem zadní nápravy.

5.1.1 VOZIDLA S POHONEM PŘEDNÍ NÁPRAVY

Do této kategorie patří Honda Prelude páté generace, u které je použit aktivní nápravový diferenciál ATTS umístěný na přední nápravě, který ideálně dělí točivý moment mezi obě kola, viz [22].

Dalším vozem v této kategorii je Volkswagen Golf GTI sedmé generace, u kterého je použit aktivní nápravový diferenciál VAQ. Stejně jako u Hondy Prelude je umístěný na přední nápravě a opět dělí ideálně točivý moment mezi obě kola, viz [21].

5.2 VOZIDLA S POHONEM VŠECH KOL

Vozidla s pohonem všech kol se dále dělí na vozidla se stálým pohonem všech kol, vozidla se stálým pohonem předních kol a připojitelným pohonem zadních kol. Posledním typem jsou vozidla se stálým pohonem zadních kol a připojitelným pohonem předních kol.

5.2.1 VOZIDLA SE STÁLÝM POHONEM VŠECH KOL

Do této kategorie patří Subaru WRX STI. Zde je použit aktivní mezinápravový diferenciál DCCD, který je umístěn uprostřed vozu. Dále jsou zde použity dva nápravové diferenciály. Na zadní nápravě je umístěn samosvorný diferenciál Torsen typ B a na přední nápravě samosvorný diferenciál se šikmými zuby, viz [7].

Patří sem i vozidla Mitsubishi Lancer Evolution VIII až X, které mají aktivní mezinápravový diferenciál ACD umístěný na přední nápravě. Navíc mají ještě dva nápravové diferenciály. Na zadní nápravě je použit aktivní diferenciál AYC popřípadě aktivní diferenciál S-AYC. Na přední nápravě je použit samosvorný diferenciál, viz [4].

Dalším vozem je Honda Legend. Honda Legend má na zadní nápravě aktivní systém SH-AWD, který nahrazuje jak mezinápravový, tak i zadní nápravový diferenciál. Místo zadního nápravového diferenciálu jsou zde dvě elektromagneticky ovládané lamelové spojky, které jsou poháněny hypoidním soukolím. Na přední nápravě je použit otevřený kuželový diferenciál, viz [10].

Do této kategorie spadá i Nissan GT-R. Ten využívá místo klasického mezinápravového diferenciálu aktivní systém ATTESA ET-S, který variabilně podle potřeby rozděluje točivý moment mezi obě nápravy. Na přední nápravě se nachází otevřený kuželový diferenciál. Na zadní nápravě je kuželový diferenciál s vnějším ovládním svornosti, který má obě lamelové spojky ovládané hydraulicky. Řídící jednotka ovládá pouze svornost tohoto diferenciálu, viz [20].

Posledním uvedeným v této kategorii Audi RS 7 Sportback, které využívá jako mezinápravový diferenciál svorný diferenciál Torsen typ C. Na zadní nápravě je umístěn aktivní sportovní diferenciál. Na přední nápravě je použit otevřený diferenciál, ten je ovládán elektronickou uzávěrkou diferenciálu, která v případě potřeby přibrzdí pomocí brzdy protáčející se kolo, viz [23].

5.2.2 VOZIDLA SE STÁLÝM POHONEM PŘEDNÍCH KOL A PŘIPOJITELNÝM POHONEM ZADNÍCH KOL

Do této kategorie patří Mercedes Benz CLA, který využívá systém 4Matic. V tomto případě je mezinápravový diferenciál nahrazen elektrohydraulickou vícelamelovou spojkou, která je umístěná před zadní nápravový diferenciál a v případě potřeby připojuje zadní pohon vozidla. Zadní i přední diferenciál tvoří otevřené kuželové diferenciály. Při prokluzu některého z kol zasáhne systém 4ETS, který toto kolo pomocí brzdy přibrzdí, viz [19].

5.2.3 VOZIDLA SE STÁLÝM POHONEM ZADNÍCH KOL A PŘIPOJITELNÝM POHONEM PŘEDNÍCH KOL

Do této skupiny patří BMW X5, který využívá systém pohonu všech kol drive. Místo mezinápravového diferenciálu je použita rozdělovací převodovka, která je ovládaná pomocí elektromechanicky ovládanou vícelamelovou spojkou. Na zadní nápravě je umístěn aktivní Torque Vectoring diferenciál od firmy ZF Friedrichshafen. Na přední nápravě je otevřený kuželový diferenciál, při prokluzu jednoho z kol zasáhne systém ADB-X (Automatic Differential Brake), který pomocí brzdy toto kolo přibrzdí, viz [24].

5.3 SHRUTÍ

V této kapitole byly popsány jednotlivé typy uspořádání hnacího ústrojí vozidel a k těmto typům uspořádání hnacích ústrojí. Dále zde byly uvedené značky a modely vozidel využívající alespoň jeden aktivní diferenciál popsány v kapitole 4. Samozřejmě vozidel využívajících aktivních diferenciálů je mnohem víc, ale vzhledem k rozsahu této práce není možné uvést všechny značky a jednotlivé modely vozidel s jejich konkrétní uspořádání hnacího ústrojí. Obecně však můžeme říci, že u ostatních vozidel je konstrukční řešení hnacího ústrojí obdobné jako u výše zmíněných vozidel, kdy se pouze mění umístění a typ jednotlivých diferenciálů. Bohužel se mi z dostupných zdrojů nepodařilo najít vozidlo s aktivním diferenciálem, které má pouze pohon zadní nápravy.



ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala popisem konstrukčního řešení aktivních diferenciálů, jejich principem činnosti a konstrukčním řešením pohonného ústrojí vozidel využívajících aktivní diferenciály. Jak je vidět z výše uvedeného, prakticky všechny aktivní diferenciály pracují na stejném principu, kdy po vyhodnocení situace řídicí jednotkou, pomocí vstupních dat, tyto diferenciály vhodně rozdělují točivý moment mezi oba výstupy z diferenciálu. U konstrukčního řešení je možné vidět různé postoje výrobců k řešení konstrukce aktivního diferenciálu. Někteří výrobci preferují aktivní členy řízení diferenciálu pouze na jednom výstupu z diferenciálu. Jiní výrobci preferují aktivní členy řízení diferenciálu na obou výstupech z diferenciálu, což obecně platí pro nápravové řešení. U mezinápravového řešení někteří výrobci využívají otevřený mezinápravový diferenciál a aktivní členy řízení diferenciálu zde fungují jako elektronická uzávěrka diferenciálu, kdy podle potřeby zvyšují svornost diferenciálu a tím vhodně rozdělují točivý moment mezi obě nápravy. Naopak někteří výrobci vůbec při mezinápravovém použití otevřený mezinápravový diferenciál nepoužívají. Místo něho je většinou použita vícelamelová spojka, která, pokud není úplně sepnutá, díky svému prokluzu dovoluje rozdílné otáčky výstupu na obě nápravy. Kromě toho se tyto systémy liší tím, jak jsou ovládané jejich aktivní členy a to buď hydraulicky, elektromagneticky, anebo elektromechanicky. Dále je z konstrukčního řešení hnacího ústrojí vidět, že si jednotlivé automobilové firmy řeší typ diferenciálu a jeho umístění ve vozidle podle svého. První vozidla vybavená aktivními diferenciály byla ta, u kterých automobilové firmy chtěli ukázat svůj technický pokrok. Mimo těchto diferenciálů byla tato vozidla vybavena i jinými technickými vymoženostmi, v té době jen zřídka viditelné. Díky tomu, že pomáhají stabilizovat vozidlo v krajních situacích a také pomáhají vozidlu při jízdě zatáčkou, kdy s aktivními diferenciály jdou tyto zatáčky projet rychleji než při použití klasických diferenciálů, jsou těmito diferenciály dnes vybavovány především sportovně laděná vozidla s vysokými výkony. S postupným vývojem těchto pokrokových systémů jsou v dnešní době tyto systémy umisťovány i do některých osobních vozidel vyšších tříd.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] ACHTENOVÁ, G., TŮMA V. *Vozidla s pohonem všech kol*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 380 s. ISBN 978-80-7300-236-7.
- [2] VLK, F. *Převody motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 371 s. ISBN 80-239-6463-1.
- [3] *Wikipedia* [online]. 2006, 15.2.2014 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Diferenci%C3%A1l_%28mechanika%29
- [4] *Mitsubishi-motors* [online]. 2011 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://www.mitsubishi-motors.cz/modely/katalogy/prirucka-4wd.pdf>
- [5] *Wikimedia* [online]. 2010 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: http://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:Spur_gear_differential_%28Manual_of_Driving_and_Maintenance%29.jpg
- [6] *Selmec.org* [online]. 2012 [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: http://www.selmec.org.uk/article_0005_a_clutch_of_differentials.aspx
- [7] *Automobilrevue* [online]. 2012 [cit. 2014-04-24]. Dostupné z: http://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/technika/subaru-symmetrical-awd-tajemstvi-symetrie_40944.html
- [8] *Tipcars* [online]. 2008 [cit. 2014-04-24]. Dostupné z: <http://www.tipcars.com/magazin-vse-o-diferencialech-3263.html>
- [9] *Pcar* [online]. 2012 [cit. 2014-04-24]. Dostupné z: <http://www.pcar.cz/cz/novinka?182-aktivni-zadni-diferencial-podporuje-jizdni-dynamiku>
- [10] *Autolexicon* [online]. 2013 [cit. 2014-04-25]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/sh-awd-super-handling-all-wheel-drive/>
- [11] *Sicuraauto* [online]. 2013 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.sicuraauto.it/sistemi-di-sicurezza/a/acd-active-center-differential.htm>
- [12] *Autokaleidoskop* [online]. 2009 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://autokaleidoskop.cz/Novinky/Audi-A5-Sportback-moderni-systemy-%28II%29/>
- [13] *Atzonline* [online]. 2011 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.atzonline.com/Article/12815/Sport-Differential-for-Four-wheel-Drive.html>
- [14] *Gizmag* [online]. 2007 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.gizmag.com/go/7426/>
- [15] *Awdwiki* [online]. 2012 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.awdwiki.com/en/subaru/>
- [16] *Igotasti* [online]. 2010 [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://igotasti.com/vBforum/showthread.php?263-DCCD-info-and-FAQs>



- [17] *Brozovsky* [online]. 2008 [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://www.brozovsky.cz/48-impieza-wrx-sti/159-ovladani/?PHPSESSID=917b2237b86512c293a7d4ee72fa07fe>
- [18] *Auto.cz* [online]. 2006 [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/mezinapravovy-diferencial-subaru-dccd-jak-to-funguje-14780>
- [19] *Mercedes-benz* [online]. [2013] [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://www5.mercedes-benz.com/en/innovation/4matic-all-wheel-drive-for-compact-models-cla/>
- [20] *Autoevolution* [online]. 2011 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: <http://www.autoevolution.com/news/nissan-gt-r-s-secret-attesa-e-ts-awd-system-explained-35006.html>
- [21] *Motorauthority* [online]. 2012 [cit. 2014-04-30]. Dostupné z: http://www.motorauthority.com/news/1076708_2013-volkswagen-golf-gti-mkvii-to-produce-260-horsepower
- [22] *Auto.idnes.cz* [online]. 2012 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: http://auto.idnes.cz/ojeta-honda-prelude-0oh-/auto_ojetiny.aspx?c=A121109_102859_auto_ojetiny_fdv
- [23] *Auto.cz* [online]. 2013 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/audi-rs7-72361>
- [24] *Invelt* [online]. [2013] [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.invelt.com/assets/X5/Nov-BMW-X5.pdf>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

4ETS	4 wheel Electronic Torque Split
4Matic	4 wheel drive automatic
ACD	Active Center Differential
ADB-X	Automatic Differential Brake
ATTESA E-TS	Advanced Total Traction Engineering System for All-terrain with Electronic Torque Split
ATTS	Active Torque Transfer System
AYC	Active Yaw Control
BMW	Bayerische Motoren Werke
DCCD	Driver's Control Center Differential
GTI	Gran Turismo Injection
SH-AWD	Super Handling- All Wheel
Torsen	Torque Sensin
WRX STI	World Rally Cross Subaru Tecnica Internation