

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

SOUČASNÝ STAV A VÝVOJOVÉ TENDENCE V KONSTRUKCI DIFERENCIÁLU

PRESENT STATE AND DEVELOPMENT TRENDS OF DIFFERENTIAL GEAR DESIGN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MIROSLAV HERKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR
BRNO 2009

ING. ONDŘEJ BLAŽÁK

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Miroslav Herka

který/která studuje v bakalářském studijním programu

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

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

Současný stav a vývojové tendence v konstrukci diferenciálů

v anglickém jazyce:

Present State and Development Trends of Differential Gear Design

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracujte přehled konstrukčních řešení diferenciálů osobních automobilů.

Cíle bakalářské práce:

1. Zpracujte přehled konstrukčních řešení diferenciálů osobních automobilů.
2. Rozeberte v současnosti nejpoužívanější systémy.
3. Formulujte tendence vývoje v oblasti konstrukce diferenciálů osobních automobilů (elektronicky řízené diferenciály, tzv. dynamické diferenciály atd.).

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ondřej Blaták

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 30.10.2008

L.S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Miroslav Herka

Bytem: Velkopavlovická 1, Brno 628 00

Narozen/a (datum a místo): 31.7.1986, Brno

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

akulta strojního inženýrství

se sídlem Technická 2896/2, 619 69, Brno

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.

(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
 - diplomová práce
 - bakalářská práce
 - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Současný stav a vývojové tendence v konstrukci diferenciálů

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Ondřej Blaťák

Ústav: Automobilního a dopravního inženýrství

Datum obhajoby VŠKP: 15.6. 2009

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

tištěné formě – počet exemplářů 2

elektronické formě – počet exemplářů 1

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ihned po uzavření této smlouvy
 - 1 rok po uzavření této smlouvy
 - 3 roky po uzavření této smlouvy
 - 5 let po uzavření této smlouvy
 - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Anotace

Cílem této práce bylo sestavit přehled konstrukčních typů diferenciálů osobních aut. Práce má rešeršní charakter, tudíž se zde nevyskytuje žádný vlastní konstrukční návrh, ale obsahuje všechny nejpoužívanější typy diferenciálů. Případně může tato práce sloužit jako učební pomůcka pro odborné školy.

Annotation

The aim of graduated work was showed overview construction types of differential gears of passenger vehicles. The work has recherche karakter therefore it is without own systems design only contains all types of the most use differential gears. Eventually the essay can be used like learning aid for the technical school.

Bibliografická citace mé práce:

HERKA, M. *Současný stav a vývojové tendence v konstrukci diferenciálů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 28 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ondřej Blat'ák.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně, za použití uvedené literatury, pod odborným vedením pana Ing. Ondřeje Blatáka.

V Brně dne

.....

PODĚKOVÁNÍ

Autor využívá této příležitosti k poděkování Ing. Ondřejovi Blatákovvi za jeho strávený čas, cenné rady a odborné vedení této bakalářské práce.

Obsah:

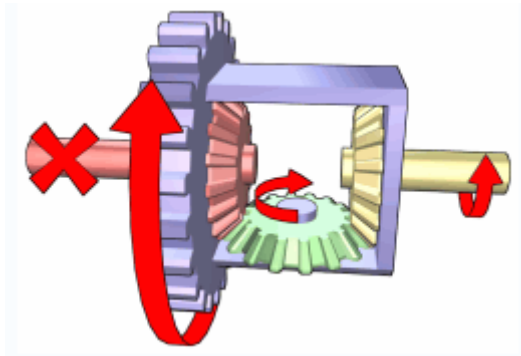
1. Úvod	9
2. Diferenciál – základní pojmy	10
2.1 Matematický (kinematický) rozbor diferenciálu	11
2.2 Závěr diferenciálu	12
3. Současně používané diferenciály	13
3.1 Kuželový diferenciál.....	14
3.2 Čelní diferenciál	14
3.3 Jednoduchý otevřený diferenciál.....	15
3.4 Samosvorný diferenciál.....	15
3.4.1 Samosvorný diferenciál s omezenou svorností LSD.....	16
3.4.2 Samosvorný diferenciál typu Torsen (šnekový).....	18
3.4.3 Samosvorný diferenciál s třecí lamelovou spojkou.....	19
3.5 Diferenciály používané u závodních aut.....	20
3.5.1 Kolíkový diferenciál.....	20
4. Mezinápravový diferenciál	21
4.1 Základní uspořádání	21
4.2 Diferenciál s viskózní spojkou	22
5. Automatické diferenciály	23
5.1 Elektronicky řízený diferenciál EDS	23
5.2 Dynamický diferenciál (Vectoring torque system)	24
6. Závěr :	27
7. Seznam použité literatury	28

1. Úvod:

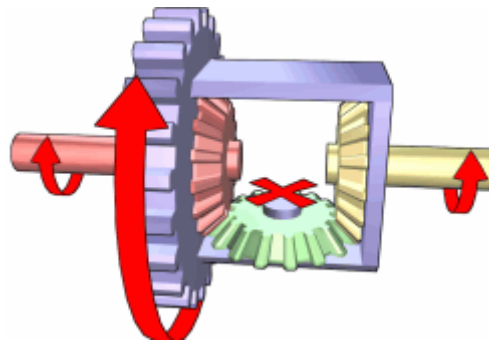
Úkolem mé bakalářské práce bylo zpracovat používané konstrukční typy diferenciálů a seznámit s jejich principy. Při vypracování jsem se zaměřil na osobní automobily, výhradně na pohon jedné nápravy. Větší část práce jsem věnoval současným používaným konstrukčním typům diferenciálů, kde jsem nejdříve vysvětlil mechanický princip diferenciálu a jeho závěr. Různou konstrukcí (např. Torsen) nebo typem závěru (různé přídavné komponenty např. viskózní spojka atd.) rozlišujeme řadu diferenciálů. Moderní trend dnešní doby je vše automatizovat, nebo elektronicky řídit, to se samozřejmě projevuje v konstrukci samotného diferenciálu i v jeho funkci (viz kapitola 5). Tato práce neměla charakter výzkumného nebo konstrukčního řešení, ale z dostupných dokumentů (knih, skript a internetových stránek) jsem se snažil splnit cíle zadaného projektu.

2.Diferenciál- základní pojmy

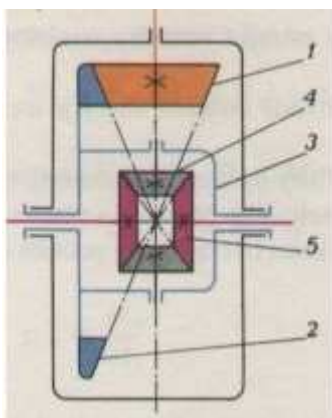
Diferenciál je převodové ústrojí, které samočinně umožňuje rozdílné otáčky levého a pravého hnacího kola, respektive přední a zadní nápravy motorového vozidla s pohonem obou náprav. Uplatňuje se v případě, konají-li obě kola nebo nápravy nestejnou dráhu, např. jízda v zatáčce nebo jízda na kluzné vozovce. Diferenciál rovněž rovnoměrně rozděluje točivý moment a obě kola.



Obr.1 Schéma diferenciálu při různých otáčkách výstupních hřídelí (průjezd zatáčkou)[5]



Obr.2 Schéma diferenciálu při stejných otáčkách výstupních hřídelí (jízda po přímé vozovce)[5]



1. hnací pastorek
2. talířové kolo (stálý převod)
3. klec diferenciálu
4. satelity
5. centrální (planetová) kola

Obr. 3 Schéma automobilového diferenciálu[4]

Přímá jízda:

Při přímé jízdě jsou otáčky obou hnacích hřídelů stejné. Otáčky i hnací moment se přenáší s pastorku na hnané kolo stálého převodu, pevně spojené s klecí diferenciálu, s níž se společně otáčejí. Otáčky se přenášejí přes satelity na planetová kola. Satelity se točí společně s klecí, ale neotáčejí se na svých čepech. Planetová kola mají stejné otáčky jako klec diferenciálu a točivý (hnací) moment se rozděluje rovnoměrně na planetová kola přes hnací hřídele na kola vozidla.

Jízda v zatáčce:

Při jízdě v zatáčce se vnitřní kolo odvaluje po kratší dráze než vnější. Hřídel každého kola je poháněno přes diferenciál (a to postupně přes klec diferenciálu, čep satelitů, satelity a planetová kola). Satelity se točí s klecí diferenciálu, ale tentokrát se současně točí na čepech satelitů a tím vyrovnávají různé otáčky levého a pravého hnacího kola. Po projetí zatáčkou se činnost diferenciálu ukončí, satelity se na čepech přestanou otáčet a opět se točí jen společně s klecí diferenciálu.

2.1 Matematický (kinematický) rozbor diferenciálu

Při přímé jízdě opisují obě kola stejnou dráhu, tedy pro přímou jízdu platí, že úhlové rychlosti a otáčky se rovnají. Točivý moment přivedený na skříň diferenciálu je přenášen rovným dílem na obě dvě hnací hřídele.

$$\omega_l = \omega_p ; n_l = n_p$$

indexy: l značí levé kolo

$$M_l = M_p = M_t/2$$

p značí pravé kolo

t točivý (moment)

Při jízdě zatáčkou se začnou obě kola odvalovat po různých poloměrech, což znamená, že vnější kolo musí mít větší otáčky než vnitřní[1].

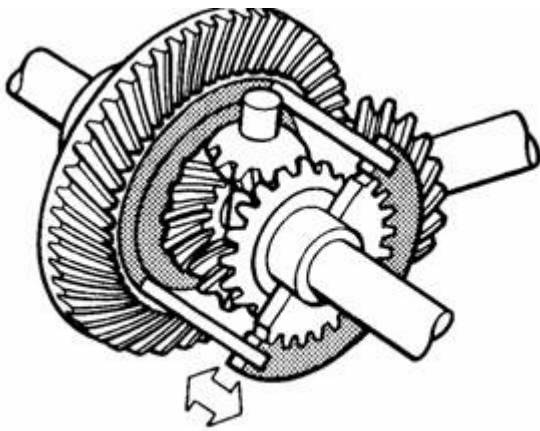
$$\omega_l := \frac{v_l}{r_d} = v_t \cdot \frac{R - \frac{a}{2}}{r_d \cdot R} \quad (2.1)$$

$$\omega_p := \frac{v_p}{r_d} = v_t \cdot \frac{R + \frac{a}{2}}{r_d \cdot R} \quad (2.2)$$

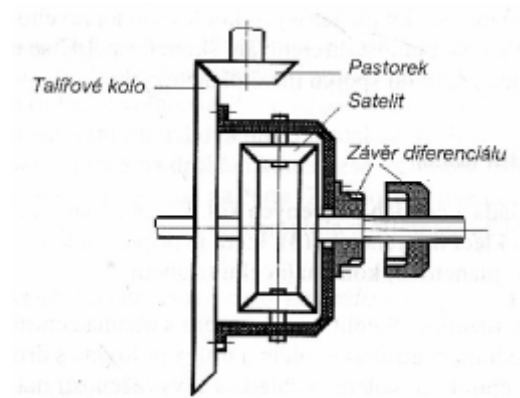
Je-li vzdálenost (rozchod) kol a , poloměr kol r_d , poloměr kružnice, kterou opisuje střed nápravy R a rychlosti toho středu v_t , pak úhlové rychlosti kol se rovnají ω_l, ω_p . Vztahy jsou uvedeny pro jízdu v levou zatáčkou[1].

2.2 Závěr diferenciálu

Normální funkce diferenciálu spočívá v rozdělování přiváděného točivého momentu na dva stejně velké výstupní točivé momenty, pro levé a pravé kolo. A nezávisle na tom jestli otáčky pravého či levého kola jsou stejné nebo rozdílné. Z hlediska adheze (přilnavost kol k vozovce) je důležité vyřadit diferenciál z funkce. Nejčastější adhezní podmínky jsou na klzké vozovce, ledě nebo na blátě. Závěr diferenciálu spočívá zablokováním centrálních (planetových) kol vzhledem ke kleci, čímž se zabrání otáčení satelitů a diferenciál se musí otáčet jako celek. K zablokování diferenciálu se např. používá přesuvná objímka, zubová spojka atd.



Obr. 4 Mechanická uzávěrka diferenciálu [4]

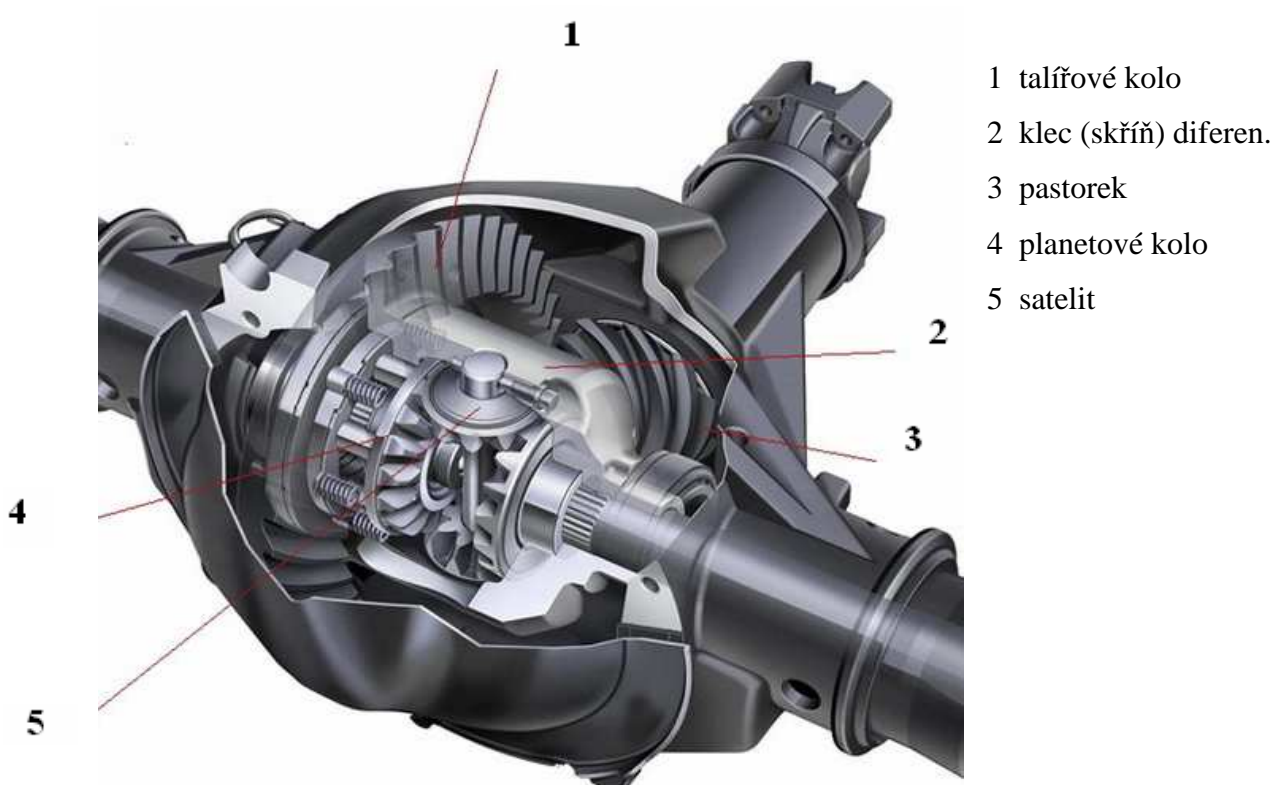


Obr. 5 Schématický závěr diferenciálu[3]

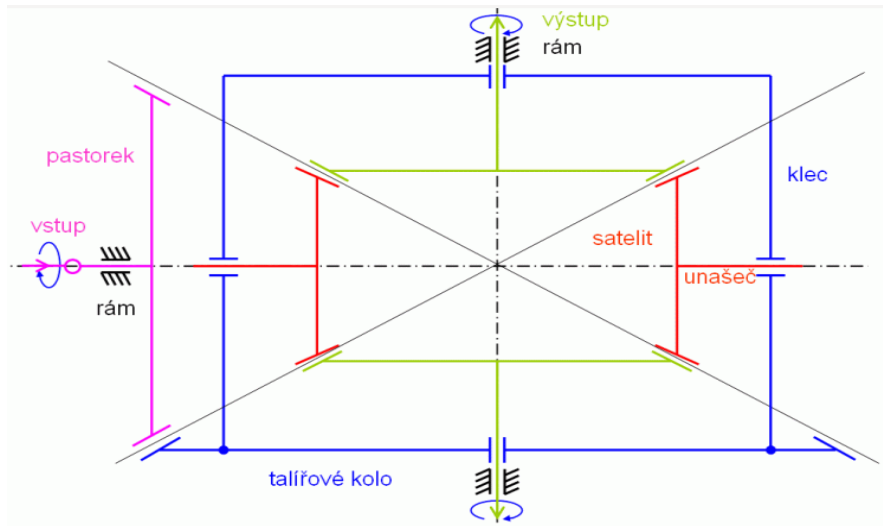
3. Současně používané diferenciály

3.1 Kuželový diferenciál

Kuželový diferenciál má vyrovnávací soukolí vytvořené z kuželových kol s přímými zuby. Nosnou část celého ústrojí tvoří klec diferenciálu, která je přišroubována na hnané kolo stálého převodu (na talířovém kole). Hnací náprava automobilu má dva hnací hřídele kol. Hnací hřídel je na jednom konci spojena kolem vozidla a na druhém konci nese centrální (planetové) kolo diferenciálu. Mezi planetovými koly jsou na čepu uložena dvě nebo čtyři kuželová kola – satelity.



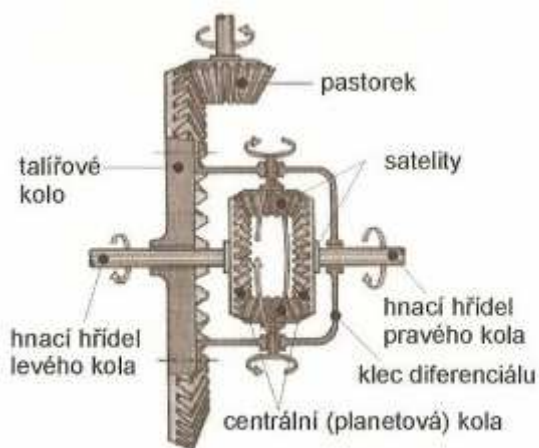
Obr. 6 Kuželový diferenciál [6]



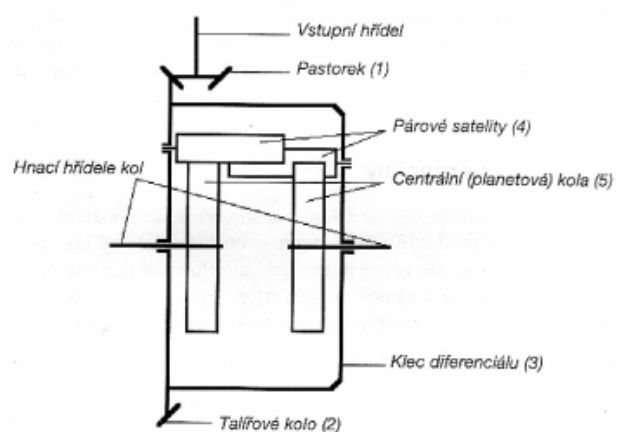
Obr. 7 Schéma kuželového diferenciálu

3.2 Čelní diferenciál

Čelní diferenciál (viz Obr. 8) se skládá z čelních ozubených kol. Podobně jako diferenciál kuželový je tvořen pastorkem a klecí diferenciálu, která je připevněna na talířové kolo. Satelity a centrální (planetová) kola mají čelní ozubení. Uspořádání kol je rozdílné. Satelit není v záběru s oběma centrálními koly, ale polovina satelitu zabírá s jedním centrálním kolem a druhá polovina s druhým satelitem, který je v záběru s druhým centrálním kolem. Diferenciál má dva páry satelitů, které jsou vzájemně pootočený o 180°. Princip je stejný jako u kuželového diferenciálu.[3]



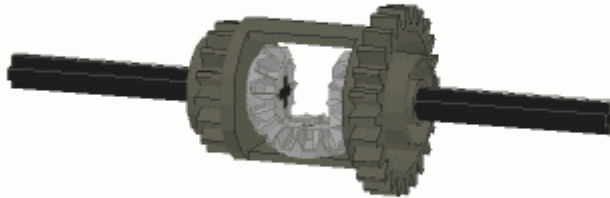
Obr. 8 Čelní diferenciál



Obr. 9 Schématický čelní diferenciál[3]

3.3 Jednoduchý otevřený diferenciál

Otevřený diferenciál je nejrozšířenějším typem v motorových vozidlech. Je tvořen obvykle klecí se dvěma volně otočnými kuželovými ozubenými koly, která zabírají do ozubených kol na výstupních hřídelích. Celá klec je poháněna od převodovky. Přiváděný točivý moment se tak rozděluje na oba výstupy vždy rovným dílem. Otevřený diferenciál nikdy neposkytne jednomu výstupu větší moment než druhému, bez ohledu na rozdíl jejich otáček, prokluzu nebo zatížení kol. Pokud dojde ke snížení adheze jednoho kola natolik, že začne prokluzovat, sníží se jeho odpor proti otáčení a tím i přiváděný moment. To má však za následek i okamžité snížení momentu o stejnou hodnotu na druhém neprokluzujícím kole. Obě kola tak táhnou méně, jedno sice prokluzuje a točí se výrazně rychleji, ale momenty a tažné síly obou se nadále rovnají. Snížení tažné síly jednoho kola se tak projeví dvojnásobně a celkový tah auta výrazně poklesne. Což se dá považovat za nevýhodu.



Obr.10 Otevřený diferenciál [7]

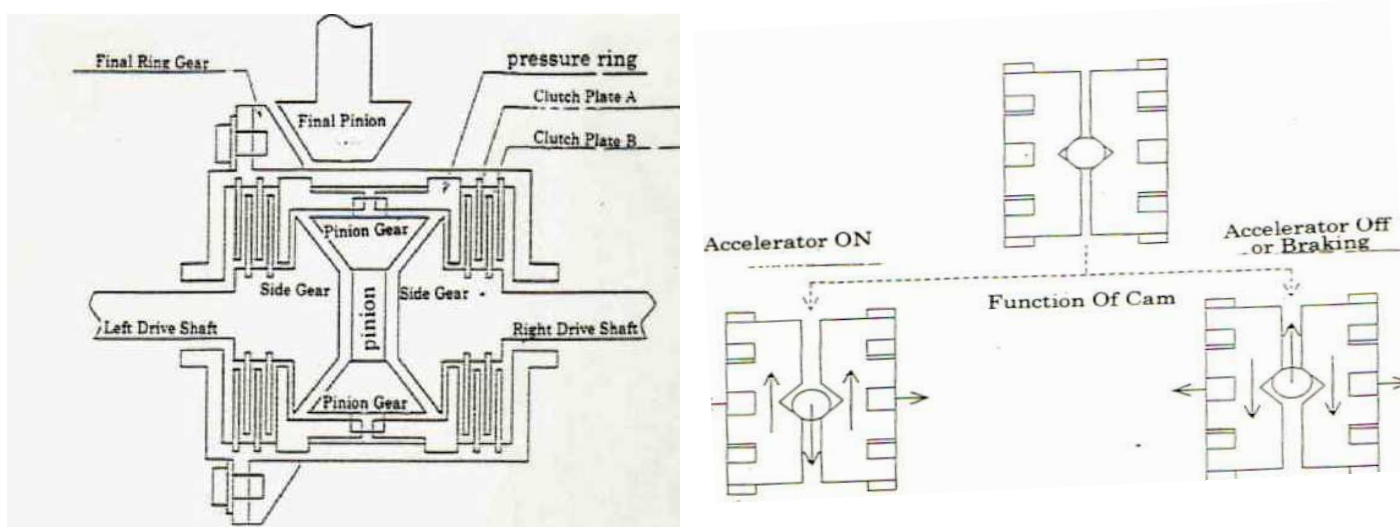
3.4 Samosvorný diferenciál

Vlastnosti diferenciálu jsou dány jeho mechanickou účinností, (ztrátami vznikajícími vzájemným pohybem jeho hlavních dílů ozubených kol). Běžný souměrný diferenciál s kuželovými nebo čelními koly a přímými zuby má poměrně vysokou účinnost a může proto dělit točivý moment v poměru jen málo se lišícím od 1:1. Aby mohl na jednu stranu přenášet výrazně víc než 50% přiváděného momentu, musí mít nižší účinnost (resp. méně správně vyšší svornost). Samosvorné diferenciály se dělí na klasické samosvorné, diferenciály s omezenou svorností (tzv. LSD), diferenciál typu Torsen a samosvorný diferenciál s viskózní spojkou. [1]

3.4.1 Samosvorný diferenciál s omezenou svorností LSD (Limited Slip)

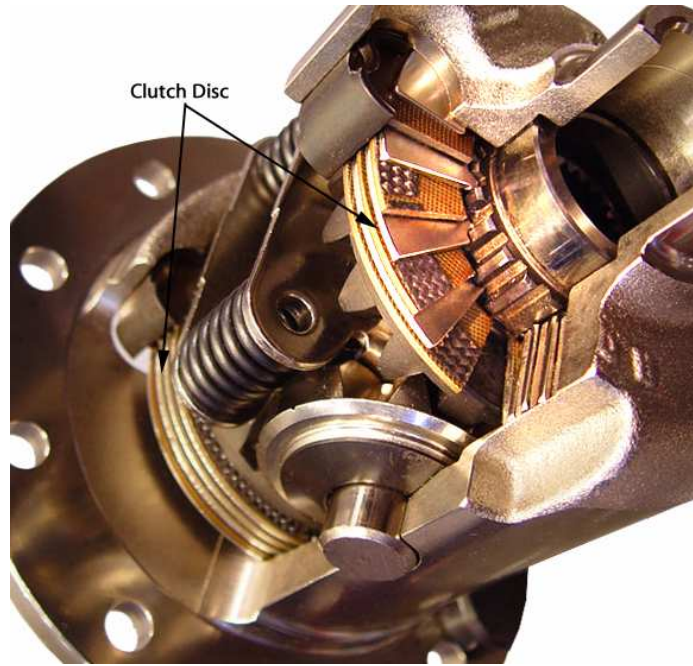
Differential

Každý samosvorný diferenciál vychází z konstrukce (mimo Torsen) z běžného standardního (kuželového) diferenciálu. Jak můžete vidět (viz obr. 11), mezi oba přítlačné kotouče (pressure ring) je umístěný křížový hřídel (pinion), satelity kuželového převodu (pinion gear) i samotná centrální kola (side gear) pohánějící hnací hřídele. Za každým přítlačným kotoučem je umístěno několik třecích lamel (clutch plate), střídavě uchyceny napevno ke kleci diferenciálu (vnější) a k centrálnímu kolu (vnitřní). V okamžiku, kdy na diferenciál začne působit síla motoru, začne se celé tělo diferenciálu otáčet a s ním i křížový hřídel uložený v drážkách přítlačných kotoučů, které mají trojúhelníkový tvar díky kterému jsou, vlivem působící síly, oba přítlačné kotouče tlačeny od sebe proti tělu diferenciálu (viz obr.11). Takto vzniklý tlak působí na třecí lamely, které jsou tímto přitlačovány jedna ke druhé. Toto způsobí, že poháněná kola jsou postupně uzamykána dohromady v závislosti na síle dodávané motorem. Tento efekt omezuje prokluz kol při rychlém průjezdu zatáčkou a rovnoměrně přenáší sílu na kola při akceleraci. I v případě brzdění poskytuje LSD větší trakci, menší boční posun a snadné zatáčení.[9]

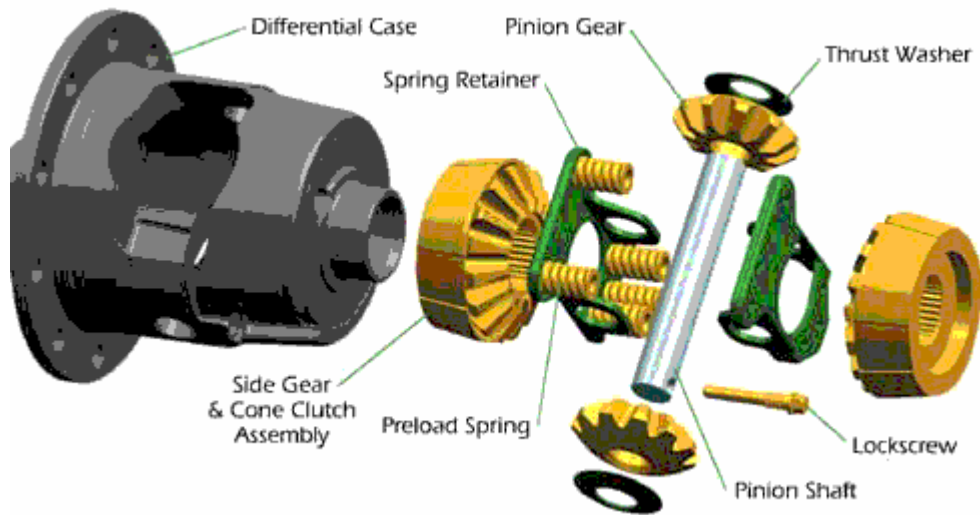


Obr. 11 Schéma LSD diferenciálu[9]

Podle výrobců máme různé typy LSD diferenciálů a obecně jsou rozdělovány na diferenciály tzv. jednocestné, částečně dvoucestné a dvoucestné. Toto označení reprezentuje konstrukci (druh) drážky přítlačných kotoučů, ve kterých je uložen křížový hřídel kuželového soukolí diferenciálu. Jednocestným diferenciálem se rozumí konstrukce zamykající hnaná kola jen v jednom směru, při akceleraci. Dvoucestný diferenciál naopak zamyká hnaná kola v obou směrech. Při akceleraci a i deakceleraci. Částečně dvoucestný diferenciál je v podstatě stejný jako diferenciál dvoucestný s tím rozdílem, že míra uzamčení kol je při deakceleraci menší, než při akceleraci. Poskytuje větší stabilitu při brzdění.[9]



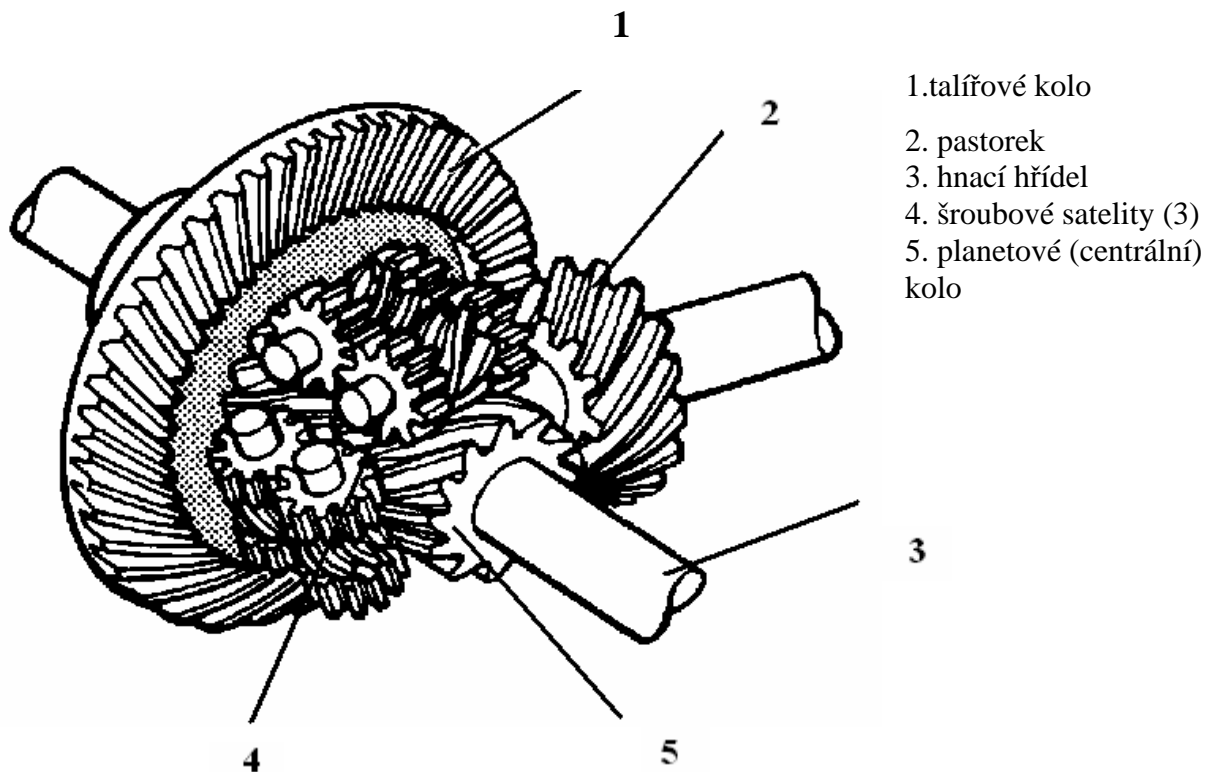
Obr.12 Samosvorný diferenciál LSD



Obr. 13 Součásti samosvorného diferenciálu LSD

3.4.2 Samosvorný diferenciál typu Torsen (šnekový)

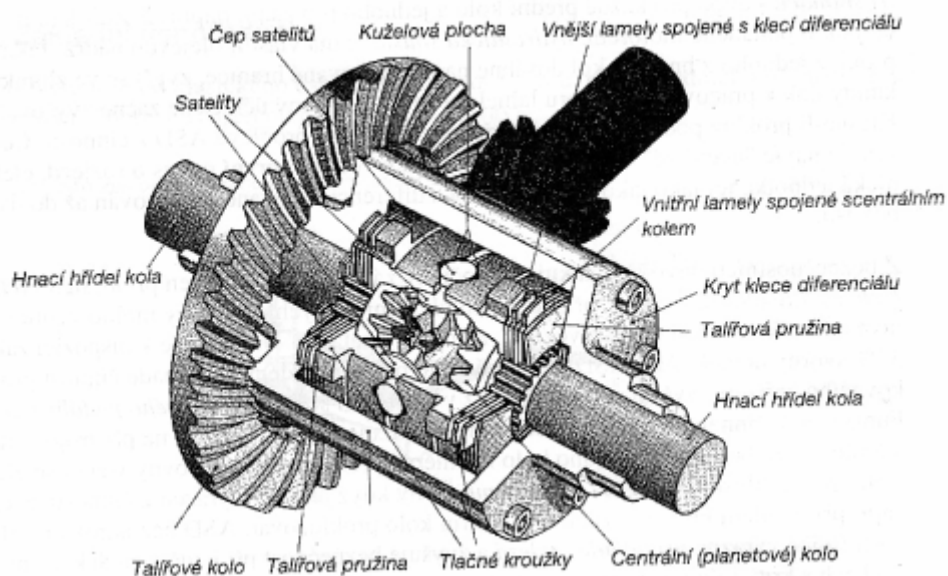
Funkce tohoto diferenciálu, využívá vlastností šnekového převodu, jenž může přenášet točivý moment ze šneku na šnekové kolo, ale nikoli naopak. U diferenciálu Torsen jsou šneky planetovými koly, kdežto satelity tvoří tři dvojice šnekových kol malého průměru. Satelity též dvojice jsou vzájemně spojeny čelními koly s přímými zuby a každý zabírá s jedním planetovým kolem. Při přímé jízdě a stejné adhezi kol se otáčí diferenciál jako celek, otáčky klece a obou planetových kol jsou stejné a na každé kolo se přenáší stejný hnací moment. Zhorší-li se adheze jednoho kola (např. vlivem menšího zatížení), nemůže se protáčet, poněvadž není možný přenos otáčivého pohybu ze satelitů na planetové kolo jako u čelního nebo kuželového diferenciálu. Díky svornému účinku se ale zvětší podíl hnacího momentu připadající na kolo s lepší adhezí. Naopak v zatáčce ani zvýšená svornost neomezuje vyrovnávací činnost diferenciálu a obě kola se valí po vozovce otáčkami odpovídajícími jejich dráze. Svornost, resp. mechanická účinnost diferenciálu závisí na geometrii ozubení šnekového. Diferenciál Torsen se užívá jako nápravový i mezinápravový. Svorného účinku se dosahuje třením ve šroubovém ozubení planetových kol a satelitů. [1,4,7]



Obr. 14 Samosvorný diferenciál Torsen [4]

3.4.3 Samosvorný diferenciál s třecí lamelovou spojkou

Samosvorný diferenciál s lamelovou spojkou (viz obr. 15) má svorný účinek až 35%, to znamená že zvyšuje podíl točivého (hnacího) momentu připadající na neprokluzující kolo téže nápravy o tuto hodnotu. Funkci uzávěrky diferenciálu plní lamelová spojka. Jde o vícelamelovou spojkou, jedna sada lamel (vnější) je spojena s klecí diferenciálu a druhá (vnitřní) jsou spojeny s centrálním kolem. Pokud se lamely stlačí k sobě, spojí se tím hřídele napevno dohromady a diferenciál je tím uzavřen. Lamely jsou k sobě stlačovány hydraulicky. Při ztrátě adheze na jedné z náprav dojde k protočení hřídelí vůči sobě, je zvýšen tlak v hydraulickém okruhu stlačujícím lamely k sobě a tím dojde k částečnému či úplnému zablokování diferenciálu. Tlak je vytvářen axiálním čerpadlem. Výše tlaku je regulována elektronikou dle aktuálních podmínek.



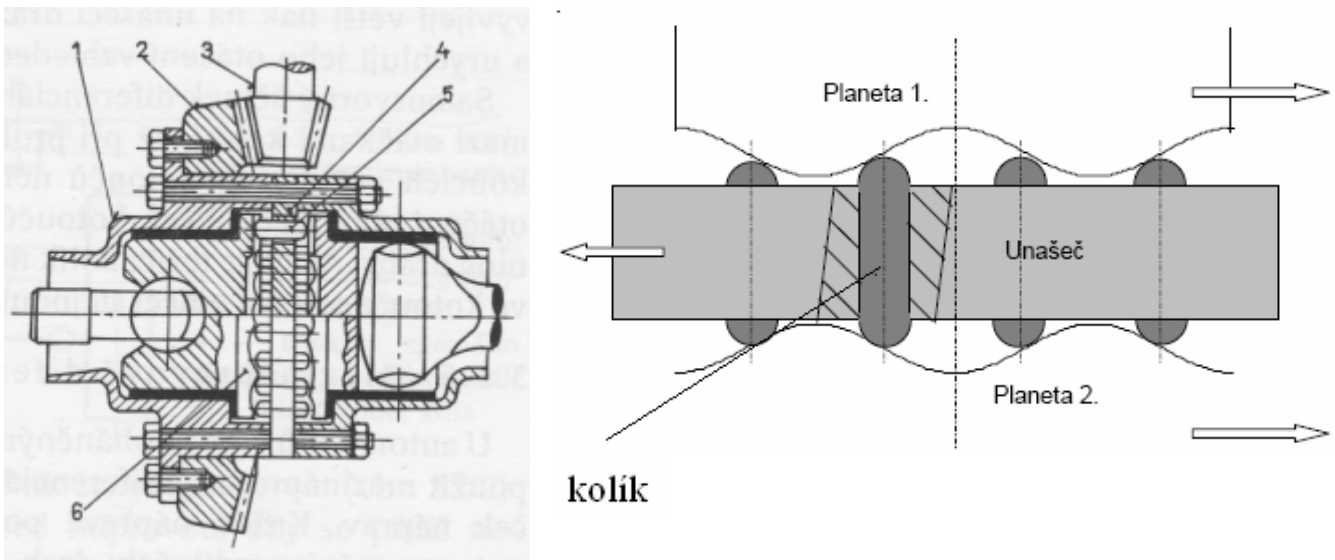
Obr. 15 Samosvorný diferenciál s třecí lamelovou spojkou [3]

3.5 Diferenciály používané u závodních aut

U závodních aut se používají diferenciály typu samosvorný (viz kapitola 3.4), samosvorný s omezenou svorností tzv.LSD (viz kapitola 3.4.1), Torsen (viz kapitola 3.4.2) a kolíkový.

3.5.1 Kolíkový diferenciál

U kolíkového diferenciálu se přenáší hnací moment na jednotlivé hřídele pomocí kolíků. Klec diferenciálu má volně uložené vačkové kotouče, které mají na vnitřní straně vybroušené kluzné dráhy pro kolíky. Vačkové kotouče mají funkci centrálních planetových kol, mezi nimi je umístěn unášecí kotouč pevně spojený s klecí. V tomto kotouči jsou vyvrtány otvory, kterými jsou vedeny kolíky, tak že se mohou posouvat ve směru své osy. Při otáčení klece diferenciálu se otáčí i unášecí kotouč s kolíky. Při přímé jízdě se klec diferenciálu s vačkovými kotouči otáčí jako celek. Při jízdě v zatáčkách je na vnitřním kole větší odpor, tím se vačkový kotouč zpomalí a unášecí kolíky na jeho dráze prokluzují. Druhé konce kolíků vyvíjejí větší tlak na unášecí dráze druhého vačkového kotouče a urychlují jeho otáčení vzhledem ke kleci. Samosvorný účinek diferenciálu vzniká až při větších rozdílech mezi otáčkami kol (např. při prokluzu).[8]



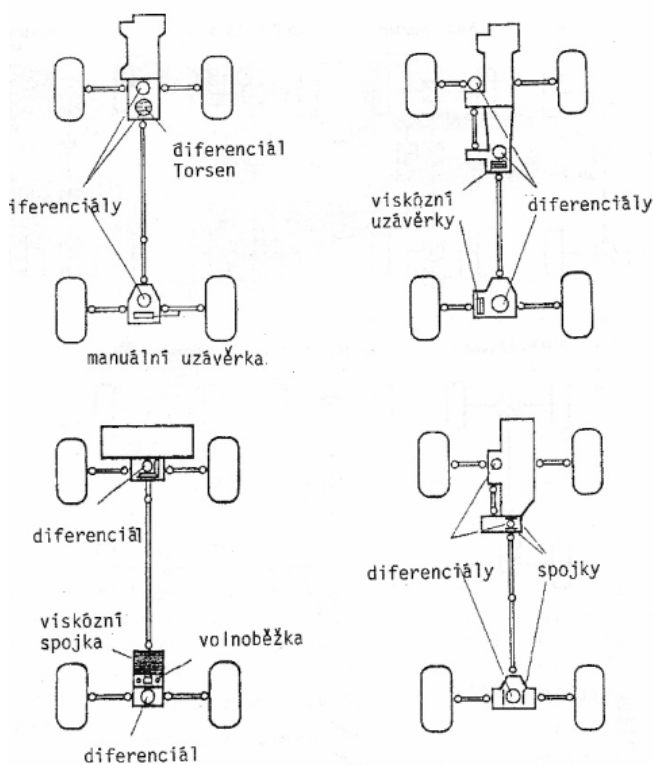
Obr. 16 Princip kolíkového diferenciálu

1. klec diferenciálu
- 2,3. kola stálého převodu hnací nápravy
4. unášecí kotouč
5. kolík
6. vačkový kotouč

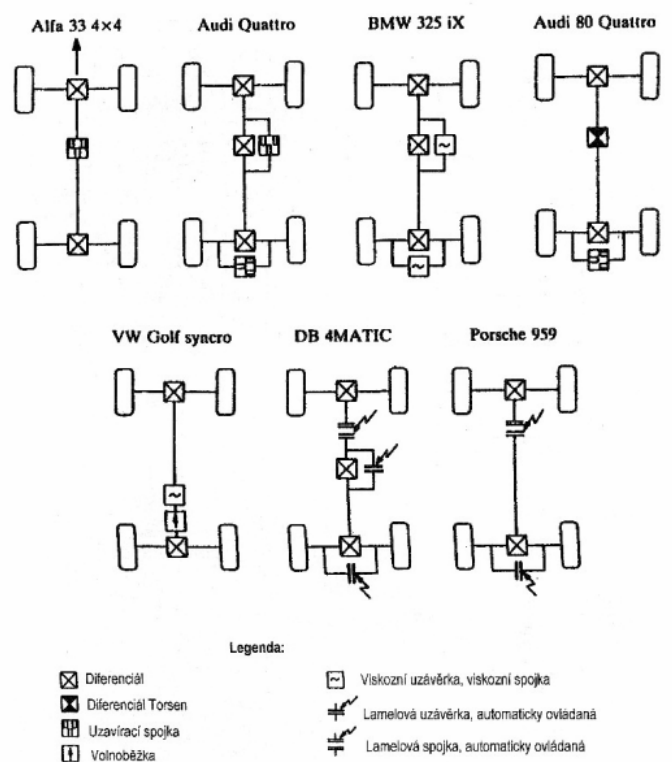
4. Mezinápravový diferenciál

Mezinápravový diferenciál se používá u automobilů pohonu všech kol. Tyto automobily mají k tomu ještě dva diferenciály na každé nápravě. Pohon druhé nápravy může být zapínán manuálně nebo je permanentní. V dnešní době je zapínán samočinně, nejčastěji k tomuto účelů slouží viskózní spojky. Mezinápravový diferenciál bývá konstruován symetrický nebo lépe nesymetrický, kdy se poměr přenášených momentů rozdělí v poměru zatížení náprav. Zvýšení svornosti u mezinápravových diferenciálů se řeší několika způsoby, kromě šnekového diferenciálu se používá již zmiňovaný diferenciál s viskózní spojkou a jako zvláštní případ spojka Haldex (VW), což je kombinace viskózní spojky s hydraulickým brzděním. Spojka Haldex je vybavena elektronickým systémem, který napomáhá rychlosti její funkce. Nejde o diferenciál v pravém slova smyslu, ale o spojku, která na základě rozdílu otáček kol přední a zadní nápravy připojuje k trvalému pohonu přední nápravy pohon nápravy zadní s možností určitého prokluzu.

4.1 Základní uspořádání



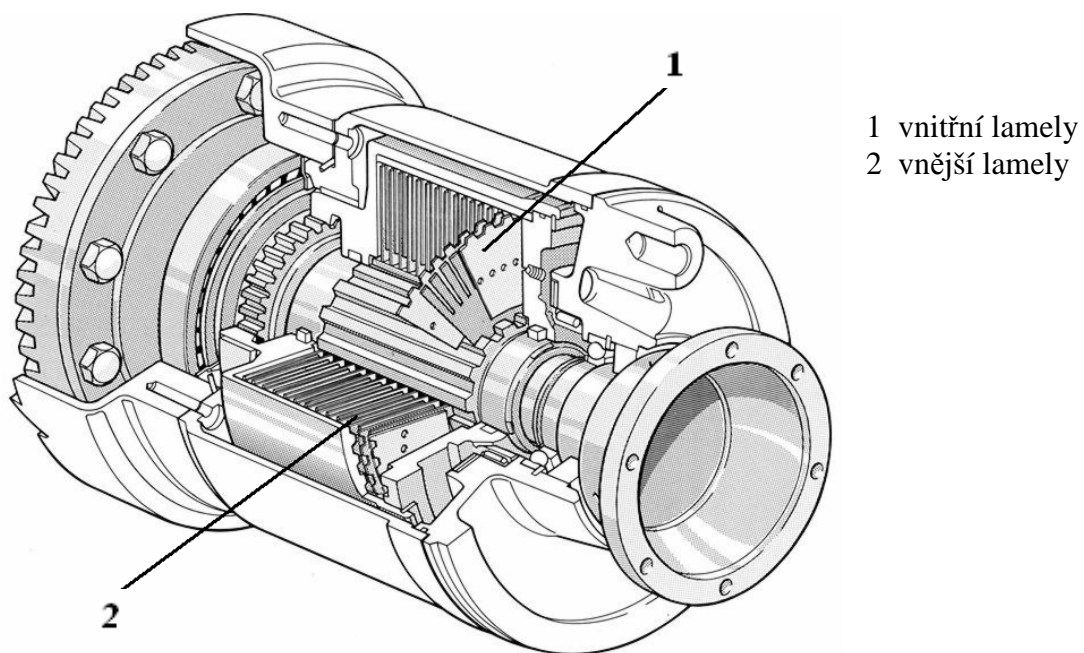
Obr.17 Principy různých systémů pohonu všech kol [1]



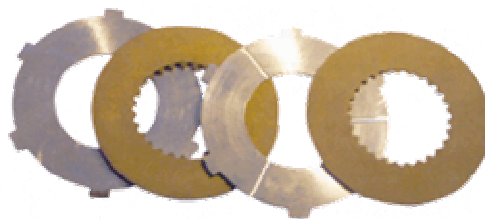
Obr. 18 Příklady pohonu všech kol [1]

4.2 Diferenciál s viskózní spojkou

Viskózní spojka je součástí převodového ústrojí, zejména pohonu všech kol, měnící jeho účinnost podle trakčních schopností předních a zadních kol. Je to vícelamelová spojka uzavřená ve skříni naplněné silikonovou kapalinou vysoké viskozity. Každá ze dvou sad lamel je spojena s jedním hnacím hřídelem. Jsou-li adhezní podmínky předních a zadních kol stejné, otáčí se spojka jako celek. Se zvětšujícím se rozdílem otáček roste v závislosti na viskozitě kapaliny, odpor proti vzájemnému otáčení lamel a větší část hnacího momentu se přenáší na kola s lepšími trakčními schopnostmi. Viskózní spojka má výhodu samočinnosti, plynulé změny účinností, je nehlukná a neopotřebovává se, neboť jednotlivé lamely nejsou v přímém styku, ale obaleny tenkou vrstvou kapaliny. Navíc působí jako tlumič záběru a chrání převodové ústrojí před rázy. Viskózní spojku tvoří dvě soustavy lamel vzájemně oddělených malými spárami a uložených ve skříni naplněné kapalinou vhodné viskozity.[7]



Obr. 19 Viskózní spojka [7]



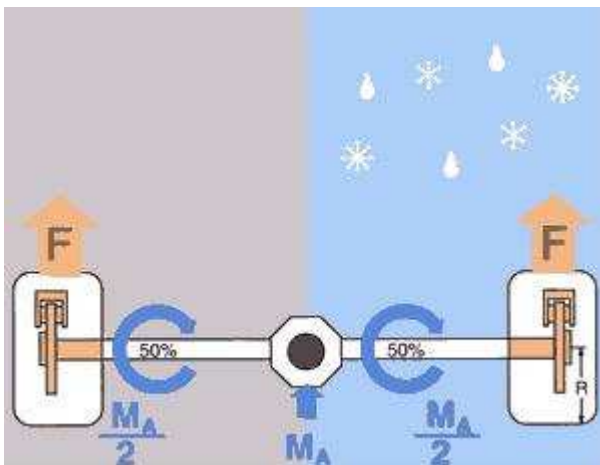
Obr. 20 Lamely diferenciálu [7]

5. Automatické diferenciály (Vývojová tendence)

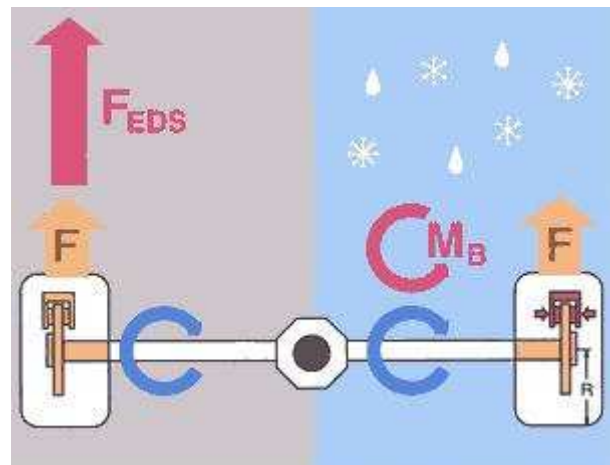
Výrobní pokroky v konstrukci diferenciálu se soustředí na zlepšení mechanismu závěru diferenciálu, které často využívá řídicí jednotky. Jde především o elektronické, dynamické vyhodnocení jízdních vlastností, kdy se jedná například o trakci, prokluz i o rozdělovaných točivých momentech.

5.1 Elektronicky řízené diferenciály

Jedná se o elektronickou uzávěrku diferenciálu EDS (Electronic Data Systems). Princip systému je, že EDS umožňuje přibrzdění protáčejiícího se hnacího kola a tím převést výkon na vozovku s rozdílnou adhezí na levé a pravé straně. EDS samočinně přibrzdí protáčejiící se kolo hnací nápravy s cílem vyrovnat silový poměr na obou kolech. Řídicí jednotka pomocí snímačů systému ABS sleduje a vyhodnocuje otáčení hnacích kol. Pokud rozdíl hodnot odpovídá prokluzu kol, vyšle signál a systém ABS/EDS protáčejiící se kolo přibrzdí. Tím vyrovná momenty na obou kolech a výsledný účinek je podobný jako u mechanického uzávěru diferenciálu. U poháněné nápravy s diferenciálem působí za předpokladu stejných adhezních poměrů mezi pneumatikou a kolem stejně velký krouticí moment M_A (viz obr 21). Pokud je na jedné straně vozovky více kluzký povrch, tedy povrch s nižší adhezí, určuje velikost přenášeného hnacího momentu kolo s nižším součinitelem tření. Nápravový diferenciál stále rozděluje hnací moment v poměru 50:50, a pokud jedno kolo nemůže přenést hnací moment, sníží se velikost přenášeného momentu na obou kolech současně. Dojde-li k překročení hranice přilnavosti na jednom kole, kolo se začíná protáčet.



Obr. 21 Adhezní podmínky na vozovce

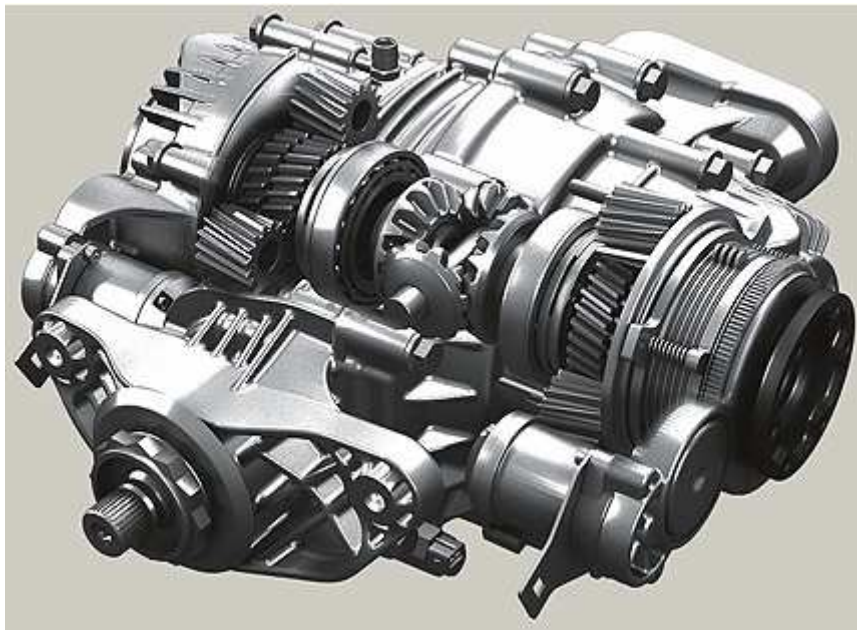


Obr. 22 Vyvolaný brzdový moment

Nyní začíná fungovat systém elektronické uzávěru diferenciálu. Protáčení kola s nižší adhezí ihned zaznamená řídicí jednotka ABS/EDS prostřednictvím snímače otáček. Řídicí jednotka ECU začne mírně přibrzďovat protáčejiící se kolo. Tím vyvolá brzdový moment M_B (viz obr. 22), který pomůže dorovnat momentový poměr na nápravě. Díky tomuto brzdnému momentu může nyní kolo s vyšší adhezí přenášet větší sílu na vozovku a nedochází k prokluzu.

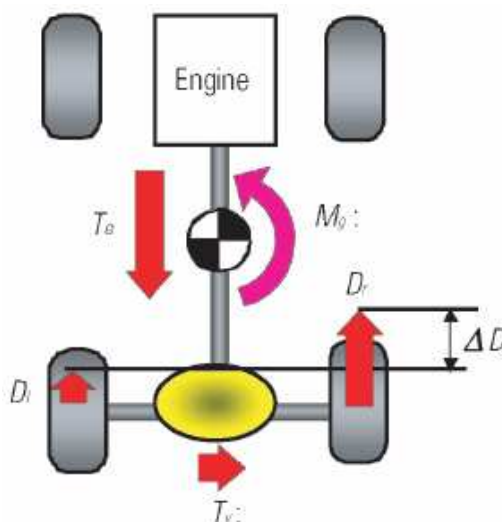
5.2 Dynamicky diferenciál (Vectoring torque system)

Mezi pravou hnací hřídelí kola a skříní diferenciálu jsou vloženy dvě lamelové spojky (viz obr. 23). Výstupy těchto spojek jsou napevno spojeny s hnací hřídelí a mezi vstupy a skříní diferenciálu jsou vloženy převody. Spojka vpravo je hnána „do rychla“ (vstup do spojky se vždy točí rychleji než koš diferenciálu), zatímco spojka vlevo je hnána „do pomala“ (vstup do spojky je vždy pomalejší než koš diferenciálu). Když je potřeba urychlit pravé zadní kolo, začne se spínat pravá spojka a hnací pravá hřídel je urychlována. Zároveň se o stejnou hodnotu zpomaluje hřídel vlevo. Pokud je potřeba urychlit levé zadní kolo, začne se spínat levá spojka, což zpomaluje pravou hřídel a o stejnou hodnotu urychluje hřídel levého kola. Systém pracuje kontrolovaným řízením rozdělení točivého momentu na levé nebo pravé kolo, které je vyvoláno dynamickým diferenciálem, který také vyhodnotí hnací sílu působící na jedno kolo T_v/R a brzdící sílu na jiné kolo T_v/R . Potom se vyhodnotí délkový rozdíl hnacích sil ΔD a výsledek momentu se aktivuje na vozidlo. Jestliže $T_v = 0$ (vektorový točivý moment je roven 0), tak jsou rovnoměrně poháněná obě kola nápravy. Systém začíná pracovat, když řídicí systém vyhodnotí rozdílné otáčky z motoru a otáčky pohánějící levé či pravé kolo. K tomuto dochází, když se vozidlo nachází v zatáčce nebo má proměnlivý hnací točivý moment, to nastane když vozidlo zpomaluje. Vectoring systém umožňuje optimálně rozdělit při průjezdu zatáčkou hnací točivý moment, jak mezi pravé a levé kolo jedné nápravy, tak i mezi přední a zadní nápravu.



Obr. 23 Sestava vectoring torque system

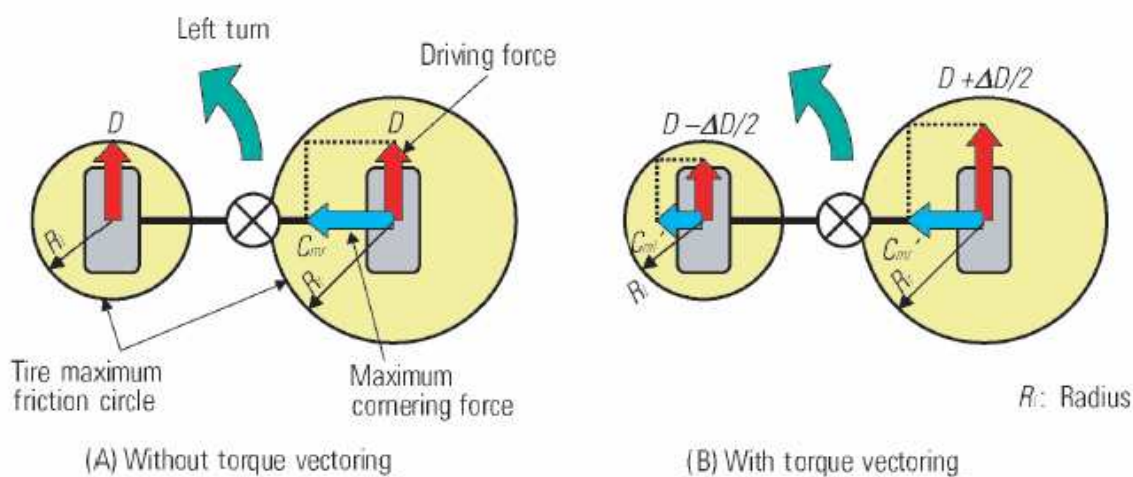
T_e – hnací moment
 T_v – vektorový točivý moment
 $D_{l,r}$ – hnací síly levé, pravé pneumatiky
 M_g – celkový moment Zatáčení
 ΔD – rozdíl hnací síly
 R – poloměr pneumatik



Obr. 24 Základní schéma vectoring torque systém

Na obrázku (viz obr.25) je vysvětlení vectoring systému. Je zde vidět maximální třecí síla z levé a pravé pneumatiky a také hnací síla působící na obě pneumatiky při maximálním bezpečném průjezdu zatáčkou. Například při průjezdu levou zatáčkou, díky bočnímu spojení zátěže přenáší třecí sílu na levou pneumatiku ta je menší než na pravé, kde není využit vectoring systém (viz obr. 25A), je třecí síla z levé pneumatiky předpokládána stejná jako hnací síla D , což má za následek, že je na obě kola rozdělována stejným podílem. Jenže hnací síla je menší než třecí síla na pravé pneumatice. Díky těmhle rozdílům je vyvolaná na pravém kole zatáčkou nejdůležitější síla C_{mr} . Při využití vectoring systému, kde na obou kolech jsou rozdílné hnací síly (viz obr. 25B) je schopné generovat každé kolo svoji maximální sílu vyvolanou průjezdem zatáčkou (levé C_{ml}' , pravé C_{mr}'). Potom celkovou sílu můžu vyjádřit jako:

$$\Delta C_m = C_{mr}' + C_{ml}' - C_{mr} \quad (5.1)$$



Obr. 25 Účinek vectoring torque system

Tire maximum friction circle – maximální tření pneumatik

Maximum cornering force – maximální síla vyvolaná zatáčením

Driving force – hnací síla

Ze vztahu 5.1 vyplývá, že torque vectoring systém snižuje celkovou maximální sílu ΔC_m z levé či pravé pneumatiky. Tudíž umožňuje bezpečný průjezd zatáčkou.

6. Závěr

Závěrem mé práce bych chtěl srovnat jednotlivé typy diferenciálů. Vlastně bych se chtěl zaměřit na srovnání vyhodnocených jízdních podmínek, které svým pokrokem urychlují ovladatelnost diferenciálu, což má za následek plynulejší jízdu, anebo naopak může poskytnout “ agresivnější“ průjezd zatáčkou. To nabízí LSD diferenciál. Tyhle výhody zejména pak využívají závodní automobily. Dále bych zdůraznil odlišný způsob funkce diferenciálu EDS, kdy po dosažení rozdílu otáček kol, odpovídající prokluzu, zaznamenané systémem ABS/EDS, začne přímo přibrzďovat prokluzující kolo, čímž se postupně vyrovná hnací moment na obou kolech (viz kapitola 5.1). Přitom u ostatních typů diferenciálů tuto funkci vykonává přímo diferenciál, nebo jeho příslušenství (například viskózní spojka atd.). Všechny uvedené funkce a činnosti, které jsou zmíněny v této práci, jsou nezbytnou podmínkou plynulé a hlavně bezpečné jízdy automobilem.

7. Seznam použité literatury

[1] VLK, František. Převody motorových vozidel. 1.vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2006. 371 s. ISBN 80-239-6463-1.

[2] VLK,František. Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. 1. vyd. Brno: Prof.Ing.František Vlk, DrSc, 2001. 576 s. ISBN 80-238-6573-0.

[3] JAN, Zdeněk, VÉMOLA , Aleš, ŽDÁNSKÝ, Bronislav. Automobily 2. Knihu sestavila Ing. Hana Chupíková. 1. vyd. Brno : Ing. Hana Chlupíková, c1997. 72 s.

[4] VÁŇA, Petr, et al. Www.skoda.panda.cz [online]. verze 1.0. Petr Váňa a internet panda studio, 1999-2008 , 1. února 2009 [cit. 2009-03-29]. Kódováno ve WIN-1250. Vychází každý týden. Text v češtině. 226 článku. Dostupný z WWW: <<http://skoda.panda.cz/clanek.php3?id=437>>. ISBN 80-239-0020-0.

[5] [Http://cs.wikipedia.org/wiki/Diferenciál_\(mechanika\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Diferenciál_(mechanika)) [online]. verze 1.0. USA(FLORIDA) : 1995 , poslední změna 25. 2. 2009 [cit. 2009-04-17]. Kódováno ve WIN-1250. Aktualizováno 1x týdně. Text v češtině, angličtině, němčině atd. Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Diferenci%C3%A1l_\(mechanika\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Diferenci%C3%A1l_(mechanika))>.

[6] NEUSCHL, Tomáš. Rozvodovka a diferenciál. At magazín [online]. 2004, č. 11/2004 [cit. 2009-04-17]. Měsíční vydání. Dostupný z WWW: <<http://www.atmag.sk/clanky/encyklopedia-tuningu/rozvodovka-a-diferencial/>>.

[7] Co je Diferenciál a jak to vlastně všechno funguje. Automobilový článek [online]. 1995 [cit. 2009-04-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.diopan.cz/citroenbx/diferencial.htm>>.

[8] PILÁRIK, Milan. Automobily. Dr. Vladimír Pešl; Ing. Tomáš Malina. Praha : SNTL-nakladatelství technické literatury, 1984. 308 s. ISBN 04-224-84.

[9] BERÁNEK, Jakub. LSD - Limited Slip Differential, lamelový typ. Odborný časopis [online]. 2007 [cit. 2009-04-18]. Dostupný z WWW: <<http://www.awdoc.cz/drupal/node/129#comment-8>>.