

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta strojní

12 120 - Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**EXTERNÍ SYNCHRONIZACE U
PŘEVODOVEK
UŽITKOVÝCH VOZIDEL**

**EXTERNAL SYNCHRONISATION OF TRANSMISSIONS OF UTILITY
VEHICLES**

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval(a) samostatně s použitím literárních pramenů a informací, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury a zdrojů informací.

Datum:

.....
podpis

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hůla** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **459884**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Teoretický základ strojího inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Externí synchronizace u převodovek užitkových vozidel

Název bakalářské práce anglicky:

External synchronisation of transmissions of utility vehicles

Pokyny pro vypracování:

1. Proveďte rešerši používaných řadicích spojek v převodovkách nákladních a speciálních vozidel.
2. Vypracujte rešerši používaných řešení externí synchronizace.
3. Zvolte si jednoho zástupce převodovky s vnější synchronizací.
4. Na základě výpočtu navrhnete výkonové nároky pro agregát ovládající externí synchronizaci.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Dr. Ing. Gabriela Achtenová, ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

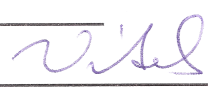
Datum zadání bakalářské práce: **30.10.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **04.01.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: _____



doc. Dr. Ing. Gabriela Achtenová
podpis vedoucí(ho) práce



doc. Ing. Oldřich Vítěk, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry



prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.



Datum převzetí zadání



Podpis studenta

Anotace

Tato práce pojednává o základních funkcích a stavbě synchronizačního ústrojí v převodkách nákladních a speciálních vozidel. Práce obsahuje popis jednotlivých řadicích spojek včetně synchronizace. Dále práce obsahuje popis jednotlivých komponent externí synchronizace převodovek a také popis reálných převodovek, které jsou využívány po celém světě.

Abstract

This work deals with basic functions and construction of synchronization equipment in heavy duty and special vehicle transmissions. The work contains a description of the individual shift clutch including synchronization. The work includes contains a description of each component of external gear synchronization, as well as a description of the real gearboxes that are used around the world.

Obsah

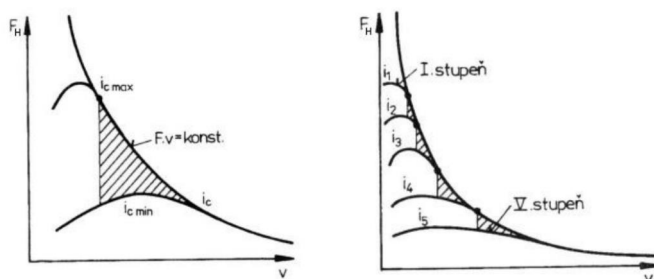
| | |
|---|----|
| 1 Úvod | 6 |
| 2 Řadící spojky | 7 |
| 2.1 Řazení posuvnými koly | 7 |
| 2.2 Synchronizační spojky | 10 |
| 2.2.1 Základní rozdělení synchronizační spojky | 10 |
| 2.2.2 Podklady pro výpočet synchronizační spojky | 10 |
| 2.2.3 Zubová spojka s nejištěnou synchronizací | 12 |
| 2.2.4 Zubová spojka s jištěnou synchronizací, synchronizace Borg-Wagner | 13 |
| 2.2.5 Vícenásobná synchronizace | 15 |
| 2.2.6 Synchronizace s blokujícím čepem | 16 |
| 2.2.7 Synchronizace Mercedes-Benz | 17 |
| 2.2.8 Synchronizační spojka Porsche | 19 |
| 2.2.9 Třecí lamelové spojky | 19 |
| 2.3 Zubové spojky | 22 |
| 2.3.1 Čelní Zubové spojky | 24 |
| 2.3.2 Zeroshift | 27 |
| 3 Externí synchronizace otáček | 30 |
| 3.1 Aktuátor | 31 |
| 3.2 Automatizovaná převodovka s externí synchronizací | 31 |
| 3.3 Přebodovka Volvo s vnější synchronizací | 32 |
| 3.3.1 I-Shift AT0612F | 32 |
| 3.4 Přebodovky John Deere s externí synchronizací | 37 |
| 3.4.1 Přebodovka DirectDrive | 37 |
| 3.4.2 Přebodovka AutoPower | 40 |
| 3.4.3 Přebodovka PowerShift | 43 |
| 4 Výpočet energetických nároků na synchronizaci | 47 |
| 5 Závěr | 52 |
| Seznam použitých značek a symbolů | 53 |
| Seznam použité literatury a zdrojů | 56 |
| Seznam použitého SW | 60 |

1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá popisem řadících spojek, převodovek nákladních a speciálních vozidel, které obsahují synchronizační prvky. Dále plynule přechází do popisu externí synchronizace daných převodovek. Tato externí synchronizace velmi často nahrazuje právě synchronizační spojky, které jsou v synchronizovaných převodovkách součástí řadící spojky. Cílem práce bude navrhnout zdroj pro externí synchronizace.

V současné době je vyvíjen velký tlak na výrobce vozidel na snižování spotřeby paliva a produkce škodlivých emisí strojem. Kromě zefektivnění procesu spalování směsi ve spalovacím motoru má na spotřebu paliva velký vliv optimální volba převodových poměrů a počet převodových stupňů. Větší počet převodových stupňů převodovky umožňuje udržovat otáčky motoru v oblasti minimální spotřeby paliva v celém rozsahu rychlosti stroje.

Výkonnost a hospodárnost závisí jak na řidiči, tak i na hnací soustavě. Převodovku lze tedy považovat za jakýsi článek mezi řidičem a hnací soustavou. Převodové poměry jsou počítány tak, aby měl řidič maximální pole působnosti pro udržení přiměřených cestovních rychlostí, aniž by muselo dojít k vychýlení z rozsahu nejhospodárnějších otáček. Převodové poměry pro nižší stupně mají širší odstupy, než poměry vyšších stupňů. Tím je umožněna lepší akcelerace s minimem řazení. Úzký rozptyl vrcholových stupňů usnadňuje výběr takového stupně, jenž udrží otáčky poblíž optima bez ohledu na rychlost nebo podmínky na vozovce.



Obr. 1: F-v diagram pro různý počet převodových stupňů se znázorněním nevyužitého výkonu [1]

Při snižování tření jsou důležité mazací a chladicí účinky oleje. Příliš málo oleje způsobí přehřátí a předčasné mechanické opotřebení nebo poruchu. Příliš mnoho oleje má tendenci fungovat jako brzdná síla na všechny hřídele a převody. To pro změnu snižuje množství převáděného točivého momentu a k udržení výkonu je potřeba více paliva. Kupříkladu převodová skříň Scania má mazací systém, který pokaždé nechává kolovat přesné množství oleje.

V dnešní době se používají takzvané automatizované převodovky. Tyto převodovky nacházejí uplatnění ve mnoho odvětvích těžké nákladní dopravy, kde prioritou číslo jedna je výkonnost na cestách a stabilita ovládání. Automatizovaná převodovka s vysokým poměrem výkonu k hmotnosti poskytuje rychlou a bezpečnou akceleraci. Automatické převodovky se volí nejčastěji u vozidel, která slouží například ke sběru odpadu. Tato vozidla trpí v případě manuální převodovky nadměrným opotřebením spojky díky častému rozjíždění a zastavování. Volba převodovky opět záleží na účelu k jakému je vozidlo určeno. Z důvodu maximální účinnosti, výkonnosti a hospodárnosti.

2 Řadící spojky

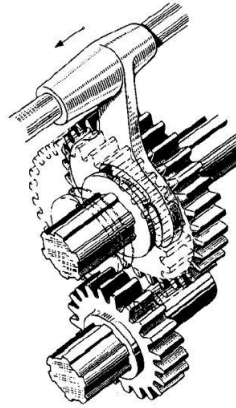
Řadící spojka se u převodovek skládá ze dvou částí, které spolu plynule spolupracují. Jedná se o synchronizační spojku a takzvanou zubovou spojku. Synchronizační spojka má za úkol synchronizovat otáčky hřídele, kterou po té chceme zubovou spojkou spojit, aby přenášela potřebný moment.

Řadící spojka slouží k řazení jednotlivých rychlostních stupňů ve stupňové převodovce, která musí vytvořit mechanickou vazbu mezi hřídelem a ozubeným soukolím pro přenos točivého momentu ve zvoleném poměru ze vstupní na výstupní hřídele. Dále musí umožnit vyřazení všech rychlostních stupňů do neutrální polohy a tím umožnit chod motoru naprázdno. Musí mít jednoduchou konstrukci a kompaktní rozměry. Řazení musí probíhat co nejplynuleji, aby ozubení netrpělo rázy a neopotřebovalo se, přitom musí proběhnout za co nejkratší časový úsek. Plynulého řazení lze dosáhnout jen při vyrovnání obvodových rychlostí spojovaných částí. Z tohoto důvodu je často součástí řadící spojky také synchronizační spojka, která před řazením otáčky řazených částí vyrovná. U řadících spojek bez synchronizace musí otáčky vyrovnávat buď řidič nebo jsou otáčky vyrovnávány centrální synchronizací převodovky. Centrální synchronizací u převodovek těžkých vozidel se budeme zabývat později.

2.1 Řazení posuvnými koly

Řazení posuvnými koly je nejstarší a konstrukčně nejjednodušší řazení rychlostních stupňů. V dnešní době velice málo používané u převodovek těžkých vozidel. Při tomto způsobu

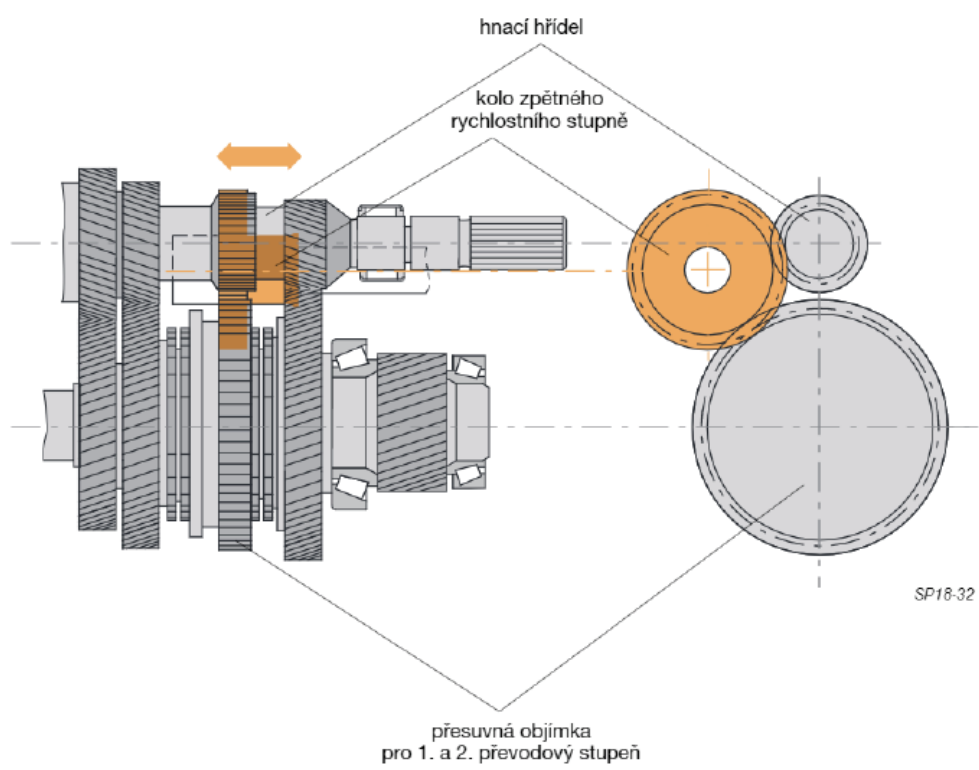
řazení nejsou kola ve stálém záběru, ale dostávají se do záběru axiálním posunem ozubeného kola řadící vidlicí. Druhé kolo je nehybně spojeno s hřídelí, neumožňuje axiální posun a je stále ve stejné pozici.



Obr. 2: Řazení posuvnými koly [2]

Mechanismus řazení postrádá jakoukoliv synchronizaci otáček. Připomíná řazení u starých převodovek bez synchronizace. Vyžaduje větší zapojení řidiče do průběhu řazení, kdy řidič musí sám vyrovnávat otáčky manipulací se spojivým a akceleračním pedálem. I při největší snaze řidiče otáčky vyrovnat není zaručené bezproblémové zařazení, které může být doprovázeno rázem a hlukem.

V dnešní době se tento způsob řazení využívá k řazení zpětného chodu a výjimečně pro řazení prvního rychlostního stupně. Jelikož řazení zpětného chodu je méně časté než dopředných rychlostních stupňů, a většinou probíhá za klidu vozidla, kde je rozdíl otáček buď nulový nebo velmi malý, použití tohoto typu řazení pro zpětný chod nemá zásadní vliv na komfort jízdy. Zuby mají zkosená čela, aby bylo možné zařadit v poloze, kdy jsou zuby proti sobě. Ozubené kolo nesmí mít šikmé ozubení, ale naopak musí mít přímé ozubení aby do sebe kola mohla jednodušeji zapadnout. Proto také u většiny vozidel při jízdě vzad převodovka vydává větší množství hluku než při zařazení dopředných stupňů. Šikmé ozubení je mnohem tišší než přímé ozubení. Na Obr. 3 můžete vidět převodovku u které je znázorněno, jakým způsobem probíhá zařazení zpětného chodu.



Obr. 3: Řazení zpětného chodu [10]

2.2 Synchronizační spojky

2.2.1 Základní rozdělení synchronizační spojky

Tyto spojky patří do skupiny spojek mechanicky výsuvných. Umožňují spojení nebo rozpojení hřídelí (hnaného a hnacího) ať za klidu nebo za provozu.

Podle typu ovládní mohou být:

- Mechanicky řazené
- Hydraulicky řazené
- Pneumaticky řazené
- Elektricky řazené

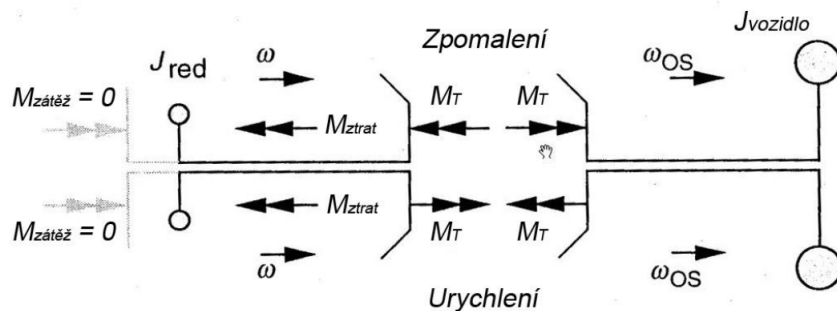
U spojek mechanicky řazených slouží k zapínání a vypínání spojky ovládací zařízení, které se skládá z přesuvného kroužku a z pákového mechanismu. Někdy bývá přesuvná objímka nahrazena kluznými kameny nebo valivými ložisky. Při přímém ručním ovládní by síla na rukojeti měla být v rozmezí $60 \div 200 \text{ N}$. V krajních polohách je nutné páku zajistit, tak aby zařazený převodový stupeň za jízdy takzvaně nevyskakoval.

Hydraulicky ovládané spojky mají stejný řadící mechanismus s tím, že jej ovládá hydraulický píst. U hydraulicky ovládaných spojek je výhodou plynulý záběr díky změně tlaku oleje. Nevýhodou je nutnost dobrého těsnění a nákladného řízení tlaku oleje. Hydraulické ovládní není tak často používané. Toto ovládní se skládá z tlakového válce a pístu. U pneumaticky řazených spojek se ovládní skládá z tlakového válce a pístu podobně jako u hydraulického ovládní. Pneumatické ovládní je velice často používané. Vzduch díky vlhkosti má korozivní účinky a dochází ke kolísání tlaku v potrubí. Elektrické ovládní je velmi vhodné pro automatizované řízení.

Synchronizační systém řadících spojek využívá k vyrovnání úhlových rychlostí třecí sílu. Ta vzniká mezi třecími členy na ozubeném kole a spojce. Tvar a poloha třecích členů bývá různý dle konstrukce spojky. Nejčastěji bývají třecí členy kuželové, ale existují mechanismy využívající třecí členy pásové či lamelové. K lamelové spojce se dostaneme později. V dalších kapitolách je popsán princip činností základních nejpoužívanějších a nejvíce konstrukčně zajímavých typů synchronizačních spojek. Ostatní typy pracují na stejném principu a ve většině případů jsou dalším rozvojem dále popsaných variant.

2.2.2 Podklady pro výpočet synchronizační spojky

Při návrhu synchronizační spojky vycházíme nejprve z rovnice momentové rovnováhy (1), odkud určíme třecí moment (2), který působí při řazení na třecí plochy synchronizace.



Obr. 4: Schéma synchronizace dvou rotačních ploch [2]

$$M_T + J_{red} \cdot \frac{d\omega}{dt} + M_{ztrat} + M_{zatez} = 0 \quad (1)$$

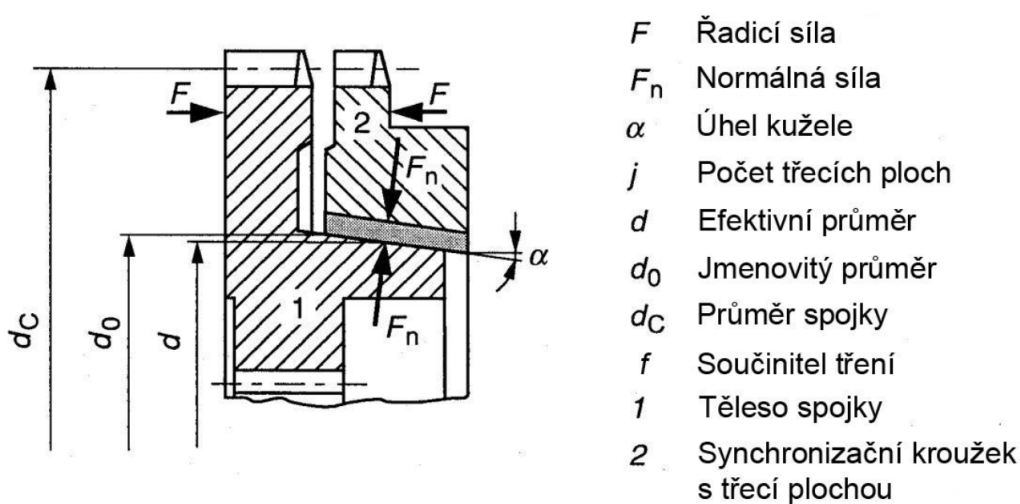
$M_{zatez} = 0$ pro řazení přerušením toku výkonu (při vypnuté spojce)]

M_{ztrat} ztrátový moment (ztráty v ložiskách, ztráty broděním v oleji)

$J_{red} = 0$ redukovaný moment setrvačnosti urychlovaných nebo zpomalovaných částí

$$M_T = J_{red} \cdot \frac{d\omega}{dt} + M_{ztrat} \quad (2)$$

Dimenzování synchronizační spojky



Obr. 5: Základní rozměry a síly působící na synchronizační spojky [2]

Třecí síla působící na kužel:

$$F_T = F \cdot \frac{\mu}{\sin(\alpha)} \quad (3)$$

Musí být splněna podmínka samosvornosti:

$$\operatorname{tg}(\alpha) > f \quad (4)$$

Maximální třecí moment spojky:

$$M_{TS} = j \cdot F_T \cdot \frac{d}{2} \quad (5)$$

Z definice třecí síly (3) plyne, že její velikost je závislá zejména na velikosti přítláčné síly. Přítláčná síla však nemůže být příliš velká a je omezena maximální silou na řadicí páce nebo řadicím mechanismu a kapacitou (dovolený tlak v třecích plochách) synchronizační spojky. Třecí sílu lze zvýšit zmenšením úhlu třecího kužele, avšak nesmí dojít k samosvornosti spojení (4), aby bylo možné spojku vyřadit do neutrální polohy.

Hlavní veličiny pro dimenzování synchronizačních spojek jsou tedy efektivní průměr kužele d , a počet třecích ploch j . Odtud se odvíjejí jistá omezení použití synchronizačních spojek zejména u těžkých nákladních automobilů, kde jsou momenty setrvačnosti synchronizovaných hmot řádově vyšší, než u automobilů osobních. Brzdění nebo urychlování takto velkých hmot za krátký časový úsek vyžaduje příliš velký průměr třecího kužele, který přesahuje prostor vymezený pro synchronizační spojku uvnitř převodovky. Proto se velmi často u nákladních či užitkových vozidel používá externí synchronizace, která je rozebrána v dalších kapitolách této práce.

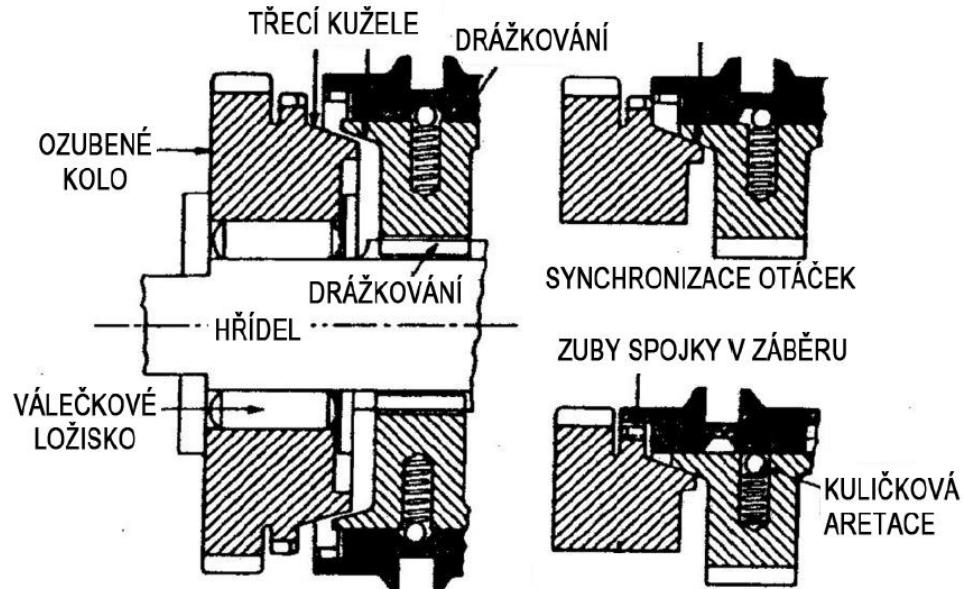
2.2.3 Zubová spojka s nejištěnou synchronizací

Základ řadicího mechanismu tvoří zubová spojka doplněná o zařízení pro samočinné srovnání obvodových rychlostí spojovaných částí. Kola rychlostních stupňů jsou v trvalém záběru, což dovoluje použít šikmé ozubení, které je méně hlučné, než přímé a tím sníží hluk převodovky.

Základ spojky tvoří jádro uložené na hřídeli pomocí drážkování. Na jádře je posuvně uložena řadicí objímka napojená na řadicí vidličku. V neutrální poloze je objímka udržována aretačním mechanismem, který brání jejímu samovolnému posunutí. Na boku kola je unášející ozubení spojky, do kterého zapadá přesuvná objímka. Synchronizační mechanismus tvoří třecí kužel na ozubeném kole a jádře spojky umístěný v prostoru mezi hřídelí a ozubením spojky.

Při řazení přesouvá vidlice řadicí objímku a jádro spojky k ozubenému kolu. Přitom dochází ke tření v třecích plochách kuželu a tím se obvodové rychlosti spojovaných členů vyrovnávají. Posuvem řadicí vidličky blíže ke kolu dochází k překonání aretačního mechanismu. Řadicí objímka zajede do unášeného ozubení spojky a tím vytvoří mechanickou vazbu nutnou pro přenos točivého momentu.

Při řazení řidič nemá žádnou zpětnou vazbu o průběhu vyrovnání obvodových rychlostí mezi hřídelí a řazeným kolem. Rychlé řazení, kdy není dostatek času na synchronizaci, je doprovázeno rázy a opotřebením zubů spojky. Proto se tento způsob synchronizace již nepoužívá, byl nahrazen dokonalejší jištěnou synchronizací.



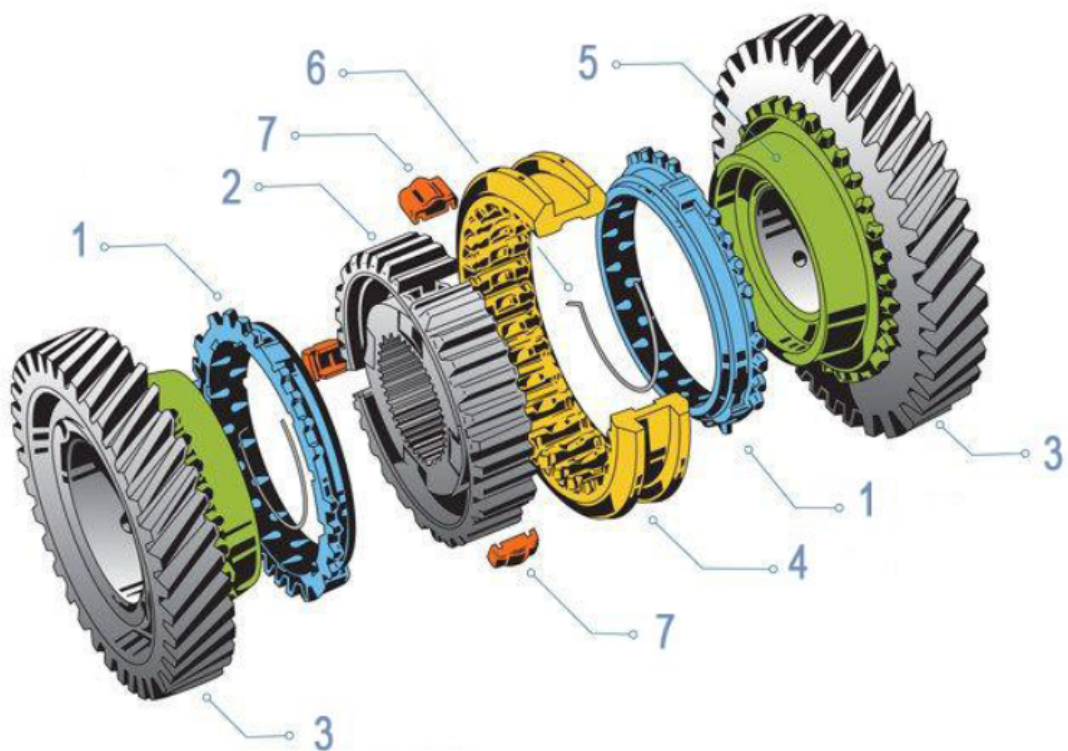
Obr. 6: Princip funkce zubové spojky s nejištěnou synchronizací [3]

2.2.4 Zubová spojka s jištěnou synchronizací, synchronizace Borg-Wagner

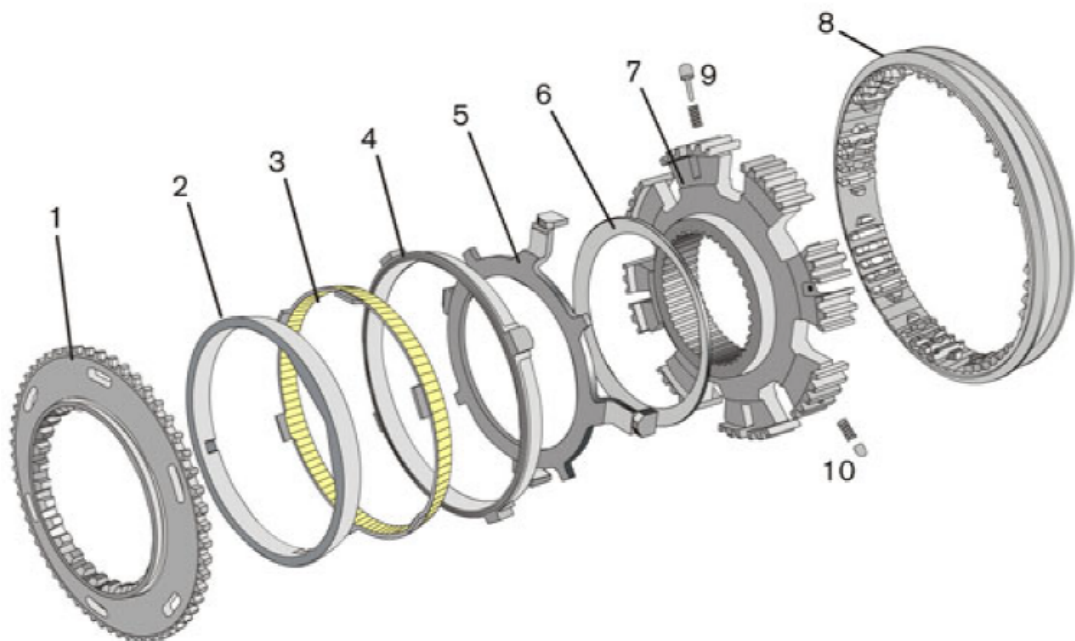
V dnešní době jde o nejpoužívanější typ synchronizační spojky, ať už v převodovkách osobních či nákladních automobilů. Základní konstrukce je podobná jako u předchozí zubové spojky, avšak jádro spojky je uloženo pevně na hřídeli a neobsahuje třecí kužele. Ty jsou přesunuty na speciální clonící kroužek vložený mezi jádro a ozubené kolo. Rotace clonícího kroužku vůči jádru je omezena na polovinu šířky jisticích zubů oběma směry. Úplné rotaci brání tři výstupky, které zapadají do drážek pro jisticí tělíska v jádru spojky.

Při řazení se řadící objímka axiálně posouvá a vytlačuje jisticí tělíska předepnuté pružinou, do jádra spojky. Čelní plochy jisticích tělísek přitlačují clonící kroužek na třecí kužel kola, čímž v třecích plochách vzniká třecí moment, který vyvolá pootočení kroužku oproti jádru. Dalšímu pohybu řadící objímky brání pootočené zuby clonícího kroužku. Až po vyrovnání obvodových rychlostí, zkosené zuby řadící objímky posunou zpět clonící kroužek do výchozí polohy a umožní tak další posuv objímky do unášejícího ozubení spojky.

Dalším zástupcem této spojky je spojka používaná v převodovkách nákladních automobilů Volvo. Jde o upravenou verzi tak, aby dokázala synchronizovat větší hmoty, jaké jsou u nákladních převodovek potřeba. Na Obr. 8 vidíme celou sestavu synchronizační spojky.



Obr. 7: Synchronizace Borg-Warner [4] 1-clonící kroužek, 2-jádro spojky, 3-volně otočné kolo, 4-objímka s vnitřním drážkováním, 5-synchronizační kroužek s třecím kuželem a unášecím ozubením, 6-drátová pružina, 7-jistící tělíska (kmeny)



Obr. 8: Zubová spojka s jištěnou synchronizací převodovek volvo [17], 1-zásuvný prostece, 2-vnitřní kužel, 3-dvojitý kužel, 4-vnější kužel, 5-tlačná deska, 6-talířová pružina, 7-vodící objímka, 8-zasouvací objímka, 9-pružinová západka, 10-pružinová západka pro neutrál

Tuto spojku pomáhá přitlačovat mechanický posilovač, tak aby byla schopna synchronizovat potřebné hmoty. Funkce mechanického posilovače dodává přidaný výkon během synchronizace a tím usnadňuje řazení. Tato konstrukce umožňuje, že moment, který je vytvořen, když synchronizace začne snižovat otáčky, následně pomáhá přitlačovat synchronizační objímku. Řidič takto automaticky využívá podporu mechanického posilovače.

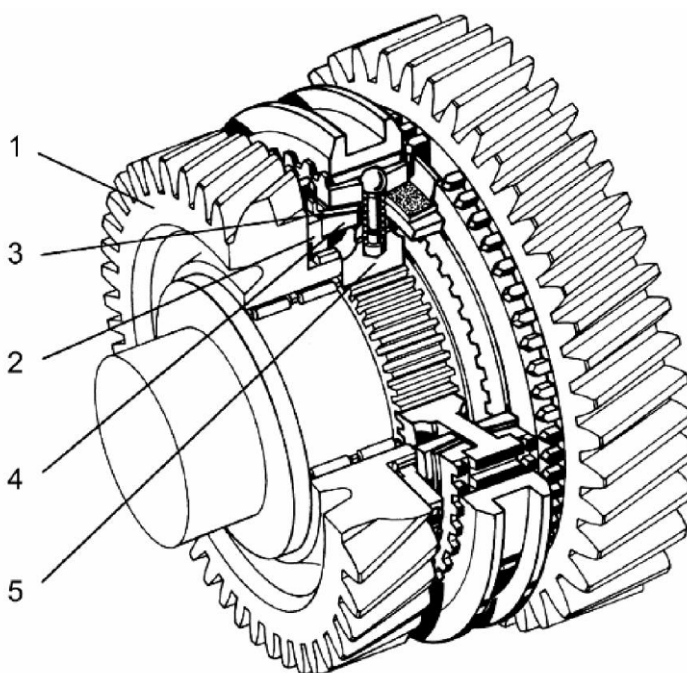
Samotný úkon řazení lze rozdělit na pět fází:

- Neutrál: Zasouvací objímka (8) zůstává v neutrální poloze vzhledem k vodící objímce (7), ve které je zajištěna pružinovými západkami (10). V této poloze není převáděn žádný axiální výkon na vnější kužel (4).
- Blokování: Řadicí vidlice působí na zasouvací objímku (8), která tlačí zářezku vůči vnějšímu kuželu (4). Tím dochází ke zvýšení tření. Tření mezi kuželovými povrchy způsobí, že vnitřní kužel (2) a vnější kužel (4) se otáčejí ve stejném směru jako dvojitý kužel (3), dokud vnější kužel nedosáhne výstupku na vodící objímce (7). Povrch výstupku na vnějším kuželi se spojí se zasouvací objímkou (8). Povrch výstupku má úhel, který zabraňuje axiálnímu pohybu zasouvací objímky, dokud neproběhne synchronizace.
- Synchronizace: Tření mezi kuželovými povrchy způsobí, že jsou vyrovnány otáčky mezi dvojitým, vnitřním a vnějším kuželem. Jelikož je zasouvací objímka (8) v zablockované poloze, nemůže se pohybovat v axiálním směru a talířová pružina (6) je stlačena. Tím je vytvořena přidaná síla, kterou je zasouvací objímka tlačena k tlačné desce (5).
- Uvolnění Synchronizace je dokončena, jakmile dvojitý kužel (3) dosáhne stejných otáček jako vnitřní kužel (2) a vnější kužel (4). V této fázi je povrch bloku uvolněn a zasouvací objímka (8) se může axiálně pohybovat.
- Převod zařazen: Zuby na zasouvací objímce (8) jsou nyní v záběru se zuby na zasouvacím prstenci (1) a řazení je dokončeno.

2.2.5 Vícenásobná synchronizace

Při řazení nižších rychlostních stupňů je synchronizace obtížnější, neboť roste převodový poměr a moment setrvačnosti hmot, jejichž úhlovou rychlost chceme měnit. Aby se zkrátila doba nutná pro druhou fázi procesu řazení (synchronizaci) a zároveň zmenšila potřebná řadicí síla, používá se zejména pro první a druhý rychlostní stupeň vícenásobná synchronizace – obvykle dvojnásobná. Vložený mezikroužek zvyšuje počet třecích ploch, čímž se zvyšuje výkon synchronizační spojky. Na druhou stranu však přibývá jeden člen do rozměrového obvodu spojky, což vyžaduje přesnější a tedy i dražší výrobu, obzvláště s

ohledem na měnící se rozměry třecích kuželů v závislosti na opotřebení.



Obr. 9: Dvojnásobná synchronizační spojka Borg-Warner [2], 1-ozubené kolo volně otočné, 2-synchronizační kroužek, 3-mezikroužek, 4-clonící kroužek s proti kuželem, 5-náboj spojky

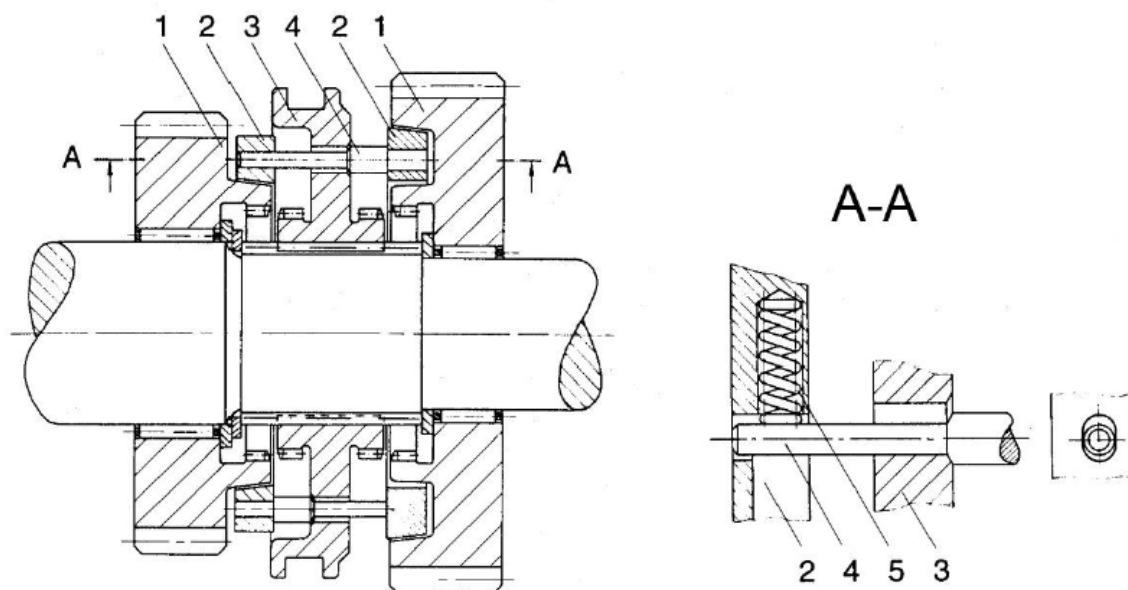
2.2.6 Synchronizace s blokujícím čepem

Tento systém řazení rychlostních stupňů byl využíván od poloviny minulého století zejména u nákladních automobilů. Na rozdíl od synchronizační spojky Borg-Warner, jsou třecí kužele umístěny na větším průměru než unášecí ozubení. Větší průměr třecích kuželů zvyšuje třecí moment spojky (5) umožňuje synchronizovat otáčky větších hmot za stejný časový úsek.

Tato synchronizace má jednu velkou výhodu. Umožní zařazení převodového stupně až po té co se rychlosti obou rotačních hmot vyrovnají.

Řadící objímka je posuvně uložena na hřídeli pomocí drážkování. V dolní části obsahuje unášecí ozubení spojky, v horní části jsou posuvně uloženy čepy, napojené na synchronizační kroužky. V zařazené poloze je průměr čepu shodný s průměrem díry v objímce, avšak v neutrální poloze je čep zúžen, což umožňuje natočení synchronizačních kroužků vůči objímce o velikost vůle mezi čepem a dírou.

Při řazení řadící objímka tlačí přes čepy na synchronizační kroužek, čímž dochází k tření v třecích plochách kužele. Vzniklý třecí moment vyosí čepy vůči díře, tím zabrání dalšímu posuvu řadící objímky. Po srovnání obvodových rychlostí, když přestane působit třecí moment, řadící síla, působící na kuželovou plochu čepu, překoná tlačnou pružinu, a vrátí čep do výchozí polohy. Tím umožní další posuv objímky pro zasunutí unášecího ozubení spojky.

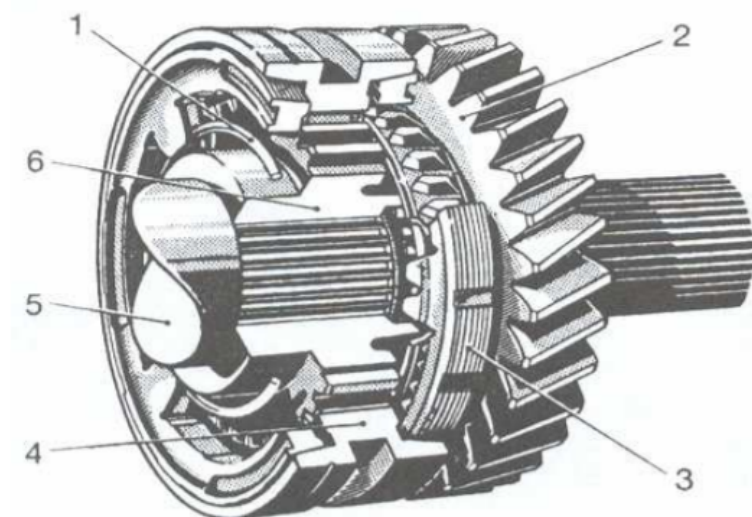


Obr. 10: Synchronizace s blokovacím čepem [2], 1-ozubené kolo se zubovou spojkou, 2-synchronizační kroužek, 3-řadící objímka, 4-blokovací čep, 5-tlačná pružina

2.2.7 Synchronizace Mercedes-Benz

Další varianta, která je na Obr. 11, je vnější synchronizace. Řadící objímka je pevně spojena synchronizačním tělesem, ve kterém se může axiálně posouvat. Synchronizační kroužek s vnitřními vodícími drážkami zabírají v drážkách kola rychlostního stupně a je do něj přitlačován prstencovou pružinou. Synchronizační kroužek s ozubeným kolem rychlostního stupně tvoří pevné spojení (zanedbáme-li možnost malého pootočení synchronizačního kroužku proti ozubenému kolu rychlostního stupně vzhledem k šířce drážek). Vnitřní průměr synchronizačního kroužku je navržen tak, aby se mohl přesouvat přes řadící ozubení kola rychlostního stupně. Při řazení dosedá řadící objímka svou třecí plochou na vnější třecí plochy synchronizačního kroužku. V důsledku rozdílných otáček kola rychlostního stupně a řadící objímky se synchronizační kroužek pootočí podle šířky drážek (blokovací poloha).

Po dosažení stejných otáček se synchronizační kroužek tlakem řadící objímky nepatrně pootočí zpět a uvolní prostor řadící objímce. Ta se nyní může svým vnitřním ozubením zasunout do unášejícího zubového kola rychlostního stupně. V axiálním směru je unášen i synchronizační kroužek vytlačován prstencovou pružinou zpět do jeho výchozí polohy. V důsledku většího průměru a vnějších třecích ploch synchronizačního kroužku je možná rychlá synchronizace s malou silou potřebnou pro řazení.

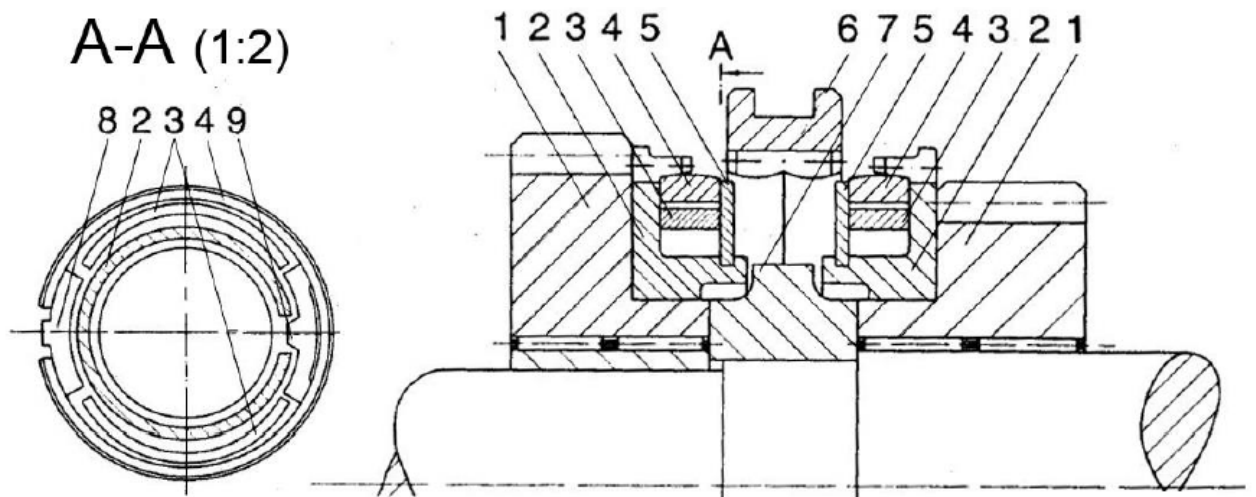


Obr. 11: Vnější synchronizace Mercedes-Benz) [11], 1-jistící prstenecová pružina, 2-ozubené kolo rychlostního stupně, 3-synchronizační kroužek, 4-řadící objímka drážkováním, 5-převodová hřídel, 6-synchronizační těleso

2.2.8 Synchronizační spojka Porsche

Tento systém synchronizace byl patentován Dr. Ferdinandem Porsche roku 1947. Princip synchronizace je podobný mechanismu bubnové brzdy. Synchronizační kužel je tvořen rozříznutým prstencem, který dosedá na kuželovou plochu vnitřního ozubení řadící objímky. Rotace synchronizačního kroužku vůči řazenému kolu je omezena výstupky na kamenech. Mezi tělesem spojky a synchronizačním kroužkem je v mezeře mezi kameny, uložena excentrická pásová brzda. Při řazení posouvá řadící vidlička řadící objímku ta kuželovou plochu tlačí na rozříznutý synchronizační kroužek. Vniklý třecí moment unáší synchronizační kroužek a natáčí ho o velikost vůle mezi kameny a tělesem spojky. Spolu se synchronizačním kroužkem se natáčí i excentrická pásová brzda, která tlačí excentrem synchronizační kroužek proti kuželu řadící objímky. Řadící objímka se nemůže dále posouvat, dokud se otáčky spojovaných části nevyrovnají. Po vyrovnání otáček se synchronizační kroužek a excentrická pásová brzda působením řadící síly vrátí do výchozí pozice, synchronizační kroužek se stlačí a umožní další posuv objímky. Vnitřní ozubení řadící objímky se zasune mezi zuby na těle spojky, tím umožní přenos točivého momentu z hřídele na ozubené kolo.

Výhodou tohoto systému oproti jiným, běžně používaným, je jeho vyšší účinnost a kompaktní rozměry. Nevýhodou jsou vyšší výrobní náklady.



Obr. 12: Synchronizační spojka Porsche [2], 1-volně otáčené kolo, 2-těleso spojky, 3-pásová brzda, 4-synchronizační kroužek, 5-axiální kroužek, 6-řadící objímka, 7-náboj spojky, 8-kámen, 9-doraz

2.2.9 Třecí lamelové spojky

Třecí lamelová spojka přenáší kroučící moment pomocí silového styku. Hnací část spojky má vnitřní drážkování pro uchycení vnějších lamel. Na hnané části spojky jsou ve vnějším drážkování uchyceny vnitřní lamely. Někdy může být uspořádání hnacího a hnaného hřídele

opačné. Vnější a vnitřní lamely se pravidelně střídají. Při sepnutí spojky jsou k sobě přitlačeny přes přitlačné kotouče. Způsob přitlačení lamel je dán typem řazení spojky. Rozdělení lamelových spojek podle typu ovládní:

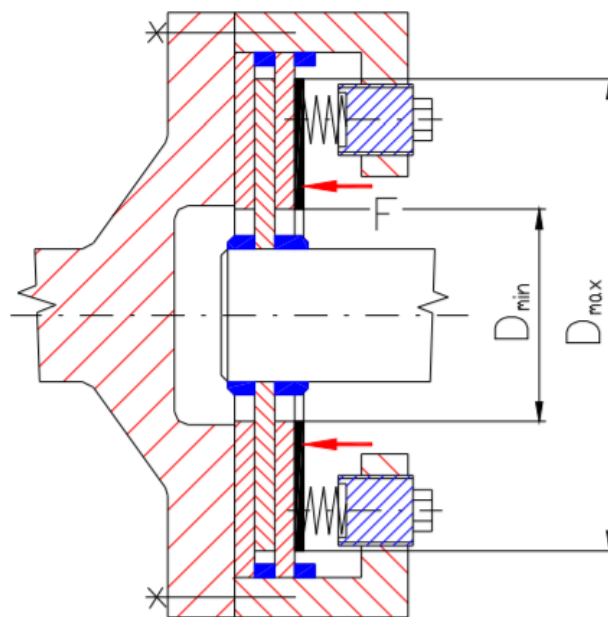
Mechanicky

Pneumaticky

Hydraulicky

Elektronické

Lamelová třecí spojka se velmi často používá například v traktorech na uzamykání diferenciálu či ovládní převodovky.



Obr. 13: Složení lamelové spojky [16]

Lamely jsou rozděleny na vnitřní a vnější. Vnitřní jsou spojeny s jedním hřídelem, vnější pak s druhým. Lamely jsou stlačovány pružinami, jejichž předpětí odpovídá požadované hranici mezi bezpečným a nebezpečným kroutícím momentem M_k . Je-li M_k překročen spojka proklouzne a po opětovném poklesu M_k bude nadále zabírat.

U mechanického řazení se zpravidla lamely přitlačují třemi dvouramennými pákami. K sepnutí dojde převlečením ocelového pouzdra přes zaoblené konce pák. Spojka může být konstruována jako suchá nebo s olejovou náplní. Spojky s olejovou náplní mívají lamely ocelové u suchých spojek bývají lamely třecí. Výhodou lamelových spojek je velmi měkký záběr, protože při zapínání na sebe postupně dosedá velký počet třecích ploch. Rovněž rozměry spojky jsou přijatelné i při požadavku přenosu značných momentů.

Nevýhodou je velká členitost spojky, pracná výroba a možnost slepování lamel. Lamely

mohou být vystříhované z ocelového plechu i lité, bez obložení nebo s obložím. Malé lamelové spojky mají nejčastěji lamely v olejové lázni, zatím co velké spojky bývají zpravidla suché. Princip lamelové spojky je použit v samočinných hydromechanických a v planetových převodkách.

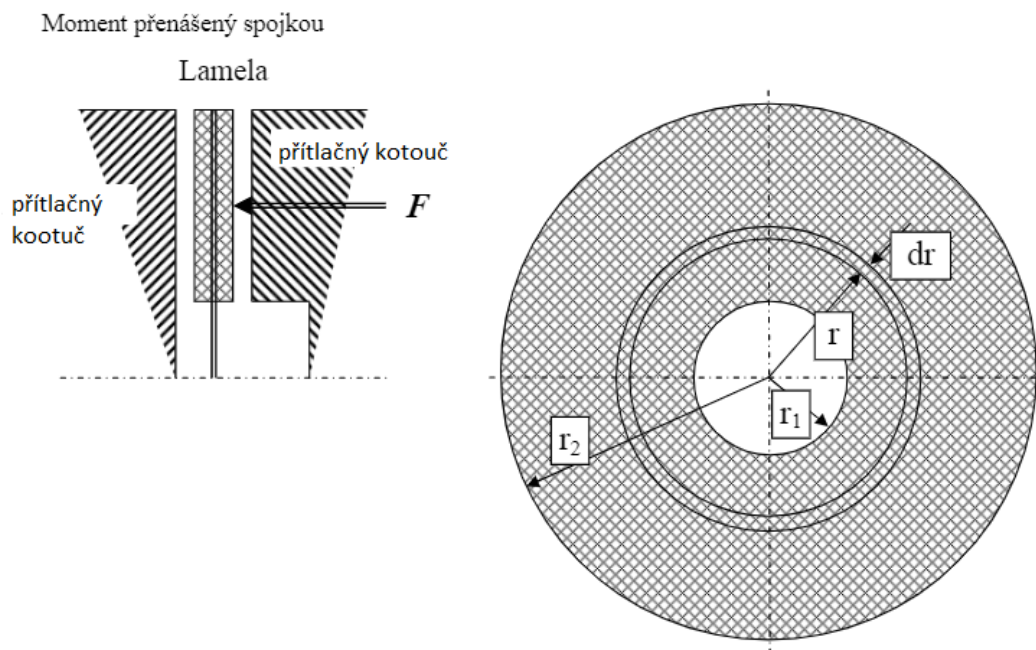
Výpočet lamelové spojky:

Kroutící moment je přenášen třením mezi lamelou a kotouči. Proto můžeme napsat tyto základní vztahy.

$$F_t = F \cdot f \quad (6)$$

$$M_s = F_t \cdot r_s \cdot i \quad (7)$$

kde f je součinitel smykového tření a F_t je třecí síla.



Obr. 14: Schéma lamelové spojky [16]

r_s - výpočtový (účinný poloměr) spojky

i - počet třecích ploch

M_s - moment přenášený spojkou

Dále tyto základní rovnice můžeme rozepsat do diferenciální podoby.

$$dF = 2\pi \cdot r \cdot dr \cdot p \quad (8)$$

kde p je tlak který přitlačuje přitlačný kotouč

$$dF_t = dF \cdot f = 2\pi \cdot dr \cdot p \cdot f \cdot i \quad (9)$$

$$dM_s = dF_t \cdot r = 2\pi \cdot r^2 \cdot p \cdot f \cdot dr \quad (10)$$

Po té rovnici upravíme do konečné podoby

$$M_s = 2\pi \cdot p \cdot f \cdot i \cdot \int_{r_1}^{r_2} r^2 dr = \frac{2}{3}\pi \cdot p \cdot f \cdot i \cdot (r_2^3 - r_1^3) \quad (11)$$

$$F = 2\pi \cdot p \cdot \int_{r_1}^{r_2} r dr = \pi \cdot p \cdot (r_2^2 - r_1^2) \quad (12)$$

Pro výpočet máme tedy 2 vztahy které můžeme použít.

$$M_s = \frac{2}{3}\pi \cdot p \cdot f \cdot i \cdot (r_2^3 - r_1^3) \quad (13)$$

$$F = \pi \cdot p \cdot (r_2^2 - r_1^2) \quad (14)$$

Následným vyjádřením p a dosazením do druhé rovnice vznikne finální vztah který vyjadřuje celkový moment, který je daná spojka schopna přenést.

$$M_s = F \cdot f \cdot i \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{(r_2^3 - r_1^3)}{(r_2^2 - r_1^2)} \quad (15)$$

2.3 Zubové spojky

Zubové spojky neboli bezsynchronizační spojky se využívaly na počátku éry automobilizmu, kdy ještě synchronizační mechanismus nebyl vyvinut. Převodovka neměla žádnou synchronizaci a to mělo za následek zhoršený cestovní komfort, jelikož ne vždy bylo možné hladce zařadit (tzv. řazení s meziplynem nebo dvojitým vyšlápnutím spojky). Celá jízda vyžadovala praxi a seznámení se s celým autem a hlavně tedy převodovkou. Pro řidiče byla jízda daleko obtížnější než v dnešní době.

V dnešní době se zubové spojky používají v případech, kdy synchronizační spojky z různého důvodu použít nelze nebo použití zubových spojek je výhodnější. Absencí synchronizačního mechanismu je dosaženo úspory místa a spojka má kompaktnější rozměry. Tento faktor je důležitý zejména pro motocyklové převodovky, kde není dostatek místa k zabudování



Obr. 15: Sestava převodovky obsahující zubové spojky [8]

synchronizačního zařízení mezi ozubená kola rychlostních stupňů. Dále své uplatnění zubové spojky našly v převodovkách závodních automobilů, kde se řadí při sepnuté spojce. Kvůli minimalizaci přerušení toku výkonu a zmenšení celkového času potřebného na přeřazení.

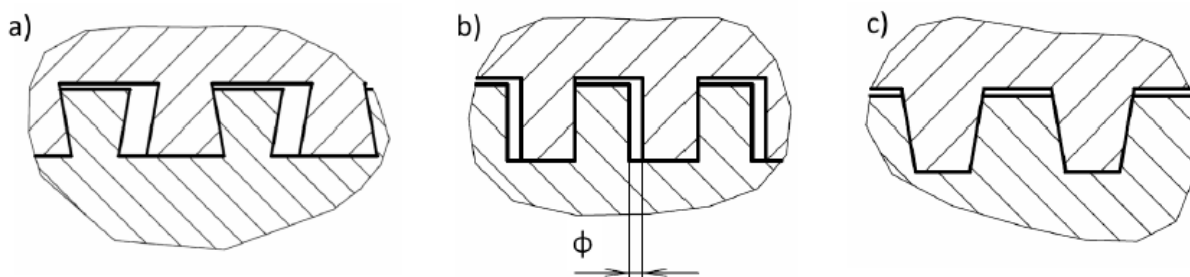
Také našly své uplatnění v těžkých nákladních vozidel. Díky vysokým nárokům na přenesený výkon při zachování přijatelné hmotnosti, vysoké životnosti a rychlosti řazení. U nákladních vozidel synchronizační spojky nejsou schopny zajistit dostatečně dlouhou provozní životnost při požadovaném poměru hmotnosti a výkonu vozidla. V tomto případě jsou však momenty setrvačnosti rotačních hmot příliš vysoké a je třeba zajistit alespoň částečné srovnání otáček před samotným řazením, například externí synchronizací.

Zubové spojky jsou vhodným kandidátem pro náhradu synchronizačních spojek v případě použití externí synchronizace. Ve své standardní konfiguraci nedokážou nabídnout takové vlastnosti jako spojky synchronizační, na druhé straně se však jedná o mechanismus kompaktnější a představují tak úsporu rozměrů a hmotnosti, pokud bychom jimi dokázali nahradit synchronizační spojky.

2.3.1 Čelní Zubové spojky

Jedním z důležitých konstrukčních parametrů čelní zubové spojky je úhel sklonu zubů. Dělíme je na tři základní možnosti:

- Negativní sklon (Obr. 16a) se používá zejména u vozidlových převodovek. Jeho nejdůležitějším charakteristickým znakem je, že při přenosu točivého momentu vzniká v ozubení síla působící směrem do záběru a udržuje přesuvník a ozubené kolo spojené, nedochází k samovolnému vyřazení spojky. Tato síla působí taktéž při řazení, urychluje tak tento proces a zároveň zajišťuje, že nedojde pouze k částečnému uvedení do záběru. Naopak největší nevýhodou je obvodová vůle Φ , jejíž minimální hodnota roste s rostoucí velikostí úhlu sklonu zubů tak, aby bylo vůbec možné zařazení. Tato vůle je zdrojem rázů při změně smyslu točivého momentu a zhoršuje tak plynulost jízdy.
- Nulový sklon (Obr. 16b) charakterizuje obdélníkové zuby. Pro zachování dobré pravděpodobnosti zařazení (viz níže) musí být stále přítomná obvodová vůle Φ .
- Pozitivní sklon (Obr. 16c) má opačné vlastnosti než sklon negativní. Používá se například u zamykání diferenciálů těžkých vozidel, v automobilových převodovkách není obvyklý. Pro dostatečně velký úhel sklonu zubů umožňuje zcela eliminovat obvodovou vůli Φ , což je žádoucí zejména u vozidel s vysokými momenty setrvačnosti. Při přenosu točivého momentu však vzniká axiální síla působící směrem ze záběru. Přesáhne-li úhel sklonu mez samosvornosti pro dané materiály ozubení, nedrží spojka v zařazené poloze. I při menším úhlu nastává nebezpečí např. při vibracích, nepůsobí-li řadicí síla na přesuvník neustále.



Obr. 16: Základní rozdělení zubových spolek s čelním ozubením dle sklonu boku zubů [12]

Tento typ zubové spojky je nejrozšířenější mezi nákladními vozy. Hlavní částí spojky je pohyblivý přesuvník napojený na řadicí vidličku, pohyblivě uložený na náboji spojky pomocí drážkování. Úlohou přesuvníku je přenést točivý moment z hřídele na ozubené kolo (v případě uložení na hnací hřídeli), nebo naopak (v případě uložení na hřídeli hnaném). Po bocích má zuby, které zabírají se zuby na boku ozubeného kola.

Pokud patní průměr ozubeného kola je příliš malý a neumožňuje umístit zuby spojky na bok kola. Můžou zuby spojky tvořit speciální věnec nalisovaný zboku na ozubené kolo. U



Obr. 17: Přesuvník s ozubením zpětného chodu [8]

velkých ozubených kol může přesuvník zajíždět do vyfrézovaných drážek na boku kola, kde funkci zubů tvoří samotné kolo.



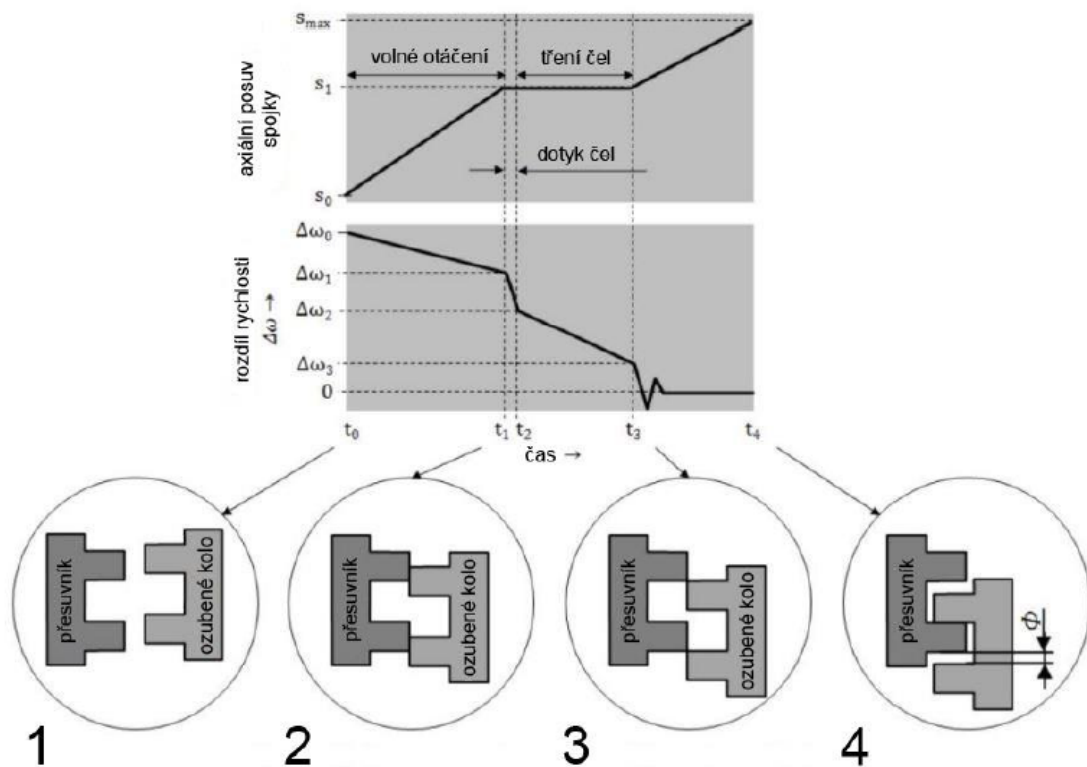
Obr. 18: Různé provedení čelních zubů. Vlevo – zuby přesuvníku zajíždí do drážek v kole, vpravo – zuby tvoří nalisovaný věnec na boku kola

Aby bylo řazení rychlostních stupňů možné, je nutno snížit točivý moment - odlehčit motor. Jednotlivé fáze průběhu řazení spojovaných částí jsou vysvětleny níže a znázorněny na (Obr. 19).

Fáze 1: Na začátku řadicího cyklu je přesuvník posouván řadicí vidličkou směrem ke kolu. Třecími ztrátami a mírnými změnami rychlosti vozidla relativní rychlost klesá $\Delta\omega_0$ na $\Delta\omega_1$

Fáze 2: Dalším pohybem přesuvníku dochází k prvnímu kontaktu zubů, spojeným s prudkým rázem. Ráz může zapříčinit odskok přesuvníku a je doprovázen specifickým zvukem. Kontakt čel způsobuje vznik třecího momentu, který působí proti relativnímu otáčivému pohybu. Počáteční špička třecího momentu vyvolá pokles relativní rychlosti na hodnotu $\Delta\omega_2$ za velmi krátký časový úsek. Po ustálení rázu, tření čel zubů pokračuje, až dojde k natočení zubů a mezer proti sobě. Vzájemná úhlová rychlost se třením čel sníží na hodnotu $\Delta\omega_3$.

Fáze 3: Popisuje časový okamžik zasunutí zubů do zubové mezery, až do jejich zachycení.



Obr. 19: Proces zasunutí zubové spojky do záběru [5]

Kontakt zubů, vlivem rozdílných úhlových rychlostí, způsobí ráz a torzní vibrace, které se přenáší do celého řetězce. Vzájemná úhlová rychlost, vlivem torzních vibrací, osciluje kolem nulové hodnoty.

Fáze 4: Poslední, stabilizovaná fáze je charakterizovaná poklesem axiální síly a nízkou hodnotou torzních vibrací. Rozdíl úhlových rychlostí je nulový.

V některých případech, v závislosti na poloze zubů a velikosti zubové mezery, může být fáze prvního zachycení čel a jejich tření zcela vynechána. Zuby přesuvníku rovnou zapadají do zubové mezery. Absence fáze tření čel způsobuje menší opotřebení zubů. Kontinuální pohyb zubů do zubové mezery zkracuje řadič čas. Geometrická pravděpodobnost zasunutí zubových spojek do záběru je charakterizovaná vztahem (16)

$$P_{min} = \frac{z \cdot \Phi}{2\pi} \quad (16)$$

P_{min} geometrická pravděpodobnost

z počet zubů spojky

ϕ mezera mezi zuby

Počet zubů spojky bývá různý, pohybuje se v rozmezí od tří do desíti. V praxi se však ukázalo, že použití menšího počtu zubů je výhodnější. Zuby mohou být širší, mít větší tuhost, tak lépe zvládnout ráz vzniklý při kontaktu vlivem rozdílu otáček. Menší počet

zubů umožňuje zvětšit zubovou mezeru a tím zvětšit pravděpodobnost zasunutí zubů do záběru. Nicméně velká vůle nepříznivě ovlivňuje komfort jízdy. Snížením točivého momentu dochází k odléhání zubů zvýšením, k rázům způsobeným nárazem zubů přesuvníku o zuby kola. Jízda je trhaná, doprovázená zvýšeným hlukem. Kromě chybějící synchronizace otáček, je velká zubová vůle důvodem, proč tento typ spojky nenašel své využití u osobních automobilů.

Další nevýhodou této spojky je nemožnost zařazení rychlostního stupně, pokud jsou zuby v poloze proti sobě a mezi přesuvníkem a kolem není žádný rozdíl otáček. Tento problém může nastat při řazení rychlostního stupně za klidu vozidla nebo při řazení s malým rozdílem otáček řazených členů, kde vlivem čelního tření se rozdíl otáček přiblíží nule a dojde k postavení čel zubů proti sobě. Daný problém se řeší změnou geometrie zubů, například pomocí sklonu čel zubů do záběru.

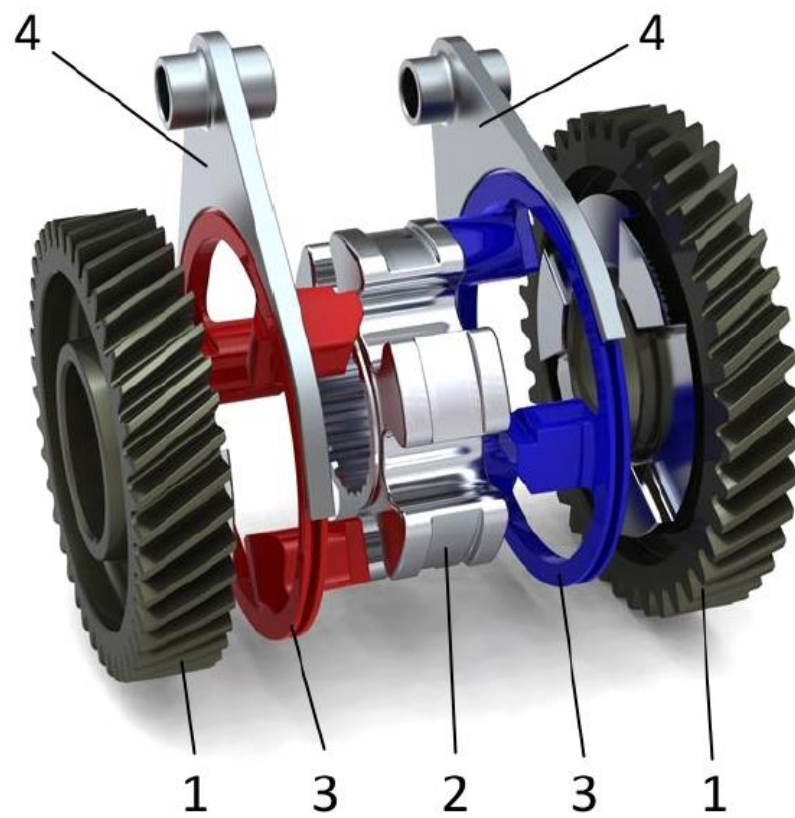
2.3.2 Zeroshift

Velmi zajímavé řešení řadicí zubové spojky vyvinula britská firma Zeroshift. Velkou odlišností od ostatních mechanismů je dvojice přesuvníků, každý z nich obsahuje sadu kamenů a také i dvojice řadicích vidliček. Přesuvníky se volně pohybují v jádru spojky a jsou mezi sebou spojeny pomocí pružin. Jádro spojky je nehybně spojeno s hřídelí pomocí drážkování. Na bocích ozubených kol jsou zuby, do kterých kameny zapadají. Boky kamenů jsou z jedné strany zkosené, z druhé strany jsou podřezané. Stejně podřezání mají i zuby kola aby do sebe snadno zapadaly.

Samotného řazení jednoho rychlostního stupně se vždy účastní oba přesuvníky a tudíž i obě řadicí vidličky. Každá z nich vyžaduje vlastní ovládací mechanismus vzhledem ke specifickému průběhu řazení. Čelní ozubení na řazených kolech i řadicích kamenech má negativní sklon boků zubů, aby nedocházelo k nechtěnému vyřazování.

Při zařazeném rychlostním stupni jsou obě sady kamenů zasunuty do zubové mezery na kole. Jedna sada přenáší točivý moment, druhá vymezuje zubovou vůli. Při přeřazení na jiný rychlostní stupeň se nejprve uvolní sada, která vymezuje vůli a zasune se do zubové mezery druhého, řazeného, ozubeného kola. V tu chvíli jsou zařazené oba rychlostní stupně. Druhé kolo se roztočí rychleji, čímž dojde k odlehčení kamenu v prvním kole a jeho vyřazení, a následné zasunutí do druhého kola pro vymezení vůle.

Mezi výhody tohoto typu řazení se řadí rychlá změna převodových stupňů a absence vůle mezi kameny. Proto nevznikají rázy při poklesu točivého momentu. Avšak výše popsaný postup funguje správně jen při řazení rychlostních stupňů nahoru, jejichž řazení je obstaráváno jednou řadicí spojkou. Podřazování nebo řazení jiných rychlostních stupňů musí být přesně ovládáno řídicím systémem externí synchronizace. Nesprávný okamžik vysunutí/zasunutí sady kamenů ze/do záběru může způsobit značné poškození celého



Obr. 20: Zubová spojka Zeroshift) [7], 1-ozubená kola, 2-náboj zubové spojky, 3-přesuvníky, 4-řadící vidličky

převodového ústrojí.

Mezi další nevýhody patří nemožnost ovládní posuvu přesuvníku řadící kulisou, jelikož průběh řazení nahoru a dolů není symetrický. Ovládní tedy musí být realizováno pneumaticky nebo hydraulicky nikoli mechanicky.

Nutnost přesného řízení a také větší počet přesuvníků, vidlic, tyčí a hydraulických/pneumatických pístů, se negativně projevují na hmotnosti celé převodovky.

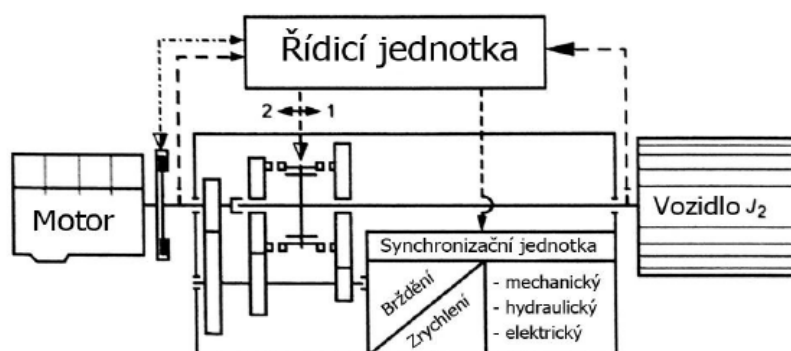
3 Externí synchronizace otáček

Kromě použití synchronizačních spojek, můžeme otáčky řazených členů vyrovnávat následujícími způsoby:

- Vyrovnání otáček spalovacím motorem v kombinaci s přídatnou brzdou
- Centrálním synchronizačním zařízením pro celou převodovku

Jednou z možností synchronizace otáček je vyrovnání otáček přímo spalovacím motorem v kombinaci s přídatnou brzdou. Proces probíhá při sepnuté spojce. Rozdíl otáček je vyrovnán krátkodobým zrychlením nebo zpomalením motoru. Jelikož samotné zpomalení motoru neprobíhá dostatečně rychle (doběh motoru), musí být zpomalení realizováno přídatnou brzdou. Celý proces ovládá řídicí jednotka, která stanoví synchronizační bod. Jako příklad si uvedeme převodovku od společnosti Volvo.

Další možností je použití vnější centrální synchronizace (Obr. 21), která se skládá ze synchronizační jednotky, která vykonává vyrovnání otáček pro řazení nahoru a dolů. Energie pro urychlování a brzdění hmot je dodávána externě. Řídicí jednotka sleduje otáčky vstupní a výstupní hřídele a s uvažováním převodu jednotlivých rychlostních stupňů počítá otáčky elektromotoru pro synchronizaci otáček.



Obr. 21: Princip vnější synchronizace otáček) [2]

Externí nebo také vnější synchronizace otáček se hojně využívá u takzvaných automatizovaných převodovek. Jedná se o manuální převodovku, která má svojí vlastní řídicí jednotku a ta obstarává vše, co je potřeba. Řidič pouze přepne tlačítko do polohy D někde také do polohy F v případě jízdy vpřed, do polohy R v případě jízdy vzad, případně také do polohy C pro plazivé rychlosti.

Použití externí synchronizace přináší úsporu rozměrů, zejména zástavbové délky, a také úsporu hmotnosti oproti použití synchronizačních spojek. Kratší zástavbová délka spojky umožňuje zkrátit délku převodovky jako takové, což jde ruku v ruce s nižší hmotností, menšími průhyby hřídelí apod. Zmenšení průměru spojky pomáhá snižovat moment setrvačnosti rotačních hmot.

3.1 Aktuátor

Hlavním komponentem externí synchronizace jsou takzvané aktuátory. Často se také používají pojmy akční člen nebo výkonový převodník. Obecně jde o zařízení, které transformuje vstupní energii - řídicí veličinu na výstupní energii - akční veličinu, která je obvykle navázaná na mechanický pohyb. U převodovek zajišťují za pomoci řadicích vidliček a objímek řazení jednotlivých převodových stupňů.

Princip transformace energie v aktuátoru je dán charakterem přiváděné vstupní energie. Tato energie může být různého původu, např. elektrická, elektromagnetická, mechanická, tlaková, teplotní, světelná apod. Základní dělení aktuátorů podle fyzikální povahy řídicí veličiny rozdělujeme na:

- elektromechanické aktuátory řízené elektrickým signálem
- pneumatické řízené tlakem kapaliny
- hydraulické řízené tlakem kapaliny
- speciální řízené například světlem či teplotou
- nekonvenční

Elektromechanické aktuátory jsou v současné době významnými a často používanými prvky ve všech automatizovaných převodovkách. Jsou to zařízení převádějící elektrické napětí a proud na vstupu aktuátoru, na akční veličinu a na výstupu nejčastěji na mechanický pohyb – posun, pootočení, točivý moment nebo na jiné projevy silového působení.

Pneumatické aktuátory jsou také velmi často využívány u převodovek. Mají jednu nevýhodu, zabírají více prostoru. Potřebují písky, které budou samotnou energii zachycenou ve stlačeném vzduchu přeměňovat na mechanický pohyb, ale také potřebují řídicí ventily, které budou řídit tlak vzduchu v pístech. Stejně je to i u hydraulických aktuátorů. Místo vzduchu v potrubí proudí hydraulická kapalina, nejčastěji hydraulický olej. Potřeby jsou stejné jak u pneumatických aktuátorů. Osazení aktuátorů se odvíjí od požadavků celého stroje. Například u převodovek nákladních automobilů jsou velice často použity pneumatické aktuátory. Stlačeným vzduchem je u nákladních automobilů poháněno nebo spínáno velice mnoho komponentů. Naopak u traktorových převodovek je velice často využíván právě hydraulický aktuátor.

3.2 Automatizovaná převodovka s externí synchronizací

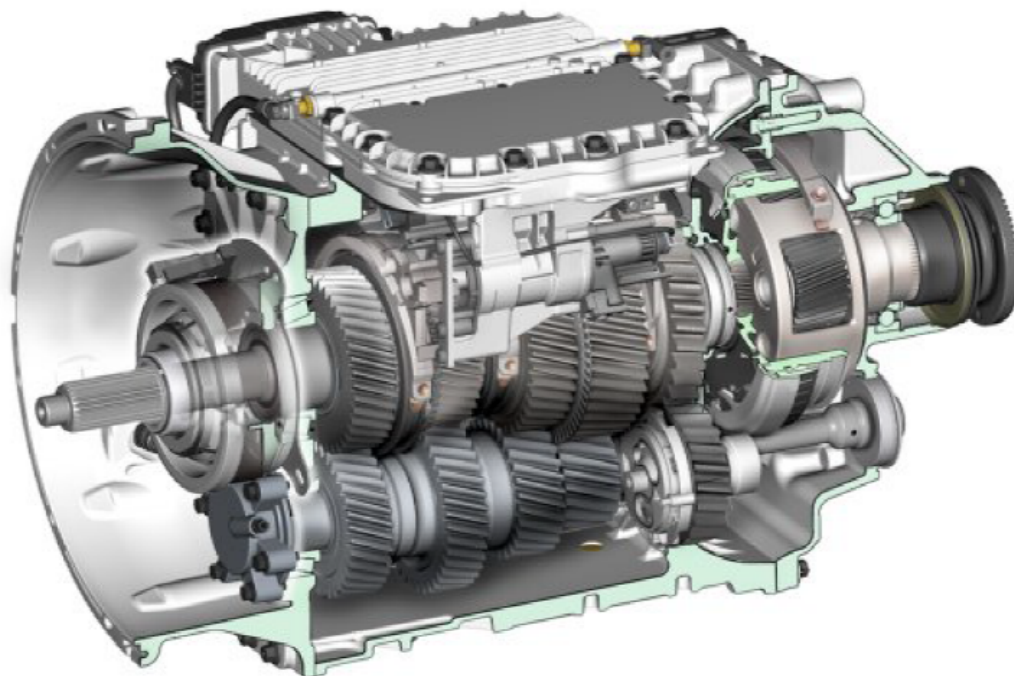
Automatizovaná převodovka (zvaná též robotizovaná převodovka) je převodovka, která sama řadí rychlostní stupně a sama ovládá spojku tak, že se obsluhujícímu řidiči jeví jako automatická převodovka. Na rozdíl od hydrodynamické automatické převodovky je

automatizovaná převodovka principiálně shodná s obyčejnou manuální převodovkou, avšak spojku a řazení neovládá řidič, ale řídicí jednotka.

3.3 Převodovka Volvo s vnější synchronizací

Nyní si uvedeme několik příkladů převodovek, kde nejsou použity synchronizační spojky a je tedy synchronizace zajištěna externě.

Zástupcem převodovky od firmy Volvo bude převodovka I-Shift ATO2612F. Systém I-Shift je určen nákladním vozům pro dálkovou silniční přepravu. Jde o dvanáctistupňovou elektronicky řízenou automatizovanou převodovku. Systém je dimenzován pro náročné provozní podmínky a zvládne soupravy s celkovou hmotností přes 40 t. Oproti svým předchůdcům je lehčí, tišší a menší. Má také nižší vnitřní třecí ztráty.



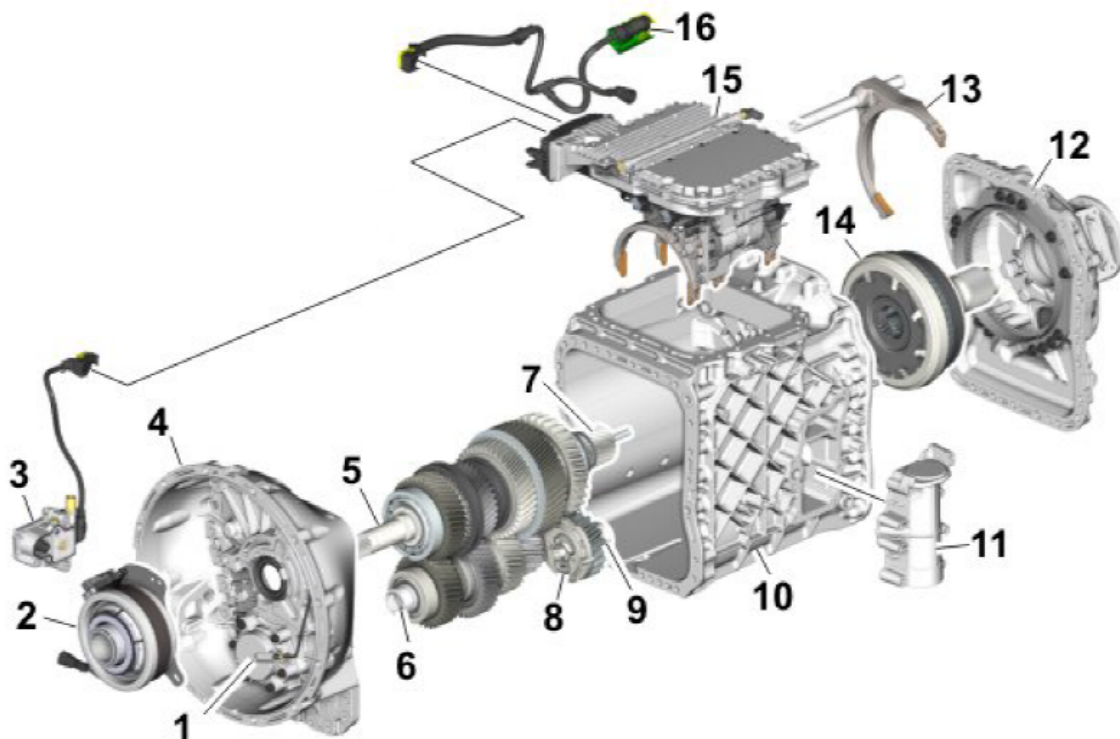
Obr. 22: Převodovka I-Shift řez [18]

3.3.1 I-Shift AT0612F

Jak již bylo zmíněno, jde o mechanickou tří hřídelovou dvanáctistupňovou převodovku, která je plně automatizována. Převodovka nabízí dvanáct dopředných rychlostních stupňů a čtyři stupně pro pohyb vzad. Systém řazení převodů je elektronicky řízen řídicí jednotkou převodovky. Tím je zajištěno plně automatické řazení s možností manuálního řazení. Převodovka má tři základní převodové stupně, integrovaný rozsahový převod (vysoký a nízký) a převodový stupeň (vysoký a nízký). Rozsahová převodovka je mechanicky synchronizována, zatímco základní převodovka je elektronicky synchronizovaná pomocí

motoru a brzdy předlohového hřídele pro řízení rychlosti vstupního hřídele a předlohovému hřídele.

Na Obr. 23 můžeme vidět všechny komponenty převodovky I-Shift.



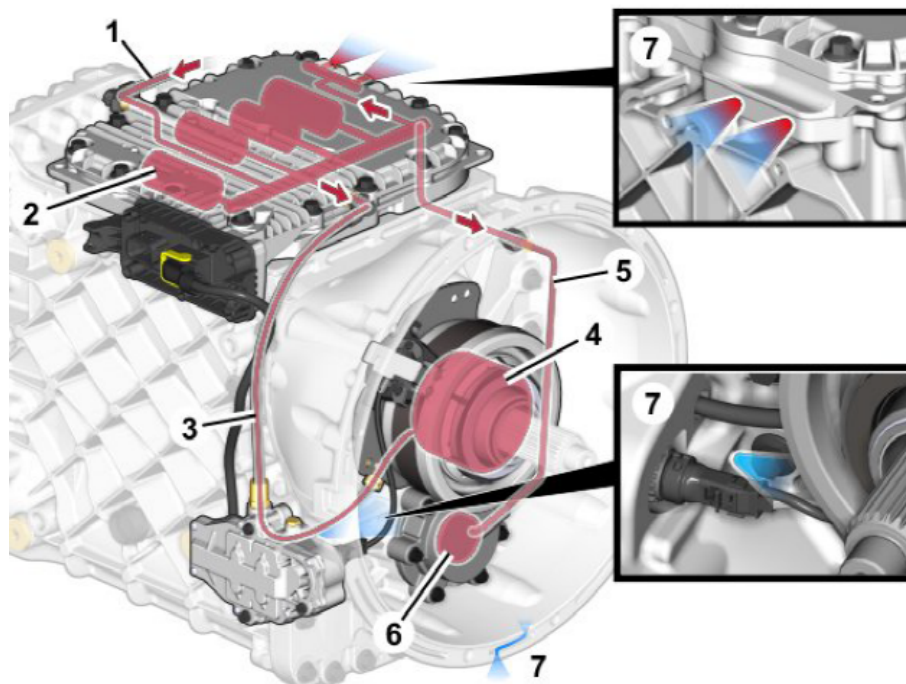
Obr. 23: Převodovka I-Shift přehled [18], **1-brzda předlohovému hřídele**, 2-spojkový válec, 3-jednotka ventilu spojky, 4-kryt spojky, 5-vstupní hřídel, 6-předlohovému hřídel, 7-hlavní hřídel, 8-olejové čerpadlo, 9-hřídel zpětného chodu, 10-hlavní skříň, 11-kryt olejového filtru, 12-kryt rozsahové převodovky, 13-posuvná vidlice zubových spojek, 14-výstupní hřídel včetně rozdělovací převodovky, 15-řídící jednotka převodovky, 16-kabelový svazek

Nejprve si rozebereme jednotlivé komponenty převodovky a vysvětlíme si jejich sestavu. Po té přejdeme do centrální synchronizace hlavní převodovky. Jako první přijde na řadu samotná spojka, kterou můžeme vidět na Obr. 24, obrázek také obsahuje celé pneumatické řízení spojky a brzdy předlohovému hřídele.

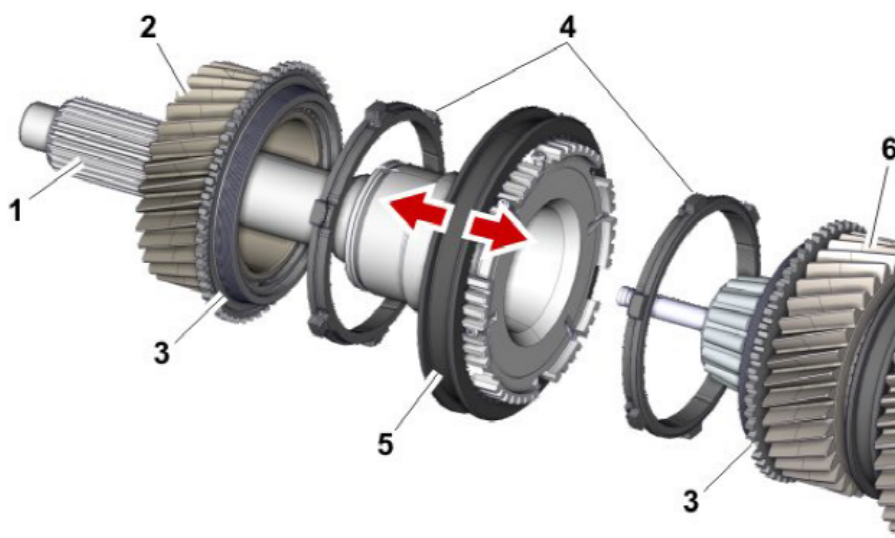
Celá spojka je ovládána pneumaticky. Pomocí stlačeného vzduchu lze regulovat otáčky, které budou přenášeny do převodovky. Můžeme tedy urychlit nebo zpomalit vstupní hřídel převodovky. A tím docílit rychlého a přesného řazení převodových stupňů.

Dalším komponentem bude vstupní hřídel. Zde najdeme jedinou synchronizační spojku v celé převodovce, která je ovládána pneumaticky pomocí aktuátorů. Jedná se o synchronizační spojku, která je rozebrána v kapitole 2.2.4. Tato spojka se využívá pro spojení vstupní hřídele s předlohovému hřídelem.

Dále je na řadě hlavní hřídel. Níže je popsána. Obě posuvné objímky zajišťují řazení zubovými spojkami. Objímky mohou být nastaveny ve třech polohách. Jsou poháněny směrovými vidlicemi, které jsou pomocí pneumatických aktuátorů řízeny řídící jednotkou

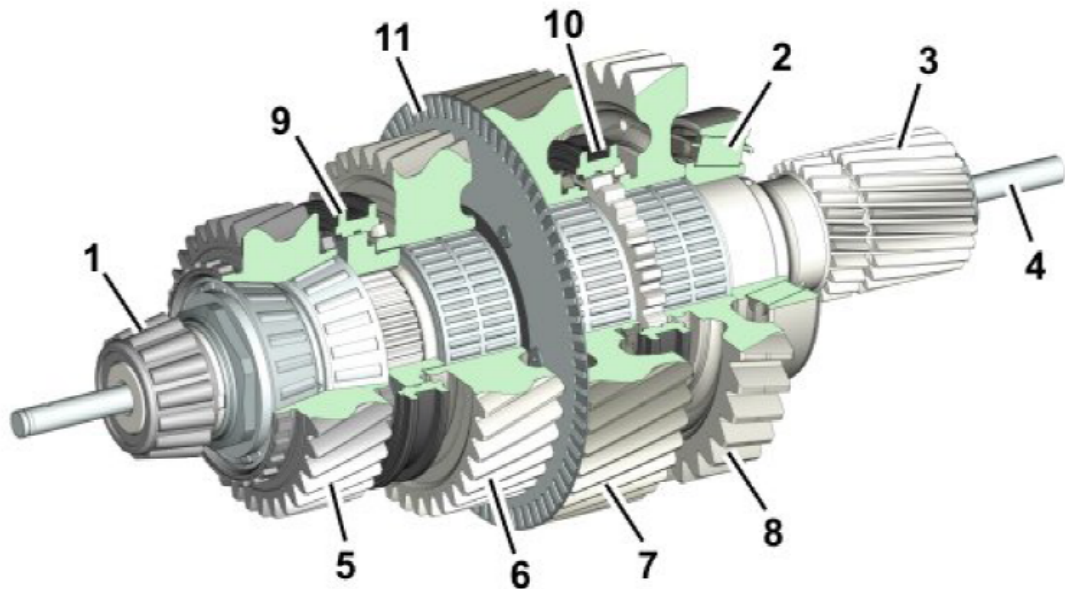


Obr. 24: Pneumatické ovládání spojky [18], 1-přívod vzduchu, 2-pohony, 3-připojení vzduchu ke spojkovému válci pomocí jednotky, 4-válec spojky, 5-vzduchové připojení k brzdě předlohového hřídele, 6-brzdový válec předlohové hřídele, 7-výfukové kanálky



Obr. 25: I-Shift vstupní hřídel [18], 1-vstupní hřídel, 2-rozdělovací kolo, 3-zubový kroužek ozubeného kola, 4-synchronizační kužel, 5-posuvná objímka, 6-třetí ozubené kolo

převodovky. Kolo pro čidlo otáček (11) je namontováno přímo na hlavní hřídeli a je odčítáno hlavním snímačem otáček.

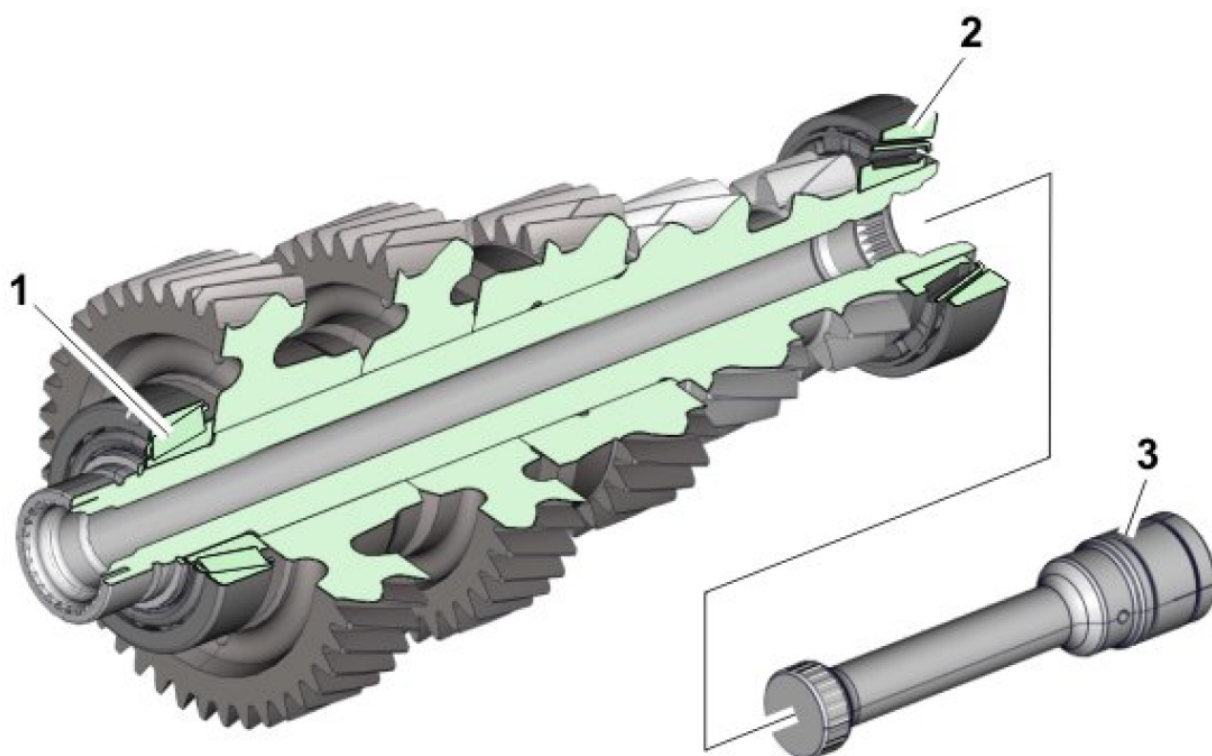


Obr. 26: I-Shift výstupní hřídel [18], 1-kuželíkové ložisko, 2-kuželíkové ložisko, 3-planetové kolo, 4-olejové potrubí, 5-třetí ozubené kolo, 6-druhé ozubené kolo, 7-první ozubené kolo, 8-ozubené kolo pro zpětný chod, 9-posuvná objímka, 10-posuvná objímka, 11-kolo pro čidlo otáček hřídele

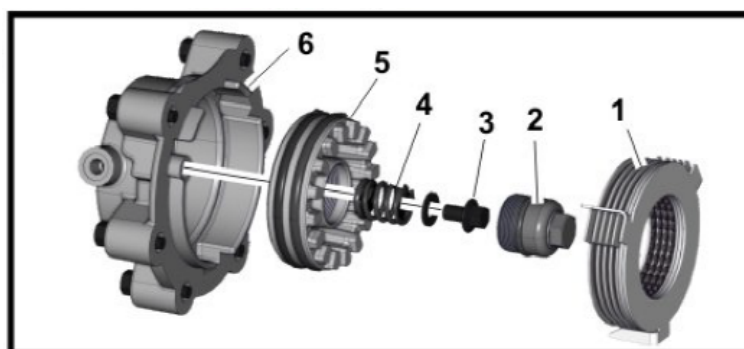
Předposledním členem, který nás bude zajímat, je předloková hřídel. Ta je znázorněna na Obr. 27. Jedná se o hřídel, na které jsou osazeny ozubená kola, která zabírají s ozubenými koly na hlavní hřídeli a vstupní hřídeli. Na jedné straně je předloková hřídel spojena s vývodovou hřídelí na kterou dále může navazovat například olejové čerpadlo pro plnění pístnice přívěsu. Na druhé straně je na hřídeli pomocí lamel spojena brzda předlokové hřídele, která je společně s pneumatickou spojkou hlavním zdrojem externí synchronizace.

Posledním komponentem externí synchronizace je brzda předlokové hřídele. Jedná se o pneumatickou lamelovou spojku, která je vysvětlena v kapitole 2.2.9. Pracuje se stlačeným vzduchem. Pomocí tlaku vzduchu reguluje třecí sílu, kterou brzda přenáší. Celé složení brzdý můžeme vidět na Obr. 28

Celá synchronizace a následné řazení je ovládané centrální řídicí jednotkou, která je umístěna na horní hraně převodovky (Obr. 23). Synchronizace využívá dvou komponent. Jedná o spojku, která je ovládána pneumaticky a brzda předlokové hřídele, které je též ovládána stlačeným vzduchem. Pokud vznikne požadavek na urychlení vstupní hřídele, řídicí jednotka vyšle signál, který má za následek sepnutí spojky a následné urychlení vstupní hřídele. Pokud nastane požadavek na zpomalení předlokové hřídele, řídicí jednotka vyšle signál brzdě předlokové hřídele a ta následně sníží otáčky předlokové hřídele. Celá synchronizace probíhá ve velmi krátkých časových intervalech. Proto je možno velmi rychle zařadit příslušný převodový stupeň.



Obr. 27: Předlohová hřídel [18], 1-kuželíkové ložisko, 2-kuželíkové ložisko, 3-PTO hřídel



Obr. 28: Brzda předlohové hřídele [18], 1 - set lamel, 2 - kryt, zastavovací šroub, 4 - pružina, 5 - píst, 6-válec pístu

3.4 Převodovky John Deere s externí synchronizací

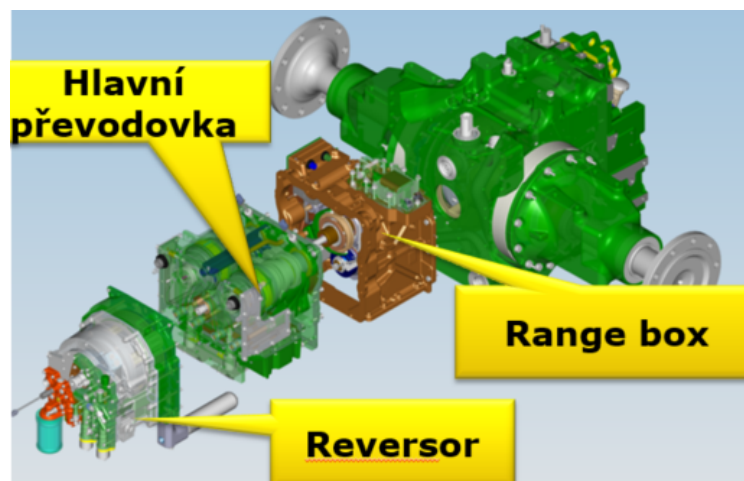
Společnost John Deere je velice známý výrobce zemědělské techniky. Mezi jeho produkty patří celá řada traktorů, pro které vyrábí více variant převodovek podle toho, na co bude ve většině případů stroj využíván.

My se zde budeme věnovat synchronizaci u převodovek, které nesou takovéto označení.

- DirectDrive
- AutoPower
- PowerShift

3.4.1 Převodovka DirectDrive

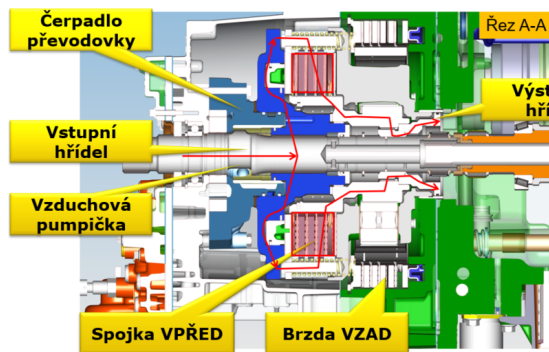
Jako první se budeme zabývat převodovkou s označením DirectDrive. Celé převodové ústrojí obsahuje hlavní převodovku a takzvaný range box, dále obsahuje reversor, který umožňuje použít celý rozsah převodového ústrojí, jak pro pohyb vpřed, tak pro pohyb vzad. Hlavní převodovka je tříhřídelová s dvěma lamelovými spojkami a nabízí osm rychlostních stupňů. Takzvaný range box může dále zařadit tři rychlostní stupně, které jsou označené A, B, C. Převodové ústrojí má tedy pro oba pohyby možnost zařadit celkem 8 x 3 převodových stupňů.



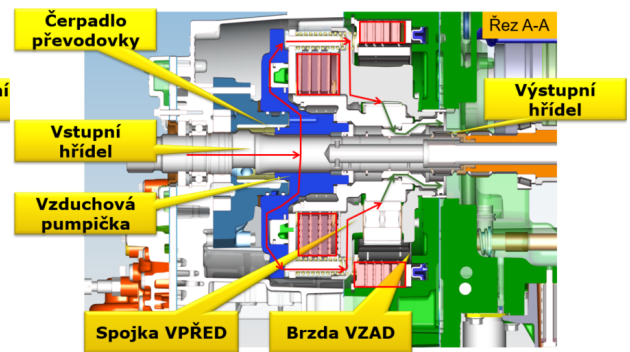
Obr. 29: Sestava celé převodovky Direct Drive [13]

První v cestě od motoru se nachází reversor. Má za úkol zajistit pohyb před a vzad a také pomoci při řazení jednotlivých převodových stupňů hlavní převodovce tím, že urychlí nebo zpomalí vstupní hřídel do hlavní převodovky. Níže můžeme vidět jak reversor pracuje při obou možnostech pohybu.

V hlavní převodovce najdeme zubové spojky, které zajišťují přechodování mezi jednotlivými rychlostními stupni. Tyto spojky jsou ovládány řídicí jednotkou, která zajišťuje celý proces řazení rychlostních stupňů. Jedná se o řazení pomocí aktuátoru. Celá soustava aktuátorů je

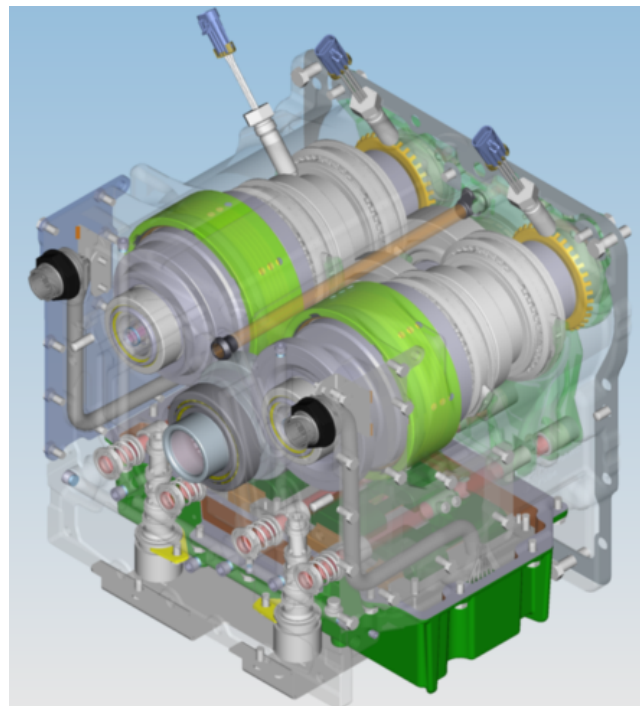


Obr. 30: Reversor při pohybu vpřed [13]



Obr. 31: Reversor při pohybu vzad [13]

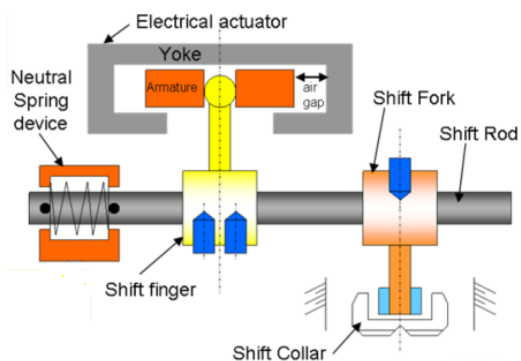
umístěna ve spodní části převodovky. Celkově převodovka obsahuje čtyři aktuátory, která zajišťují řazení všech rychlostních stupňů. Ke každému aktuátoru je připojena vidlička, kterou ovládá samotnou zubovou spojku. Princip řazení jednotlivých rychlostních stupňů a umístění aktuátorů můžeme vidět na Obr. 33 a Obr. 34



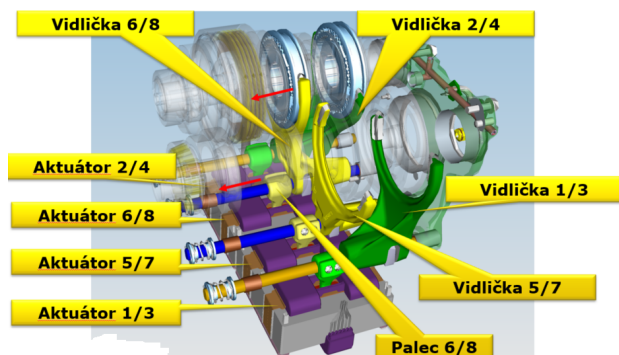
Obr. 32: Hlavní převodovka DirectDrive [13]

Jako poslední v převodovém ústrojí nalezneme takzvaný range box. Jedná se o dvouhřídelovou převodovku se třemi řadícími stupni A, B a C. Řazení zde zajišťují opět aktuátory. Synchronizace zde není zajištěna externě, ale jsou zde dvě zubové spojky s jistiženou synchronizací, které zajišťují hladké zařazení.

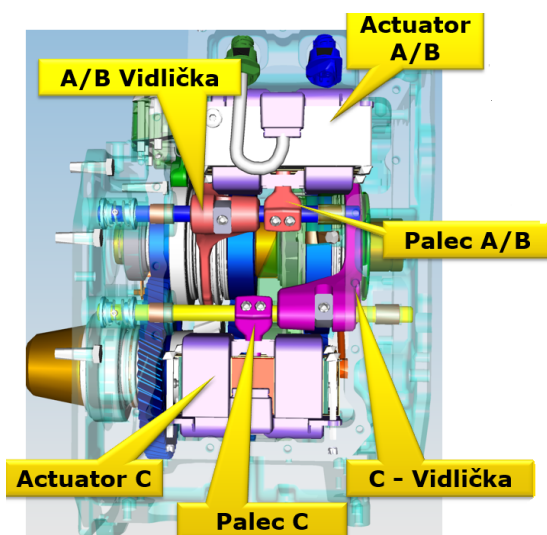
Vše je řízeno řídicí jednotkou převodovky, která je umístěna na horní straně hlavní převodovky. Samotné řazení je zde zajištěno za pomoci elektrických aktuátorů. Synchronizace otáček je zajištěna za pomoci lamelových spojek, které jsou spínány tlakovým olejem.



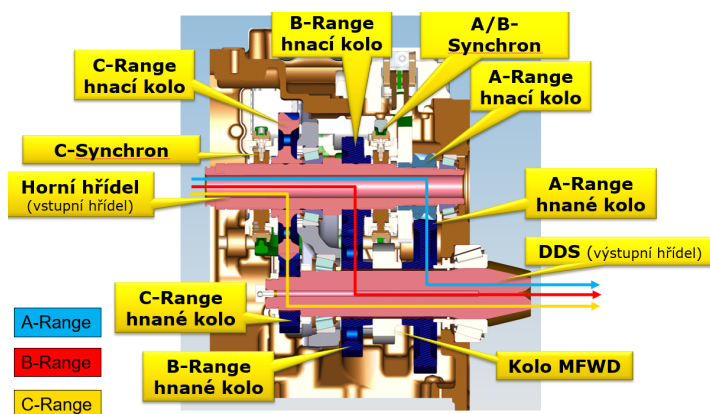
Obr. 33: Schéma řazení rychlostních stupňů Direct Drive [13]



Obr. 34: Umístění aktuátorů [13]



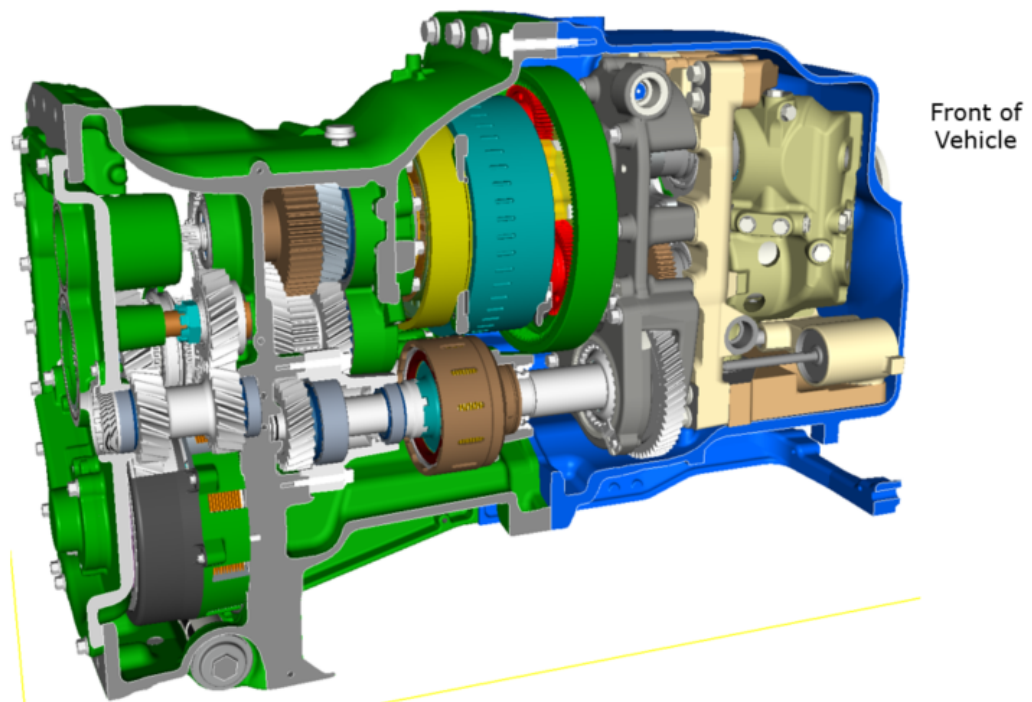
Obr. 35: Schéma řazení rychlostních stupňů range box [13]



Obr. 36: Range Box [13]

3.4.2 Převodovka AutoPower

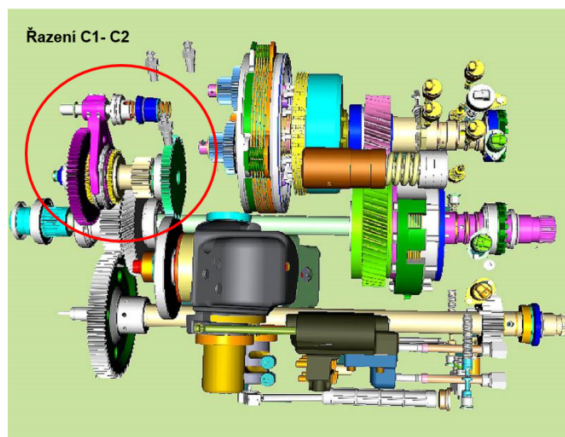
Dalším zástupcem je převodovka s označením AutoPower. Jedná o hydro/mechanicky poháněnou planetovou převodovku, která je plynule regulovatelná. Pohon je prováděn planetovým soukolím s hydrostatickou regulací otáček. Hydrostatická jednotka se používá pouze pro regulaci otáček výstupu a ne ke změně směru jízdy traktoru. Kromě hydrostatické a planetové jednotky se převodovka skládá se spojky nízkého rychlostního rozsahu, spojky vysokého rychlostního rozsahu, sestavy synchronizačních spojek C1/C2, brzdy pro jízdu vzad a prvků parkovací brzdy. Spojky horního/dolního rychlostního rozsahu a C1 nebo C2 jsou zapínány tak, aby bylo dosaženo plynule proměnného převodového poměru. Převodovka nemá žádné řidičem mechanicky ovládané mechanismy. Povelů řidiče jsou přijímány a vysílány do převodovky elektronicky. Celou převodovku řídí jednotka nazvaná PTI.



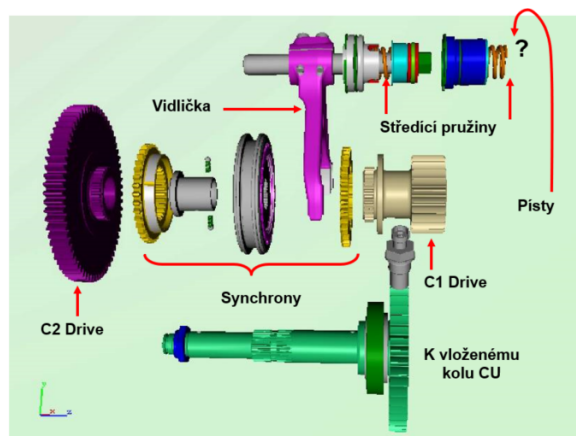
Obr. 37: Převodovka AutoPower [13]

Převodovka AutoPower má čtyři režimy pro jízdu vpřed a dva režimy pro jízdu vzad. Převodovku tvoří pět celků: dvě synchronizační spojky C1 a C2, dvě spojky pro jízdu vpřed LC (nízký rychlostní rozsah) a HC (vysoký rychlostní rozsah) a jednu synchronizační brzdou pro jízdu vzad (RB). Vstupní a výstupní jednotky převodovky tvoří složená planetová řada a planetová řada pro jízdu vzad. Pro přenos výkonu přes převodovku je nutné, aby byly zapnuté dva synchronizační prvky. Pro jízdu vpřed nebo vzad jsou použity kombinace C1 nebo C2 a LC, HC nebo RB. C1 a C2 jsou používány při všech režimech jízdy vpřed a vzad. Kombinace LC nebo HC jsou použity pro směr jízdy vpřed, RB je použita pro jízdu vzad.

V převodovce veškeré řazení opět zajišťují lamelové spojky v oleji. Převodovka je poměrně

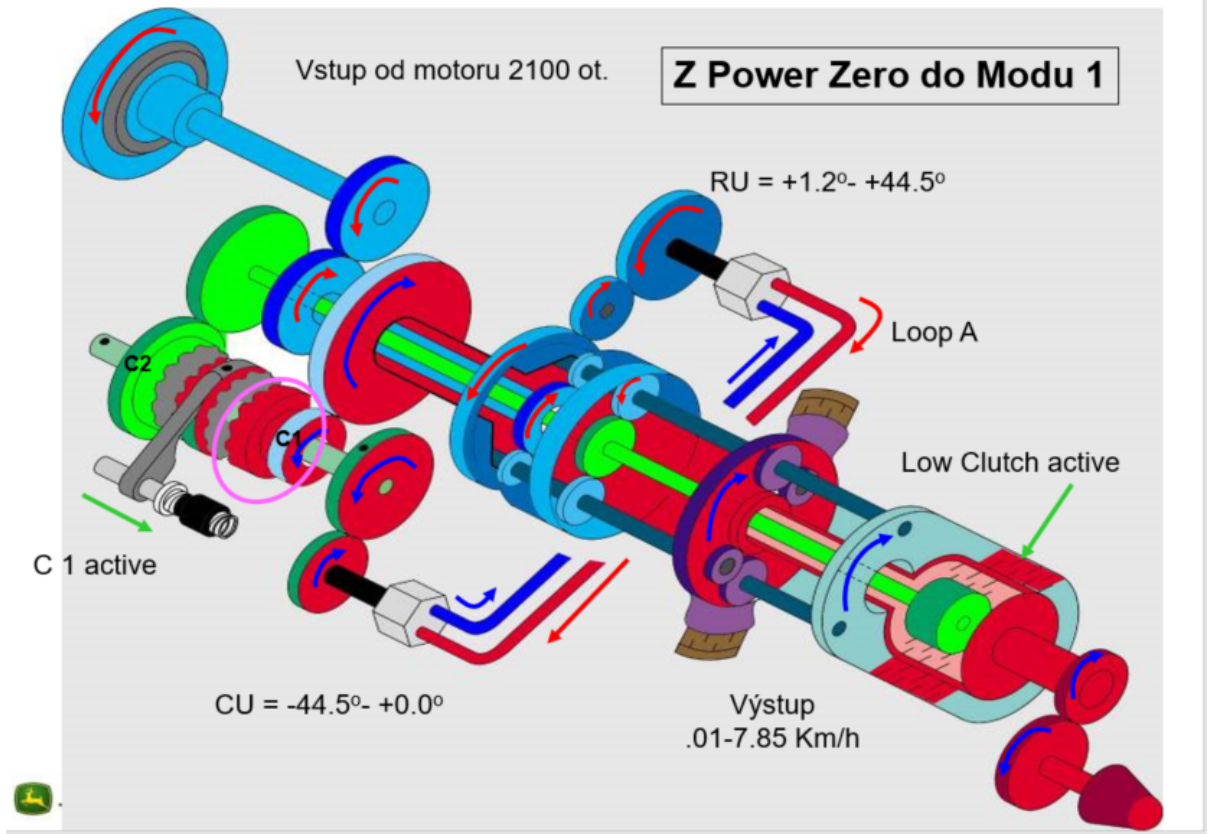


Obr. 38: Umístění synchronizace v převodovce AutoPower [13]

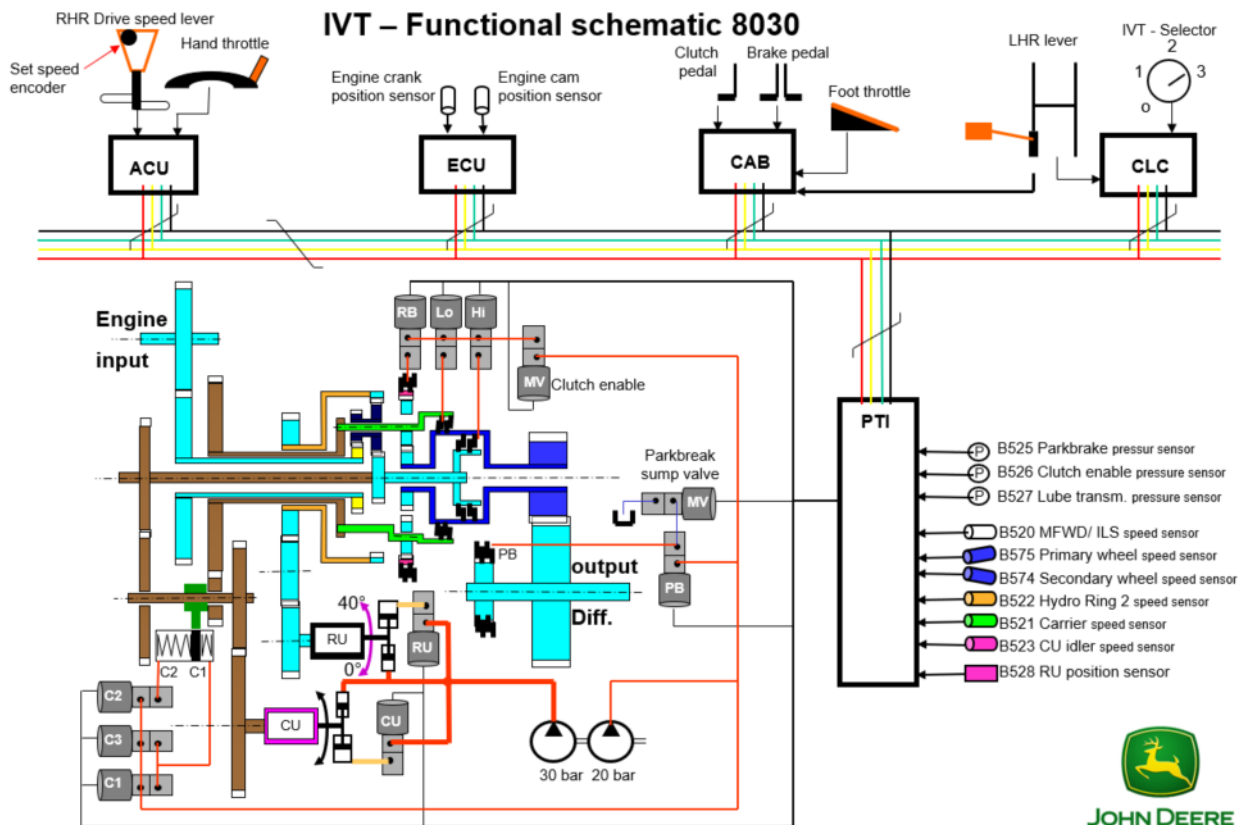


Obr. 39: Složení synchronizace AutoPower[13]

složitá na pochopení funkce, proto si zde vysvětlíme a ukážeme pouze jednu modelovou situaci abychom pochopili jak funguje synchronizace. Modelová situace se bude odehrávat mezi režimy nula a jedna a traktor se bude rozjíždět z minimální rychlosti $0,1 \text{ kmh}^{-1}$ na maximální rychlost režimu jedna $7,85 \text{ kmh}^{-1}$. Na konci režimu nula je úhel desky CU $0,0^\circ$ a úhel desky RU je $+44,5^\circ$ při těchto úhlech signalizující snímač otáček převodovky jednotce PTI, že otáčky ozubených kola spojek C1 a C2 se liší o méně než 50 min^{-1} . Jednotka PTI vyšle signál pro hydraulické přesunutí vidlice řazení, vypne spojku C2 a zapne spojku C1 přechází režim nula do režimu jedna. Celá synchronizace je tedy provedena za pomoci hydrostatu a řazení je provedeno pomocí hydraulického přesuvníku. Vše je ovládáno centrální jednotkou převodovky PTI.



Obr. 40: Schéma režimu nula jedna [14]

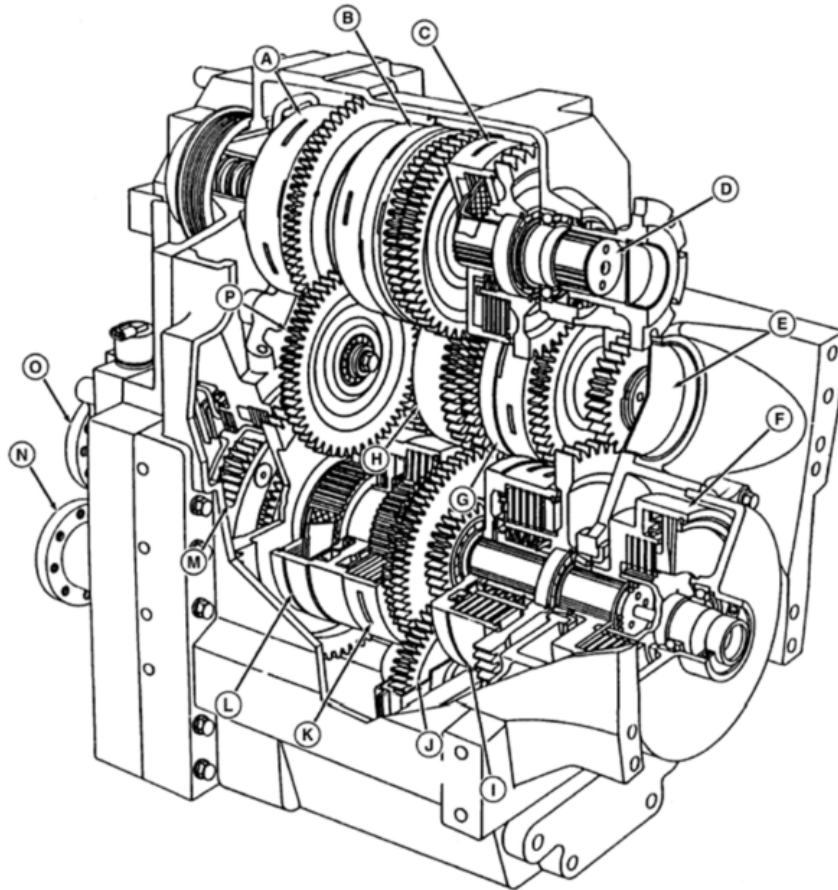


Obr. 41: Elektro schéma převodovky AutoPower [14]



3.4.3 Převodovka PowerShift

Převodovka PowerShift je nejstarší automatizovanou převodovkou od společnosti John Deere. Jedná se o tří hřídelovou převodovku. Obsahuje pouze lamelové spojky, které jsou ovládány tlakovým olejem.



Obr. 42: Převodovka PowerShif [15], A-C4(řadící spojka), B-C1(řadící spojka1), C-C3(řadící spojka), D-Vstupní hřídel od motoru, E-Předlohový hřídel, F-Spojka pohonu přední hnací nápravy, G-C2(řadící spojka2), H-CR(spojka jízdy vzad),I-BC(synchronizační spojka B), J-Pomocné hnací ústrojí(vývodový hřídel), K-DC(synchronizační spojka D), L-CC(synchronizační spojka C), M-AB(synchronizační brzda A), N-Pomocný hnací hřídel, O-Výstupní hřídel, P-Vložené ozubené kolo jízdy vzad

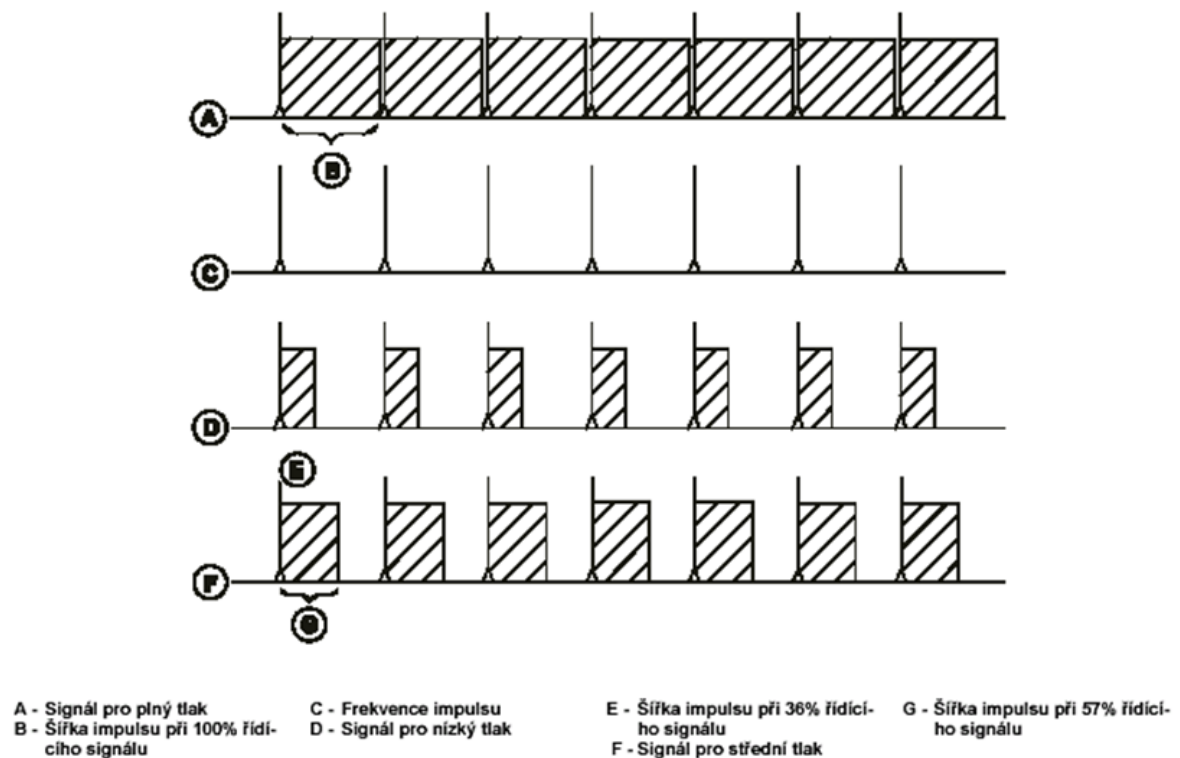
Zde si vysvětlíme základní princip fungování převodovky. Vstupní hřídel převodovky je poháněna od motoru, otáčí se ve stejných otáčkách jako motor. Pokud je zapnutá spojka na vstupní hřídeli, začne se otáčet hnací ozubené kolo tělesa spojky. Ozubení tělesa spojky je v záběru s ozubením předlohové hřídele a nutí k otáčení předlohovou hřídel. Na předlohové hřídeli jsou spojky C2 a CR. Ozubená kola spojky C2 a CR jsou drážkováním spojena se vstupním hřídelem, který se otáčí ve stejných otáčkách jako motor. Předlohová hřídel se otáčí ve smyslu odpovídajícímu dopředu, pokud je některá ze spojovacích spojů pro přední brzdu zapnutá (C1, C2, C3 nebo C4). Pokud je spojka CR zapnutá, hřídel se otáčí ve smyslu odpovídání jízdě vzad. Spojkou CR je výkon přenášen přes vstupní hřídel. Každou ze vstupních spojek (C1, C2, C3 a C4) je možné zapnout v kombinaci s některým ze tří

výstupních spojek nebo brzdy A (AB, BC, CC nebo DC) pro dosažení 16 převodových stupňů pro jízdu vpřed. Spojku pro jízdu vzad CR je možné zapnout v kombinaci s některým z výstupních spojek nebo brzdou pro dosažení 4 převodových stupňů pro jízdu vzad. Zároveň může být zapnuta pouze jedna vstupní spojka (C1, C2, C3, C4, CR). Současně smí být zapnuta pouze jedna výstupní spojka nebo brzda (AB, BC, CC, DC). Výstupní hřídel se neotáčí, pokud není zapnuta alespoň jedna vstupní spojka a alespoň jedna výstupní spojka nebo brzda.

V této převodovce je veškerá synchronizace a následné řazení prováděno pomocí tlakových lamelových spojek a elektromagnetických ventilů. Následně se pokusím vysvětlit jak celá synchronizace elektromagnetickými ventily funguje.

Široká modulace pulzů umožňuje přesné ovládání elektrohydrauliky ovládaných ventilů převodovky PowerShift. Po zapnutí spojky je vyslán elektrický impuls z řídicí jednotky převodovky do elektromagnetu s určitou frekvencí.

Elektricky ovládané ventily umožňují přesné ovládání doby plnění a vypouštění oleje ze synchronizačních prvků, zejména synchronizačních prvků relativně vůči sobě. Jeden synchronizační prvek může být částečně naplněn, než je jiný prvek vypuštěn.



Obr. 43: Převodovka PowerShif signály pro analogové ventily [15]

Dále se pokusím popsat funkci analogového ventilu řazení a synchronizace. Označení “analogový” se nevztahuje k elektronickému signálu vysílanému z řídicí jednotky převodovky k ventilu řazení. Tento signál má širokou modulaci pulzů nebo je typu zapnuto/vypnuto.

“Analogový” popisuje způsob, jakým ventil zpracovává signál. Elektrický proud nezačíná ani nepřestává protékat v rámci jednotlivých segmentů. Namísto toho šířka pulzů určuje efektivní nebo průměrnou hodnotu protékajícího proudu, která je úměrná posuvu pístku (Obr. 43).

Analogově ovládané ventily používají plochou vratnou pružinu. Pružina je k ventilu přivařena. Pokud je ventil ve vypnutém stavu (Obr. 44), pružina přestavuje pístek do polohy, ve které může olej pod řadicím tlakem volně odtékat do nádrže. K šoupátku není přiváděn tlakový olej pro zapnutí spojky.

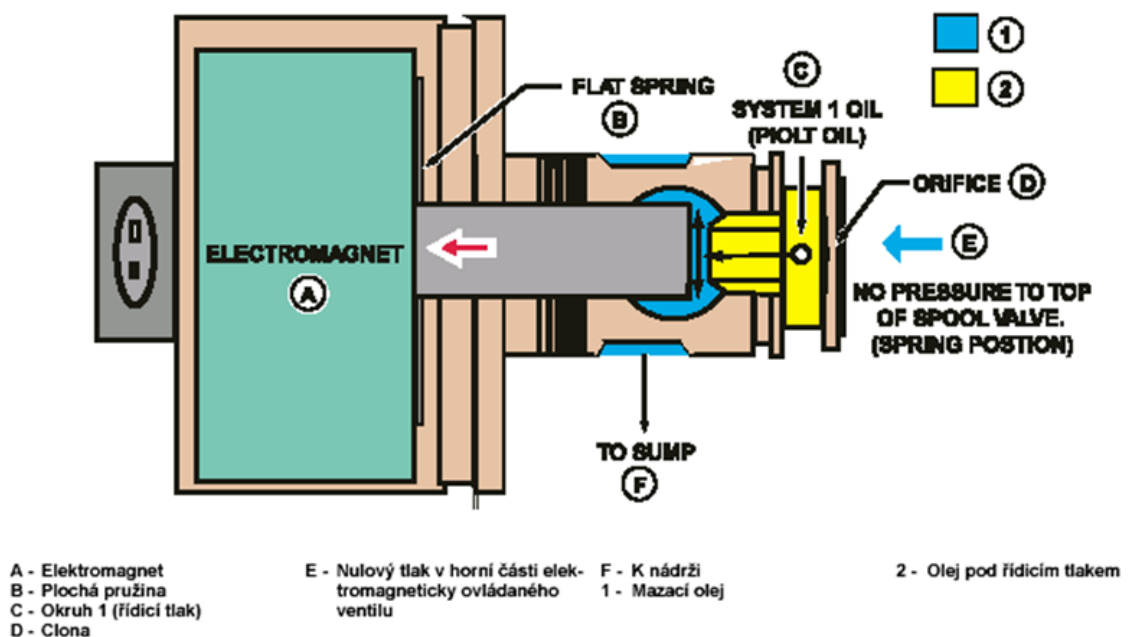
Pokud je “analogově ovládaný” ventil v zapnutém stavu (Obr. 45), pístek není přestavován do výchozí nebo vypnuté polohy při každém cyklu pulzů s šířkou modulací z důvodu intenzity a trvání magnetického pole a díky konstrukci ploché pružiny.

Pístek mění svou polohu v rámci řídicí části ventilu. Tím vzniká proměnný odpor, založený na vzdálenosti mezi pístkem a sedlem trysky řídicího oleje.

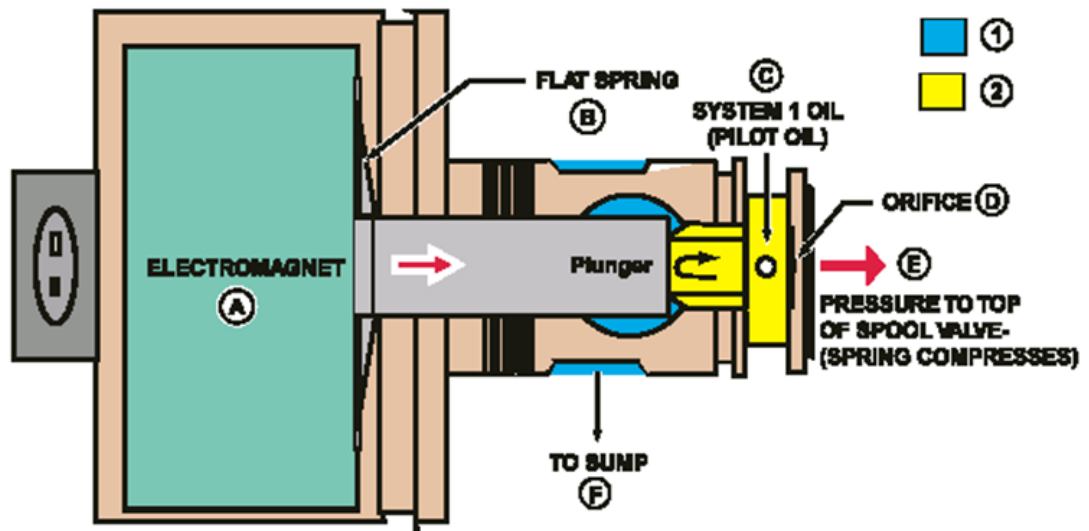
Po přestavení pístku blíže k trysce řídicího oleje vzroste odpor a tlak působící na šoupátko ventilu. Dojde ke stlačení pružiny a zahájení průtoku oleje pro zapnutí spojky.

Účinnost elektromagnetu je určena velikostí elektrického proudu, který elektromagnetem protéká. Řídicí jednotka převodovky reguluje průtok proudu frekvencí pulzů šířkou modulací a pracovním cyklem proměnné frekvence.

Čím vyšší je frekvence, tím nižší je protékající proud. Čím více je pístek vzdálený od trysky řídicího tlaku, tím menší množství oleje protéká k zapínané spojce nebo od vypínané spojky.



Obr. 44: Schéma analogového ventilů řazení a synchronizace (Ventil vypnut) [15]



A - Elektromagnet
 B - Plochá pružina
 C - Okruh 1 (řídící tlak)
 D - Člona

E - Tlak v horní části elektro-
 magneticky ovládaného ven-
 tilu

F - K nádrži
 1 - Mazací olej

2 - Olej pod řídícím tlakem

Obr. 45: Schéma analogového ventilů řízení a synchronizace (Ventil zapnut) [15]

4 Výpočet energetických nároků na synchronizaci

Pro výpočet energetických nároku na synchronizační zdroj jsem si vybral převodovku I-Shift od společnosti Volvo. Jak je již zmíněno v kapitole 3.3. V této převodovce synchronizaci zajišťují dvě části převodovky samotná spojka převodovky a brzda předlokové hřídele, které jsou ovládány stlačeným vzduchem. Pro výpočet budeme počítat s brzdou předlokové hřídele.

Nejprve je potřeba stanovit moment setrvační tzv. volných hmot. Jelikož synchronizace otáček je realizována brzdou předlokové hřídele převodovky, je potřeba sečíst všechny momenty setrvačnosti, které ovlivňují moment setrvačnosti dané hřídele. Jedná se o ozubená kola, které jsou uložena na hřídeli a také kola, které jsou v trvalém záběru s ozubenými koly na předlokové hřídeli. Dále musíme také započítat lamely a ložiska.

Společnost Volvo mi poskytla veškeré výkresy, jak předlokové hřídele, tak ozubených kol a dalších komponent. Ke zjištění momentu setrvačnosti jsem použil výkresy jednotlivých částí. Na některých byl uveden moment setrvačnosti, některé jsem si musel vymodelovat a poté moment setrvačnosti zjistit.

Jednotlivé momenty setrvačnosti jsou uvedeny níže.

Momenty setrvačnosti předlokové hřídele a ozubených kol, které jsou na hřídel nalisovány a také ložisek předlokové hřídele

| | |
|-------------------------|--------------------------------------|
| Předloková hřídel | $J_{hr} = 0,0105 \text{ kgm}^2$ |
| Ozubené kolo 1 | $J_{z1.p.h.} = 0,0140 \text{ kgm}^2$ |
| Ozubené kolo 2 | $J_{z2.p.h.} = 0,0243 \text{ kgm}^2$ |
| Ozubené kolo 3 | $J_{z3.p.h.} = 0,0153 \text{ kgm}^2$ |
| Lamely | $J_l = 0,0002 \text{ kgm}^2$ |
| Ložiska | $J_l = 0,0126 \text{ kgm}^2$ |

$$J_{p.h.} = J_{hr} + J_{z1.p.h.} + J_{z3.p.h.} + J_l + J_l \quad (17)$$

$$J_{p.h.} = 0,0105 + 0,0140 + 0,0243 + 0,0153 + 0,0002 + 0,0126 \text{ kgm}^2 \quad (18)$$

Moment setrvačnosti předlokové hřídele se všemi komponenty je

$$J_{p.h.} = 0,0769 \text{ kgm}^2 \quad (19)$$

Moment setrvačnosti ozubeného kola vstupní hřídele, ložiska a převodový poměr ozubených kol:

| | |
|--|-----------------------------------|
| Ozubené kolo vstupní hřídele | $J_{z.vs} = 0,0347 \text{ kgm}^2$ |
| Ložisko ozubeného kola vstupní hřídele | $J_{l.vs} = 0,0011 \text{ kgm}^2$ |
| Převodový poměr ozubených kol. | $i_{vst} = 1,1429$ |

$$J_{vst.oz.} = J_{z.vs} + J_{l.vs} \quad (20)$$

$$J_{vst.oz.} = 0,0347 + 0,0011 \text{ kgm}^2 \quad (21)$$

$$J_{vst.oz.} = 0,0358 \text{ kgm}^2 \quad (22)$$

Momenty setrvačnosti ozubených kol hlavní hřídele včetně ložisek a převodové poměry příslušných ozubených kol.

| | |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| Ozubené kolo 1, | $J_{hh.z1} = 0,0182 \text{ kgm}^2$ |
| Ozubené kolo 2 | $J_{hh.z2} = 0,0463 \text{ kgm}^2$ |
| Ozubené kolo 3 | $J_{hh.z3} = 0,0868 \text{ kgm}^2$ |
| Ozubené kolo 4 | $J_{hh.z4} = 0,0456 \text{ kgm}^2$ |
| Převodový poměr ozubených kol. | $i_{hh.z1} = 0,8974$ |
| Převodový poměr ozubených kol. | $i_{hh.z2} = 1,4643$ |
| Převodový poměr ozubených kol. | $i_{hh.z3} = 2,4211$ |
| Převodový poměr ozubených kol. | $i_{hh.z4} = 2,8333$ |

Nyní můžeme vypočítat celkový moment setrvačnosti, který potřebujeme pro synchronizaci.

$$J_{celk} = J_{p.h.} + \frac{J_{vst.oz.}}{i_{vst}^2} + \frac{J_{hh.z1}}{i_{hh.z1}^2} + \frac{J_{hh.z2}}{i_{hh.z2}^2} + \frac{J_{hh.z3}}{i_{hh.z3}^2} + \frac{J_{hh.z4}}{i_{hh.z4}^2} \quad (23)$$

$$J_{celk} = 0,0769 + \frac{0,0358}{1,1429^2} + \frac{0,0182}{1,1142^2} + \frac{0,0463}{0,8974^2} + \frac{0,0868}{2,4211^2} + \frac{0,0456}{2,8333^2} \text{ kgm}^2 \quad (24)$$

$$J_{celk} = 0,1395 \text{ kgm}^2 \quad (25)$$

Celkový moment setrvačnosti je $J_{celk} = 0,1395 \text{ kgm}^2$. Dále jsem si zjistil z převodových poměrů nejvyšší rozdíl otáček pro synchronizaci, která je $\omega = 100 \text{ rads}^{-1}$. Z těchto hodnot už můžeme vypočítat samotnou energetickou náročnost na synchronizaci. Použijeme tyto vztahy

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot J_{celk} \cdot \Delta\omega^2 \quad (26)$$

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot 0,1395 \cdot 100^2 \text{ J} \quad (27)$$

$$E_{kin} = 697,5 \text{ J} \quad (28)$$

Zjistil jsem kinetickou energii, která je potřeba pro synchronizaci. Následně si dopočítáme

výkon. Víme, že synchronizace musí být provedena za 0,4 s

$$P = \frac{E_{kin}}{t} \quad (29)$$

$$P = \frac{697,5}{0,4} \text{ W} \quad (30)$$

$$P = 1743,75 \text{ W} \quad (31)$$

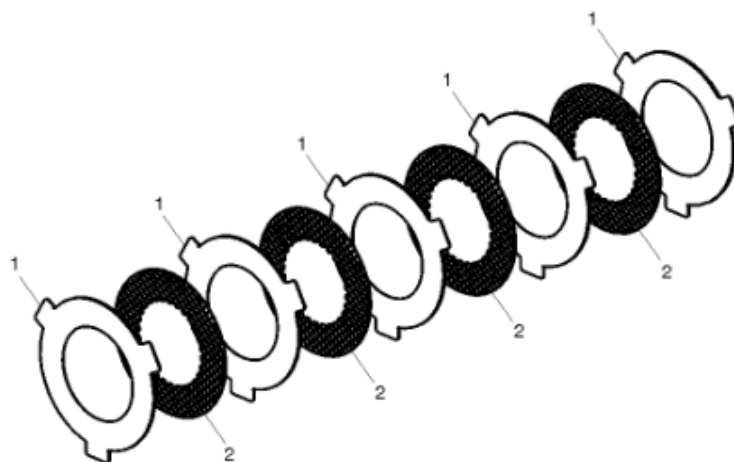
Známe výkon, který je potřeba pro synchronizace. Pro další výpočet si z výkonu vypočteme moment, který musí spojka přenést aby zmenšila otáčky hřídele o 100 rad s^{-1} .

$$M = \frac{P}{\omega} \quad (32)$$

$$M = \frac{1743,75}{100} \text{ Nm} \quad (33)$$

$$M = 17,4375 \text{ Nm} \quad (34)$$

U brzdy známe vnější průměr lamel d_2 , který je 90 mm a vnitřní průměr lamel d_1 , který je 60 mm. Dále známe počet lamel, tudíž si můžeme dopočítat počet třecích ploch i , který je roven 8.



Obr. 46: Lamely brzdy předlohové hřídele [18]

Vycházíme tedy ze vztahu pro lamelové spojky.

$$M_s = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot p \cdot f \cdot i \cdot (r_2^3 - r_1^3) \quad (35)$$

Potřebujeme zjistit, jakým tlakem je lamelová spojka schopna přenést daný moment, vyjádříme tedy p

$$p = \frac{3}{2} \cdot \frac{M}{\pi \cdot p \cdot f \cdot i \cdot (r_2^3 - r_1^3)} \quad (36)$$

a následně dosadíme

$$p = \frac{3}{2} \cdot \frac{17,4375}{\pi \cdot 0,3 \cdot 8 \cdot (0,045^3 - 0,03^3)} \text{ Pa} \quad (37)$$

$$p = 53,0987 \text{ kPa} \quad (38)$$

Tlak kterým zmenšíme otáčky o 100 rad s^{-1} nám vyšel $p = 53,0987 \text{ kPa}$.

5 Závěr

Cílem této práce bylo shromáždit všechny dostupné informace o řadicích spojkách v převodovkách nákladních a speciálních vozidel, včetně teorie pro výpočet nejpoužívanějších spojek. Jsou zde popsány různé typy synchronizačních, ale také nesynchronizačních spojek. Práce se také zabývá externí synchronizací otáček, která nahrazuje synchronizační spojky.

První část práce je věnována právě řadicím spojкам a jejich využití. Detailně rozebírá jednotlivé synchronizační i nesynchronizační spojky.

Další část práce shrnuje vše potřebné o externí synchronizaci převodovek a uvádí jejich příklady.

Poslední část práce se věnuje výpočtům pro návrh energetických nároků na vnější synchronizaci. Konkrétněji vypočítat, jaký pracovní tlak potřebuje k synchronizaci brzda předlohové hřídele.

Seznam použitých značek a symbolů

Návrh synchronizační spojky

J_{red} – redukovaný moment setrvačnosti, [kg.m²]

M_{zt} – moment zátěže, [Nm] = newton metr

M_{ztrat} – ztrátový moment, [Nm] = newton metr

M_t – třecí moment, [Nm] = newton metr

M_{ts} – maximální třecí moment spojky, [Nm] = newton metr

F – řadící síla, [N] = newton

F_n – normálová síla, [N] = newton

F_t – třecí síla, [N] = newton

ω – úhlová rychlost, [rad s⁻¹] = radián za sekundu

α – úhel třecího kužele, [°, rad] = stupeň, radián

j – počet třecích ploch, [-]

d – efektivní průměr, [mm] = milimetr

d_0 – jmenovitý průměr, [mm] = milimetr

d_c – průměr spojky průměr, [mm] = milimetr

Návrh třecí lamelové spojky

F_t – přítláčná síla, [N] = newton

F_t – třecí síla, [N] = newton

i – počet třecích ploch, [-]

M_s – moment přenášený spojkou, [Nm] = newton metr

f – součinitel smykového tření, [-]

r_s – střední průměr, [mm] = milimetr

r_2 – maximální průměr lamel průměr, [mm] = milimetr

r_1 – minimální průměr lamel, [mm] = milimetr

p – tlak třecí plochy, [Pa] = Pascal

Pravděpodobnost zasunutí čelních zubových spojek do záběru

P_{min} – geometrická pravděpodobnost, [-]

z – počet zubů čelní spojky

ϕ – mezera mezi zuby, [rad] = radián

Výpočet energetických nároků na synchronizaci

$J_{hh.z4}$ – moment setrvačnosti 4. ozubeného kola hlavní hřídele, [kg.m²]

$J_{hh.z3}$ – moment setrvačnosti 3. ozubeného kola hlavní hřídele, [kg.m²]

$J_{hh.z2}$ – moment setrvačnosti 2. ozubeného kola hlavní hřídele, [kg.m²]

$J_{hh.z1}$ – moment setrvačnosti 1. ozubeného kola hlavní hřídele, [kg.m²]

$J_{vst.oz.}$ – moment setrvačnosti vstupního ozubeného kola, [kg.m²]

$J_{l.vs}$ – moment setrvačnosti ložiska kola vstupní hřídele, [kg.m²]

$J_{z.vs}$ – moment setrvačnosti ozubeného kola vstupní hřídele, [kg.m²]

$J_{p.h.}$ – moment setrvačnosti celé předlokové hřídele, [kg.m²]

J_l – moment setrvačnosti ložisek předlokové hřídele, [kg.m²]

J_l – moment setrvačnosti 4 lamel, [kg.m²]

$J_{z3.p.h.}$ – moment setrvačnosti 3. nalisovaného ozubeného kola na hřídel, [kg.m²]

$J_{z2.p.h.}$ – moment setrvačnosti 2. nalisovaného ozubeného kola na hřídel, [kg.m²]

$J_{z1.p.h.}$ – moment setrvačnosti 1. nalisovaného ozubeného kola na hřídel, [kg.m²]

J_{hr} – moment setrvačnosti samotné předlokové hřídele, [kg.m²]

J_{celk} – celkový moment setrvačnosti, [kg.m²]

ω – úhlová rychlost, [rad s⁻¹] = radián za sekundu

t – čas, [s] = sekunda

E_{kin} – kinetická energie pro synchronizaci, [J] = joule

P – výkon potřebný pro synchronizaci, [W] = watt

M – moment, [Nm] = newton metr

M_s – moment přenášený spojkou, [Nm] = newton metr

p – tlak třecí plochy, [Pa] = Pascal

i – počet třecích ploch, [-]

i_{vst} – převodový poměr kol vstupní hřídele, [-]

$i_{hh.z1}$ – převodový poměr 1. kol hlavní hřídele, [-]

$i_{hh.z2}$ – převodový poměr 2. kol hlavní hřídele, [-]

$i_{hh.z3}$ – převodový poměr 3. kol hlavní hřídele, [-]

$i_{hh.z4}$ – převodový poměr 4. kol hlavní hřídele, [-]

r_2 – maximální průměr lamel průměr, [mm] = milimetr

r_1 – minimální průměr lamel, [mm] = milimetr

f – součinitel smykového tření, [-]

Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] VLK, František. *Převody motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6463-1.
- [2] LECHNER, G., Harald NAUNHEIMER a Joachim. RYBORZ. *Automotive transmissions: fundamentals, selection, design, and application*. New York: Springer, c1999. ISBN 3-540-65903-x.
- [3] SOCIN, R. J. - WALTERS, L. K. *Manual transmission*, 1968, SAE paper 68008
- [4] *Synchronizator korobki peredač*. Systemauto.ru [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z:<http://systemsauto.ru/box/synchronizer-gear.html>
- [5] BOKA, G. *Shifting Optimization of Face Dog Clutches in Heavy duty Automated Mechanical Transmissions*, Budapest, 2011.
- [6] MILLER, P.: *Náhrada synchrnoizačních spojek*. ČVUT v Praze, 2006. D2006-A09.
- [7] textit Zeroshift gearbox [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z:<http://eng.kaps.cz/zeroshift-gearbox-news-1153>
- [8] LIPČAK, Dmitrij. *Úprava vnitřního mechanismu řazení pro následnou automatizaci*. 2016. DIPLOMOVÁ PRÁCE. České vysoké učení technické v Praze Fakulta strojní. Vedoucí práce Doc. Dr. Ing. Gabriela Achtenová.
- [9] SVOBODOVÁ, Magdalena. *Součásti točivého a přímočarého pohybu: Třecí a synchronizační spojky* [online]. , 12 [cit. 2018-08-01]. Dostupné z:http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY_32_INOVACE_14-11.pdf
- [10] *Ozubená kola se starají o pohyb vpřed*. Docplayer [online]. [cit. 2018-08-02]. Dostupné z:<https://docplayer.cz/2679192-Ozubena-kola-se-staraji-o-pohyb-v-p-r-e-d.html>
- [11] STYPA, Petr. *Převodové ústrojí osobních automobilů*. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně.
- [12] JASNÝ, Michal. *Návrh nového kompaktního řadicího mechanismu*. Praha, 2017. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [13] VIMR, František. *Převodovka DirectDrive: Servisní školení*. Praha, 2013.
- [14] *Převodovka AutoPower/IVT*: Technický manuál pro traktory 8130, 8230, 8330, 8430 a 8530.
- [15] *Převodovka PowerShift*: Technický manuál pro traktory 8120, 8220, 8320, 8420 a 8520.

- [16] PALÁT, Hynek. *Mechanicky ovládané spojky* [online]. In: . s. 8 [cit. 2018-08-09]. Dostupné z:http://www.sspu-opava.cz/UserFiles/File/_sablony/SPS_II/VY_32_INOVACE_C-07-19.pdf
- [17] *Převodovka mechanická Volvo IMPACT 4.01.10: Technický manuál 133886795*. 2014.
- [18] *4311/Description, Design and function//Gearbox, mechanical, component description ATO2612F Volvo IMPACT 4.06.00: 137646501*. 2017.

Seznam obrázků

Seznam obrázků

| | | |
|------------|--|----|
| Obrázek 1 | F-v diagram pro různý počet převodových stupňů se znázorněním nevyužitého výkonu [1] | 6 |
| Obrázek 2 | Řazení posuvnými koly [2] | 8 |
| Obrázek 3 | Řazení zpětného chodu [10] | 9 |
| Obrázek 4 | Schéma synchronizace dvou rotačních ploch [2] | 11 |
| Obrázek 5 | Základní rozměry a síly působící na synchronizační spojky [2] | 11 |
| Obrázek 6 | Princip funkce zubové spojky s nejištěnou synchronizací [3] | 13 |
| Obrázek 7 | Synchronizace Borg-Warner [4] 1-clonící kroužek, 2-jádro spojky, 3-volně otočné kolo, 4-objímka s vnitřním drážkováním, 5-synchronizační kroužek s třecím kuželem a unášecím ozubením, 6-drátová pružina, 7-jistící tělíska (kmeny) | 14 |
| Obrázek 8 | Zubová spojka s jištěnou synchronizací převodovek volvo [17], 1-zásuvný prostece, 2-vnitřní kužel, 3-dvojitý kužel, 4-vnější kužel, 5-tlačná deska, 6-talířová pružina, 7-vodící objímka, 8-zasouvací objímka, 9-pružinová západka, 10-pružinová západka pro neutráل | 14 |
| Obrázek 9 | Dvojnásobná synchronizační spojka Borg-Warner [2], 1-ozubené kolo volně otočné, 2-synchronizační kroužek, 3-mezikroužek, 4-clonící kroužek s proti kuželem, 5-náboj spojky | 16 |
| Obrázek 10 | Synchronizace s blokučícím čepem [2], 1-ozubené kolo se zubovou spojkou, 2-synchronizační kroužek, 3-řadící objímka, 4-blokovací čep, 5-tlačná pružina | 17 |
| Obrázek 11 | Vnější synchronizace Mercedes-Benz) [11], 1-jistící prstenecová pružina, 2-ozubené kolo rychlostního stupně, 3-synchronizační kroužek, 4-řadící objímka drážkováním, 5-převodová hřídel, 6-synchronizační těleso | 18 |
| Obrázek 12 | Synchronizační spojka Porsche [2], 1-volně otáčené kolo, 2-těleso spojky, 3-pásová brzda, 4-synchronizační kroužek, 5-axiální kroužek, 6-řadící objímka, 7-náboj spojky, 8-kámen, 9-doraz | 19 |
| Obrázek 13 | Složení lamelové spojky [16] | 20 |
| Obrázek 14 | Schéma lamelové spojky [16] | 21 |
| Obrázek 15 | Sestava převodovky obsahující zubové spojky [8] | 23 |
| Obrázek 16 | Základní rozdělení zubových spojek s čelním ozubením dle sklonu boku zubů [12] | 24 |
| Obrázek 17 | Přesuvník s ozubením zpětného chodu [8] | 25 |
| Obrázek 18 | Různé provedení čelních zubů. Vlevo – zuby přesuvníku zajíždí do drážek v kole, vpravo – zuby tvoří nalisovaný věnec na boku kola | 25 |

| | | |
|------------|---|----|
| Obrázek 19 | Proces zasunutí zubové spojky do záběru [5] | 26 |
| Obrázek 20 | Zubová spojka Zeroshift) [7], 1-ozubená kola, 2-náboj zubové spojky, 3-přesuvníky, 4-řadící vidličky | 28 |
| Obrázek 21 | Princip vnější synchronizace otáček) [2] | 30 |
| Obrázek 22 | Převodovka I-Shift řez [18] | 32 |
| Obrázek 23 | Převodovka I-Shift přehled [18], 1-brzda předlokové hřídele , 2-spojkový válec, 3-jednotka ventilu spojky, 4-kryt spojky, 5-vstupní hřídel, 6-předlohový hřídel, 7-hlavní hřídel, 8-olejové čerpadlo, 9-hřídel zpětného chodu, 10-hlavní skříň, 11-kryt olejového filtru, 12-kryt rozsahové převodovky, 13-posuvná vidlice zubových spojek, 14-výstupní hřídel včetně rozdělovací převodovky, 15-řídící jednotka převodovky, 16-kabelový svazek | 33 |
| Obrázek 24 | Pneumatické ovládání spojky [18], 1-přívod vzduchu, 2-pohony, 3-připojení vzduchu ke spojkovému válci pomocí jednotky, 4-válec spojky, 5-vzduchové připojení k brzdě předlohového hřídele , 6-brzdový válec předlohové hřídele , 7-výfukové kanálky | 34 |
| Obrázek 25 | I-Shift vstupní hřídel [18], 1-vstupní hřídel, 2-rozdělovací kolo, 3-zubový kroužek ozubeného kola, 4-synchronizační kužel, 5-posuvná objímka, 6-třetí ozubené kolo | 34 |
| Obrázek 26 | I-Shift výstupní hřídel [18], 1-kuželíkové ložisko, 2-kuželíkové ložisko, 3-planetové kolo, 4-olejové potrubí, 5-třetí ozubené kolo, 6-druhé ozubené kolo, 7-první ozubené kolo, 8-ozubené kolo pro zpětný chod, 9-posuvná objímka, 10-posuvná objímka, 11-kolo pro čidlo otáček hřídele | 35 |
| Obrázek 27 | Předlohová hřídel [18], 1-kuželíkové ložisko, 2-kuželíkové ložisko, 3-PTO hřídel | 36 |
| Obrázek 28 | Brzda předlokové hřídele [18], 1 - set lamel, 2 - kryt, zastavovací šroub, 4 - pružina, 5 - píst, 6-válec pístu | 36 |
| Obrázek 29 | Sestava celé převodovky Direct Drive [13] | 37 |
| Obrázek 30 | Reversor při pohybu vpřed [13] | 38 |
| Obrázek 31 | Rerevsor při pohybu vzad [13] | 38 |
| Obrázek 32 | Hlavní převodovka DirectDrive [13] | 38 |
| Obrázek 33 | Schéma řazení rychlostních stupňů Direct Drive [13] | 39 |
| Obrázek 34 | Umístění aktuátorů [13] | 39 |
| Obrázek 35 | Schéma řazení rychlostních stupňů range box [13] | 39 |
| Obrázek 36 | Range Box [13] | 39 |
| Obrázek 37 | Převodovka AutoPower [13] | 40 |
| Obrázek 38 | Umístění synchronizace v převodovce AutoPower [13] | 41 |
| Obrázek 39 | Složení synchronizace AutoPower[13] | 41 |
| Obrázek 40 | Schéma režimu nula jedna [14] | 42 |
| Obrázek 41 | Elektro schéma převodovky AutoPower [14] | 42 |

| | | |
|------------|--|----|
| Obrázek 42 | Převodovka PowerShif [15], A-C4(řadící spojka), B-C1(řadící spojka1), C-C3(řadící spojka), D-Vstupní hřídel od motoru, E-Předlohový hřídel, F-Spojka pohonu přední hnací nápravy, G-C2(řadící spojka2), H-CR(spojka jízdy vzad), I-BC(synchronizační spojka B) , J-Pomocné hnací ústrojí(vývodový hřídel), K-DC(synchronizační spojka D) , L-CC(synchronizační spojka C) , M-AB(synchronizační brzda A) , N-Pomocný hnací hřídel, O-Výstupní hřídel, P-Vložené ozubené kolo jízdy vzad | 43 |
| Obrázek 43 | Převodovka PowerShif signály pro analogové ventily [15] | 44 |
| Obrázek 44 | Schéma analogového ventilů řazení a synchronizace (Ventil vypnut) [15] | 45 |
| Obrázek 45 | Schéma analogového ventilů řazení a synchronizace (Ventil zapnut) [15] | 46 |
| Obrázek 46 | Lamely brzdy předlohové hřídele [18] | 50 |

Seznam použitého SW

- Texmaker, Miklive (\LaTeX)
- Microsoft Excel
- Servis Advisor
- Autodesk Inventor Professional 2018