



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

12120 - Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Přehledy a trendy ve vývoji samočinných převodovek

Literature Survey and Trends in the Development of Automatic Gearboxes

Bakalářská práce

Studijní program: TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Gabriela Achtenová

Jaroslav Kaněra



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní,

Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

**Technická 4, 166 07 Praha 6
2014/2015**

Akademický rok:

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro: **Jaroslava KANĚRU**

program: **Teoretický základ strojního inženýrství**

obor: **bez oboru**

název česky: **Přehled a trendy ve vývoji samočinných převodovek**

název anglicky: **Literature survey and trends in the development of automatic gearboxes**

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te rešerši stupňových samočinných převodovek. Nalezená řešení dokumentujte schématem zapojení a tabulkou ovládaných prvků během řazení.
2. Rešerši zpracujte formou „atlasu samočinných převodovek“, každému nalezenému řešení věnujte alespoň jeden list. Nalezená řešení ještě sumarizujte formou přehledové tabulky, kde budou uvedeny hlavní parametry převodovek.
3. Po dohodě s vedoucí vyberte jednoho zástupce z osobních vozidel se samočinnou převodovkou. Pro toto vozidlo navrhnete rozsah převodovky a odstupňování.
4. Vykreslete pilový diagram.

Rozsah průvodní zprávy: 20 stran

Rozsah grafických prací: -

Seznam doporučené literatury:

[1] Databáze článků z konferencí SAE

[2] Lechner G., Naunheimer H., et al: Automotive Transmissions, Springer, 1999, 2010

[3] Časopisy ATZ

Vedoucí bakalářské práce: doc. Dr. Ing. Gabriela Achtenová

Datum zadání bakalářské práce: 30. dubna 2015

Datum odevzdání bakalářské práce: 19. června 2015

Neodevzdá-li student bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.

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.

Zadání bakalářské práce převzal dne:

.....

Student

Doc. Ing. Oldřich VÍTEK, Ph.D.

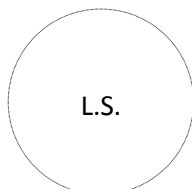
Prof. Ing. Michael VALÁŠEK, DrSc.

.....

Vedoucí ústavu

.....

Děkan fakulty



V Praze dne 6. dubna 2015

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů.

V Praze dne 24. 6. 2015

.....

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucí mé bakalářské práce doc. Dr. Ing. Gabriele Achtenové za cenné rady, připomínky a inspiraci.

Název práce: Přehledy a trendy ve vývoji samočinných převodovek

Autor: Jaroslav Kaněra

Ústav: 12120- Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Vedoucí bakalářské práce: doc. Dr. Ing. Gabriela Achtenová

Anotace: Tato práce se zabývá rešerší vývoje stupňových samočinných převodovek. Každý zmiňovaný typ je doplněn schématem zapojení a tabulkou ovládaných prvků během řazení. Cílem je shrnout vývoj automatických převodovek od historie do současnosti. Ve výpočtové části je uveden příklad výpočtu rozsahu a odstupňování převodovky osobního automobilu.

Klíčová slova: automatická převodovka, samočinné řazení, planetová převodovka, hydrodynamický měnič, progresivní odstupňování, pilový diagram

Title: Literature Survey and Trends in the Development of Automatic Gearboxes

Author: Jaroslav Kaněra

Department: 12120- Department of Automotive and Aerospace Engineering

Supervisor: doc. Dr. Ing. Gabriela Achtenová

Annotation: This research looks into the development of automatic gearboxes. Transmission scheme and shifting table is attached to each mentioned representative. The aim of this thesis is to summarize history of the development of automatic transmissions. In calculating section, there is an example of calculation of the total transmission ratio spread and gear ratios for personal car.

Keywords: automatic gearbox, automatic shifting, planetary gearbox, torque converter, progressive gear steps, saw profile diagram

OBSAH

1. Úvod	2
2. Rešeršní část	4
2.1. ZF 3HP12	4
2.2. ZF 3HP22	6
2.3. Mercedes-Benz W4A 040&020	8
2.4. ZF 4HP14	10
2.5. ZF 4HP20	12
2.6. ZF 4HP22&4HP24	14
2.7. ZF 5HP18	16
2.8. ZF 5HP19	18
2.9. ZF 5HP24&5HP30	20
2.10. Mercedes-Benz W5A 330&580&900 (5G-Tronic).....	22
2.11. ZF 6HP	24
2.12. Aisin AW TF-60 SN&&TF-80 SC	26
2.13. Mercedes-Benz W7A 700 (7G-Tronic).....	28
2.14. Aisin AW TL-80 SN (Toyota AA80E)	30
2.15. ZF 8HP	32
2.16. Aisin AW F8F35	34
2.17. ZF 9HP	36
2.18. Mercedes-Benz 9G-Tronic	38
2.19. Ford-GM 10° převodovka	40
3. Výpočtová část	42
4. Závěr	49
5. Zdroje	50
6. Přílohy	55

1. ÚVOD

V roce 1939 představila společnost General Motors první sériově vyráběnou samočinnou převodovku pro osobní vozidla. Odpadla nutnost ovládat spojkový pedál a ručně řadit převodové stupně. Ústrojí pojmenované Hydra-Matic se skládalo z hydrodynamické spojky a dvou planetových soukolí. Tento "tradiční" koncept automatické převodovky prošel v průběhu let intenzivním vývojem. Zejména pod tlakem konkurence v podobě efektivních dvouspojkových převodovek (DSG) se v posledních letech dramaticky zlepšila účinnost ústrojí a odezva na plynový pedál, jakož i inteligentní strategie řazení. Také přibyl počet převodových stupňů a s tím i celkový rozsah převodovek.

První sériovou aplikací hydrodynamického měniče momentu byla převodovka Dynaflow, představená koncernem GM v roce 1948. Ústrojí mělo pouhé dva stupně pro jízdu vpřed. Prokluz hydrodynamického měniče a jeho momentová násobnost suplovala chybějící převody a stála za velkou plynulostí jízdy, kterou "konkurenční" převodovka Hydramatic neoplývala. Ústrojí bylo ale velmi neefektivní a zrychlení automobilu trvalo dlouho. Měnič momentu byl proto vylepšen do dvoustupňové podoby. Vrcholnou verzí byla převodovka Dynaflow s třístupňovým měničem. Vývoj ale vedl směrem ke zvyšování počtu mechanických převodů.

Některé automobilky začaly vyrábět licencované verze převodovky Hydramatic, ovšem našli se výrobci, kteří v padesátých letech vyvinuli vlastní automatické převodovky. Ultramatic od společnosti Packard vynikala pokrokovým řešením: přemost'ovací spojkou hydrodynamického měniče. Ta se spínala při ustálené jízdě vyšší rychlostí. Dnes je přemost'ovací spojka v každé moderní samočinné převodovce a důmyslné systémy torzního tlumení umožňují spínat přemost'ování měniče již při velmi malých otáčkách.

Od šedesátých let se konvenčním automatickým převodovkám, skládajícím se z hydrodynamického měniče a planetového soukolí objevila konkurence v podobě převodovek s plynule měnitelným převodem (CVT), které jako první začal používat nizozemský DAF.

Od devadesátých let se standardem stala přemost'ovací spojka hydrodynamického měniče. Při přemostění nedochází ke ztrátám v měniči, provoz je tedy efektivnější a odezva na plynový pedál přímější.

Trendy v samočinných převodovkách vedou směrem k většímu rozsahu převodů, což se promítá v nárůstu převodových stupňů. Zatímco starší skříně spoléhaly spíše na prokluz a momentovou násobnost měniče, moderní automatické převodovky nabízejí běžně i osm převodových stupňů. Současně ale dochází k odlehčování a zjednodušování ústrojí. V nynější

době je stropem devět rychlostí pro jízdu vpřed, ale objevují se dohady o vývoji desetistupňových převodovek pro osobní vozidla.

Snaha snížit spotřebu a tím i emise osobních automobilů vede u motorů k tzv. downsizingu (zmenšení motoru při zachování stejného výkonu) a downspeedingu (snižování provozních otáček motoru). Protože agregáty při nižších otáčkách produkují více vibrací, součástí převodovek musí být účinný systém tlumení torzních kmitů. Ten umožňuje přemosťování hydrodynamického měniče již těsně nad volnoběžnými otáčkami a tím efektivní přenos výkonu z motoru na převodové ústrojí.

Zejména v Evropě se v posledních letech mohutně rozšířily automatizované dvouspojkové převodovky. Toto konkurenční řešení zrychlilo vývoj na poli samočinných převodovek pro osobní automobily.

V této bakalářské práci se zabývám rešerší vývoje samočinných stupňových převodovek. Vybral jsem několik významných zástupců, na kterých dokumentuji výše popsaný vývoj v oblasti samočinného řazení. Jedná se o konvenční samočinné převodovky (s hydrodynamickým měničem a planetovým soukolím). Nalezená řešení dokumentuji schématem zapojení a tabulkou prvků ovládaných během řazení.

Cílem rešeršní části je zdokumentovat zrychlený vývoj automatických převodovek v posledních letech a demonstrovat trendy, které směřují zdánlivě protichůdně: K efektivnějším ústrojím, která poskytnou lepší řídičský prožitek, vysoké výkony, ale nižší spotřebu i hmotnost.

Výpočtová část mé bakalářské práce se zabývá návrhem rozsahu převodovky a odstupňování. Vybral jsem si osobní automobil kategorie SUV Audi A6 allroad quattro.

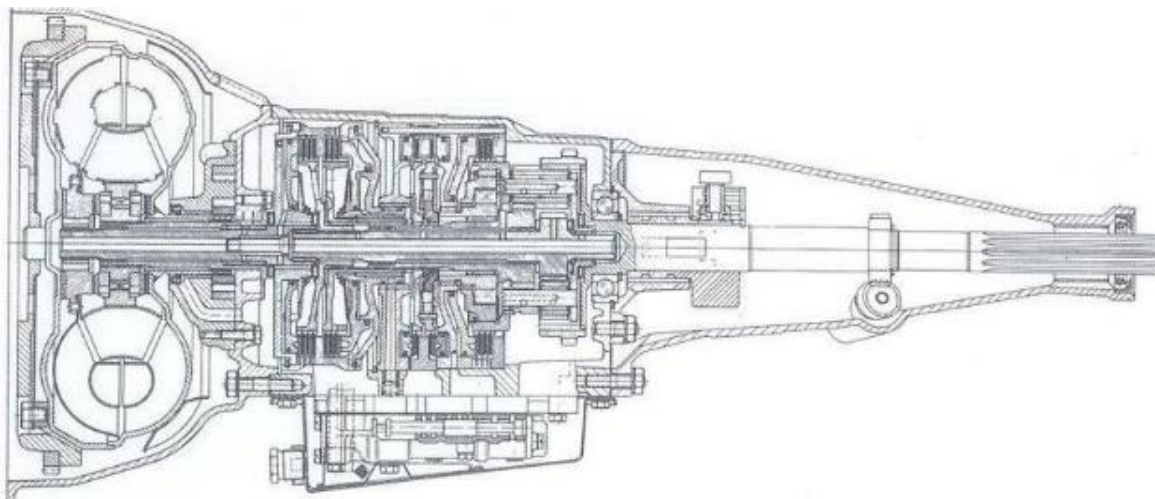
Cílem výpočtové části bylo porozumět parametrům a procesům, které vstupují do koncepčního návrhu převodového ústrojí pro osobní vozidlo.

2. REŠERŠNÍ ČÁST

2.1. ZF 3HP12



ZF 3HP12 je první samočinná převodovka vyráběná firmou ZF. Uvedena byla v roce 1965, prvními zákazníky byl Peugeot a BMW. Určena je pro podélně uložené motory o objemu 1,5-2,2 l.^{[4],[5]}



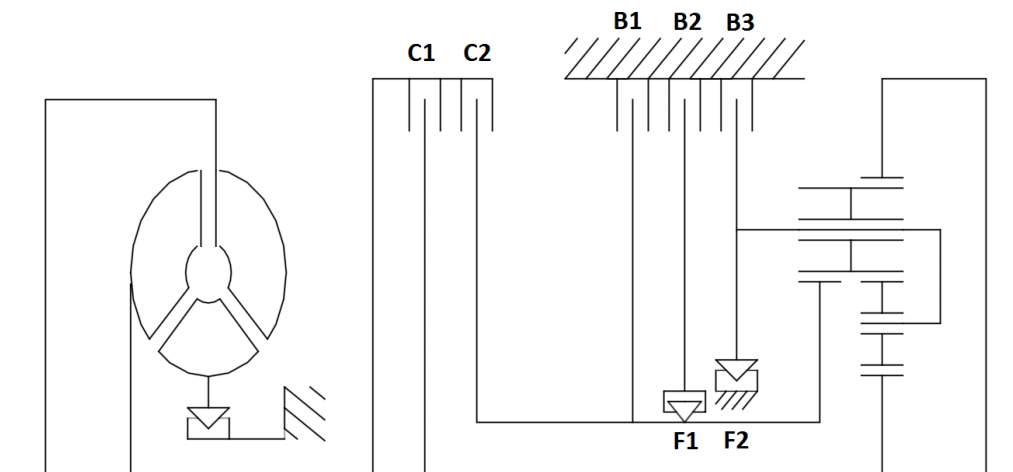
Obr. 1: Řez převodovkou 3HP12 [6]

Komponenty převodovky:

- hydrodynamický měnič momentu
- planetové soukolí typu Ravigneaux
- 3 lamelové brzdy
- 2 lamelové spojky
- 2 volnoběžné spojky

Maximální vstupní moment (N.m)	166
Rozsah převodů (-)	2,56
Hmotnost (kg)	49
Uvedení na trh	1965

Tab. 1: Parametry převodovky 3HP12



Obr. 2: Schéma převodovky 3HP12 [6]

stupeň	C1	C2	B1	B2	B3	F1	F2	převodový poměr
1	•						(•)	2,56
2	•		•	•				1,52
3	•	•		•				1,00
N								0,00
R		•						-2,00

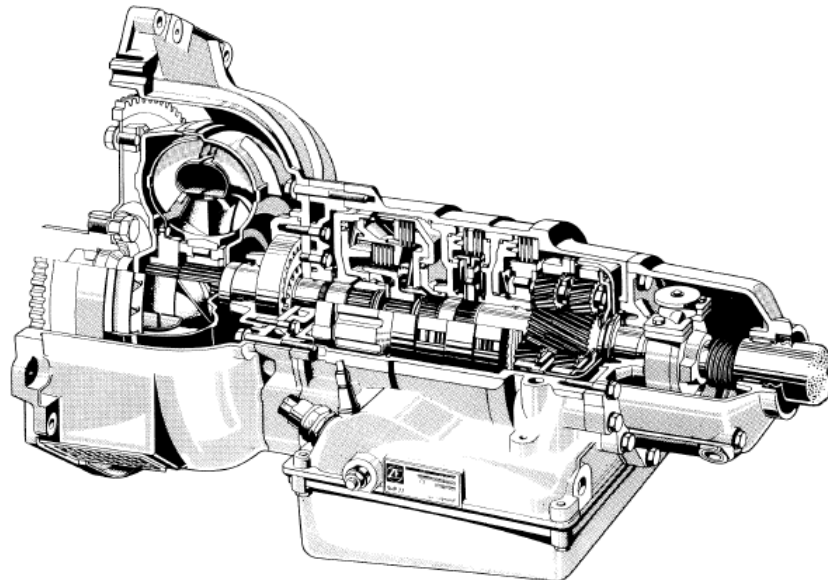
Tab. 2: Řadicí tabulka převodovky 3HP12 [6]

() - volnoběžka se protáčí, pokud motor netáhne („plachtění“)

2.2. ZF 3HP22



ZF 3HP22 je třístupňová samočinná převodovka vyráběná firmou ZF. Uvedena byla v roce 1973. Ústrojí je určeno pro podélnou zástavbu. Použito bylo např. ve vozech BMW, Peugeot a Fiat.^{[7], [8]}



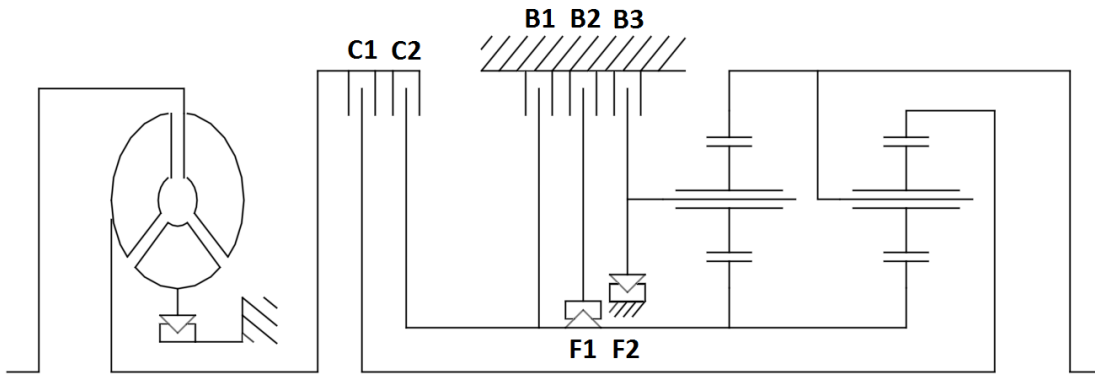
Obr. 3: Řez převodovkou 3HP22 [8]

Komponenty převodovky:

- hydrodynamický měnič momentu
- 2 planetová soukolí typu $2k + r$
- 3 lamelové brzdy
- 2 lamelové spojky
- 2 volnoběžné spojky

Maximální vstupní moment (N.m)	320
Rozsah převodů (-)	2,48
Hmotnost (kg)	
Uvedení na trh	1973

Tab. 3: Parametry převodovky 3HP22



Obr. 4: Schéma převodovky 3HP22 [7]

stupeň	C1	C2	B1	B2	B3	F1	F2	převodový poměr
1	•						•	2,48
2	•		•	•				1,48
3	•	•		•				1,00
N								0,00
R		•			•			-2,09

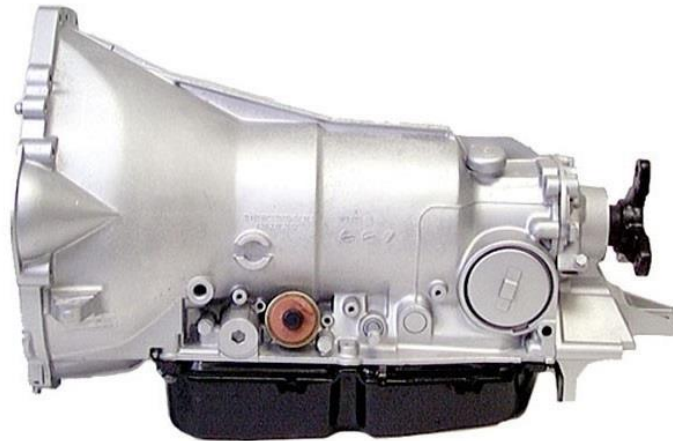
Tab. 4: Řadicí tabulka převodovky 3HP22 [8]

2.3. Mercedes-Benz W4A 040&020



Mercedes-Benz

Mercedes-Benz W4A je čtyřstupňová samočinná převodovka určená pro podélně uložené motory. Její varianty W4A 040 a W4A 020 se liší maximálním vstupním momentem. Převodovka je řízena hydraulicky. Hydrodynamický měnič nemá přemost'ovací spojku.^[9]



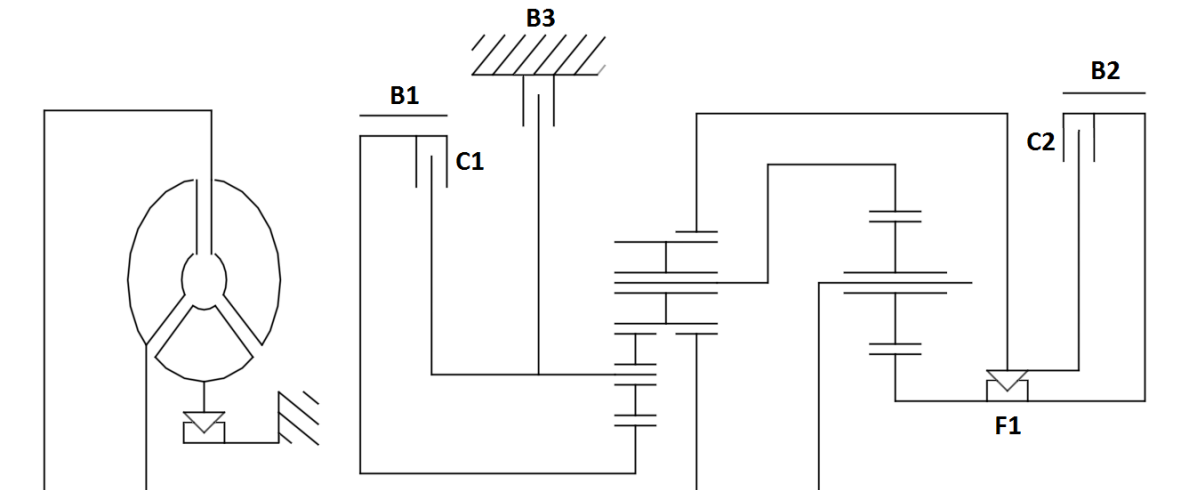
Obr. 5: Skříň převodovky W4A 040/020 [10]

Komponenty převodovky:

- hydrodynamický měnič momentu
- 1 planetové soukolí Ravigneaux
- 1 planetové soukolí typu 2k + r
- 2 pásové brzdy
- 1 lamelová brzda
- 2 lamelové spojky
- 1 volnoběžná spojka

	W4A 040 (722.3)	W4A 020 (722.4)
Maximální vstupní moment (N.m)	400	200
Rozsah převodů (-)	3,87	3,68
Hmotnost vč. náplně (kg)	62	62
Uvedení na trh	1979	

Tab. 5: Parametry převodovek W4A 040/020



Obr. 6: Schéma převodovky W4A [9]

stupeň	C1	C2	B1	B2	B3	F1	převodový poměr W4A 020	převodový poměr W4A 040
1		•		•		•	3,68	3,871
2			•	•			2,41	2,247
3	•			•			1,44	1,436
4	•	•					1,000	1,000
N							0,000	0,000
R		•			•	•	-5,140	-5,586

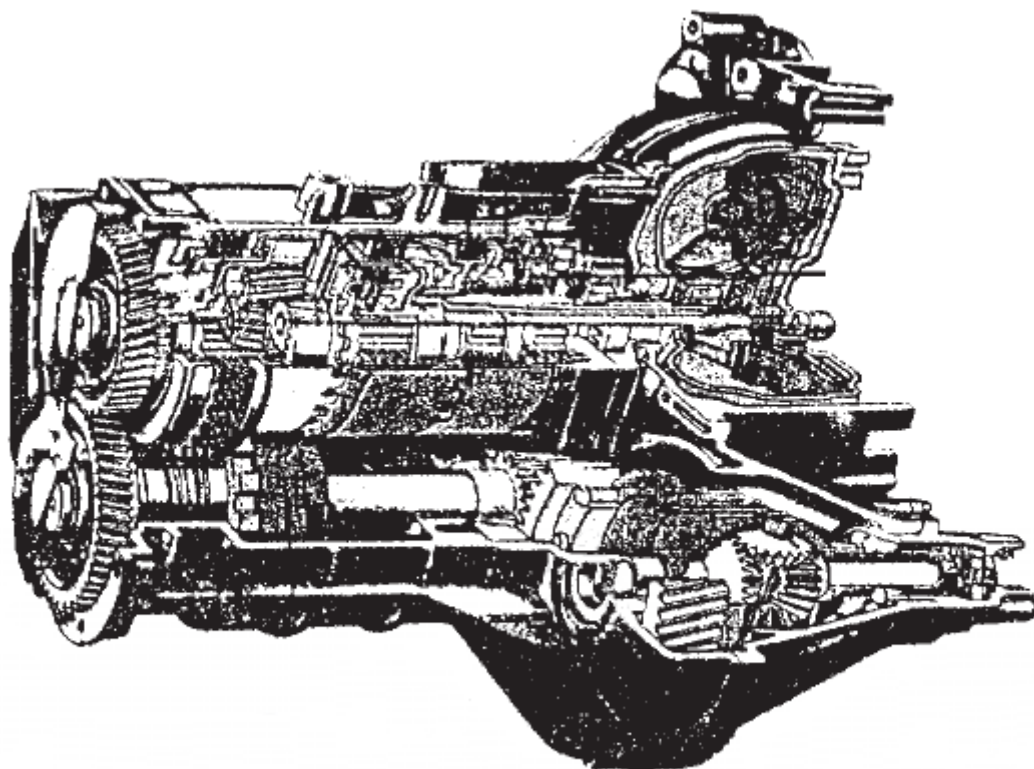
Tab. 6: Řadící tabulka převodovky W4A040/020 [9]

() – při deceleraci spojka C2 přemostuje volnoběžku F („plachtění“)

2.4. ZF 4HP14



ZF 4HP14 je čtyřstupňová samočinná převodovka od firmy ZF. Byla určena pro vozy s příčně uloženým motorem. Instalována byla do vozů Citroën, Peugeot a Daewoo.^[11]



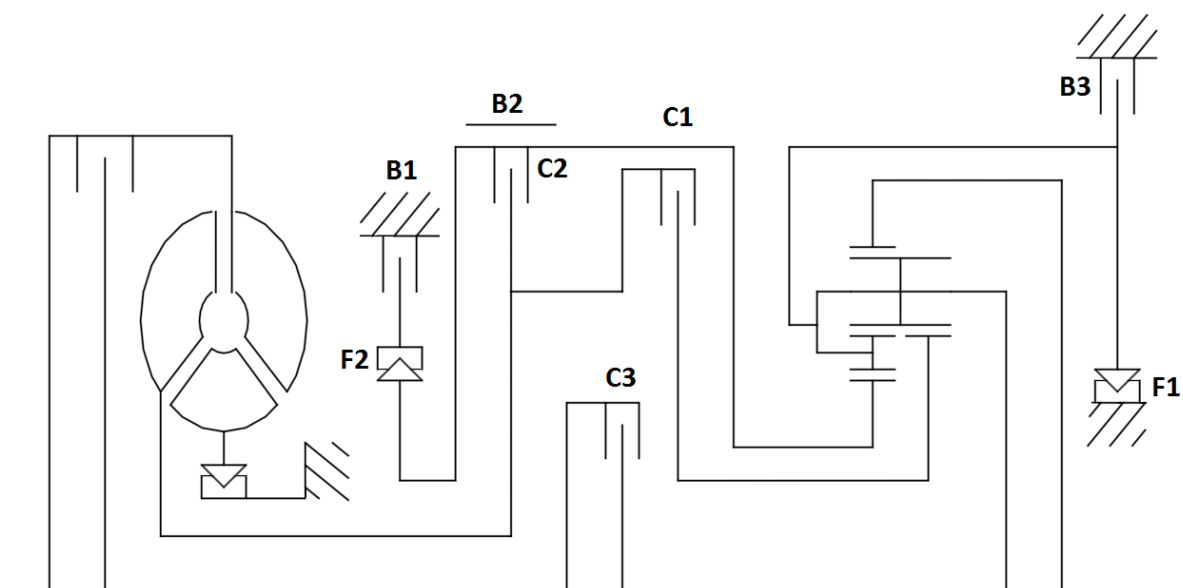
Obr. 7: Řez převodovkou 4HP14 [11]

Komponenty převodovky:

- hydrodynamický měnič momentu s přemostovací spojkou
- 1 soukolí typu 3k
- 2 lamelové brzdy
- 1 pásová brzda
- 3 lamelové spojky
- 2 volnoběžné spojky

Maximální vstupní moment (N.m)	180
Rozsah převodů (-)	3,26
Hmotnost (kg)	68
Uvedení na trh	1984

Tab. 7: Parametry převodovky 4HP14



Obr. 8: Schéma převodovky 4HP14 [11]

stupeň	C1	C2	C3	B1	B2	B3	F1	F2	převodový poměr
1	•						•		2,41
2	•			•	•			•	1,37
3	•		•	•					1,00
4			•	•	•				0,74
N									0,00
R		•				•			-2,83

Tab. 8: Řadící tabulka převodovky 4HP14 [11]

2.5. ZF 4HP20



ZF 4HP20 je čtyřstupňová samočinná převodovka od firmy ZF. Byla určena pro vozy s příčně uloženým motorem. Použita byla například v Citroënu Xantia s motorem V6.^[12]



Obr. 9: Řez převodovkou 4HP20 [12]

Komponenty převodovky:

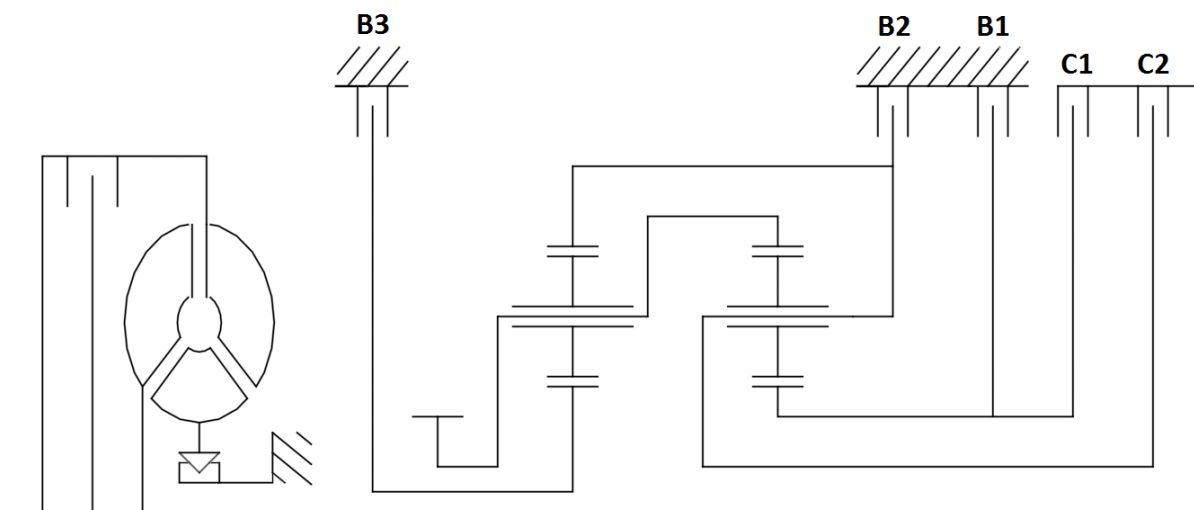
- hydrodynamický měnič momentu s přemost'ovací spojkou
- 2 planetová soukolí typu $2k + r$
- 3 lamelové brzdy
- 2 lamelové spojky

Významné prvky:

- plně elektronicky řízená převodovka
- adaptivní ECU (několik programů řazení)
- přemost'ování 2.-4. rychlostního stupně

Maximální vstupní moment (N.m)	330
Rozsah převodů (-)	3,78
Hmotnost (kg)	88
Uvedení na trh	

Tab. 9: Parametry převodovky 4HP20



Obr. 10: Schéma převodovky 4HP20 [12]

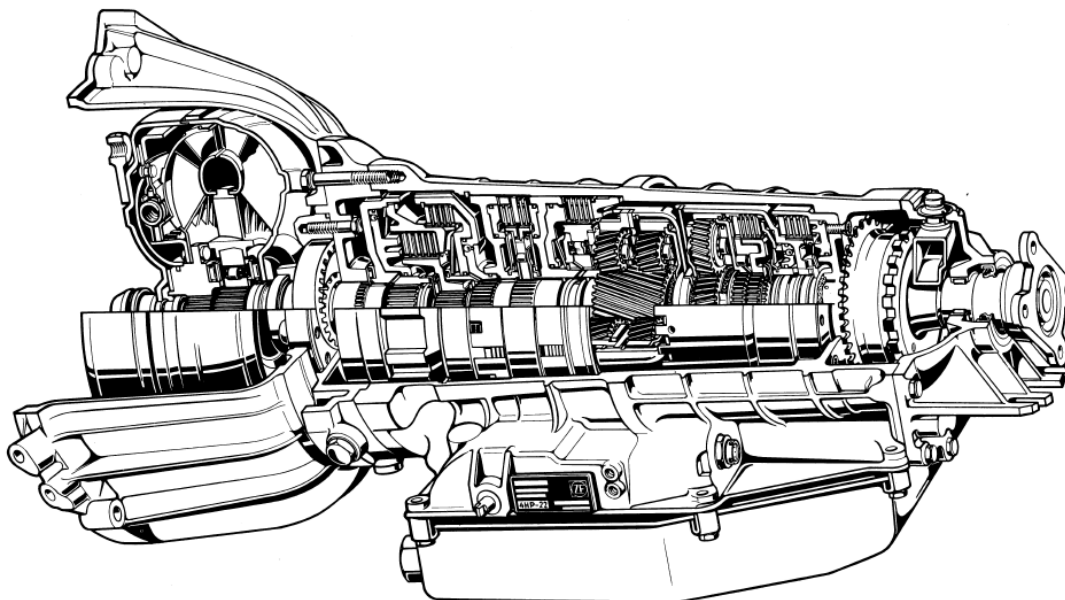
stupeň	C1	C2	B1	B2	B3	převodový poměr
1	•				•	2,718
2		•			•	1,481
3	•	•				1,000
4		•	•			0,720
N						0,000
R	•			•		-2,568

Tab. 10: Řadicí tabulka převodovky 4HP20 [12]

2.6. ZF 4HP22&4HP24



ZF 4HP22 je čtyřstupňová samočinná převodovka od firmy ZF. Byla určena pro vozy s podélně uloženým motorem a pohonem zadních nebo všech kol. Instalována byla například do BMW řady 7 (1. a 2. generace) a do Land Roveru Range Rover (2. generace).^{[13], [14]}



Obr. 11: Řez převodovkou 4HP22 [13]

Komponenty převodovky:

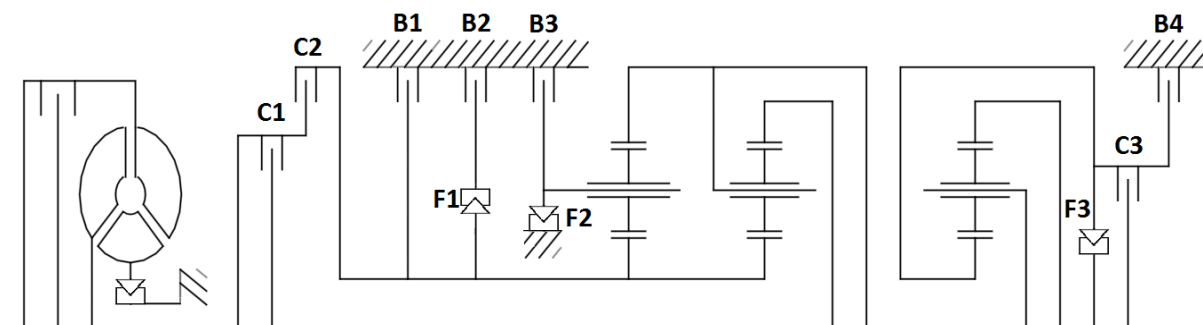
- hydrodynamický měnič momentu s přemosťovací spojkou
- 3 planetová soukolí typu 2k + r
- 4 lamelové brzdy
- 3 lamelové spojky
- 3 volnoběžné spojky

Významné prvky:

- možnost blokace vyšších převodů
- sportovní mód řazení

	4HP22	4HP24
Maximální vstupní moment (N.m)	350	450
Rozsah převodů (-)	3,41	3,41
Hmotnost vč. náplní (kg)	62	62
Uvedení na trh	1982	1987

Tab. 11: Parametry převodovek 4HP22/24



Obr. 12: Schéma převodovky 4HP22 [14]

stupeň	C1	C2	C3	B1	B2	B3	B4	F1	F2	F3	převodový poměr
1	•		•						(•)	•	2,480
2	•		•	•	•			•		•	1,480
3	•	•	•		•					•	1,000
4	•	•			•		•				0,728
N											0,000
R		•	•			•				•	-2,086

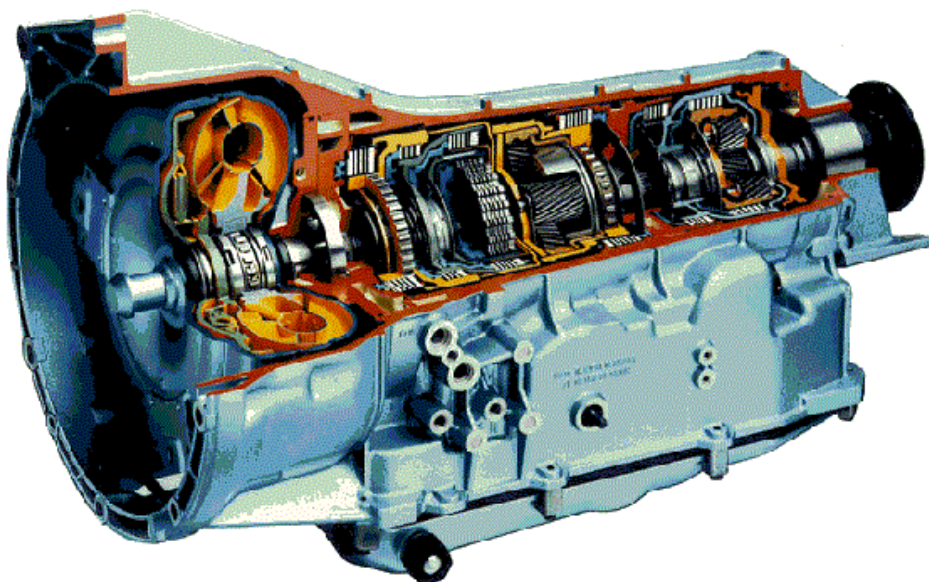
Tab. 12. Řadicí tabulka převodovky 4HP22/24 [14]

() – při „plachtění“

2.7. ZF 5HP18



ZF 5HP18 je pětistupňová samočinná převodovka od firmy ZF. Jedná se o první samočinnou převodovku s pěti stupni na světě. Byla uvedena na trh v roce 1990. Určena byla pro vozy s podélně uloženým motorem. Instalována byla do množství modelů BMW.^[15]



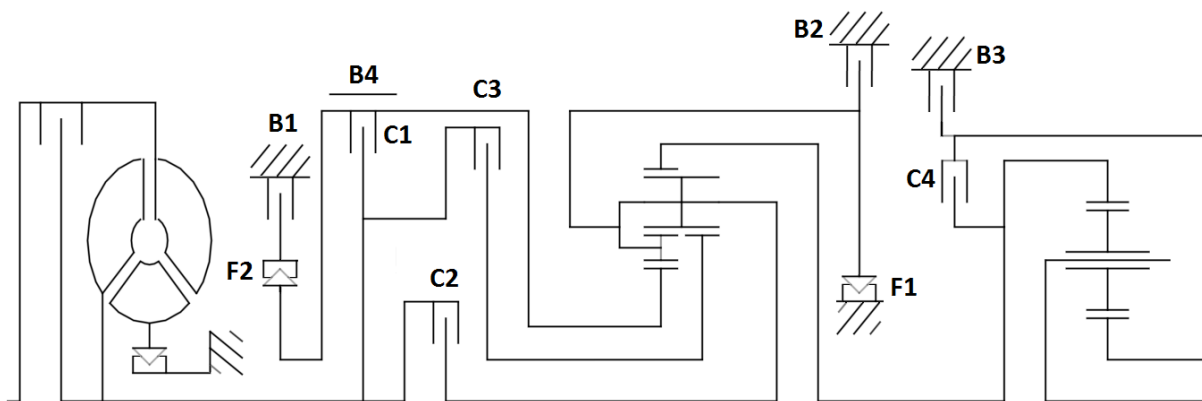
Obr. 13: Řez převodovkou 5HP18 [17]

Komponenty převodovky:

- hydrodynamický měnič momentu s přemostovací spojkou
- 1 planetové soukolí typu 2k + r
- 1 planetové soukolí typu 3k
- 3 lamelové brzdy
- 1 pásová brzda
- 4 lamelové spojky
- 2 volnoběžné spojky

Maximální vstupní moment (N.m)	310
Rozsah převodů (-)	4,95
Hmotnost vč. náplní (kg)	75
Uvedení na trh	1990

Tab. 13: Parametry převodovky 5HP18



Obr. 14: Schéma převodovky 5HP18 [17]

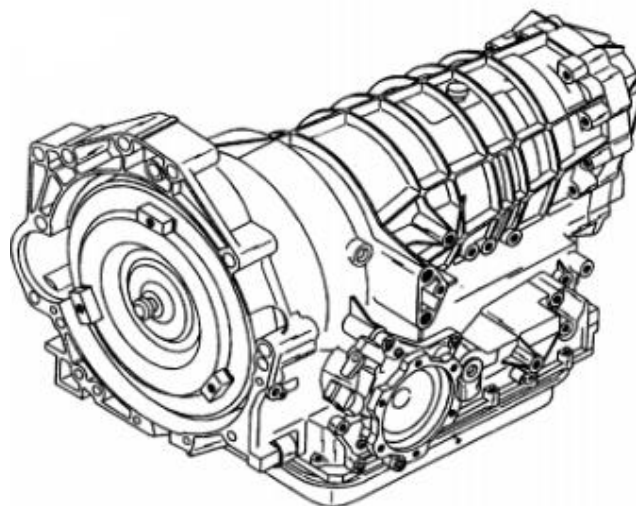
stupeň	C1	C2	C3	C4	B1	B2	B3	B4	F1	F2	převodový poměr
1			•				•		•		3,67
2			•		•		•	•		•	2,00
3			•	•	•			•		•	1,41
4		•	•	•							1,00
5		•		•	•			•			0,74
N				•							0,00
R	•					•	•				-4,10

Tab. 14: Řadicí tabulka převodovky 5HP18 [17]

2.8. ZF 5HP19



ZF 5HP19 je pětistupňová automatická převodovka od firmy ZF. Je určena pro vozy s podélně uloženými motory. Byla instalována v modelech mnoha výrobců, např. BMW, Audi, Porsche, Volkswagen, Jaguar.^[15]



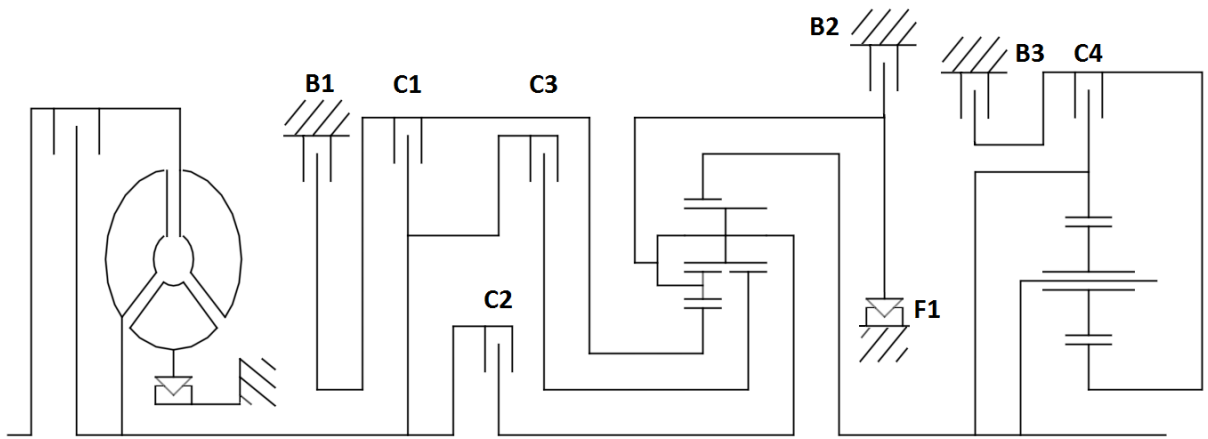
Obr. 15: Skříň převodovky 5HP19 [19]

Komponenty převodovky:

- hydrodynamický měnič momentu s přemostovací spojkou
- 1 planetové soukolí typu 2k + r
- 1 planetové soukolí typu 3k
- 3 lamelové brzdy
- 3 lamelové spojky
- 1 volnoběžná spojka

Maximální vstupní moment (N.m)	300
Rozsah převodů (-)	4,96
Hmotnost vč. náplní (kg)	79
Uvedení na trh	1995

Tab. 15: Parametry převodovky 5HP19



Obr. 16: Schéma převodovky 5HP19 [18]

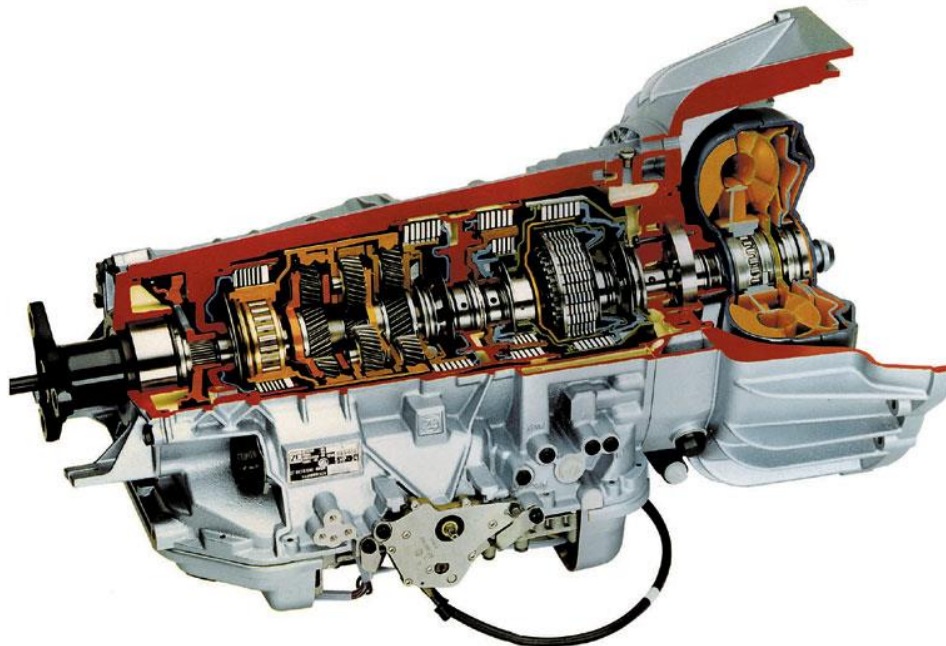
stupeň	C1	C2	C3	C4	B1	B2	B3	F1	převodový poměr
1			•			(•)	•	•	3,57
2			•		•		•		2,20
3			•	•	•				1,51
4		•	•	•					1,00
5		•		•	•				0,80
N							•		0,00
R	•					•	•		-4,10

Tab. 16: Řadicí tabulka převodovky 5HP19 [18]

2.9. ZF 5HP24&5HP30



ZF 5HP30 je pětistupňová automatická převodovka od firmy ZF. Její modifikace 5HP24 je určena pro nižší kroutící momenty.^[15] Obě ústrojí jsou určena pro podélnou zástavbu.



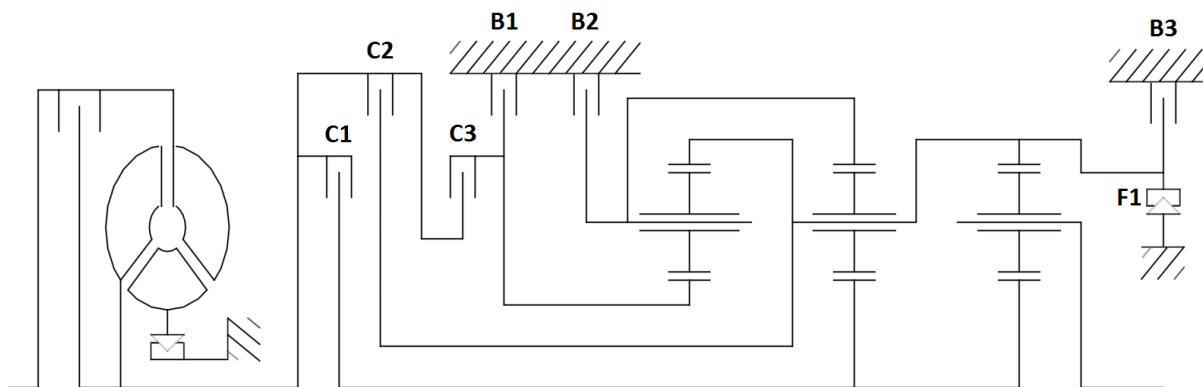
Obr. 17: Řez převodovkou 5HP24 [22]

Komponenty převodovky:

- hydrodynamický měnič momentu s přemostovací spojkou
- 3 planetová soukolí typu $2k + r$
- 3 lamelové brzdy
- 3 lamelové spojky
- 1 volnoběžná spojka

	5HP24	5HP30
Maximální vstupní moment (N.m)	420	560
Rozsah převodů (-)	4,46	4,49
Hmotnost vč. náplně (kg)	95	109
Uvedení na trh	1996	1992

Tab. 17: Parametry převodovek 5HP24/30



Obr. 18: Schéma převodovky 5HP24&5HP30 [15]

stupeň	C1	C2	C3	B1	B2	B3	F1	převodový poměr
1	•					(•)	•	3,57
2	•				•			2,20
3	•			•				1,51
4	•	•						1,00
5		•		•				0,80
R			•			•		-4,10

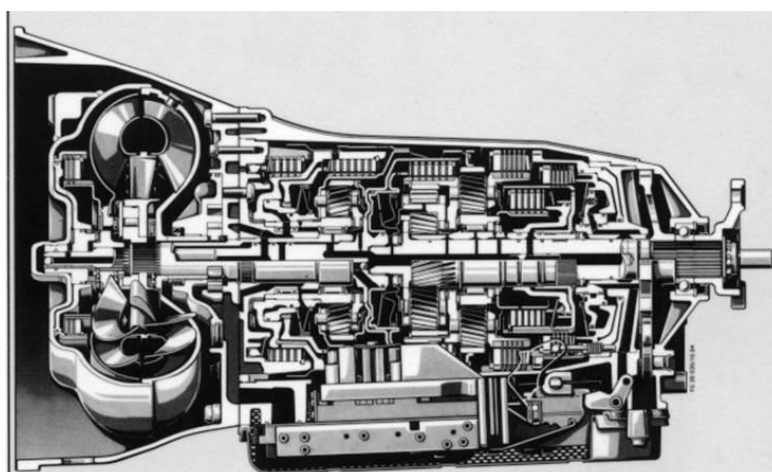
Tab. 18: Řadící tabulka převodovky 5HP24&5HP30 [15]

2.10. Mercedes-Benz W5A 330&580&900 (5G-Tronic)



Mercedes-Benz

Mercedes-Benz W5A je skupina pětistupňových automatických převodovek určená pro podélně uložené motory. Někdy bývá označována jako NAG1 (New Automatic Gearbox generace 1). Vznikla přidáním pátého rychlostního stupně (rychloměhu) ke čtyřstupňové skříni W4A. Zatímco první čtyři stupně jsou ovládány čistě hydraulicky, poslední převodový stupeň je řízen elektrohydraulicky.^{[1], [23]}



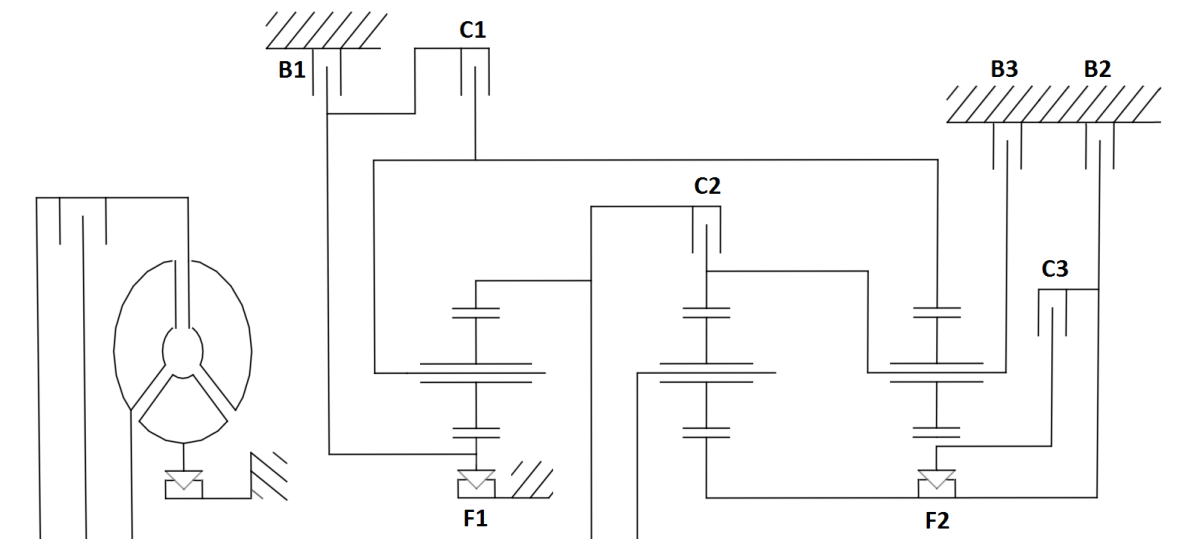
Obr. 19: Řez převodovkou W5A 580 [27]

Komponenty převodovky:

- hydrodynamický měnič momentu s přemostovací spojkou
- 3 planetová soukolí typu $2k + r$
- 3 lamelové brzdy
- 3 lamelové spojky
- 2 volnoběžné spojky

	W5A 330	W5A 580	W5A 900
Maximální vstupní moment (N.m)	330	580	900
Rozsah převodů (-)	4,74	4,33	4,33
Hmotnost vč. náplní (kg)	75-80		
Uvedení na trh	1995		

Tab. 19: Parametry převodovek W5A 330&580&900



Obr. 20: Schéma převodovky W5A [25]

stupeň	C1	C2	C3	B1	B2	B3	F1	F2	převodový poměr
1			(•)	(•)	•		•	•	3,59
2	•		(•)		•			•	2,19
3	•	•			•				1,41
4	•	•	•						1,00
5		•	•	•			(•)		0,83
N			•	•					0,00
R1			(•)	(•)		•	•	•	-3,16
R2	•		(•)			•		•	-1,93

Tab. 20: Řadicí tabulka převodovek W5A330&580&900 [25]

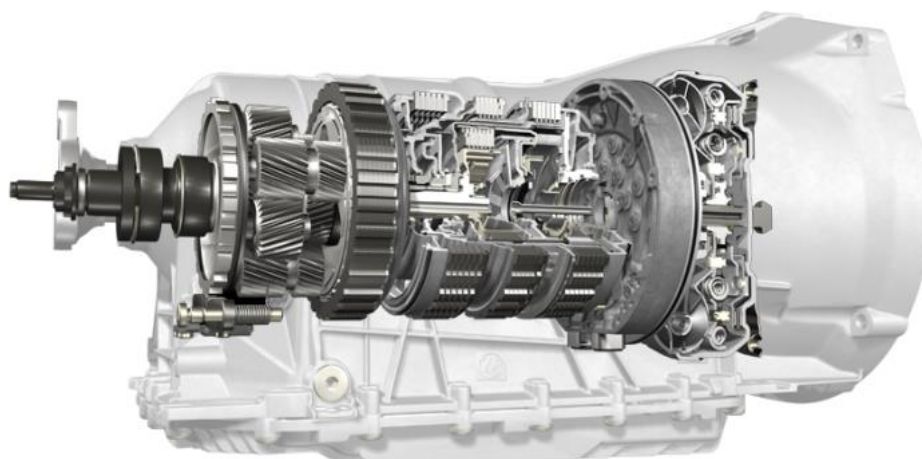
() – při „plachtění“

2.11. ZF 6HP



ZF 6HP je šestistupňová automatická převodovka od firmy ZF, poprvé představena v osobním voze BMW 7 v roce 2001. Ústrojí je určeno pro automobily s podélně uloženým motorem. Převodovka má několik typů, lišících se vstupním momentem a pohonem zadních, nebo všech kol. Byla vyvinuta s ohledem na dosažení celkového převodu většího než 6,0. Zároveň bylo třeba ústrojí zjednodušit a ušetřit na váze.^[28]

V roce 2006 byla uvedena 2. generace převodovek 6HP. Zejména pod tlakem konkurenčních dvouspojkových ústrojí (DSG) se snížila se spotřeba paliva, zlepšila odezva na plynový pedál a zvýšila se rychlost řazení. 2. generace převodovek také přinesla častější přemostování hydrodynamického měniče (nyní již v 1000/1100 ot/min, dříve 1500 ot/min).^[30] Přibyly další verze ústrojí.



Obr. 21: Řez převodovkou 6HP [29]

Komponenty převodovky:

- hydrodynamický měnič momentu s přemostovací spojkou
- 1 planetové soukolí typu $2k + r$
- 1 planetové soukolí typu Ravigneaux
- 2 lamelové brzdy
- 3 lamelové spojky

Významné prvky:

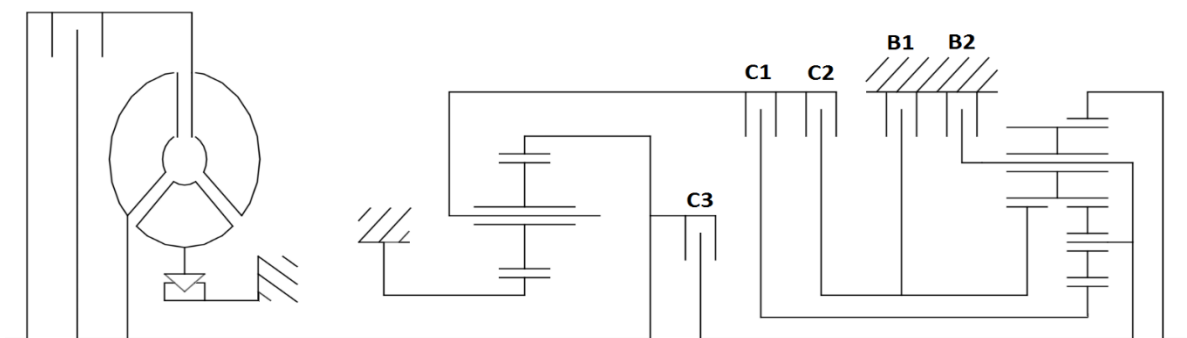
- koncept převodů dle patentu Lepelletier
- modulární design, možnost pohonu zadních, nebo všech kol
- použití pro motory s různými kroutícími momenty
- o 29 % méně částí (470 ku 666) než předchůdce 5HP24
- plastové víko olejové vany (redukce hmotnosti)
- řídicí jednotka převodovky (TCU) plně integrována
- Shift-By-Wire (poloha voliče snímána elektronicky), funkce Neutral Idle Control

	6HP19	6HP26	6HP32
Maximální vstupní moment (N.m)	350	600	750
Rozsah převodů (-)	6,04		
Hmotnost vč. náplní (kg)	89	84	99
Uvedení na trh	2001		

Tab. 21: Parametry první generace převodovek 6HP (2001-2006) [28]

	6HP19	6HP21	6HP26	6HP28	6HP32	6HP34
Maximální vstupní moment (N.m)	400	440	600	650	750	850
Rozsah převodů (-)	6,04					
Hmotnost vč. náplní (kg)	77	78	89	92,5	99	
Uvedení na trh	2006					

Tab. 22: Parametry druhé generace převodovek 6HP (2006-současnost) [29]



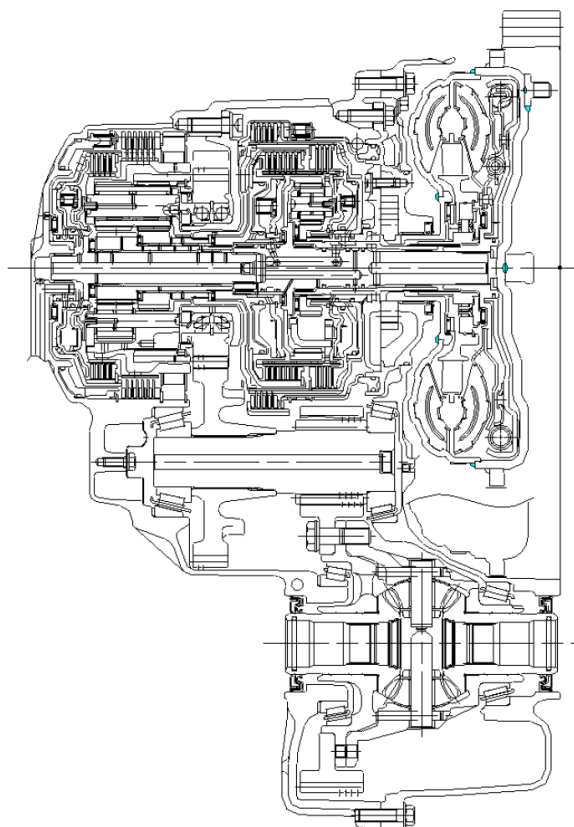
Obr. 22: Schéma převodovky 6HP [28]

stupeň	C1	C2	C3	B1	B2	převodový poměr 6HP26 (1.gen)
1	•				•	4,171
2	•			•		2,340
3	•	•				1,521
4	•		•			1,143
5		•	•			0,867
6			•	•		0,691
N				•	•	0,000
R		•			•	-3,403

Tab. 23: Řadičí tabulka převodovky 6HP26 (1.gen) [28]

2.12. Aisin AW TF-60 SN& &TF-80 SC

Aisin AW TF-60 SN je první šestistupňová automatická převodovka, určená pro příčně uložené motory. Byla vyvinuta s ohledem na kompaktní rozměry, snížení spotřeby paliva a komfort řazení. V roce 2003 představila firma Aisin Warner modifikaci převodovky TF-60 SN pojmenovanou TF-80 SC, určenou pro motory s vyšším kroutícím momentem.^[31]



Obr. 23: Řez převodovkou TF-80 SC [32]

Komponenty převodovky TF-60 SN:

- hydrodynamický měnič momentu s přemostovací spojkou
- 1 planetové soukolí typu $2k + r$
- 1 planetové soukolí typu Ravigneaux
- 2 lamelové brzdy
- 3 lamelové spojky
- 1 volnoběžná spojka

Komponenty převodovky TF-80 SC:

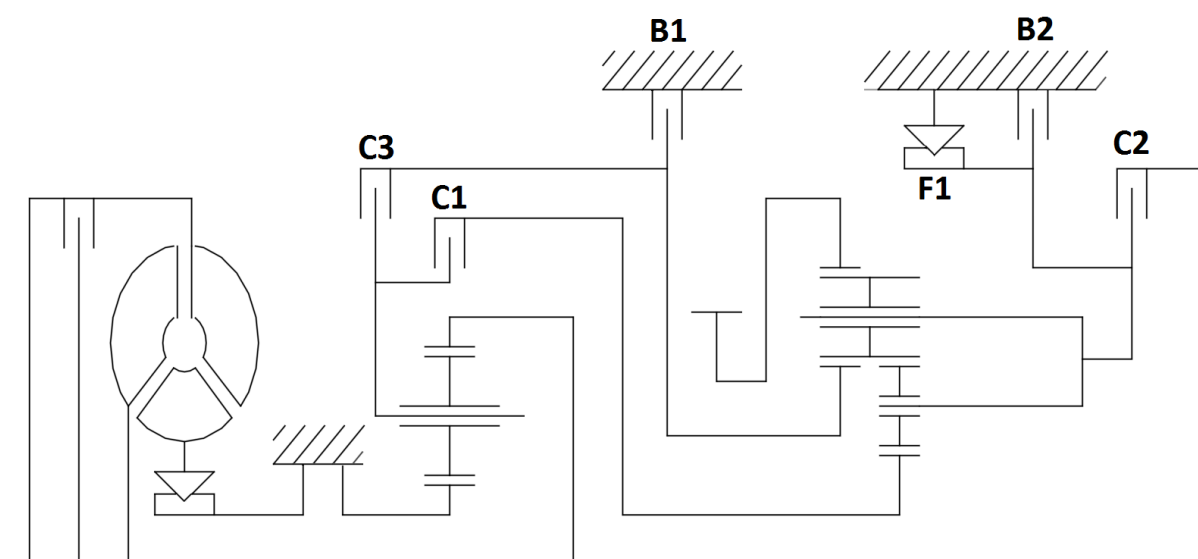
- hydrodynamický měnič momentu s přemostovací spojkou
- 1 planetové soukolí typu $2k + r$
- 1 planetové soukolí typu Ravigneaux
- 1 lamelová brzda, 1 pásová brzda
- 3 lamelové spojky
- 1 volnoběžná spojka

Významné prvky:

- zúžený měnič momentu
- řadící elementy ovládané pomocí lineárních solenoidů
- Rozsah převodů o 30 % větší, než předchozí pětistupňová převodovka

	TF-60 SN	TF-80 SC
Maximální vstupní moment (N.m)	250	450
Rozsah převodů (-)	6,02	6,05
Hmotnost vč. náplní (kg)	82	95
Uvedení na trh	2002	2003

Tab. 24: Parametry převodovek TF-60 SN a TF 80 SC



Obr. 24: Schéma převodovky TF-60 SN a TF-80 SC [32]

Pozn: Brzda B1 je v případě převodovky TF-80 SC navržena jako pásová brzda

stupeň	C1	C2	C3	B1	B2	F1	převodový poměr	
							TF-60 SN	TF-80 SC
1	•				(•)	•	4,291	4,148
2	•			•			2,516	2,370
3	•		•				1,651	1,556
4	•	•					1,230	1,155
5		•	•				0,904	0,859
6		•		•			0,713	0,686
N							0,000	0,000
R			•		•		-3,388	-3,394

Tab. 25: Řadící tabulka převodovek TF-60 SN a TF-80 SC [31], [32]

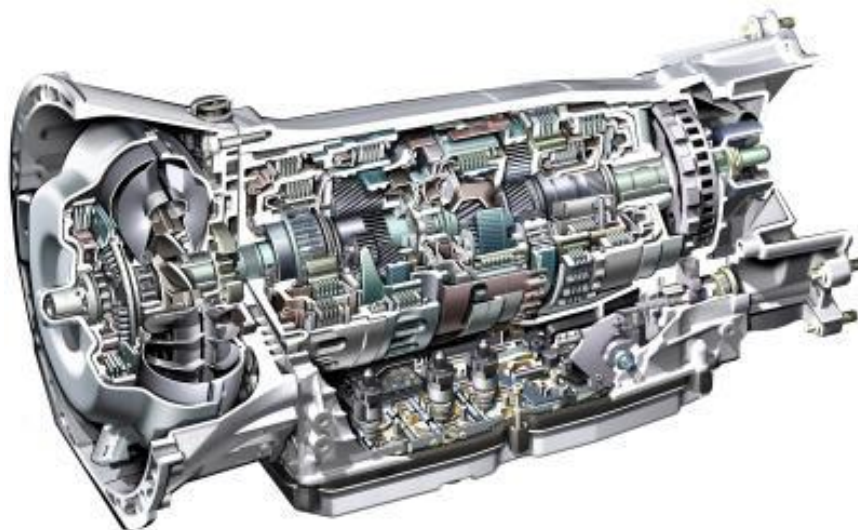
() – brzda B2 sepnuta při brždění motorem

2.13. Mercedes-Benz W7A 700 (7G-Tronic)



Mercedes-Benz

Mercedes-Benz W7A 700 (7G-Tronic) je sedmistupňová automatická převodovka určená pro podélně uložené motory. V době svého uvedení v roce 2003 byla první sedmistupňovou samočinnou skříní pro osobní vozidla na trhu. Byla vyvinuta s důrazem na efektivitu a komfort jízdy.^[33]



Obr. 25: Řez převodovkou W7A 700 (7G-Tronic) [35]

Komponenty převodovky:

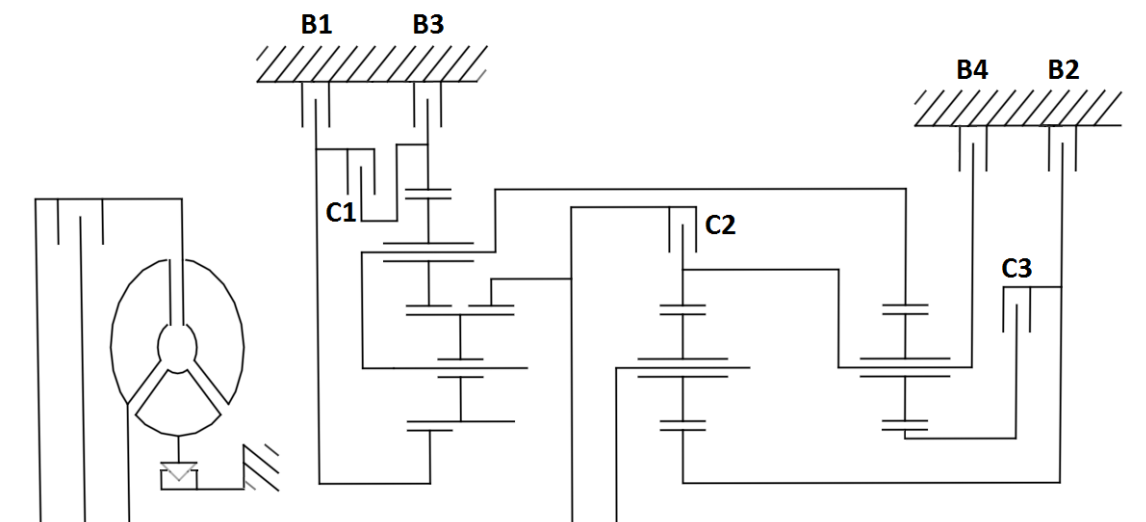
- hydrodynamický měnič momentu s přemost'ovací spojkou
- 2 planetová soukolí typu 2k + r
- 1 planetové soukolí typu 3k se dvěma korunovými koly a jednou planetou
- 4 lamelové brzdy
- 3 lamelové spojky

Významné prvky:

- design převodovky umožňuje při řazení přeskokovat některé stupně
- přemost'ování měniče (na všechny převodové stupně) zvyšuje účinnost ústrojí
- lehká konstrukce (hořčík, hliník), převodovka je jen o 1,5 kg těžší než předchůdce W5A (5G-Tronic), ze které vychází

Maximální vstupní moment (N.m)	700
Rozsah převodů (-)	6,02
Hmotnost vč. náplní (kg)	82
Uvedení na trh	2003

Tab. 26: Parametry převodovky W7A700 (7G-Tronic)



Obr. 26: Schéma převodovky W7A 700 [1]

stupeň	C1	C3	C3	B1	B2	B3	B4	převodový poměr
1			•		•	•		4,337
2			•	•	•			2,859
3	•		•		•			1,921
4	•	•			•			1,368
5	•	•	•					1,000
6		•	•	•				0,821
7		•	•			•		0,728
N			•			•		0,000
R1			•			•	•	-3,420
R2			•	•			•	-2,230

Tab. 27: Řadicí tabulka převodovky W7A 700 (7G-Tronic) [1]

V roce 2010 automobilka Mercedes-Benz představila modernizaci ústrojí 7G-Tronic s přídomkem Plus.

Významné prvky 7G-Tronic Plus:

- účinnější hydrodynamický měnič, přemost'ovací spojka pracuje při nižších otáčkách
- přepracovaný software, vyšší efektivita i komfort řazení
- náplň s nižší viskozitou, ložiska s menším vnitřním třením

2.14. Aisin AW TL-80 SN (Toyota AA80E)



Aisin AW TL-80 SN je první osmistupňová automatická převodovka, určená pro podélně uložené motory. Poprvé byla použita v osobním voze Lexus LS460. Byla vyvinuta s ohledem na snížení spotřeby paliva, ale současně má vyhovovat dynamickému jízdnímu stylu.^[35]



Obr. 27: Řez převodovkou TL-80 SN (AA80E) [36]

Komponenty převodovky:

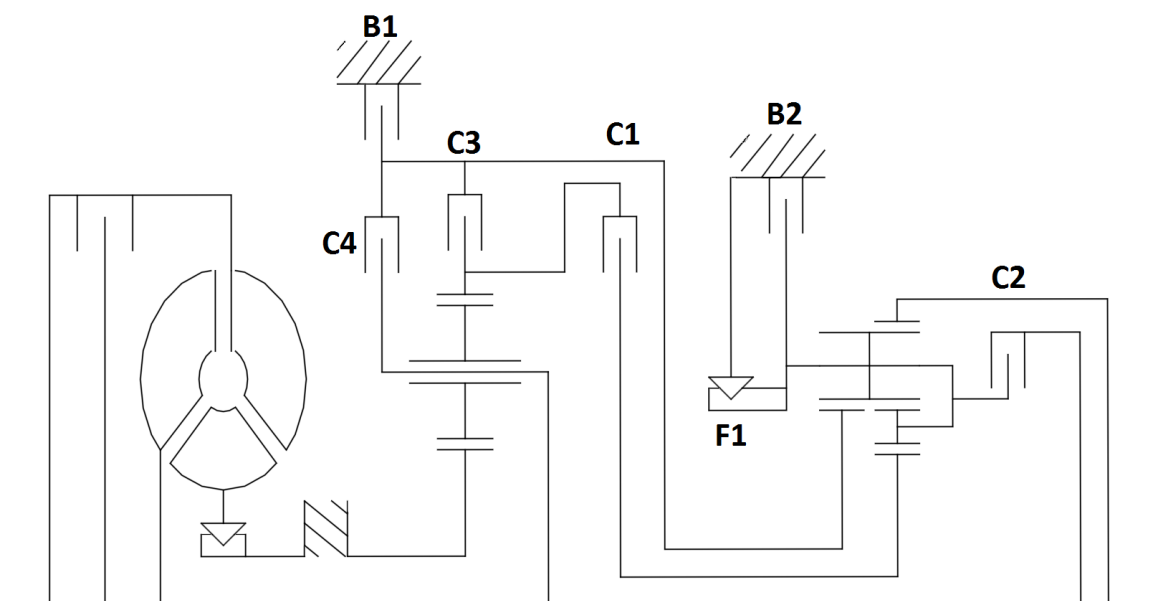
- hydrodynamický měnič momentu s přemostovací spojkou
- 1 planetové soukolí typu $2k + r$
- 1 planetové soukolí typu Ravigneaux
- 2 lamelové brzdy
- 4 lamelové spojky
- 1 volnoběžná spojka

Významné prvky:

- pokročilé elektronické řízení převodovky
- řadičí elementy ovládané pomocí lineárních solenoidů
- schopnost ovládat 4 řadičí elementy současně
- funkce neutral control
- přemostování hydrodynamického měniče na 5. - 8. rychlostní stupeň

Maximální vstupní moment (N.m)	550
Rozsah převodů (-)	6,71
Hmotnost vč. náplní (kg)	95
Uvedení na trh	2006

Tab. 28: Parametry převodovky TL-80 SN (AA80E)



Obr. 28: Schéma převodovky TL-80 SN (AA80E) [35]

stupeň	C1	C2	C3	C4	B1	B2	F1	převodový poměr
1	•					*	•	4,596
2	•				•			2,724
3	•		•					1,863
4	•			•				1,464
5	•	•						1,231
6		•		•				1,000
7		•	•					0,824
8		•			•			0,685
R				•		•		-2,176

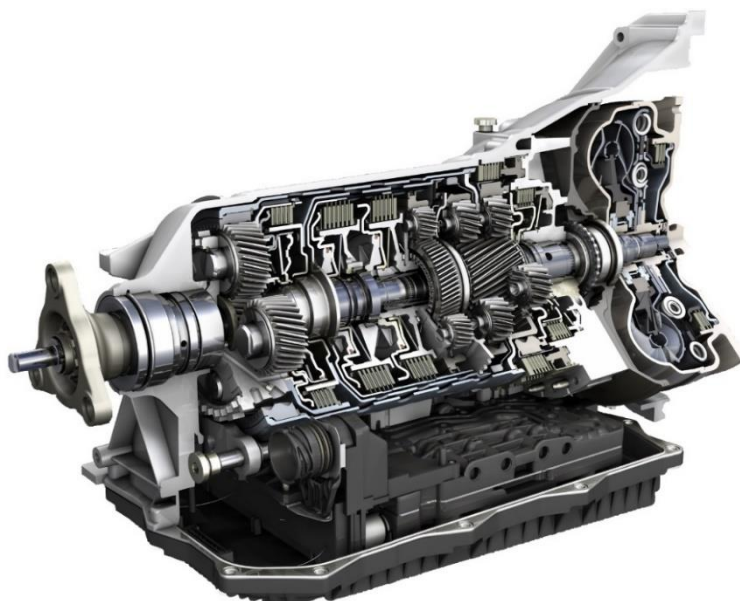
Tab. 29: Řadicí tabulka převodovky TL-80 SN (AA80E) [35]

* – je-li zařazen režim L

2.15. ZF 8HP



ZF 8HP je osmistupňová automatická převodovka od firmy ZF, poprvé představena v osobních vozech BMW v roce 2008. Ústrojí je určeno pro vozy s podélně uloženým motorem a pohonem zadních, nebo všech kol. Převodovka je navržena modulárně – umožňuje kombinaci několika rozjezdových agregátů, stejně tak zástavbu do vozů s hybridním pohonem.^[37]



Obr. 29: Řez převodovkou 8HP70 [43]

Komponenty převodovky:

- hydrodynamický měnič momentu s přemostovací spojkou
- 4 planetová soukolí typu 2k + r
- 2 lamelové brzdy
- 3 lamelové spojky

Významné prvky:

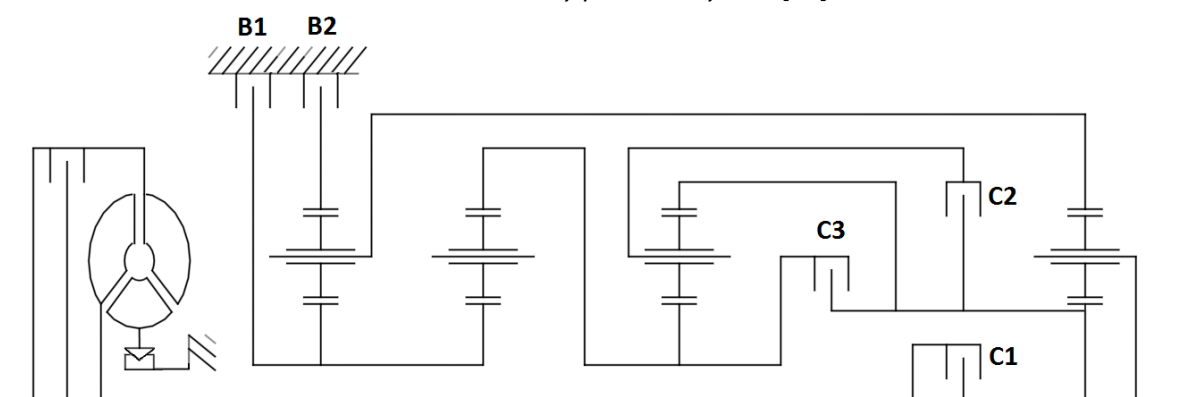
- modulární design, možnost různých rozjezdových agregátů (HCC[®] spojka)
- systém stop/start nevyžaduje pomocné olejové čerpadlo
- při každém zařazeném stupni otevřeny pouze 2 řadící elementy
- funkce plachtění umožňuje do 160 km/hod odpojit pohonný systém od kol

Maximální vstupní moment (N.m)	700
Rozsah převodů (-)	7,05
Hmotnost vč. náplní (kg)	89
Uvedení na trh	2009

Tab. 30: Parametry převodovky 8HP70

Typové označení	Max. moment (Nm)	Pohon	Rozjezdový agregát	Aplikace
8HP70	700	RWD	Hydrodynamický měnič momentu	
8HP45	500	RWD/4WD	Hydrodynamický měnič momentu	
8HP55A	650	4WD	Hydrodynamický měnič momentu	
8HP70H	700	RWD/4WD	Hydrodynamický měnič momentu	Mild-hybridy
8HP90	1000	RWD/4WD	Hydrodynamický měnič momentu	
8P70H	650	RWD/4WD	Mokrá (HCC [®]) rozjezdová spojka	Full-hybridy

Tab. 31: Varianty převodovky 8HP [38]



Obr. 30: Schéma převodovky 8HP [37]

stupeň	C1	C2	C3	B1	B2	převodový poměr
1	•			•	•	4,696
2			•	•	•	3,130
3	•		•		•	2,104
4		•	•		•	1,667
5	•	•			•	1,285
6	•	•	•			1,000
7	•	•		•		0,839
8		•	•	•		0,667
R		•		•	•	-3,297

Tab. 32: Řadicí tabulka převodovky 8HP (1. gen.) [37]

2.16. Aisin AW F8F35

AW F8F35 je osmistupňová automatická převodovka od firmy Aisin-Warner. Jedná se o první osmistupňovou samočinnou převodovku určenou pro vozidla s motorem vpředu napříč. Může být použita s pohonem předních, nebo všech kol.^[44]



Obr. 31: Řez převodovkou F8F35 [45]

Komponenty převodovky:

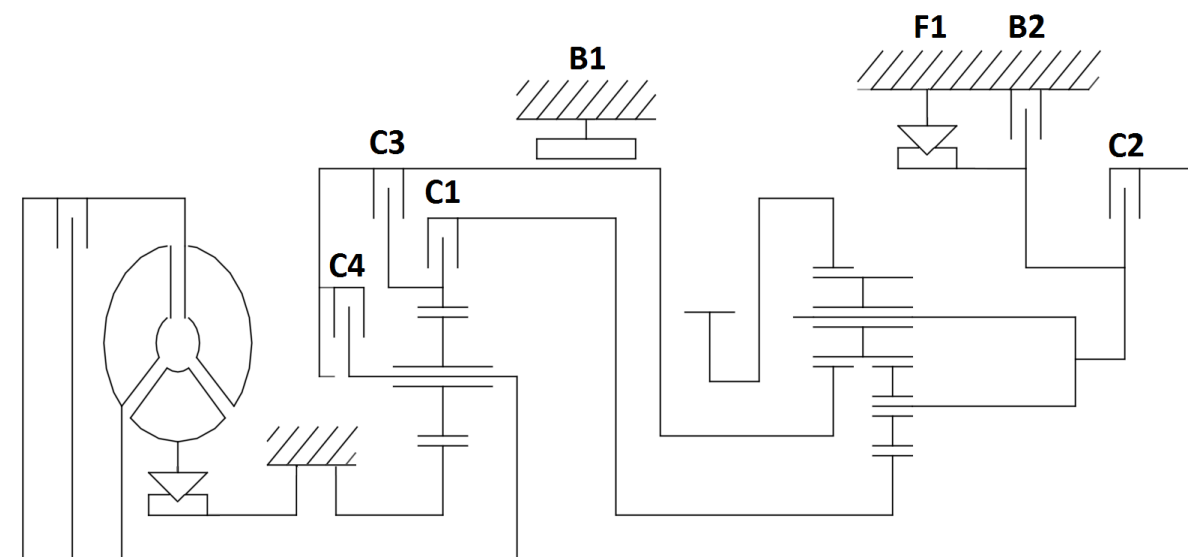
- hydrodynamický měnič momentu s přemostovací spojkou
- 1 planetové soukolí typu 2k + r
- 1 planetové soukolí typu 3k se dvěma korunovými koly a jednou planetou
- 2 lamelové brzdy
- 4 lamelové spojky
- 1 volnoběžná spojka

Významné prvky:

- extrémně kompaktní struktura nutná pro příčnou zástavbu
- vyžaduje menší zástavbový prostor než předchůdce AWF6

Maximální vstupní moment (N.m)	350
Rozsah převodů (-)	7,58
Hmotnost vč. náplní (kg)	96
Uvedení na trh	2013

Tab. 33: Parametry převodovky F8F35



Obr. 32: Schéma převodovky F8F35 [44]

stupeň	C1	C2	C3	C4	B1	B2	F1	převodový poměr
1	•					(•)	•	5,200
2	•				•			2,971
3	•		•					1,950
4	•			•				1,469
5	•	•						1,223
6		•		•				1,000
7		•	•					0,817
8		•			•			0,685
R			•			•		-4,254

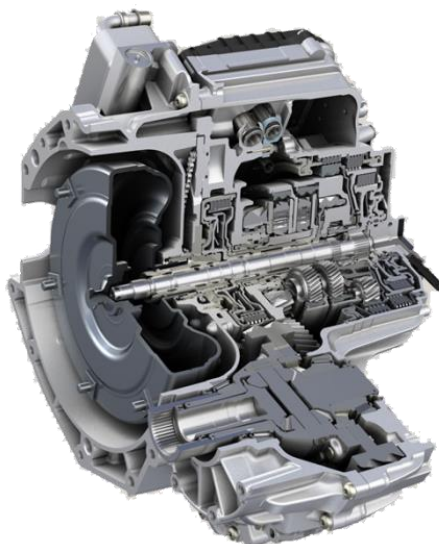
Tab. 34: Řadicí tabulka převodovky F8F35 [44]

() – brzda B2 sepnuta při brždění motorem

2.17. ZF 9HP



Devítistupňová automatická převodovka ZF 9HP je první převodovkou pro osobní vozidla s devíti stupni na trhu. Poprvé byla představena na konci roku 2013 ve vozech Land Rover Range Rover Evoque a Jeep Cherokee. Ústrojí je navrženo pro příčně uložené motory, umožňuje instalaci pohonu všech kol.^{[46], [47], [48]}



Obr. 33: Řez převodovkou 9HP [48]

Komponenty převodovky:

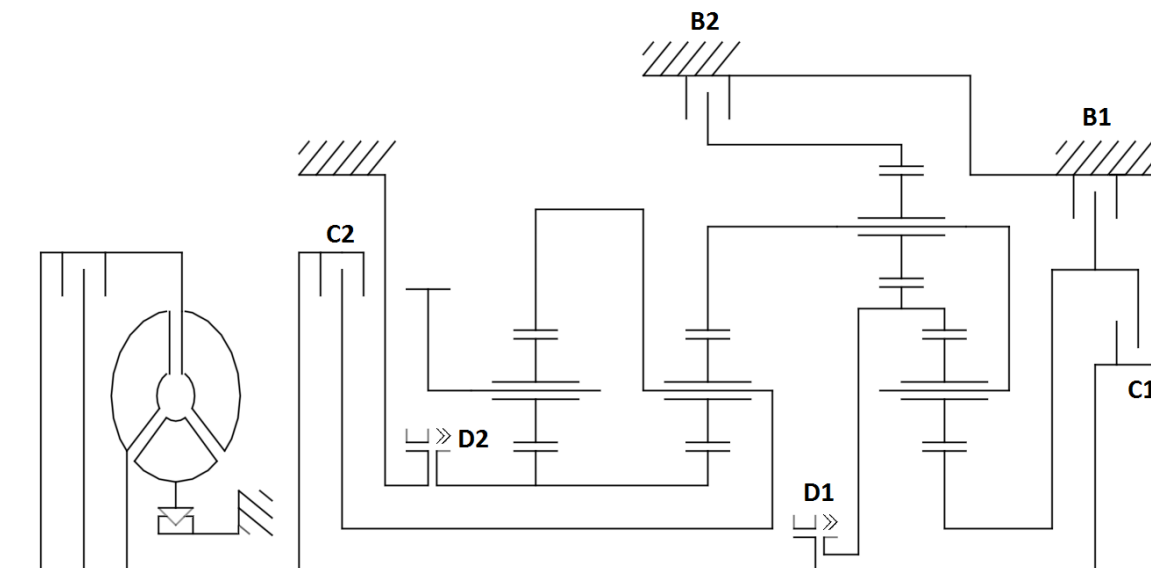
- hydrodynamický měnič momentu s přemostovací spojkou
- 4 planetová soukolí typu 2k + r
- 2 lamelové brzdy
- 2 lamelové spojky
- 2 zubové spojky

Významné prvky:

- extrémně kompaktní planetové soukolí
- systém stop/start nevyžaduje pomocné olejové čerpadlo
- využití zubových spojek (snížení třecích ztrát v otevřeném stavu)
- modulární systém (několik typů rozjezdových agregátů)
- možnost použití v hybridních vozidlech

Maximální vstupní moment (N.m)	480
Rozsah převodů (-)	9,82
Hmotnost (kg)	86 (88 pro 4x4)
Uvedení na trh	2013

Tab. 35: Parametry převodovky 9HP



Obr. 34: Schéma převodovky 9HP [46]

stupeň	D1	B1	B2	C1	C2	D2	převodový poměr
1	•		•			•	4,713
2	•	•				•	2,842
3	•			•		•	1,909
4	•				•	•	1,382
5	•			•	•		1,000
6	•	•			•		0,808
7	•		•		•		0,699
8		•	•		•		0,580
9			•	•	•		0,480
N			•			•	0,000
R			•	•		•	-3,830

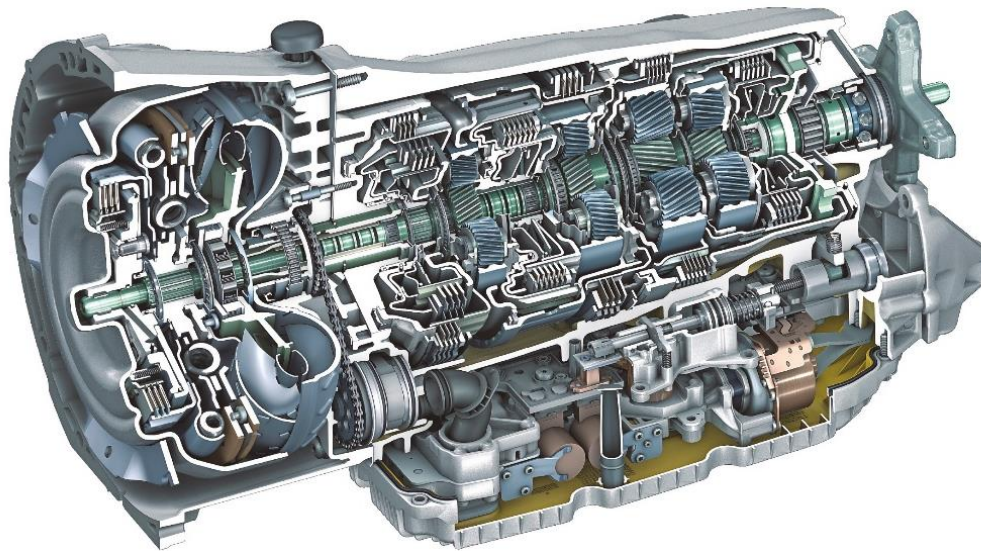
Tab. 36: Řadicí tabulka převodovky ZF 9HP [46]

2.18. Mercedes-Benz 9G-Tronic



Mercedes-Benz

Mercedes-Benz 9G-Tronic je první a jediná devítistupňová automatická převodovka určená pro podélně uložené motory. Navzdory přidání dvou převodových stupňů je převodovka lehčí než její předchůdkyně 7G-Tronic a vyžaduje stejný zástavbový prostor. Skříň je přizpůsobena pro automobily s pohonem zadních i všech kol, stejně tak pro instalaci do hybridních a plug-in hybridních vozidel.^[24]



Obr. 35: Řez převodovkou 9G-Tronic [24]

Komponenty převodovky:

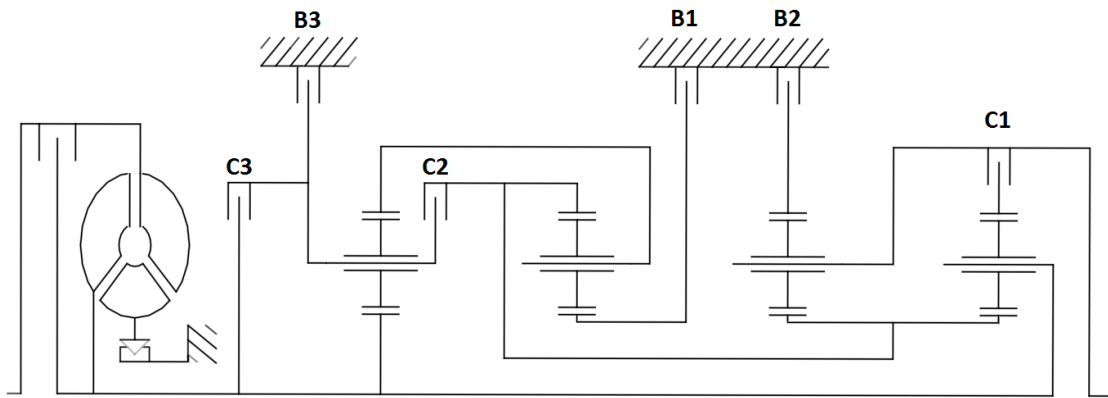
- hydrodynamický měnič momentu s přemostovací spojkou
- 4 planetová soukolí typu $2k + r$
- 3 lamelové brzdy
- 3 lamelové spojky

Významné prvky:

- přemostování měniče na všechny převodové stupně
- tři módy řazení (Economy, Sport, Manual)
- pomocné elektricky poháněné olejové čerpadlo pro systém stop/start

Maximální vstupní moment (N.m)	1000
Rozsah převodů (-)	9,15
Hmotnost vč. náplní (kg)	95
Uvedení na trh	2013

Tab. 37: Parametry převodovky 9G-Tronic



Obr. 36: Schéma převodovky 9G-Tronic [50]

stupeň	C1	C2	C3	B1	B2	B3	převodový poměr
1		•		•	•		5,503
2		•	•		•		3,333
3			•	•	•		2,315
4	•			•	•		1,661
5	•		•	•			1,211
6	•	•	•				1,000
7	•	•		•			0,865
8	•	•				•	0,717
9	•			•		•	0,601
N				•	•		0,000
R				•	•	•	-4,932

Tab. 38: Řadicí tabulka převodovky 9G-Tronic [50]

2.19. Ford-GM 10° převodovka



Dohady o vývoji a podobě desetistupňové převodovky pro osobní vozidla vyvstaly poté, co koncerny Ford Motor Co. a General Motors Co. podepsaly smlouvu o společném vývoji nové generace devíti a desetistupňových samočinných převodovek.

„Spolupráce umožňuje oběma automobilkám vyvinout, vyrobit, otestovat a doručit nové převodovky rychleji a za menších nákladů, než by tomu bylo, kdyby obě společnosti pracovaly nezávisle.“^[51]

Od ústrojí se očekává, že dále napomůže snížení spotřeby paliva. Poprvé by se mělo objevit v modelu Ford F-150 SVT Raptor v roce 2017.^[53]

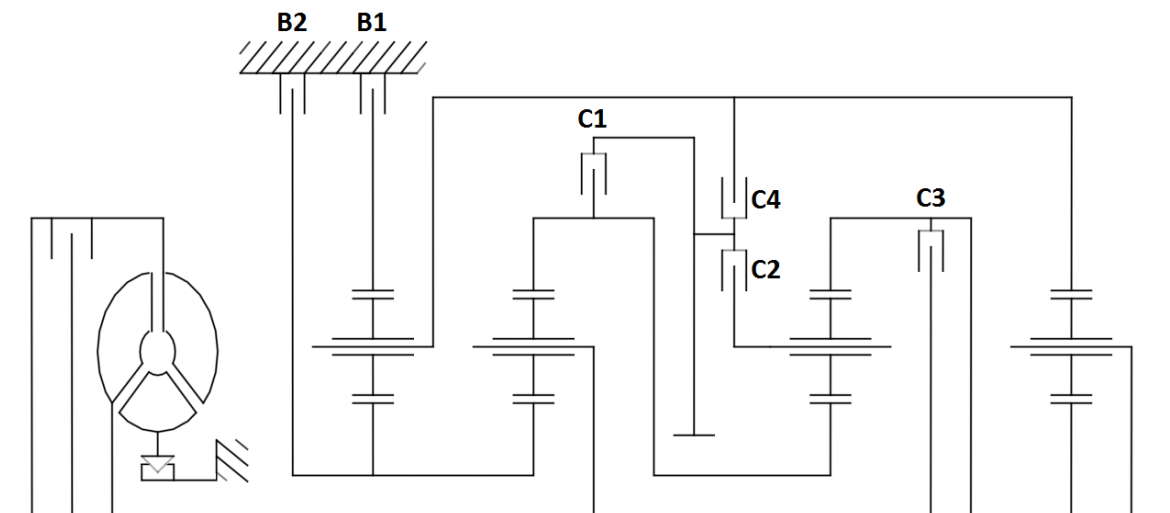
Následující informace byly čerpány ze zpravodajského serveru The Truth About Cars, jsou založeny na domněnkách analytiků a nemusí souviset s podobou budoucí produkce.^[52]

Komponenty převodovky:

- hydrodynamický měnič momentu s přemostovací spojkou
- 4 planetová soukolí typu $2k + r$
- 2 lamelové brzdy
- 4 lamelové spojky

Významné prvky:

- pro podélně uložené motory a pohon zadních/všech kol
- do osobních vozidel, crossoverů, vozů kategorie SUV, pickupů
- při každém zařazeném stupni se protáčí pouze 2 řadící elementy (nízké třecí ztráty)
- kompaktní konstrukce, přibližně stejná velikost jako u současných 8rychlostních skříní
- rychlé přerazování



Obr. 37: Schéma desetistupňové převodovky Ford-GM [54]

stupeň	C1	C2	C3	C4	B1	B2	převodový poměr
1		•	•		•	•	4,696
2	•	•			•	•	2,985
3	•	•	•		•		2,179
4	•	•		•	•		1,801
5	•		•	•	•		1,539
6		•	•	•	•		1,288
7	•	•	•	•			1,000
8		•	•	•		•	0,852
9	•		•	•		•	0,689
10	•	•		•		•	0,636
N							0,000
R		•		•	•	•	-4,786

Tab. 39: Řadičí tabulka desetistupňové převodovky Ford-GM [54]

3. VÝPOČTOVÁ ČÁST

3.1. Úvod

Audi A6 allroad quattro je vůz vyšší střední třídy kategorie SUV. Jedná se o univerzální automobil s pohonem všech kol, který musí být schopný pohybovat se ve středně těžkém terénu a zároveň zvládnout rychlou jízdu po dálnici. K výpočtu poslouží model s naftovým třilitrovým motorem.

Při výpočtu převodových poměrů Audi A6 allroad quattro nás zajímají dvě situace. Rozjezd s plně naloženým vozem a vlekem o hmotnosti 2500 kg ve stoupání 26 % (průsmyk Turracher Höhe v Rakousku) a jízda po dálnici rychlostí 130 km/hod.

Jelikož uvažujeme automobil s konvenční samočinnou převodovkou, měli bychom při rozjezdu z klidu započítávat násobnost hydrodynamického měniče momentu. Měníče s vyšší momentovou násobností mají obecně horší účinnost, zatímco měniče s vyšší účinností (vhodné pro relativně lehké osobní automobily) mají nižší momentovou násobnost. Čísla se pohybují v rozmezí 1,8- 2,5. Pro náš modelový případ uvažujeme násobnost měniče $n_m = 2,0$.

3.2. Parametry vozidla

pohotovostní hmotnost $m_{\text{aut,pohot.}}$	1895 kg	(prázdný vůz)
min. provozní hmotnost $m_{\text{aut,min}}$	1970 kg	(řidič, zavazadlo a provozní kapaliny)
max. hmotnost vozidla $m_{\text{aut,max}}$	2525 kg	
max. výkon P_{max}	200 kW	(3500-4250 ot/min)
maximální kroutící moment M_{mot}	580 N.m	(1250-3250 ot/min)
koeficient odporu vzduchu C_x	0,31	
čelní plocha S_x	2,36 m ²	
rozměr pneumatik	235/55 R18	
tlak přední/zadní	31,91/29,01 PSI	(běžné zatížení)
	34,81/37,71 PSI	(velké zatížení)
dynamický poloměr kola	0,329 m	

3.3. Dynamická rovnováha sil

$$\sum_{K=1}^n F_K = O_f + O_{vzd} + O_{st} + O_a + F_s$$

F_K	výsledná hnací síla přenášená na obvodě n hnacích kol
O_f	odpor valení kol
O_{vzd}	aerodynamický odpor
O_{st}	odpor stoupání
O_a	odpor ze zrychlení
F_s	odpor tažených vozidel

3.4. Jízdní odpory vozidla

Stav (0) Rozjezd ve 26% stoupání na asfaltové silnici

Stav (130) Jízda po dálnici konstantní rychlostí 130 km/h

3.4.1. Odpor valení kol

Vzniká vnitřním třením materiálu pneumatiky při deformaci, ztrátami třením v dotykové ploše, přisáváním běhounu k vozovce, stojatým vlněním pneumatiky při vysokých rychlostech, aerodynamickým odporem, třením v ložiskách vlečených kol. K určení velikosti odporu valení kol použijeme následující rovnici

$$O_f = \sum O_{fi} = \sum F_{zi} \cdot f_i = F_z \cdot f = m \cdot g \cdot \cos(\alpha) \cdot f$$

Součinitel valení pro nízké rychlosti

$$f = f_0 + k_1 \cdot v$$

k_1 součinitel vlivu rychlosti na valivý odpor, $k_1 = (3-10) \cdot 10^{-5}$

f_0 součinitel odporu valení při $v = 0$ km/h

Souč. valení pro vysoké rychlosti

$$f = f_0 + 3,24 \cdot f_s \cdot \left(\frac{v}{160,9}\right)^{2,5}$$

f_s součinitel vlivu rychlosti, závisí na tlaku huštění

Odpor valení kol plně naloženého Audi A6 Allroad + vleku o hmotnosti 2500 kg za klidu ve stoupání 26 % na asfaltu

$$O_{f(0)} = 2525 \cdot 9,81 \cdot \cos(15^\circ) \cdot 0,015 + 2500 \cdot 9,81 \cdot \cos(15^\circ) \cdot 0,015 = 714 \text{ N}$$

Odpor valení kol Audi A6 Allroad při rychlosti 130 km/h na asfaltu ve stoupání 7,5 % (4,3°)

$$O_{f(130)} = 1970 \cdot 9,81 \cdot (0,015 + 3,24 \cdot 0,005 \cdot \left(\frac{130}{160,9}\right)^{2,5}) = 474 \text{ N}$$

3.4.2. Odpor vzduchu (aerodynamický odpor)

Je způsoben rozdílem tlaků před a za vozidlem, vznikem vírů za vozidlem a třením mezní vrstvy vzduchu o karoserii vozidla. Pro výpočet uvažujeme bezvětří.

$$O_{vzd} = p_D \cdot c_x \cdot S_x = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot c_x \cdot S_x$$

Hustota vzduchu

$$\rho = \frac{p_b}{2,877 * (273 + t)}$$

Odpor vzduchu Audi A6 Allroad a vleku o hmotnosti 2500 kg za klidu zanedbáváme

Odpor vzduchu Audi A6 Allroad při rychlosti 130 km/h

$$O_{vzd(130)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1013,25}{2,877 * (273 + 20)} \cdot \left(\frac{130}{3,6}\right)^2 \cdot 0,31 \cdot 2,36 = 573 \text{ N}$$

3.4.3. Odpor stoupání

Je roven průmětu tíhy vozidla do směru jízdy

$$O_{st} = m \cdot g \cdot \sin(\alpha)$$

Odpor stoupání plně naloženého Audi A6 Allroad a vleku o hmotnosti 2500 kg při sklonu kopce 26 %

$$O_{st(0)} = (2525 + 2500) \cdot 9,81 \cdot \sin(15^\circ) = 12759 \text{ N}$$

Odpor stoupání Audi A6 allroad při sklonu kopce 4,3° (maximální legislativou povolený sklon dálnice v ČR)

$$O_{st(130)} = 1970 \cdot 9,81 \cdot \sin(4,3^\circ) = 1449 \text{ N}$$

3.4.4. Odpor ze zrychlení

Změna kinetické energie vozidla a kinetické energie rotujících částí hnacího ústrojí vozidla. Zjednodušený vzorec počítá s koeficientem δ , představujícím součinitel rotačních hmot.

$$O_a = m \cdot \delta \cdot a$$

Odpor ze zrychlení při rozjezdu s vlekem (součinitel rotačních hmot automobilu $\delta_{aut} = 1,4$; součinitel rotačních hmot vozíku $\delta_{voz} = 1,05$; zrychlení $a = 4 \text{ m/s}^{-2}$ - vůz se v těchto podmínkách nebude rozjíždět na plný plyn)

$$O_{a(0)} = m_{aut,max} \cdot \delta_{aut} \cdot a + m_{voz} \cdot \delta_{voz} \cdot a = 2525 \cdot 1,4 \cdot 4 + 2500 \cdot 1 \cdot 4 = 24140 \text{ N}$$

Ve druhém případě uvažujeme jízdu konstantní rychlostí.

3.5. Požadovaná hnací síla

Nyní stanovíme požadovanou hnací sílu v obou zkoumaných situacích

$$F_{K(0)} = O_{f(0)} + O_{vzd(0)} + O_{st(0)} + O_{a(0)} = 714 + 0 + 12759 + 24140 = 37613 \text{ N}$$

$$F_{K(130)} = O_{f(130)} + O_{vzd(130)} + O_{st(130)} + O_{a(130)} = 474 + 573 + 1449 + 0 = 2496 \text{ N}$$

3.6. Výpočet krajních rychlostních stupňů

3.6.1. První celkový převod

Aby se vozidlo dokázalo rozjet v definovaných obtížných podmínkách, musí být kroutící moment motoru znásoben tak, aby byl překonán odpor jízdy. Celková násobnost kroutícího momentu (a tím i redukce otáček motoru) na první převodový stupeň musí být nejméně

$$i'_{1celk} = \frac{M_{K(0)}}{M_{mot} \cdot n_m} = \frac{F_{k(0)} \cdot r_{dyn}}{M_{mot} \cdot n_m} = \frac{37613 \cdot 0,329}{580 \cdot 2,0} = 10,668$$

3.6.2. Poslední celkový převod

Poslední převodový stupeň slouží k jízdě po dálnici při rychlosti 130 km/hod, což je legislativou omezená nejvyšší rychlost na dálnicích ve většině Evropských zemí. Při této rychlosti vozila by se motor měl pohybovat v oblasti optimální spotřeby paliva, což bývá v pásmu nejvyššího kroutícího momentu. Jelikož je u motoru 3,0 TDI toto pásmo široké (1250-3250 ot/min), volíme požadované otáčky $n_{130} = 1500$ ot/min

$$i'_{posl celk} = \frac{60 \cdot n \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{dyn}}{v \cdot 1000} = \frac{60 \cdot 1500 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,329}{130 \cdot 1000} = 1,431$$

Je při tomto celkovém převodu vozidlo schopno vyvinout požadovanou hnací sílu tak, aby byla splněna podmínka specifikovaná na počátku?

$$F'_{K(130)} = \frac{M_{mot}}{r_{dyn}} \cdot i'_{posl celk} = \frac{580}{0,329} \cdot 1,431 = 2523 \text{ N}$$

Vidíme, že tato hodnota je o pouhých 26 N vyšší, než požadovaná hnací síla plynoucí z jízdních odporů vozidla. Tento převod by sice umožnil jízdu požadovanou rychlostí, ale při změně podmínek (např. protivítr, vyšší hmotnost vozidla) by automobil nebyl schopen udržet rychlost a muselo by dojít k podřazení. Pokud toto nechceme dopustit, musíme zvýšit celkový převod posledního rychlostního stupně a tím i otáčky motoru při jízdě rychlostí 130 km/hod. Volíme proto $n_{130} = 1750$ ot/min.

$$i'_{posl celk} = \frac{60 \cdot n \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_{dyn}}{v \cdot 1000} = \frac{60 \cdot 1750 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,329}{130 \cdot 1000} = 1,670$$

$$F'_{K(130)} = \frac{M_{mot}}{r_{dyn}} \cdot i'_{posl celk} = \frac{580}{0,329} \cdot 1,670 = 2944 \text{ N}$$

Nyní již je rezerva hnací síly dostatečná. Zároveň otáčky motoru nejsou příliš vysoké.

3.7. Výpočet ostatních celkových převodů

3.7.1. Rozsah převodovky

$$\delta = \frac{i'_{celk\ posl}}{i'_{1celk}} = \frac{10,668}{1,670} = 6,388$$

3.7.2. Počet převodových stupňů

Definujeme tzv. rozsah stupně q (skok, rozpětí)

$$q_{(z-1)-z} = \frac{i_{z-1}}{i_z}$$

Pro osobní vozidla je vhodné volit progresivní řadu převodů. U té platí, že poměry dvou po sobě jdoucích převodů q nejsou stejné. Vozidlo Audi A6 allroad quattro bude při jízdě daleko častěji využívat vyšší rychlostní stupně. Větší výkon, který bude k dispozici na hnacích kolech při nižších rychlostních stupních umožní snáze překonat větší skoky při jejich řazení. Změna otáček motoru mezi vyššími převody bude díky progresivnímu odstupňování menší a jízdní vlastnosti tedy příjemnější.

Nutnou podmínkou návrhu převodových stupňů je podmínka jejich překrývání. Musí existovat interval rychlostí vozu, ve kterém může pracovat jak převod z tak převod $(z-1)$. Matematicky z podmínky plyne

$$v_{(i-1)max} > v_{imin}$$

Dále platí, že pokud se motor na převod z pohybuje v oblasti maximálního momentu, nesmí při přeřazení na převod $z-1$ dojít k přetočení motoru.

$$q_{max} = \frac{i_{z-1}}{i_z} \leq \frac{n_{max}}{n_{Mmax}}$$

K hyperbole stálého výkonu se lépe přiblíží ústrojí s větším počtem převodových stupňů. To má ale vyšší hmotnost. Také je nutno častěji přeřazovat. Vzhledem k rozsahu převodů volíme **osm** rychlostních stupňů.

3.7.3. Převodové poměry

Nyní musíme stanovit převodové poměry $i_2 - i_7$ jednotlivých převodů. Zavádíme konstantní faktor progresy y , který určuje vztah mezi dvěma sousedními poměry po sobě jdoucích převodů

$$y = \frac{q_{1-2}}{q_{2-3}} = \frac{q_{2-3}}{q_{3-4}} = \frac{q_{3-4}}{q_{4-5}} = \dots = \frac{q_{(z-2)-(z-1)}}{q_{(z-1)-z}}$$

Upravíme-li předchozí vztahy, dostáváme

$$q_{1-2} = y \cdot q_{2-3} = y^2 \cdot q_{3-4} = y^3 \cdot q_{4-5} = \dots = y^{z-2} \cdot q_{(z-1)-z}$$

A tedy

$$\frac{i_1}{i_2} = y \cdot \frac{i_2}{i_3} = y^2 \cdot \frac{i_3}{i_4} = y^3 \cdot \frac{i_4}{i_5} = \dots = y^{z-2} \cdot \frac{i_{z-1}}{i_z}$$

S použitím předchozích rovnic lze faktor progresy vypočítat jako

$$y = \frac{z^2 - 3z + 2}{2} \sqrt{\frac{\delta}{q_{(z-1)-z}^{z-1}}}$$

S pomocí stanoveného rozsahu rychlostních stupňů a zvoleného nejmenšího skoku, v našem případě q_{7-8} stanovíme jednotlivé rychlostní stupně.

$$y = \frac{8^2 - 3 \cdot 8 + 2}{2} \sqrt{\frac{6,388}{1,18^{8-1}}} = 1,03369$$

Nyní můžeme vypočítat jednotlivé celkové převody. Postupujeme odzadu

$$i_{7celk} = i_8 \cdot q_{7-8} = 1,670 \cdot 1,18 = \mathbf{1,971}$$

$$i_{6celk} = i_7 \cdot q_{7-8} \cdot y = 1,971 \cdot 1,18 \cdot 1,03369 = \mathbf{2,404}$$

$$i_{5celk} = i_6 \cdot q_{7-8} \cdot y^2 = 2,406 \cdot 1,18 \cdot 1,03369^2 = \mathbf{3,031}$$

$$i_{4celk} = i_5 \cdot q_{7-8} \cdot y^3 = 3,039 \cdot 1,18 \cdot 1,03369^3 = \mathbf{3,950}$$

$$i_{3celk} = i_4 \cdot q_{7-8} \cdot y^4 = 3,970 \cdot 1,18 \cdot 1,03369^4 = \mathbf{5,321}$$

$$i_{2celk} = i_3 \cdot q_{7-8} \cdot y^5 = 5,366 \cdot 1,18 \cdot 1,03369^5 = \mathbf{7,411}$$

3.8. Stanovení stálého převodu

Celkové převody jsou rozděleny mezi převodové ústrojí a stálý převod v rozvodovce automobilu. U samočinných převodovek s planetovým soukolím bývá jeden z převodových stupňů přímý převod ($i = 1$). V modelové převodovce volíme jako přímý převod **pátý** rychlostní stupeň. Jednotlivé převodové poměry poté vychází

$$i_1 = \mathbf{3,520}$$

$$i_2 = \mathbf{2,445}$$

$$i_3 = \mathbf{1,756}$$

$$i_4 = \mathbf{1,303}$$

$$i_5 = \mathbf{1,000}$$

$$i_6 = \mathbf{0,793}$$

$$i_7 = \mathbf{0,650}$$

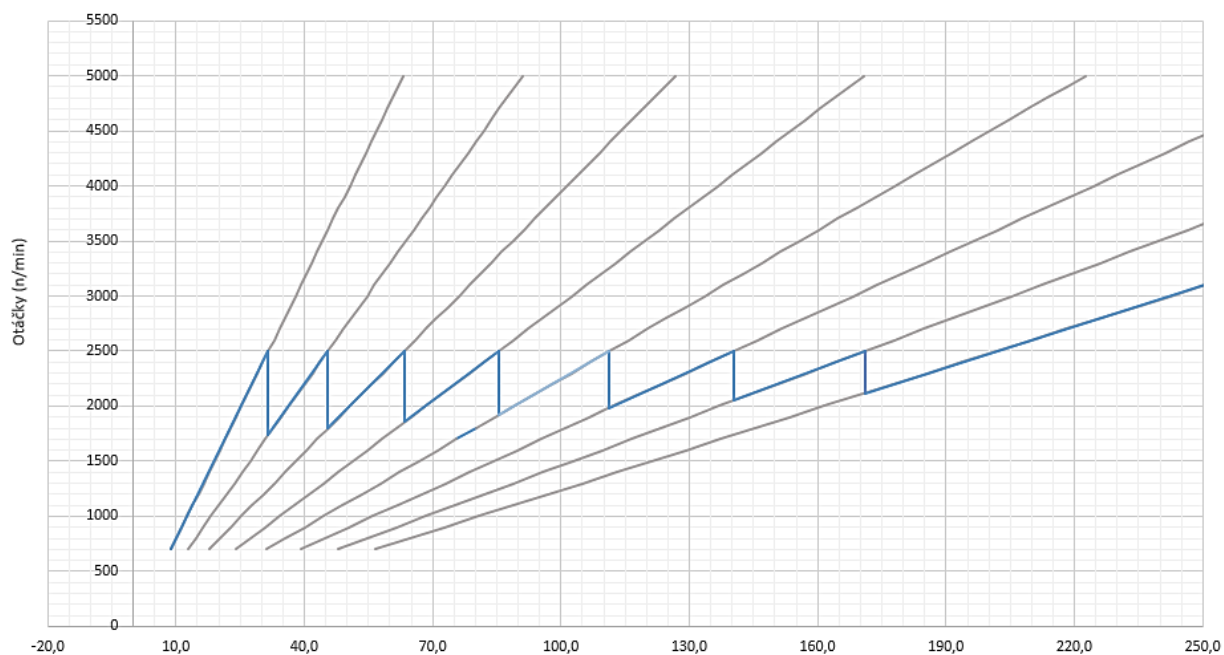
$$i_8 = \mathbf{0,551}$$

Vypočtené parametry jsou ovšem pouze teoretické a jsou založené na podmínkách zvolených před výpočtem. Skutečné převodové poměry se od návrhových liší z mnoha důvodů. Počet zubů u ozubených kol musí být vždy celé číslo (a už tím je ovlivněn předběžně vypočtený převodový poměr).

U konvenčních samočinných převodovek je situace ještě složitější. V rešeršní části práce můžeme číst, že i s pomocí relativně malého počtu planetových soukolí (4) a řadicích elementů (5) lze zkonstruovat osmistupňové převodovky. Jednotlivé převodové stupně jsou na sobě závislé (vytvářejí se pomocí planetových soukolí a zapojených/rozpojených řadicích elementů) a nelze tedy přesně sestrojít vypočtený převodový poměr.

Nedílnou součástí pokročilé fáze návrhu jsou počítačové simulace. Jsou-li virtuální návrhy uzavřeny, následuje výroba a fyzické testování. Při návrhu reálných převodovek záleží na jízdních vlastnostech konkrétního automobilu, kterému je převodové ústrojí přizpůsobováno. Ladění závisí na zkušenostech a tradici výrobce.

3.9. Pilový diagram



Obr. 38: Pilový diagram vozu Audi A6 allroad quattro 3,0 TDI 200 kW

Pilový diagram ukazuje závislost otáček motoru na rychlosti vozidla na jednotlivé rychlostní stupně.

4. ZÁVĚR

V rešeršní části mé bakalářské práce uvádím 19 zástupců samočinných převodovek od roku 1967 do roku 2013. Nalezená řešení jsem zdokumentoval schématem zapojení a tabulkou ovládaných prvků během řazení. Hlavní parametry převodovek jsem shrnul do přehledové tabulky, kterou příkládám v příloze. Rešerše, zpracovaná formou „atlasu samočinných převodovek,“ dokumentuje vývoj, kterým tato část automobilů prošla.

U novějších ústrojí jsem potřebné informace čerpal z tiskových zpráv a z webů výrobců. Také jsem využíval databáze článků z konferencí SAE („SAE Papers“). U starších typů jsem informace získával z dílenských příruček a servisních manuálů. Obecné informace o automatických převodovkách mi poskytla skripta docentky Achtenové a kniha Automotive Transmissions od Haralda Naunheimera a kol.

Poslední zástupce samočinných převodovek je zatím ve vývoji a proto se většina uvedených informací pohybuje v rovině spekulací.

Bohužel jsem nedokázal sehnat relevantní informace o prvních sériových samočinných převodovkách na světě: Hydramatic a Dynaflow.

Ve výpočtové části jsem navrhoval rozsah převodovky a odstupňování osobního automobilu Audi A6 allroad quattro. Uvedené výpočty se vztahují k verzi s motorem 3,0 TDI 200 kW. Sestrojil jsem pilový diagram, ve kterém je jasně vidět progresivní odstupňování převodů.

5. ZDROJE

Obecné

- [1] NAUNHEIMER, Harald, Bernd BERTSCHE, Joachim RYBORZ, Wolfgang NOVAK, Peter FIETKAU a Gisbert LECHNER. *Automotive Transmissions: Fundamentals, Selection, Design, and Application*. 2nd ed. New York: Springer, 2011, xxiv, 715 p. ISBN 978-364-2162-138.
- [2] ACHTENOVÁ, Gabriela, Jan BANĚČEK, Josef KOLÁŘ. *Převodná ústrojí vozidel: Návrh odstupňování převodovek*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2014, 103 s. ISBN 978-80-01-05557-1.
- [3] ACHTENOVÁ, Gabriela. *Planetary Gear Sets in Automotive Transmissions*. Praha: České vysoké učení technické, 2011, 88 s. ISBN 978-80-01-04795-8.

ZF 3HP

- [4] ZF Friedrichshafen. The Passion for Gears. . [online]. [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: http://www.zf.com/media/media/en/document/corporate_2/company_4/tradition_3/Antriebstechnik_Liebe_zum_Getriebe.pdf
- [5] ZF Friedrichshafen. 100 Years. . [online]. [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: http://www.zf.com/100years/en_de/index.html#!/article/history:29122:100JahreZF:en_DE

3HP12

- [6] 3HP info. BMW 2002 FAQ. [online]. [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: <http://www.bmw2002faq.com/topic/88742-3hp12-info-collected-here/>

3HP22

- [7] BMW. Service Information. E9-driven. [online]. [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: http://www.e9-driven.com/Public/Library/BMW-E9-Manual/PDF/D%5Ce9_24e.pdf
- [8] Automobiles Peugeot. ZF3HP22 Automatic Checking, Adjustment, Overhauling. Peugeot 505 Info. [online]. [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: http://peugeot505.info/files/manuals/505_3hp22.pdf

Mercedes-Benz W4A 040&020

- [9] Stoeckel, D. and Tinschert, F., "Temperature Compensation with Thermovisible Rate Springs in Automatic Transmissions," SAE Technical Paper 910805, 1991, doi:10.4271/910805.
- [10] ATSG. Mercedes 722.3/4 Rebuild Minimums. Automatic Transmissions Service Group. [online]. [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: https://www.atsg.us/atsg/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/m/e/mercedes-722.3_4-gcat.jpg

4HP14

- [11] APTTA Brasil. Manual de Reparacoes Transmissao Automatica 4HP14. Brasilautomatico. [online]. [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: http://www.brasilautomatico.com.br/downloads/4hp14_br56.pdf

4HP20

- [12] Citroën Automobiles. Citroën Technical Training ZF 4HP20 Automatic Transmission. . [online]. [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: http://www.c5club.cz/files/automat/ZF_4HP20.pdf

4HP22&4HP24

- [13] ZF Getriebe GMBH Saarbrücken. Repair Manual 4 HP – 22. . [online]. [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: <https://ec9c68fe3164e4227c01f24848bc7cd5dd37b58d.googleusercontent.com/host/0BzP5dF4g1ykEMnFqcnDpcHVtMlk/ZF%204HP22E%20Repair%20Manual.pdf>
- [14] Land Rover Range Rover Repair Manual. . [online]. [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: http://ww2.justanswer.com/uploads/tyroneboman/2012-01-15_210857_range-rover_workshop-manual-p38-trans.pdf

ZF 5HP

- [15] Scherer, H. and Gierer, G., "ZF 5-Speed Transmissions for Passenger Cars," SAE Technical Paper 970689, 1997, doi:10.4271/970689.

ZF 5HP18

- [16] Scherer, H. and Gierer, G., "ZF 5-Speed Transmissions for Passenger Cars," SAE Technical Paper 970689, 1997, doi:10.4271/970689.
- [17] BMW Service. Automatic-Getriebe A5S 310Z. E32-Schrauber.de. [online]. [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: <http://www.e32-schrauber.de/bmw/daten/getriebe/ZF/5hp18.pdf>

ZF 5HP19

- [18] ZF Friedrichshafen. ZF 5HP19 Automatic Transmission- Spare Parts Catalog. ZF. [online]. [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: http://www.zf.com/media/media/document/int_print_catalogs_documents/usa_4/5HP19.pdf
- [19] ZF Friedrichshafen. 5hp19e. Slideshare. [online]. [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: <http://www.slideshare.net/jcbryk/5-hp19e>

ZF5HP24&ZF5HP30

- [20] ZF Friedrichshafen. ZF 5HP24 Automatic Transmission – Spare Parts Catalog. ZF. [online]. [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: http://www.zf.com/media/media/document/int_print_catalogs_documents/usa_4/5HP24.pdfhttp://www.zf.com/media/media/document/int_print_catalogs_documents/usa_4/5HP30.pdf
- [21] ZF Friedrichshafen. ZF 5HP30 Automatic Transmission – Spare Parts Catalog. ZF. [online]. [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: http://www.zf.com/media/media/document/int_print_catalogs_documents/usa_4/5HP30.pdf
- [22] ZF 5HP24. Autoreview.ru. [online]. [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: http://autoreview.ru/new_site/year2002/n08/gear/800/ch_03merged.jpg

Mercedes-Benz W5A 330&580&900

- [23] Schoepf, H. and Juergens, G., "The Mercedes-Benz 5-Speed Automatic Transmission Targets and Comparison of Concepts," SAE Technical Paper 901759, 1990, doi:10.4271/901759.
- [24] Mercedes-Benz. 9G-Tronic Press Information. Daimler. [online]. [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: http://www.daimler.com/Projects/c2c/channel/documents/2442329_PM_9G_TRONIC_en.dochttps://www.scribd.com/embeds/92643386/content?start_page=1&view_mode=list&access_key=key-7h437wiv215r2tv8d93
- [25] Automatic Transmission NAG1 – Service Information. . [online]. [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: <http://mgriselain.free.fr/MB/NAG1%20document%20BVA.pdf>
- [26] TAYLOR, James. Mercedes-Benz S-Class 1972-2013 [online]. 2013. [cit. 2015-06-12]. ISBN 9781847975966. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=hpMmBAAQBAJ&pg=PT386&lpg=PT386&dq=mercedes+w5a900+rati0&source=bl&ots=c6PQKKrjEg&sig=r7Fd5tgmIG51dRDHIO6S5bPCmXY&hl=cs&sa=X&ei=WVdLVdCMNoHMgHaroDwAw&ved=0CCAQ6AEwAA#v=onepage&q=mercedes%20w5a900%20rati0&f=false>
- [27] <https://f-a.d-cd.net/3e8dfb8s-960.jpg>

ZF 6HP

- [28] Scherer, H., "ZF 6-Speed Automatic Transmission for Passenger Cars," SAE Technical Paper 2003-01-0596, 2003, doi:10.4271/2003-01-0596.
- [29] ZF Friedrichshafen. Overview of ZF 6-speed automatic transmissions. . [online]. [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: http://www.zf.com/corporate/en_de/products/product_range/cars/cars_6_speed_automatic_transmission.shtml#tabs1-1
- [30] Chris Guile. New ZF 6-speed auto as efficient as manuals (sometimes). JustAuto.com. [online]. 2.2.2007 [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: http://www.just-auto.com/analysis/new-zf-6-speed-auto-as-efficient-as-manuals-sometimes_id90340.aspx

Aisin AW TF-60 SN&TF-80 SC

- [31] Katou, N., Taniguchi, T., Tsukamoto, K., Hayabuchi, M. et al., "AISIN AW New Six-Speed Automatic Transmission for FWD Vehicles," SAE Technical Paper 2004-01-0651, 2004, doi:10.4271/2004-01-0651.
- [32] Kasuya, S., Taniguchi, T., Tsukamoto, K., Hayabuchi, M. et al., "AISIN AW New High Torque Capacity Six-Speed Automatic Transmission for FWD vehicles," SAE Technical Paper 2005-01-1020, 2005, doi:10.4271/2005-01-1020.

Mercedes-Benz W7A 700

- [33] Greiner, J., Doerr, C., Nauertz, H., and Graeve, M., "The New "7G-TRONIC" of Mercedes-Benz: Innovative Transmission Technology for Better Driving Performance, Comfort and Fuel Economy," SAE Technical Paper 2004-01-0649, 2004, doi:10.4271/2004-01-0649.
- [34] <http://media.daimler.com/dcmmedia/0-921-614216-1-702589-1-0-0-0-1-12759-614216-0-0-0-31-0-0-0.html?TS=1426628457832>

Aisin AW TL-80 SN/Toyota AA80E

- [35] Kondo, M., Hasegawa, Y., Takanami, Y., Arai, K. et al., "Toyota AA80E 8-Speed Automatic Transmission with Novel Powertrain Control System," SAE Technical Paper 2007-01-1311, 2007, doi:10.4271/2007-01-1311.
- [36] http://blogs.youwheel.com/wp-content/uploads/2014/04/Aisin_AA80E.jpg

ZF 8HP

- [37] Scherer, H., Bek, M., and Kilian, S., "ZF New 8-speed Automatic Transmission 8HP70 - Basic Design and Hybridization-," SAE Int. J. Engines 2(1):314-326, 2009, doi:10.4271/2009-01-0510.
- [38] ZF Friedrichshafen. ZF 8HP Product Details. . [online]. [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: http://www.zf.com/corporate/en_de/products/product_range/cars/cars_8_speed_automatic_transmission.shtml#tabs1-0
- [39] Amazing Savings with Innovative Wheel Set Concept: 8-Speed Transmission Construction Kit is Hybrid Ready, media release, 20 March, ZF Friedrichshafen AG, viewed 13 June 2015, < http://www.zf.com/media/media/en/document/corporate_2/press_3/press_kits_1/2013_auto_shanghai_1/txautosanghai2013_04_8HP_EN.pdf>.
- [40] Stuart Birch. The torque converter fights back. SAE International. [online]. 4.9.2008 [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: <http://articles.sae.org/4166/>
- [41] ZF Friedrichshafen. The Perfect Increase in Efficiency. . [online]. [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: http://www.zf.com/media/media/img_1/corporate/products/innovation/8hp/www_11_023884zfge_8HP_Produkt_EN.pdf
- [42] ZF Friedrichshafen. Start of Volume Production: New Generation of the ZF 8-Speed Automatic Transmission in the BMW 5 Series . . [online]. 20.8.2014 [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: http://www.zf.com/corporate/en_de/press/press_releases/press_release.jsp?newsId=3885
- [43] http://www.zf.com/media/media/img_1/corporate/press/presse/2011/2011-08-31_8HP_Basisgetriebe_zf.jpg

Aisin AW F8F35

- [44] Aoki, T., Kato, H., Kato, N., and Masaru, M., "The World's First Transverse 8-Speed Automatic Transmission," SAE Technical Paper 2013-01-1274, 2013, doi:10.4271/2013-01-1274.
- [45] <http://www.aisin-aw.co.jp/en/products/drivetrain/at/at02.html>

ZF 9HP

- [46] Gaertner, L. and Ebenhoch, M., "The ZF Automatic Transmission 9HP48 Transmission System, Design and Mechanical Parts," SAE Int. J. Passeng. Cars - Mech. Syst. 6(2):908-917, 2013, doi:10.4271/2013-01-1276.
- [47] ZF Friedrichshafen. World's First 9-Speed Automatic Transmission. . [online]. [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: http://www.zf.com/corporate/en_de/products/innovations/9hp_automatic_transmission/9hp_automatic_transmission.html
- [48] ZF Friedrichshafen. ZF Technology for Cars. . [online]. [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: http://www.zf.com/corporate/en_de/products/product_range/cars/cars_9_speed_automatic_transmission.shtml#tabs1-0

- [49]ZF Launches Volume Production of the 9-Speed Automatic Passenger Car Transmission. . [online]. 15.1.2014 [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: http://www.zf.com/media/media/en/document/corporate_2/press_3/downloads_2/2014_1/tx2014-01-15_NAIAS_ZF_9HP_us.pdf

Mercedes-Benz 9G-Tronic

- [50]Dr.-Ing. CHRISTOPH, Dörr; Dipl.-Ing. Henrik Kalczynski; Dr.-Ing. Anton Rink; Dipl.-Ing. Marcus Sommer. Nine-Speed Automatic Transmission 9G-Tronic by Mercedes-Benz. ATZ Online. [online]. XX.1.2014 [cit. 2015-06-12]. Dostupné z: <http://www.atzonline.com/Article/17711/Nine-Speed-Automatic-Transmission-9G-Tronic-by-Mercedes-Benz.html>

Ford-GM 10° převodovka

- [51]GM and Ford to Jointly Develop Advanced Automatic Transmissions. GM News USA. [online]. 15.4.2013 [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://media.gm.com/media/us/en/gm/news.detail.html/content/Pages/news/us/en/2013/Apr/0415-transmission.html>
- [52]Timur Apakidze. The . Exclusive: An Inside Look At Ford's New 10 Speed Transmission. [online]. 15.4.2013 [cit. 2014-12-01]. Dostupné z: <http://www.thetruthaboutcars.com/2014/12/exclusive-inside-look-fords-new-10-speed-transmission/>
- [53]Entire Ford F150 Lineup Getting the 10-Speed Transmission. Torque News. [online]. 13.4.2015 [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://www.torquenews.com/106/entire-ford-f150-lineup-getting-10-speed-transmission>
- [54]Timur Apakidze. Saturation Dive: Ford 10 Speed Transmission Power Flow. The Truth About Cars. [online]. 23.12.2014 [cit. 2015-06-22]. Dostupné z: <http://www.thetruthaboutcars.com/2014/12/saturation-dive-ford-10-speed-transmission-power-flow/>

Výpočtová část

- [55]VLK, František. *Převody motorových vozidel*. : Nakladatelství VLK, 2006. ISBN 80-239-6463-1.
- [56]ZDENĚK Jan, Bronislav Žďánský, Jiří Čupera. *Automobily 2 – Převody*. : AVID, 2011. ISBN 978-80-87143-21-6.
- [57]2015 Audi A6 Allroad Quattro 3.0 TDI Clean Diesel (272) S-Tronic (model since January 2015 for Europe) specifications & performance data review. Automobile Catalog. [online]. [2015] [cit. 2015-06-18]. Dostupné z: http://www.automobile-catalog.com/car/2015/2095715/audi_a6_allroad_quattro_3_0_tdi_clean_diesel_272_s-tronic.html

6. PŘÍLOHY

Příloha 1: Souhrnná tabulka převodovek obsažených v rešeršní části práce

Kapitola v BP	Typ	Počet stupňů	Max. vstupní moment	Rozsah převodů	Zástavba	Počet a druh soukolí	Počet a druh řadicích členů	Počet otevřených členů při zařazeném rychlostním stupni
2.1.	ZF 3HP12	3	166	2,56	podélně	1 planetové soukolí typu Ravigneaux	3 brzdy 2 spojky 2 volnoběžné spojky	2 - 4
2.2.	ZF 3HP22	3	320	2,48	podélně	2 planetové soukolí typu 2k + r	3 brzdy 2 spojky 2 volnoběžné spojky	2 - 3
2.3.	Mercedes-Benz W4A 040	4	400	3,87	podélně	1 plan. souk. typu Ravigneaux 1 planetové soukolí typu 2k + r	3 brzdy 2 spojky 1 volnoběžná spojka	3
2.3.	Mercedes-Benz W4A 020	4	200	3,68	podélně	1 planetové souk. typu Ravigneaux 1 planetové soukolí typu 2k + r	3 brzdy 2 spojky 1 volnoběžná spojka	3
2.4.	ZF 4HP14	4	180	3,26	napříč	1 planetové soukolí typu 3k	3 brzdy 3 spojky 2 volnoběžné spojky	3 - 5
2.5.	ZF 4HP20	4	330	3,78	napříč	2 planetová soukolí typu 2k + r	3 brzdy 2 spojky	3
2.6.	ZF 4HP22	4	350	3,41	podélně	3 planetová soukolí typu 2k + r	4 brzdy 3 spojky 3 volnoběžné spojky	3 - 5
2.6.	ZF 4HP24	4	450	3,41	podélně	3 planetová soukolí typu 2k + r	4 brzdy 3 spojky 3 volnoběžné spojky	3 - 5
2.7.	ZF 5HP18	5	310	4,95	podélně	1 planetové soukolí typu 2k + r 1 planetové soukolí typu 3k	4 brzdy 4 spojky 2 volnoběžné spojky	4 - 6
2.8.	ZF 5HP19	5	300	4,96	podélně	1 planetové soukolí typu 2k + r 1 planetové soukolí typu 3k	3 brzdy 3 spojky 1 volnoběžná spojka	4
2.9.	ZF 5HP24	5	420	4,46	podélně	3 planetová soukolí typu 2k + r	3 brzdy 3 spojky 1 volnoběžná spojka	4
2.9.	ZF 5HP30	5	560	4,49	podélně	3 planetová soukolí typu 2k + r	3 brzdy 3 spojky 1 volnoběžná spojka	4
2.10.	Mercedes-Benz W5A 330	5	330	4,74	podélně	3 planetová soukolí typu 2k + r	3 brzdy 3 spojky 2 volnoběžné spojky	3
2.10.	Mercedes-Benz W5A 580	5	580	4,33	podélně	3 planetová soukolí typu 2k + r	3 brzdy 3 spojky 2 volnoběžné spojky	3
2.10.	Mercedes-Benz W5A 900	5	900	4,33	podélně	3 planetová soukolí typu 2k + r	3 brzdy 3 spojky 2 volnoběžné spojky	3
2.11.	ZF 6HP	6	350-750	6,04	podélně	1 planetové soukolí typu 2k + r 1 planetové soukolí typu Ravigneaux (sestaveno dle patentu Lepelletier)	2 brzdy 3 spojky	3
2.12.	Aisin AW TF-60 SN	6	250	6,02	napříč	1 planetové soukolí typu 2k + r 1 planetové soukolí typu Ravigneaux	2 brzdy 3 spojky 1 volnoběžná spojka	3
2.12.	Aisin AW TF-80 SC	6	450	6,05	napříč	1 planetové soukolí typu 2k + r 1 planetové soukolí typu Ravigneaux	2 brzdy 3 spojky 1 volnoběžná spojka	3
2.13.	Mercedes-Benz W7A 700	7	700	6,02	podélně	2 planetová soukolí typu 2k + r 1 planetové souk. typu 3k se dvěma korunovými koly a jednou planetou	4 brzdy 3 spojky	4
2.14.	Aisin AW TL-80 SN (Toyota AA80E)	8	550	6,71	podélně	1 planetové soukolí typu 2k + r 1 planetové soukolí typu Ravigneaux	2 brzdy 4 spojky 1 volnoběžná spojka	4
2.15.	ZF 8HP	8	500-1000	7,05	podélně	4 planetová soukolí typu 2k + r	2 brzdy 3 spojky	2
2.16.	Aisin AW F8F35	8	350	7,58	napříč	1 planetové soukolí typu 2k + r 1 planetové souk. typu 3k se dvěma korunovými koly a jednou planetou	2 brzdy 4 spojky 1 volnoběžná spojka	4
2.17.	ZF 9HP	9	480	9,82	napříč	4 planetová soukolí typu 2k + r	2 brzdy 4 spojky	3
2.18.	Mercedes-Benz 9G-Tronic	9	1000	9,15	podélně	4 planetová soukolí typu 2k + r	3 brzdy 3 spojky	3
2.19.	Ford-GM 10° převodovka	10	?	7,38	podélně	4 planetová soukolí typu 2k + r	2 brzdy 4 spojky	2