

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA
KATEDRA DOPRAVNÍCH PROSTŘEDKŮ

NÁVRH OVLÁDÁNÍ ŘAZENÍ
„BY WIRE“ NA EXPERIMENTÁLNÍM
VOZIDLE

AUTOR PRÁCE: Tomáš Sedláček

2007

Abstrakt

Tato práce pojednává o návrhu řešení ovládání řazení „by wire“, které bude aplikováno na experimentální vozidlo zkonstruované na Dopravní fakultě Jana Pernera v Pardubicích. Práce je rozdělena na dvě části. Teoretickou a praktickou.

První část práce odpovídá na otázku, proč použít ovládání řazení „by wire“ na experimentálním vozidle a informuje o teoretickém návrhu tohoto způsobu ovládání.

Druhá praktická část se zabývá získáváním potřebných parametrů pro vlastní volbu ovládacích prvků. V neposlední řadě je tato část zaměřena na problémem konstruování uchycení servomotorů, ovládacích táhel, potřebných konstrukčních úprav dosavadního řadicího mechanismu. Další bod předkládá informace potřebné pro naprogramování elektronické řídicí jednotky. V poslední části jsou popsány servisní postupy pro seřízení řadicího paketu.

1. ÚVOD

Tento projekt se zabývá aplikací řadicího paketu „by wire“ na experimentální vozidlo, které je zkonstruované pracovníky, studenty a pedagogy z Katedry dopravních prostředků Dopravní fakulty Jana Pernera. Experimentální vozidlo svými rozměry představuje běžný osobní automobil sestavený na bázi komponentů z automobilu Škoda Fabia. Konstrukce vozidla však umožňuje provádět s vozidlem řadu různých měření a zkoušek. Jedná se především o jízdní zkoušky stability.

Základní uspořádání hnacího agregátu vozidla vychází z myšlenky umístit motor s převodovkou z vozu Škoda Fabia 1.4 tak, aby podélná osa motoru s převodovkou byla rovnoběžná s podélnou osou vozidla. Motor je připevněn nad zadní nápravou, kde převodovka zasahuje do středu automobilu. Touto koncepcí dochází k příznivějšímu zatížení obou náprav. Jednotlivé unášeče hnacích hřídelů kol představují v tomto netradičním řešení unášeče hnacích hřídelů přední a zadní nápravy. Tímto způsobem získá vozidlo pohon všech náprav, tedy „4x4“.

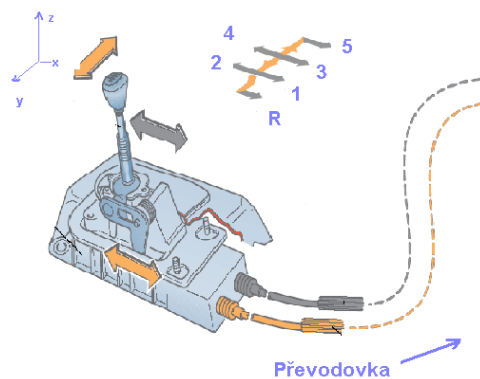
Pokud převodovka je umístěna na podélné ose vozidla, nastává tedy problém s jejím ovládním. Použití původní koncepci, tj. ovládním pomocí ocelových lan, je v tomto případě dosti problematické, ne-li nereálné. Proto se muselo přistoupit k řešení, které odstraní tento problém. K řešení použít ovládním řazení „by wire“ na experimentální vozidlo.

2. PROČ TEDY OVLÁDNÍM ŘAZENÍ PO DRÁTĚ APLIKOVANÉ NA EXPERIMENTÁLNÍM VOZIDLE?

Možnost přirozenějšího ovládním

Jako z prvotních důvodů se jeví především přirozenější ovládním řadicího voliče. Vzhledem k dané konstrukci vozidla, kde poháněcí agregát (motor s převodovkou) je umístěn na podélné ose vozidla, vzniká po použití stávajícího lankového ovládním problém řazení sice v klasickém „háčkovém“ schématu, ale otočené o 180°. To znamená, že místo například II. rychlostního stupně by byl zařazen stupeň I. . Problém je dán stávajícím krátkým vedením lanek, kde samotný ovládací blok by musel být otočen o 180° kolem osy z, jak ukazuje *obrázek 1*.

Návrh, že by bylo zvoleno delší vedení, taktéž nemá reálné opodstatnění. Už jenom z hlediska namáhání bovdenového vedení. Tento způsob by musel brát v úvahu klasické uložení ovládacího bloku, tím vzniká problém výroby lanek, vedení lanek a hlavně nevyhovující zkroucení lan a tím i poruchový chod lan v bovdenovém vedení.



Obr. 1: Otočený ovládací blok o 180° kolem osy z

2.2 Teoretický návrh řešení

Tato stať vychází z předpokladu základních znalostí konstrukcí převodovek montovaných do současných osobních automobilů. Řadící paket bude připevněn na převodovku MQ 200-02T, která je pěti-rychlostní, klasické koncepce, kde přenos pohybu od řadící páky byl uskutečněn pomocí lan v bovdenovém vedení.

Hlavní myšlenka tohoto projektu tedy spočívá v nahrazení ovládacích lan servomotory, které budou vykonávat příslušné pohyby řazení. Tedy pohyb volby a pohyb při řazení. Tyto servomotory budou uchyceny přímo na bloku převodovky, kde pomocí ovládacích táhel provedou dané úkony. To znamená, že ovládací táhla využijí původní uchycení lan na převodní páce předvolby a ramenu páky řazení. Táhla budou opatřeny ocelovými kulovými klouby, které zajišťují nepružnost celé vazby servomotor – řadící palec. Původní řešení uchycení lan je totiž provedeno pomocí silonových pouzder, které po určitém čase vykazují vůli v uložení.

Snímání polohy řadícího palce budou zajišťovat snímače (potenciometry) uchycené přímo na servomotorech. Jelikož je zde téměř nepružná vazba mezi pohybující se pákou servomotoru a řadícího palce, je tato varianta možná.

Řídící jednotka řazení bude sledovat pokyny ovládací páčky uchycené pod volantem pro řazení „nahoru“ a „dolu“. Po vyhodnocení signálu ze snímačů, kde se právě nachází řadící palec, budou aktivovány příslušné servomotory v zadaném algoritmu. Pokud zvolí řidič řazení „nahoru“ ,dojde k aktivaci nejprve servomotoru volby a poté servomotoru řazení. V opačném případě je zde použit opačný algoritmus. Pro výskyt poruchy, tzn.zablokování řazení, budou do systému zařazeny i proudové snímače, které po překročení stanovené proudové hodnoty informují řídicí jednotku, která dá pokyn servomotorům vrátit se do např. neutrální polohy. Řídící jednotka bude obsahovat software s přesnými údaji, do jaké polohy

mají servomotory pohnout řadicím palcem. Jde o jakousi teoretickou „mapu“ řazení jednotlivých rychlostních stupňů.

Nastává tedy otázka ohledně používání spojky. Spojka v tomto případě bude stávajícího provedení. Tento systém bude ale opatřen snímačem spojky, který bez sešlápnutí spojkového pedálu nedá prioritní povel řídící jednotce k povelu řazení. Toto opatření bude provedeno proto, aby nedošlo k nechtěnému přepnutí na páčce řazení bez sešlápnutí spojkového pedálu a zároveň k zařazení rychlostního stupně.

2.1 Praktický návrh řešení

Praktický cíl tohoto projektu spočívá ve správnosti volby akčního členu a jeho snímače polohy, zkonstruování potřebného příslušenství řadicího paketu, sestavení teoretické „mapy řazení“ a stanovení servisních pokynů. Poslední a možná nejdůležitější cíl připadá na samotné zrealizování celého řadicího paketu.

2.1.1 Akční členy-servomotory

Před samotným výběrem akčních členů je důležité stanovit potřebné parametry, které dané servomotory budou splňovat. Prvotním parametrem je potřebný moment, který je závislý na síle působící na páku a délce této páky podle jednoduchého vztahu

$$M = F \cdot l, \quad (1)$$

kde tato síla F musí působit na páčce řazení na vnějším ovládacím ústrojí. Obdobný případ je i na páčce volby, takže potřebujeme znát obě hodnoty momentu. Po zachycení kulových čepů na pákách volby a řazení očkem siloměru byly naměřeny hodnoty, které se pak dosadili do vzorce 1. Po výpočtu se došlo k závěru, že hledané servomotory by měly dosahovat min. hodnoty výstupního momentu **4Nm**.

Druhý potřebný parametr pro správný výběr servomotoru je čas, za který servomotor musí provést zařazení příslušného rychlostního stupně, tj. rychlost pohybu ovládací páky. V tomto případě se měření provádělo u tří osob s odlišnými řidičskými dovednostmi, kde měřicím přístrojem byly sportovní stopky. Po zprůměrování naměřených hodnot, hodnota času přeřazení činila **cca 1s**.

Použití elektromotorů firmy PAL jako servomotory

Tyto elektromotory byly původně montovány do stíracích soustav na automobilech Škoda. Motory jsou dvoupólové s permanentními magnety, dvourychlostní, ložiska jsou samomazná, převodovka motoru je planetová.

Základní idea návrhu použití elektromotorů jako servomotory se předkládá ve využití velkého výstupního točivého momentu, který bude přes jednoduchý pákový mechanismus a ovládací táhla ovládat vnější řadičí ústrojí. Jeden motor bude ovládat páku volby, druhý páku řazení. Tyto elektromotory nebudou pro svoji středně velkou konstrukcí zasahovat do uspořádání komponentů na experimentálním vozidle, což je taktéž výhoda.

Snímání polohy páky servomotoru budou zajišťovat potenciometry připevněné na výstupním hřídeli servomotoru. Připevnění je provedeno tak, že v hřídelce potenciometru je vyfrézovaná drážka, která zapadá do výstupku hřídele unášeče satelitů. Tímto způsobem je zajištěn přenos točivého momentu na potenciometr a možnost kdykoliv snímač demontovat od víka převodovky servomotoru. Potenciometr je připevněn k seřizovací desce, která v sobě obsahuje oválné díry pro možnost seřizování vůči poloze ovládací páky, resp. vůči unášeči satelitů. Tato deska je pak připevněna šrouby k víku převodovky servomotoru.

2.1.1.1 Kontrolní výpočet výstupního momentu

Stejnoseměrný elektromotor PAL typ 443 122 081 071			
		I. rychlost	II. rychlost
Jmenovitý proud	$I [A]$	2,5	4
Jmenovité napětí	$U [V]$	12	12
Výstupní otáčky	$n [min^{-1}]$	48	68
Otáčky rotoru	$n [min^{-1}]$	3610	5112
Záběrový moment	$M [Nm]$	15	
Účinnost	η	cca 75%	
Poloměr roztečné kružnice korunového kola	$r_k [mm]$	26	
Poloměr r.k. centrálního kola	$r_c [mm]$	8,5	
Počet náběhů šneku	z_2	2	
Počet zubů šnekového kola	z_1	37	

Tab. 1: Parametry elektromotoru PAL

zdroj: Cedrech, M. : Škoda 105,120,130, Rapid, Nakladatelství dopravy a spojů, Praha 1985

Při výpočtech budou brány v úvahu hodnoty II. rychlosti. Výpočet momentu bude předcházet stanovení příkonu elektromotoru z jednoduchého vztahu

$$P = U \cdot I \quad (2)$$

Pod dosazení hodnot z tabulky 1 dostaneme příkon elektromotoru

$$P = 12 \cdot 4 = 48W$$

Pokud víme, že účinnost tohoto motoru je zhruba 75%, získáme tak hodnotu výkonu

$$P_v = 0,75 \cdot U \cdot I = 36W ,$$

kterou dosadíme do vztahu pro výpočet momentu.

$$M = \frac{P_v}{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{výstup}}} \quad (3)$$

$$M = 0,067 Nm$$

Tato hodnota představuje točivý moment elektromotoru na výstupu kotvy.

Pro další výpočet je důležité stanovit moment na centrálním kole, kde toto kolo tvoří pevný celek se šnekovým kolem. Dále budeme předpokládat, že $\eta=1$, potom je výkon na vstupu P_{vst} roven výkonu na výstupu $P_{\text{výst}}$, tzn:

$$P_{\text{vst}} = P_{\text{výst}} \quad M_{\text{vst}} \cdot \omega_{\text{vst}} = M_{\text{výst}} \cdot \omega_{\text{vst}}$$

A tím pro převodový poměr dostáváme:

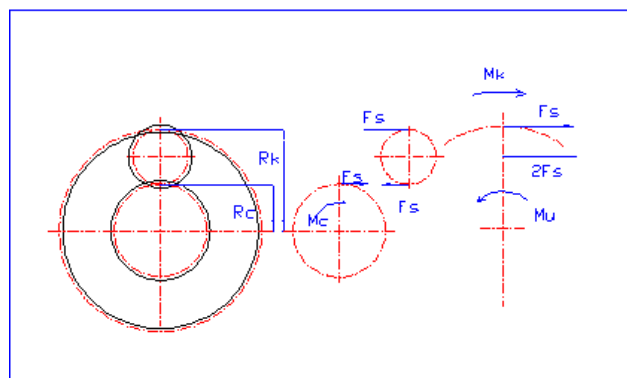
$$\frac{M_c}{M_{\text{kotvy}}} = \frac{n_{\text{kotvy}}}{n_c} = i_{12} \quad (4),$$

$$\text{kde } i_{12} = \frac{z_1}{z_2} \quad (5).$$

Po vyjádření M_c ze vztahu (4) a dosazení hodnot z tabulky do vztahů (4 a 5) získáme hledaný moment na centrálním kole.

$$M_c = 18,5 \cdot 0,067 = 1,24 Nm$$

Hodnota momentu na centrálním kole představuje v tomto případě hodnotu vstupu do planetové převodovky. Jelikož je cílem výpočtu stanovit moment výstupu z planetové převodovky (moment unášeče satelitů), je nutné odvodit moment unášeče z následujících vztahů. Pro názornost je zde uveden obrázek silových poměrů na planetové řadě (obr. 4).



Obr. 4 : Síly a momenty v jednoduchém planetovém soukolí

Uurčíme momentové a otáčkové poměry pro jednoduché planetové soukolí. Podle obr. 4 plyne z rovnováhy na satelitu (S):

$$F_s = \frac{M_c}{r_c} = \frac{M_k}{r_k} \Rightarrow M_k = M_c \frac{r_k}{r_c} \quad (6)$$

Součet momentů na všech třech ven jdoucích hřídelů od centrálního kola, unášeče a korunového kola musí být roven nule (předpoklad $\eta=1$):

$$M_c + M_k - M_u = 0 \quad (7)$$

Dosadíme-li za M_k rovnici (6) dostaneme:

$$M_u = M_c + M_k = \left(1 + \frac{r_k}{r_c}\right) \cdot M_c \quad (8)$$

Po dosazení hodnot z tabulky do vztahu (8), získáme hledaný výstupní moment, tedy moment unášeče satelitů, z převodovky elektromotoru.

$$M_u = \left(1 + \frac{0,026}{0,0085}\right) \cdot 1,24 = \mathbf{5,03 Nm}$$

Provedeme porovnání této hodnoty **5,03 Nm** s hodnotou požadovanou, tj. **4 Nm**. V tomto požadavku elektromotor PAL **vyhovuje!**

2.1.2 Požadavky na řídicí jednotku

Řídicí jednotka musí splňovat následující požadavky:

- sledování spojitého signálů ze snímačů polohy ovládací páky (potenciometry)
- sledování signálu ze snímače spojky
- sledování jednotlivých impulzů od ovládací páčky řazení pod volantem
- včasné zastavení ovládací páky servomotoru v žádané poloze bez doběhu servomotoru pomocí zkratování budícího vinutí
- zajištění obousměrného pohybu ovládací páky
- možnost přeprogramování tzv. „teoretické mapy řazení“ uložené v její paměti
- sledování poruchy zablokování řazení pomocí snímání proudové hodnoty v zadané toleranci
- aktivování „nouzového stavu“ při poruše, např. zařazení neutrální polohy
- rychlost vyhodnocení informací a aktivování servomotorů cca v milisekundách
- aktivní výstup pro ovládání servomechanismu spojky
- zobrazení informace o zařazeném rychlostním stupni na displeji
- zobrazení informace o stavu řazení „nahoru“ a „dolů“ (šipky)

Samotným sestrojením řídicí jednotky se tato práce nadále nebude zabývat. Jedná se o úkol určený výhradně pro specialisty, kteří se pohybují v oboru elektroinženýrství.

2.1.3 Data „mapy“ řazení

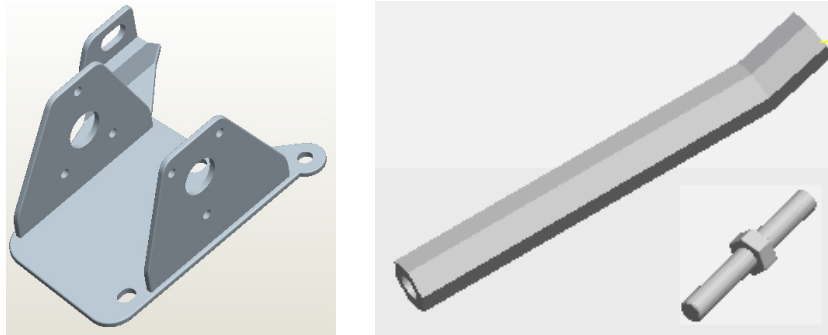
Pro správnou funkci řadičího paketu je nutné do řídicí jednotky nahrát software, který v sobě zahrnuje data polohy řadičího palce. Vlastní měření bylo provedeno na již zhotoveném prototypu, kde po připojení standardního ohmmetru na konektory prvního nebo druhého servomotoru (konektory potenciometrů) byly naměřeny tyto hodnoty:

Rychlostní stupeň	Volba [kΩ]	Řazení [kΩ]
R	0,83	0,23
N	0,55	0,44
I.	0,68	0,27
II.	0,68	0,56
III.	0,55	0,27
IV.	0,55	0,56
V.	0,37	0,28

Tab. 2: „Mapa“ řazení

2.1.4 Konstrukční návrh základní desky a uchycení servomotorů, ovládacích táhel, víka převodovky servomotoru

Před vlastní konstrukcí v programu Pro E, došlo k vytvarování těchto komponentů pomocí šablon z tvrdého papíru nebo dřevěné překližky. Po vytvoření šablon se přistoupilo k vlastnímu konstruování v programu Pro E. Rozměry těchto dílů byly sejmuty přímo z šablon a zadány přímo do programu (*viz obr. 5*). Po vytvoření virtuálního modelu příslušenství se přistoupilo ke kroku vyrobení makety. Dřevěná maketa držáku se zhotovila z důvodu rychlé dočasné montáže servomotorů pro zjištění teoretické „mapy“ řazení. Po ověření správného tvaru a funkčnosti makety držáku se přistoupilo ke kroku samotné výroby držáku, ovládacích táhel, spojovacích šroubů, víka převodovky servomotorů a seřizovací destičky snímačů. Pro samotný materiál držáku a víka převodovky byl zvolen válcovaný plech 11 371 o tloušťce 4,5 mm. Ovládací táhla a spojovací šrouby byly vyrobeny z šestihranné tyče 11 370 pro klíč 13 mm. Seřizovací destička byla vyrobena z plechu o tloušťce 2 mm.

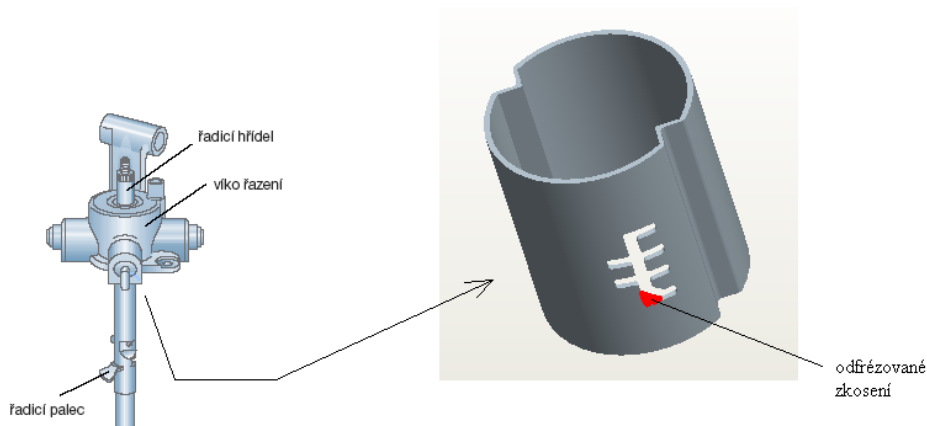


Obr. 5: Návrh držáku a ovládací tyče se spojovacím šroubem v programu Pro E

2.1.5 Úprava řadicího mechanismu vnitřního řazení

V ústrojí vnitřního řazení se nachází kulisa řazení, která je tvořena ocelovým plechem stočeným do válce. Po obvodu tohoto válce se nacházejí jak dva zářezy, do kterých zapadají aretační kuličky tlačené pružinami, tak i vyfrézovaná kulisa řazení ve tvaru písmene „H“. Toto řadicí schéma není symetrické, ale je ve tvaru jak popisuje *obrázek 6*. Rozdíl od původní klasické koncepce je proveden za účelem komfortního řazení z V. na IV. převodový rychlostní stupeň.

Tento fakt ale nepřispívá k bezproblémovému řízení obou servomotorů, jelikož by při řazení z IV. na V. rychlostní stupeň musely být aktivní oba servomotory najednou. To je z hlediska regulace a řízení servomotorů velmi obtížné a proto je nutné přistoupit k velmi jednoduchému zásahu do ústrojí vnitřního řazení. Došlo tedy k vyfrézování zkosení v kulise řazení ve schématu „H“ na klasický pravoúhlý zářez (viz *obr. 6*).

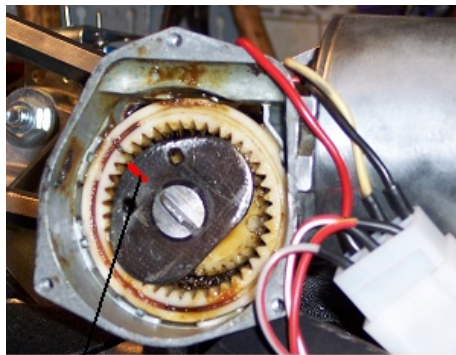


Obr. 6: Úprava vnitřního řadicího ústrojí

2.1.6 Servisní pokyny-seřízení

Pro správné seřízení používáme kvalitní ohmmetr (nebo multimetr) s rozsahem odporu v k Ω . Před vlastním seřizováním se předpokládá sestavení řadicího paketu a následná montáž na převodovku MQ 200-02T.

- 1) Před seřízením provedeme vizuální kontrolu nastavení výstupního hřídele (unašeče satelitů) vůči poloze vetknutého korunového kola. Ryska na kovové páce unašeče by měla být naproti vyleptané rysce na korunovém kole. Před touto kontrolou musíme provést demontáž víka převodovky servomotoru (viz obr. 7).
- 2) **Pozor! Při opětovné montáži víka nesmíme zapomenout na nanesení těsnícího tmelu!**
- 3) Seřízení ovládací páky servomotoru řazení provedeme tak, aby ryska na páce byla postavena přesně naproti rysce vyfrézované na bloku servomotoru. Tomuto postavení by měla odpovídat neutrální poloha ovládací páky řazení na vnějším řadicím ústrojí.
- 4) Obdobným způsobem provedeme seřízení ovládací páky volby řazení
- 5) Pokud ovládací táhla nebudou délkově odpovídat nastavením pák servomotoru a pák vnějšího řadicího ústrojí, provedeme jejich seřízení pomocí spojovacích šroubů a kontramatek.
- 6) Před seřízením polohy potenciometrů zkontrolujeme jejich polohu vůči seřizovací destičce opět pomocí rysek.
- 7) Po nastavení všech ovládacích prvků (body 1-6) do *referenční polohy – neutrální*, zapojíme multimetr do svorkovnice na konektory potenciometrů.
- 8) Hodnotu naměřeného odporu referenční polohy porovnáme s hodnotami uvedené v *tab. 2* .
- 9) Pokud hodnota neodpovídá hodnotě v *tab. 2*, provedeme seřízení potenciometru pomocí seřizovací destičky a to tak, že destičkou otáčíme ve směru přibližujícím se požadované hodnotě.
- 10) Po nastavení referenční hodnoty dotáhneme šrouby seřizovací destičky.



Vybroušená ryska
na unašeči satelitů

Obr. 7: Kontrolní poloha výstupního hřídele a korunového kola

4. ZÁVĚR

Tento projekt se zabýval řešením, jak navrhnout a především realizovat plně funkční řadící paket, který se týkal ovládání řazení tzv. „by wire“ aplikované na experimentálním vozidle. Jelikož rozsah této práce byl limitován, došlo k výtahu těch nejdůležitějších bodů popisující konkrétní problém z diplomové práce, která se zabývá tímto tématem podrobněji.

V první části tohoto projektu byla zodpovězena otázka, proč právě používat ovládání řazení tohoto typu na experimentálním vozidle. Další bod práce nastiňoval základní návrhové řešení této problematiky.

V druhé části se přistoupilo už ke konkrétnímu řešení tykajícího se hlavně výběru servomotorů. Tento výběr byl ověřen kontrolním výpočtem výstupního točivého momentu motoru. Dále byly stanoveny požadavky na řídicí jednotku, která bude tzv. „mozkem“ celého systému. Konstrukční řešení potřebného příslušenství řadícího paketu obsahovala následující kapitola, kde nutné konstrukční úpravy vnitřního řadícího ústrojí byly popsány v dalším bodě práce. V poslední řadě byl uveden servisní postup seřízení, který jednoznačně přispívá k bezproblémovému chodu celého mechanismu po demontáži a montáži z převodovky MQ 200-02T.

V současné době v konstruování automobilů je hlavním omezujícím parametrem ekonomický aspekt, a proto cíl této práce nespočíval v navržnutí řešení, které mnohonásobně překročí limit vyčleněných prostředků a tím se stane nevyrobitelným. Za úspěšný cíl, který bezpochyby tento projekt splnil, se považuje výsledek, který je plně vyrobitelný, funkční, splňuje dané požadavky a především je zhotoven s minimálními náklady!



Obr. 8: Řadící paket „by wire“ po montáži na převodovku MQ 200-02T