



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

**Ústav automobilů, spalovacích motorů a
kolejových vozidel**

Měření pohybu řadicí hřídele převodovky

**Measurement of the movement of the gearbox
shifting shaft**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

Marek Bous

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Vedoucí práce: Ing. Pakosta Jiří Ph. D.

Zadání

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Měření pohybu řadicí hřídele převodovky“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Pakosty Jiřího Ph. D., s použitím literatury uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 7. 6. 2017

Marek Bous

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat všem, kdo mě podpořili během studia i vypracování této práce. Speciální poděkování patří Panu Ing. Jiřímu Pakostovi Ph. D. za výborné vedení mé práce. Dále patří poděkování mé rodině za veškerou podporu nejen během studia.

Anotační list

Jméno autora:	Marek BOUS
Název BP:	Měření pohybu řadicí hřídele převodovky
Anglický název:	Measurement of the movement of the gearbox shifting shaft.
Rok:	2017
Studijní program:	B2342 Teoretický základ strojního inženýrství
Obor studia:	2301R000 Studijní program je bezoborový
Ústav:	Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel
Vedoucí BP:	Ing. Pakosta Jiří Ph. D.
Bibliografické údaje:	počet stran 39
	počet obrázků 39
	počet tabulek 1
	počet příloh 7
Klíčová slova: mechanismus	měření pohybu, měření polohy, převodovka, řadicí hřídel, řadicí
Keywords:	motion measurement, position measurement, gearbox, shifting shaft, shifting mechanism

Anotace:

Tato bakalářská práce je zaměřena na měření pohybu řadicí hřídele převodovky, který zprostředkovává pohyb přesuvných objímek v převodovkách řazených s přerušením toku výkonu. Součástí je návrh typu snímače, jeho umístění a konstrukce dílů potřebných k jeho připojení.

Abstract:

This bachelor thesis is focused on the measurement of the movement of the shifting shaft of the gearbox, which mediates the movement of the transfer sleeves in gearboxes with the interruption of the power flow. A part of the thesis is the proposal of sensor type, the proposal of its location and design of the parts needed to join it.

OBSAH

ÚVOD.....	1
1 ZKUŠEBNÍ STAV ŘAZENÍ	2
2 PŘEVODOVKA MQ 200.....	4
2.1 ŘADICÍ MECHANISMUS PŘEVODOVKY MQ200.....	5
2.1.1 <i>Vnitřní řadicí mechanismus</i>	<i>5</i>
2.1.2 <i>Vnější řadicí mechanismus</i>	<i>6</i>
3 SOUČASNÝ STAV.....	8
4 SNÍMAČE POLOHY	9
4.1 PRINCIPY SNÍMAČŮ	9
4.1.1 <i>Odporové snímače.....</i>	<i>9</i>
4.1.2 <i>Indukčnostní snímače</i>	<i>11</i>
4.1.3 <i>Kapacitní snímače</i>	<i>15</i>
4.1.4 <i>Optické snímače</i>	<i>17</i>
4.1.5 <i>Magnetické snímače</i>	<i>19</i>
4.2 KONSTRUKCE SNÍMAČŮ	20
5 VÝBĚR SNÍMAČE A JEHO UMÍSTĚNÍ	26
5.1 VARIANTA 1	26
5.2 VARIANTA 2	27
5.3 VARIANTA 3	28
5.4 VÝBĚR NEJVHODNĚJŠÍ VARIANTY A JEJÍ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	29
6 ZÁVĚR	34
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	35
SEZNAM OBRÁZKŮ	37
SEZNAM PŘÍLOH.....	39

Úvod

Tato bakalářská práce je zaměřena na nalezení možností měření pohybu řadicí hřídele převodovky zkušební na zkušebním stavu řazení, který je určen pro zkoušení převodovek řazených s přerušením toku výkonu. Dokázat měřit pohyb řadicí hřídele během zkoušení převodovky je důležité zejména z hlediska vývoje těchto převodovek.

Většina současných produkčních převodovek řazených s přerušením toku výkonu používá systém, kde vždy jedno kolo z každého převodového stupně je volně otočné na hřídeli a jeho spojení s ní probíhá pomocí synchronizační spojky.[1] Proto se ve své práci dále budu zabývat pouze převodovkami řazenými s přerušením toku výkonu, které používají zmíněný systém. Pohyb samotného řadicí hřídele však není tím, co by bylo pro vývoj převodovek zásadní. Nejdůležitějším parametrem, který je potřeba monitorovat, je posuvný pohyb přesuvných objímek. Ty jsou součástí synchronizačních spojek, spojujících kola jednotlivých převodových stupňů s hřídelí. Právě časový průběh tohoto pohybu během procesu řazení rychlostního stupně ukáže, zda je synchronizační spojka zkonstruována vhodně nebo ne, případně při životnostních zkouškách, jak dlouho dokáže vykonávat spolehlivě svou funkci. Bohužel měření pohybu přímo na přesuvné objímce by bylo velice konstrukčně náročné a byl by nejspíš nutný i výrazný zásah do převodové skříně. To je ale při zkoušení reálných převodovek nežádoucí, a proto je potřeba najít alternativní řešení.

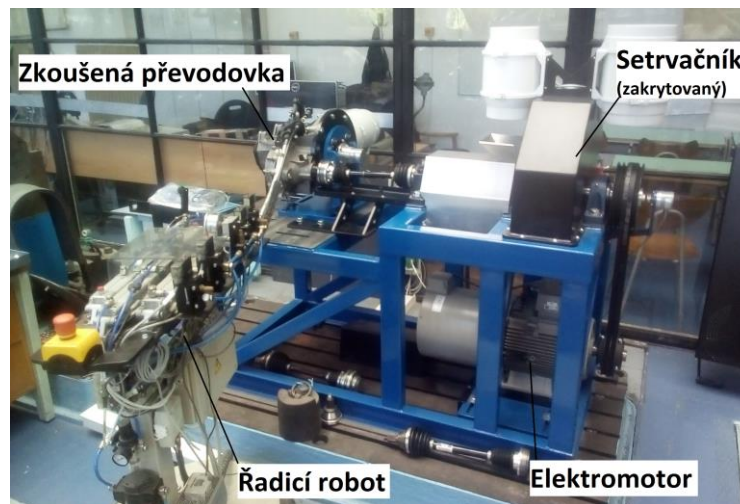
Posuvný pohyb přesuvné objímky je však zprostředkován řadicím mechanismem, a proto je možné provést toto měření, byť s určitou nepřesností, na některém z členů řadicího mechanismu. Ten však může být konstrukčně řešen nejrůznějšími způsoby, proto je potřeba umístění snímače polohy dobře zvážit.

Úkolem této práce je zanalyzovat současný stav a najít vhodný snímač a jeho umístění, aby byl lepší alternativou k současnému stavu, zejména v oblasti nežádoucího ovlivnění měření členy řadicího mechanismu.

Zprvu tedy popíšu zkušební stav řazení, pak převodovku MQ 200 a její řadicí mechanismus. Poté zmapuji možnosti dostupných snímačů polohy a natočení a z nich pak vyberu vhodné varianty pro tuto konkrétní aplikaci.

1 Zkušební stav řazení

Zkušební stav řazení umístěný v laboratořích na Julisce je určen ke zkoušení převodovek osobních automobilů řazených s přerušením toku výkonu převodovkou. Hlavním zaměřením zkoušek je měření ztrát protáčením, životnost synchronizačních spojek a funkčnost nových řadicích mechanismů.



Obrázek 1 (Zkušební stav řazení) [zdroj: autor]

Převodovka je na stavu uchycena za přírubu spojkové skříně. Na vstupní hřídeli převodovky je umístěna pouze spojková lamela (při řazení je spojka rozpojena tudíž zbytek spojkového mechanismu a díly motoru nejsou s převodovkou spojeny) a snímač otáček. Vzhledem k tomu, že při řazení je převodovka v podstatě poháněna setrvačností automobilu, je převodovka na zkušebním stavu poháněna přes diferenciál, který musí být vyřazen z činnosti, aby bylo možno pohánět převodovku pouze jednou hřídelí. Pohon stavu zajišťuje elektromotor, ten přes řemenový převod pohání hřídel se setrvačnickem. Setrvačnick zde reprezentuje setrvačnost rozjetého automobilu. Jeho hřídel je pomocí propojovací hřídele spojena s převodovkou.

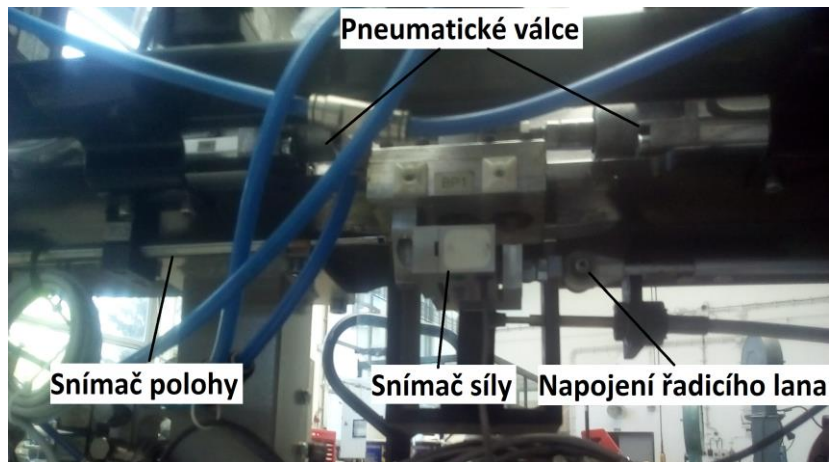


Obrázek 2 (Převodovka na zkušebnímu stavu)
[zdroj: autor]



Obrázek 3 (Řadicí robot)
[zdroj: autor]

Součástí zkušebního stavu řazení je také pneumatický řadicí robot, který pomocí pneumatických válců simuluje pohyb řadicí páky a ovládá tak zkoušenou převodovku. Robot má též několik snímačů monitorujících průběh řazení z pohledu řadicí páky. Pro řadicí pohyb je umístěn snímač pohybu i síly (viz obrázek 4), pro pohyb volby (výběr přesuvné objímky) je pouze snímač polohy.



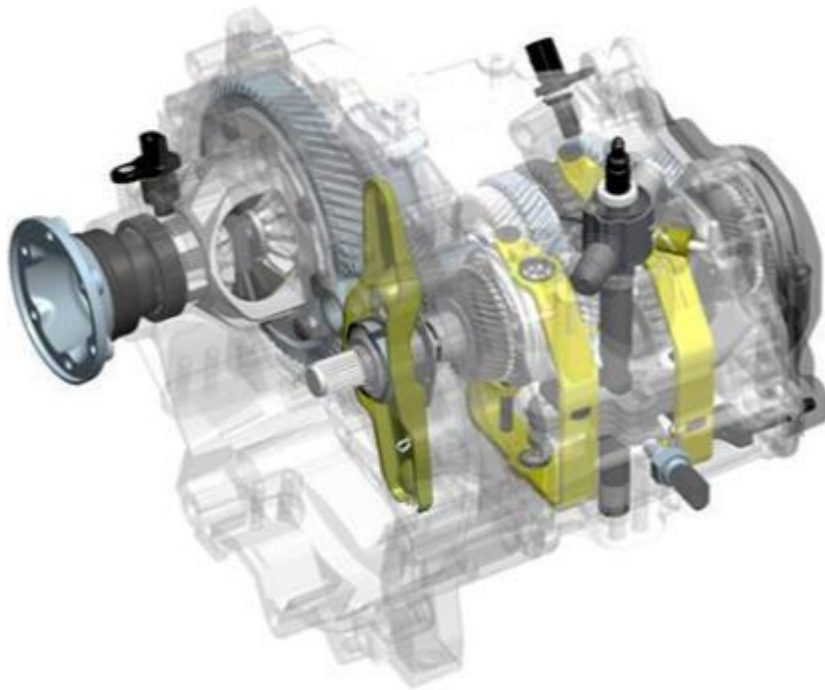
Obrázek 4 (Detail řadicího robotu – pohyb řazení) [zdroj: autor]

2 Převodovka MQ 200

Převodovky typu MQ 200 jsou jedněmi z nejpoužívanějších převodovek v automobilech koncernu Volkswagen, jsou určené pro motory s maximálním krouticím momentem do 200Nm. Jedná se o dvouhřídelové, ručně řazené převodovky se synchronizací a vyrábějí se jak v 5 stupňové tak v 6 stupňové variantě. Pro zkušební stav je k dispozici právě 5 stupňová varianta této převodovky, která byla montována například ve vozech Škoda Fabia (první, druhé a třetí generace), Škoda Octavia (druhé a třetí generace), Škoda Roomster, Škoda Rapid, Volkswagen Golf, Volkswagen Polo, Volkswagen Fox, Seat Ibiza, Seat Cordoba, Seat Toledo. [2] [3]

Řazení jednotlivých stupňů je u tohoto typu převodovky realizováno pomocí synchronizačních spojek s přesuvnými objímkami. Ty spojují dva funkční principy. Prvním je třecí kuželová spojka, tvořená synchronizačním kroužkem a kuželovou plochou na otočném kole převodového stupně. Ta má za úkol vyrovnat (synchronizovat) otáčky otočného kola a hřídele, na které je nasazeno. Druhým je zubová spojka s radiálním ozubením, kde vnější ozubení je vytvořeno na otočném kole a vnitřní ozubení v přesuvné objímce. Při ideálním chování celé spojky se při procesu řazení začne posouvat přesuvná objímka a tlačít na synchronizační kroužek. Ten vlivem tření na kuželové ploše vyrovná otáčky otočného kola a hřídele přesně v okamžiku, kdy se dostane přesuvná objímka k ozubení zubové spojky na otočném kole, do kterého zapadne a zajistí tak přenos krouticího momentu mezi otočným kolem a hřídelí.[2] Právě posuvný pohyb přesuvné objímky zubové spojky je parametr, který je důležitý pro konstrukci jak samotných zubových spojek, tak i synchronizačních systémů. Měření posuvného pohybu přímo na přesuvné objímce by bylo velmi složité, vzhledem k tomu, že kromě posuvného pohybu koná přesuvná objímka i pohyb rotační spolu s hřídelí převodovky, a zřejmě by se neobešlo bez přidavného mechanismu, který by jeho obecný pohyb zredukoval pouze na posuvný. Zároveň by to vyžadovalo výrazný zásah do konstrukce skříně převodovky, což by znemožnilo testování převodovek v takové podobě, v jaké pracují přímo v automobilech.

Naštěstí každá manuálně řazená převodovka obsahuje již zmíněný mechanismus, který redukuje obecný pohyb přesuvné objímky na posuvný. Je jím řadicí mechanismus, který přesuvnými objímkami pohybuje v závislosti na řidičově vůli reprezentované pohybem řadicí páky. Proto v následujících podkapitolách rozeberu konstrukční řešení a možnosti využití pro vlastní měření řadicího mechanismu převodovky MQ200.



Obrázek 5 (Pohled do převodovky typu MQ 200) [4]

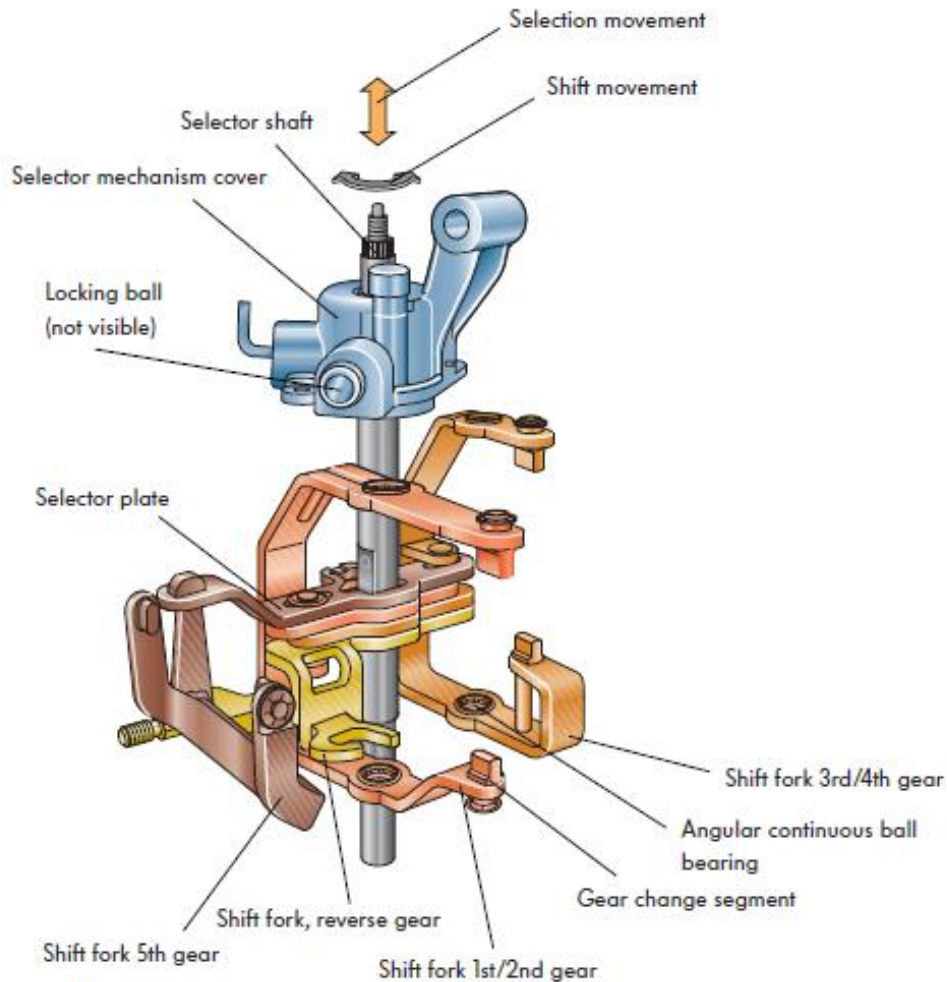
2.1 Řadicí mechanismus převodovky MQ200

Nejdříve definuji, co je to vlastně řadicí mechanismus. Řadicí mechanismus je mechanismus, který převádí pohyb řadicí páky na posuvný pohyb jednotlivých přesuvných objímek. Dále se dá rozdělit na vnější a vnitřní řadicí mechanismus. [2] [3]

2.1.1 Vnitřní řadicí mechanismus

Vnitřní řadicí mechanismus je ukrytý uvnitř převodovky. Jediná část, kterou je možno vidět i pokud není převodovka rozebrána, je zakončení řadicí hřídele s drážkováním, kde je připojen vnější řadicí mechanismus. Řadicí hřídel dále pokračuje do převodovky, kde je zakončena řadicím palcem. Při řazení jednotlivých převodových stupňů (pohyb řadicí pákou vpřed a vzad) se řadicí hřídel pohybuje rotačně a při volbě (pohybu řadicí pákou do stran) se pohybuje axiálně. Jednotlivé pozice řadicí hřídele jsou určeny pomocí dvou aretačních kuliček, které jsou přitlačovány pružinami k řadicí hřídeli tak, aby zapadaly do příslušných otvorů v ní. Řadicí palec je krátká páka pevně připojená na řadicí hřídeli. Ten pak zabírá za příslušnou řadicí vidlici, kterou si můžeme představit jako páku pro zajištění převodu pohybu palce na pohyb přesuvné objímky. Řadicí vidlice jsou rotačně uloženy ve skříni převodovky. Na konci každé řadicí vidlice je dvojice řadicích kamenů a ty zabírají za drážku v přesuvné objímce. Celý vnitřní řadicí

mechanismus je vyobrazen na obrázku 6. Všechny členy vnitřního řadicího mechanismu jsou vyrobeny z oceli a díky jejich průřezům je jejich tuhost dostatečná na to, aby při činnosti mechanismu nedocházelo k zásadním elastickým deformacím některého z členů. [2] [3]

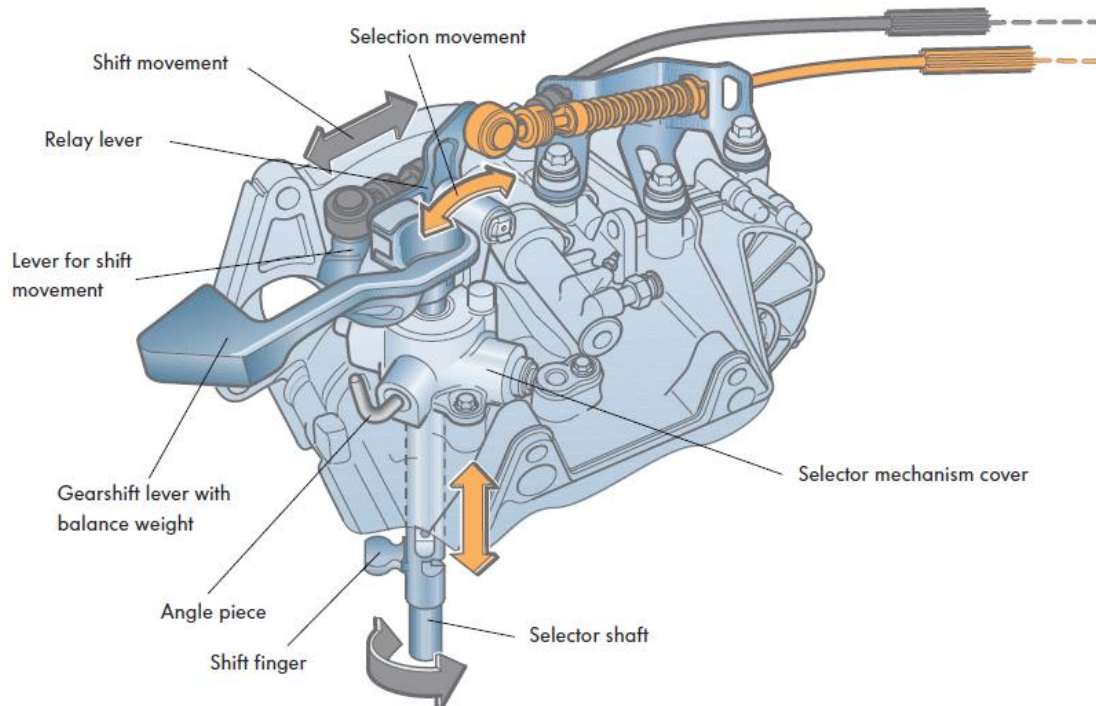


Obrázek 6 (Vnitřní řadicí mechanismus) [2]

2.1.2 Vnější řadicí mechanismus

Vnější řadicí mechanismus je část řadicího mechanismu mezi řadicí pákou a samotnou převodovkou. U převodovek typu MQ 200 je řadicí páka spojena s převodovkou pomocí dvou bowdenových kabelů. Jedno z lan má za úkol volbu mezi jednotlivými přesuvnými objímkami (1-2, 3-4, 5) a druhé zajišťuje posuv jednotlivých těchto objímek. Obě lana jsou pak spojena s přepákováním umístěným vně převodovky, které převádí

jejich pohyb na pohyb řadicí hřídele pomocí pryžových lůžek v plastových objímkách. Přepákování se skládá ze dvou převodních pák, z nichž jedna je spojena pomocí drážkování a šroubového spoje s řadicí hřídelí a primárně zajišťuje samotné řazení (posuv přesuvných objímek), a druhá je s první spojena přes kluzný člen a jejím úkolem je posuv řadicí hřídele v axiálním směru (volba řadicí vidlice). Vnější řadicí mechanismus umístěný na převodovce (bez řadicí páky) je vidět na obrázku 7. [2] [3]



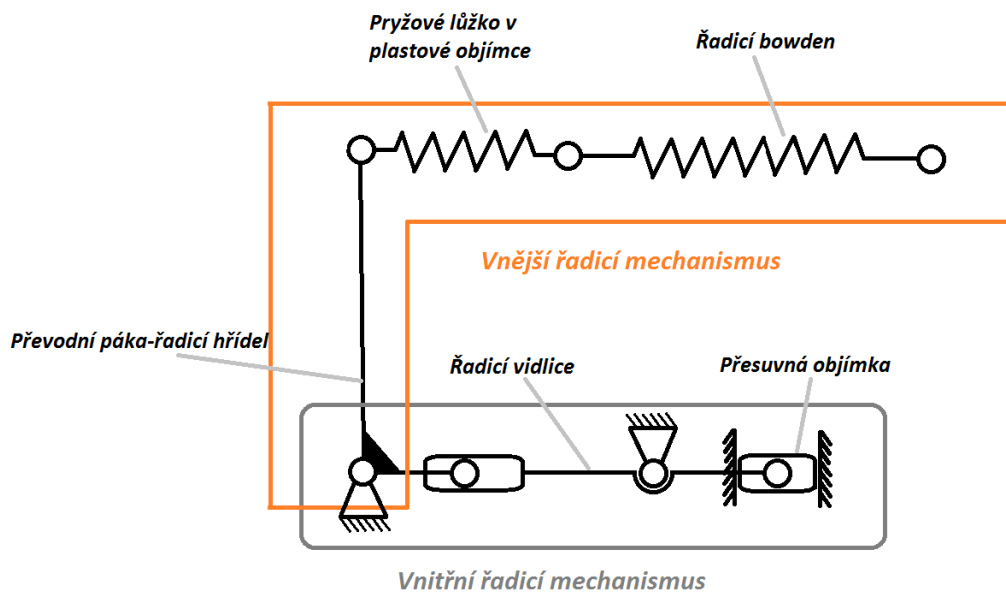
Obrázek 7 (Vnější řadicí mechanismus) [2]

3 Současný stav

Vzhledem k účelu měření se musím zabývat pouze pohybem, který řadí jednotlivé přesuvné objímky do záběru. Pohyb mechanismu, kterým se volí mezi jednotlivými řadicími vidlicemi, je z tohoto hlediska nezajímavý, a proto jej pro samotné měření dále nebudu brát v potaz.

Jak jsem již zmínil v kapitole 1, v současném stavu se měření odehrává na konci bowdenu, který je připojen k řadicímu robotu. Tím pádem je v podstatě měřen pohyb odpovídající pohybu řadicí páky. Bowden i jeho propojení s převodní pákou i s řadicím robotem (pryžové lůžko v plastové objímce) mají určitou tuhost, která je v porovnání s tuhostmi ostatních členů řadicího mechanismu výrazně nižší, a to ovlivňuje naměřená data ze současného snímače.

Celý řadicí mechanismus je zjednodušeně schematicky zobrazen na obrázku 8, kde jsou právě členy s nižší tuhostí zobrazeny jako pružiny. Ostatní členy řadicího mechanismu se dají považovat pro tento případ za absolutně tuhé, protože jejich tuhost nemůže nijak výrazně ovlivnit měření.



Obrázek 8 (Zjednodušené schéma řadicího mechanismu) [zdroj: autor]

4 Snímače polohy

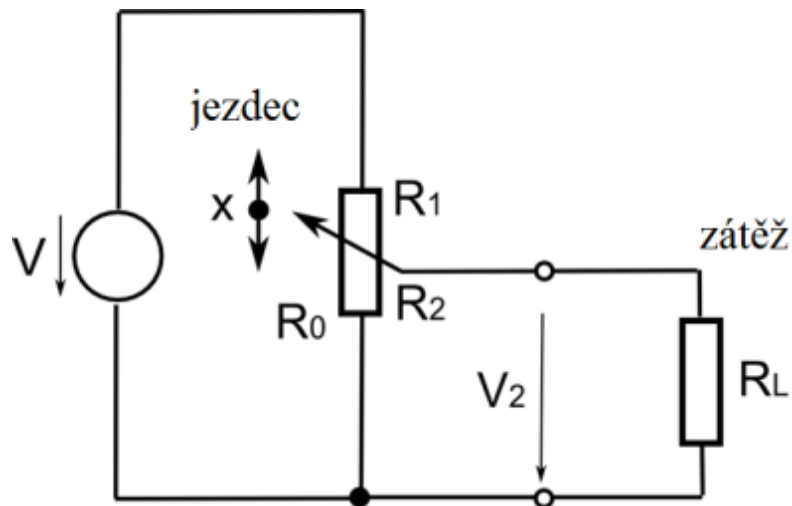
Na trhu je nabízeno nepřehledné množství různých snímačů, které jsou dostupné v různých velikostech a provedeních. V dalším rozdělení se zaměřím pouze na snímače, které umožňují spojitě měření polohy, tudíž vynechám tzv. proximity snímače.[5]

4.1 Principy snímačů

V této kapitole se pokusím přiblížit fyzikální principy snímačů polohy pro spojitě měření, které jsou běžně na trhu dostupné.

4.1.1 Odporové snímače

Odporové, nebo také potenciometrické, snímače pracují na principu změny odporu, kterou způsobíme posunem jezdců po odporové dráze. Způsob zapojení je znázorněn na obrázku 9. Odporová dráha může být vyrobena z různých materiálů.



Obrázek 9 (Schéma zapojení odporového snímače) [6]

Nejstarší, nejjednodušší a nejrobustnější jsou dráhy z odporového drátu (drátové), mají však menší rozlišení (omezeno průměrem drátu) a vlivem ohřevu v důsledku zatěžování napájecím proudem se mění i odpor materiálu, tím dochází k další nepřesnosti v měření.[7]

Dalším druhem jsou metalizované dráhy. Mají vyšší rozlišení než drátové, ale je omezeno homogenitou materiálu a šumem. Nevýhodou metalizovaných drah je jejich

opotřebování otěrem o jezdce, velké tření mezi dráhou a jezdce a citlivost na ohřev. Díky všem těmto nevýhodám se metalizované dráhy v praxi téměř nepoužívají. [5]

Pro výrobu odporových drah se také používá uhlík, který se nanáší v tenké vrstvičce na nevodivou destičku, a tím se vytvoří odporová dráha. Jeho výhodou je to, že poskytuje téměř nekonečné rozlišení. Nevýhoda je ovšem v jeho citlivosti na otěr, proto je vhodný pro aplikace, kde nedochází k častému pohybu jezdce. [5]

V dnešní době asi nejpoužívanější variantou je odporová dráha z vodivého plastu. Jedná se v podstatě o klasický polymer, který je ovšem plněný vodivým plnidlem (kov, uhlík). Výhodou tohoto materiálu je snadné zpracovatelnost a tím pádem i nízká cena finálního výrobku. Navíc poskytuje stejně jako uhlíková dráha téměř nekonečné rozlišení (v praxi až 0,01mm) a díky nízkému tření také umožňuje rychlý pohyb jezdce, aniž by docházelo k výraznému opotřebovávání odporové dráhy. [7] [8]

Pro extrémně tepelně namáhané snímače se používají odporové dráhy z cermetů. Cermet je kompozitní materiál z keramiky a kovu. Vyniká teplotní odolností až do 2600°C, mechanickou pevností a houževnatostí. Cermetová odporová dráha je velmi podobná té uhlíkové nebo dráze z vodivého plastu, rozdíl je pouze v použitém materiálu.[5]

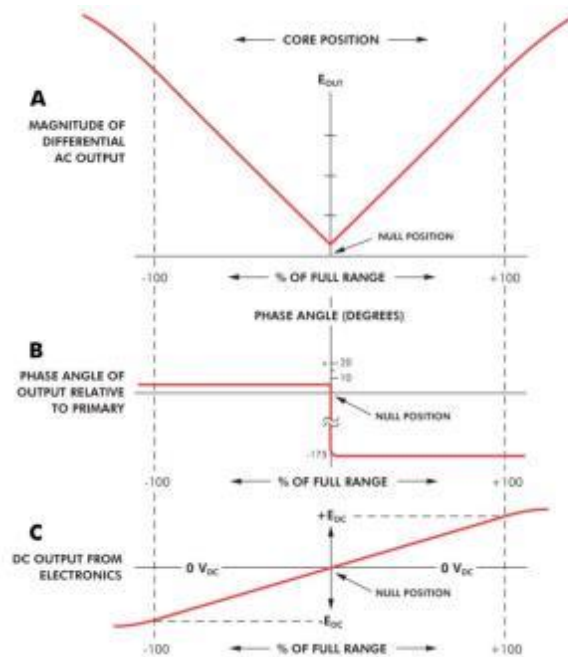
Největší výhodou tohoto druhu snímačů je jejich nízká cena díky nenáročné výrobě, to se nejvíce odvíjí od stupně krytí konkrétního snímače. Výhodou je také velmi široký výběr dostupných rozsahů od miniaturních (desítky mm) až po velké (například 1500mm) a nízká tolerance linearity, díky které je měření přesnější. Další výhodou může být i to, že se jedná o absolutní typ snímačů, takže i při výpadku napětí a opětovném naběhnutí ihned měříme absolutně, pro naši aplikaci však toto není důležité. Nevýhodou je, že při každé změně polohy se musí jezdec posunout po odporové dráze, což je doprovázeno třením a tím pádem i nežádoucím opotřebením. Nevýhodou je také citlivost odporových snímačů na vibrace. Ta je způsobena konstrukcí snímačů, kdy při silnějších vibracích může dojít k odskoku jezdce od odporové dráhy a tím k přerušení obvodu.[5] [7]

4.1.2 Indukčnostní snímače

Indukčnostní snímače fungují tak, že s posunem měřicího dotyku spojeného s měřeným předmětem, se mění buďto vlastní nebo vzájemná indukčnost měřících cívek. Protože snímače využívající tohoto principu lze provést v mnoha různých uspořádáních, uvedu pouze ty v praxi nejrozšířenější, které by eventuálně byly použitelné v naší aplikaci.

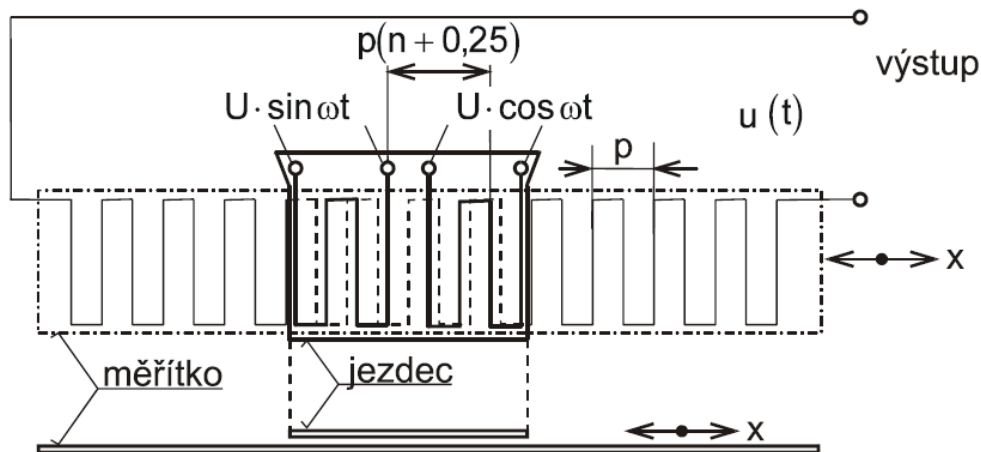
Diferenciální transformátor neboli **LVDT** snímač (Linear variable differential transformer) je uspořádání, které využívá právě změnu vzájemné indukčnosti mezi primární cívkou, napájenou střídavým sinusovým napětím, a dvěma sekundárními cívkami zapojenými v sérii. Ta je ovlivněna pozicí feromagnetického jádra, které je pevně spojeno s měřicím dotykem a pohybuje se s ním.[9] [10]

Skutečně měřenou veličinou je rozdíl indukovaných napětí v sekundárních cívkách. Sekundární cívky jsou umístěny symetricky od středu měřitelného rozsahu, tím pádem je jasné, že pokud se jádro nachází právě uprostřed rozsahu, tak se v obou cívkách indukuje stejné napětí, tudíž po jejich odečtení získáme napětí nulové. Rozdíl napětí naměřený při vychýlení jádra ze středu je stejný, ať ho vychýlíme na jednu nebo na druhou stranu, tak jak je to znázorněno na obrázku 10 nahoře, proto je nutné kromě velikosti rozdílu sledovat také to, jestli je toto naměřené napětí ve fázi s napájecím napětím nebo jestli je fázově posunuté (obrázek 10 uprostřed). Toto vyhodnocení však obvykle řeší elektronika integrovaná přímo ve snímači, takže výstup pro uživatele je ve tvaru, jaký je vidět na obrázku 10 dole. Je zde také vidět, že výstupní charakteristika je okolo středu lineární a rozsah je volen tak, abychom se nedostali z lineární části, což zjednodušuje následné vyhodnocování. Obrovskou výhodou těchto snímačů je schopnost měřit pohyby v řádu setin mikrometrů, ale zároveň dokážou pracovat na velmi velkém rozsahu, až $\pm 0,5\text{m}$. Další výhodou je, že odolávají i velmi náročnému prostředí jako je prach, vysoké teploty, radiace nebo vysoký tlak. Toto uspořádání je ovšem použitelné pouze pro lineární snímání polohy, jak již napovídá jeho název. [9] [10] [11]



Obrázek 10 (Graf dat získaných z LVDT) [10]

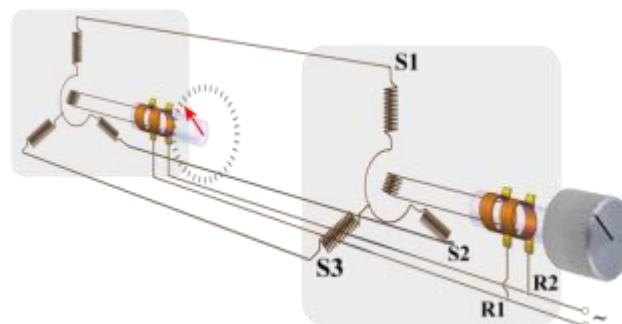
Induktosyn je transformátorový senzor, který se skládá ze tří cívek, jeho uspořádání je vidět na obrázku 11. Jedna cívka slouží jako měřítko a dvě cívky jsou připevněny na jezdcí. Všechny cívky bývají vyrobeny metodou tištěného spoje a mají stejný tvar vinutí. Cívky na jezdcí jsou vůči sobě posunuty o měřítko, nebo z měřítko do jezdcce (záleží na uspořádání napájení), maximální napětí se ze snímací cívky indukuje, pokud je přesně překryta s referenční cívkou, pak se na druhé snímací cívce neindukuje žádné napětí. Pokud jsou snímací cívky o čtvrtinu kroku posunuté, tak se v nich indukuje stejně veliké ale opačně orientované napětí, tudíž výsledkem je napětí nulové. V induktosynu probíhá vlastně dvojí měření. První, takzvaně hrubá stupnice, je počet přejetí pozic, kde bylo napětí na jezdcí i na měřítku ve fázi (posun o 2π). A pro jemné měření pozice uvnitř jednoho kroku se vyhodnocuje právě o kolik je posunuta fáze na jezdcí oproti fázi na měřítku. Výhodou tohoto typu snímače je poměrně velké rozlišení, které v závislosti na vyhodnocovací technice může jít až k hodnotám okolo 0,5 mikrometru. Nevýhodou je složitější zapojení, kdy je potřeba vést kabel jak k měřítku, tak i k jezdcí. Další nevýhodou je, že s narůstající délkou měřítko roste i jeho ohmický odpor a tudíž i ztrátový výkon v obvodu. Navíc měřítko i cívky na jezdcí jsou díky své konstrukci velmi citlivé na mechanické poškození, čímž se o hodně zvyšují nároky na krytování a s tím pochopitelně i cena. [11] [12]



Obrázek 11 (Uspořádání Induktosynu) [11]

Velmi podobnými inductosynu jsou takzvané resolver a selsyn, ovšem tyto se na rozdíl od inductosynu používají pro měření úhlu natočení a ne pro měření lineární polohy.

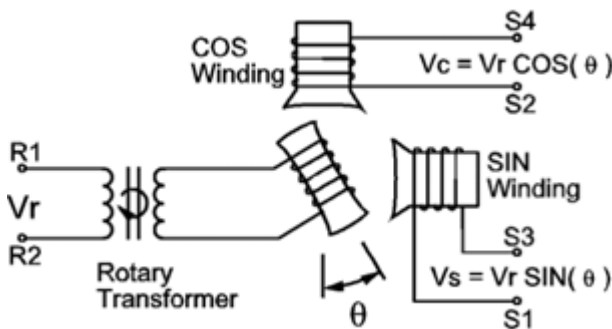
Selsyn má podobnou konstrukci jako elektrické točivé stroje. Základem je třífázový (tři cívky) stator a jednofázový (jedna cívka) rotor, který je napájen nebo je z něj napětí odváděno přes kartáčky. Selsyny se vždy objevují ve dvojici a to jako selsyn vysílač a selsyn přijímač. Způsob použití takovéto dvojice selsynů je v podstatě dvojitý. Selsyny se používají jako tzv. elektrické hřídele. Tam se pohyb z jednoho selsynu převádí na druhý selsyn pomocí napětí indukovaného ve statoru. U tohoto způsobu využití jsou rotory vzájemně paralelně propojeny, tudíž je na nich stejné napětí. Cívky statoru jsou také navzájem propojeny, takže je na nich také stejné napětí. Celé zapojení je vidět na obrázku 12. Pohyb druhého rotoru se pak může převést na pohyb např. ručičky měřicího přístroje. [11] [13]



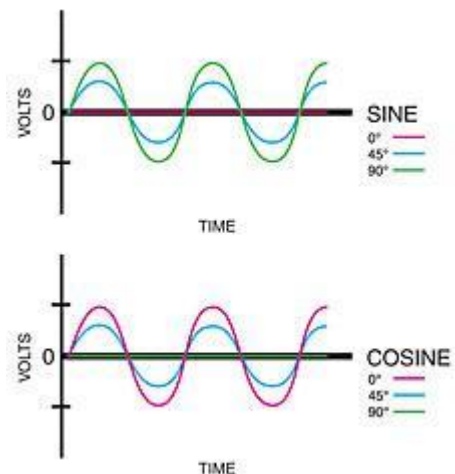
Obrázek 12 (Selsyny jako elektrická hřídel) [14]

Druhým způsobem využití selsynů je takzvaný polohový transformátor. U tohoto způsobu použití jsou propojeny pouze cívky statorů obou selsynů. Rotor selsynu vysílače je připojen na napájecí napětí a otáčí se s měřeným objektem. Rotor selsynu přijímače je naopak nepohyblivý a je k němu připojen voltmetr, který měří indukované napětí, jež je úměrné natočení rotoru vysílače oproti rotoru přijímače. [11] [13]

Resolver se skládá se z jedné cívky rotoru, která je napájena budícím sinusovým napětím, a ze dvou cívek statoru, ve kterých se indukuje napětí z rotorové cívky v závislosti na úhlu jejího natočení. Statorové cívky jsou vůči sobě pootočené o 90° (viz obrázek 13), můžeme tedy tvrdit, že pokud jedna z cívek bude natočena, tak se v ní bude maximální napětí indukovat právě při úhlu 0° . Poměr naměřeného a maximálního napětí je sinus měřeného úhlu a na pootočené cívce je tento poměr kosinus měřeného úhlu, jak je vidět na obrázku 14. Proto mluvíme o sinové a kosinové cívce. Vzhledem k tvarům funkcí sinus a kosinus je resolver v rámci jedné otáčky absolutním snímačem. [11] [15]



Obrázek 13 (Uspořádání resolveru) [15]



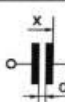
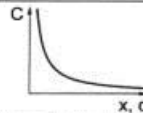
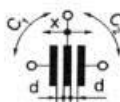
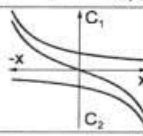
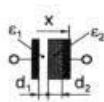
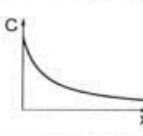
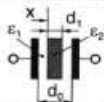
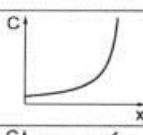
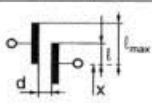
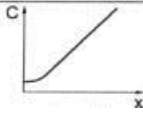
Obrázek 14 (Výstup z resolveru) [16]

Indukčnostní snímače mají výhodu v tom, že pracují naprosto bezkontaktně, tudíž v nich nedochází k tření kromě mechanického uložení jednotlivých součástí. Z toho plyne, že nepodléhají opotřebení, takže mají vysokou životnost, a přestavovací síly, potažmo odpory, jsou velmi malé. To umožňuje tímto typem snímačů měřit i pohyby s velkým zrychlením a také kmitavé pohyby s malými změnami měřené hodnoty. Navíc je možné je použít i ve velmi náročných prostředích (radiace, prach, nebezpečí výbuchu) a jejich konstrukce bývá velice robustní. Nevýhodou je složitější vyhodnocování výstupního signálu, kde je zapotřebí důmyslnější elektroniky. V dnešní době se však většina těchto snímačů vyrábí s integrovanou elektronikou, což uživateli značně usnadňuje jejich využití v konkrétní aplikaci. [9] [10] [12] [13] [15]

4.1.3 Kapacitní snímače

Kapacitní snímače fungují jako kondenzátory, kterým se se změnou polohy mění jejich kapacita. Způsobů, kterými lze změnit kapacita kondenzátoru je hned několik a podle toho se i liší druhy kapacitních snímačů.

Prvním druhem jsou snímače, ve kterých se kapacita mění změnou velikosti mezery mezi deskami. Buď to může být takzvaně **jednoduchý deskový s proměnnou mezerou**, který vypadá jako klasický kondenzátor, s tím rozdílem, že jedna deska je pohyblivá. Nebo může být **deskový diferenciální**. Ten už má konstrukci trochu složitější a to proto, že se skládá v podstatě ze dvou kondenzátorů, které však mají jednu z desek společnou. Tato deska je pohyblivá a jejím pohybem se mění kapacita obou kondenzátorů zároveň. Zde v neprospěch jednoduchého kondenzátorového snímače hovoří zejména jeho charakteristika, která má tvar hyperboly. V tomto ohledu je výhodnější diferenciální uspořádání, jeho charakteristika se kolem středu měřitelného rozsahu dá celkem přesně nahradit přímkou. [11] [17]

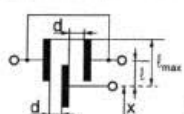
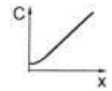
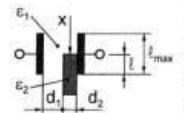
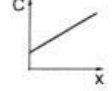
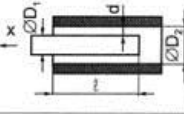
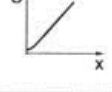
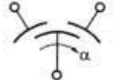
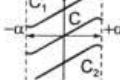
Typ snímače	schéma	funkční vztahy	charakteristika
deskový jednoduchý s proměnnou mezerou		$C = \varepsilon \frac{S}{d(x)}; \frac{\Delta C}{\Delta d} \approx -\frac{C}{d} \left(1 - \frac{\Delta d}{d}\right)$	
deskový diferenciální s proměnnou mezerou		$C_1 = \varepsilon \frac{S}{d(x)};$ $C_2 = \varepsilon \frac{S}{d(x)};$ $\frac{\Delta C}{\Delta d} \approx -\frac{C}{d} \left[1 + 2 \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2\right]$	
deskový s vrstvou dielektrika s proměnnou mezerou		$C = \frac{\varepsilon_1 S}{d_1(x) + \frac{d_2 \varepsilon_1}{\varepsilon_2}};$ $\frac{\Delta C}{C} = -\frac{\Delta d_1}{d_1 + d_2} \frac{1}{N} \frac{\Delta d_1}{d_1 + d_2}$ $N = \frac{\varepsilon_2 (d_1 + d_2)}{\varepsilon_2 d_1 + \varepsilon_1 d_2}$	
deskový s proměnnou tloušťkou dielektrika		$C = \frac{\varepsilon_1 S}{d_0 - d_1(x) \left(1 - \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\right)}$	
deskový s proměnnou plochou překrytí		$C = \varepsilon \frac{S(x)}{d}; \frac{\Delta C}{\Delta l} \approx -\frac{C_{max}}{l_{max}} \left(1 + \frac{\Delta d}{d}\right)$	

Obrázek 15 (Kapacitní snímače – principy) [17]

Dalším druhem jsou snímače, které v sobě obsahují i přidanou vrstvu dielektrika. Vrstva dielektrika může mít buď to konstantní tloušťku a pak hovoříme o snímačích **deskových s vrstvou dielektrika s proměnnou mezerou**. Zde tedy působí dielektrikum jako úprava charakteristiky na o něco přijatelnější tvar, než jaký je u jednoduchého deskového snímače. Pak existují snímače, které mají vrstvu dielektrika proměnnou a

změna tloušťky je spjata s měřenou změnou polohy. Ty se nazývají deskové s proměnnou tloušťkou dielektrika. Jejich charakteristika má tvar exponenciály. [11] [17]

Posledním druhem jsou snímače, které k měření využívají změnu kapacity změnou překrytí desek kondenzátoru. Nejjednodušší je snímač na bázi obyčejného deskového kondenzátoru s tím rozdílem, že jedna deska je pohyblivá ve směru rovnoběžném s rovinou desek a jejím posunem se mění plocha překrytí. Charakteristika takového snímače se až na malou část (než se začnou desky dostatečně překrývat) velice podobá přímce. Abychom zmenšili nelineární část charakteristiky, můžeme použít senzor s jednou deskou navíc. Tato deska je umístěna mezi dalšími dvěma deskami, které jsou vodivě propojené. Prostřední deska je pohyblivá a mění tak plochu překrytí desek a tím i kapacitu. Z pohledu lineárnosti charakteristiky je pak ještě lepší variantou snímač označovaný jako **deskový diferenční s proměnnou plochou překrytí dielektrika**. Jedná se v podstatě o kondenzátor, do kterého se zasouvá deska dielektrika, a tím se mění jeho kapacita. Jeho charakteristika je lineární v celém rozsahu pohybu. Zajímavý hlavně z konstrukčního hlediska je určitě i snímač **válcový s proměnnou plochou překrytí**. Ten má charakteristiku velmi podobnou jako první zmíněný snímač v tomto odstavci, až na rozdílnou směrnici přímkové části. Tento princip lze využít i pro snímání úhlového natočení, a to jako diferenční deskový snímač, jehož pohyblivá deska se otáčí kolem středu a dvě stacionární jsou umístěny vně dráhy té pohyblivé tak, aby se postupně překrývala s jednou a následně s druhou. I u tohoto snímače můžeme očekávat lineární charakteristiku. [11] [17]

Typ snímače	schema	funkční vztahy	charakteristika
deskový s proměnnou plochou překrytí		$C = \varepsilon \frac{S(x)}{d}; \quad \frac{\Delta C}{\Delta l} \approx -\frac{C_{\max}}{l_{\max}} \left[1 + \left(\frac{\Delta d}{d} \right)^2 \right]$	
deskový diferenční s proměnnou plochou překrytí dielektrika		$C = \frac{\varepsilon_1 S}{d_1 + d_2} \left[1 + \frac{l(x)}{l_{\max}} \cdot \frac{1 - \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}}{\frac{d_1}{d_2} + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}} \right]$	
válcový s proměnnou plochou překrytí		$C = \varepsilon \frac{2\pi \cdot l(x)}{\ln \frac{D_1}{D_2}}; \quad \frac{\Delta C}{\Delta l} \approx -\frac{C_{\max}}{l_{\max}} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta d}{d} \right)^2 \right]$	
diferenční s proměnnou plochou překrytí		$C = \varepsilon \frac{S(\alpha)}{d}$	

Obrázek 16 (Kapacitní snímače – principy) [17]

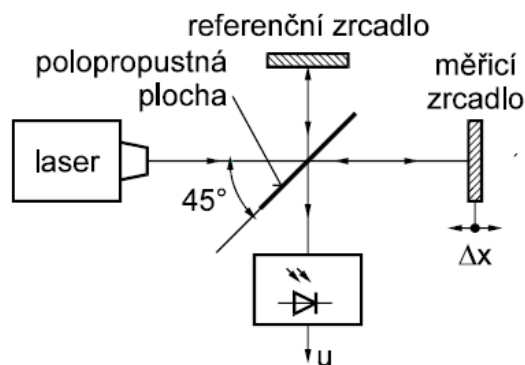
Všechny popsané typy kapacitních snímačů jsou schematicky naznačeny i se základními rovnicemi a charakteristikami na obrázku 15 a obrázku 16.

Výhodou kapacitních snímačů polohy je, že pracují bez mechanického tření a tudíž i opotřebení a silového účinku na měřený objekt. Většinou se kapacitní snímače používají tak, že jako jedna z elektrod nebo dielektrikum je použit právě měřený objekt, podobně jako u některých druhů indukčních snímačů, ale právě proti nim mají výhodu, že mohou snímat i nekovové materiály (plast, sklo, vodné roztoky, sypké materiály, papír,...). Velmi důležitou předností kapacitních snímačů je jejich přesnost a rychlost snímání, díky tomu se dají využít i pro měření kmitavých pohybů a vibrací. Podstatným omezujícím faktorem u kapacitních snímačů je velmi malý rozsah, který se pohybuje řádově v desetinách milimetru a méně. Nevýhodou je nutnost kompenzace parazitního vlivu připojovacího kabelu a vliv teploty. Vzhledem k tomu, že měřená veličina je závislá na rozměru snímače pak mohou změny rozměrů vlivem teploty výrazně znepresnit měření. [11] [17]

4.1.4 Optické snímače

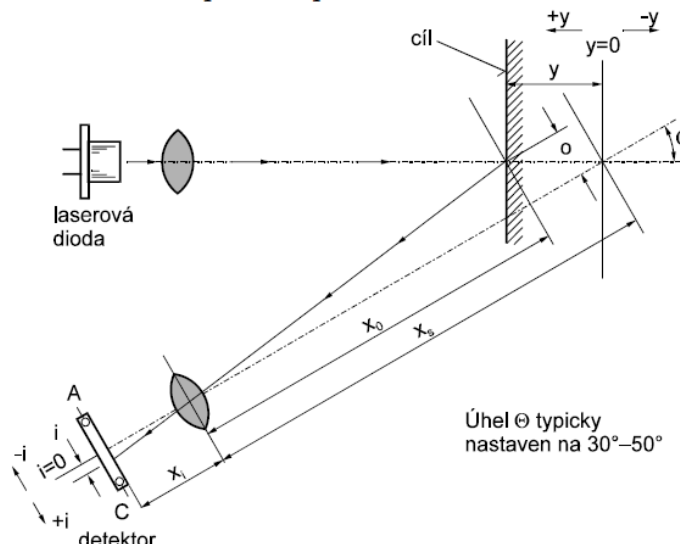
Optické snímače lze rozdělit na snímače spojitě a snímače nespojitě.

Spojitě snímače existují v podstatě dvojího druhu. První a podstatně složitější je interferometr (obrázek 17). Ten se skládá z několika zrcadel, díky kterým jde světlo vysílané z vstupního laseru dvěma cestami, z nichž jedna vede i přes měřený objekt (zrcadlo). Na konci obou těchto cest je vyhodnocovací zařízení, které snímá, zda světlo vyslané oběma dráhami (s různou délkou) interferuje nebo ne, případně počet průchodů s interferencí. Tato metoda se používá pro velmi přesná měření, je zde nutno použít zdroj se známou vlnovou délkou. Interferometr se dá také použít reverzně pro měření vlnové délky. [11]



Obrázek 17 (Schéma Interferometru) [11]

Dalším typem jsou snímače s triangulačním principem měření (obrázek 18). Tento princip využívá předpokladu, že pokud se světlo od měřeného objektu odráží pod konstantním úhlem, pak vzdálenost, ve které se paprsek vrátí zpět na čelo senzoru je přímo úměrná vzdálenosti objektu od senzoru. Nutností pro správnou funkci tohoto snímače je zajištění stále stejného úhlu odrazu paprsku. Výhodou je, že tato metoda není citlivá na intenzitu odraženého světla, pokud je větší než detekovatelné minimum. [11]



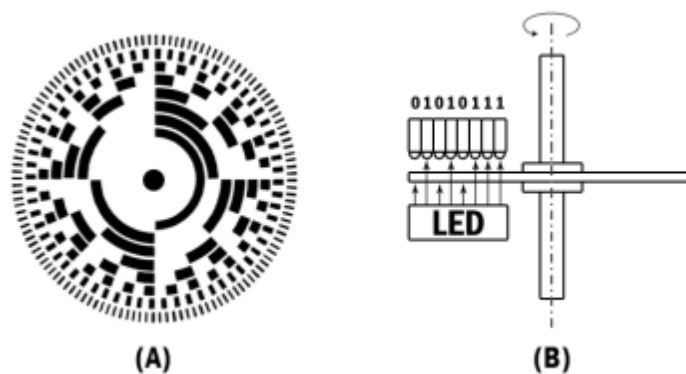
Obrázek 18 (Schéma triangulačního snímače) [11]

Nespojité snímače můžeme dělit hned na několik druhů. Základním druhem jsou optické závory. Ty ale patří mezi proximitní senzory, a tak se jim nebudu dále věnovat.

Inkrementální snímače jsou snímače, které měří změnu polohy oproti předchozímu stavu. Principiálně se jedná o světelný vysílač, přijímač a měřítko, které obsahuje průhledné a neprůhledné dílky. Měřítko se pohybuje vůči vysílači s přijímačem, ten snímá počet průchodů světla měřítkem, a tím i počet dílků proběhlých snímačem. Aby bylo možné určit znaménko přírůstku, používají se většinou dvě měřítka vedle sebe posunutá o čtvrt periody. Tento princip se používá jak pro měření úhlového pootočení, tak pro měření lineárního posunutí. Rozlišení těchto snímačů je dáno počtem dílků měřítka, které u snímačů natočení dosahuje až $0,02^{\circ}$ a u lineárních až $5 \mu\text{m}$. Nevýhodou těchto snímačů je citlivost na znečištění měřítka, zejména pokud se jedná o aplikaci s externím měřítkem. Dále také že při přerušení napájení nebo přerušení výstupního signálu nezachytí posun, který proběhne právě při tomto přerušení. Proto je potřeba u aplikací, kde je informace o

přesné souřadnici důležitá vykonat nejdříve pohyb na referenční souřadnici, aby bylo měření opět relevantní.

Poslední, a z optických snímačů také nejdražší, jsou absolutní snímače. Ty používají velmi podobný princip jako inkrementální snímače, jen pracují s několika měřítky, která mají čím dál větší rozlišení (viz obrázek 19). Díky tomu je možné měřit polohu absolutně, protože každá kombinace výstupů z jednotlivých měřítek odpovídá právě jedné poloze. Používá se jak binární (na obrázku 19) tak i Grayův kód. Nevýhodou tohoto druhu je jednoznačně vysoká cena, která je způsobena především několika násobným počtem vlastních snímačů zvláště pokud požadujeme vyšší rozlišení. [11] [18]



Obrázek 19 (Příklad binárního kódování – princip inkrementálního snímače) [18]

4.1.5 Magnetické snímače

Magnetické snímače se pro měření polohy používají nejčastěji jako inkrementální (přírůstkové), které jsou funkcí velmi podobné optickým inkrementálním snímačům popsaným v kapitole 4.1.4 a používají se v podobných aplikacích. Rozdílem je, že měřítko není vytvořeno z průhledných a neprůhledných dílků, ale z dílků permanentně magnetických a nemagnetických. Jako snímač se pak používá Hallova sonda. Výhodou těchto snímačů je jejich velká odolnost vůči okolnímu prostředí právě oproti optickým inkrementálním. Další výhodou je schopnost snímání pohybu o rychlostech až 25 m/s (měřítko vůči snímači). V současné době jsou již tyto snímače i cenově výhodnější než právě optické. [19]

4.2 Konstrukce snímačů

Na trhu se nachází nepřehledné množství konstrukčních provedení snímačů různých principů, které se někdy i dost podobají a dají se i zaměňovat. V následujících odstavcích se pokusím rozdělit tyto konstrukční provedení do určitých základních skupin, abych si usnadnil orientaci v celém tomto sortimentu.

Základní typologie musí oddělit snímače, které mají na pohybující se objekt mechanickou vazbu (kontaktní) a ty, které měří bez této mechanické vazby (bezkontaktní).

Jako **bezkontaktní** bych označil kapacitní snímače, které využívají jako jednu z elektrod měřený objekt, a pak optické jako interferometr a triangulační senzor. Tyto snímače mají pro průmyslové použití v podstatě dva tvary, a to buď kvádrový nebo válcový. Samotná velikost už závisí na vlastním snímači. Na obrázku 20 a na obrázku 21 jsou příklady bezkontaktních snímačů.



Obrázek 20 (optický triangulační) [20]



Obrázek 21 (kapacitní) [21]

Tyto snímače však umožňují pouze měření vzdálenosti neboli lineární polohy.

Kontaktní snímače bych rozdělil důkladněji, protože jejich provedení je výrazně rozmanitější.

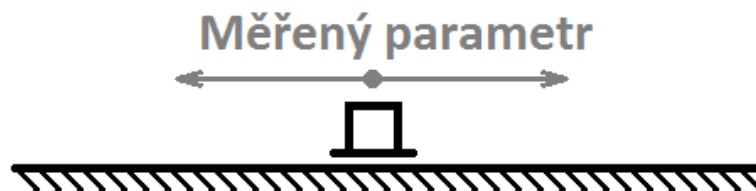
Nejjednodušší rozdělení je rozdělení podle kinematiky měřeného pohybu na snímače lineární a rotační, ale s jednou malou výjimkou, kterou tvoří snímače lankové.

Snímače lineární bych rozdělil na snímače s posuvným mechanismem a na senzory s oddělenou snímací hlavou a měřítkem.



Obrázek 22 (Inkrementální snímač s oddělenou snímací hlavou) [19]

Snímače s oddělenou snímací hlavou a měřítkem (obrázek 22) jsou zpravidla optické nebo magnetické inkrementální snímače. Snímací hlava mívá kvádrotvý tvar a připevňuje se pomocí šroubového spoje. Oddělená měřítka se připevňují různými způsoby. Jedním z nich je lepení přímo na podklad, obvykle pomocí samolepící pásky a pomocí jednoho kotevního bodu, aby nedošlo k nechtěnému posunutí měřítka oproti podkladu. Tento způsob připevnění umožňuje roztažení měřítka vlivem tepelné dilatace nezávisle na podkladu. Dalším způsobem je připevnění pomocí koncových úchytů. Tato metoda pak zajišťuje roztažení vlivem teploty stejné s podkladem. Kinematika této konstrukce je znázorněna na obrázku 23.



Obrázek 23 (Kinematické schéma lineárního snímače s oddělenou snímací hlavou) [zdroj: autor]

Snímače s posuvným mechanismem jsou takové, kde je posuvná (měřicí) část a nepohyblivá část (referenční) neoddělitelně spojeny. Mechanismus jim umožňuje pouze pohyb ve směru měřené výchylky. Jejich konstrukce se pak odvíjí zejména od měřitelného rozsahu. Hlavní odlišností, kterou lze v konstrukci tohoto druhu snímačů nalézt, je umístění měřicí části. Existují snímače, které mají pohyblivou část umístěnou na boku pevné části, tak jako na obrázku 24 (bráno podle směru posuvu měřeného pohybu), a snímače s pohyblivou částí před pevnou částí (obrázek 25).



Obrázek 24 (Lineární snímač) [22]



Obrázek 25 (Lineární snímač) [22]

Dále bych snímače rozdělil podle tvaru pevné částí na válcové a hranolovité.

Posledním typem je rozdělení podle způsobu uchycení pohyblivé části k měřenému objektu. Zde se nabízí opět rozdělení do dvou skupin, a to se šroubovým spojem a se silovým kontaktem (přítlačování pružinou).

Kinematicky se jednotlivé konstrukce tohoto typu snímačů liší především jejich uchycením. Konstrukce naznačená schématem na obrázku 26 má tělo pevně přichyceno a měřicí dotyk se z něj vysouvá. Ten je často k měřenému objektu připojen pouze obecnou vazbou, aby nedošlo k přeurčení jeho polohy (křížení). Tato konstrukce zajišťuje pevné definování směru měřeného parametru. Naopak konstrukce z obrázku 27 má jak tělo snímače, tak dotyk připevněn k měřené soustavě sférickými vazbami právě proto, aby nedocházelo k přeurčení mechanismu snímače a zároveň je pevně stanovena geometrie měření, protože měřený parametr je vždy vzdálenost těchto dvou vazeb.



Obrázek 26 (Kinematické schéma lineárního snímače) [zdroj: autor]

Měřený parametr



Obrázek 27 (Kinematické schéma lineárního snímače) [zdroj: autor]

Další kategorizace už by byla velmi obtížná, a možná i zbytečná, vzhledem k rozmanitosti konstrukcí nabízených na trhu, a velkou část dostupných snímačů by bylo obtížné zařadit i do kategorií, které jsem popsal.

Rotační snímače neboli snímače natočení se ve valné většině trhu objevují ve válcovém provedení. Pouze pár výjimek má statickou část řešenu jinak, a to především za účelem zabránění pootočení této části vůči referenčnímu objektu. Válcové snímače mají většinou toto řešeno přírubou s dírami pro šrouby nebo upevňovacími patkami. Kvůli vyrovnání nepřesností uložení takového snímače se používá pro připevnění pružného (plechového) elementu, který případně dovolí malé dorovnání vnější části.



Obrázek 28 (Snímač s dutou hřídelí) [22]



Obrázek 29 (Snímač s válcovou hřídelí) [22]

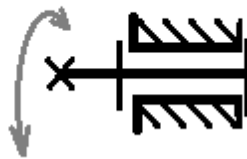
Otočné části (hřídele) jsou k dostání v dvojím provedení. Buď v provedení válcové hřídele, anebo duté hřídele. Zajištění proti pootočení se většinou realizuje pomocí drážek (případně pera), pomocí stavěcího šroubu nebo silovým spojením (tření), a to jak u válcových i dutých hřídelí.

Neopomenutelnou kategorií rotačních snímačů jsou snímače s oddělenou snímací hlavou. Ty jsou vhodné především pro větší hřídele, proto aby bylo možné dosáhnout

dostatečného rozlišení. Snímací hlavy jsou převážně ve tvaru kvádrů a připevňují se pomocí šroubů. Měřítka (kotouče) se vyrábějí například z oceli nebo skla a připevňují se buď to šroubovým spojem nebo lepením. Tyto snímače jsou velmi choulostivé na přesnost uložení měřítka vůči snímací hlavě.

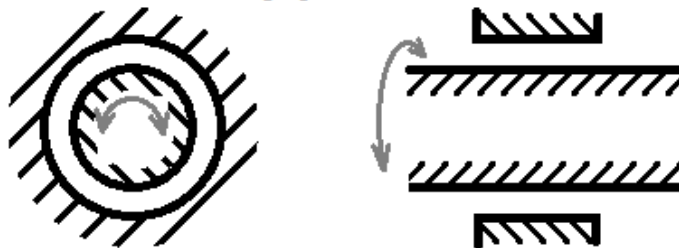
Kinematické modely zmíněných snímačů jsou zobrazeny na obrázcích 30, 31 a 32.

Měřený parametr



Obrázek 30 (Rotační snímač s válcovou hřídelí) [zdroj: autor]

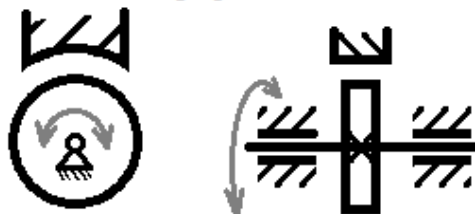
Měřený parametr



Obrázek 31 (Kinematické schéma rotačního snímače s dutým hřídelem)

[zdroj: autor]

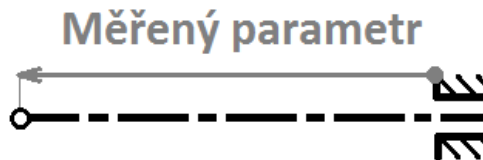
Měřený parametr



Obrázek 32 (Kinematické schéma rotačního snímače s oddělenou snímací hlavou)

[zdroj: autor]

Lankové snímače jsou v zásadě snímače lineární, nicméně jejich konstrukce používá pro samotné měření snímače natočení. Ke snímači natočení je ale přidružen mechanismus podobný navijáku, který při pohybu lanka spojeného s měřeným předmětem otáčí zmíněným rotačním snímačem. Tyto snímače mají výhodu v tom, že jim nevadí, když pohyb měřeného objektu není přesně lineární a dokáže se s tímto faktem vypořádat, jak naznačuje jeho kinematické schéma na obrázku 33. Výhodu lankových snímačů je také možnost vést lanko přes kladky a změnit tím jeho natočení vůči měřenému pohybu bez přemísťování samotného snímače. Příklad skutečného snímače je na obrázku 34.



Obrázek 33 (Kinematické schéma lankového snímače) [zdroj: autor]



Obrázek 34 (Lankový snímač) [22]

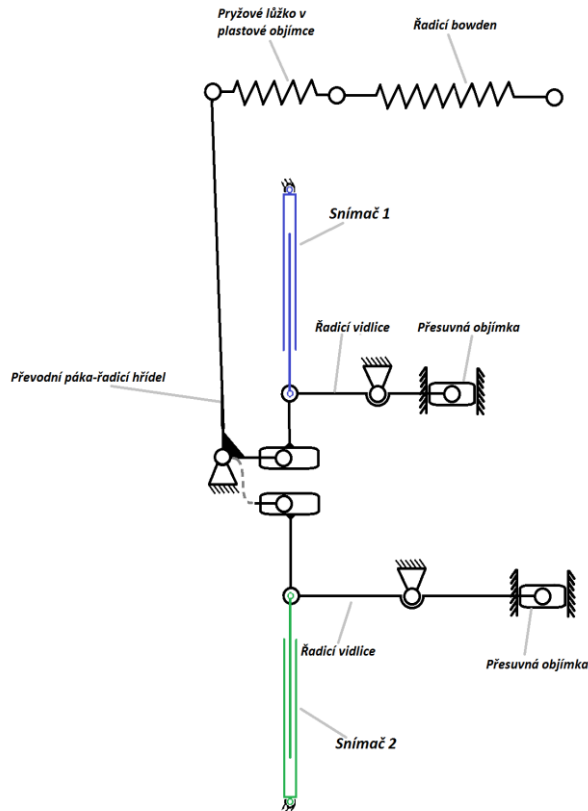
5 Výběr snímače a jeho umístění

Vyjdu-li ze zjištění uvedených v kapitole 3, je jasné, že členy řadicího mechanismu s nižší tuhostí je potřeba z měření eliminovat, a to nejlépe přesunem snímače před ně, co nejbližší k přesuvné objímce. Dalším faktorem kromě tuhosti jednotlivých členů jsou také vůle v kloubech mechanismu. Zároveň bych ale neměl výrazně ovlivnit původní řadicí mechanismus ani ostatní části převodovky. Právě za těchto podmínek se jako jedna z variant jeví umístění snímače na řadicí hřídel, případně na převodní páku, která je s řadicí hřídelí pevně spojena pomocí drážkování a šroubového spoje (viz kapitola 2.1.2), takže jejich pohyb je pevně svázán. Druhou variantou je umístit snímač dovnitř do převodovky na řadicí vidlici.

5.1 Varianta 1

Nejdříve rozvedu variantu se snímačem umístěným uvnitř převodovky. Pokud snímač umístím do převodovky, bude zapotřebí, aby snímače dokázal odolat prostředí, které se uvnitř převodovky nachází. To znamená, že snímač musí být odolný vůči oleji a zároveň musí odolat teplotám alespoň do 100°C (v převodovce za běžného provozu je 60 - 80°C). Tyto relativně vysoké nároky na snímač bych měl vykoupat jeho umístěním tak, aby vyrušilo co nejvíce negativních vlivů. Vzhledem k tomu jsem se rozhodl pro použití lineárního snímače se dvěma sférickými vazbami a umístění měřicího kontaktu na čep řadicí vidlice tak, jak je naznačeno schématem na obrázku 35. Tím se zbavím jak vlivu méně tuhých částí mechanismu, tak i většiny kloubů a tím i vůlí. V měřeném mechanismu zůstane pouze vůle mezi přesuvnou objímkou a řadicími kameny, mezi řadicími kameny a řadicí vidlicí a vůle v uložení řadicí vidlice.

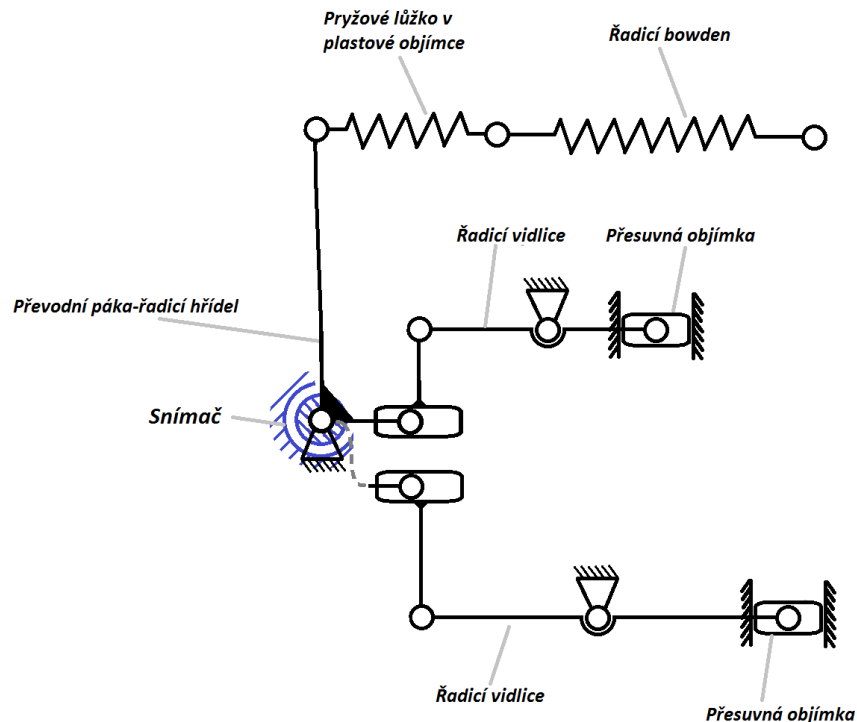
Ovšem aby bylo možné měřit obě řadicí vidlice najednou (vidlici pátého stupně a zpětného chodu pro měření zanedbávám), je potřeba umístit do převodovky snímače dva, pro každou vidlici jeden. Navíc je potřeba uchytit druhou vazbu obou snímačů ke skříni převodovky, tak aby byl snímač v neutrální poloze pokud možno kolmo na řadicí vidlici, což je z konstrukčního hlediska uvnitř stísněného prostoru převodovky velmi náročné.



Obrázek 35 (Schéma umístění snímačů 1) [zdroj: autor]

5.2 Varianta 2

Další varianta je umístit snímač natočení na řadící hřídel. Tato varianta je schematicky znázorněna na obrázku 36. Zde je zbytečné umístit tento snímač dovnitř převodovky vzhledem k tomu, že řadící hřídel vystupuje z převodovky ven a její torzní tuhost je dostatečná na to, aby nezkreslovala měřenou hodnotu. Takto umístěný snímač eliminuje vliv méně tuhých členů řadicího mechanismu, nicméně v měřeném mechanismu zůstanou všechny vůle vnitřního řadicího mechanismu.

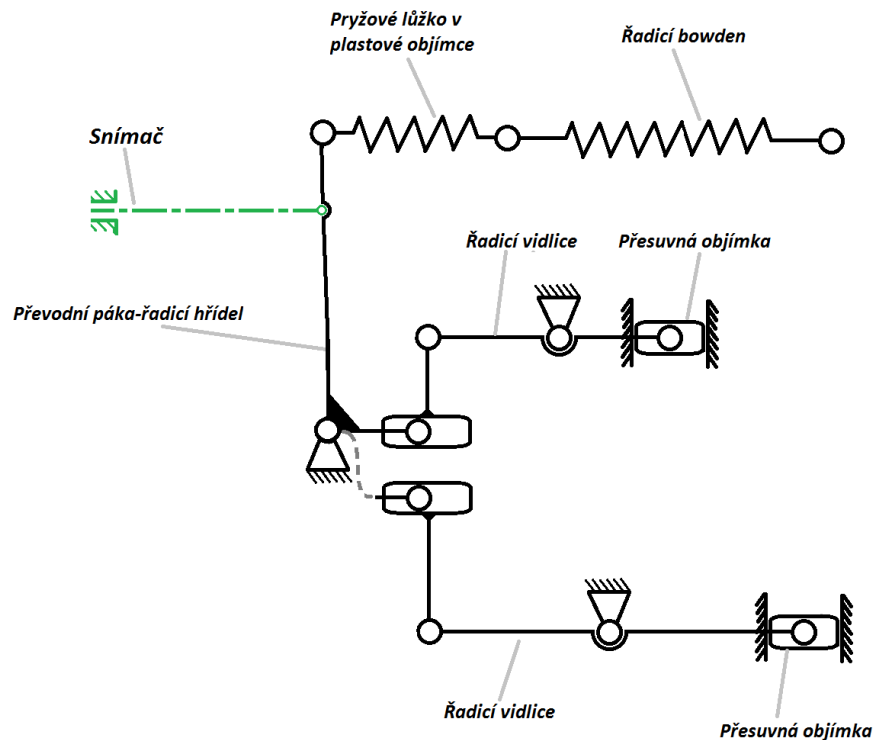


Obrázek 36 (Schéma umístění snímače 2) [zdroj: autor]

Díky tomu, že řadící hřídel převádí veškerý pohyb spojený s řazením, je možné jediným snímačem měřit pohyb každé přesuvné objímky. Zároveň je ale potřeba zajistit, aby uchycení snímače dovolovalo řadící hřídeli konat pohyb volby, takže ji nesmí omezit v axiálním směru. Na řadící hřídel je ale připevněna převodní páka, která při pohybu volby nenechává téměř žádný prostor pro umístění snímače přímo na řadící hřídel. Nicméně řadící hřídel je možno nastavit v místě kde je připevněna převodní páka a umístit snímač právě na toto prodloužení řadícího hřídele. Ještě potřeba zajistit uchycení snímače buď to k rámu zkušebního stavu, nebo ke skříni převodovky pomocí přídatné konzoly.

5.3 Varianta 3

Poslední variantou je umístění lineárního snímače na převodní páku. Pro tuto variantu jsem zvolil lankový snímač, který umožní bez problémů pohyb převodní páky při pohybu volby, a zároveň nebude nijak choulostivý na přesnost umístění na rámu zkušebního stavu či skříni převodovky. Stejně jako u předchozí varianty se zbavím vlivu méně tuhých členů řadícího mechanismu, ale v měřeném mechanismu zůstanou všechny vůle vnitřního řadícího mechanismu. Je zde také možné měřit jedním snímačem každou přesuvnou objímku.



Obrázek 37 (Schéma umístění snímače 3) [zdroj: autor]

Tato varianta nabízí velikou variabilitu v umístění jak měřicího dotyku, tak snímače samotného, avšak nevýhodou je, že díky konstrukci snímače, který má v sobě umístěnu pružinu, která navíjí lanko zpět do snímače, bude na mechanismus působit vedlejší silou, generovanou právě touto pružinou. Oproti předchozí variantě je také nevýhodou, že převodní vztah z naměřené veličiny na posuv přesuvné objímky bude složitější a bude záviset na přesné poloze snímače a nepřesnosti v jeho uchycení (v poloze) ovlivní naměřené hodnoty.

5.4 Výběr nejvhodnější varianty a její konstrukční řešení

Po zvážení všech výhod a nevýhod jsem jako nejvhodnější vybral variantu 2 (5.2). Z hlediska přesnosti měření by nejvhodnější byla varianta 1 (5.1), ale její konstrukční náročnost, vysoké nároky na snímače a nutnost použití zvláštního snímače pro každou řadicí vidlici jsou silné argumenty, které mluví proti ní. Varianta 3 (5.3) je sice nejméně konstrukčně náročná, ani nároky na snímač nejsou nijak extrémní (snímač by nebyl vystaven ani vysoké teplotě ani náročnému prostředí), ale nepřesnost měření, která reálně hrozí díky nepřesné poloze snímače je až příliš vysoká ve srovnání s variantou 2.

Vzhledem k tomu že snímač bude umístěn vně převodovky a nebude tak vystaven nijak extrémním podmínkám, nemusím vybírat podle fyzikálního principu snímače, ale pouze podle jeho konstrukčního řešení a zástavbových možností.

Bude se tedy jednat o rotační snímač. Konstrukčně je nutné, aby snímač, nebo jeho uchycení, umožnil axiální posuv hřídele při pohybu volby, a to i do poloh, které nemusí být měřeny.

Po pátrání v katalogích různých výrobců jsem jako nejlépe vyhovující vybral bezkontaktní inkrementální magnetický snímač, který se skládá ze snímací hlavy a radiálního snímacího kroužku. Výhodou tohoto snímače je, že neobsahuje žádnou mechanickou vazbu mezi snímací hlavou a radiálním kroužkem. Proto není potřeba mechanicky řešit možnost axiálního posouvání (pohyb volby) a nevnáší se do měření další nežádoucí vůle, která by jinak byla nutná. Konkrétně jsem vybral produkty výrobce RSL, a to snímací hlavu s označením LM10 [23] a radiální kroužek MR031G [23]. Veškeré informace o rozměrech a vlastnostech snímače jsou uvedeny v příloze 1 a v katalogu výrobce [23].

Aby bylo možné měřit pohyb řadicího hřídele v obou polohách volby (pohyb obou sledovaných přesuvných objímek), je nutné použít dva radiální kroužky, protože rozsah pohybu volby není možno pokrýt pouze jedním radiálním kroužkem.

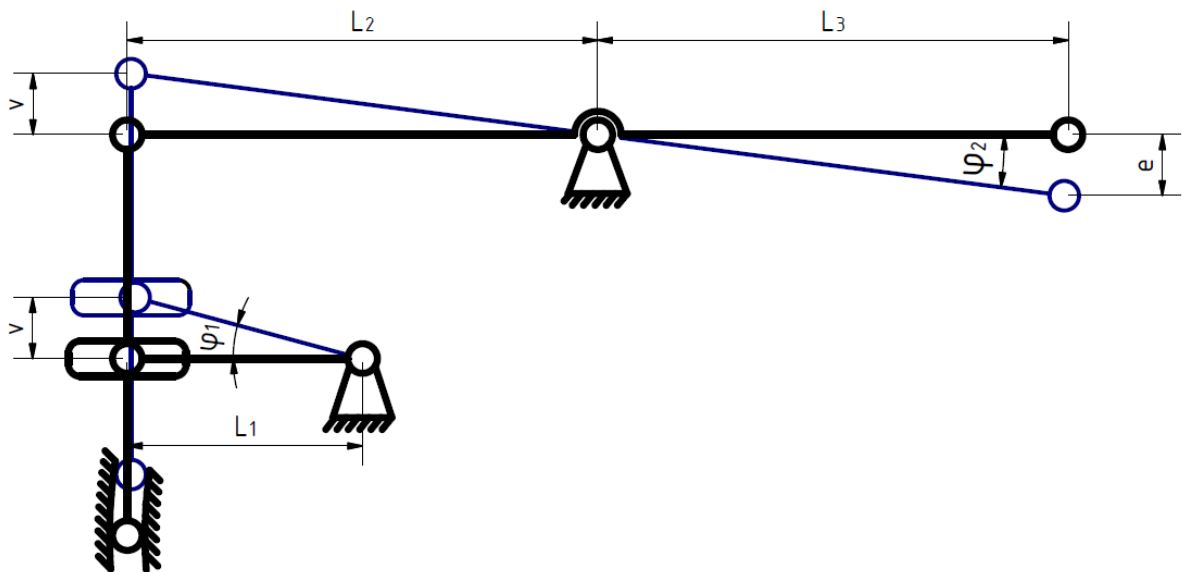
Pro uchycení radiálních kroužků k řadicí hřídeli jsem zkonstruoval prodlužovací hřídel, která nahradí matici zajišťující převodní páku na řadicí hřídeli. Radiální kroužky zde budou uchyceny pomocí lepeného spoje, podle doporučení v katalogu výrobce [23], což je dostačující vzhledem k tomu, že na ně během měření nebude působit žádná vnější síla.

Pro uchycení snímací hlavy jsem zkonstruoval konzolu, která je připevněna ke skříni převodovky. Konzolu jsem zkonstruoval jako svařenec. Snímací hlava je k ní připevněna pomocí tří šroubů velikosti M3 [23] a podložena podložkou, aby bylo možné doobrobením této podložky nastavit přesnou axiální polohu vůči snímacím kroužkům.

Výkresová dokumentace všech potřebných součástí je přílohou této práce. Konkrétně výkres sestavy uchycení snímače (Příloha 2), výkres svařence konzoly (Příloha 3), výkres prodlužovací hřídele (Příloha 4), výkresy jednotlivých dílů konzoly (Příloha 5 a Příloha 6) a výkres podložky snímače (Příloha 7)

Stanovení převodního vztahu

Aby výstupem byl pohyb přesuvné objímky, který je v tomto měření důležitým parametrem, je nutné stanovit převodní vztah mezi ním a skutečně změřeným parametrem. Tento vztah bude tedy vycházet z geometrie částí řadicího mechanismu, které jsou mezi přesuvnou objímkou a snímačem. K odvození tohoto vztahu jsem využil kinematické schéma zobrazené na obrázku 38, které je provedeno pouze pro jednu konkrétní pozici volby a jsou tam zakótovány potřebné rozměry mechanismu i proměnné parametry.



Obrázek 38 (Kinematické schéma pro určení převodního vztahu) [zdroj: autor]

Nejprve vyjádřím jednotlivé proměnné parametry pomocí základních goniometrických funkcí.

$$v = L_1 \cdot \sin(\varphi_1) \quad (1)$$

$$v = L_2 \cdot \sin(\varphi_2) \quad (2)$$

$$e = L_3 \cdot \sin(\varphi_2) \quad (3)$$

Spojením rovnic (1) a (2) pak získám vztah pro vyjádření $\sin(\varphi_2)$.

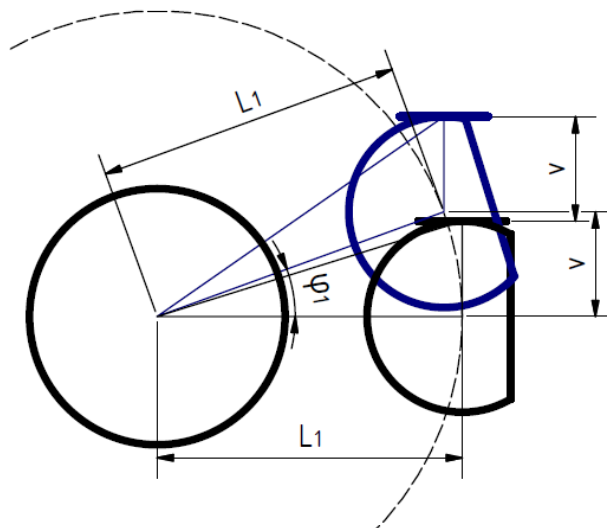
$$L_1 \cdot \sin(\varphi_1) = L_2 \cdot \sin(\varphi_2)$$

$$\sin(\varphi_2) = \frac{L_1}{L_2} \cdot \sin(\varphi_1) \quad (4)$$

Když tedy dosadím rovnici (4) do rovnice (3) získám již finální vztah, ve kterém bude vychýlení přesuvné objímky e závislé pouze na měřeném parametru φ_1 a rozměrech mechanismu.

$$e = \frac{L_3 L_1}{L_2} \cdot \sin(\varphi_1) \quad (5)$$

Tento vztah tedy platí za předpokladu, že se reálný řadicí mechanismus chová stejně jako jeho model na obrázku 38. Nepřesnosti mohou nastat v chování některých vazeb, které nemusí být ve skutečnosti tak ideální jako chování jejich teoretických nahrazení. Nejproblematictější vazbou je ta mezi řadicím palcem a řadicí deskou, která je spojena s řadicí vidlicí. Chování této vazby záleží především na geometrii řadicího palce. Tu lze celkem přesně nahradit kružnicí pohybující se po kružnici. Řadicí deska je v kontaktu s pohybující se kružnicí a její ostatní vazby zajišťují, že se řadicí deska během pohybu nenatáčí. Jak je tedy vidět i z obrázku 39 vychylka e se řídí rovnicí (1), protože kružnicová geometrie řadicího palce ji pouze posouvá o hodnotu svého poloměru dále.



Obrázek 39 (Vazba řadicího palce a řadicí desky) [zdroj: autor]

Tímto jsem ověřil, že skutečně platí odvozený převodní vztah (5). Rozměry pro měření jednotlivých přesuvných objímk je odměřil ze skutečného řadicího mechanismu a jsou uvedeny v tabulce 1

Tabulka 1 : Rozměry mechanismu pro dosazení do převodního vztahu

Přesuvná objímka	L_1 [mm]	L_2 [mm]	L_3 [mm]
1-2	23,8	60,3	67,8
3-4		29,8	33,8

6 Závěr

Navržená konstrukce a umístění snímače by měla výrazně zpřesnit měření pohybu přesuvných objímek v průběhu řazení. Ovšem až reálné měření přímo při zkoušení skutečné převodovky může odhalit případné nedostatky jak navržené konstrukce, tak i použitého snímače, které mi při vypracovávání této práce mohly uniknout. Konstrukce je však navržena tak, aby bylo možné po minimálních úpravách konzole snímače a prodlužovací hřídele použít jiný snímač (např. kontaktní s dutou hřídelí).

Velmi zajímavé bude porovnání naměřených průběhů hodnot ze stávajícího snímače a z nového řešení. Toto porovnání se pak může využít pro sledování chování vnějšího řadicího mechanismu během řazení a třeba i přispět k jeho vývoji.

Pro další postup v tomto měření by bylo vhodné provést alespoň jedno měření přímo na přesuvné objímce (případně blízko u ní) současně s měřením snímačem navrženým v této práci a porovnat jejich průběhy. To by mohlo napovědět hodně o tom, jak moc blízko skutečnému průběhu pohybu přesuvné objímky jsou data získaná ze snímače na řadicí hřídeli.

Seznam použité literatury

- [1] Gearboxes in automobiles. In: *SlideShare* [online]. 2014 [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/sgrsoni45/gearbox-34116446>
- [2] Manual gearbox 02T: Design and Function. In: *Volkspage.net* [online]. Wolfsburg: VOLKSWAGEN [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: http://www.volkspage.net/technik/ssp/ssp/SSP_237_d1.pdf
- [3] SCHWARZ, Jiří. *Automobily Škoda Fabia II: konstrukce, technika, údržba*. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2155-2.
- [4] [online]. In: . [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: http://3.bp.blogspot.com/-dyakByHcb7s/VbbgY4EoqI/AAAAAAAAATHw/takaiIzh2_g/s1600/Caixa%2Bde%2Bc%25C3%25A2mbio%2BMQ200-5F.jpg
- [5] ZEHNULA, Karel. *Čidla robotů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. Automatizace a regulace. ISBN 80-030-0563-9.
- [6] *ODPOROVÉ SNÍMAČE* [online]. In: . Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/mereni/ka03-01.htm>
- [7] Průmyslové potenciometry. In: *Megatron* [online]. 2017 [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <https://www.megatron.cz/kategorie/snimace/prumyslove-potenciometry>
- [8] ELEKTRO, redakce. Elektricky vodivé plasty. In: *Elektro: časopis pro elektrotechniku* [online]. 2017 [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/elektricky-vodive-plasty--12769>
- [9] VOJÁČEK, Antonín. Jak pracují LVDT snímače pro měření pohybu či detekci přiblížení ? In: *Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. 2011 [cit. 2017-05-06]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/jak-pracuji-lvdt-snimace-pro-mereni-pohybu-ci-detekci-priblizeni>
- [10] *What is an LVDT?* [online]. In: . 2007 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://iprinceps.egloos.com/1404109>
- [11] *Senzory polohy* [online]. [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: http://measure.fel.cvut.cz/system/files/files/cs/vyuka/predmety/A3B38SME/07_Poloha%20text.pdf

- [12] ING. MOUČKA, František. Použití lineárních indukčních měřitek na strojích. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2003 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/pouziti-linearnich-induktivnich-meritek-na-strojich.html>
- [13] Snímače polohy - selsyny. *ELUC* [online]. 2014 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1578>
- [14] Selsyn. *Wikipedia* [online]. 2011 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://pl.wikipedia.org/wiki/Selsyn#/media/File:Drehmelderprinzip.png>
- [15] What is a resolver? *Advanced Micro Controls, Inc.* [online]. [cit. 2017-05-015]. Dostupné z: <https://www.amci.com/industrial-automation-resources/plc-automation-tutorials/what-resolver/>
- [16] Encoders vs. resolvers. *Nidec-Avtron automation* [online]. 2017 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://www.nidec-avtron.com/encoders/knowledge-base/encoders-vs-resolvers/>
- [17] Snímače mechanických veličin. *Skriptum.wz.cz* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://skriptum.wz.cz/autom/poloha.htm>
- [18] FEJT, Radek. Optický inkrementální sezor. *Senzory* [online]. 2012 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://senzory.aspone.cz/ois.htm>
- [19] ING. VLČEK, Jan. Magnetické a optické snímače polohy. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/magneticke-a-opticke-snimace-polohy.html>
- [20] Laserové snímače polohy. *Micro epsilon* [online]. 2017 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.micro-epsilon.cz/displacement-position-sensors/laser-sensor/>
- [21] Kapacitní senzory. *TURCK* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://pdb2.turck.de/cz/DE/groups/000000120001ef6600010023>
- [22] Snímače. *Orbit merret* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.merret.cz/produkty/snimace>
- [23] Data sheet radial rings. *RLS* [online]. RLS merilna tehnika d.o.o., 2016 [cit. 2017-06-01]. Dostupné z: <https://www.rls.si/fileuploader/download/download/?d=0&file=custom%2Fupload%2FData-sheet-Incremental-magnetic-rings.pdf>

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1 (ZKUŠEBNÍ STAV ŘAZENÍ)	2
OBRÁZEK 2 (PŘEVODOVKA NA ZKUŠEBNÍM STAVU)	3
OBRÁZEK 3 (ŘADICÍ ROBOT)	3
OBRÁZEK 4 (DETAIL ŘADICÍHO ROBOTU – POHYB ŘAZENÍ)	3
OBRÁZEK 5 (POHLED DO PŘEVODOVKY TYPU MQ 200)	5
OBRÁZEK 6 (VNITŘNÍ ŘADICÍ MECHANISMUS)	6
OBRÁZEK 7 (VNĚJŠÍ ŘADICÍ MECHANISMUS).....	7
OBRÁZEK 8 (ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA ŘADICÍHO MECHANISMU)	8
OBRÁZEK 9 (SCHÉMA ZAPOJENÍ ODPOROVÉHO SNÍMAČE)	9
OBRÁZEK 10 (GRAF DAT ZÍSKANÝCH Z LVDT).....	12
OBRÁZEK 11 (USPOŘÁDÁNÍ IDUKTOSYNU)	13
OBRÁZEK 12 (SELSYNY JAKO ELEKTRICKÁ HŘÍDEL)	13
OBRÁZEK 13 (USPOŘÁDÁNÍ RESOLVERU)	14
OBRÁZEK 14 (VÝSTUP Z RESOLVERU)	14
OBRÁZEK 15 (KAPACITNÍ SNÍMAČE – PRINCIPY)	15
OBRÁZEK 16 (KAPACITNÍ SNÍMAČE – PRINCIPY)	16
OBRÁZEK 17 (SCHÉMA INTERFEROMETRU)	17
OBRÁZEK 18 (SCHÉMA TRIANGULAČNÍHO SNÍMAČE).....	18
OBRÁZEK 19 (PŘÍKLAD BINÁRNÍHO KÓDOVÁNÍ – PRINCIP INKREMENTÁLNÍHO SNÍMAČE).....	19
OBRÁZEK 20 (OPTICKÝ TRIANGULAČNÍ).....	20
OBRÁZEK 21 (KAPACITNÍ).....	20
OBRÁZEK 22 (INKREMENTÁLNÍ SNÍMAČ S ODDĚLENOU SNÍMACÍ HLAVOU)	21
OBRÁZEK 23 (KINEMATICKÉ SCHÉMA LINEÁRNÍHO SNÍMAČE S ODDĚLENOU SNÍMACÍ HLAVOU).....	21
OBRÁZEK 24 (LINEÁRNÍ SNÍMAČ).....	22
OBRÁZEK 25 (LINEÁRNÍ SNÍMAČ).....	22
OBRÁZEK 26 (KINEMATICKÉ SCHÉMA LINEÁRNÍHO SNÍMAČE)	22
OBRÁZEK 27 (KINEMATICKÉ SCHÉMA LINEÁRNÍHO SNÍMAČE)	23
OBRÁZEK 28 (SNÍMAČ S DUTOU HŘÍDELÍ)	23
OBRÁZEK 29 (SNÍMAČ S VÁLCOVOU HŘÍDELÍ)	23
OBRÁZEK 30 (ROTAČNÍ SNÍMAČ S VÁLCOVOU HŘÍDELÍ)	24
OBRÁZEK 31 (KINEMATICKÉ SCHÉMA ROTAČNÍHO SNÍMAČE S DUTÝM HŘÍDELEM)	24
OBRÁZEK 32 (KINEMATICKÉ SCHÉMA ROTAČNÍHO SNÍMAČE S ODDĚLENOU SNÍMACÍ HLAVOU)	24
OBRÁZEK 33 (KINEMATICKÉ SCHÉMA LANKOVÉHO SNÍMAČE)	25
OBRÁZEK 34 (LANKOVÝ SNÍMAČ)	25



OBRÁZEK 35 (SCHÉMA UMÍSTĚNÍ SNÍMAČŮ 1).....	27
OBRÁZEK 36 (SCHÉMA UMÍSTĚNÍ SNÍMAČE 2)	28
OBRÁZEK 37 (SCHÉMA UMÍSTĚNÍ SNÍMAČE 3)	29
OBRÁZEK 38 (KINEMATICKÉ SCHÉMA PRO URČENÍ PŘEVODNÍHO VZTAHU)	31
OBRÁZEK 39 (VAZBA ŘADICÍHO PALCE A ŘADICÍ DESKY)	32

Seznam příloh

1. List z katalogu výrobce snímače [str. 34]○
2. Výkres: UCHYCENÍ SNÍMAČE (BP-01)
3. Výkres: KONZOLA SVŘENEC (BP-02)
4. Výkres: PRODLUŽOVACÍ HŘÍDEL (BP-01-01)
5. Výkres: KONZOLA 1 (BP-02-01)
6. Výkres: KONZOLA 2 (BP-02-02)
7. Výkres: PODLOŽKA SNÍMAČE (BP-01-01)