



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav automobilů, spalovacích motorů
a kolejových vozidel

Zprovoznění zkušebního stavu řazení pro
testování řadicích spojek automobilových
převodovek

Completion of the Test Bench for Automotive
Gearshift Clutches Testing

DIPLOMOVÁ PRÁCE
2022

Bc. Matěj CRHÁN

Studijní program: NDTT Dopravní a transportní technika

Studijní obor: N071TMVO Motorová vozidla

Vedoucí práce: Ing. Jiří Pakosta, Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Crhán** Jméno: **Matěj** Osobní číslo: **473568**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Dopravní a transportní technika**
Specializace: **Motorová vozidla**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Zprovoznění zkušebního stavu řazení pro testování řadicích spojek automobilových převodovek.

Název diplomové práce anglicky:

Completion of the Test Bench for Automotive Gearshift Clutches Testing.

Pokyny pro vypracování:

V laboratořích ústavu automobilů Na Julisce se nachází rozpracované setrvačnickové stanoviště pro zkoušení řadicích spojek automobilových převodovek. Úkolem práce je seznámit se s dosavadním stavem rozpracovanosti stanoviště a návrh a provedení činností pro jeho dokončení. Mezi nejdůležitější chybějící části patří návrh a realizace olejového okruhu pro mazání a chlazení převodovky, dokončení a montáž experimentální skříně převodovky pro testování letmo uložených komponent ozubených kol a systému řazení, výběr a aplikace vhodných senzorů pro měření potřebných veličin zkušebního stanoviště a návrh a tvorba programu pro ovládání a sběr dat. Správnost navrženého řešení se ověří provedením funkční zkoušky řazení na zkušebním stanovišti.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jiří Pakosta, Ph.D. ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

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

Datum zadání diplomové práce: **20.04.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **13.07.2022**

Platnost zadání diplomové práce:

Ing. Jiří Pakosta, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

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

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

25.04.2022

Datum převzetí zadání

Podpis studenta



Anotační záznam

Jméno autora: Bc. Matěj Crhán

Název práce: Zprovoznění zkušebního stavu řazení pro testování řadicích spojek automobilových převodovek

Anglický název: Completion of the Test Bench for Automotive Gearshift Clutches Testing

Rozsah práce: 101 stran
68 obrázků
3 tabulky

Akademický rok: 2021/2022

Ústav: 12 120 Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Studijní program: Motorová vozidla

Vedoucí práce: Ing. Jiří Pakosta, Ph.D.

Klíčová slova: Testovací stav, řazení, řadicí spojky, LabVIEW

Key words: Test bench, shifting, shifting clutch, LabVIEW



Abstrakt

Práce se zabývá úpravou a zprovozněním stanoviště pro testování řadicích spojek. Úvodní část je věnována popisu řazení a zkušebního stanoviště. Je zde shrnut také principi fungování vybraných senzorů. Hlavní část práce se sestává ze tří úloh, návrhu olejového okruhu, dokončení chybějících mechanických součástí zkušební převodovky a sestavení programu pro ovládání a akvizici dat. Na závěr je ověřena funkčnost stanoviště provedením zkoušky řazení.

Abstract

Thesis is dedicated to modification and putting into operation stand for testing shift clutches. The introductory part deals with the description of the gear shifting and the test stand. Follow up section introduces various operating principles of used sensors. Major part of thesis is devoted to design of oil circuit, completion of missing testing gearbox mechanical parts and design of control and data acquisition program. In final part, there is verified functionality of stand for testing shift clutches by running shifting test.



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: “ Zprovoznění zkušebního stavu řazení pro testování řadicích spojek automobilových převodovek ” vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu zdrojů, jenž tvoří poslední kapitolu této práce.

V Praze dne: 18. 07. 2022

.....

(podpis autora)



Poděkování

Rád bych poděkoval panu Ing. Jiřímu Pakostovi Ph.D. za vedení a konzultace práce na diplomové práci. Zároveň bych chtěl poděkovat Ing. Marku Bousovi a Ing. Michalu Jasnému za asistenci při kompletaci testovacího stanoviště.



Obsah

1 Úvod.....	12
2 Řazení.....	16
2.1 Zubové řadicí spojky	17
2.2 Synchronizační řadicí spojky	18
2.3 Zkoumané parametry průběhu řazení.....	20
3 Zkušební stanoviště	22
3.1 Zkušební stav v laboratořích na Julisce	23
3.2 Úprava zkušebního stavu.....	24
4 Senzory pro vybavení stanoviště	27
4.1 Teplotní senzory	28
4.1.1 Termočlánky	28
4.1.1 Kovové odporové teplotní snímače.....	30
4.1.2 Termistory	31
4.1.3 Zařízení pro bezkontaktní měření teploty.....	31
4.2 Tlakové senzory	32
4.2.1 Tenzometrické senzory.....	33
4.2.2 Kapacitní senzory.....	33
4.2.3 Piezoelektrické senzory	33
4.2.4 Piezo-rezistivní senzory	34
4.3 Snímače síly a momentu.....	34
4.4 Snímače otáček.....	34
4.4.1 Snímače magnetického pole pro snímání otáček.....	34
4.4.2 Indukční snímače otáček	35
4.4.3 Fotoelektrické snímače otáček.....	35
4.5 Snímače polohy	36
4.5.1 LVDT senzory	36
4.5.2 Potenciometrické snímače polohy	37
5 Akvizice dat a ovládání stavu.....	38
5.1 Digitální moduly.....	38
5.2 Analogové moduly	40
6 Olejový okruh.....	42



6.1 Fungování olejového okruhu	42
6.2 Komponenty olejového okruhu.....	42
6.2.1 Olejová nádrž.....	43
6.2.2 Topné těleso	43
6.2.3 Olejový filtr	44
6.2.4 Čerpadlo	45
6.2.5 Pojistný ventil	46
6.2.6 Chladič	47
6.2.7 Směšovací ventil	48
6.2.8 Redukční ventil	50
6.2.9 Stolice olejového okruhu.....	50
7 Zkušební převodovka.....	52
7.1 Stav převodovky před dokončením.....	52
7.2 Víko zkušební převodovky	52
7.3 Setrvačnick	53
8 Sensorika zkušebního stavu.....	55
8.1 Měření teploty.....	55
8.2 Měření tlaku	56
8.3 Měření otáček.....	56
8.4 Měření momentu	57
8.5 Měření axiální řadicí síly	58
8.6 Měření posunutí řadicí vidličky	59
8.7 Kontrola zařazení.....	60
8.8 Nastavení senzorů	60
9 Ovládací prvky zkušebního stavu.....	62
9.1 Regulace teploty v oleje	62
9.2 Regulace průtoku v olejovém okruhu	63
9.3 Ovládací prvky řazení.....	63
9.4 Nastavení otáček vstupního hřídele převodovky	65
9.5 Nastavení otáček výstupního hřídele převodovky	67
9.6 Bezpečnostní prvky stavu	68
10 Program ovládání stanoviště pro zkoušení řadicích spojek	70



10.1 LabVIEW – základní pojmy.....	70
10.2 Front panel aplikace pro kontrolu stanoviště zkoušení řadicích spojek	72
10.1 Ovládací prvky programu	75
10.1.1 Hlavní ovládací smyčka stanoviště	75
10.1.2 Ovládání elektromotoru výstupní hřídele převodovky	78
10.1.3 Ovládání elektromotoru výstupní hřídele převodovky	78
10.1.4 Nastavení teploty oleje.....	79
10.1.5 Ovládání řazení	81
10.1.6 Bezpečnostní prvky.....	83
10.2 Akvizice dat.....	84
10.2.1 Akvizice teploty.....	85
10.2.2 Akvizice tlaku, řadicí síly, polohy a momentu	85
10.2.3 Akvizice otáček	87
10.2.4 Poloha řazení	88
11 Zkouška řazení	89
12 Závěr	93



Seznam použitých symbolů a veličin

Značka	Význam	Jednotky
α_i	Úhel kužele spojky	[°]
c_{oleje}	Měrná tepelná kapacita oleje	$[\frac{J}{kg \cdot K}]$
d	Roztečný průměr drážkování	[mm]
d_e	Vnější průměr	[mm]
d_s	Střední průměr	[mm]
F_a	Axiální řadící síla	[N]
F_n	Normálová síla	[N]
i_2	Převod druhého stupně	[–]
i_3	Převod třetího stupně	[–]
i_4	Převod čtvrtého stupně	[–]
i_{red}	Redukovaný moment setrvačnosti	[–]
i_{st}	Stálý převod	[–]
i_{stzp}	Stálý převod zkušební převodovky	[–]
i_x	Převod x-tého stupně	[–]
μ_i	Součinitel tření kuželových ploch spojky	[–]
M_s	Třecí moment synchronizace	[Nm]
$M_{zátěž}$	Moment zátěže	[Nm]
$M_{ztrát}$	Ztrátový moment	[Nm]
$n'_{výstup25}$	Otáčky výstupního hřídele zkušební převodovky při rychlosti vozidla 25 km/h	$[\frac{1}{min}]$
$n_{2vstup25}$	Otáčky vstupního hřídele převodovky při zařazeném druhém stupni a rychlosti vozidla 25 km/h	$[\frac{1}{min}]$
$n_{3vstup25}$	Otáčky vstupního hřídele převodovky při zařazeném třetím stupni a rychlosti vozidla 25 km/h	$[\frac{1}{min}]$
$n_{3vstup50}$	Otáčky vstupního hřídele převodovky při zařazeném třetím stupni a rychlosti vozidla 50 km/h	$[\frac{1}{min}]$



Značka	Význam	Jednotky
$n_{4vstup50}$	Otáčky vstupního hřídele převodovky při zařazeném čtvrtém stupni a rychlosti vozidla 50 km/h	$[\frac{1}{min}]$
n_{vstup}	Otáčky vstupního hřídele převodovky	$[\frac{1}{min}]$
$n_{výstup}$	Otáčky výstupního hřídele	$[\frac{1}{min}]$
$n_{výstup25}$	Otáčky výstupního hřídele převodovky při rychlosti 25 km/h	$[\frac{1}{min}]$
$n_{výstup50}$	Otáčky výstupního hřídele	$[\frac{1}{min}]$
$P_{topného\ tělesa}$	Výkon topného tělesa	$[\frac{1}{min}]$
R_0	Elektrický odpor při teplotě 0 °C	$[\Omega]$
r_{kola}	Valivý poloměr kola	$[m]$
ρ_{oleje}	Hustota oleje	$[\frac{kg}{l}]$
R_θ	Elektrický odpor při dané teplotě	$[\Omega]$
R_T	Elektrický odpor při dané termodynamické teplotě	$[\Omega]$
t	Čas	$[s]$
θ	Teplota	$[^\circ C]$
T	Termodynamická teplota	$[K]$
$\theta_{delta\ max}$	Maximální požadavek na změnu teploty oleje	$[^\circ C]$
$\theta_{ohřevu}$	Čas ohřevu oleje	$[^\circ C]$
Vn	Objem ohřivaného oleje	$[l]$
$v_{vozidla}$	Rychlost vozidla	$[\frac{km}{h}]$
ω	Úhlová rychlost	$[\frac{rad}{s}]$



1 Úvod

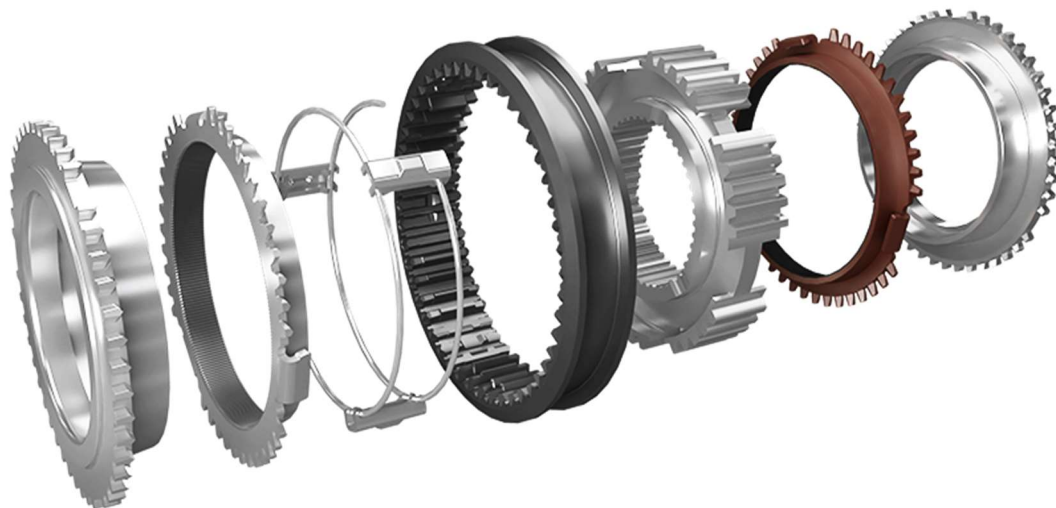
Jednou z neodmyslitelných součástí moderní společnosti se bezpochyby stala doprava. Lidem umožnila pohybovat se svobodně na vzdálenosti v řádech stovek až tisíců kilometrů. Není tak dnes nic zvláštního dojíždět například za prací každý den vzdálenosti přesahující 100 km nebo přesouvat zboží mezi kontinenty. Na různé vzdálenosti se prosadily různé druhy dopravy. Na krátké vzdálenosti se nejběžněji využívá pro přepravu osob doprava automobilová, autobusová nebo vlaková, pro přepravu nákladu doprava kamionová. Jen v české republice bylo k roku 2015 registrováno 5 115 316 osobních vozidel. O pohon těchto vozidel se nejčastěji stará spalovací motor a to u 5 100 816 vozidel (3 292 863 se zážehovým motorem a 1 807 953 se vznětovým motorem). Kromě těchto klasických variant bylo registrováno 13 731 vozidel s hybridním pohonem nebo se spalováním alternativních paliv (LPG, CNG, vodík) a 713 vozidel s čistě elektrickým pohonem. V současnosti se v návaznosti na legislativní opatření týkající se omezování emisí spalovacích motorů počet hybridních a elektrických vozidel navyšuje, nejvyšší podíl vozového parku si však stále udržují vozidla se spalovacími motory. [36]

Drtivá většina všech těchto vozidel má jeden společný rys. S výjimkou části elektrických vozidel, které mohou využívat pouze jeden stálý převod, a vozidel, které využívají ke změně převodového poměru variátor, se v těchto vozidlech nachází vícestupňové převodovky. Existují různé koncepční řešení vícestupňových převodovek, z nich se nejčastěji využívají převodovky planetové a hřídelové. Hřídelové převodovky se vyrábějí v manuálních, automatizovaných i automatických provedeních. Vzhledem k nižší celkové účinnosti, způsobené hlavně nutností kombinace s hydrodynamickým měničem, se ustupuje od použití planetových převodovek a převládají vozidla s převodovkami hřídelovými. Cílem mé práce je dokončení stavu pro testování řadicích spojek. Řadící spojky se používají ve většině všech vyráběných vícestupňových hřídelových převodovek, kde slouží k výběru jednotlivých rychlostních stupňů

Fungování řadicích spojek bude přiblíženo pro případ dvouhřídelové převodovky. Ve dvouhřídelové převodovce bývají kola jednotlivých převodů uložena tak, aby byly v trvalém záběru. Jedno z dvojice kol tvořící soukolí se ukládá na hřídel volnoběžně. O propojení otáček volnoběžného kola s otáčkami hřídele se stará řadící spojka. Řadící



spojky lze podle jejich konstrukce rozdělit na spojky synchronizační (obrázek 1) a zubové (obrázek 2).



Obrázek 1: Řadící synchronizační spojka [40]



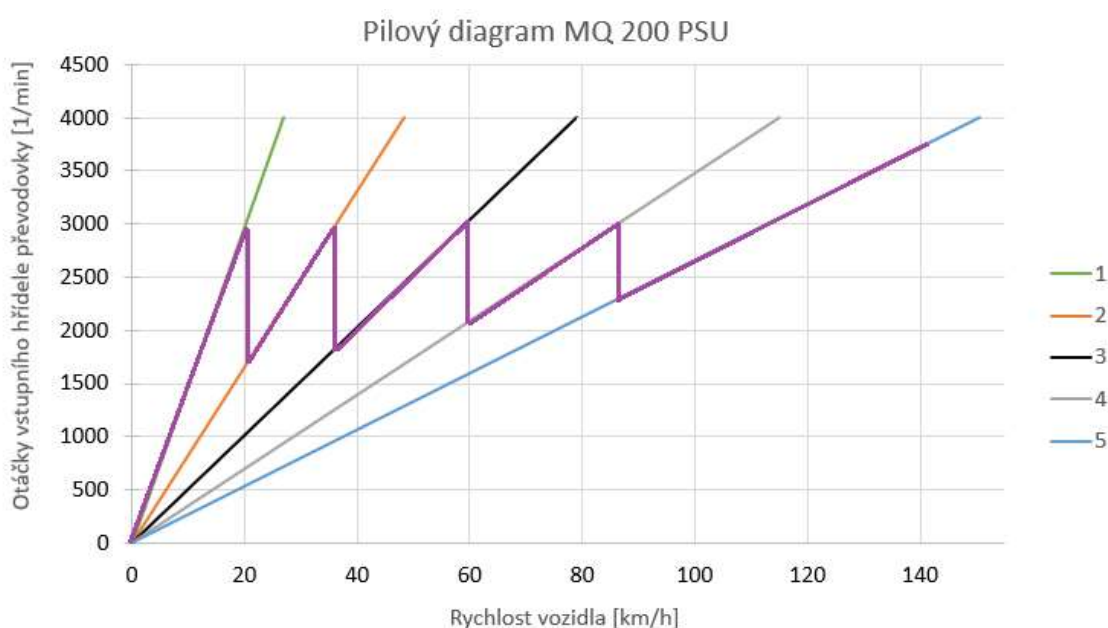
Obrázek 2: Řadící zubová spojka [41]

Zubová spojka má velkou výhodu v rychlosti synchronizace, po jejím sepnutí dochází k synchronizaci téměř okamžitě. Tato vlastnost je ale také zdrojem rázů, které vznikají v důsledku rychlé změny otáček hřídele, čemuž se musí přizpůsobit dimenzování zubové spojky. Třecí spojky využívají postupné synchronizace díky tření mezi částí třecího kužele, která se otáčí spolu s volně protáčeným nezařazeným kolem a částí která je pevně spojena



s hřídelem převodovky. V okamžiku, kdy se rychlosti otáčení těchto částí vyrovnají, posune se volně protáčející kolo a pevně se spojí s hřídelem. Vzhledem k tomu, že u třecích spojek dochází k postupnému přizpůsobení otáček na požadovanou hodnotu, se snižuje namáhání spojky a redukuje vznik rázů při řazení. [34]

Průběh otáček vstupního hřídele převodovky v závislosti na rychlosti vozidla a zařazeném rychlostním stupni je pak srozumitelně znázorněna v pilovém diagramu, vytvořeném pro převodovku MQ 200 PSU (obrázek 3). Průběh otáček vstupního hřídele při zrychlování vozidla z 0 na 140 km/h je vyznačen fialově, svislý přechod mezi přímkami jednotlivých rychlostních stupňů značí přeřazení.



Obrázek 3: Pilový diagram MQ 200 PSU

V současnosti se v návrhové fázi výrazně redukuje počet prototypů, než tomu bývalo v minulém století před rozmachem výpočetních metod. Díky tomu se snižují náklady na vývoj nových součástí a mechanismů. Nedílnou součástí každého vývoje však nadále zůstává validace teoretických hodnot pomocí experimentu. Pro provádění experimentu je vitální možnost opakovatelnosti, tedy možnost provádět experiment pro více zkoušených částí při dodržení v ideálním případě naprosto shodných okrajových podmínek.

Byl to tak zejména požadavek na opakovatelnost, který vedl k tomu, že se experimenty provádí v laboratořích, kde lze zamezit vnějším vlivům, které by jinak mohli ovlivnit okrajové podmínky experimentu. Samozřejmě je nutné, aby to jeho rozměry a podmínky



provádění umožňovaly. Vznikají tak specializovaná stanoviště, na kterých se provádí měření a kontrola funkcí součástí nebo větších celků.

Tato práce se věnuje dokončení, tvorbě ovládacího programu a akvizici dat stanoviště na zkoušení řadicích spojek pro převodovky. Motivací pro vytvoření tohoto stanoviště je možnost porovnávat mezi sebou řadicí spojky pro převodovky z hlediska doby trvání synchronizace vstupního a výstupního hřídele převodovky, síly potřebné pro zařazení, průběhu točivého momentu a vzniku rázů při synchronizaci.



2 Řazení

Vzhledem k tomu, že řadící spojky, kterým je tato práce věnována, se v různé podobě vyskytují v převodovkách, ale jejich funkce je zde vždy stejná, se zvolil pro popis řazení nejjednodušší možný scénář. Tím je řazení ve vícestupňové manuálně ovládané dvouhřídelové převodovce (obrázek 4).



Obrázek 4: Převodovka MQ281 [42]

Řazení se využívá ke skokové změně převodového poměru hnacího řetězce. Potřeba měnit převodový stupeň během jízdy vychází z potřeby využití motoru v poměrně úzkém pásmu otáček. Průběh rychlosti jízdy v závislosti na otáčkách motoru a zařazeném převodovém stupni lze vynést do pilového diagramu (obrázek 3).

Při řazení nejprve dochází k oddělení motoru od zbytku pohonného ústrojí rozepnutím rozjezdové spojky umístěné mezi motorem a vstupní hřídelí převodovky. Pak dojde k vyřazení původního převodového stupně, zařazení nového převodového stupně a opětovnému spojení motoru a převodovky sepnutím rozjezdové spojky. Samotné

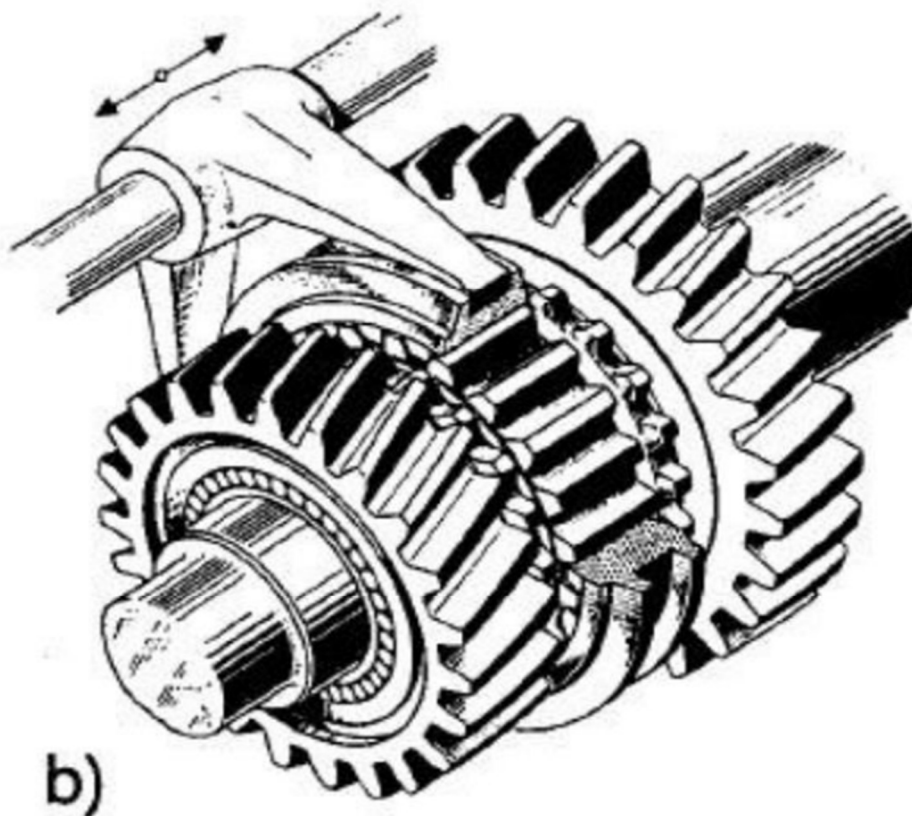


zařazení/vyřazení obstarává řadicí spojka. Ta je v okamžiku zařazení sepnuta a sváže otáčky volnoběžného kola s otáčkami hřídele, na kterém je kolo umístěno. Následující podkapitoly se věnují popisu základních druhů řadicích spojek. [34]

2.1 Zubové řadicí spojky

Soukolí je ve stálém záběru a ozubené kolo, které se bude spojovat pomocí zubové spojky (obrázek 5) je volně otočné. První část zubové spojky je pevně svázána s ozubeným kolem. Druhá část je radiálně spojena s hřídelem a axiálně pohyblivě uložena. Toto uložení se nejčastěji realizuje pomocí drážkování. Na druhou část zubové spojky je připojena řadicí vidlička, která ovládá axiální pohyb řadicí spojky po hřídeli. [34]

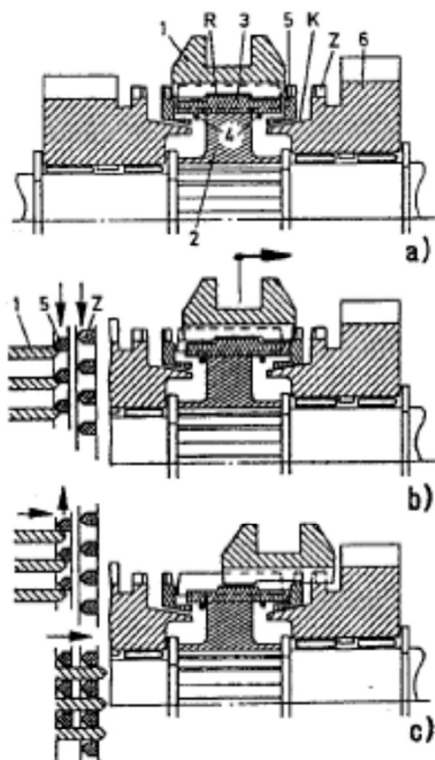
Ke svázání otáček volně otočného kola s otáčkami hřídele dochází při použití zubové spojky okamžitě. To má za následek vznik rázů v případě, že není vstupní a výstupní hřídel převodovky synchronizován. Velikost rázů je dána velikostí změny otáček synchronizovaných hmot, velikostí redukovaného momentu setrvačnosti synchronizovaných komponent a tuhostí jednotlivých komponent pohonného ústrojí podílejících se na přenosu momentu. Problematika vzniku a popisu rázů je velmi rozsáhlá a není předmětem této práce. V minulosti se zubové spojky používaly zcela běžně pro všechny převodové stupně osobních automobilů. Řazení v těchto vozidlech vyžadovalo vyšší zručnost řidiče, který prováděl částečnou vnější synchronizaci pomocí plynového pedálu (tzv. „řazení s meziplynem“). V moderních vozidlech se lze dosáhnout synchronizace otáček podobným způsobem, ale za pomoci externího elektromotoru kontrolovaného řídící jednotkou. Tím, že se sníží rozdíl synchronizovaných otáček, klesne i velikost rázů, což by mohlo být využito zejména v budoucnosti při konstrukci vícestupňových převodovek pro elektromobily. Zubové spojky se také používají například u motocyklů, kde je výrazně nižší setrvačná hmota synchronizovaných součástí než u aut. Výhodami zubové spojky jsou zejména nižší výrobní náklady a nižší požadavky na zástavbové rozměry než u spojek synchronizačních. [34]



Obrázek 5: Řazení zubovou spojkou [34]

2.2 Synchronizační řadicí spojky

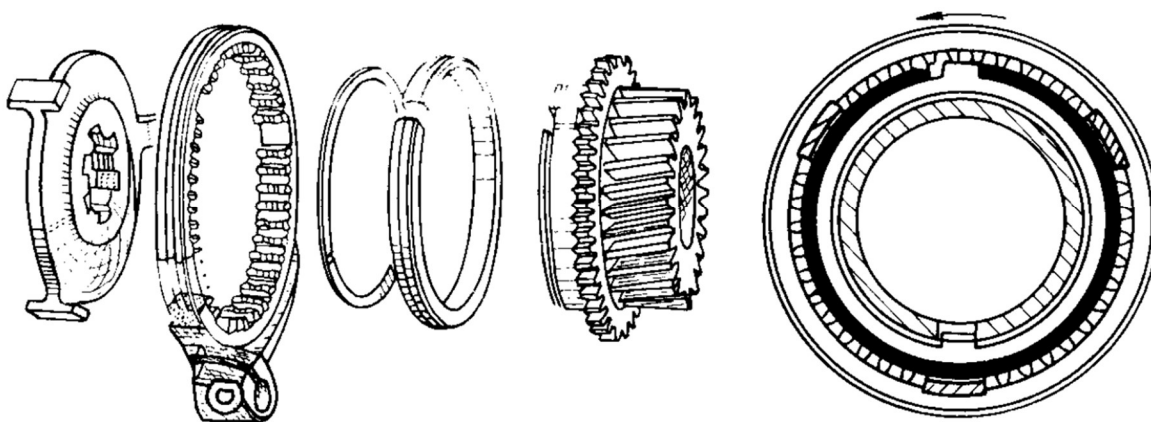
Na obrázku 6 jsou rozkresleny jednotlivé fáze řazení pomocí synchronizační spojky a její jednotlivé součásti. Řadicí objímka (1) slouží ke spojení unášecího ozubení (Z) umístěného na volnoběžném ozubeném kole (6) a jisticích tělísek (3) spojených s hřídelí přes synchronizační těleso (2). Aby mohlo dojít k synchronizaci začne na řadicí objímku působit axiálně řadicí síla. Pokud nejsou otáčky hřídele a kola stejné, clonící kroužek blokuje posunutí řadicí objímky do polohy c). Zároveň řadicí objímka přitlačuje clonící kroužek na třecí kužel (K). Třecí síla vznikající mezi třecím kuželem a unášecím ozubením srovná rozdíl otáček mezi nimi. V tomto okamžiku stačí řadicí síla na to, aby odblokovala clonící kroužek a řadicí objímka se spojila s unášecím ozubením (fáze c). [34]



Konstrukce a funkce jištěné synchronizace se clonícím kroužkem: 1 - řadicí objímka; 2 - synchronizační těleso; 3 - jističí tělíska; 4 - pružné jističí kroužky; 5 - clonící kroužek; 6 - ozubené kolo; K - třecí kužel; Z - unášecí ozubení; R - prstencová drážka; a) volná poloha; b) synchronizace; c) zařazení převodového stupně

Obrázek 6: Řazení synchronizační spojkou [34]

Existují i další konstrukční varianty synchronizace. Za zmínku stojí synchronizační spojka od firmy Porsche (obrázek 7). Tato spojka využívá k synchronizaci nejen tření kuželové spojky, ale díky tomu, že je prsteneц kuželové spojky rozříznutý, dochází při synchronizaci ke vzniku servo účinku obdobně jako u náběžné čelisti bubnových brzd. Kombinace funkce klasické kuželové spojky v kombinaci se servo účinkem pomáhá ke snížení potřebné řadicí síly a zrychlení synchronizace. [37]



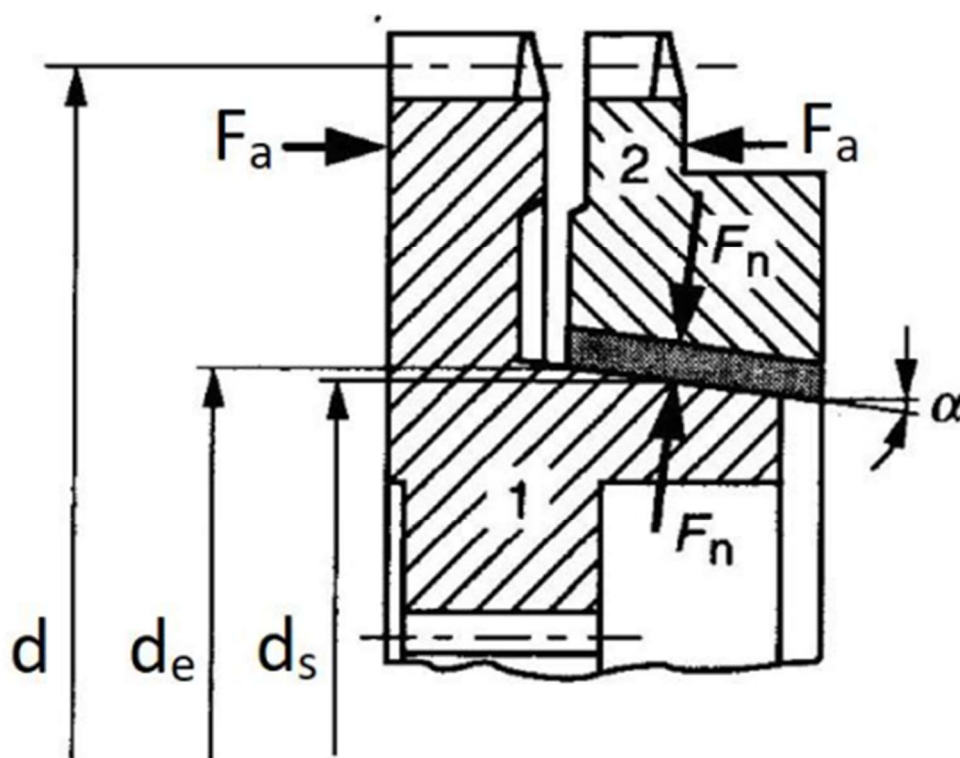
Obrázek 7: Synchronizační spojka Porsche [43]



2.3 Zkoumané parametry průběhu řazení

Aby bylo možné porovnávat mezi sebou fungování jednotlivých řadicích spojek, je nezbytné určit parametry, podle kterých se budou spojky porovnávat.

U zubových spojek to budou zejména silové a momentové poměry vznikajících při řazení, protože ovlivňují velikost rázů, životnost, hlučnost a dimenzování. Velikost rázů je ovlivněna rozdílem otáček, o který je nutný při zařazení hřídel urychlit/zpomalit, velikostí setrvačnosti rotačních hmot, které tento rozdíl překonávají a kombinovanou tuhostí zubové spojky a hřídelů. Důležité je také změřit axiální řadicí sílu, kterou je nutné vyvinout pro spojení spojky. Při správném fungování synchronizační spojky dochází k postupnému vyrovnání otáček hřídele a volně otočného ozubeného kola. O vyrovnání otáček se nejčastěji stará třecí kuželová spojka. Rozměry (obrázek 8) a charakteristika kuželové třecí spojky ovlivňují průběh synchronizace. [34]



Obrázek 8: Rozměry kuželové třecí spojky [4]

d_s – střední průměr; d_e – vnější průměr; d – roztečný průměr drážkování; α – úhel kužele; F_a – axiální síla řazení; F_n – normálová síla

Momentovou rovnováhu synchronizace vyjadřuje rovnice (1) kde M_s je třecí moment synchronizace, I_{red} redukovaný moment setrvačnosti, $d\omega$ diferenciál úhlové rychlosti synchronizovaného hřídele, dt diferenciál času, $M_{zatěž}$ moment zátěže a $M_{ztrát}$ ztrátový



moment. Při popisu řazení s přerušením toku výkonu je $M_{zátěž}$ roven nule, protože motor odděluje od převodovky rozjezdová spojka. $M_{ztrát}$ vyjadřuje disipaci energie například v ložiskách nebo v záběru soukolí. Třecí moment spojky M_s popisuje rovnice (2) kde d_{si} vyjadřuje střední průměr ítého spojky F_a axiální sílu řazení, μ_i součinitel tření íté kuželové plochy, i počet dvojic kuželových ploch a α_i úhel ítého kužele spojky. [4], [34]

$$M_s + I_{red} \cdot \frac{d\omega}{dt} + M_{zátěž} + M_{ztrát} = 0 \quad (1)$$

$$M_s = \sum_{i=1}^i \frac{F_a \cdot d_{si} \cdot \mu_i}{2 \cdot \sin(\alpha_i)} \quad (2)$$

Dosazením M_s z rovnice (2) do rovnice (1) lze vyjádřit rovnici (3), která popisuje průběh synchronizace při řazení.

$$I_{red} \cdot \frac{d\omega}{dt} + M_{zátěž} + M_{ztrát} + \sum_{i=1}^i \frac{F_a \cdot d_{si} \cdot \mu_i}{2 \cdot \sin(\alpha_i)} = 0 \quad (3)$$

Úpravou rovnice (3) vznikne výraz:

$$-I_{red} \cdot d\omega = \left(M_{zátěž} + M_{ztrát} + \sum_{i=1}^i \frac{F_a \cdot d_{si} \cdot \mu_i}{2 \cdot \sin(\alpha_i)} \right) \cdot dt \quad (4)$$

Z rovnice (4) vyplývá, které veličiny popisují průběh synchronizace pomocí synchronizační řadicí spojky. Parametry I_{red} , d_{si} , i , μ_i a α_i vycházejí z konstrukce zkoušené převodovky a její synchronizační spojky. Zbylé parametry budou spolu se zpětnou kontrolou M_s předmětem měření. Měření $M_{zátěž}$, $M_{ztrát}$ a M_s se realizuje na výstupním hřídeli převodovky. Akvizice dat pro určení F_a se realizuje přímo na synchronizovaném hřídeli. Čítače otáček sledují hodnoty otáček vstupního a výstupního hřídele převodovky. Pro zpřesnění dat se hodí zaznamenávat polohu řadicí vidličky, což pak pomůže od sebe oddělit jednotlivé fáze synchronizace. Detailní popis výběru a rozmístění jednotlivých senzorů se nachází v kapitole 4. [4], [34]



3 Zkušební stanoviště

Cílem zkušebního stanoviště pro zkoušení řadicích spojek je simulovat provozní stavy při řazení. Konstrukce stavu by měla vhodně simulovat provozní stavy při řazení, kterým jsou řadicí spojky uvnitř převodovky vystaveny. Zároveň je esenciální moci tyto provozní stavy duplikovat v libovolném počtu měření. Neméně důležité umožnění nastavování dílčích parametrů zatěžování podle potřeb jednotlivých zkoušek. Řídit se těmito zásadami při návrhu při návrhu stanoviště je nezbytné pro jeho správné fungování.

Při konstrukci stanoviště lze postupovat tak, že se vhodně nahradí jednotlivé komponenty, ke kterým je převodovka připojena v autě. Při této náhradě se komponenty volí tak, aby byly dodrženy myšlenky z prvního odstavce toho bodu a zároveň šlo komponenty co možná nejjednodušeji a nejpresněji ovládat. Tuto náhradu lze popsat na jednoduchém příkladu vozidla se spalovacím motorem a manuálně ovládanou vícestupňovou převodovkou. Spalovací motor z vozidla se nahradí na zkušebním stavu elektromotorem (dále jako: „vstupní elektromotor“), který se stará o pohon vstupní hřídele převodovky. Manuálně ovládanou rozjezdovou spojka se nahradí pomocí elektromechanické spojky, která bude oddělovat vstupní hřídel převodovky a elektromotor. Převodovka zůstává stejná v autě i na stanovišti s tím rozdílem, že diferenciál, pokud je součástí převodovky, je zablokovaný, aby převodovka měla pouze jeden výstup. Výstup z převodovky je na zkušebním stanovišti připojen k setrvačnicku, který simuluje setrvačnou hmotu pohybujícího se vozidla. Pohon tohoto setrvačnicku zabezpečuje další elektromotor (dále jako: „výstupní elektromotor“). Výše popsané prvky by stačily jako náhrada pohonného ústrojí vozidla. Aby však byl zajištěn bezpečný provoz zkušebního stanoviště, je nutné zajistit možnost nouzového zastavení rotačních částí stavu v případě jeho poruchy. To obstarává nouzová brzda, která je schopna zastavit celé stanoviště. Tento koncept stanoviště se hodí pro systémové testování celku a je podobný současnému stanovišti pro zkoušení řazení v laboratořích na Julisce.

Bohužel tento koncept není příliš vhodný pro provádění testů pouze jednotlivých komponent převodovky, v tomto případě řadicích spojek. Problémem je, že při experimentu, kde je cílem zjistit vlastnosti řadicí spojky, byla spojka uložena v sériové převodovce. Vzhledem k zástavbovým rozměrům uvnitř převodovky je bez komplexních úprav nemožné instalovat snímač axiální síly řazení přímo k řadicí spojce. Snímač síly může



být umístěn mimo skříň převodovky, například na řadicí páku, to ale vnáší do měření nepřesnosti. Nevýhodou stavu pro systémové testování celku je také komplikovaná montáž zkoušených řadicích spojek do sériové převodovky, která byla velmi časově náročná.

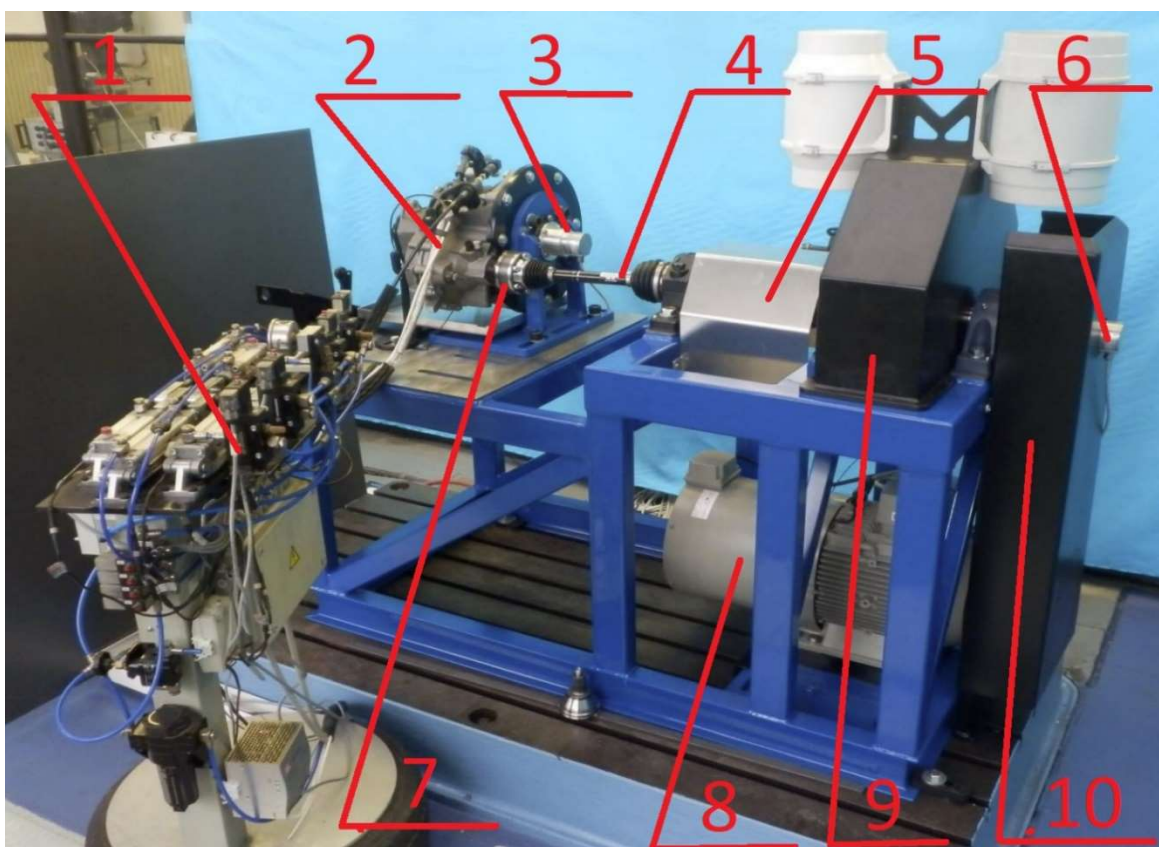
3.1 Zkušební stav v laboratořích na Julisce

Na obrázku 9 se nachází zkušební stav umístěný v těžkých laboratořích ČVUT na Julisce. O pohon stavu se stará elektromotor (8) o výkonu 18,5 kW tento motor roztáčí klínovým řemen (10) hřídel, na které je umístěn setrvačnick (9). Za setrvačnickem je na hřídeli umístěna z bezpečnostních důvodů pojistná spojka (5), ta v případě zablokování hřídelů převodovky a následného překročení její momentové kapacity (300 Nm) odpojí setrvačnick. Výstupní hřídel zkoušené převodovky (2) je k hřídeli setrvačnicku připojena pomocí kloubového hřídele (4), který vyrovnává nesouosost těchto dvou hřídelů. Mezi výstupní hřídel převodovky a kloubový hřídel je vložena tenzometrická příruba (7) sloužící k měření momentu. Na vstupním hřídeli převodovky je umístěn čítač otáček (3). O ovládání řazení se stará řadicí robot (1) připojený pomocí lanovodů a přepákování k převodovce.

Otáčky výstupního hřídele převodovky se dají považovat v průběhu řazení za konstantní, protože moment setrvačných hmot synchronizovaného hřídele převodovky je řádově menší než redukovaný moment setrvačných hmot vozidla. Změna otáček výstupního hřídele převodovky ve vozidle v důsledku jízdních odporů nemá vliv na chování řadicích spojek, proto ji lze zanedbat. Velký setrvačnick na zkušebním stavu propojený s výstupním hřídelem převodovky napomáhá při udržení konstantních otáček hřídele. Nahrazuje částečně setrvačné hmoty vozidla. V případě, že by zde setrvačnick nebyl instalován, musel by elektromotor starající se o pohon stanoviště dokázat udržet konstantní otáčky sám, což by vyžadovalo složitější způsob řízení tohoto motoru a také nutnost nahradit ho výkonnější variantou.



Konfigurace stanoviště byla vhodná, díky rychlému cyklu řazení a možnosti umístění sériové převodovky, zejména k životnostním testům a zkoušení průběhu řazení v sériové převodovce. Nicméně tento stav se nehodil k přesnému měření charakteristik řadicích spojek. Problém této konfigurace spočíval v obtížné a časově náročné výměně řadicích spojek, nemožnosti správné instalace senzorů dovnitř skříně kvůli nevhodným se zástavbovým rozměrům. Nebylo tak možné instalovat senzor snímající axiální řadicí sílu a senzor, který by přesně snímal polohu řadicí vidličky. Z těchto důvodů vznikla iniciativa na úpravu tohoto stanoviště. [4]



Obrázek 9: Zkušební stav v laboratořích na Julisce [15]

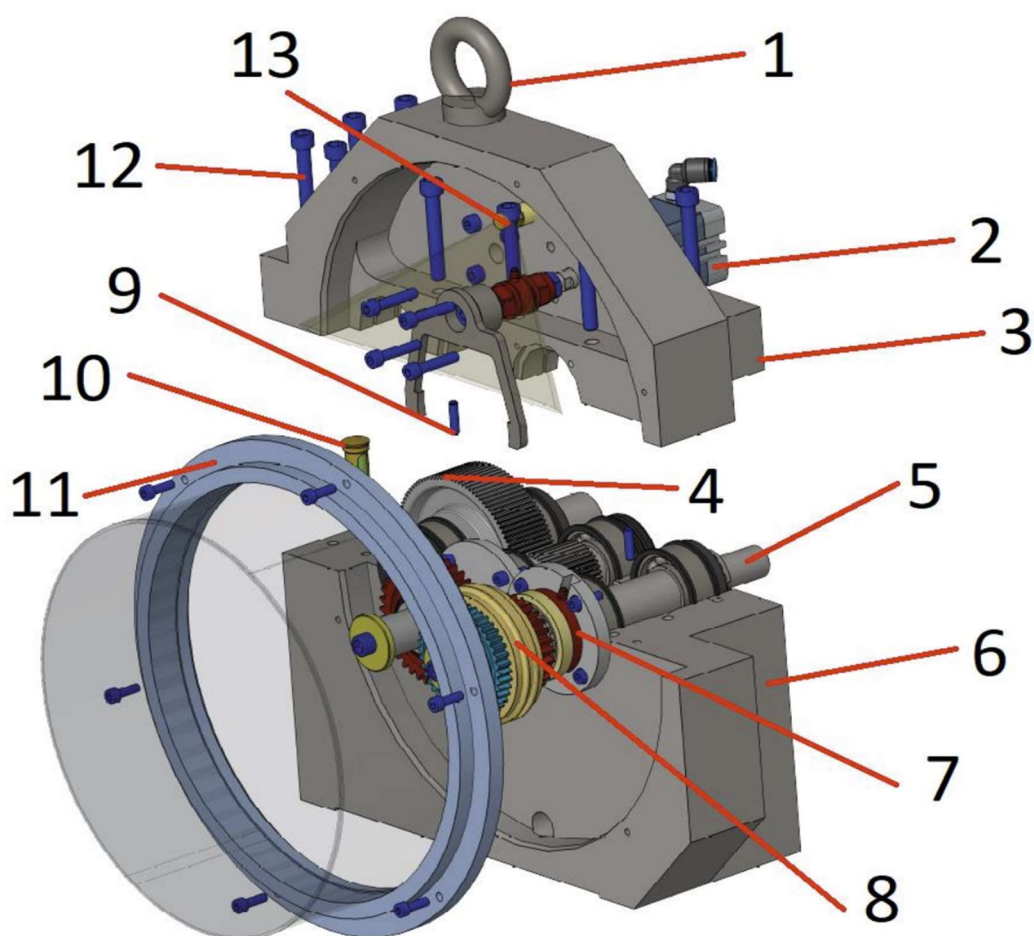
Součásti zkušebního stanoviště: 1 – Řadicí robot; 2–Zkoušená převodovka; 3–Čítač otáček vstupní hřídele převodovky; 4–Kloubový hřídel; 5–Zakrytovaná pojistná spojka; 6–Čítač otáček hřídele setrvačnicku; 7–Tenzometrická příruba; 8–Motor pohánějící stav; 9–Zakrytovaný setrvačnick; 10–Zakrytovaný klínový řemen

3.2 Úprava zkušebního stavu

Aby se funkce stanoviště přizpůsobily pro měření řadicích spojek, vytvořil můj předchůdce převodovku pro zkoušení řadicích spojek (obrázek 10). Převodovka je na výstupu vybavena soukolím stálého převodu, které zastává stejnou funkci jako v soukolí stálého převodu v sériové převodovce. Oproti sériové převodovce má tato zkušební



jednostupňová převodovka výrazně nižší moment setrvačnosti primárních hmot (moment setrvačnosti všech částí, jejichž otáčení je pevně svázáno s vstupním hřídelem převodovky). To je zapříčiněno tím, že hřídele ve zkušební převodovce nesou pouze jeden převodový stupeň a jsou tak menší, zároveň zde absentuje talíř rozjezdové spojky a soukolí dalších převodových stupňů. Aby se setrvačné síly, které řadící spojka musí překonávat, přiblížili těm v sériových převodovkách, bylo potřeba vstupní hřídel zkušební převodovky dovybavit setrvačníkem, který by tento rozdíl vyrovnal. [4]



Obrázek 10: Zkušební převodovka v laboratořích na Julisce [4]

1 – Závěsné oko; 2 – Pneumatický válec s řadící vidličkou; 3 – Víko skříně; 4 – Stálý převod; 5 – Hřídele; 6 – Vana skříně; 7 – Snímač axiální síly; 8 – Letmé konce hřídelů s řadící spojkou a soukolím; 9 – Pozicovací kolík; 10 – Olejová měrka; 11 – Kryt z plexy skla; 12 – Šrouby skříně; 13 – Mazací tryska

Převodovka má pouze jeden rychlostní stupeň (8), uložený na letmých koncích předlohového a vstupního hřídele. Vstupní hřídel je také vybaven řadící spojkou a snímačem axiální síly. Aby mohl být senzor umístěn na hřídeli a zároveň mohl setrvat



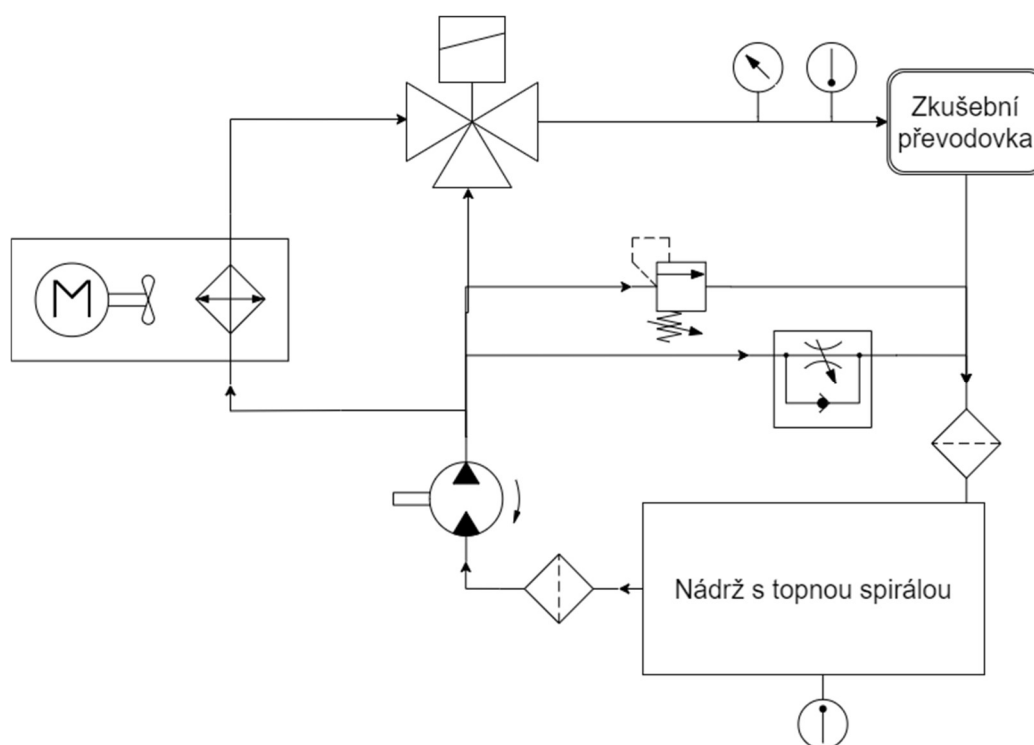
i při rotaci hřídele nehybný, byl zvolen dutý snímač síly. Tento snímač obepíná hřídel a je pevně uložen v objímce, axiální síla, kterou má za úkol měřit, je na něj přenášena přes axiální ložisko. To se jednou stranou opírá o snímač axiální síly a druhou o axiálně volně uložené ozubené kolo. Jelikož je soukolí s řadicí spojkou umístěno na volném konci hřídelů, vyžaduje jeho demontáž pouze povolení jednoho šroubu na každé z hřídelů. Ve srovnání s výměnou řadicí spojky v sériové převodovce jde o výrazně jednodušší úkon. Hlavní výhodou zkušební převodovky je výše zmíněná implementace snímače síly přímo na hřídel převodovky. Na rozdíl od sériové převodovky, kde se soukolí brodí v oleji, je ve zkušební převodovce soukolí mazáno ostřikem tryskou. Vzhledem k rozdílnému způsobu lubrikace soukolí a řadicí spojky bude zapotřebí vhodně nadefinovat parametry ostřiku. O dopravu a úpravu teploty oleje rozprašovaného pomocí trysky v převodovce, se stará olejový okruh popsáný v kapitole 6. [4]



4 Senzory pro vybavení stanoviště

Senzory, jimiž bude vybaveno stanoviště pro zkoušení řadicích převodovek, lze pro větší přehlednost rozdělit na dvě části. První část se bude týkat senzorů, kterými je vybaven olejový okruh. Druhá část obsahuje senzory použité na zkušebním stavu.

Nejprve jsou uvedeny senzory pro zabezpečení správné funkce olejového okruhu. V průběhu testu se budou monitorovat veličiny, které ovlivňují průběh testu, tedy teplota a množství oleje přiváděného do převodovky. Pro první návrh bylo zvoleno nepřímé měření průtoku. Snímá se tlak oleje před vstupem do trysky a provádí se jeho korelace s průtokem. Zároveň je nezbytné sledovat teplotu oleje v nádrži, protože bude využita k řízení ohřevu. Další z motivací pro snímání teploty je zajištění bezpečnosti stanoviště. Průběžně se hlídá, aby nedošlo k přehřátí oleje v nádrži, což by mohlo vést až k jeho vzplanutí. Schéma umístění senzorů olejového okruhu si lze prohlédnout na obrázku 11.



Obrázek 11: Schéma olejového okruhu

Na zkušebním stavu se v průběhu testu provádí akvizice otáček vstupního a výstupního hřídele převodovky, průběhu momentu na výstupním hřídeli převodovky, axiální řadicí síly a polohy řadicí vidličky. Opodstatnění výběru těchto veličin blíže popisuje kapitola 2.3. Pro nastavení axiální řadicí síly se využívá nastavení pracovního tlaku v pneumatickém válci, který ovládá řadicí vidličku. Detekování počáteční a koncové polohy pístu zajišťuje dvojice



senzorů přiblížení. Dále je stanoviště vybaveno senzory pro měření tlaku v pneumatickém vedení, aby v případě ztráty tlaku mohlo být stanoviště bezpečně odstaveno, než se aktivuje bezpečnostní brzda.

Z předchozích odstavců je sestaven následující výčet senzorů použitých pro olejový okruh a zkušební stanoviště.

- Teplotní senzory
- Tlakové senzory
- Snímače otáček
- Snímače polohy
- Snímače síly
- Snímače momentu

4.1 Teplotní senzory

Z důvodů popsaných v kapitole 4 potřebuje zkušební stanoviště disponovat senzory teploty. Jednotlivé senzory fungují na různých principech a z toho plynou i jejich omezení a výhody. Následuje výčet nejpoužívanějších typů teplotních senzorů podle způsobu jejich fungování:

- Termočlánky
- Termistory
- Kovové odporové teplotní snímače
- Zařízení pro bezkontaktní měření teploty
- Dilatační teploměry
- Zařízení využívající změnu stavu

Dilatační teploměry a teploměry využívající změnu stavu se nehodí pro aplikaci na zkušebním stavu, protože vyčítání hodnot z dilatačních teploměrů je téměř výlučně neautomatizované. Teploměry využívající změnu stavu se hodí například pro regulaci průtoku při jedné konkrétní teplotě. Ani jedno z těchto zařízení se tedy nehodí pro aplikaci na zkušebním stavu a nebude jim dále věnována pozornost.

4.1.1 Termočlánky

Nejrozšířenější skupinou zařízení pro měření teploty jsou v dnešní době termočlánky. Termočlánek tvoří dva kovové vodiče, které jsou na jednom konci spojeny (uzavřený konec) a na opačném rozpojeny (otevřený konec). Pokud jsou rozdílné teploty na obou koncích



termočlánek dochází ke vzniku elektromotorické síly. Tato síla je závislá na rozdílu teplot a jejím vnějším projevem je vznik elektrického napětí. Tento fenomén se nazývá Seebeckův jev. Pro popis velikosti napětí v závislosti na teplotě otevřeného konce se v tabulkách využívá referenční hodnota pro otevřený konec termočlánek a to nejčastěji 0°C. Protože teplota, ve které se studený konec běžně nachází bývá z pravidla jiná než teplota referenční, je nutné provádět korekci. Korekce této skutečnosti bývá označována jako „kompenzace studeného konce“. [2], [5]

Základní typy termočláneků jsou označovány písmeny B, E, J, K, N, R, S a T. Jednotlivé typy se mezi sebou liší použitou dvojicí kovů, tvořící termočlánek. V závislosti na typu termočlánek se liší jeho přesnost a rozsah teplot, pro které ho lze použít. Vlastnosti a barevné označení jednotlivých typů termočláneků přehledně shrnuje tabulka 1.

TYP	MATERIÁL		MĚŘÍCÍ ROZSAH	PŘESNOST MĚŘENÍ		BAREVNÉ ZNAČENÍ IEC 584-3		
	+	-		Standart	Special	Konektor	Termočlánek	Prodlužovací vedení
B	Pt 30%-Rh	Pt 6%-Rh	870 - 1700°C	±0,5%	±0,25%			
E	Ni-Cr	Cu-Ni	-270°C - 0°C	±1,7°C nebo ±1,0%	-			
			0°C - 870°C	±1,7°C nebo ±0,5%	±1,0°C nebo ±0,4%			
J	Fe	Cu-Ni	0 až 760	±2,2°C nebo ±0,75%	±1,1°C nebo ±0,4%			
K	Ni-Cr	Ni-Al	-200°C - 0°C	±2,2°C nebo ±2,0%	-			
			0°C - 1260°C	±2,2°C nebo ±0,75%	±1,1°C nebo ±0,4%			
N	Ni-Cr-Si	Ni-Si-Mg	0 až 1260	±2,2°C nebo ±0,75%	±1,1°C nebo ±0,4%			
R	Pt 13%-Rh	Pt	0 až 1480	±1,5°C nebo ±0,25%	±0,6°C nebo ±0,1%			
S	Pt 10% - Rh	Pt	0 až 1480	±1,5°C nebo ±0,25%	±0,6°C nebo ±0,1%			
T	Cu	Cu-Ni	-200°C - 0°C	±1,0°C nebo ±1,5%	-			
			0°C - 370°C	±1,0°C nebo ±0,75%	±0,5°C nebo ±0,4%			

Tabulka 1: Přehled typů termočláneků [44]



4.1.1 Kovové odporové teplotní snímače

Kovové odporové teplotní snímače jsou vyrobeny z čistých kovů. Nejběžněji se k těmto účelům používá například platina, měď nebo nikl. Mezi nejznámější z těchto senzorů se řadí varianty Pt100 a Pt1000. Pt v jejich názvu označuje materiál, z kterého je čidlo vyrobeno a hodnota 100 popřípadě 1000 udává hodnotu elektrického odporu v Ohmech při teplotě 0°C. [2]

Při změně teploty se mění elektrický odpor těchto snímačů. Změnu odporu lze vyjádřit pomocí koeficientu elektrického odporu. Předpis pro výpočet elektrického odporu platinového snímače R_{θ} lze vyjádřit rovnicí (5) pro teploty od -200 do 0 °C a rovnicí (6) pro teploty vyšší než 0 °C, kde R_0 je elektrický odpor snímače při 0 °C, A, B, C jsou koeficienty vyjadřující materiálové vlastnosti elektrického odporu v závislosti na teplotě t ve stupních celsia. [8]

$$R_{\theta} = R_0[1 + A\theta + B\theta^2 + C\theta^3(\theta - 100)] \quad (5)$$

$$R_{\theta} = R_0 (1 + A\theta + B\theta^2) \quad (6)$$

Koeficienty A, B, C pro platinu:

- $A = 3,90802 \cdot 10^{-3} K^{-1}$
- $B = -5,80195 \cdot 10^{-7} K^{-2}$
- $C = -4,27350 \cdot 10^{-12} K^{-4}$

Pro srovnání je zde uveden předpis pro výpočet elektrického odporu niklového snímače (rovnice 7). Z tohoto předpisu je patrné, že průběh odporu v závislosti na teplotě bude výrazně nelineární. [8]

$$R_{\theta} = R_0 (1 + A\theta + B\theta^2 + C\theta^4 + D\theta^6) \quad (7)$$

Hodnoty odporů kovových odporových snímačů jsou zatíženy různou chybou a dělí se tak do dvou tříd podle kvality zpracování. Tuto skutečnost ilustrují například hodnoty udávané pro snímač Pt100, kde je hodnota R_0 pro třídu přesnosti A zatížena maximální chybou $\pm 0,06 \Omega$, respektive $\pm 0,12 \Omega$ pro třídu přesnosti B. Dalším zdrojem nejistot při měření je způsob zapojení senzoru. Nejhorší přesnosti dosahuje dvou vodičové zapojení, protože dochází ke zkreslení hodnoty odporu senzoru změnou odporu vedení. Naopak nejpřesnější výsledky poskytuje čtyřvodičové zapojení, kde dochází díky přidaným vodičům ke kompenzaci změny odporu ve vedení. [2], [8]



4.1.2 Termistory

Termistory pracují obdobně jako kovové odporové snímače se změnou elektrického odporu v závislosti na teplotě. Rozdíl mezi těmito dvěma skupinami je zejména v tom, že termistory jsou polovodičové součástky. Podle záporného či kladného teplotního součinitele elektrického odporu se dělí na dvě skupiny, NTC a PTC. Skupina NTC obsahuje termistory se zápornou hodnotou teplotního součinitele elektrického odporu, skupina PTC naopak kladnou hodnotu. Pro měření teploty se nejčastěji používají termistory ze skupiny NTC, PTC slouží většinou jako bezpečnostní prvky. Průběh elektrického odporu termistoru je silně nelineární a v technických aplikacích se aproximuje například Steinhart-Hartovou rovnicí (rovnice 8).

$$\frac{1}{T} = A + B \ln(R_T) + C [\ln(R_T)]^3 \quad (8)$$

4.1.3 Zařízení pro bezkontaktní měření teploty

Bezkontaktní měření se běžně uplatňuje pro měření vysokých teplot, například pokud teploty přesahují maximální teplotu pro použití kontaktních senzorů. Jako příklad těchto aplikací lze uvést měření teploty ve vysokých pecích. V minulosti se lidským okem srovnávala barva taveného železa s barvou žhaveného drátku o známé teplotě. Jelikož detektorem záření je v tomto případě lidské oko, řadí se tyto pyrometry do kategorie subjektivních. Dnes se využívají pyrometry, kde je lidské oko nahrazeno detektorem záření. Tyto senzory mají velké pásmo měřicího rozsahu. Lze jimi zjišťovat teploty přibližně v rozsahu od -50 °C do 3500 °C . Velkou nevýhodou těchto teploměřů je závislost naměřené veličiny na emisivitě povrchu. V případě přesných měření je nutné buď zjistit hodnotu emisivity měřeného povrchu a provést korekci naměřené hodnoty, nebo aplikovat na měřený povrch speciální černou barvu, jejíž emisivita se blíží hodnotám pro absolutně černé těleso. Pohybuje se přibližně okolo 0,98. Další nevýhodou je nutnost častější kalibrace těchto senzorů. Naopak nespornou výhodou je možnost měření rozložení teplotního pole a rychlá odezva při měření.



4.2 Tlakové senzory

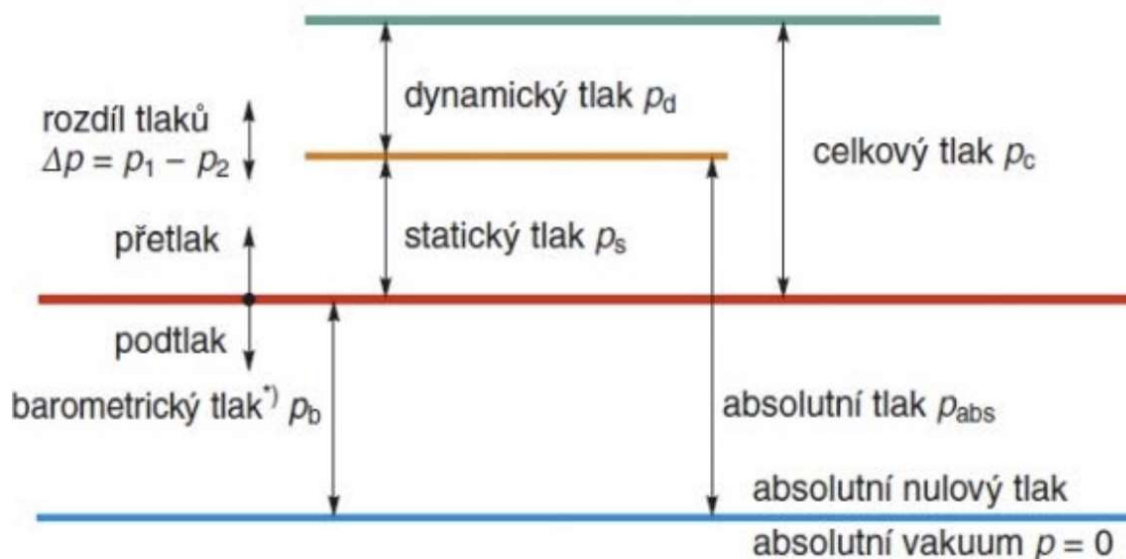
Následující veličinou potřebnou pro fungování zkušebního stavu je tlak. Hlavním důvodem pro implementaci měření tlaku je zjišťování tlaku v olejovém okruhu testovacího stanoviště. Tlakové senzory lze dělit podle tlaku, který měří, nebo principu, jakým je tlak snímán. Před začátkem měření je nutné se rozhodnout, zda bude měřen tlak statický, dynamický nebo celkový a uzpůsobit tomu měřicí trať.

Podle tlaku měřeného senzorem lze rozdělit senzory na:

- Snímače absolutního tlaku
- Snímače relativního tlaku
- Diferenční snímače tlaku

Je důležité rozlišovat mezi těmito třemi kategoriemi a zohlednit je při volbě senzoru.

Obrázek 12 graficky znázorňuje druhy měřených tlaků podle jejich vztahu k nulovému tlaku.



Obrázek 12: Druhy měřených tlaků [45]

Absolutní snímače tlaku vyhodnocují celkovou hodnotu tlaku. Snímače relativní vyhodnocují rozdíl tlaku měřeného média a okolního tlaku snímače (nejčastěji atmosférický tlak). Relativní snímač tedy udává hodnotu přetlaku potažmo podtlaku měřeného média oproti okolnímu médiu. Senzory pro absolutní tlak měří také rozdíl tlaku média, ale porovnávají ho s tlakem ve vakuu. Speciálním případem jsou snímače diferenčního tlaku. Tento druh snímačů porovnává mezi sebou tlak dvou médií, toho lze využít například při míšení více vstupů. [2]



Jednotlivé druhy snímačů tlaku se liší způsobem, jakým je detekována hodnota tlaku. Z výčtu byly vynechány typy tlakových senzorů nehodící se pro použití na zkušebním stanovišti. Zbývá lze rozdělit na:

- Tenzometrické senzory
- Kapacitní senzory
- Piezoelektrické senzory
- Piezo-rezistivní senzory

4.2.1 Tenzometrické senzory

Senzory detekují hodnotu tlaku, podle velikosti deformace deformačního členu, na který působí tlaková síla. V případě tenzometrických snímačů tlaku je deformační člen osazen tenzometrickou růžicí. Tenzometry detekují deformaci vyvolanou tlakem na membránu snímače. Výhodou tenzometrických snímačů je velký rozsah měřených tlaků, pro které je snímač použitelný a jeho malých zástavbových rozměrech. Tenzometrická růžice je zapojena do můstku, protože změna napětí na tenzometru v průběhu změny tlaku je malá a potřebuje zesílit. [2]

4.2.2 Kapacitní senzory

Blána kapacitního senzoru, na kterou působí tlaková síla, tvoří jednu desku kondenzátoru. Druhá deska kondenzátoru je umístěna uvnitř snímače. Při působení tlaku se mění vzdálenost mezi těmito dvěma deskami a tím pádem i kapacita kondenzátoru snímače. Kapacita kondenzátoru odpovídá působícímu tlaku. Mezi výhody těchto snímačů patří časová stabilita, vysoká přesnost a možnost regulace rozsahu. Mezi nevýhody patří vysoká pořizovací cena a větší zástavbové rozměry než u snímačů tenzometrických. [2]

4.2.3 Piezoelektrické senzory

Stejně jako tenzometrické senzory určují i senzory piezoelektrické hodnotu tlaku pomocí detekce deformace pružného členu. Pružný člen je u tohoto druhu snímačů vyroben z krystalů s piezoelektrickými vlastnostmi. Krystaly se působením tlakové síly deformují a generují elektrický náboj. Náboj generovaný krystaly je velmi malý, citlivost krystalů na působící sílu se pohybuje v řádech jednotek až desítek pC/N . Náboj je následně zesílen a zpracován další elektronikou. [2]



4.2.4 Piezo-rezistivní senzory

Odporové senzory využívají k detekci tlaku pružného deformačního členu, který je deformován tlakovou silou. Deformační člen bývá vyroben z polovodiče, při své deformaci mění hodnotu elektrického odporu. Změna odporu se projeví změnou svorkového napětí, které je měřeno. Výhodou těchto senzorů je, že změna výstupního napětí je dost vysoká, aby nemusela být kvůli přesnosti měření dodatečně zesilována. [2]

4.3 Snímače síly a momentu

Základní typy snímačů síly a momentu použitelné pro zkušební stav jsou stejné jako pro snímače tlaku. Rozdílem mezi snímači tlaku, síly a momentu je pouze v konstrukci těla snímače elektronické komponenty a princip jejich fungování zůstává stejný. Z tohoto důvodu se práce nezabývá jejich opakovaným popisem.

Snímač síly se instaloval na zkušební stav, kvůli akvizici dat týkajících se průběhu axiální síly řazení. Snímač momentu má za úkol zaznamenávat průběh momentu vznikajícího při synchronizaci otáček hřídelů zkušební převodovky.

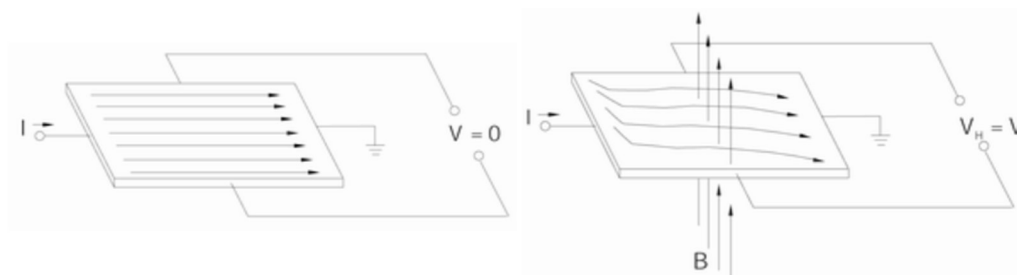
4.4 Snímače otáček

Měření otáček jednotlivých hřídelů je esenciální pro výpočty týkající se převodových ústrojí potažmo pouze řadicích spojek. V současné době převažuje využití bezkontaktních měřičů otáček, jejich provedení použitelná pro zkušební stav jsou popsána dále.

4.4.1 Snímače magnetického pole pro snímání otáček

V současnosti existují dva nejrozšířenější druhy snímačů magnetického pole, které se využívají jako čítače otáček. Jedná se o Hallovy senzory a magnetorezistivní senzory.

Hallův senzor (obrázek 13) je polovodičová součástka, na které se vlivem působení vnějšího magnetického pole (B) a protékajícího proudu (I) hromadí elektrický potenciál na jedné straně desky. Tento jev má za následek vznik Hallova napětí (V_H), které koresponduje s velikostí změny magnetického pole, což umožňuje určit otáčky hřídele. Na hřídeli, jehož otáčky jsou měřeny, je umístěn kotouč s magnetickými pásky. Hallův senzor je pevně uchycen v blízkosti kotouče. Při otáčení hřídele dochází ke změně magnetického pole, což zaznamenává senzor. [2], [38]



Obrázek 13: Hallův senzor [46]

Magnetorezistivní senzor využívá ke své funkci změny odporu v závislosti na síle magnetického pole. Senzor se skládá z tenkých proužků feromagnetického materiálu a polovodiče. Při průchodu polovodičovými pásky se směr proudu v důsledku působení magnetického pole odchýlí od přímého směru. To má za následek změnu elektrického odporu. [2], [38]

4.4.2 Indukční snímače otáček

Indukční snímače pracují na základě Faradayova indukčního zákona. Při rotaci hřídele dochází ke skokové změně vzdálenosti senzoru a ozubeného kola umístěného na rotující hřídel. Změna magnetického pole způsobená změnou vzduchové mezery generuje sinusový průběh napětí, který může být použit jako výstup tohoto senzoru. [2], [38]

4.4.3 Fotoelektrické snímače otáček

Fotoelektrické snímače využívají ke svému fungování optické brány. Hlavice senzoru je vybavena vysílačem optického signálu (nejčastěji laser) a čidlem citlivým na tento signál. Hřídel je vybavena kolem, které střídavě zamezuje a umožňuje průchod optického signálu od hlavice do čidla. Jako čidlo senzoru může sloužit fotodiody nebo fotorezistor. Signál generovaný fotoelektrickým snímačem má charakter obdélníkové vlny. [2], [38]



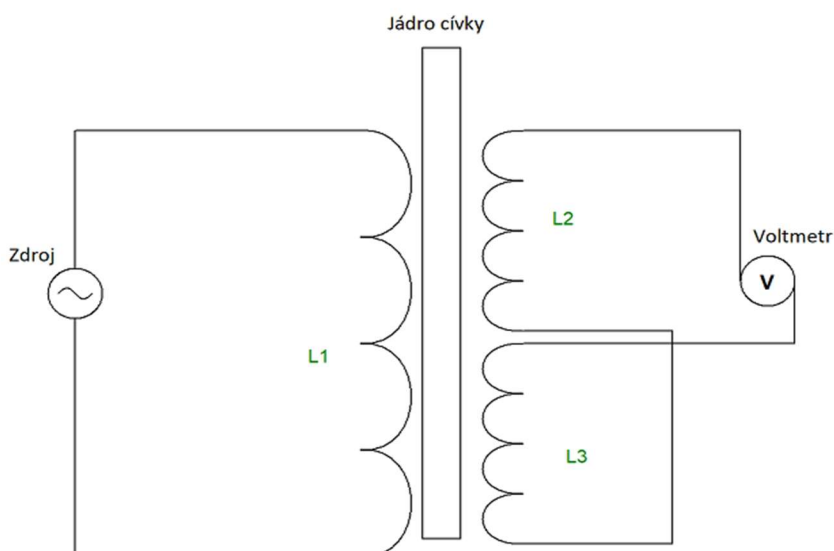
4.5 Snímače polohy

Snímač polohy byl pro zkušební stav vybrán za účelem zpřesnění popisu průběhu řazení. Jeho úkolem je zaznamenávat polohu řadicí vidličky a díky tomu je možné upřesnit v jaké fázi řazení se stav nachází. Pro tento účel a s přihlédnutím k zástavbovým rozměrům jsou vhodné zejména tyto druhy snímačů polohy:

- LVDT senzory
- Potenciometrické snímače polohy

4.5.1 LVDT senzory

LVDT (Linear Variable Differential Transducer, česky lineárně proměnný diferenční transformátor) je druh senzoru, který ke svému fungování využívá elektromagnetické indukce. Jeho funkce bude popsána na zjednodušeném schématu (obrázek 14).



Obrázek 14: Schéma LVDT

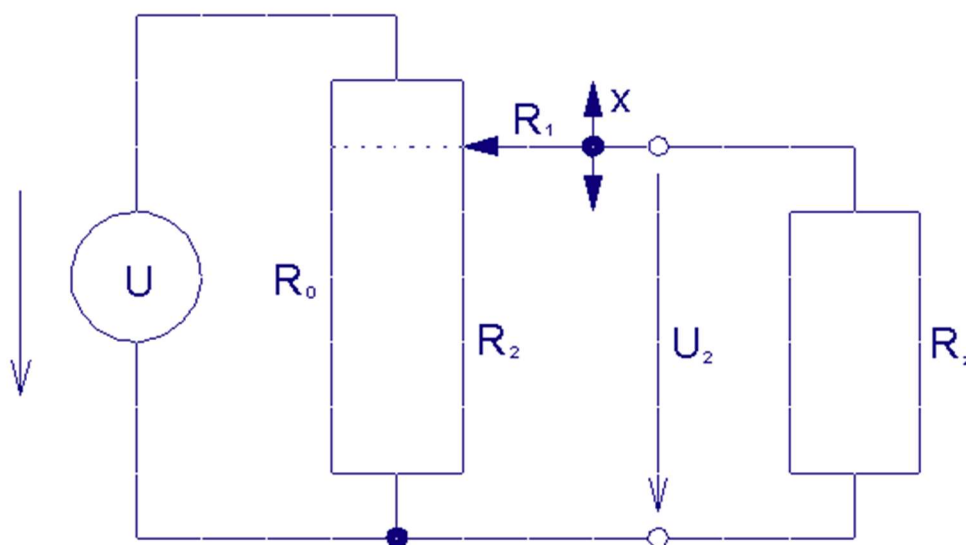
Senzor je napájen zdrojem střídavého napětí, na který je napojena budící cívka (L1). Pole generované budící cívkou je zesíleno jádrem cívky a přenášeno na sekundární cívky (L2 a L3). Jádro cívky je pohyblivé a jeho zakončení je používáno například jako měřící hrot. Při pohybu jádra směrem ven nebo naopak dovnitř se mění velikost napětí indukovaného na sekundárních cívkách. Ty jsou zapojeny anti-sériově, z toho plyne, že Voltmetr odečítá hodnotu rozdílu jejich napětí v závislosti na posuvu jádra cívky. Výhodami tohoto senzoru je spojitě rozlišení, rozlišovací schopnost je omezena zejména čtecím zařízením



pro hodnotu napětí, dále rychlá odezva, která je limitována pouze frekvencí napájecího napětí a vysoká životnost, protože nedochází k tření mezi kontakty měřícího řetězce. Bohužel vysoká frekvence napájecího proudu může při nevhodném odstínění způsobovat rušení dalších elektronických senzorů. [2], [38]

4.5.2 Potenciometrické snímače polohy

Potenciometrické snímače polohy mění při posuvu měřícího členu svůj odpor. Proměnného odporu je z pravidla dosaženo tím, že měřící člen ovládá jezdec proměnného rezistoru. Schéma potenciometrického snímače polohy je zobrazeno na obrázku 15.



Obrázek 15: Schéma potenciometrického snímače polohy [47]

Výstupním signálem potenciometrického snímače polohy je napětí proměnného rezistoru korespondující se změnou polohy. Nejčastěji se využívají proměnné rezistory s lineární charakteristikou, ale existují aplikace, ve kterých se s výhodou používá rezistorů s charakteristikou logaritmickou, exponenciální atd. [2]



5 Akvizice dat a ovládání stavu

Ovládací program zkušebního stanoviště, jehož součástí je i akvizice dat, tvořil autor v programu LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) od firmy National Instruments. Propojení stolního počítače, na kterém je spuštěn ovládací program, se senzory a ovládacími prvky zkušebního stanoviště se realizuje pomocí modulů NI-XXXX kompatibilních s cDAQ (compact data acquisition) šasi (obrázek 16). Jednotlivé moduly jsou zasazeny do šasi. Moduly NI-XXXX jsou v podstatě analog-digitál nebo digitál-digitál převodníky. Existují různé druhy NI-XXXX modulů, které se liší typem zpracovávané veličiny, vzorkovací frekvencí, měřicím rozsahem, počtem vstupů atd. Podle druhu signálu, s kterým modul operuje, je lze rozdělit na analogové a digitální. Analogové moduly pracují se spojitým signálem, jehož hodnota se může měnit v daném rozsahu. Digitální moduly operují s diskrétním signálem, který může nabývat pouze dvou hodnot.



Obrázek 16: CDAQ šasi [48]

5.1 Digitální moduly

Pro zpracovávání ovládání digitálních signálů jsou využity moduly NI-9403, NI-9411, NI-9472, NI-9481. Všechny tyto moduly jsou kompatibilní s cDAQ šasi a byly použity již na původním stanovišti. Vzhledem k počtu volných kanálů a parametrům těchto karet, nebylo potřeba pořizovat nové moduly.



NI-9403 (obrázek 17 vlevo) disponuje celkem 32 kanály pro vstup nebo výstup. Pracovní napětí pro jednotlivé kanály je 5 V. Minimální četnost aktualizace signálu činí 7 μ s. [10]

Modul NI-9411 (obrázek 17 vpravo) je vybaven šesti kanály pro vstup. Operuje s napětími o velikosti 5, 12, 24 V. Minimální četnost aktualizace signálu činí 500 ns. Tato karta se používá zejména k připojení enkodérů. [11]



Obrázek 17: Moduly NI-9403 a NI-9411 [49]

Modul NI-9472 (obrázek 18 vlevo) je osmi kanálový zdroj. Může poskytnout napětí v rozmezí 6 V až 30 V DC. Doba sepnutí je 100 μ s. A modul může poskytnout proud až 750 mA na kanál. K tomuto modulu je zapotřebí připojit externí napájení. [12]

Modul NI-9481 (obrázek 18 vpravo) je čtyř kanálové relé. Může operovat buďto s napětím až 60 V DC při maximálním proudu 1 A nebo s napětím 250 Vrms při maximálním proudu 2 A. Tento modul je vhodný pro spínání motorů, ovládacích prvků a podobných zařízení. [13]



Obrázek 18: Moduly NI-9472 a NI-9481 [50]

5.2 Analogové moduly

Pro zpracování a tvorbu analogových signálů jsou využity moduly NI-9205, NI-9212 a NI-9263. Všechny tyto moduly jsou kompatibilní s cDAQ šasi a byly použity již na původním stanovišti. Vzhledem k počtu volných kanálů a parametrům těchto karet, nebylo potřeba pořizovat nové moduly.

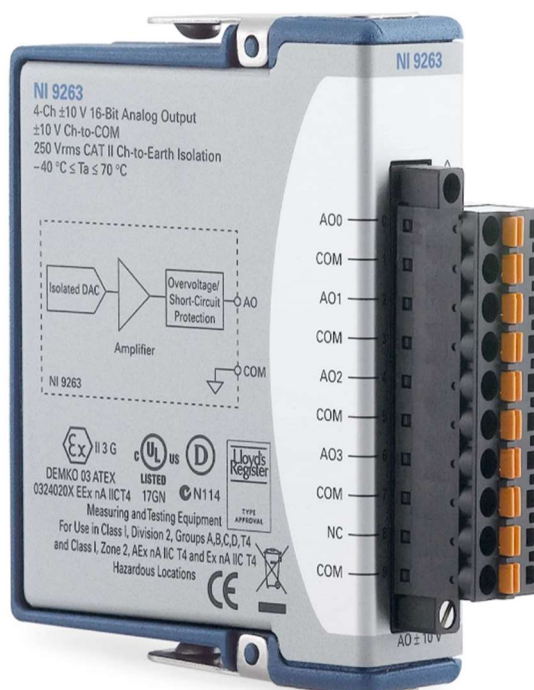
Modul NI-9205 (obrázek 19 vlevo) zpracovává napěťové signály. Operuje s napětím od -10 V do 10 V. V případě single-ended zapojení disponuje 32 kanály s maximální vzorkovací frekvencí 250 kHz. [14]

NI-9212 (obrázek 19 vpravo) je modul vytvořený speciálně pro zpracování signálu z termočlánků. Modul disponuje 8 kanály a vzorkovací frekvence je 95 Hz na kanál. Modul podporuje zapojení všech běžných druhů termočlánků, stačí pouze upravit konfiguraci měření v programu NI MAX. [15]



Obrázek 19: Moduly NI-9205 a NI-9212 [51]

Modul NI-9263 (obrázek 20) slouží k vytvoření analogového signálu v rozsahu napětí od -10 V do 10 V. Perioda změny hodnoty napětí je 10 μ s pro každý kanál. Modul disponuje celkem čtyřmi kanály. [16]



Obrázek 20: Modul NI-9263 [52]



6 Olejový okruh

Olejový okruh má za úkol zabezpečit přívod oleje do zkušební převodovky. Zároveň musí dosáhnout parametrů oleje popsanych v kapitole 6.1.

6.1 Fungování olejového okruhu

Aby bylo možno přiblížit se sériové převodovce v podmínkách mazání, zvolily se parametry, pomocí kterých se budou podmínky regulovat. Vybranými parametry jsou průtok oleje [$\frac{l}{min}$] a teplota oleje [$^{\circ}C$], protože průtok ovlivňuje odvod tepla ze soukolí, mazací podmínky třecí spojky a zubů soukolí, teplota ovlivňuje viskozitu oleje a jeho hustotu. Průtok bude nutné nastavit, jako reference bude použito měření točivého momentu na sériové převodovce. To se bude porovnávat s průběhem točivého momentu naměřeném při řazení ve zkušební převodovce při stejném zátěžném stavu, stejné teplotě a rozdílném průtoku oleje. Teplotu bude možné nastavit v závislosti na simulovaném zátěžném stavu.

V olejové nádrži je žádoucí udržovat stálou teplotu, která bude mírně vyšší než teplota požadovaná. Aby bylo možné rychle dosáhnout teploty vyšší, než je teplota okolí, je nádrž vybavena topným tělesem pro ohřev oleje. Z nádrže putuje olej skrz filtr, kde je zbaven nečistot, do čerpadla, odkud je rozváděn do olejového okruhu. Za čerpadlem se olejový okruh dělí do 4 větví. První větev se vrací přes pojistný ventil zpět do nádrže a zabraňuje tak překročení maximálního povoleného tlaku v olejovém okruhu. Druhá větev vede přes chladič do směšovacího ventilu, kde se spojuje s třetí větví. Míšením druhé a třetí větve se reguluje výsledná teplota oleje na požadovanou hodnotu. Smíšený olej požadované teploty se přivádí do skříně převodovky, odtud samospádem vytéká zpět do nádrže. Čtvrtá větev vede do regulačního ventilu a poté zpět do nádrže. Regulací průtoku ve čtvrté větvi se nastavuje průtok oleje přiváděného do převodovky. Schéma olejového okruhu je přehledně znázorněno na obrázku 11.

6.2 Komponenty olejového okruhu

V následujících podkapitolách jsou popsány jednotlivé komponenty olejového okruhu.



6.2.1 Olejová nádrž

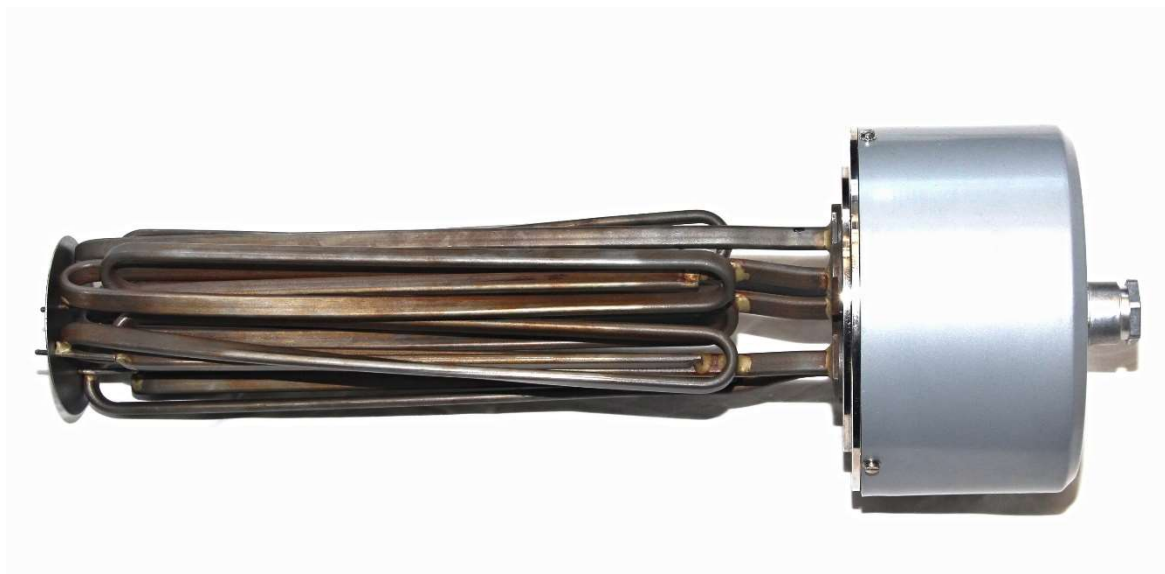
Na uskladnění oleje byla zvolena standardní 25 l nádrž (obrázek 21). Tato nádrž má připravené 3 výstupy s vnějším závitem o rozměru G 1/2. Z pravé strany nádrže je veden vývod do filtru a dále do celého olejového okruhu. Do levé strany nádrže byl připraven prostor pro montáž topného tělesa. Spodní vývod, byl využit pro umístění termočlánku dovnitř olejové nádrže.



Obrázek 21: Olejová nádrž 25 l [53]

6.2.2 Topné těleso

Topné těleso pro ohřev oleje bylo voleno zejména s ohledem na zástavbové rozměry nádrže a také bylo nutné dodržet správně nastavený měrný výkon tělesa. Pro naší aplikaci je vhodné použít těleso s měrným výkonem do $3 \frac{W}{cm^2}$, aby na jeho povrchu nedocházelo k přehřívání oleje nad teplotu karbonizace (300–400 °C v závislosti na použitém oleji). ohledem na výše uvedené bylo vybráno topné těleso ELEKTRON-ETTO 01248002 (obrázek 22).



Obrázek 22: Topné těleso

Jako předpokládaný maximální požadavek na změnu teploty oleje se uvažuje $\theta_{\text{delta max}} = 120 \text{ }^\circ\text{C}$. Objem ohřivaného oleje je $V_n = 25 \text{ l}$. Čas, za který topné těleso zvýší v ideálních podmínkách (neuvažujeme odvod tepla z kapaliny do okolí) teplotu celého objemu V_n o $\theta_{\text{ohřevu}}$, lze určit podle rovnice (9).

$$\frac{V_n \cdot \rho_{\text{oleje}} \cdot c_{\text{oleje}} \cdot \theta_{\text{delta max}}}{P_{\text{topného tělesa}}} = \theta_{\text{ohřevu}} \quad (9)$$

Kde $\rho_{\text{oleje}} = 0,904 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$, $c_{\text{oleje}} = 2000 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$, $P_{\text{topného tělesa}} = 3500 \text{ W}$.

Čas ohřevu oleje $\theta_{\text{ohřevu}} = 1\,550 \text{ s}$, tedy přibližně 26 minut. Čas ohřevu je rozumně dlouhý, proto vybrané topné těleso z tohoto hlediska vyhovuje.

6.2.3 Olejový filtr

Protože při provozu ozubených soukolí dochází k jejich opotřebení, uvolňují se malé kousky kovu přímo do oleje, kterým je ozubení mazáno. Aby se zamezilo nadměrnému opotřebení jednotlivých součástí olejového okruhu, je potřeba olej těchto částic co možná nejlépe zbavit. K tomu slouží standardně používaný olejový filtr. Pro olejový okruh zkušebního stavu byl vybrán filtr RS 512544 (obrázek 23).



Obrázek 23: Olejový filtr [54]

6.2.4 Čerpadlo

Pro čerpání oleje se běžně využívá těchto pět typů čerpadel:

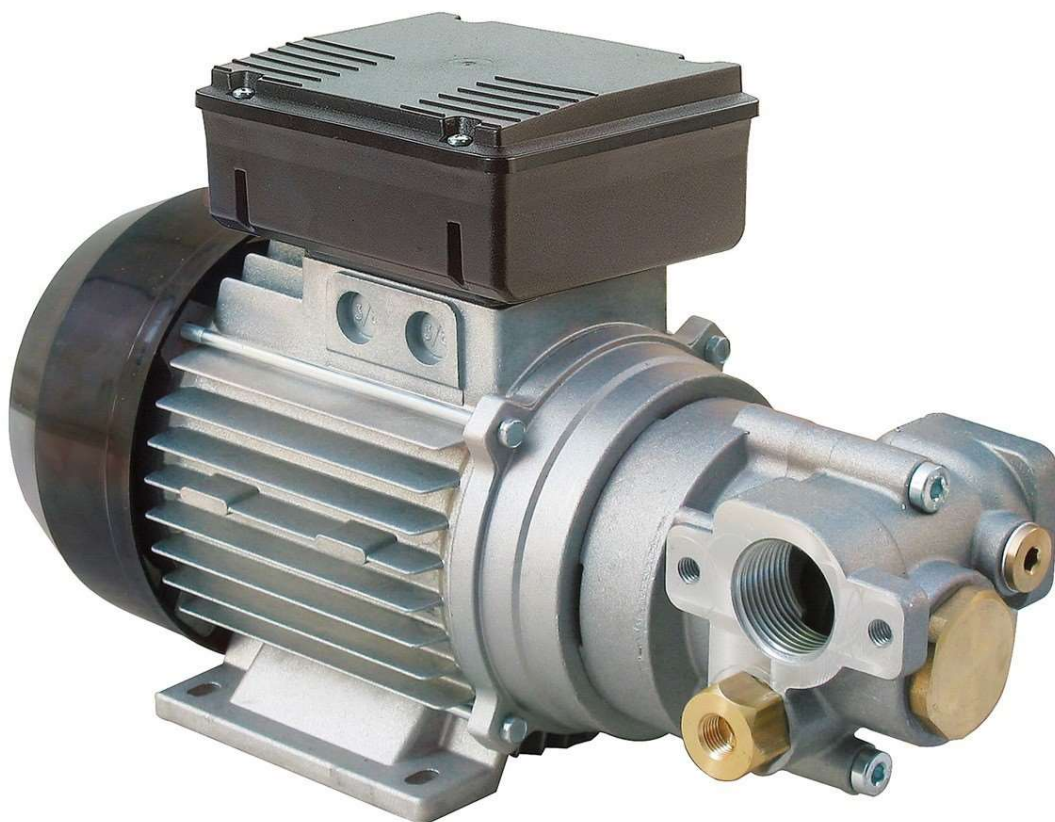
- odstředivá čerpadla
- pístová čerpadla
- excentrická šneková čerpadla
- zubová čerpadla
- membránová čerpadla.

Odstředivá čerpadla využívají k čerpání kapalin odstředivé síly, která je kapalině udělena pomocí rotoru. Využívají se zejména k transportu nízko viskózních kapalin a velkých měrných objemů. Pístová čerpadla čerpají kapalinu pomocí pohybu pístu. Tok kapaliny pak usměrňují dva jednocestné ventily. Tento druh čerpadel musí být vybaven pojistným ventilem, aby nedošlo k jejich zničení v případě ucpání proudu vytlačované kapaliny. Excentrická šneková čerpadla urychlují kapalinu rotačním pohybem šroubu, který kapalinu posouvá od vstupu k výstupu. Excentrická šneková čerpadla najdou využití při přepravě vysoce viskózních kapalin. Tento typ čerpadel musí být ze stejných důvodů jako čerpadla pístová, vybaven pojistným ventilem. Zubová čerpadla transportují kapalinu rotačním pohybem zubového soukolí, které je uložené v těsné skříně. Tato čerpadla jsou



vhodná k transportu nižších až středních objemových průtoků. Musí být ze stejných důvodů jako čerpadla pístová, vybavena pojistným ventilem. Membránová čerpadla fungují obdobně jako čerpadla pístová s tím rozdílem, že prostor čerpané kapaliny a pístu je oddělen membránou, která zamezuje kontaminaci čerpané kapaliny. Tohoto řešení se využívá zejména v potravinářských farmaceutických aplikacích. [39]

Bylo odhadnuto, že dostatečný průtok oleje k mazání zkušební převodovky měl být v rozmezí $0,5 - 10 \frac{l}{min}$. S ohledem na tento předpoklad bylo zvoleno zubové čerpadlo PIUSI VISCOMAT 230/3 400 V (obrázek 24) pracující s maximálním průtokem $14 \frac{l}{min}$ a maximálním provozním tlaku 16 bar. [17]



Obrázek 24: Čerpadlo PIUSI VISCOMAT 230/3 400 V [55]

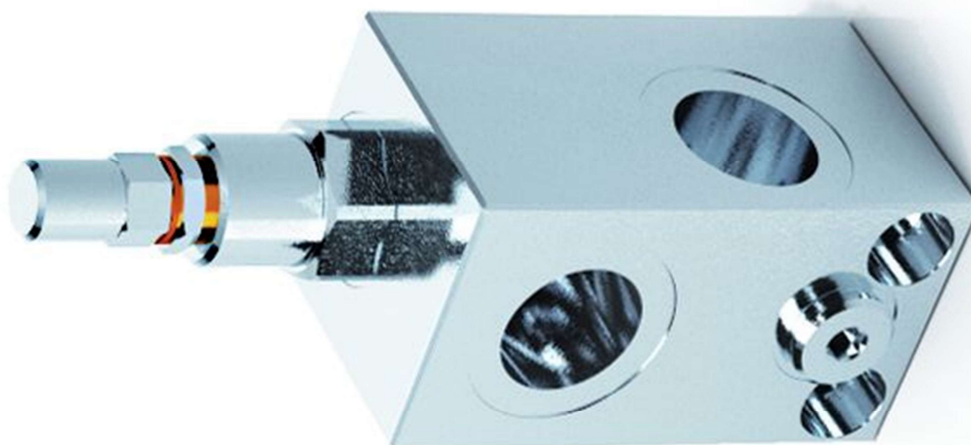
6.2.5 Pojistný ventil

Olejový okruh je poháněn zubovým čerpadlem. U tohoto typu čerpadel je umístění pojistného ventilu nezbytné. Pokud by pojistný ventil nebyl v okruhu umístěn, hrozilo by překročení dovoleného tlaku v olejovém okruhu. Při překročení dovoleného tlaku by hrozilo poškození chladiče, olejového filtru, čerpadla nebo vedení oleje. Uvnitř pojistného ventilu je cesta, která je těsněna pomocí kuličky. Kuličku přitlačuje na těsnící



plochu pružina vhodné tuhosti. Při překročení dovoleného tlaku kapalina přetlačí pružinu a otevře cestu pro svůj průchod. Jakmile se tlak sníží, kulička je vrácena pružinou zpět do původní polohy.

Pojistný ventil je nutné vhodně dimenzovat. Parametry, podle kterých lze pojistný ventil vybrat, jsou maximální dovolený průtok a tlak, při kterém ventil otvírá. Nejvyšší provozní tlak komponent olejového okruhu je 16 bar, ventil musí otvírat při nižší hodnotě, aby nedošlo k poškození některé ze součástí. Maximální průtok, který je čerpadlo schopné dodat, je $14 \frac{l}{min}$. Byl vybrán regulovatelný ventil VMP V0710/180 (obrázek 25). Jeho minimální otvírací tlak je 10 bar a maximální povolený průtok až $70 \frac{l}{min}$. Splňuje tak obě kritéria výběru.



Obrázek 25: Pojistný ventil VMP V0710/180 [56]

6.2.6 Chladič

V nádrži je olej ohříván na teplotu vyšší, než je teplota požadovaná na vstupu do převodovky. Finální regulace teploty oleje v okruhu se dosahuje míšením oleje přiváděného přímo z nádrže a oleje ochlazeného pod požadovanou teplotu. Ochlazení probíhá v chladiči kapalina-vzduch. Na stanovišti je použit chladič RS Pro 862-5635 s ventilátorem (obrázek 26). Maximální povolený tlak kapaliny v chladiči je 16 bar, maximální možný průtok $100 \frac{l}{min}$ a průtok vzduchu při zapnutém ventilátoru až $600 \frac{m^3}{h}$.



Obrázek 26: Chladič oleje RS Pro 862-5635 [57]

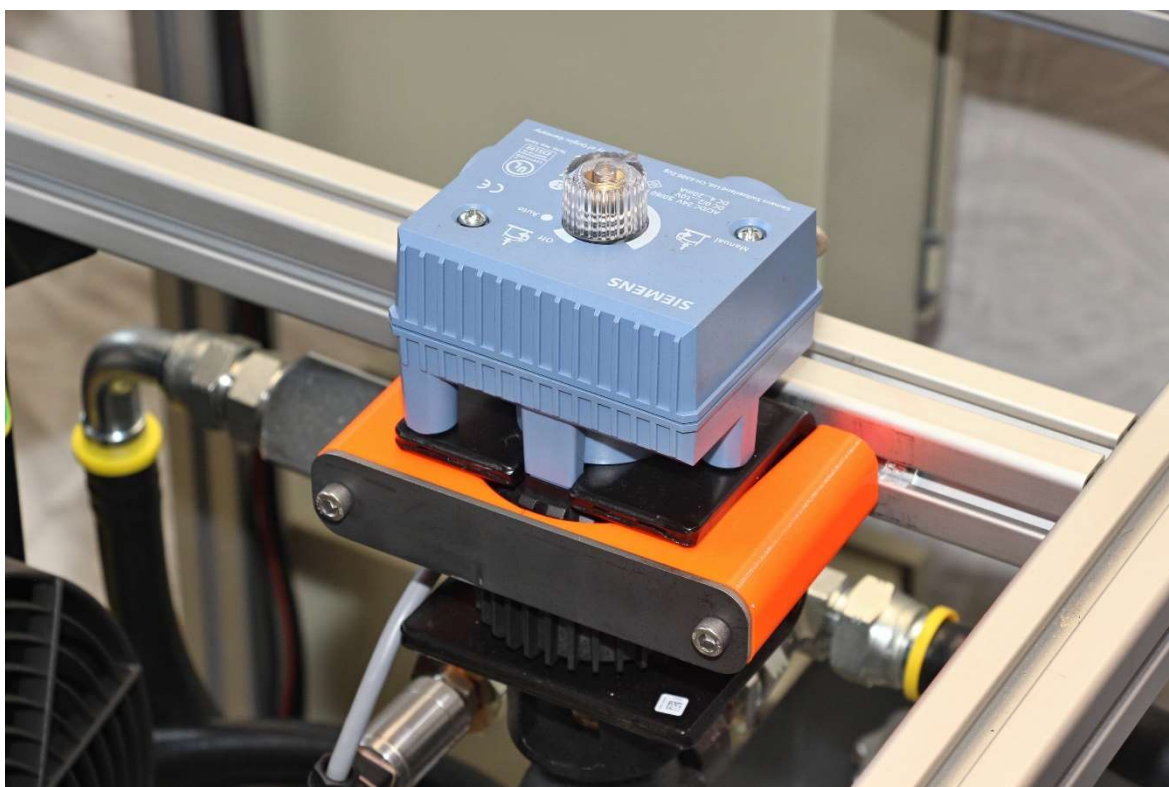
6.2.7 Směšovací ventil

Při průtoku olejovým okruhem olej předává teplo do okolí. Aby bylo možné regulovat teplotu na vstupu do převodovky přesněji, je olej v nádrži ohříván na teplotu mírně vyšší, než je teplota požadovaná. Finální regulaci teploty provádí směšovací ventil míšením chladnějšího oleje přiváděného z chladiče a teplejšího přiváděného z nádrže. Směšovací ventil byl vybrán podle maximálního průtoku olejovým okruhem. Použit byl ventil SIEMENS MXG 461.15-0.6p (obrázek 27).

Směšovací ventil je určen pro montáž přímo na příruby. Vzhledem k tomu, že olejový okruh je propojen flexibilními hadicemi, je nutné navrhnout přípravek k jeho upevnění. Stůl na uchycení olejového okruhu je navržen z profilů ITEM 40x40. Za tímto účelem byl navrhnout držák vhodný k výrobě pomocí 3D tisku z PETG (obrázek 28).



Obrázek 27: SIEMENS MXG 461.15-0.6p [58]

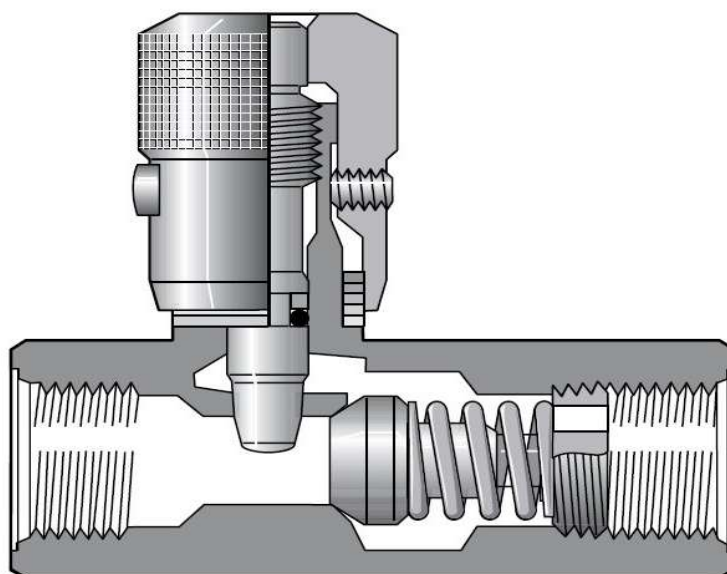


Obrázek 28: Uchycení směšovacího ventilu



6.2.8 Redukční ventil

Množství oleje přiváděné do převodovky bude ovlivňovat mazání zkušebního soukolí a zkoušené řadicí spojky. Olej bude také odvádět ze soukolí a spojky teplo. Zubové čerpadlo přivádí do okruhu konstantní množství oleje, pokud by se průtok do převodovky omezoval škrcením větve vedoucí mezi směšovacím ventilem a převodovkou, docházelo by k nárůstu tlaku až do bodu, kde dojde k otevření pojistného ventilu. Tlak v olejovém okruhu by prudce klesl a celý proces by se opakoval, což by způsobilo tlakové pulzace, které by ovlivňovaly množství oleje přiváděného do převodovky. Aby se zamezilo vzniku pulzací vlivem otevírání a zavírání pojistného ventilu, je vhodnější umístit regulační orgán na zvláštní větev, která povede mezi čerpadlem a nádrží. Při plném zprůchodnění této větve bude přívod oleje do převodovky minimální, v opačném případě naopak maximální. Vhodným nastavením regulačního členu bude nastaven požadovaný přívod oleje. Pro účel regulace lze využít proporcionální škrtící ventil. S ohledem na regulovaný průtok byl zvolen ventil Parker 9F1200SF, řez ventilem lze vidět na obrázku 29.



Obrázek 29: Redukční ventil Parker 9F1200SF [59]

6.2.9 Stolice olejového okruhu

Stanoviště na zkoušení řadicích spojek bude možno používat po drobných modifikacích buďto v původní nebo nové konfiguraci. Kolem stanoviště není dostatek místa, proto je potřeba, aby šlo vyměnit řadicí robot (stará konfigurace) za olejový okruh (nová



konfigurace). Z tohoto důvodu byla navržena pojízdná stolice olejového okruhu z profilů ITEM 40x40. Na rám této stolice jsou upevněny všechny výše uvedené komponenty a dvě elektroinstalační rozvodné skříně. Olejový okruh lze po odpojení od zbytku stanoviště na stoličce v případě potřeby přesouvat. Propojení olejové cesty je řešeno pomocí systému Push-Lok od firmy Parker. Kompletně sestavený olejový okruh lze vidět na obrázku 30.



Obrázek 30: Olejový okruh



7 Zkušební převodovka

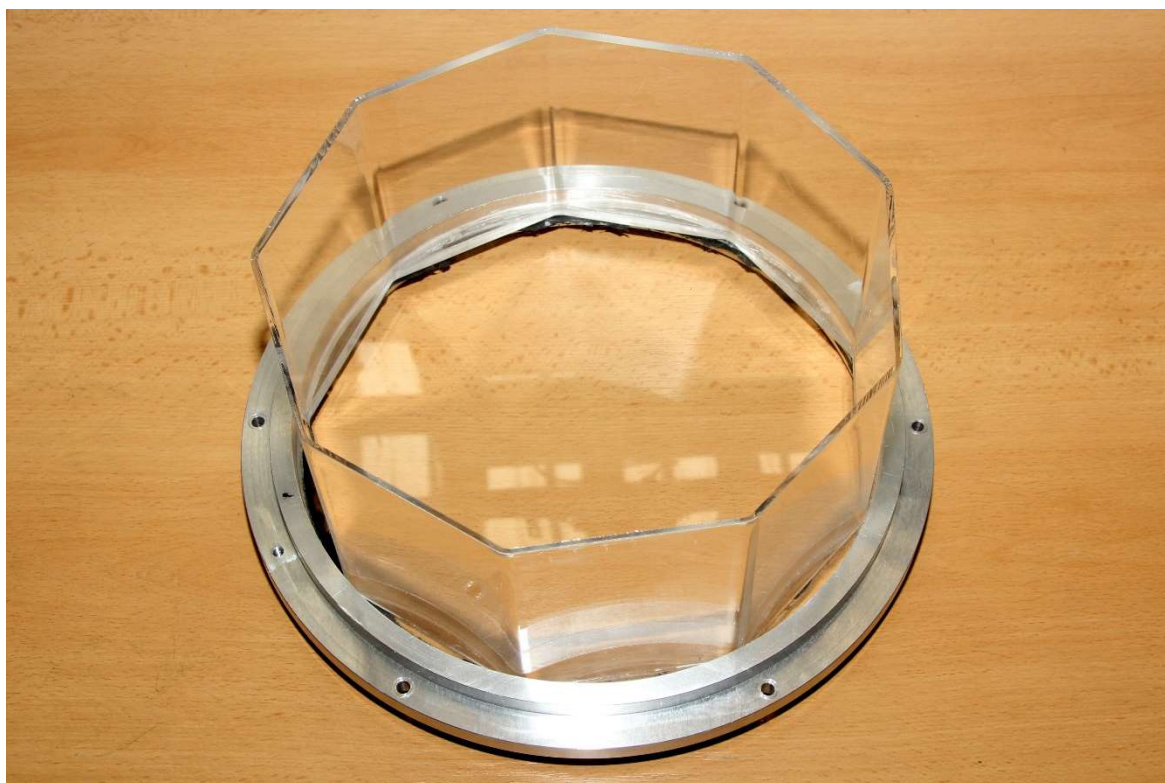
Návrh nové zkušební převodovky pro zkoušení řadicích spojek vznikl v rámci diplomové práce Ing. Jana Hoblíka v roce 2017. Podoba skříně je detailněji popsána v kapitole 3.2. Na základě podkladů Ing. Hoblíka byla zkušební převodovka později vyrobena. Převodovka nebyla až do vzniku této práce osazena měřícím zařízením a nebyla ani vyzkoušena její funkčnost.

7.1 Stav převodovky před dokončením

Převodovka byla po mechanické stránce téměř kompletně hotová. Chyběl vyřešit uchycení senzoru otáček, senzoru polohy a řadicí vidličku. Návrhem řadicí vidličky se zabývá v rámci své bakalářské práce Tomáš Bláža. Původní návrh také nezohledňoval potřebu zvýšení setrvačných hmot na vstupu do převodovky. Podle originálního návrhu se také nepodařilo vyrobit plexisklový kryt převodovky. To je, co se týče mechanických součástí, vše.

7.2 Víko zkušební převodovky

Víko zkušební převodovky se sestává z hliníkové obruče, těsnícího o-kroužku a plexisklového krytu. Hliníková obruč byla vyrobena podle původního návrhu. Plexisklový kryt měl být vyroben z trubky o průměru 260 mm a kruhu vyříznutého z desky, který by byl do trubky vlepen. Bohužel průměr 260 mm není ve standardní řadě, zakázková výroba nestandardního rozměru trubky byla příliš drahá a vzhledem k velikosti průměru nebylo technologicky možné svinout trubku z desky při dodržení požadovaných tolerancí rozměru a tvaru. Byl vytvořen nový návrh víka převodovky, který splňoval požadavky na vyrobitelnost. Nový kryt se skládá ze tří vzájemně slepených částí. Límeč a přední stěna víka byla vyříznuta z desky. Mezi ně byl vlepen hlavní díl šestiúhelníkového průřezu, vytvořený ohnutím desky. Nový kryt byl vlepen do hliníkové příruby a dotěsněn pomocí silikonového tmelu. Nové víko převodovky lze vidět na obrázku 31.



Obrázek 31: Víko převodovky

7.3 Setrvačnick

Z důvodů popsaných v kapitole 3.2 je potřeba převodovku dovybavit setrvačnickem (obrázek 32), který by kompenzoval nižší moment setrvačnosti synchronizované primární hmoty převodovky (moment setrvačnosti chybějících soukolí, talíře rozjezdové spojky a rozdílný setrvačný moment vstupního hřídele). Pro rámcový návrh setrvačnicku se vycházelo z porovnání setrvačných hmot zkušební převodovky oproti sériové převodovce MQ 200 PSU. Pokud se do zkušební převodovky instaluje prostřední setrvačnick, odpovídá moment setrvačnosti synchronizovaných hmot zkušební převodovky momentu setrvačnosti synchronizovaných hmot převodovky MQ 200 PSU. Hlavním omezením při návrhu setrvačnicku byly malé zástavbové rozměry, podle tohoto omezení byl navrhnut největší prstenec setrvačnicku.



Obrázek 32: Prstence setrvačníku



8 Sensorika zkušebního stavu

Nedílnou součástí zkušebního stavu jsou senzory používané pro akvizici dat experimentu a senzory použité pro určení provozního stavu stanoviště. Princip fungování jednotlivých sensorů je blíže popsán v kapitole 4.

8.1 Měření teploty

Pro měření teploty byla vybrána čtyři místa. Vzhledem k tomu, že na stanovišti probíhají i životnostní zkoušky, jejichž délka se pohybuje v řádech týdnů, je zapotřebí kontrolovat bezpečnost celého stavu. Z tohoto důvodu je vhodné preventivně kontrolovat teplotu ložisek nesoucích hřídel s velkým setrvačником. Zvýšená teplota ložisek indikuje jejich zadírání, což by mohlo vést k jejich selhání a následnému poškození celého stanoviště. Z bezpečnostních důvodů je snímána také teplota hlavního elektromotoru. Další senzor teploty je umístěn v olejové nádrži. Podle teploty oleje v nádrži se řídí spínání topného tělesa. Poslední teplotní senzor je umístěn za směšovací ventilem a zaznamenává teplotu oleje přiváděného do převodovky. Pro měření teploty na zkušebním stanovišti byly vybrány termočlánky typu J (obrázek 33). Jednotlivé termočlánky jsou zapojeny do kanálů modulu NI-9212. Vzorkovací frekvence byla nastavena na 10 Hz.



Obrázek 33: Termočlánek typu J [60]



8.2 Měření tlaku

Tlak je snímán pouze ve větvi olejového okruhu vedoucí do převodovky. Měřený tlak slouží k nastavení požadovaného průtoku. Pro měření relativního tlaku je použit piezo-rezistivní senzor RS 797-4992 (obrázek 34). Tento senzor je napájen 10 V DC a výstupní signál se pohybuje v rozmezí 0 až 100 mV DC. Senzor je určený pro rozsah tlaků 0 až 10 bar. Signál je zpracován modulem NI-9205.



Obrázek 34: Senzor tlaku RS 797-4992 [61]

8.3 Měření otáček

Měření otáček na zkušebním stavu probíhá na třech místech. První senzor je umístěn na hřídeli za klínovým řemenem. Otáčky snímané tímto senzorem se využívají jak k přesnému určení rychlosti otáčení vstupního hřídele, tak ke kontrole prokluzu řemene. Pokud řemen začne prokluzovat, odchýlí se hodnota otáček měřených tímto senzorem od hodnoty, kterou udržuje motor pohánějící stav. Druhý senzor je umístěn mezi zkušební převodovkou a pojistnou spojkou. Pokud dojde k překročení kapacity pojistné spojky začnou se otáčky druhého a prvního senzoru lišit a dojde k zastavení stavu řídicím programem. Třetí snímač otáček je umístěn na vstupním hřídeli převodovky. Otáčky vstupního hřídele jsou nezbytné pro vyhodnocování průběhu řazení. Dále jsou také použity



jako parametr pro ovládání motoru a elektromagnetické spojky. Signál ze všech senzorů je zpracován modulem NI-9411.

Otáčky jsou měřeny pomocí dvou druhů senzorů. První z nich je PMIS4-20-50 (obrázek 35), jedná se o magnetický indukční senzor. Magnetický kroužek nese celkem 64 značek, každá značka je senzorem rozdělena na 50 dílů. Jedna otáčka hřídele vygeneruje na výstupu senzoru obdélníkovou vlnu obsahující 3200 period. Díky poměrně velkému počtu značek je možné zaznamenávat rychlou změnu otáček během řazení. Pomocí tohoto senzoru se snímají otáčky vstupního hřídele zkušební převodovky a otáčky hřídele hlavního setrvačníku.

Druhé měření otáček je realizováno pomocí příruby Kistler 4551A (obrázek 36) popsané v kapitole 8.4, která zároveň slouží k snímání momentu řazení.



Obrázek 35: Senzor otáček PMIS4-20-50 [62]

8.4 Měření momentu

Moment je měřen pomocí tenzometrické příruby Kistler 4551A (obrázek 36) umístěné mezi výstupním hřídelem převodovky a pojistnou spojkou. Pojistná spojka má za úkol také chránit tenzometrickou přírubu před přetížením. Výhodou této tenzometrické příruby je



integrovaný čítač otáček, díky tomu může být použita nejen pro měření momentu, ale také pro snímání otáček výstupního hřídele převodovky. Přírubu napájí zdroj 24 V DC. Velikost momentu během řazení je důležitá pro popis zkoušené řadicí spojky. Napěťový signál generovaný přírubou se pohybuje v rozsahu -10 až 10 V DC a odpovídá měřenému momentu v rozsahu 0 až 500 Nm. Signál zpracovává modul NI-9205. Signál generovaný čítačem otáček umístěným v tenzometrické přírubě generuje obdélníkovou vlnu. Jedné otáčky hřídele přitom odpovídá 8 192 značek a limit snímaných otáček $3660 \frac{1}{min}$. Signál je zpracováván modulem NI-9411.



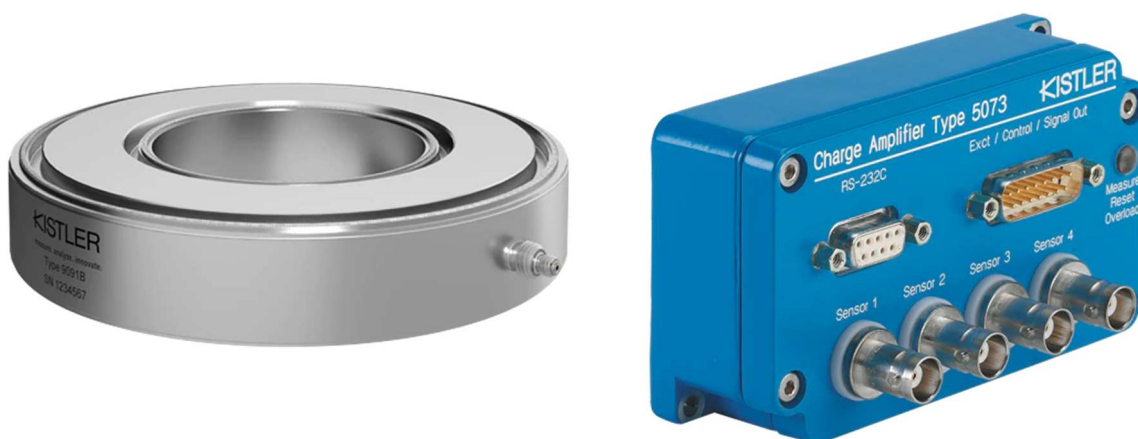
Obrázek 36: Příruba Kistler 4551A [63]

8.5 Měření axiální řadicí síly

Pro měření axiální síly byl již v původním návrhu vybrán piezoelektrický senzor Kistler 9106a (obrázek 37 vlevo). Tento senzor je určen pro měření sil v rozsahu 0-300 kN, přičemž jeho citlivost je $4,3 \pm 0,2$ pC/N. Vzhledem k tomu, že laboratorní stanoviště nedisponuje kartou pro odečet náboje generovaného piezoelektrickým senzorem, bylo nutné výstupní signál upravit pomocí převodníku Kistler 5073A (obrázek 37 vpravo). Výstupem z převodníku je napětí v rozsahu -10 až 10 V DC. Toto napětí je měřeno pomocí modulu NI-9205. Převodník má zároveň nastavitelný rozsah měření, je tedy možné nakonfigurovat, jakému rozsahu sil bude výstupní napětí odpovídat. Očekávaná maximální axiální síla řazení by neměla přesahovat 650 N, to ale nezohledňuje dynamické síly vznikající při řazení.



Vzhledem k působení dynamických sil bylo nutné zvětšit měřený rozsah na 1,5 kN. Tato rezerva pokrývá jak působení dynamických sil, tak axiální sílu vznikající v šikmém ozubení převodu. Je důležité použít pro nastavení rozsahu určitou rezervu, aby nedošlo k přetížení převodníku, což by mohlo vést k jeho poškození. Rozsah může být postupně po větším počtu měření snížen, pokud se ukáže zvolená rezerva jako zbytečně vysoká, aby došlo ke zpřesnění výsledků měření.



Obrázek 37: Kistler 9106a a Kistler 5073A [64]

8.6 Měření posunutí řadicí vidličky

Aby bylo možné mapovat posuv řadicí vidličky, je v zadní stěně převodovky nainstalován LVDT senzor Solartron Metrology 926229 (obrázek 38 vlevo). Rozsah měření tohoto senzoru je 25 mm. Senzor se měřícím koncem opírá o řadicí vidličku, ke které je přitlačován pružinkou. Tento senzor vyžaduje k napájení střídavé napětí o frekvenci 5 kHz a výstupní signál je rovněž o této frekvenci. Pro zprovoznění tohoto senzoru bylo nutné použít převodník výstupního napětí a zdroj vstupního napětí. Tyto funkce zabezpečuje převodník pro úpravu signálů Solartron Metrology DRC (obrázek 38 vpravo). Převodník je napájen 24 V DC a výstupní signál ze senzoru převádí na napětí -10 V až 10 V. Výstupní napětí převodníku odpovídá aktuální poloze snímače polohy.



Obrázek 38: Solartron Metrology 926229 a Solartron Metrology DRC [65]

8.7 Kontrola zařazení

V průběhu zkoušky je nutné detekovat stav řazení. K tomu slouží senzory přiblížení Festo SMT-8M-A-NS-24V-E-2,5-OE (obrázek 39) umístěné v drážkách pneumatického válce ovládajícího řazení. O detekci každé polohy (zařazeno nebo vyřazeno) se stará jedno čidlo. Čidlo je napájeno 24 V DC a v případě, že se k němu přiblíží píst pneumatického válce, sepne okruh, který přivede toto napětí do modulu NI 9412, ke kterému je čidlo připojeno. V tomto případě je výstupem pouze digitální signál, nikoli přesná poloha pístu.



Obrázek 39: Festo SMT-8M-A-NS-24V-E-2,5-OE [66]

8.8 Nastavení senzorů

Pro senzory teploty byla provedena kalibrace při 0 a 100 °C. Na 0 °C byly senzory kalibrovány v nádobě s tajícím ledem, pro 100 °C v nádobě s vroucí vodou. Jedná se pouze o základní kalibraci a pokud by se zvýšily nároky na přesnost měření, bylo by nutné senzory zkalibrovat ve více bodech pomocí přístroje pro kalibraci teplotních senzorů.



Snímač tlaku RS 797-4992 je zkalibrován přímo od výrobce, který dodává spolu se senzorem i kalibrační list. Není proto nutné senzor znovu kalibrovat. Rozsah měřeného výstupního napětí byl nastaven na 0 až 100 mV, což odpovídá relativnímu tlaku 0 až 10 bar.

Při nastavování senzorů otáček se nejprve prováděla kontrola počtu sejmutých náběžných hran signálu generovaného senzory. Poté co počet sejmutých značek za jednu otáčku odpovídal počtu značek, které by senzor měl během jedné otáčky sejmut, se přistoupilo k měření frekvence a jejímu přepočtu na otáčky za minutu.

Kalibrace měření momentu se prováděla pomocí závaží umístěného na 1 m dlouhé páce. Ta byla uchycena k hřídeli, na němž je moment snímán a nastavena do vodov. Na páku se postupně zavěšovalo závaží o váze 5 kg. Senzor byl tímto způsobem zkalibrován v rozsahu 0 až 294 Nm.

Senzor síly se kalibroval pomocí závaží v rozsahu 0 až 1962 N. Kalibrace se prováděla nastavením převodníku Kistler 5073A. K převodníku se lze připojit pomocí počítače přes rozhraní RS-232 a v programu Manuware dodávaného výrobcem snímače upravovat jeho nastavení. Senzor se položil na rovnou plochu a postupně se na něj pokládaly kalibrační závaží o hmotnosti 20 kg. Každé přidané závaží odpovídá jednomu kalibračnímu bodu.

Pro správné měření polohy pomocí LVDT senzoru bylo nutné nastavit konfiguraci převodníku DRC. Nejprve se vyřadil z činnosti výstup senzoru a byl nakonfigurován pouze převodník tak, aby výstupní napětí bylo 0 V. Poté se znovu připojil senzor a převodník se nastavil tak, aby výstupní napětí v krajních polohách senzoru bylo -10 a 10 V. Po výše popsaném nastavení odpovídá rozsah měřený senzorem (25 mm) výstupnímu napětí převodníku -10 až 10 V.

Senzory pro detekování stavu řazení bylo zapotřebí umístit na vhodná místa, aby jejich výstup odpovídal požadovanému stavu řazení. Senzor signalizace zařazení byl umístěn do polohy, do které se dostane píst pneumatického válce ovládajícího řadící vidličku teprve v okamžiku, kdy je řazení dokončeno. Senzor vyřazení bylo nutné umístit tak, aby detekoval pouze stav, kdy je řadící objímka v neutrální poloze.



9 Ovládací prvky zkušebního stavu

Ovládání jednotlivých činností zkušebního stavu je automatizováno. To umožňuje provádění dlouhodobých testů a přispívá k opakovatelnosti jednotlivých zkoušek. Ovládací prvky zkušebního stavu se dají rozdělit do funkčních celků. Jedná se o komponenty zabezpečující řízení teploty oleje, ovládání řazení, řízení otáček vstupního a výstupního hřídele a v poslední řadě o bezpečnostní prvky stavu.

9.1 Regulace teploty v oleje

Regulace teploty oleje přiváděného do převodovky je důležitá pro dosažení konzistentních mazacích podmínek při provádění různých měření. O ohřev oleje se stará topná spirála (obrázek 20) umístěná v olejové nádrži.

Na spínání topné spirály bylo zvoleno relé SIEMENS 3RF2 AC 51 (obrázek 40). Relé spíná tři kontakty s maximálním proudem 20 A a maximálním napětím 600 V. Ovládací napětí relé se musí pohybovat v rozmezí 4-30 V DC. Ovládání topné spirály má na starosti kontrolní program, který prostřednictvím modulu NI-9472 relé spíná.



Obrázek 40: SIEMENS 3RF2 AC 51 [67]

Finální regulace teploty pak probíhá nastavením směšovacího ventilu (obrázek 27), který mísí teplejší a studenější olejovou větev. Nastavení ventilu probíhá pomocí PID regulátoru, který kontroluje řídicí napětí ventilu. Ovládací napětí generováno modulem NI-9263.



9.2 Regulace průtoku v olejovém okruhu

Hrubé nastavení průtoku proběhne instalací olejové trysky o příslušném průměru do zkušební převodovky. Průtok oleje se reguluje manuálním nastavením redukčního ventilu. Výběr tohoto ventilu je popsán v kapitole 6.2.8. Ventil udržuje konstantní odtok oleje zpět do zásobní nádrže, průtok oleje zůstává tedy po celou dobu zkoušky přibližně stejný. Pro kontrolu stálosti průtoku slouží snímání tlaku oleje umístěné před vstupem do převodovky.

9.3 Ovládací prvky řazení

Poloha řadicí spojky je ovládána posuvem řadicí vidličky. Řadicí vidlička je pevně spojena s pístnicí pneumatického válce. Přívod vzduchu do pneumatického válce řídí elektronicky ovládaný 5/3 ventil.

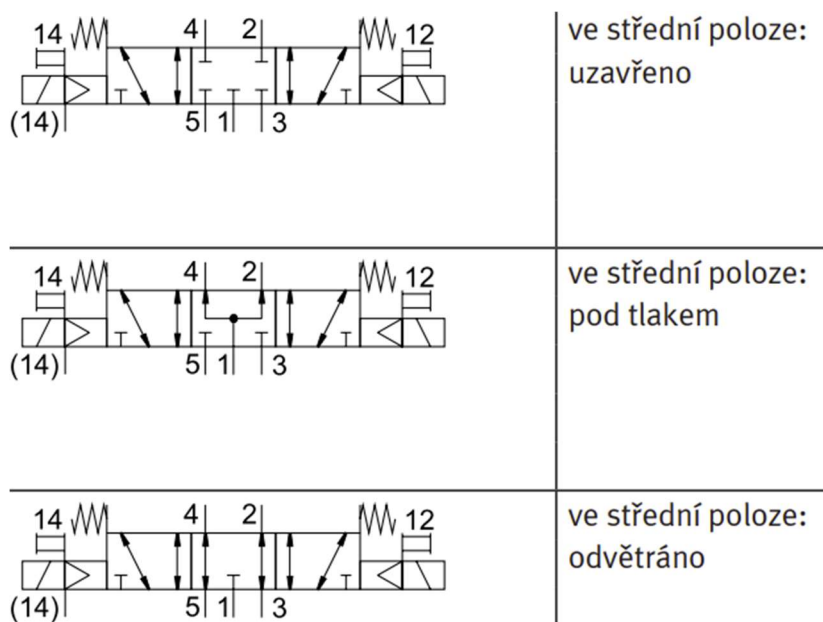
Síla, kterou musí pneumatický válec při řazení vyvodit, byla určena z předchozích testů prováděných na původním stanovišti. Zde se řadicí síla pohybovala do 700 N, takže válec, použitý na novém stanovišti, by měl pracovat přibližně ve stejném rozsahu sil. Dalším požadavkem pro výběr byl zdvih válce, jehož velikost by měla odpovídat dráze, o kterou se posouvá řadicí vidlička při řazení. Posledním kritériem výběru byly zástavbové rozměry válce. Na základě výše zmíněných požadavků byl vybrán pneumatický válec Festo ADN ADN-32-30-A-P-A (obrázek 41). Zdvih válce je 32 mm, maximální pracovní tlak 10 bar. Maximálnímu tlaku odpovídá řadicí síla 692 N.



Obrázek 41: Festo ADN-32-30-A-P-A [68]



Výběr 5/3 ventilu se odvíjí od výběru pneumatického válce. Maximální pracovní tlak by měl být stejný nebo vyšší než u pneumatického válce, aby bylo možné využít válec v celém pracovním spektru. Dále je nutné zvolit jednu ze tří základních konfigurací 5/3 ventilu. Jednotlivé konfigurace se od sebe liší podle propojení cest ve střední pozici ventilu (obrázek 42).



Obrázek 42: Konfigurace 5/3 ventilu [69]

Pro ovládání řadicí vidličky se jeví jako vhodná varianta, která je ve střední poloze odvětrávána. Díky odvětrání bude docházet po zařazení k odblokování řadicí vidličky, kterou by měla po zařazení nebo vyřazení ve správné poloze držet pouze řadicí spojka. Výše zmíněné požadavky splňuje ventil Festo VSVA-B-P53E-ZH-A2-1C1 (obrázek 43 vpravo), který byl na stanovišti použit. Ovládací napětí tohoto ventilu je 24 V DC. Je spínán modulem NI-9472.

Poslední částí potřebnou pro regulaci řadicí síly je proporcionální ventil, který nastavuje tlak přiváděný do pneumatického válce. Za tímto účelem byl použit proporcionální ventil Festo VPPE-3-1-1/8-10-010-E1 (obrázek 43 vlevo), který se využíval k regulování tlaku vzduchu přiváděného do řadicího robota na původním stanovišti. Rozsah regulace tohoto ventilu je 0–10 Bar, řídicí napětí 0–10 V DC a napájecí napětí 24 V DC.



Obrázek 43: Festo VPPE-3-1-1/8-10-010-E1 a Festo VSVA-B-P53E-ZH-A2-1C1 [70]

9.4 Nastavení otáček vstupního hřídele převodovky

Vstupní hřídel pohání elektromotor SIEMENS SIMOTICS S1FT7-5AK70 (obrázek 44). Díky tomu, že je elektromotor od vstupní hřídele převodovky oddělen elektromagnetickou spojkou, lze vstupní hřídel převodovky nejprve roztočit na požadované otáčky a následně ho odpojit od elektromotoru. Tím je zajištěno, že elektromotor nenaruší průběh řazení. Použitá elektromagnetická spojka má nízkou nominální hodnotu přenášeného momentu (30 Nm), proto je nutné před jejím opětovným sepnutím provést synchronizaci otáček elektromotoru s otáčkami vstupního hřídele převodovky, aby nedošlo k jejímu přetížení, což by mohlo vést k poškození spojky.



Obrázek 44: SIEMENS SIMOTICS S1FT7-5AK70 [71]

Parametry elektromotoru jsou shrnuty v tabulce 2. Motor řídí frekvenční měnič. Komunikace mezi elektromotorem a řídicím programem probíhá pomocí protokolu Profinet. Elektromagnetická spojka SFM VAR 00 může přenášet moment až do hodnoty 30 Nm, napájena je napětím 24 V DC. Spojka potřebuje ke své funkci proud 1 A, proto je možné spínat ji pomocí relé modulu NI-9481.

Nominální otáčky	6 000 ot./min
Počet pólů	10
Nominální moment	3,3 Nm
Optimální otáčky	5 500 ot./min
Optimální výkon	2,1 kW
Maximální otáčky	9 000 ot./min

Tabulka 2: Parametry motoru SIEMENS SIMOTICS S1FT7-5AK70 [31]



9.5 Nastavení otáček výstupního hřídele převodovky

Vstupní hřídel se setrvačником uvádí do pohybu elektromotor SIEMENS SIMOTICS GP 1AV2164A (obrázek 45). Tento motor byl zachován z původní podoby stanoviště. Základní parametry motoru shrnuje tabulka 3. Motor je k hřídeli setrvačnicku připojen pomocí řemenového převodu, jehož hodnota je 1,38. Na hřídeli setrvačnicku je umístěn snímač otáček, pomocí kterého se kontroluje, jestli nedochází k prokluzu řemene. Další snímač otáček se nachází za pojistnou spojkou. Tento senzor je umístěn na hřídeli, která je pevně spojena s výstupním hřídelem převodovky a je tedy využitý k určení jejich otáček. Protože se tento motor používal na předcházejícím stanovišti, mohla být komunikace mezi elektromotorem a ovládacím programem převzata z předchozí verze programu. Komunikace je realizována podle standardu OPC (Open Platform Communication). Motor si po dobu řazení udržuje konstantní otáčky, což zajišťuje i dosažení konstantních otáček výstupního hřídele převodovky.



Obrázek 45: SIEMENS SIMOTICS GP 1AV2164A [72]



Nominální otáčky	2 955 ot./min
Počet pólů	2
Nominální moment	48,5 Nm
Optimální otáčky	2 000 ot./min
Optimální výkon	18,5 kW
Maximální otáčky	4500 ot./min

Tabulka 3: Základní parametry motoru SIEMENS SIMOTICS GP 1AV2164A [32]

9.6 Bezpečnostní prvky stavu

V případě poruchy je nutné, aby mohla obsluha zastavit celý zkušební stav. K tomuto účelu slouží hříbkové tlačítko nouzového zastavení (obrázek 46). Při stisknutí tlačítka dojde k propojení elektrické dráhy, která přivede napětí do digitálního modulu. Řídící program tento signál interpretuje jako pokyn pro nouzové zastavení. Nejprve je vypnuta elektromagnetická synchronizační spojka, poté je vydán příkaz k zastavení obou elektromotorů. Současně s příkazem pro zastavení elektromotorů se v případě nouzového zastavení aktivuje i nouzová brzda. Ta má za úkol zastavit setrvačnický výstupní hřídele. V poslední řadě dojde k odstavení čerpadla, topné spirály a ventilátoru na olejovém okruhu. Kompletní odstavení stavu při roztočení obou hřídelí na maximální otáčky proběhne maximálně během pěti sekund. Ekvivalent hříbkového tlačítka se nachází i v řídicím programu, takže lze stanoviště nouzově zastavit i při vzdáleném přístupu. Logiku fungování normálního a nouzového zastavení stavu obstarává řídicí program, kterému bude věnováno více pozornosti v kapitole 10.



Obrázek 46: Hříbkové tlačítko nouzového zastavení [73]



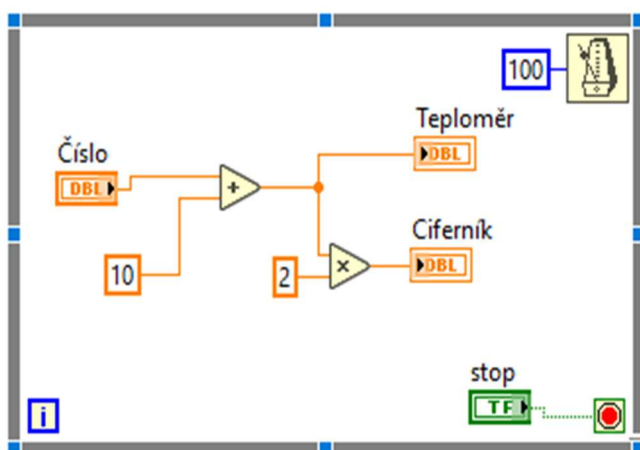
10 Program ovládání stanoviště pro zkoušení řadicích spojek

Dílčím úkolem této práce bylo vytvořit ovládací program pro ovládání stanoviště na zkoušení řadicích spojek. Program je vytvořen v prostředí LabVIEW od firmy National Instruments. LabVIEW je nástroj sloužící k objektovému programování. Jméno grafického programovacího jazyku, který LabVIEW používá je „G“. Program LabVIEW byl zvolen k tvorbě ovládacího programu, protože podporuje spolupráci s moduly NI-XXXX, které jsou používány k řízení a akvizici dat.

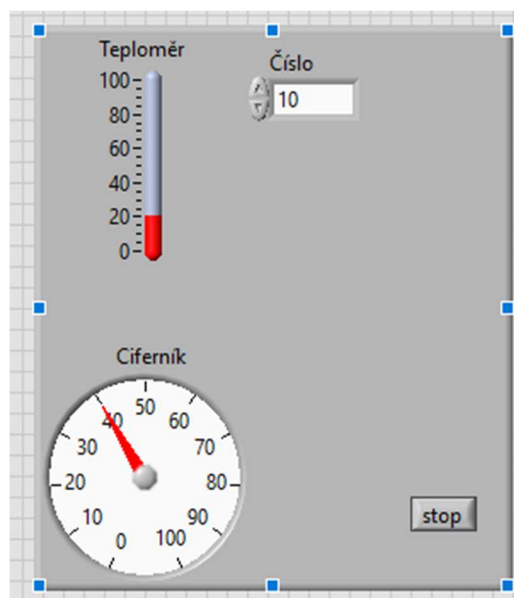
10.1 LabVIEW – základní pojmy

Tato část se nejprve bude věnovat základním strukturám a proměnným, které se při tvorbě programu používají, aby byl popis ovládacího programu čtenáři srozumitelný.

Při spuštění aplikace vytvořené v LabVIEW se uživateli zobrazí dvě okna. První okno se nazývá „Front panel“ (volně lze přeložit jako „Čelní panel“), druhé okno „Block diagram“ („Blokový diagram“). Okno front panelu (obrázek 48) je určeno pro uživatele aplikace, který z tohoto okna aplikaci ovládá. V okně block diagramu (obrázek 47) probíhá tvorba celé aplikace. Rozdíl mezi oběma okny je zjevný při porovnání ukázek na obrázku 47 a 48.



Obrázek 47: Ukázka block diagramu



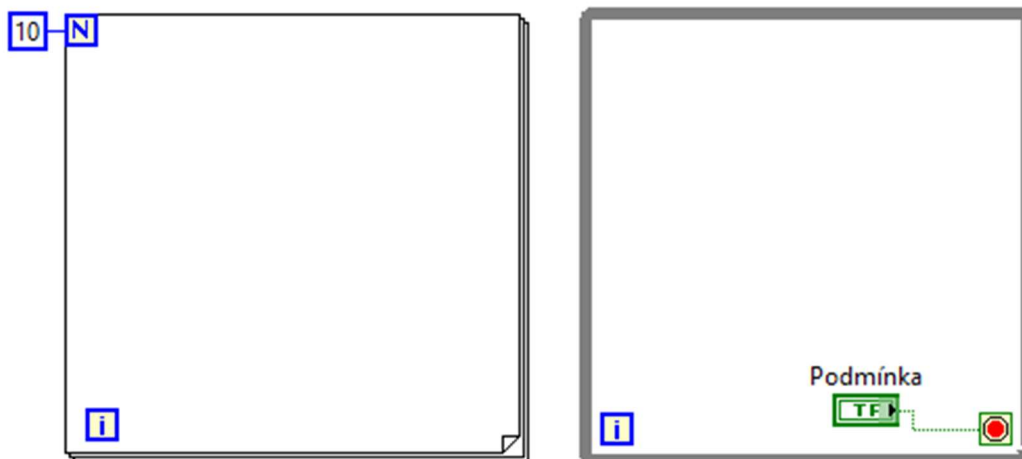
Obrázek 48: Ukázka front panelu

Důležité je seznámit se se základními typy dat, struktur a cyklů využívaných pro tvorbu programu. První je smyčka for (obrázek 48 vlevo). Tato smyčka se opakuje N krát, přičemž



na proměnou N lze přivést buďto konstantu (obrázek 49 vlevo nahoře) nebo jinou proměnou. V obou případech se musí jednat o celé číslo.

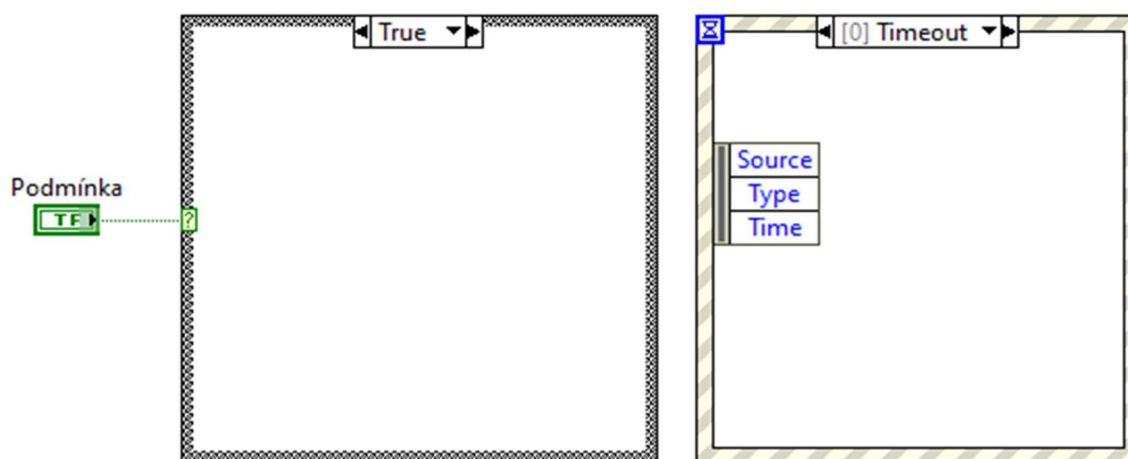
Další je smyčka while (obrázek 49 vpravo). Ta má za úkol opakovat se tak dlouho, dokud není splněna podmínka jejího ukončení a na terminál v pravém dolním rohu není přivedena Booleovu proměnnou true (pravda).



Obrázek 49: Smyčka for a while

Mezi běžně využívané prvky programu patří case struktura (obrázek 50 vlevo). Tato struktura přepíná mezi jednotlivými podokny (záložka nahoře) v závislosti na tom, jaká proměnná je přivedena na case selector („přepínač případů“ otazník v levé části smyčky).

Další často využívanou strukturou je event struktura (obrázek 50 vpravo). Ta má za úkol spustit kód, který obsahuje, v okamžiku, kdy se stane předem definovaná událost (např. stisknutí tlačítka na front panelu).



Obrázek 50: Case a event struktura



Základní typy dat (obrázek 51), se kterými LabVIEW pracuje, jsou od sebe barevně odlišeny. Zelená označuje Boolean data true/false (Booleovské proměnné pravda/nepravda), lze je numericky interpretovat jako 0, 1. Modrá barva je použita pro enum data type (výčtový typ dat). Jedná se o data, která lze interpretovat pomocí konečné omezené množiny pojmenovaných hodnot. Často se používá pro vyjádření celočíselných konstant. Třetím typem dat je string data type (textový řetězec). Tento typ je označen růžovou a používá se k vyjádření textu. Poslední z proměnných je numeric data type (numerická data), která jsou označena oranžovou barvou.



Obrázek 51: Ukázka druhů proměnných

10.2 Front panel aplikace pro kontrolu stanoviště zkoušení řadicích spojek

Front panel aplikace (obrázek 52) je pomocí záložek rozdělen do deseti podsestav, z nichž každá má na starosti ovládání části hlavního programu.

Po levé straně front panelu se nachází tři grafy. První z nich vykresluje průběh velikosti otáček vstupního, výstupního hřídele a hřídele setrvačnicku. Druhý popisuje velikost momentu na výstupním hřídeli převodovky, axiální řadicí síly a polohy řadicí vidličky. Poslední graf popisuje průběh měřených teplot. Všechny tyto grafy jsou v základním stavu vypnuty. Zapnout je lze pomocí tlačítka „Spustit grafy“.

V prostřední části front panelu se nachází panel pro ovládání motoru pohánějícího vstupní hřídel převodovky, panel pro ovládání motoru pohánějícího výstupní hřídel převodovky, panel pro nastavení řadicí síly, panel pro zobrazení měřených teplot a tlaků, jmenováno shora dolů. Při běžném běhu programu je v těchto oknech vyřazena z provozu možnost nastavení otáček obou motorů a nastavení řadicí síly. V případě, že by uživatel chtěl tyto parametry nastavovat, musí nejprve přepnout aplikaci do servisního režimu stiskem tlačítka „Servisní režim“.

V pravé části se nachází nejprve sada ovládacích a kontrolních tlačítek a indikátorů. Spínače v horní části tohoto okna slouží primárně jako indikátory a jejich funkce je uživateli zpřístupněna pouze v servisním režimu, stejně jako je tomu například u nastavení otáček



pro elektromotory. Pod těmito spínači se nachází tlačítka pro spuštění zkušebního cyklu („SPUSTIT ZKOUŠKU“), nouzové zastavení celého stavu („NOUZOVÉ ZASTAVENÍ“) a zastavení celého stavu („ZASTAVENÍ STANOVIŠTĚ“). Pomocí nich ovládá uživatel začátek, popřípadě přerušení zkoušky. Další okno slouží k načtení a kontrole dat, kterými se zkouška řídí. Uživatel nejprve vybere cestu k csv souboru, který obsahuje předpis pro provádění zkoušky. Poté stiskne tlačítko „NAČÍST DATA“ a dojde k načtení dat ze souboru do paměti programu. Data se zobrazí v připravené tabulce, kde si je může uživatel zkontrolovat. Pokud uživatel při kontrole odhalí, že vybral špatný datový soubor, změní cestu k souboru a opět stiskne tlačítko pro načtení dat. Pokud je uživatel s načtenými daty spokojen, stiskne tlačítko „POTVRDIT DATA“. To spustí tvorbu tabulky, ze které si program načítá parametry řazení pro jednotlivé cykly. Poslední část front panelu tvoří okno pro zápis dat. Uživatel si nejprve vybere složku, do které budou uložena naměřená data. Poté může vyplnit kolonku dodatek názvu, která slouží k tomu, aby se od sebe odlišili jednotlivé soubory ve stejném adresáři nedošlo k jejich přepsání. V dolní části záložky jsou umístěna tlačítka pro ovládání zápisu dat. Stisknutím tlačítka „PŘIPRAVIT ZÁPIS“ dojde k inicializaci a vytvoření šablony souboru, do kterého budou data zapsána. Tlačítko „SPUSTIT ZÁPIS“ uvede do chodu zápis měřených dat do souboru. Zápis ukončuje stisknutí tlačítka „ZASTAVIT ZÁPIS“.



STANOVIŠTĚ PRO TESTOVÁNÍ ŘADÍČÍCH SPOJEK

INIT

Výstupní hřídele: 0
Vstupní hřídele: 0
Setovačik: 0
Siemens: 0
RPM setovačik: 0
RPM příruba: 0
RPM input: 0

Amplitude vs Time

Moment: 0
Síla: 0
Poloha: 0

Vstup ovládání: **START** / **ZAPNOUT** / **STOP**
start error: 0
stop error: 0
write error: 0
read error: 0

Protokol: 0

Výstup ovládání: **START** / **STOP**
Nastavení otáček vstupního hřídele: 0
Nastavení otáček výstupního hřídele: 0
Otáčky vstupního hřídele [1/min]: 0
Otáčky výstupního hřídele [1/min]: 0

Řadičí síla: 0
Tlak [bar]: 0

Tlak: 0
Tlak motoru [bar]: 0
Teplota motoru [°C]: 0
Teplota hřídele: 0
Teplota oleje v hřídele: 0
Teplota oleje v převodovce: 0

SPUSTIT CYKLUS

NOUZOVÉ ZASTAVENÍ STANOVIŠTĚ

ZASTAVENÍ STANOVIŠTĚ

Spustit grafy	Zařazeno/vyřazeno ovládní	Synchronizací spojka	Ventilátor ložiska	Nouzová brzda	Otáčky pro synchronizaci
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Servisní mod	Ventilátor rezerva	Ventilátor chladic	Olejevé čerpadlo	Topná spirála	Zařazeno
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Ventilátor rezerva	Ventilátor chladic	Olejevé čerpadlo	Topná spirála	Zařazeno	Vyřazeno
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Zařazeno	Zařazeno	Zařazeno	Zařazeno	Zařazeno	Vyřazeno
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Načtení dat

POTVRDIT DATA

NAČÍST DATA

Zápis dat

Dodatečná názvu

Zápis ready: **PŘÍPOJIT ZÁPIS**

Zápis zaps: **SPUŠTIT ZÁPIS**

Konec: **ZASTAVIT ZÁPIS**

Aktuální terace: 0

Následující terace: 0

Zápis probíhá

Obrázek 52: Front panel aplikace pro kontrolu zkušebního stavu pro testování řadících spojok



10.1 Ovládací prvky programu

Fungování programu lze rozdělit na dvě současně probíhající části. První z nich se stará o akvizici dat ze zkušebního stavu, druhá má za úkol ovládat zkušební stav. Ovládací prvky programu mají za úkol zajistit bezpečnost fungování stanoviště, řízení průběhu celé zkoušky a odezvu na požadavky uživatele. Jednotlivé funkce a kód programu jsou popsány v následujících podkapitolách.

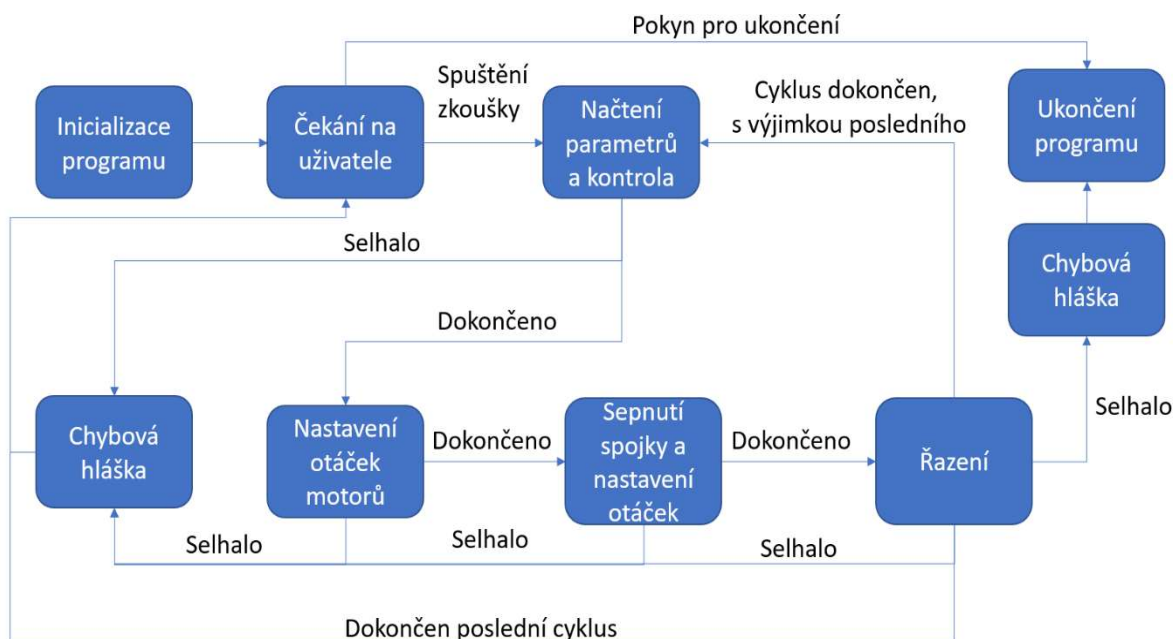
10.1.1 Hlavní ovládací smyčka stanoviště

Kontrolu průběhu zkoušky zajišťuje hlavní ovládací smyčka. Ta je programována jako stavový automat. Stavový automat se pro tvorbu hlavní ovládací smyčky zvolil zejména proto, aby nemohlo docházet v důsledku chyby obsluhy nebo zpomalení běhu podskupin programu ke vzniku stavů, které by ohrožovaly bezpečnost stanoviště. Pokud by například došlo k současnému sepnutí synchronizační spojky v momentu, kdy jsou roztočeny oba elektromotory a v převodovce je zařazen rychlostní stupeň, hrozilo by poškození buďto spojky samotné nebo některé z dalších komponent zkušebního stavu v důsledku nesynchronních otáček obou elektromotorů. Stavový automat povolí přechod programu do další fáze pouze tehdy, je-li splněna určitá podmínka.

Pomocí stavového automatu lze rozfázovat fungování stanoviště do jednotlivých kroků, mezi nimiž pak stavový automat přepíná. Stavový automat ovládající chod stanoviště se aktivuje po zapnutí programu a obsahuje následující po sobě jdoucí kroky:

- Inicializace programu
- Čekání na pokyny uživatele
- Načtení parametrů zkoušky a kontroly zkušebního stavu
- Nastavení otáček motorů
- Sepnutí synchronizační spojky a nastavení otáček vstupního hřídele převodovky
- Řazení

Průběh jednotlivých kroků znázorňuje schéma na obrázku 53.



Obrázek 53: Schéma hlavní ovládací smyčky

Nejprve proběhne inicializace, při které dojde k nastavení stanoviště do výchozího stavu. Nouzová brzda se odblokuje, elektromagnetická spojka rozepne, pneumatický válec přesune do polohy vyřazeno, čerpadlo, ventilátory a topná spirála se vypnou. Díky inicializaci nedojde k tomu, že by bylo možné při špatném ukončení programu a jeho opětovném spuštění dostat do dvou odlišných výchozích stavů stanoviště.

Po provedení inicializace se program přesune do smyčky, která probíhá s periodou 200 ms. V této smyčce se nachází event struktura, která podle pokynů uživatele spustí zkoušku, nebo ukončí program.

Když je zkouška spuštěna, dojde nejprve k načtení parametrů zkoušky a následně ke kontrole stavu stanoviště a vyčkání na dosažení zvolené teploty oleje. Parametry řídicí průběh zkoušky jsou:

- Počet opakování cyklů při zvolených parametrech
- Otáčky výstupního hřídele převodovky
- Odchylka otáček vstupního hřídele převodovky od otáček synchronních
- Axiální síla řazení
- Teplota oleje přiváděného do převodovky

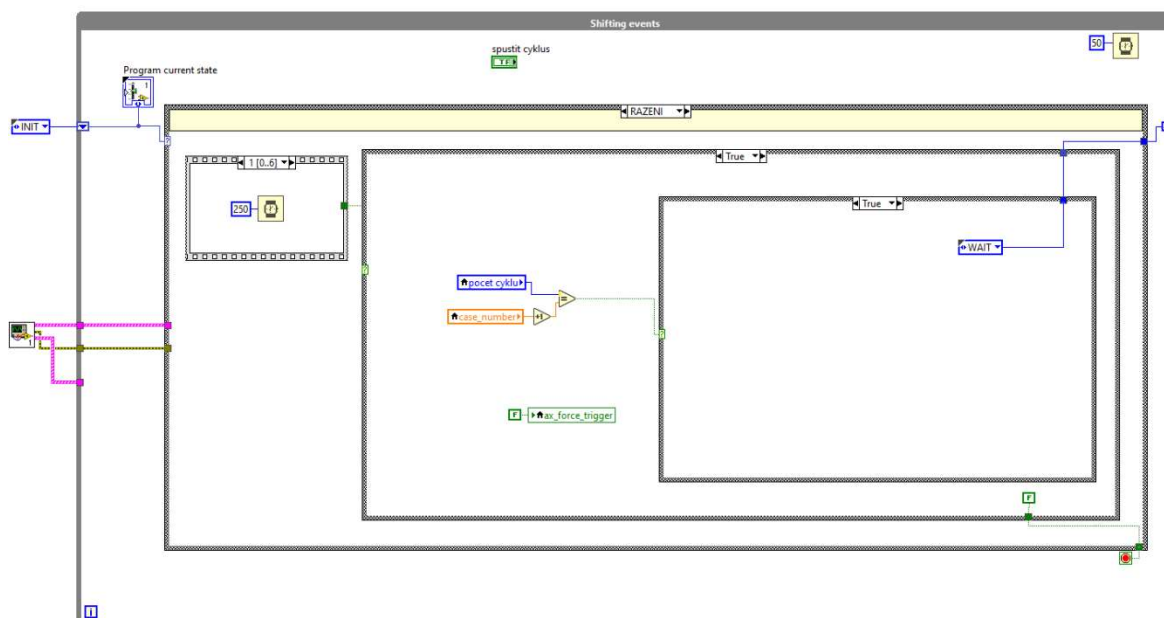
Pokud jsou zadané parametry mimo povolený rámeček, nebo se jim nedaří dosáhnout, program vypíše hlášku o chybě a vrátí se do stavu, kde čeká na pokyny od uživatele.



Následně dochází k uvedení motorů do chodu, přičemž elektromotor zajišťující pohon výstupního hřídele převodovky je regulován na konstantní otáčky, které bude udržovat během zkoušky. Motor pohánějící výstupní hřídel má za úkol dosáhnout otáček shodných s otáčkami vstupní hřídele, aby mohla být sepnuta synchronizační spojka a nedošlo k jejímu přetížení.

Po sepnutí spojky dochází k nastavení požadovaných otáček vstupního hřídele převodovky. Následně se program zastaví ve smyčce while, která probíhá s periodou 10 ms. K jejímu ukončení dojde v okamžik, kdy otáčky vstupního a výstupního hřídele převodovky dosáhnou požadovaných hodnot.

V poslední části cyklu dochází k provedení sekvence řazení. Nejprve je vypnuta synchronizační spojka a dojde tak k uvolnění vstupního hřídele převodovky, následuje pokyn pro zařazení rychlostního stupně. Poté program vyčká na ustálení a celá sekvence končí vyřazením. Pokud je vyřazení úspěšně dokončeno, dojde buďto k běhu dalšího cyklu nebo k jeho ukončení. Na obrázku 54 je pro ilustraci uveden příklad stavu ovládajícího řazení.

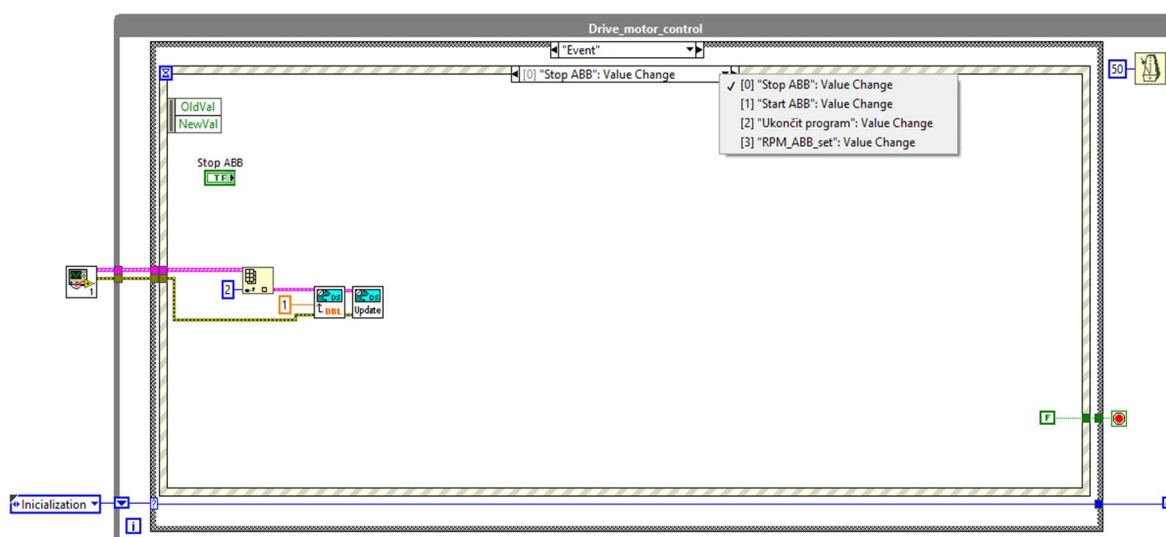


Obrázek 54: Hlavní ovládací smyčka stanoviště fáze řazení



10.1.2 Ovládání elektromotoru výstupní hřídele převodovky

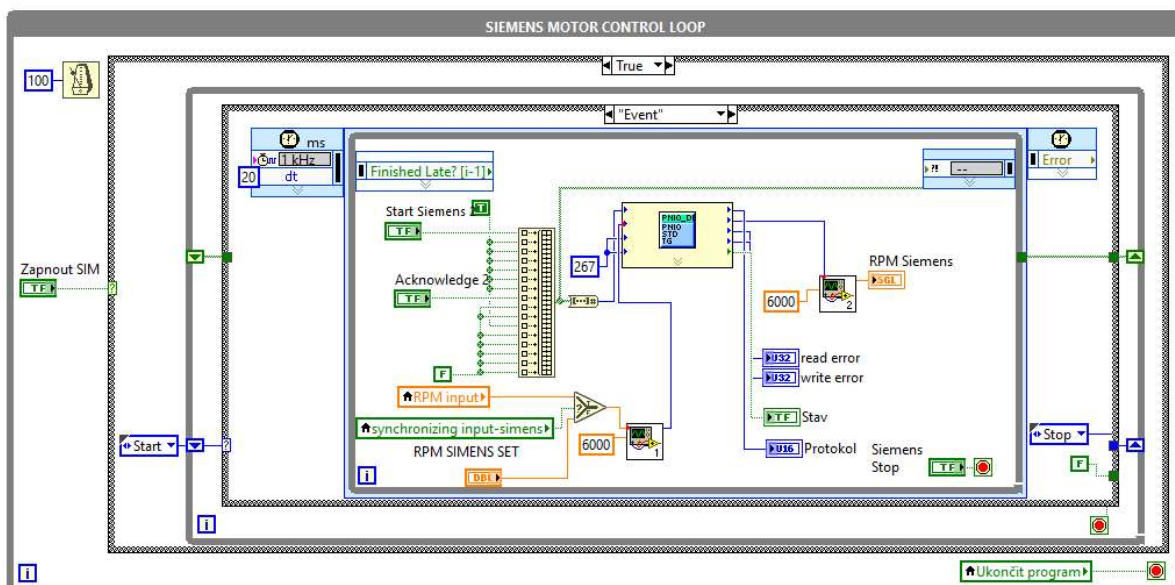
Elektromotor je řízen pomocí frekvenčního měniče. Komunikace s měničem je realizována pomocí standardu OPC. Způsob komunikace byl převzat z původního programu pro kontrolu předchozího stanoviště. Struktura programu je vidět na obrázku 55. Podprogram (sub VI) na levé straně okna zajišťuje navázání komunikace s měničem kontrolujícím motor. Poté data vstupují do while smyčky opakující se s periodou 100 ms. Uvnitř této smyčky se nachází case struktura. Při jejím prvním cyklu je provedeno nastavení motoru do výchozího stavu. Case struktura se pak přepne do módu „Event“, kde čeká na vstup od uživatele. Event struktura uvnitř case struktury spouští jednotlivé dílčí úkony (zastavení elektromotoru, zapnutí elektromotoru, nastavení otáček elektromotoru a zastavení smyčky při zastavení programu). V aktuálním okně lze vidět, že program zapíše do druhého místa pole ovládacích příkazů hodnotu 1. Tento příkaz si měnič interpretuje jako pokyn pro zastavení elektromotoru. Ostatní části event struktury fungují obdobným způsobem.



Obrázek 55: Smyčka ovládání elektromotoru SIEMENS SIMOTICS GP 1AV2164A

10.1.3 Ovládání elektromotoru výstupní hřídele převodovky

Komunikace mezi řídicím programem a frekvenčním měničem kontrolujícím otáčky motoru probíhá prostřednictvím protokolu Profinet. Část programu zajišťující komunikaci mezi měničem a řídicím programem byla převzata z původního programu pro kontrolu předchozího stanoviště. Část kontrolní smyčky zajišťující nastavení otáček motoru je uvedena na obrázku 56.

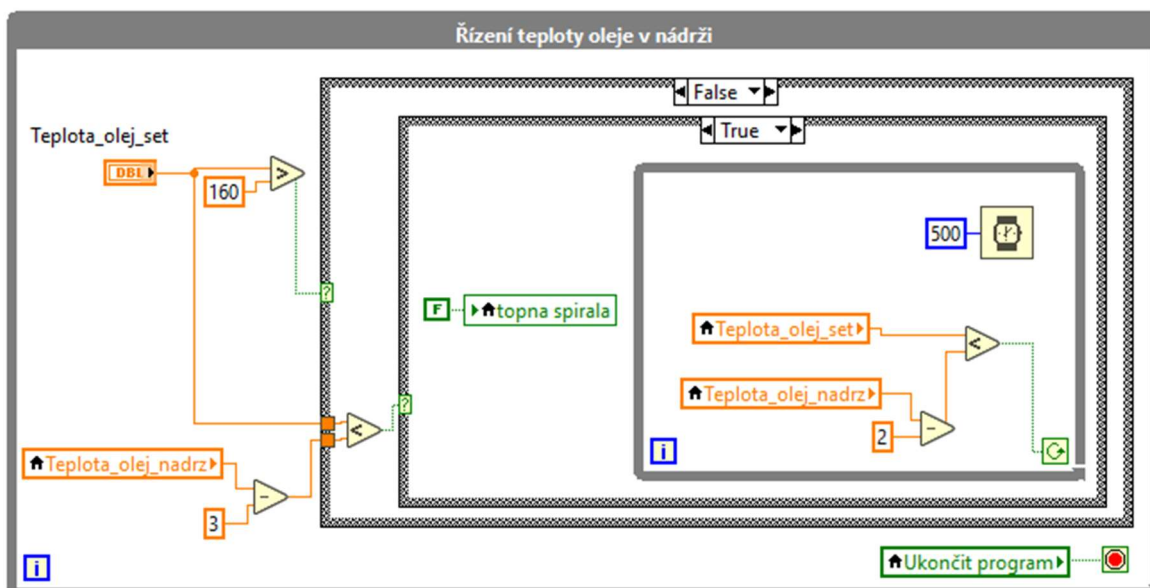


Obrázek 56: Smyčka ovládání motoru SIEMENS SIMOTICS S1FT7-5AK70

10.1.4 Nastavení teploty oleje

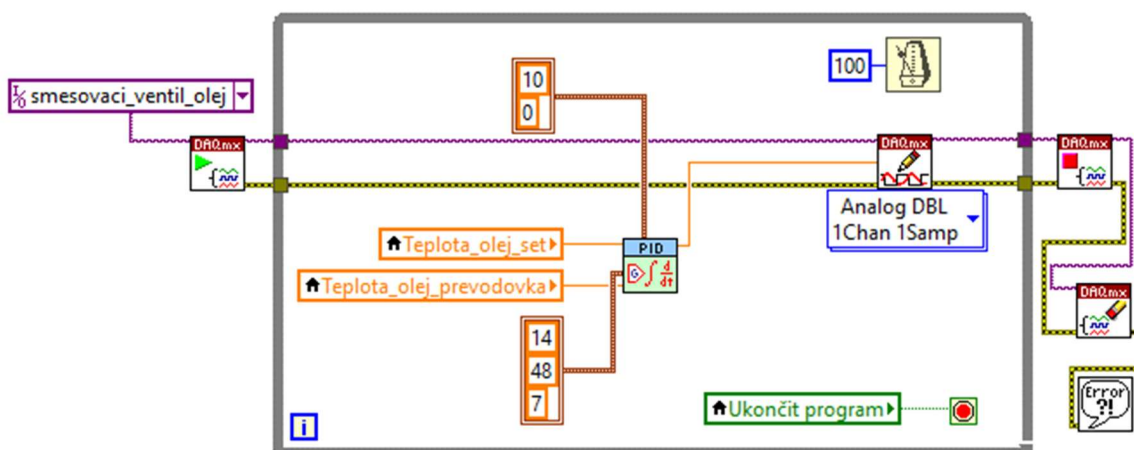
Regulace teploty oleje probíhá v olejovém okruhu na dvou místech. Nejprve se olej ohřívá pomocí topné spirály v olejové nádrži, poté se mísí olej tekoucí přímo z nádrže s chladnějším olejem tekoucím skrz chladič a tím je dosaženo finální regulace teploty.

Smyčka pro nastavování teploty v nádrži se vykonává s periodou 500 ms. Nejprve program porovná nastavenou teplotu oleje přiváděného do převodovky (Teplota_olej_set) s horní povolenou hranicí pro ohřev. Pokud nastavená teplota překročí povolenou hranici, přenastaví program cílovou teplotu na 0 °C, otevře uživateli dialogové okno s chybovou hláškou a vypne topnou spirálu. Pokud je zadaná teplota v přípustné mezi, porovná program změřenou teplotu oleje v nádrži (Teplota_olej_nadrz) sníženou o tři stupně s požadovanou teplotou oleje přiváděného do převodovky. V případě, že je upravená teplota oleje v nádrži menší než požadovaná hodnota, program sepne topnou spirálu a probíhá další cyklus smyčky. Pokud je naopak teplota oleje v nádrži vyšší, program vypne topnou spirálu a spustí se běh vnitřní smyčky. Podmínkou pro ukončení vnitřní smyčky je, že teplota oleje v nádrži klesne na hodnotu o dva stupně vyšší, než je cílová teplota. Poslední zmíněný případ lze vidět na obrázku 57. Smyčky pro řízení teploty oleje v nádrži zajistí udržení teploty v požadovaném rozptylu.



Obrázek 57: Smyčka pro řízení teploty oleje v nádrži

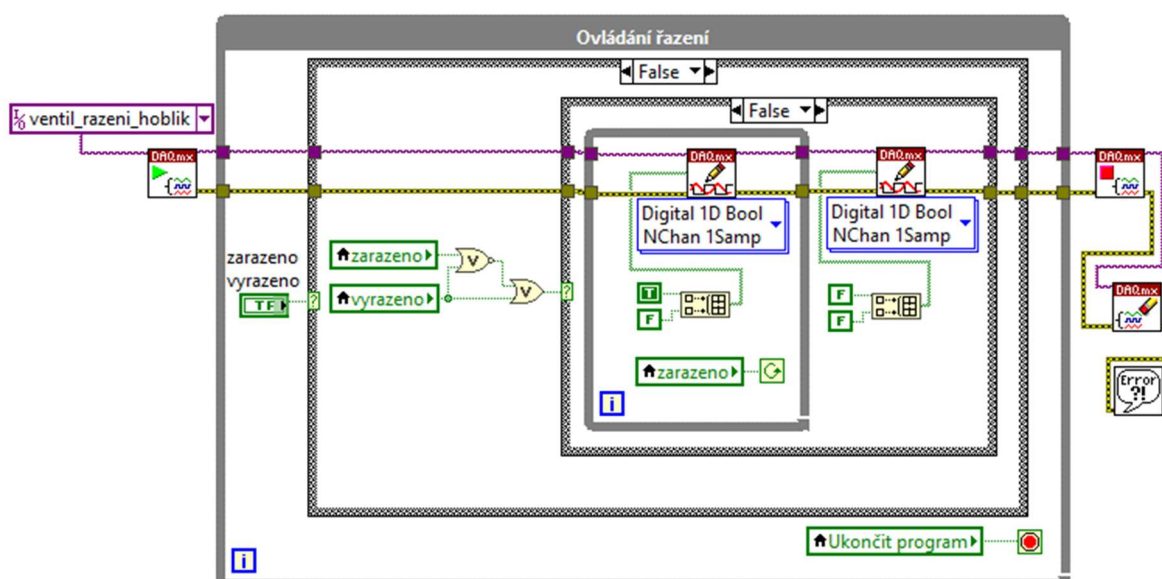
Směšování teplejší a chladnější olejové větve zajišťuje směšovací ventil. Ventil může mísit tyto dvě složky v libovolném poměru. Směšovacímu poměru odpovídá napěťový signál, kterým se směšovací ventil řídí. Napěťový signál je v rozsahu 0 až 10 V DC. Nastavení směšovacího poměru je ukázáno ve smyčce na obrázku 58. Při spuštění ovládacího programu nejprve dojde ke spuštění úlohy zajišťující komunikaci mezi programem a modulem napěťového výstupu. Poté se spustí smyčka, ve které probíhá vlastní nastavení směšovacího ventilu. Nastavení řídí PID regulátor, do kterého je jako vstup přiváděna požadovaná teplota přiváděného oleje (`Teplota_olej_set`) a teplota oleje snímaná před vstupem do zkušební převodovky (`Teplota_olej_prevodovka`). Experimentálně byly nastaveny hodnoty proporcionální, integrační a derivační složky regulátoru. Výstupem z regulátoru je hodnota napětí, kterým je ventil řízen. Po ukončení smyčky dojde k zastavení úlohy, jejímu vyčištění a vypsání případných chyb.



Obrázek 58: Smyčka pro řízení směšovacího ventilu

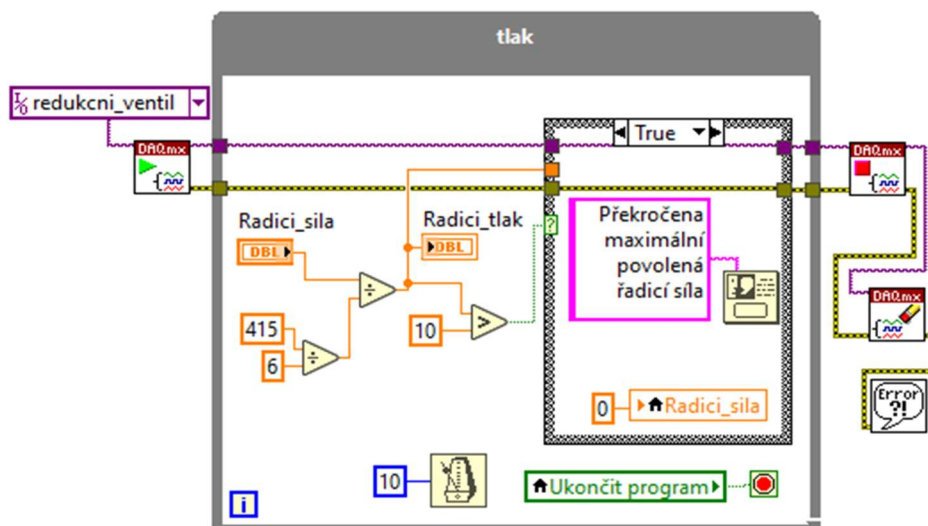
10.1.5 Ovládání řazení

Přívod stlačeného vzduchu do pneumatického válce reguluje elektromagnetický 5/3 ventil. Přepínání poloh 5/3 ventilu je ovládáno dvěma solenoidovými ventily. Spínání ventilů řídí ovládací smyčka řazení (obrázek 59). Nejprve dojde ke spuštění úlohy zajišťující komunikaci mezi ovládacím programem a digitálním modulem NI-9478. Hlavní část ovládací smyčky se skládá ze dvou v sobě umístěných case struktur. Na vstup vnější case struktury je přivedena Booleova proměnná (zarazeno vyřazeno), která určuje, jestli dojde k zařazení (true) nebo vyřazení (false). Fungování vnitřní case struktury bude popsáno pro případ, kdy je přiveden požadavek na vyřazení. Vnitřní case struktura má na svůj vstup přivedené signály senzorů polohy pneumatického pístu. V případě, že je vyřazeno (vyřazeno=true), vnější smyčka pozdrží běh o 20 ms, aby nedocházelo k přetěžování procesoru. V případě, že vyřazeno není, nebo pokud není současně ani vyřazeno ani zařazeno, dostane se program do while smyčky, kde zapíše do dvojrozměrného Booleova pole proměnné true a false a toto pole zapíše do úlohy. Tento příkaz aktivuje ventil sloužící k vyřazení. Běh while smyčky se ukončí, když senzor polohy zaznamená, že pneumatický válec se dostal mimo polohu, kde je zařazeno. Následně se do úlohy zapíše dvourozměrné pole obsahující proměnné false a false. To uvede 5/3 ventil do výchozí polohy. Logika case struktury pro zařazení je vytvořená analogicky.



Obrázek 59: Smyčka pro ovládání řazení

Nastavení řadicí síly se provádí regulací tlaku vzduchu přiváděného do pneumatického válce. O regulaci tlaku se stará redukční ventil Festo VPPE-3-1-1/8-10-010-E1. Ventil je nastaven tak, že rozsah ovládacího napětí 0 až 10 V DC odpovídá výstupnímu tlaku 0 až 10 bar. Část programu zajišťující ovládání ventilu je na obrázku 60. Nejprve se spustí úloha zajišťující komunikaci mezi programem a modulem pro výstupní napětí. Proměnná k nastavení řadicí síly (Radici_sila) je nejprve převedena na tlak. Hodnota tlaku se zapíše do indikátoru řadicího tlaku (Radici_tlak), zároveň se kontroluje, zda hodnota tlaku nepřekračuje maximální povolenou hodnotu 10 bar. V případě že ano, dojde k vypsaní chybové hlášky a přenastavení řadicí síly na hodnotu 0 N. Pokud je tlak v očekávaném rozsahu, dojde k nastavení odpovídajícího řídicího napětí modulem NI-9263.

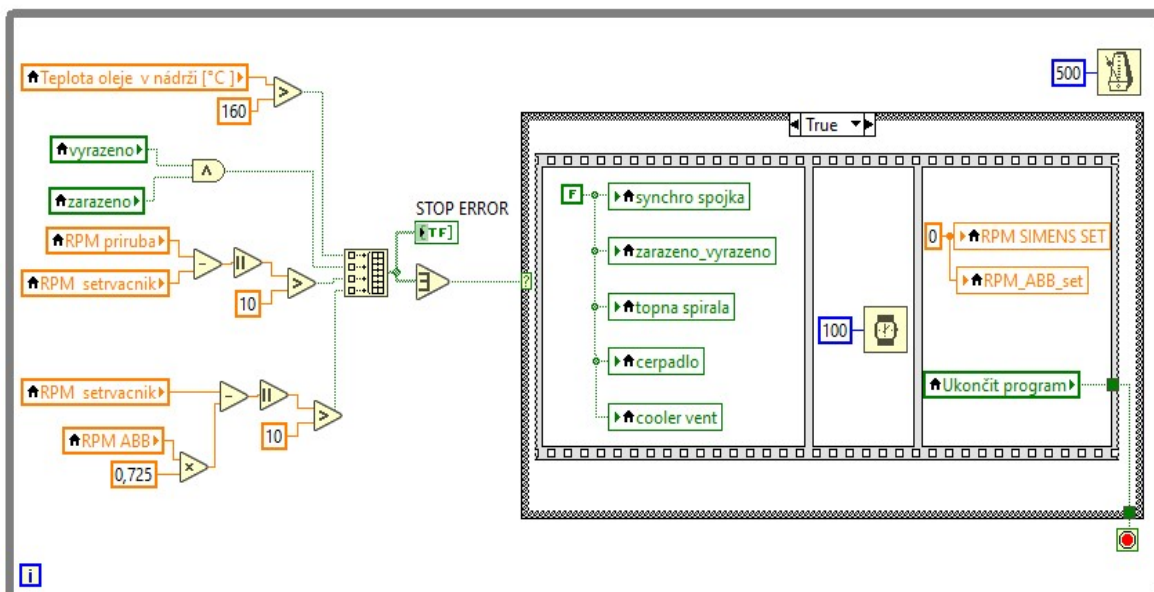


Obrázek 60: Smyčka pro řízení tlaku

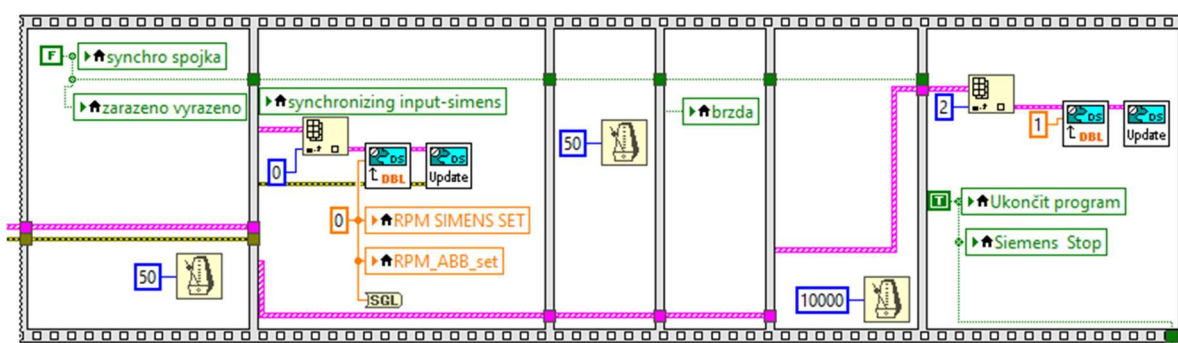
10.1.6 Bezpečnostní prvky

Při běhu programu se průběžně kontrolují stavy, které by značily poruchu stanoviště. Smyčka na obrázku 61 hlídá, jestli nedochází k překročení teploty oleje v nádrži, k prokluzu pojistné spojky, k prokluzu řemene anebo čidla polohy nedetekují nereálný stav. V případě detekce jakékoli z těchto chyb dojde k zastavení motorů, rozeptnutí elektromagnetické spojky, vyřazení a vypnutí čerpadla, topné spirály a ventilátoru. Smyčku ukončí pouze příkaz k ukončení celého programu. Podle toho, na jakém místě pole indikátoru chyby (Stop_error) se nachází chyba, může posléze obsluha určit důvod, kvůli kterému došlo k zastavení programu. Tato smyčka je v činnosti po celou dobu běhu programu s periodou 500 ms.

V případě, že vyvstane nutnost zastavit celé stanoviště nouzově, může obsluha stisknout tlačítko pro nouzové zastavení stavu. Toto tlačítko spustí všechny úkony jako předcházející kontrolní smyčka, a navíc aktivuje nouzovou brzdu. Vnitřní struktura nouzového zastavení je vidět na obrázku 62. Kvůli aktivaci nouzové brzdy bylo nutné od sebe jednotlivé kroky oddělit. V prvním kroku je vydán příkaz pro rozeptnutí elektromagnetické spojky a vyřazení, následuje nastavení nulových otáček obou elektromotorů. Teprve potom se aktivuje nouzová brzda, aby nedošlo k dalšímu poškození komponent stanoviště. Po aktivaci nouzové brzdy a prodlevě 10 s dojde k vypnutí elektromotorů a ukončení celého programu.



Obrázek 61: Kontrolní smyčka



Obrázek 62: Pokyny nouzového zastavení

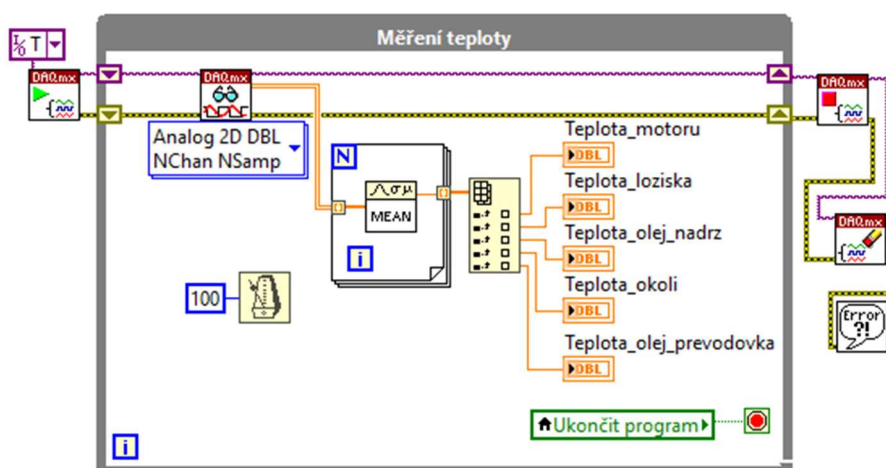
10.2 Akvizice dat

Akvizici dat z průběhu zkoušky zajišťuje několik na sobě nezávislých smyček, které probíhají v různých časových úsecích podle toho, s jakou vzorkovací frekvencí jsou data snímána. Pokud uživatel spustí zápis, ukládají se data do souboru formátu csv. Ukládání dat je nastaveno tak, aby se spustilo 50 ms před začátkem řazení a ukončilo v okamžik, kdy přestane působit řadicí síla. Frekvence zápisu dat je 1 kHz a pro každé zařazení se vytvoří samostatný soubor s předponou, která odpovídá pořadí jednotlivých řazení. Pro kontrolu se dále pořadí řazení určuje v oddělené smyčce a zapisuje do souboru spolu s ostatními daty.



10.2.1 Akvizice teploty

Signály z termočlánků jsou zpracovávány modulem NI-9212. Spolupráci ovládacího programu a modulu zajišťuje while smyčka pro měření teploty (obrázek 63) probíhající s periodou 100 ms. Při spuštění programu dojde ke spuštění úlohy zajišťující měření teplot na pěti kanálech. V každém cyklu smyčky je vyčteno pole teplot. Do pole se uloží deset hodnot z každého kanálu. Toto pole je přivedeno do for smyčky, kde se postupně hodnoty z každého kanálu zprůměrují. Výstupem z for smyčky je pole o rozměru 5x1, ve kterém jsou uloženy průměrné hodnoty měřených teplot. Jednotlivé prvky pole jsou nakonec zapsána do jim příslušejících proměnných. Snímají se teploty hlavního motoru (Teplota_motoru), teplota ložiskového domku setrvačnicku (Teplota_loziska), teplota oleje v nádrži (Teplota_olej_nadrz), teplota okolí (Teplota_okoli) a teplota oleje přiváděného do převodovky (Teplota_olej_prevodovka).



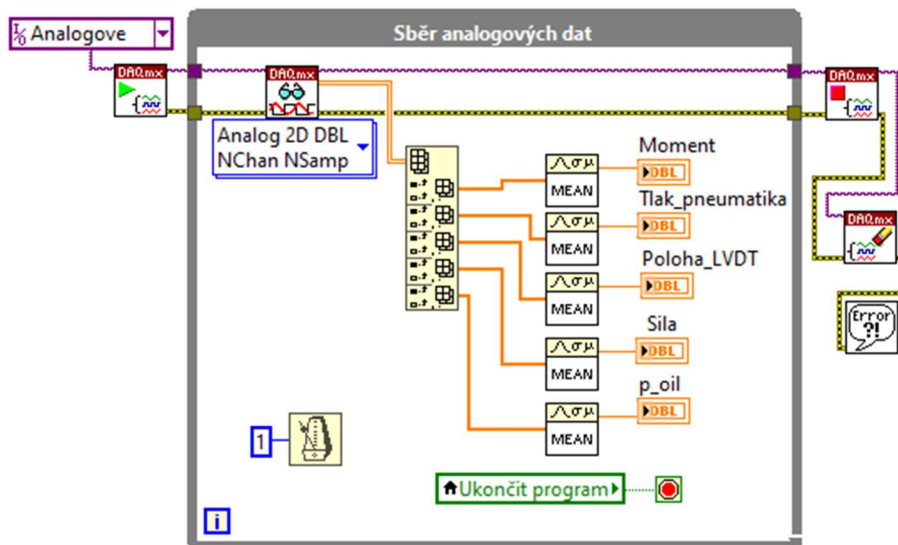
Obrázek 63: Akvizice teploty

10.2.2 Akvizice tlaku, řadicí síly, polohy a momentu

Výstupem měření tlaku, řadicí síly, polohy i momentu je napětí, které koreluje s měřenou veličinou. Signál je zpracováván modulem NI-9205. V zájmu zpřesnění měření jsou výstupy senzorů zapojeny diferenčně (mezi dvěma kanály). To má za následek omezení počtu vstupů karty na polovinu, což je stále dostačující. Program při svém spuštění nejdříve zahájí úlohu, ve které jsou přednastavené parametry pro převod napětí na požadované veličiny. Po zahájení se program přesune do while smyčky pro sběr analogových dat (obrázek 64) probíhající s periodou 1 ms. V každém cyklu smyčky je nejprve přečteno pole všech vybraných hodnot. Z pole jsou následně vyčítány jednotlivé řádky, z nichž každý



obsahuje pouze jednu proměnnou. Z hodnot příslušejících proměnným je vytvořen průměr a ten se zapíše do indikátoru příslušné proměnné. Smyčka má za úkol čtení hodnoty momentu měřeného tenzometrickou přírubou (Moment), tlaku v pneumatickém vedení (Tlak_pneumatika), posuvu řadicí vidličky (Poloha_LVDT), axiální řadicí síly (Sila) a tlaku oleje před olejovou tryskou (p_oil).

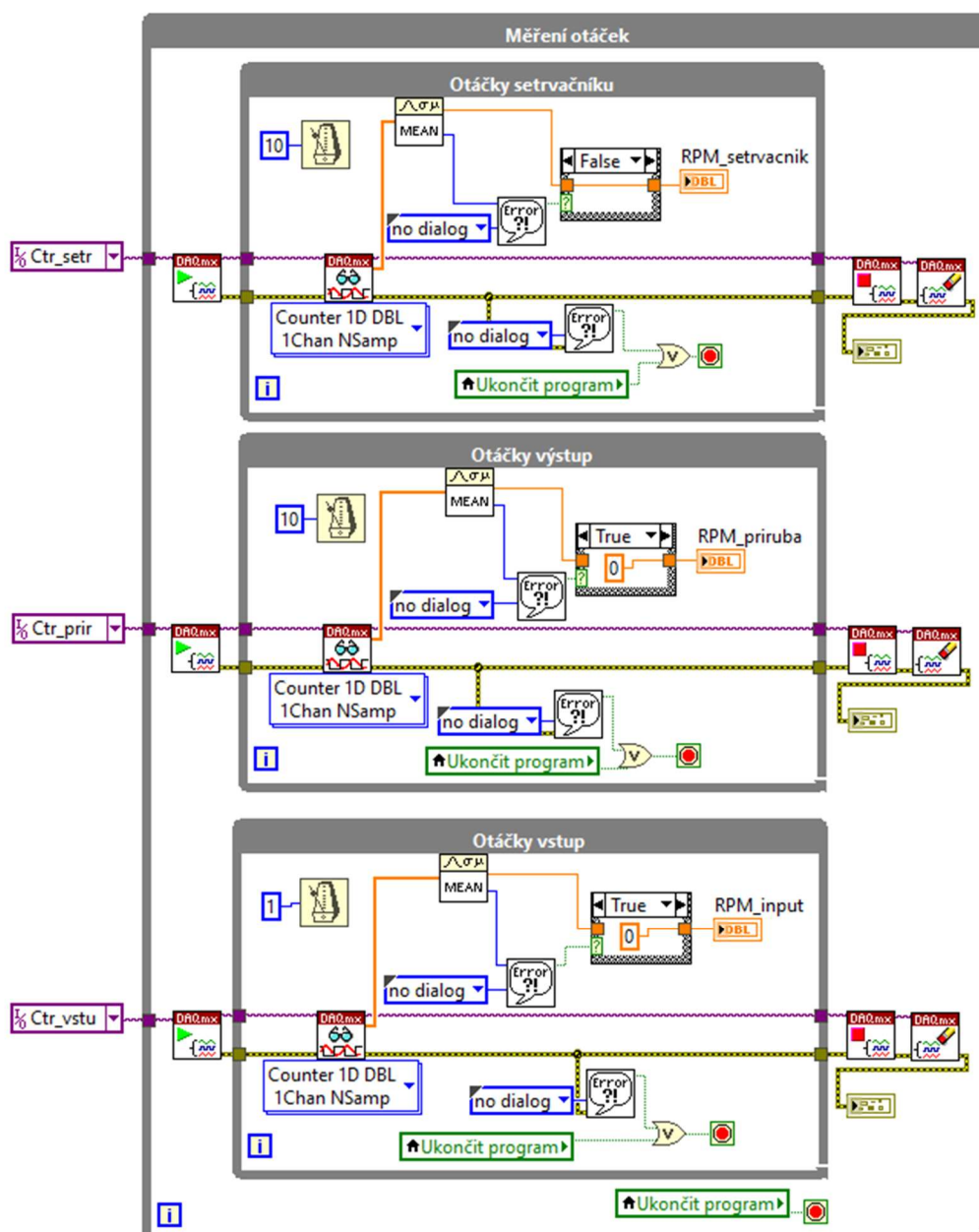


Obrázek 64: Sběr analogových dat



10.2.3 Akvizice otáček

Měření otáček se provádí pomocí třech senzorů otáček popsaných v kapitole 8.3. Všechny tyto senzory generují obdélníkovou vlnu, kterou zpracovává modul NI-9411. Modul měří frekvenci obdélníkové vlny a tu pak škáluje na otáčky za minutu. Část programu zajišťující měření otáček je zobrazena na obrázku 65.



Obrázek 65: Měření otáček

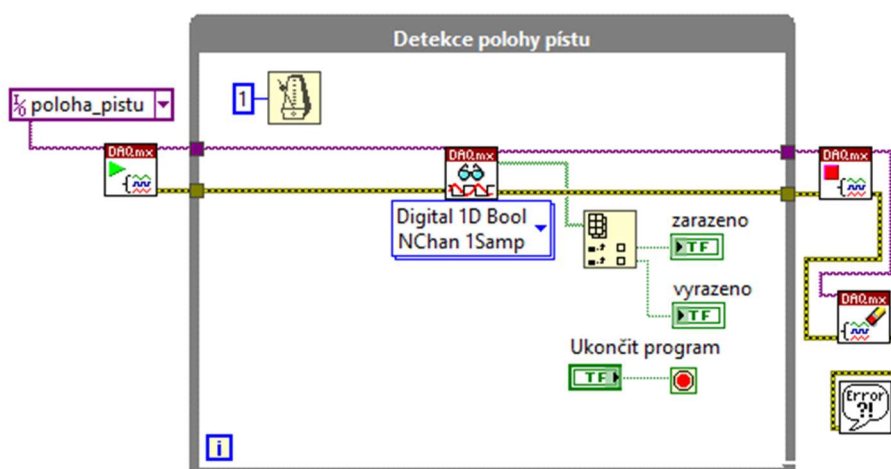
Měření otáček je rozděleno do tří oddělených úloh, aby bylo možné nastavovat nezávisle na sobě vzorkování. Struktura pro měření otáček je specifická, protože měřící modul nemůže detekovat nulovou frekvenci, respektive nulové otáčky. Pokud je tedy



některý z hřídelů v klidu, měřící karta hlásí řídicímu programu chybu. Tato skutečnost je řešena dvojitou while smyčkou. Po vstupu do vnější smyčky dojde k zahájení úlohy, hned poté přejde program do vnitřní smyčky. Zde je nejprve vyčteno pole otáček, které se následně zprůměruje. Pokud do průměru přijde pole, které se neskládá pouze z čísel (v případě chyby se zde zapíše text), nahlásí průměr chybový kód. V případě, že se chybový kód objeví, case struktura zapíše do indikátoru otáček hodnotu rovnou nule. V opačném případě zapíše vypočtenou průměrnou hodnotu. Detekce chyby je použita i k zastavení vnitřní while smyčky. Po dokončení vnitřní smyčky se úloha zastaví, vyčistí a případná chyba se vypíše. Následně probíhá celá vnější while smyčka znovu. To zajistí, že se úloha měření otáček nezastaví při chybové hlášce.

10.2.4 Poloha řazení

Poloha řazení je detekována dvěma senzory přiblížení. Výstupní signál senzorů je 0 a 5 V DC, přičemž 0 V reprezentuje, že se v blízkosti senzoru nenachází pístnice pneumatického válce. Digitální signál senzorů zpracovává modul NI-9403. Odečet polohy pístu má na starosti smyčka pro detekci polohy pístu (obrázek 66). Při spuštění programu se zahájí úloha pro detekování polohy pístu. Smyčka pro odečet probíhá s periodou 1 ms. Tato rychlost je zapotřebí, protože podle polohy pístů se ovládá ukončení řazení. Program přečte logické hodnoty pro oba senzory a umístí je do pole. Z tohoto pole jsou pak vybrány hodnoty odpovídající stavu, kdy je zařazeno (zarazeno) a vyřazeno (vyrazeno). Běh smyčky ukončuje příkaz k zastavení celého programu. Po skončení smyčky se úloha zastaví, vyčistí a vypíšou se případné chyby.



Obrázek 66: Detekce polohy pístu



11 Zkouška řazení

Pro ověření funkčnosti zkušebního stavu byla provedena zkouška řazení. Zkouška řazení byla provedena se soukolím třetího rychlostního stupně převodovky MQ 200 PSU. Zkouška simulovala přeřazení z druhého rychlostního stupně na třetí a přeřazení ze čtvrtého na třetí rychlostní stupeň při jízdě reálného vozidla. První přeřazení odpovídalo přeřazení vozidla při rychlosti $25 \frac{km}{h}$, druhé při rychlosti $50 \frac{km}{h}$. Převodový poměr soukolí druhého rychlostního stupně (i_2) je 2,095, třetího (i_3) 1,281 a čtvrtého (i_4) 0,881. Stálý převod převodovky MQ 200 PSU (i_{st}) je 4,357, což neodpovídá stálému převodu zkušební převodovky (i_{stzp}) 2,71, takže se rychlost otáčení vstupního hřídele zkušební převodovky musí korigovat. Nejdříve je zapotřebí určit rychlost otáčení hřídelů převodovky ve vozidle. Uvažujme vozidlo s rozměrem kol 185/65 r15. Otáčky výstupního hřídele ($n_{výstup}$) převodovky při známé rychlosti vozidla ($v_{vozidla}$) lze určit podle rovnice (10).

$$n_{výstup} = \frac{30 \cdot v_{vozidla}}{3,6 \cdot \pi \cdot r_{kola}} \quad (10)$$

Poloměr kola (r_{kola}) je pro zvolené pneumatiky roven přibližně 0,918 m. Pro rychlost vozidla $25 \frac{km}{h}$ jsou otáčky výstupního hřídele převodovky $n_{výstup25} = 227 \frac{1}{min}$. Otáčky vstupního hřídele převodovky se určí podle rovnice (11). Kde i_x zastupuje převodový poměr soukolí x-tého rychlostního stupně.

$$n_{vstup} = n_{výstup} \cdot i_{st} \cdot i_x \quad (11)$$

Před přeřazením budou otáčky vstupního hřídele rovny $n_{2vstup25} = 2072 \frac{1}{min}$ a po přeřazení klesnou na $n_{3vstup25} = 1267 \frac{1}{min}$. Protože jsou hodnoty stálého převodu zkušební a sériové převodovky rozdílné, je nutné provést korekci. Ta zajistí, že bude hodnota otáček vstupního hřídele převodovky stejná před i po zařazení. Z toho vyplývá vztah (12) pro výpočet otáček výstupního hřídele zkušební převodovky ($n'_{výstup25}$).

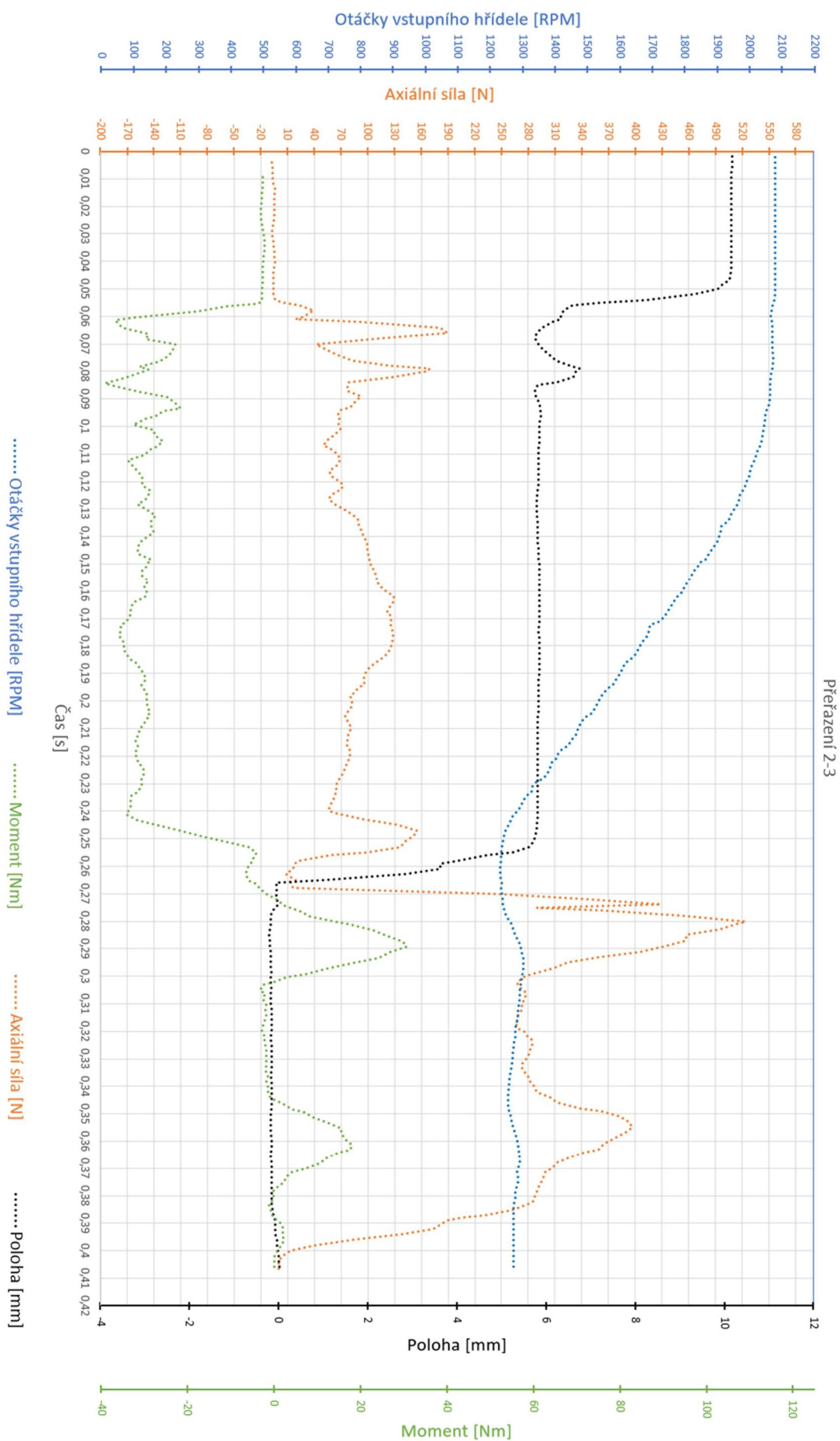
$$n'_{výstup25} = \frac{i_{st}}{i_{stzp}} \cdot n_{výstup25} \quad (12)$$

Otáčky výstupního hřídele převodovky jsou $n'_{výstup25} = 365 \frac{1}{min}$.

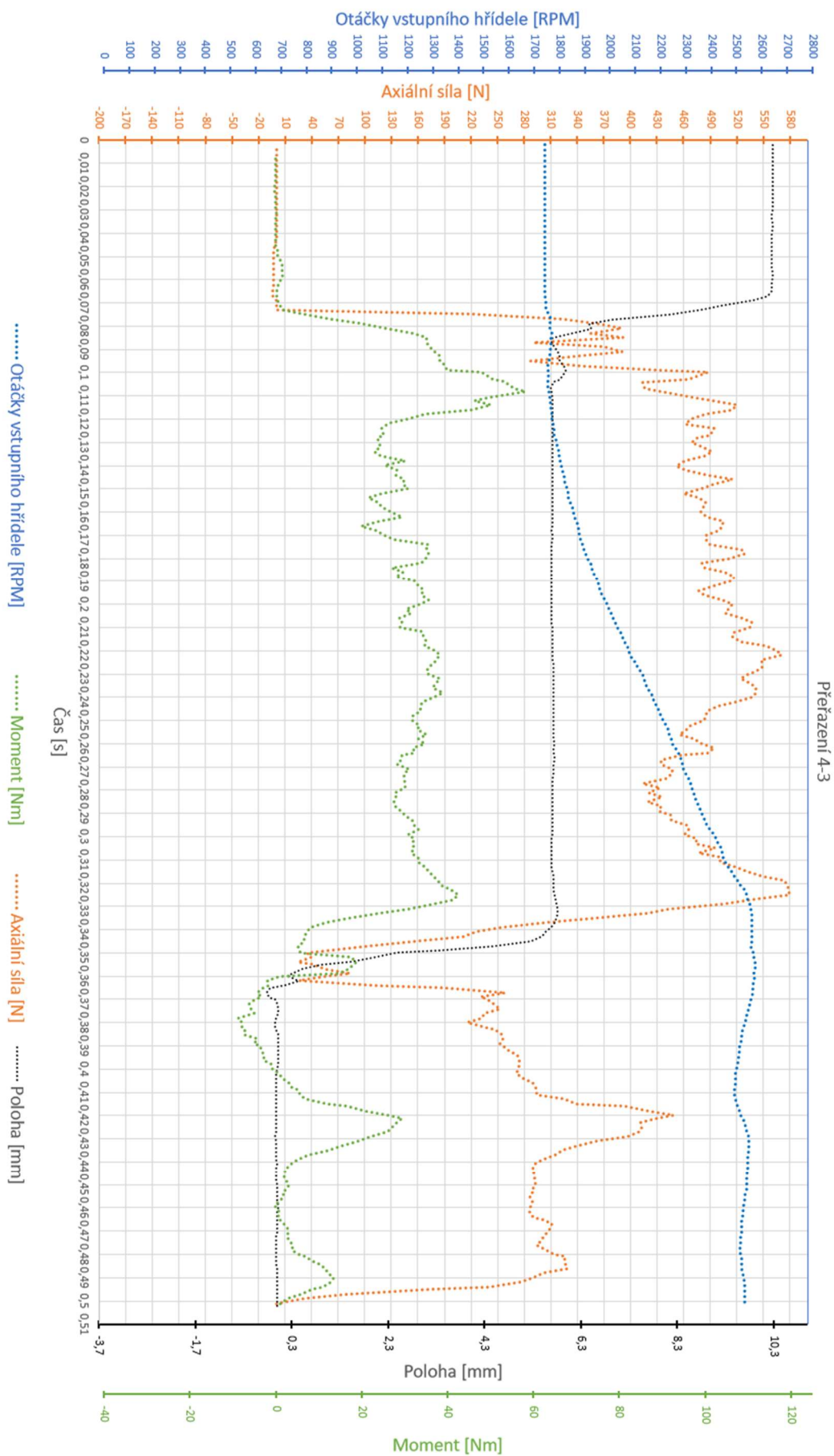


Analogicky se postupuje při výpočtu rychlostí otáčení hřídelů při rychlosti $50 \frac{km}{h}$. Pro tuto rychlost je otáčení výstupního hřídele zkušební převodovky $n'_{výstup50} = 730 \frac{1}{min}$, otáčky vstupního hřídele před zařazením $n_{4vstup50} = 1742 \frac{1}{min}$ a otáčky vstupního hřídele po zařazení $n_{3vstup50} = 2534 \frac{1}{min}$.

Následující grafy (obrázek 67 a 68) znázorňují průběh zkoumaných veličin v průběhu zkoušky. Vzhledem k délce a názornosti záznamu byly do grafu vyneseny pouze průběh otáček vstupního hřídele, axiální síly, polohy řadicí vidličky a momentu.



Obrázek 67: Graf zkoušky přeřazení 2-3 při 25 km/h



Obrázek 68: Graf zkoušky přeřazení 4-3 při 50 km/h



12 Závěr

Diplomová práce nastiňuje způsoby využití řadicích spojek ve vozidlech, popisuje jejich základní druhy a parametry, podle kterých se dají spojky posuzovat. Dále je popsána podoba předcházející konfigurace zkušebního stanoviště a úpravy, které bylo nutné provést při modifikaci stanoviště. V rešeršní části jsou zmíněny různé principy fungování použitých typů senzorů.

Zbytek práce řeší návrh úprav, konstrukci olejového okruhu, výběr a umístění senzorů a tvorbu ovládacího programu zkušebního stanoviště pro testování řadicích spojek v laboratořích ČVUT na Julisce. Nejprve se autor věnuje popisu návrhu olejového okruhu, který je nezbytný pro zajištění správného fungování zkušební převodovky. Popisuje výběr a funkci jednotlivých komponent a jejich spolupráci jako celku. Dále se práce zabývá problematikou dokončení zkušební skříně určené pro testování řadicích spojek a jejím dokončením.

Nezbytnou součástí stanoviště pro testování řadicích spojek jsou senzory sloužící ke sběru dat ze stanoviště. V práci je vysvětlen výběr jednotlivých senzorů a jejich umístění na zkušebním stavu. Dále je věnována pozornost ovládacím prvkům stanoviště. Je vysvětlen jejich účel a popsán jejich podíl na fungování stanoviště jako celku.

Hlavní část této práce je věnována popisu a tvorbě ovládacího programu zkušebního stanoviště. Program je tvořen v prostředí LabVIEW. Nejprve jsou vysvětleny vybrané základní pojmy pro lepší pochopení celku a následně jsou rozebrány jednotlivé funkční celky ovládacího programu. Pro přehlednost je popis programu rozdělen do tří částí. První část se zabývá popisem uživatelského rozhraní (front panelu), zde jsou vysvětleny jednotlivé funkce přístupné uživateli programu a jejich funkce. Druhá část se zabývá samotným programem ovládacích prvků stanoviště. Ovládací prvky programu jsou rozděleny do funkčních celků a je popsán jejich princip a význam. Třetí část je věnována částem programu zajišťujícím akvizici dat v průběhu zkoušky. Jsou zde ukázány příklady řešení jednotlivých komponent programu.

V poslední části práce je popsána zkouška, která ověřuje funkčnost stanoviště pro měření řadicích spojek. Nejprve je proveden výpočet parametrů zkoušky, následují data naměřená při zkoušce a jejich popis. Zkušební stanoviště je po dokončení této práce připraveno na testování řadicích spojek, což bylo hlavním cílem.



Cílem navazujících prací by mohlo být ověření funkčnosti stanoviště na větším statistickém vzorku, provedení zkoušek funkčnosti a životnosti řadicích synchronizačních i zubových spojek. Je zde také prostor pro rozšíření funkcí programu. Dalo by se zaměřit zejména na pokročilé způsoby zpracování dat, což by zjednodušilo průběh vyhodnocování zkoušek.



Seznam použité literatury

[1]	REMEK, Branko; HATSCHBACH, Petr; VÁVRA, Jiří. Experimentální metody a měření v dopravní technice, Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2004, Praha, ISBN 978-80-01-04921-1
[2]	JENČÍK J., VOLF J. a kol., Technická měření, Vydavatelství ČVUT, 2000, Praha ISBN 80-01-02138-6
[3]	HNILICA, Jaroslav. Realizace výukového modelu pro laboratoř – převodovka [online]. Pardubice, 2009 [cit. 2022-07-09]. Dostupné z: https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/33474/HnilicaJ_Realizace%20vyukoveho_J_P_2009.pdf?sequence=1&isAllowed=y . Bakalářská práce. UNIVERZITA PARDUBICE DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA.
[4]	HOBLÍK, Bc. Jan. Zkušební stanoviště pro testování synchronizačních spojek [online]. Praha, 2019 [cit. 2022-07-09]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/80525/F2-DP-2019-Hoblik-Jan-DP%20Jan%20Hoblik.pdf . Diplomová práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ.
[5]	BRZOBOHATÝ, Lukáš. MĚŘENÍ TEPLoty [online]. Brno, 2011 [cit. 2022-07-09]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=41171 . Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ.
[6]	HLAVATÝ, Jakub. Integrace vnější synchronizace pro experimentální převodovku [online]. Praha, 2021 [cit. 2022-07-09]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/96762/F2-BP-2021-Hlavaty-Jakub-Bakalarska%20prace%20-%20Jakub%20Hlavaty.pdf?sequence=-1&isAllowed=y . Bakalářská práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ.
[7]	KOVÁŘ, Bc. Martin. Ovládání a akvizice dat na zkušebním stavu převodových ústrojí motorových vozidel [online]. Praha, 2019 [cit. 2022-07-09]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/86289/F2-DP-2019-Kovar-Martin-diplomova_prace_martin_kovar.pdf?sequence=-1&isAllowed=y . Diplomová práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ.
[8]	TOKAR, Daniel. TEPLOTNÍ ČIDLA [online]. Praha, 2009 [cit. 2022-07-09]. Dostupné z: https://wiki.control.fel.cvut.cz/mediawiki/images/d/dc/Bp_2009_tokar_daniel.pdf . Bakalářská práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ.
[9]	NAUNHEIMER, Harald. Automotive transmissions: fundamentals, selection, design, and application. 2nd ed. Přeložil Aaron KUCHLE. Berlin: Springer, c2011. ISBN isbn978-3-642-16213-8.
[10]	NI-9403 Datasheet [online]. [cit. 2022-07-09] Dostupné z: https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/ni-9403-specs/page/specs.html
[11]	NI-9411 Datasheet [online]. [cit. 2022-07-09] Dostupné z: https://download.ni.com/support/manuals/373506a_02.pdf
[12]	NI-9472 Datasheet [online]. [cit. 2022-07-09] Dostupné z: https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/ni-9472-specs/page/specs.html
[13]	NI-9481 Datasheet [online]. [cit. 2022-07-09] Dostupné z: https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/ni-9481-specs/resource/373507d.pdf
[14]	NI-9205 Datasheet [online]. [cit. 2022-07-09] Dostupné z: https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/ni-9205-specs/page/overview.html



[15]	NI-9212 Datasheet [online]. [cit. 2022-07-09] Dostupné z: https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/ni-9212-specs/page/specs.html
[16]	NI-9263 Datasheet [online]. [cit. 2022-07-09] Dostupné z: https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/ni-9263-specs/page/specs.html
[17]	PIUSI VISCOMAT 230/3 400 V Datasheet [online]. [cit. 2022-07-09] Dostupné z: https://www.piusi.com/products/viscomat-gear
[18]	SIEMENS MXG 461.15-0.6p Datasheet [online]. [cit. 2022-07-09] Dostupné z: https://sid.siemens.com/v/u/10417
[19]	RS 797-4992 Datasheet [online]. [cit. 2022-07-09] Dostupné z: https://uk.rs-online.com/web/p/pressure-sensors/7974992
[20]	PMIS4-20-50 Datasheet [online]. [cit. 2022-07-09] Dostupné z: https://www.asm-sensor.com/files/asmTheme/pdf/asm_posimag_rot_pmis4_pmir5_en.pdf
[21]	Kistler 4551A Datasheet [online]. [cit. 2022-07-09] Dostupné z: https://www.kistler.com/en/product/type-4551a/
[22]	Kistler 9106a Datasheet [online]. [cit. 2022-07-09] Dostupné z: https://www.kistler.com/files/document/000-108e.pdf
[23]	Kistler 5073A Datasheet [online]. [cit. 2022-07-09] Dostupné z: https://www.kistler.com/en/product/type-5073a/
[24]	Solartron Metrology 926229 Datasheet [online]. [cit. 2022-07-09] Dostupné z: https://docs.rs-online.com/8dae/0900766b815ddb14.pdf
[25]	Solartron Metrology DRC Datasheet [online]. [cit. 2022-07-09] Dostupné z: https://solartron.cdstore.com/datasheets/solartron/dinrailconditioning07.pdf
[26]	Festo SMT-8M-A-NS-24V-E-2,5-OE Datasheet [online]. [cit. 2022-07-09] Dostupné z: https://www.festo.com/us/en/a/574338/?siteName=Festo+USA
[27]	Siemens 3RF2 AC 51 Datasheet [online]. [cit. 2022-07-09] Dostupné z: https://mall.industry.siemens.com/mall/en/us/Catalog/Product/3RF24201AC45
[28]	Festo ADN-32-30-A-P-A Datasheet [online]. [cit. 2022-07-09] Dostupné z: https://www.festo.com/us/en/a/536273/?q=Festo%20ADN-32-30-A-P-A~:festoSortOrderScored
[29]	Festo VPPE-3-1-1/8-10-010-E1 Datasheet [online]. [cit. 2022-07-09] Dostupné z: https://www.festo.com/us/en/a/557773/?q=VPPE-3-1-1%2F8-10-010-E1~:festoSortOrderScored
[30]	Festo VSVA-B-P53E-ZH-A2-1C1 Datasheet [online]. [cit. 2022-07-09] Dostupné z: https://www.festo.com/us/en/a/547085/?q=Festo%20VSVA-B-P53E-ZH-A2-1C1~:festoSortOrderScored
[31]	SIEMENS SIMOTICS S1FT7-5AK70 Datasheet [online]. [cit. 2022-07-09] Dostupné z: https://new.siemens.com/global/en/products/drives/electric-motors/motion-control-motors/simotics-s/simotics-s-1ft7.html
[32]	SIEMENS 1LE1001-1DA33-4AA4 Datasheet [online]. [cit. 2022-07-09] Dostupné z: https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/1LE1001-1DA33-4AA4-Z
[33]	Help programu NI LabVIEW 2019 f2 [cit. 2022-07-09]
[34]	VLK, František. Převodová ústrojí motorových vozidel: spojky : převodovky : rozvodovky : diferenciály : hnací hřídele : klouby. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5275-2.
[35]	PAKOSTA, Jiří a ACHTENOVÁ, Gabriela. Návrh setrvačnickového zkušebního stavu pro zkoušky řazení převodovek. Praha: ČVUT Fakulta strojní, odborný článek, 2015.



[36]	Osobní automobily registrované v ČR tabulka [online]. [cit. 2022-07-09] Dostupné z: https://www.mdcr.cz/Statistiky/Silnicni-doprava/Dopravni-park
[37]	FORMÁNEK, Pavel. PŘEVODOVKY ŘAZENÉ POD ZATÍŽENÍM [online]. Brno, 2018 [cit. 2022-07-12]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=175182 . Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ.
[38]	PŘIBYL, Ondřej. Senzory ve vozidle [online]. Praha, 2016 [cit. 2022-07-12]. Dostupné z: https://adoc.pub/senzory-ve-vozidle-ondrej-pibyl-ustav-aplikovane-matematiky-v.html . Přednáška. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA DOPRAVNÍ.
[39]	Types of Pumps in Oil and Gas Industry [online]. 28377 Freeman Road, Katy, TX 77493: Integrated Flow Solutions, 2019 [cit. 2022-07-12]. Dostupné z: https://ifsolutions.com/types-of-pumps-in-oil-and-gas-industry/
[40]	Řadičí synchronizační spojka [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://www.hoerbiger.com/upload/image/classicline_eco_exploded.png
[41]	Řadičí zubová spojka [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://www.fs.cvut.cz/veda-a-vyzkum/vysledky/vysledky-projektu/vysledky-radici-spojka/
[42]	MQ281 [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://www.auto.cz/volkswagen-ma-novou-manualni-prevodovku-debutuje-v-passatu-vyrabi-ji-seat-a-pouzije-i-skoda-130129
[43]	Synchronizační spojka Porsche [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: http://skoda.panda.cz/clanek.php3?id=436
[44]	Termočlánky [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: http://www.ardatech.cz/technicke_informace/
[45]	Tlaky [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: http://home.zcu.cz/~formanek/mmvvyuka/Data/ivk-mt-soubory/10-F.pdf
[46]	Hallův senzor [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://automatizace.hw.cz//magneticke-senzory-s-hallovym-efektem-1-princip
[47]	Schéma potenciometrického snímače polohy [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: http://iat.fs.cvut.cz/109/files/DP/Mares_Vlastimil_DP2000_kyvadlo/mereni_polohy/p_snimac.htm
[48]	cDAQ šasi [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://www.ni.com/cs-cz/shop/hardware/products/compactdaq-chassis.html
[49]	Moduly NI-9403 a NI-9411 [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://www.ni.com/cs-cz/support/model.ni-9403.html a https://www.ni.com/cs-cz/support/model.ni-9411.html
[50]	Moduly NI-9472 a NI9481 [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://www.ni.com/cs-cz/support/model.ni-9472.html a https://www.ni.com/cs-cz/support/model.ni-9481.html
[51]	Moduly NI-9205 a NI-9212 [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://www.ni.com/cs-cz/support/model.ni-9205.html a https://www.ni.com/cs-cz/support/model.ni-9212.html
[52]	Modul NI-9263 [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://www.ni.com/cs-cz/support/model.ni-9263.html
[53]	Olejová nádrž 25 l [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://www.hydrolider.cz/cs_CZ/p/Olejova-nadrz-25L-s-prislusenstvim-bocni-montaz-9781



[54]	Olejový filtr [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://cz.rs-online.com/web/p/hydraulicke-filtry/0512588
[55]	PIUSI VISCOMAT 230/3 400 V [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://www.piusi.com/products/viscomat-gear
[56]	VMP V0710/180 [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://shop.eriks.be/en/pressure-relief-valve-vmp-1-2-quot-12495683/
[57]	RS Pro 862-5635 [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://www.sesino.com/wp-content/uploads/2019/02/bc250_1224_BY_retro-1-800x440.jpg
[58]	SIEMENS MXG 461.15-0.6p [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://blackhawksupply.com/products/siemens-mxg461-50-30u-magnetic-valve-2-0-10v-control-valve
[59]	Parker 9F1200SF [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://www.kovaz.cz/skrtpci-ventil-3-4-nbr-210-bar-9f1200sf-174768/
[60]	Termočlánek J [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://ae01.alicdn.com/kf/H36d140bae95541f9a4d1a839760002f7M/Thermocouple-M8-1m-2m-3m-4m-5m-Type-K-E-J-PT100-50mm-150mm-100mm-200mm.jpg_50x50.jpg_.webp
[61]	RS 797-4992 [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://uk.rs-online.com/web/p/pressure-sensors/7974992
[62]	PMIS4-20-50 [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://www.rem-technik.cz/senzorika/senzory-pro-mereni-uhlu/inkrementalni-magneticky-enkoder-pmis4-pmir7-314.html
[63]	Kistler 4551A [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://www.kistler.com/en/product/type-4551a/
[64]	Kistler 9106a, 5073A [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://www.kistler.com/en/product/type-9106c/ a https://www.kistler.com/en/product/type-5073a/
[65]	Solartron Metrology 926229 a DRC [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://uk.rs-online.com/web/p/motion-control-sensors/7271325 a https://th.rs-online.com/web/p/signal-conditioners/7753893
[66]	Festo SMT-8M-A-NS-24V-E-2,5-OE [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://www.festo.com/us/en/a/574338/?siteName=Festo+USA
[67]	SIEMENS 3RF2 AC 51 [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://mall.industry.siemens.com/mall/en/us/Catalog/Product/3RF24201AC45
[68]	Festo ADN-32-30-A-P-A [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://cz.rs-online.com/web/p/pneumaticke-valce-vodicich-tyci/1366793
[69]	Festo VSVA-B-P53E-ZH-A2-1C1 Datasheet [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://www.festo.com/media/pim/485/D15000100122485.PDF
[70]	Festo VPPE-3-1-1/8-10-010-E1,VSVA-B-P53E-ZH-A2-1C1 [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://www.festo.com/us/en/a/557773/ a https://www.festo.com/us/en/a/547085/?autoShowCad=true
[71]	SIEMENS SIMOTICS S1FT7-5AK70 [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://eltra-trade.com/files/products/1FT7044-siemens.jpg
[72]	SIEMENS SIMOTICS GP 1AV2164A [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://plc-trade.com/mpn/1le1504-1ca01-8aa4/
[73]	Nouzové tlačítko [online]. [cit. 2022-07-12] Dostupné z: https://cz.rs-online.com/web/p/nouzova-tlacitka/6094714



Seznam obrázků

Obrázek 1: Řadicí synchronizační spojka [40].....	13
Obrázek 2: Řadicí zubová spojka [41]	13
Obrázek 3: Pilový diagram MQ 200 PSU.....	14
Obrázek 4: Převodovka MQ281 [42]	16
Obrázek 5: Řazení zubovou spojkou [34]	18
Obrázek 6: Řazení synchronizační spojkou [34]	19
Obrázek 7: Synchronizační spojka Porsche [43]	19
Obrázek 8: Rozměry kuželové třecí spojky [4].....	20
Obrázek 9: Zkušební stav v laboratořích na Julisce [15]	24
Obrázek 10: Zkušební převodovka v laboratořích na Julisce [4].....	25
Obrázek 11: Schéma olejového okruhu.....	27
Obrázek 12: Druhy měřených tlaků [45].....	32
Obrázek 13: Hallův senzor [46].....	35
Obrázek 14: Schéma LVDT.....	36
Obrázek 15: Schéma potenciometrického snímače polohy [47]	37
Obrázek 16: CDAQ šasi [48]	38
Obrázek 17: Moduly NI-9403 a NI-9411 [49].....	39
Obrázek 18: Moduly NI-9472 a NI-9481 [50].....	40
Obrázek 19: Moduly NI-9205 a NI-9212 [51].....	41
Obrázek 20: Modul NI-9263 [52]	41
Obrázek 21: Olejová nádrž 25 l [53]	43
Obrázek 22: Topné tělso.....	44
Obrázek 23: Olejový filtr [54].....	45
Obrázek 24: Čerpadlo PIUSI VISCOMAT 230/3 400 V [55].....	46
Obrázek 25: Pojistný ventil VMP V0710/180 [56]	47
Obrázek 26: Chladič oleje RS Pro 862-5635 [57]	48
Obrázek 27: SIEMENS MXG 461.15-0.6p [58].....	49
Obrázek 28: Uchycení směšovacího ventilu	49
Obrázek 29: Redukční ventil Parker 9F1200SF [59].....	50
Obrázek 30: Olejový okruh	51
Obrázek 31: Víko převodovky.....	53
Obrázek 32: Prstence setrvačníku	54
Obrázek 33: Termočlánek typu J [60]	55
Obrázek 34: Senzor tlaku RS 797-4992 [61]	56
Obrázek 35: Senzor otáček PMIS4-20-50 [62]	57
Obrázek 36: Příruba Kistler 4551A [63]	58
Obrázek 37: Kistler 9106a a Kistler 5073A [64]	59
Obrázek 38: Solartron Metrology 926229 a Solartron Metrology DRC [65].....	60
Obrázek 39: Festo SMT-8M-A-NS-24V-E-2,5-OE [66]	60
Obrázek 40: SIEMENS 3RF2 AC 51 [67].....	62
Obrázek 41: Festo ADN-32-30-A-P-A [68].....	63
Obrázek 42: Konfigurace 5/3 ventilu [69].....	64
Obrázek 43: Festo VPPE-3-1-1/8-10-010-E1 a Festo VSVA-B-P53E-ZH-A2-1C1 [70]	65
Obrázek 44: SIEMENS SIMOTICS S1FT7-5AK70 [71]	66
Obrázek 45: SIEMENS SIMOTICS GP 1AV2164A [72]	67
Obrázek 46: Hříbkové tlačítko nouzového zastavení [73]	69
Obrázek 47: Ukázka block diagramu	70
Obrázek 48: Ukázka front panelu	70
Obrázek 49: Smyčka for a while.....	71
Obrázek 50: Case a event struktura.....	71
Obrázek 51: Ukázka druhů proměnných	72



Obrázek 52: Front panel aplikace pro kontrolu zkušebního stavu pro testování řadicích spojek	74
Obrázek 53: Schéma hlavní ovládací smyčky.....	76
Obrázek 54: Hlavní ovládací smyčka stanoviště fáze řazení	77
Obrázek 55: Smyčka ovládání elektromotoru SIEMENS SIMOTICS GP 1AV2164A	78
Obrázek 56: Smyčka ovládání motoru SIEMENS SIMOTICS S1FT7-5AK70.....	79
Obrázek 57: Smyčka pro řízení teploty oleje v nádrži.....	80
Obrázek 58: Smyčka pro řízení směšovacího ventilu.....	81
Obrázek 59: Smyčka pro ovládání řazení.....	82
Obrázek 60: Smyčka pro řízení tlaku	83
Obrázek 61: Kontrolní smyčka	84
Obrázek 62: Pokyny nouzového zastavení	84
Obrázek 63: Akvizice teploty	85
Obrázek 64: Sběr analogových dat	86
Obrázek 65: Měření otáček	87
Obrázek 66: Detekce polohy pístu.....	88
Obrázek 67: Graf zkoušky přeřazení 2-3 při 25 km/h	91
Obrázek 68: Graf zkoušky přeřazení 4-3 při 50 km/h	92



Seznam tabulek

Tabulka 1: Přehled typů termočlánků [44]	29
Tabulka 2: Parametry motoru SIEMENS SIMOTICS S1FT7-5AK70 [31]	66
Tabulka 3: Základní parametry motoru SIEMENS SIMOTICS GP 1AV2164A [32].....	68