

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**ZAŘÍZENÍ PRO
KONKURENČNÍ OVLÁDÁNÍ
LABORATORNÍHO MODELU**

2019

Autor: Bc. Jan Riedl

Vedoucí: Ing. Pavel Trnka Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Riedl** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **410527**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav přístrojové a řídicí techniky**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Přístrojová a řídicí technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Zařízení pro konkurenční ovládání laboratorního modelu

Název diplomové práce anglicky:

Device for concurrent control of laboratory model

Pokyny pro vypracování:

1. Navrhněte zařízení umožňující konkurenční přístup dvojice řídicích systémů (PLC a měřicí karta) k jednomu řízenému zařízení (laboratorní model).
2. Realizujte prototyp tohoto zařízení alespoň ve formě instalace součástek na nepájivé pole a otestujte funkci na reálném zařízení.
3. Vytvořte dokumentaci pro výrobu a obsluhu tohoto zařízení.
4. Sestavte program (případně programový blok) pro PLC v jazyce dle normy IEC/EN 61131-3 umožňující vzdálené ovládání tohoto zařízení.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Tkotz, Klaus. Příručka pro elektrotechnika. 2. dopl. vyd. Praha: Europa - Sabotáles, 2006. ISBN 80-86706-13-3.
- [2] IEC 61131-3:2013 Programmable controllers - Part 3: Programming languages.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Pavel Trnka, Ph.D., U12110.3


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

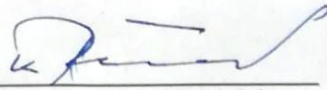
Datum zadání diplomové práce: **26.04.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **12.06.2019**

Platnost zadání diplomové práce:


Ing. Pavel Trnka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

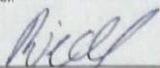

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

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.

26.4.2019

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu zdrojů. Souhlasím také s tím, aby tato práce byla využita jako podklad pro zpracování laboratorních úloh pro předmět Automatické řízení a Identifikace dynamických systémů. Souhlasím také s případnou publikací výsledků diplomové práce nebo její podstatné části, pokud budu uveden jako její spoluautor.

V Praze dneJan Riedl

Poděkování

Děkuji vedoucímu své diplomové práce, panu Ing. Pavlu Trnkovi PhD. za jeho vedení, všestrannou a odbornou pomoc, cenné rady a připomínky při zpracování této práce.

Dále děkuji své manželce, rodině, pracovníkům i kantorům ústavu Přístrojové a řídicí techniky a svým spolužákům, zejména Bc. Martinu Cahynovi, Bc. Nikitovi Mazurenkovi a Bc. Jaroslavu Petrášovi.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá návrhem zařízení umožňujícího konkurenční přístup dvojice řídicích systémů (PLC a měřicí karta) k jednomu řízenému zařízení (laboratorní model). Cílem práce je zhotovení prototypu, dokumentace pro výrobu a obsluhu a vytvoření obslužného programu tohoto zařízení.

Klíčová slova:

PLC, Tecomat, Řídicí systém, Měřicí karta, LabJack, Signál

Abstract

This diploma thesis deals with the design of a device enabling concurrent access of two control systems (PLC and measuring card) to one controlled device (laboratory model). The aim of this work is to make a prototype, documentation for production and operation and to create a service program for this device.

Keywords:

PLC, Tecomat, Controlling system, Measuring card, LabJack, Signal

Seznam tabulek

Tab. 1 Unifikované úrovně analogových signálů	3
Tab. 2 Napěťové úrovně logiky TTL a CMOS pro jmenovité napětí 5 V	4
Tab. 3 Porovnání výhod a nevýhod elmag. relé a analog. přepínače	11
Tab. 4 Kusovník pro výrobu jednoho zařízení Signal Switch	21
Tab. 5 Tabulka parametrů zařízení Signal Switch	43
Tab. 6 Tabulka zkratk; Systém značení svorkovnic a signálů (Anglický jazyk)	45

Seznam obrázků

Obr. 2.1 Principiální blokové schéma	2
Obr. 2.2 Ukázky digitalizovaného signálu; převzato z [3]	4
Obr. 3.1 Schéma v online simulátoru Falstad - http://tinyurl.com/y456mf7e	5
Obr. 3.2 Relé RY-24W-K – přepínací funkce; převzato z [5]	6
Obr. 3.3 Analogový přepínač DG333ALDQ-T1-E3.; Převzato z [6]	7
Obr. 3.4 Zpětná vazba – napěťový signál	8
Obr. 3.5 Zpětná vazba – proudový signál	8
Obr. 4.1 Foto přípravku pro experiment	9
Obr. 4.2 Návrhy rozmístění konektorů na DPS	12
Obr. 4.3 Svorkovnice WAGO 250, barevné kombinace; převzato z: https://www.wago.com/	13
Obr. 4.4 Zjednodušené schéma přepínání řídicích signálů pro digitální a analogový signál	14
Obr. 4.5 Zjednodušené schéma zapojení zpětné vazby	15
Obr. 4.6 Zjednodušené schéma zapojení zemních svorek	15
Obr. 4.7 DPS prototypu Signal Switch	16
Obr. 4.8 Foto prototypu Signal Switch	17
Obr. 4.9 Foto laboratorní úlohy – Kulička na tyči	17
Obr. 4.10 Foto experimentu prototypu zařízení Signal Switch na reálné úloze	18
Obr. 4.11 Foto ověření odečítání zpětné vazby	18
Obr. 4.12 Zjednodušené schéma zapojení zemních svorek	19
Obr. 4.13 Ukázka DPS Signal Switch	20
Obr. 4.14 Návrh designu zařízení Signal switch	20
Obr. 4.15 Úprava patič	22
Obr. 4.16 Vyznačení propojů DPS	22

Obr. 4.17 Pohled na zadní stranu DPS – Strana cínu	22
Obr. 5.1 Příklad zápisu logické funkce v jazyce IL; prostředí Mosaic.....	26
Obr. 5.2 Příklad zápisu logické funkce v jazyce ST; prostředí Mosaic	26
Obr. 5.3 Příklad zápisu logické funkce v jazyce LD; prostředí Mosaic.....	26
Obr. 5.4 Příklad zápisu logické funkce v jazyce FBD; prostředí Mosaic.....	27
Obr. 5.5 Příklad zápisu logické funkce v jazyce SFC.....	27
Obr. 5.6 Příklad zápisu logické funkce v jazyce CFC; prostředí Mosaic	27
Obr. 5.7 Konfigurační nástroje	28
Obr. 5.8 Programovací jazyky prostředí Mosaic	28
Obr. 5.9 Nastavení komunikačního kanálu	29
Obr. 5.10 Prostředí na otestování funkce vzdáleného přepínání	30
Obr. 5.11 Fotografie experimentu vzdáleného ovládání zařízení Signal Switch.....	31

Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotka	Popis
R	$[\Omega]$ - Ohm	Elektrický odpor
U	$[V]$ - Volt	Elektrické napětí
I	$[A]$ - Ampér	Elektrický proud

Seznam použitých zkratk

HW	Hardware
SW	Software
DPS	Deska plošných spojů
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
PLC	Programable Logic Controller

Obsah

1. Úvod	1
2. Popis navrhovaného zařízení Signal Switch	2
2.1 Typy signálů	3
3. Funkce zařízení Signal Switch.....	5
3.1 Přepínání řídicích signálů.....	5
3.2 Rozdělení signálů zpětné vazby	7
4. Návrh a vývoj zařízení Signal Switch	9
4.1 Relé versus analogový přepínač.....	9
4.2 Konektory versus svorkovnice WAGO	11
4.3 Montáž na DIN lištu	13
4.4 Návrh a výroba prototypu zařízení Signal Switch.....	14
4.5 Návrh finálního zařízení Signal Switch	19
5. Vzdálené ovládání zařízení Signal Switch	25
5.1 Programovací jazyky PLC dle normy IEC/EN 61131-3	25
5.2 Program umožňující vzdálené ovládání	28
6. Závěr:	32
Bibliografie.....	33
Seznam příloh:.....	35
Seznam elektronických příloh.....	36
Příloha 1 – Úplné schéma prototypu zařízení Signal Switch.....	37
Příloha 2 – DPS prototypu zařízení Signal Switch	38
Příloha 3 – Úplné schéma finálního zařízení Signal Switch	39
Příloha 4 – DPS finálního zařízení Signal Switch.....	40
Příloha 5 – Výrobní postup zařízení Signal Switch	41
Příloha 6 – Návod k použití zařízení Signal Switch	43

1. Úvod

V této práci se zabývám vývojem a zhotovením prototypu zařízení, které bude součástí laboratorních úloh. Toto zařízení umožní přistupovat jednomu ze dvou řídicích systémů (konkurenční přístup) k jednomu laboratornímu modelu (systému). Na prototyp zařízení jsou kladeny dva hlavní funkční požadavky – přepínání řídicích signálů dvojice řídicích systémů a sledování odezvy výstupního signálu (tzn. zpětná vazba) systému oběma řídicími systémy. V HW části této práce se zabývám nejen elektrickým zapojením, ale i konstrukčním uspořádáním dle požadavků správce laboratoře a vedoucím práce. V SW části se věnuji přípravě části programu, který zajistí vzdálené ovládání tohoto zařízení. Další požadavky na zařízení jsou zmíněny v konkrétních kapitolách.

Součástí této práce bude vypracovaný výrobní postup při osazování DPS, návod k použití (uživatelská příručka), výrobní dokumentace a kusovník. Navrhovanému zařízení jsem přiřadil pracovní název *Signal Switch* (přepínač signálu).

Základní myšlenkou, proč zhotovit toto zařízení, je modernizace laboratoře automatického řízení. Studenti předmětu Automatické řízení (AŘ) nebo Identifikace dynamických systémů (IDS) budou moci k laboratorním úlohám přistupovat a řídit je prostřednictvím SCADA systému (část, zabývající se SCADA systémem je zahrnuta v jiné diplomové práci).

Předmět AŘ je základní kurz pro studenty všech specializací fakulty strojní. Při laboratorních cvičeních se studenti seznamují s tím, jak vypadá průmyslová automatizace v praxi. K tomu využívají PLC, které se naučí programovat pro potřeby logického řízení, seřizování regulátorů a měření frekvenčních charakteristik.

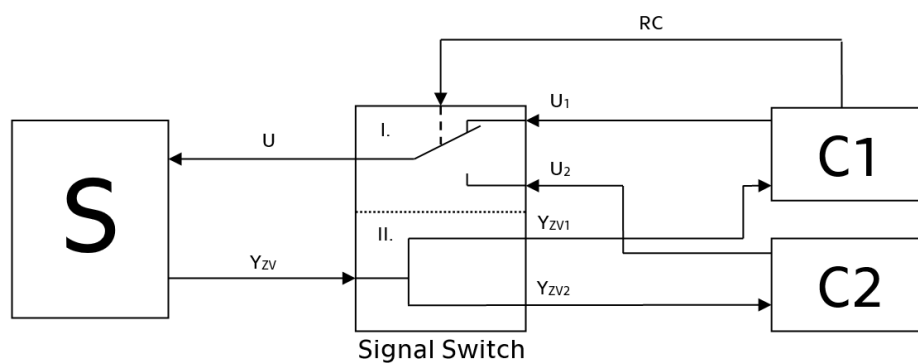
Předmět IDS je určen pro studenty navazujícího magisterského studia, kde se v rámci semestrální práce zaměří na modelování systému (v prostředí Matlab Simulink), který sami identifikují. K této identifikaci využívají PC vybavený měřicí kartou. [1]

2. Popis navrhovaného zařízení Signal Switch

Zařízení Signal Switch bude v laboratorní úloze umístěno mezi dvěma řídicími HW – C1 (Control 1) a C2 (Control 2), a laboratorním modelem S (System). Zařízení bude plnit následující dvě funkce:

- I. Přepínání řídicích signálů
- II. Rozvětvení signálů zpětné vazby

Jednoduchý princip vysvětluje Obr. 2.1, kde Y_{zv} je výstupní signál (zpětná vazba) ze systému (Y_{zv1} a Y_{zv2} jsou signály zpětné vazby pro řídicí systémy C1 a C2); U je vstupní (řídicí) signál do systému (U_1 a U_2 jsou výstupy řídicích systémů C1 a C2) a RC je signál určený pro vzdálené přepínání řídicích signálů U_1 a U_2 .



Obr. 2.1 Principiální blokové schéma

K řízení jedné laboratorní úlohy budou použity dva řídicí HW a to konkrétně:

PLC Tecomat Foxtrot CP-1013

PC vybaven měřicí kartou (např.: LabJack U3-HV).

2.1 Typy signálů

V této kapitole se zabýváme typy signálů, které budou navrhovaným zařízením přenášeny. Vycházím z požadavků na hardware laboratoře, které definují, jakými signály budou úlohy řízeny, popř. definici signálů zpětné vazby. Jedná se o analogové a digitální signály.

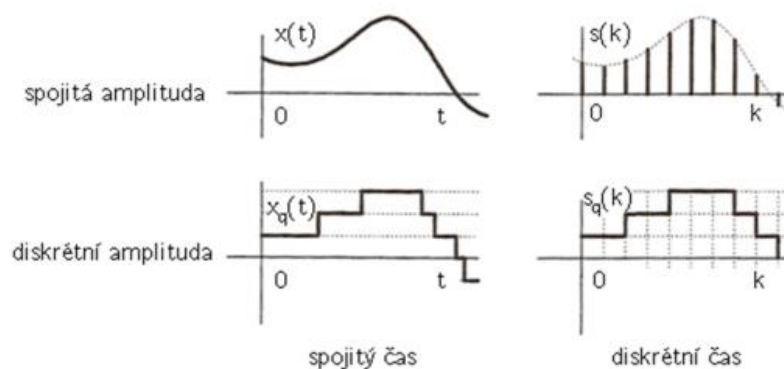
Analogové (spojité) signály mohou nabývat jakékoliv hodnoty uvnitř intervalu tvořeného krajními hodnotami signálu. Jsou plynule proměnlivé. Může se jednat o fyzikální veličiny jako elektrický proud nebo napětí, světlo, akustický tlak, magnetické vlnění apod. Zajímá nás především časový průběh, tj. amplituda, fáze a frekvence, nebo velikost či efektivní hodnota. V praxi se nejčastěji vyskytuje analogový signál ve formě proudu nebo napětí. [2] Pro účely řízení nebo zpětné vazby nabývají tyto elektrické veličiny tzv. unifikovaných hodnot napětí nebo proudu.

Pro účely laboratoře automatického řízení jsou analogové signály využity především při identifikaci dynamických systémů, nastavování parametrů regulátorů (P, PI, PID), měření frekvenčních vlastností soustav anebo měření jiných neelektrických veličin. Pro tyto účely jsou zatím využívány pouze napěťové signály. Do budoucna se však počítá s možností, že akční zásah nebo zpětná vazba bude ve formě proudového signálu. Hodnoty analogových signálů jsou uvedeny v tabulce Tab. 1. [1]

Tab. 1 Unifikované úrovně analogových signálů

Napěťový signál	0 až +10 V
	-10 až +10 V
	0 až +5 V
	-5 až +5 V
Proudový signál	4 až 20 mA

Digitální (číslicové) signály vznikají převodem ze spojitého signálu vzorkováním (sampling). Aby byl dosažen důvěryhodný signál, musí být dodržen tzv. Vzorkovací teorém (Shannon, Nyquist, Kotělnikov). Ten říká, že vzorkovací frekvence musí být alespoň dvakrát větší, než je maximální frekvence obsažena ve vzorkovaném signálu. Při nedodržení této podmínky dochází k tzv. aliasingu, tedy ke ztrátě informace. [3]



Obr. 2.2 Ukázky digitalizovaného signálu; převzato z [4]

Binární signály mohou nabývat pouze dvou stavů, tj. 0 nebo 1, a jsou definovány napěťovými úrovněmi. [2] Používají se nejčastěji v informační technice jako nosič informace. Dle napěťové úrovně se rozdělují do standardů v komunikaci integrovaných obvodů. Nejčastěji se setkáváme s logikou TTL a CMOS (jejich úrovně viz Tab. 2). Ty se pak dále dělí podle jmenovitého napětí – pro TTL logiku je to např.: 3,3 V nebo 5 V; a pro CMOS logiku např.: 1,8 V, 2,5 V nebo 5 V.

Tab. 2 Napěťové úrovně logiky TTL a CMOS pro jmenovité napětí 5 V

logika	úroveň	vstup	výstup
TTL	0	0 až 0,8 V	0 až 0,4 V
	1	2 až 5 V	2,4 až 5 V
CMOS	0	0 až 1,5 V	0 až 0,5 V
	1	3,5 až 5 V	4,4 až 5 V

Mezi úrovněmi 0 a 1 se nachází tzv. zakázané pásmo nebo také pásmo neurčitosti, kde není určeno, o jakou úroveň se jedná. Je zavedeno z důvodu toho, že nelze vytvořit ideální signál bez šumu.

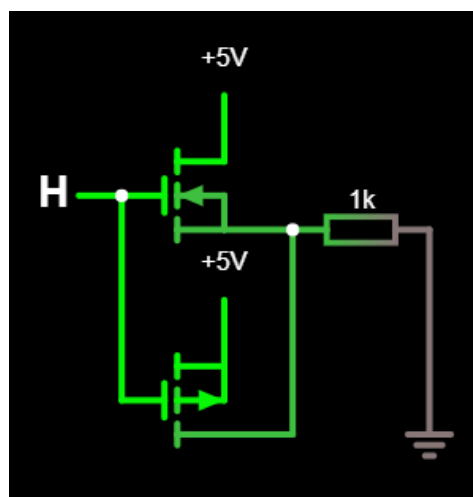
3. Funkce zařízení Signal Switch

V této kapitole se zabývám rozбором funkcí navrhovaného zařízení Signal Switch. Primárně jde o princip přepínání řídicích signálů a o rozdělení signálů zpětné vazby. Princip těchto funkcí popisuje principiální blokové schéma Obr. 2.1.

3.1 Přepínání řídicích signálů

Princip této funkce spočívá pouze v přepnutí, a tedy vytvoření přímé vodivé cesty z výstupu řídicího HW na vstup řízeného systému. Vzdálené ovládání této funkce bude realizováno jedním binárním výstupem řídicího PLC. Tímto požadavkem se vylučuje ruční přepnutí.

V první řadě jsem se pokusil o vytvoření přepínače pouze pomocí dvojice tranzistorů MOSFET-N a MOSFET-P. Experiment jsem zkoušel a ověřoval v online simulačním SW Falstad viz Obr. 3.1. Během experimentu jsem zkoušel i více zapojení, ale prokázalo se, že je tato varianta s tranzistory pro spolehlivý přenos řídicích signálů nevhodná. Možným důvodem je úbytek napětí na tranzistorech (v tomto případě by šlo o ztrátu informace). Možným řešením tohoto problému by bylo použití na výstupu tranzistoru (source) zesilovač. To by ovšem celý koncept jednoduchosti vcelku zkomplikoval. Proto jsem se rozhodl vybrat jednu ze dvou praktických a dostupných variant – relé nebo analogový přepínač.



Obr. 3.1 Schéma v online simulátoru Falstad - <http://tinyurl.com/y456mf7e>

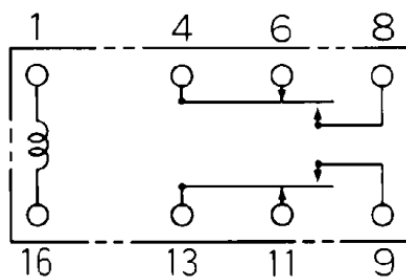
Relé je elektronická součástka, která se v praxi využívá pro spínání nebo přepínání elektrických signálů a výkonů, nebo jako galvanické oddělení. Relé lze rozdělit dle typu na elektromagnetická nebo polovodičová (SSR – Solid State Relay). Princip elektromagnetického relé spočívá v tom, že po průchodu proudu cívkou dojde k vytvoření magnetického pole, které přitáhne jazýček kontaktu. V důsledku toho dojde k sepnutí/přepnutí kontaktu mezi vstupem a výstupem relé. Na podobném principu fungují i polovodičové relé, které nemají elektromagnetický obvod, ale jsou vybaveny jednoduchou řídicí elektronikou. Ta bývá galvanicky oddělena od výkonové části. [5]

Kontakty mohou být konstruovány jako: *spínací* (NO – Normally Open), *rozpínací* (NC – Normally Close), *přepínací* (SPST – Single Pole Single Throw, DPDT – Double Pole Double Throw atd.), nebo postupně přepínací (přepínací bez přerušení) [2] Důležitými parametry pro návrh zapojení relé do obvodu je jmenovité napětí a proud cívky.

Výhoda relé: jednoduchost použití, robustnost, vyšší spínané proudy (desítky ampér), odolnost proti rušení, možnost nepřímého ovládání. U polovodičového relé je výhodou malá velikost a vyšší rychlost spínání a rozepínání.

Nevýhoda relé: trvalý odběr proudu v sepnutém stavu (netýká se bistabilního relé), delší časy přitahu nebo odtahu kontaktu (nelze použít PWM), životnost, hlučnost. U polovodičového relé je nevýhodou při spínání vyšších výkonů nutnost chlazení a oproti elektromagnetickému relé vysoká cena.

Cena relé má veliký rozsah. Začíná řádově na desítkách korun a končí v řádech tisíců. Záleží na tom, jaký účel má plnit, kde má být umístěno (např. na DIN lištu), jakého výrobce si zvolíme, dále jestli chceme jednotlivé relé nebo reléový modul. [1]



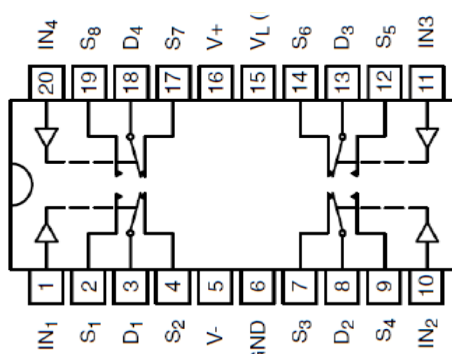
Obr. 3.2 Relé RY-24W-K – přepínací funkce; převzato z [6]

Analogový přepínač je polovodičová součástka. Analogový přepínač funguje podobně jako relé: Když na řídicí vstup přivedu napětí úrovně log. 1, dojde k přepnutí kontaktu. Z hlediska principu a konstrukce kontaktů je analog. přepínač stejný, jako polovodičové relé. Tím, čím se analogový přepínač liší od relé je to, že musí být trvale

připojen ke zdroji napětí. Velikost napájecího napětí limituje velikost spínaného napětí, podobně jako u operačního zesilovače nemůžeme získat vyšší napětí, než je napájecí napětí (saturace). Díky tomu také nemůžeme spínat vysoké výkony, na rozdíl od polovodičového SSR. Analogový přepínač najde využití např. ve sdělovací technice, v IT jako součást periferií, přepínač audio signálu atd.

Výhoda analogového přepínače: malé rozměry pouzdra (THT nebo SMD), možnost přepínání signálů s rozdílem napětí ΔU až 40 V a proudu ΔI až 30 mA

Nevýhoda analogového přepínače: nutnost použití napájení integrovaného obvodu, které je závislé na spínaném napětí, zkreslení přepínaného signálu vlivem vysoké frekvence (řádově 10^4 Hz). [1]

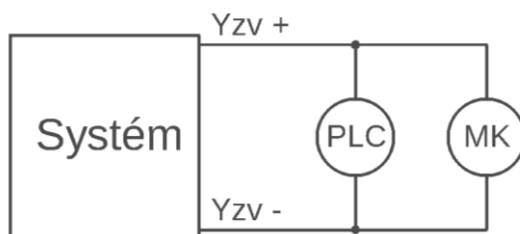


Obr. 3.3 Analogový přepínač DG333ALDQ-T1-E3.; Převzato z [7]

3.2 Rozdělení signálů zpětné vazby

Zpětná vazba je výstup systému (řízená veličina) a je fyzicky realizována jako elektrický signál od senzoru (např. ultrazvukový senzor vzdálenosti, otáčkoměr, tlakoměr atd.). U všech laboratorních úloh laboratoře automatického řízení jsou signály zpětné vazby reprezentovány digitálními a analogovými napěťovými signály. Může také nastat situace, že nainstalovaný snímač řízené veličiny bude mít výstupní proudový signál. Proto musím počítat i s touto variantou.

Rozdělení signálů zpětné vazby má zajistit bezpečné odečítání signálu na výstupu systému pomocí jak PLC, tak měřící karty. Jednoduchý princip, jak odečítat napěťový signál zpětné vazby ukazuje schéma na Obr. 3.4. V principu jde o paralelní připojení vstupních (analogových nebo digitálních) svorek PLC a měřící karty k výstupním svorkám systému. Na těchto svorkách (Y_{ZV+} a Y_{ZV-}) se měří napětí.



Obr. 3.4 Zpětná vazba – napěťový signál

V případě proudového signálu zpětné vazby je dle Obr. 3.5 paralelně připojen k napěťovému vstupu PLC a měřicí karty rezistor. Na tomto rezistoru o vhodné velikosti ohmického odporu vznikne úbytek napětí, které se měří stejným principem stejně, jako v předchozím případě. Výpočet vhodné velikosti ohmického odporu je dán jednoduchým Ohmovým zákonem (viz rovnice 1):

$$R = \frac{U}{I} \quad (1)$$

kde: R – elektrický odpor [Ω]

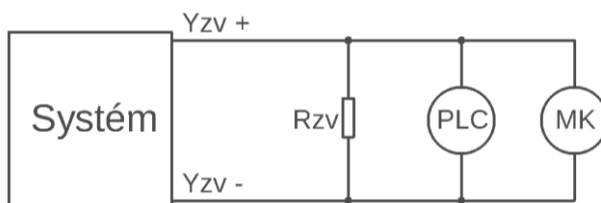
U – elektrické napětí [V]

I – elektrický proud [A]

Pomocí rezistoru R_{zv} se převádí proud na napětí, které je měřeno na vstupu PLC a měřicí karty. Hodnota tohoto rezistoru R_{zv} je dána proudovým a napěťovým rozsahem (viz Tab. 1). Maximální hodnotu rezistoru R_{zv} lze vypočítat pro hodnotu napěťového signálu $U_{max} = 10\text{ V}$:

$$R_{zv} \leq \frac{U_{max}}{I_{max}} = \frac{10\text{V}}{20\text{mA}} = 500\Omega \quad (3.2)$$

V případě napěťového signálu $U_{max} = 5\text{V}$ vychází hodnota rezistoru R_{zv} 250 Ω .



Obr. 3.5 Zpětná vazba – proudový signál

4. Návrh a vývoj zařízení Signal Switch

Požadavek, který musím splnit jako první, je vybrat způsob přepínání řídicích signálů. Ten se budu snažit splnit na základě experimentů a porovnáním výhod a nevýhod. Až vyberu vhodný způsob přepínání, tak se budu věnovat dalším požadavkům, které se týkají především konstrukce zařízení:

Rozumné rozměry zařízení, tj. maximální velikost srovnatelná s použitým PLC (158 × 92 × 63 mm).

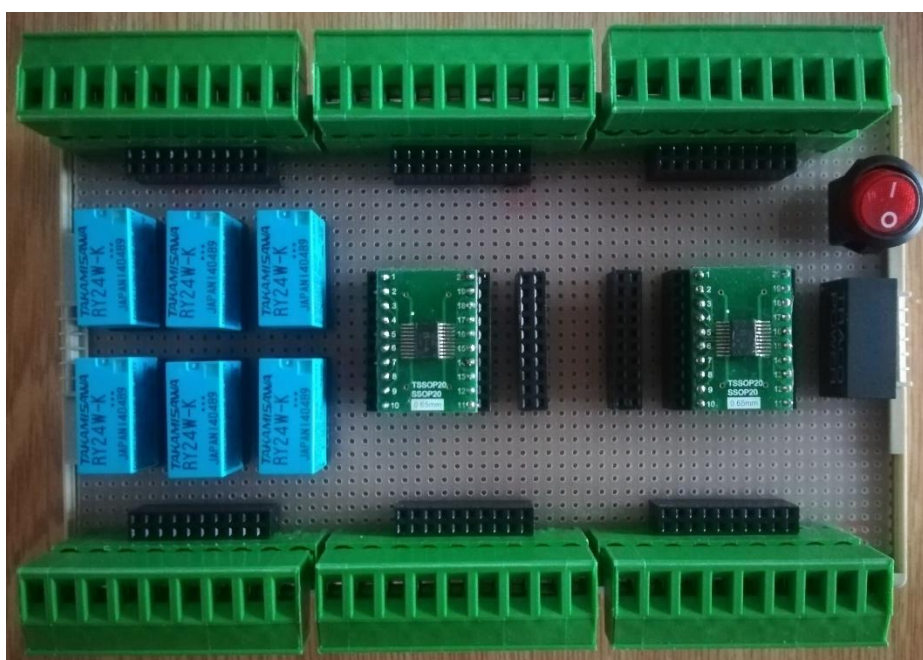
Vhodný způsob připojení vodičů.

Univerzální zařízení, tj. použitelné pro každou z laboratorních úloh (maximální počet signálů)

Montáž zařízení na DIN lištu vedle řídicího PLC.

4.1 Relé versus analogový přepínač

Pro výběr způsobu přepínání výsledného prototypu jsem se rozhodl provést zprvu experiment a poté jsem porovnal výhody a nevýhody obou způsobů. V rámci experimentu jsem sestavil přípravek. Tento přípravek se skládá z pájivého pole, šesti relé (RY-24W-K), dvou analogových přepínačů (DG333ALDQ-T1-E3), napájecího zdroje (DC měnič TRACO TMR3 2323WI), patič pro relé, dutinkových lišt, konektorů a kolébkového spínače s doutnavkou. Dále jsem přípravek upevnil do univerzálního rámečku (WEB1001), který lze upnout na DIN lištu.



Obr. 4.1 Foto přípravku pro experiment

I když se jedná pouze o přípravek, tak jsem ho již osadil headery a konektory PC (Phoenix Contact). PLC Tecomat Foxtrot jsou osazeny stejnými konektory, ale vývody svorek nejsou (jako v přípravku) přímé, ale kolmé. Ve výsledku jsem chtěl zachovat integritu s řídicím PLC.

Experiment jsem provedl v laboratoři automatického řízení. Nejdříve jsem spínal relé. Tento experiment byl velice jednoduchý, protože jsem všech 6 relé spínal laboratorním zdrojem 24 V DC a měřil jsem proud (odběr proudu) tekoucí všemi cívkami naráz. Tento proud činil necelých 20 mA, což je pro spínání pomocí PLC vyhovující. V případě testování analogového přepínače jsem použil DC měnič, který převádí 24 V DC na symetrických ± 15 V DC. Přepínání analogového přepínače jsem řídil pomocí vývojového modulu Arduino UNO, do kterého jsem nahrál jednoduchý program pro blikání systémové LED. Tímto binárním signálem jsem každou sekundu přepínal kontakty NO a NC. Na jeden signálový vstup analogového přepínače jsem připojil laboratorní generátor signálu periodického průběhu a na druhý zdroj stejnosměrného napětí +10 V (poté změna na -10V). Na generátoru jsem zvolil frekvenci 100Hz a obdélníkový průběh. Na signálový výstup analogového přepínače jsem nakonec připojil osciloskop. Na něm jsem pak sledoval změnu každou sekundu při přepínání mezi obdélníkovým signálem a stejnosměrným napětím. Tento experiment proběhl bez problémů.

Součástí experimentu bylo také ověření faktu, že analogový přepínač zkresluje signál přepínaného signálu při vyšších frekvencích. K této informaci jsem došel podrobnější analýzou datového listu analogového přepínače Vishay DG333ALDQ-T1-E3. Tato informace udává, že při překročení frekvence cca 10kHz dojde k útlumu signálu cca -20dB/1dec. Proto jsem se rozhodl tuto skutečnost ověřit. Použil jsem k tomu stejný generátor, jako v předchozím pokusu, jen jsem zvýšil frekvenci na 1kHz, změnil průběh na sinus a amplitudu zvýšil na ± 10 V. Poté jsem odpojil řídicí vstup analogového přepínače. Dále jsem na osciloskopu sledoval výstupní signál a začal postupně zvyšovat frekvenci. Amplituda výstupního signálu se neměnila, dokud jsem nedošel k frekvenci 10kHz. Po dalším navyšování frekvence se začala amplituda mírně snižovat až při 100kHz byl úbytek cca 1/3. Tím jsem ověřil tvrzení, že při vyšších frekvencích opravdu dochází k útlumu spínaného signálu. Tento experiment ale neomezuje možnost použití analogového přepínače v prototypu zařízení Signal Switch, protože frekvence více jak 10kHz by byla pouze u aplikace pro řízení otáček krokových motorů, takže by nedocházelo vlivem útlumu ke ztrátě informace.

Při opakování předchozího experimentu se však stala fatální nehoda, při které shořel DC měnič pro napájení analogových přepínačů. Příčinu jsem bohužel nedohledal. Cena tohoto měniče činí cca 500Kč, proto jsem experiment z finančních důvodů neopakoval. I

v tomto případě bych mohl prohlásit experiment za úspěšný, protože kdyby k závadě došlo během laboratorního cvičení, tak by údržba (v tomto případě náhrada) mohla být značně nákladná.

Na základě předchozích provedených experimentů jsem se jednoznačně rozhodl pro jednoduchost, nebo-li pro elektromagnetické relé.

Z hlediska porovnání výhod a nevýhod, které jsou zmíněné v podkapitole 3.1 (Přepínání řídicích signálů) a shrnuty v Tab. 3, jsem také zvolil relé.

Tab. 3 Porovnání výhod a nevýhod el.mag. relé a analog. přepínače

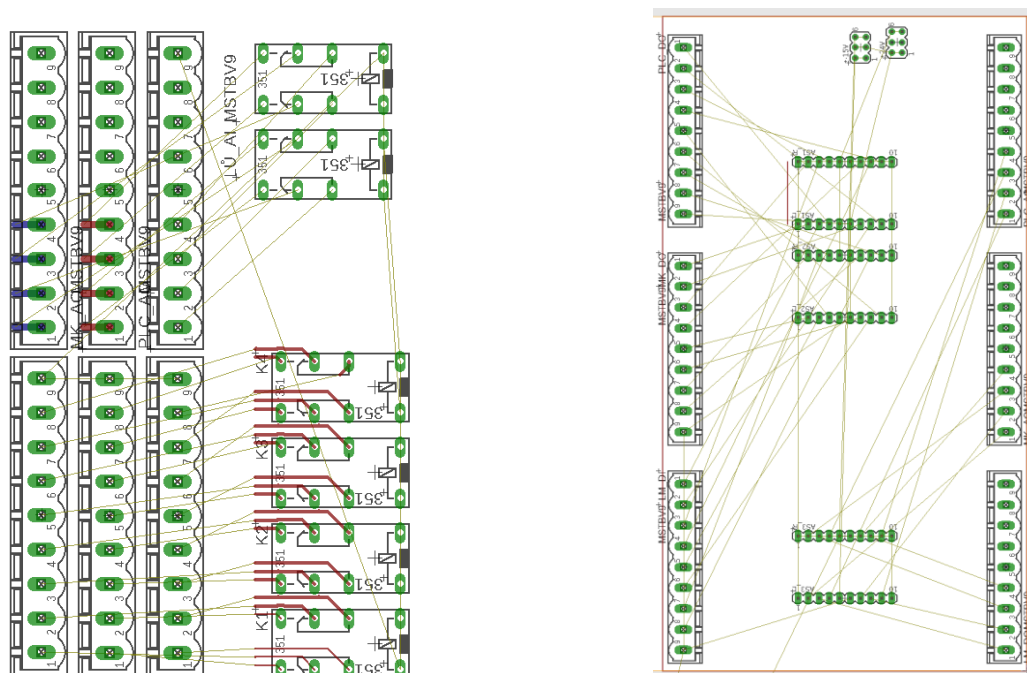
Relé		Analogový přepínač	
+	-	+	-
Jednoduchost	Trvalý odběr proudu v sepnutém stavu	Malé rozměry	Externí zdroj napájení
Robustnost	Nízká frekvence spínání	Přepínání signálů s ΔU cca 40 V ($I_{max} = 30$ mA)	Útlum při frekvencích >10 kHz
Vyšší spínané výkony	Životnost		Vyšší cena, než relé (v případě započítání ceny zdroje)
Odolnost proti rušení	Hlučnost (el.mag.)		
Cena dle provedení			

4.2 Konektory versus svorkovnice WAGO

V této podkapitole se zabývám způsobem připojení PLC, měřicí karty a systému do zařízení. Při navrhování připojení vodičů do zařízení jsem si uvědomil, že konektory nebo svorkovnice budou zabírat nejvíce místa na plošném spoji. Množství konektorů/svorkovnic závisí na počtu přiváděných a odváděných signálů. Tímto rozbohem se budu zabývat později.

V předchozí podkapitole již bylo zmíněno, že jsem použil v přípravku pro experiment konektory Phoenix Contact s roztečí kontaktů 5,08 mm, kterými jsou osazeny i PLC Tecomat Foxtrot. V případě použití těchto konektorů by byl zastavěný prostor cca 95 x 160 x 35 mm. Celé zařízení by bylo zapouzdřené v rámečku, který má normalizované rozměry a klipsnu na DIN lištu. Mělo by tedy stejnou velikost jako přípravek, použitý k experimentálním

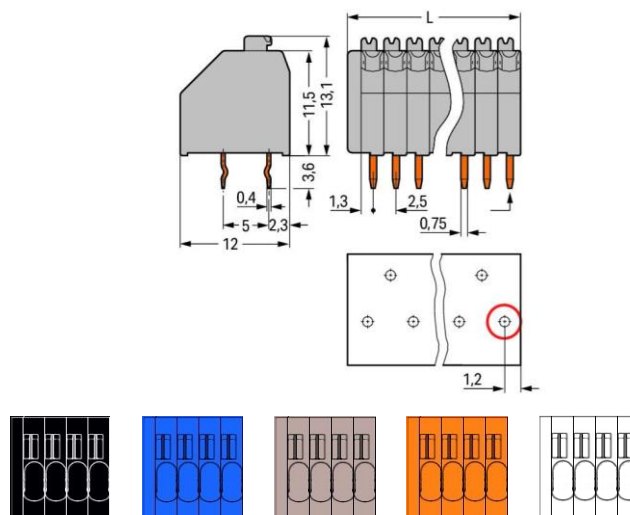
účelům. V návrhovém SW EAGLE pro návrh elektrických schémat a plošných spojů jsem navrhl několik možností, jak rozmístit tyto konektory, tak aby se co nejvíce ušetřil zastavěný prostor na tištěném spoji.



Obr. 4.2 Návrhy rozmístění konektorů na DPS

V případě návrhu dle Obr. 4.2 na pravé straně, bych použil speciální pouzdro, které se běžně používá i pro PLC. Dle návrhu seskupení konektorů jako na levé straně, bych použil rámeček řady WEB1001 s klipsnou na DIN lištu.

O možnosti použití WAGO svorkovnice jsem se inspiroval novým laboratorním pracovištěm výrobní linky v laboratoři prostředků automatického řízení 109. Toto pracoviště má rozhraní pro připojení vodičů s WAGO svorkovnicemi řady 250 v různém barevném provedení. Tyto svorkovnice mají hlavní výhodu v tom, že připojení vodičů není pomocí šroubového svěrného spoje, ale pomocí pružného prvku. Dále umožňuje rozebrání svorkovnice po jednotlivých segmentech s možností různých barevných kombinací (viz Obr. 4.3) dle požadavků uživatele. Tyto svorkovnice mají rozteč kontaktů 2,5mm vodorovně a 5mm svisle. Je na volbě uživatele, zda chce rozmístění kontaktů střídavě nebo vodorovně srovnané. Díky použití těchto svorkovnic tak ušetřím spoustu zastavěného prostoru na DPS, bude umožněna jednodušší instalace vodičů na desku a mohu použít o řadu menší rámeček s klipsnou na DIN lištu (viz následující kapitola 4.3).



Obr. 4.3 Svorkovnice WAGO 250, barevné kombinace; převzato z: <https://www.wago.com/>

Počet signálů (kontaktů) záleží na všech možných kombinacích připojení laboratorních úloh. Dalším požadavkem je, aby na zařízení bylo možno připojit systém, který by měl až:

8 digitálních vstupů/výstupů

4 analogové vstupy/výstupy

To znamená, že zařízení bude obsahovat tři sady svorkovnic, kde první bude pro řízený systém a další dvě pro řídicí systémy C1 a C2. Každá sada svorkovnic bude obsahovat čtyři sady po 8 digitálních a 4 analogových vstupech/výstupech. Každá ze čtyř sad vstupů a výstupů bude mít k dispozici svoje vlastní zemnicí svorky pro případ, že by bylo požadováno galvanické oddělení vstupů/výstupů. Dále bude zařízení obsahovat zvlášť svorky pro řídicí signál pro přepínání relé.

4.3 Montáž na DIN lištu

Montáž může být provedena dvěma jednoduchými způsoby. Prvním je speciální krabička na DIN lištu, která svým tvarem připomíná kryt PLC. Tuto možnost by mělo smysl použít v případě volby konektorů, o kterých jsem se již zmiňoval výše. Druhým způsobem je rámeček pro plošný spoj s klipsnou na DIN lištu. Tento způsob se mi jeví jako nejlepší a nejjednodušší způsob montáže na DIN lištu. Další a složitější možností by bylo navrhnout a vytisknout krabičku na míru na 3D tiskárně. Na základě velikosti navrženého plošného spoje se budu rozhodovat o konkrétní rozměrové řadě rámečku.

Rozměry rámečku se dají upravit následujícími způsoby:

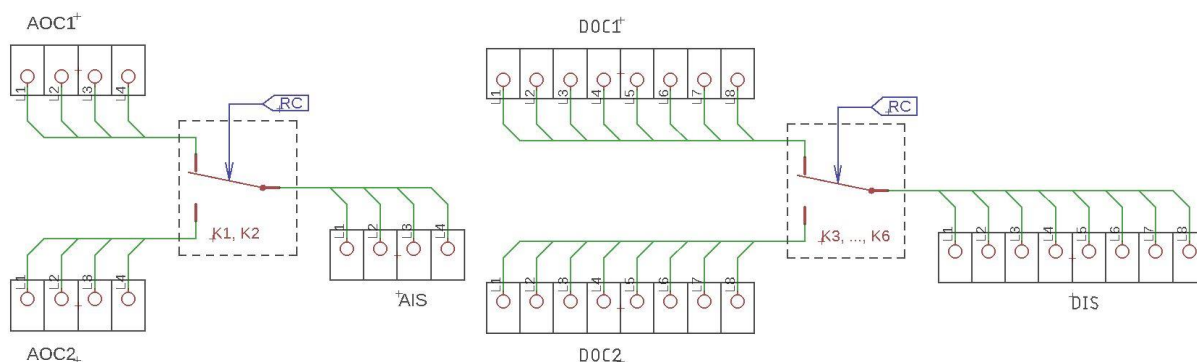
Výška: K dispozici jsou 2 rozměrové řady (WEB1001/1002 výška – 96/80 mm)

Šířka: Obě rozměrové řady se skládají ze stejně širokých lamel o třech možných šířkách (bočnice – 12,8 mm, lamely -12,8/22,5/44,8 mm)

4.4 Návrh a výroba prototypu zařízení Signal Switch

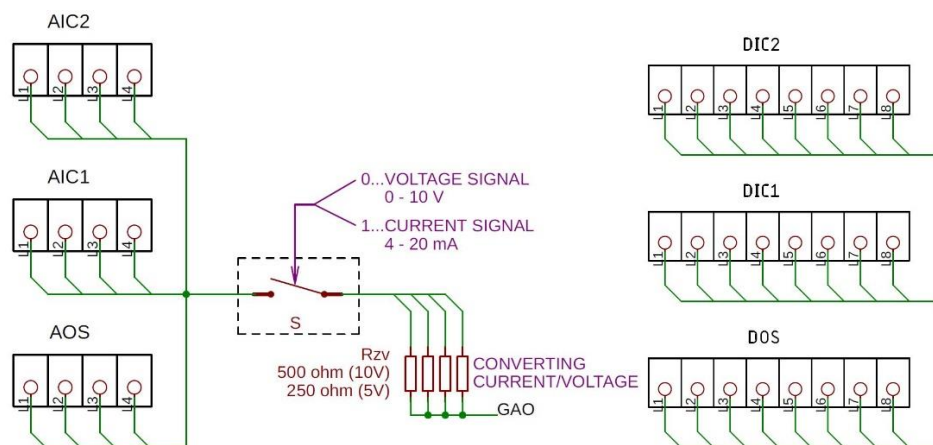
V předchozí kapitole jsem se věnoval především výběrem přepínacího zařízení a konstrukčním uspořádáním celého zařízení. V této kapitole se budu věnovat návrhu a výrobě prototypu zařízení Signal Switch. To obnáší navrhnout schéma zapojení a na tomto základě navrhnout desku plošných spojů DPS. Důležitou součástí při projektování tohoto zařízení je vytvořit systém značení, který je nutný dodržovat (viz Tab. 6, součást přílohy č. 6). Všechna schémata a desky plošných spojů jsem navrhoval v software EAGLE (Autodesk) a jsou součástí příloh.

První etapa: začal jsem s tvorbou zjednodušeného schématu zapojení, které se skládá ze tří částí. V první části jsem se věnoval přepínání řídicích signálů, viz Obr. 4.4. Levá část schématu je pro analogový signál, pro vstup do systému a pravá část je pro digitální signál, pro vstup do systému. Jako zjednodušenou schématickou značku pro relé (K1 až K6) jsem použil přepínač, který je řízen signálem RC (Relay Control).



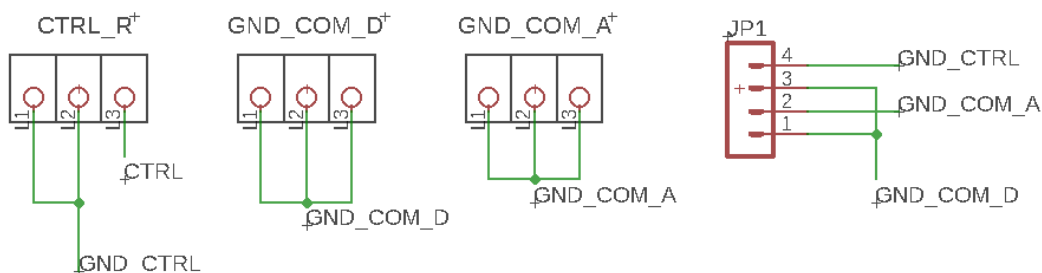
Obr. 4.4 Zjednodušené schéma přepínání řídicích signálů pro digitální a analogový signál

V druhé části jsem pracoval na rozdělení zpětné vazby. Řídil jsem se návrhem dle teoretické části z kapitoly 3.2 (Rozdělení signálů zpětné vazby). V případě analogového signálu je potřeba přepínat mezi napětovým a proudovým signálem. K tomu slouží spínač S. V případě, že je rozeprt, tak jde principiálně o zapojení dle Obr. 3.4, tedy o napětový signál zpětné vazby. V případě, že je sepnut, tak je paralelně ke zpětné vazbě připojen rezistor R_{zv} , který převede proudový signál na napětový.



Obr. 4.5 Zjednodušené schéma zapojení zpětné vazby

V třetí části jsem navrhoval zapojení zemnicích svorek a zapojení svorkovnice pro řídicí signál přepnutí pro relé, viz Obr. 4.6. Svorky jsem rozdělil do dvou skupin, tedy GND_COM_D (společná zemnicí svorka pro digitální vstup i výstup) a GND_COM_A (společná zemnicí svorka pro analogový vstup i výstup). V případě, že bude požadavek na jejich propojení, stačí propojit kontakty jednořadé kolíkové lišty (JP1) pomocí tzv. Jumperu. Ten umožňuje propojení dvojice kolíků. Třetí svorkovnice je určena řídicímu vstupu signálu přepnutí pro relé.



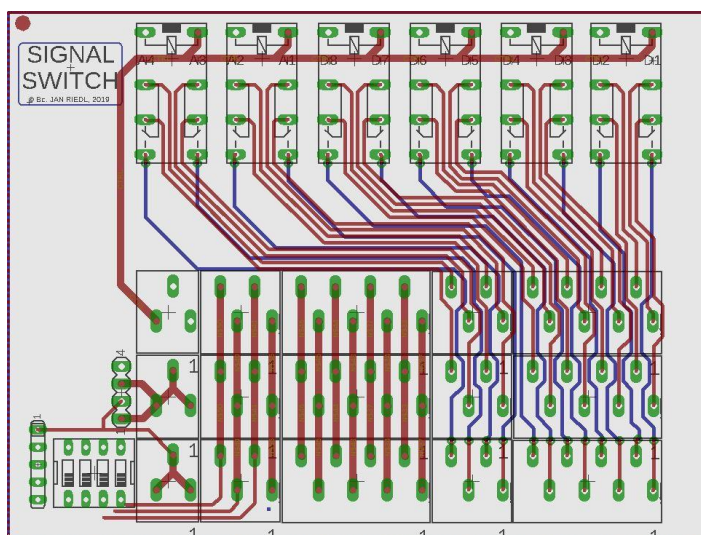
Obr. 4.6 Zjednodušené schéma zapojení zemnicích svorek

Na základě těchto zjednodušených schémat jsem vypracoval úplné schéma a příkládám ho jako přílohu číslo 1.

Druhá etapa: na základě vytvořeného schématu jsem začal s tvorbou desky plošných spojů. Před tím, než jsem začal navrhovat DPS, tak jsem si musel ověřit, zda součástky, které jsou k dispozici na trhu, jsou k dispozici v knihovnách návrhového SW. Tuto analýzu je vždy nutné provádět už ve fázi návrhu schématu zapojení, protože každá součástka má svůj model jak pro režim tvorby schématu, tak v režimu tvorby DPS. Hned na začátku jsem narazil na komplikaci s WAGO svorkami, které v knihovnách SW chyběly. V takovéto situaci

je nutné buď stáhnout knihovnu z webu výrobce nebo si knihovnu vytvořit. Já jsem si ovšem knihovnu s WAGO svorkami řady 250 stáhl od výrobce.

Před samotnou tvorbou vodivých cest jsem si musel srovnat všechny součástky tak, jak by měly být srovnané ve finální podobě. Výšku DPS jsem upravil tak, aby se deska vešla do rámečku řady WEB1002, šířku je možné dodatečně nastavit lamelami. Poté jsem už mohl začít s prvotním trasováním vodivých cest. Při konečném a detailním srovnání součástek (zejména svorkovnic a relé) jsem provedl rozměrovou kontrolu a upravil šířku DPS tak, aby odpovídala možné kombinaci lamel rámečku. DPS jsem navrhl oboustrannou. Výsledný návrh DPS prototypu jsem odeslal na výrobu soukromému výrobcí. Obě strany DPS prototypu přikládám jako přílohu číslo 2.

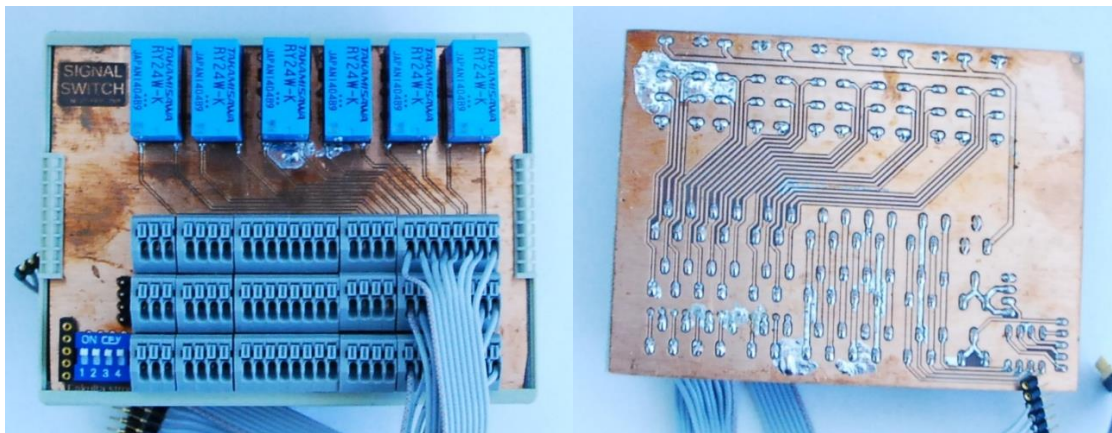


Obr. 4.7 DPS prototypu Signal Switch

Třetí etapa: během tvorby DPS jsem začal s objednávkou součástek. Seznam součástek prototypu Signal Switch téměř odpovídá úplnému seznamu součástek finálního zařízení (viz Tab. 4), proto ho zde neuvádím. Liší se pouze v počtu tří-pinových WAGO svorkovnic, dále prototyp obsahuje jednořadou kolíkovou lištu a má o jednu lamelu rámečku méně.

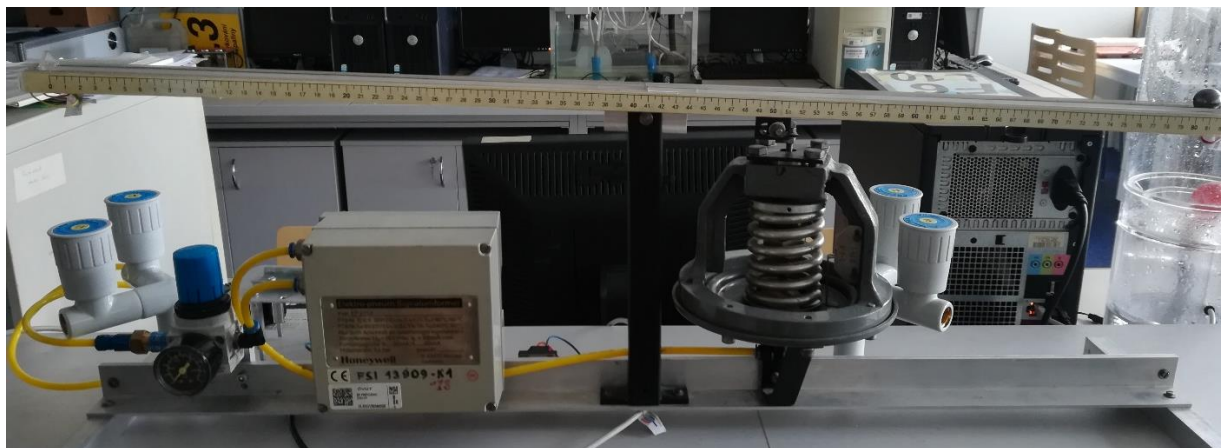
Když jsem měl k dispozici hotovou, již předvrtanou DPS a všechny součástky, tak jsem provedl rozměrovou kontrolu. Zprvu DPS měla větší přesah, než byl rozměr rámečku, proto jsem ji musel upravit na požadovanou velikost. Když jsem dosáhl správných rozměrů, tak jsem mohl začít s osazováním. Jako první jsem pájel drátové propojky, protože oboustranná deska neměla prokovené otvory. Dále jsem začal s pájením patic pro usazení relé (systém s paticemi jsem zvolil z důvodu snadné instalace, popřípadě servisu, kdyby nějaké relé selhalo a byla potřeba jeho výměna.) Po dopájení patic jsem začal pájet

svorkovnice. Nakonec jsem připájel DIP spínač, dutinkovou lištu pro síťový rezistor a jednořadou kolíkovou lištu.

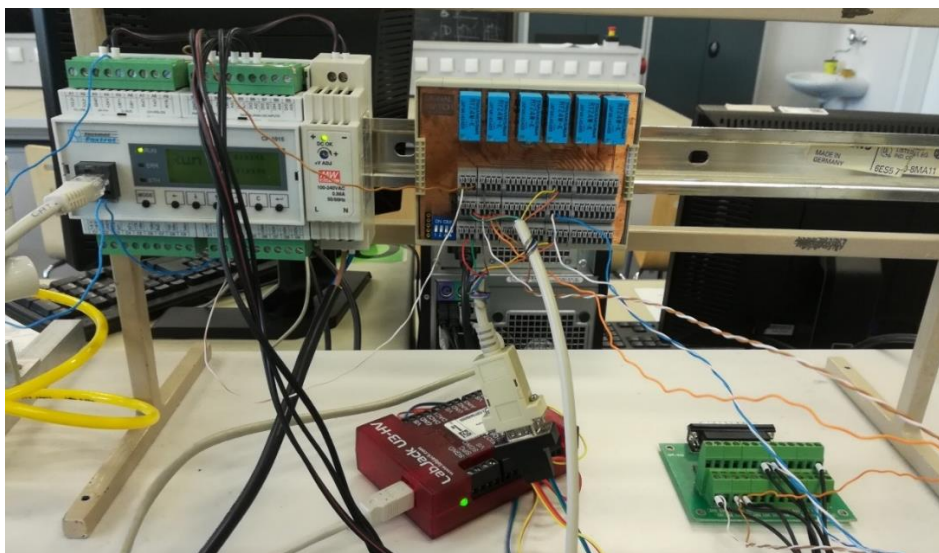


Obr. 4.8 Foto prototypu Signal Switch

Čtvrtá etapa: Poslední etapou bylo ověření funkce prototypu zařízení Signal Switch experimentem provedeném na reálné úloze. Pro testování jsem si vybral laboratorní úlohu Kulička na tyči. Model (systém) má jeden analogový vstup a výstup. Vstupem do systému je akční veličina v napěťovém rozsahu 0 až 10 V a výstupem je regulovaná veličina (zpětná vazba) v napěťovém rozsahu 0 až 1 V. K experimentu jsem použil jako C1 PLC Tecomat Foxtrot CP-1015 a jako C2 měřící kartu LabJack U3-HV. Pro nastavení a sledování signálů na PLC jsem použil vývojové prostředí SW Mosaic (na jednom PC) a pro LabJack SW LJ Control Panel (na druhém PC). Prototyp zařízení Signal Switch jsem nainstaloval na DIN lištu vedle PLC. K přepínání řídicích signálů jsem využil jeden volný digitální výstup PLC. Po zapojení vodičů do správných svorek jsem mohl začít s experimentem.



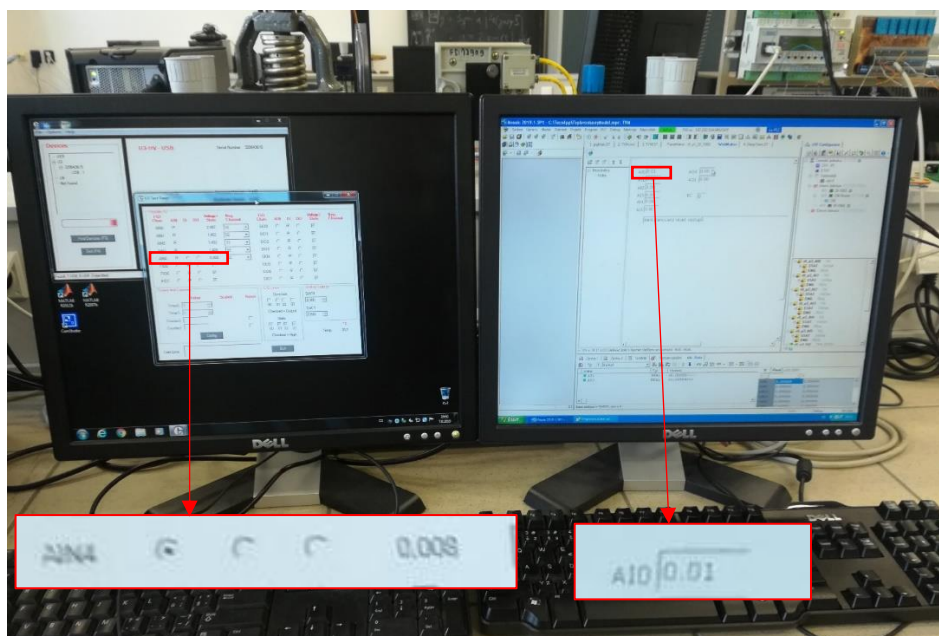
Obr. 4.9 Foto laboratorní úlohy – Kulička na tyči



Obr. 4.10 Foto experimentu prototypu zařízení Signal Switch na reálné úloze

V první části experimentu jsem ověřoval přepínání řídicích signálů (akčních zásahů) PLC a měřící karty. Řízení náklonu tyče jsem měl možnost řídit pomocí PLC (prostřední řada svorkovnic) v případě, že bych přivedl na řídicí vstup bloku relé logickou 0, nebo pomocí měřící karty (spodní řada svorkovnic) přivedením logické 1. Přepínání mezi PLC a měřící kartou LabJack fungovalo spolehlivě.

V druhé části experimentu jsem pozoroval velikost zpětné vazby na PLC a LabJack. Očekávaný výsledek byl ten, že při změně polohy kuličky na tyči se bude měnit analogová hodnota vstupu PLC a LabJack totožně. Obr. 4.11 ukazuje porovnání hodnoty zpětné vazby, která má jednotky Volt (vlevo Labjack, v pravo PLC).

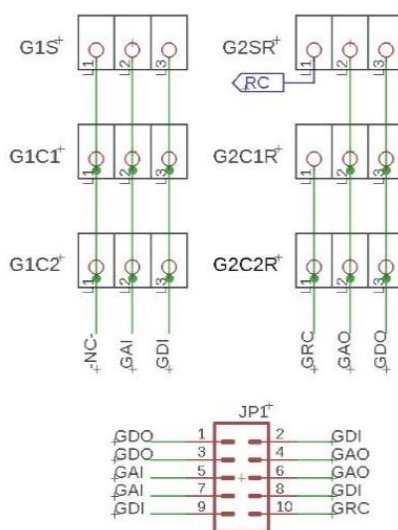


Obr. 4.11 Foto ověření odečítání zpětné vazby

Experiment jsem prohlásil za úspěšný, a tedy na základě návrhu prototypu jsem mohl začít s návrhem pro výrobu finálního zařízení Signal Switch.

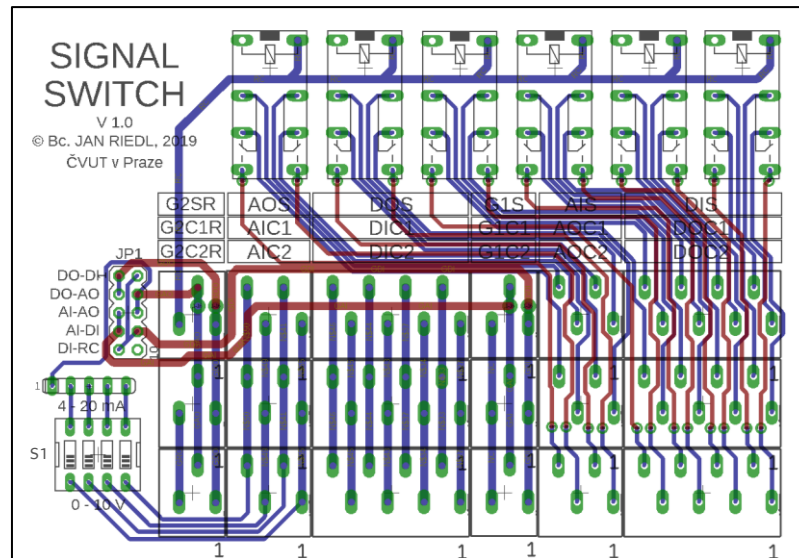
4.5 Návrh finálního zařízení Signal Switch

Elektrické schéma zapojení vychází z návrhu prototypu. Na rozdíl od prototypu má jiný systém zapojení zemních svorek. Svorky jsem rozdělil do dvou skupin, G1 a G2. Z hlediska orientace vzhledem k systému se jedná tedy o zemní svorky vstupního signálu, které jsou dále rozděleny do tří sloupců (pro analogové a digitální signály, a nezapojené svorky), a o zemní svorky výstupního signálu rovněž rozděleny do tří sloupců. Třetí sloupec skupiny zemních svorek G2 je vyhrazen pro řídicí signál spínání cívky relé. Takto zapojené zemní svorky jsou jednotlivé sloupce obou skupin galvanicky oddělené. V případě, že bude požadavek na jejich propojení, stačí propojit kontakty dvojřadé kolíkové lišty (JP1) pomocí Jumperu. Lišta JP1 je zapojena tak, že lze propojovat jakoukoliv kombinaci zemních svorek. Úplné schéma zapojení příkládám jako přílohu číslo 3.



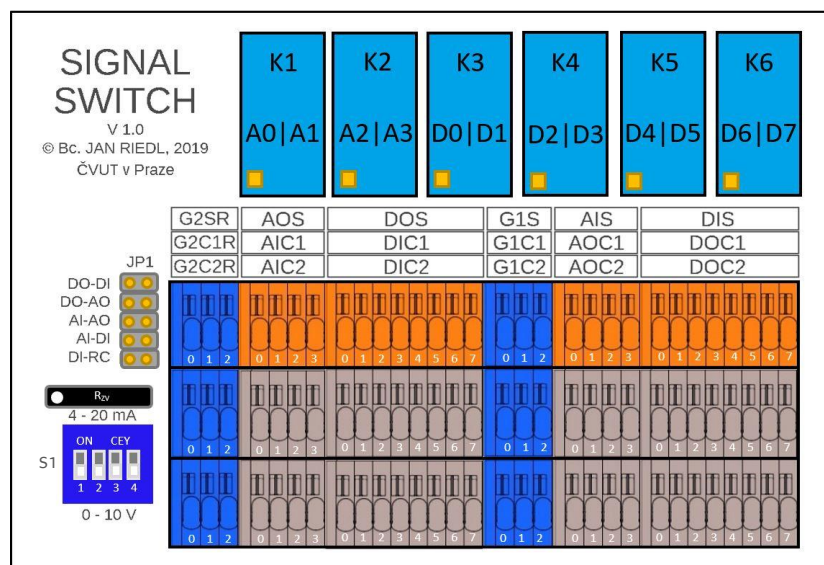
Obr. 4.12 Zjednodušené schéma zapojení zemních svorek

Při návrhu DPS jsem vycházel z DPS prototypu. Rozdíl je však v systému zapojení zemních svorek a kolíkové lišty JP1. Dále jsem vytvořil vrstvu s informativním potiskem, kterou je možné bez zásahu do návrhu vodivých cest volně upravovat. Nová DPS je téměř o 15 mm širší, tudíž je nutné objednat jednu lamelu rámečku navíc. DPS zůstává, jako při návrhu prototypu, oboustranná. Doporučuji nechat vyrobit DPS u výrobce, který umožňuje prokovené otvory (např.: <http://www.semach.cz/>). To usnadní do velké míry výrobní postup. Obě strany DPS Signal Switch příkládám jako přílohu číslo 4.



Obr. 4.13 Ukázka DPS Signal Switch

V návrhu výsledného designu zařízení Signal Switch jsem se soustředil na barevnou kombinaci svorkovnic WAGO pro snadnou orientaci a montáž vodičů. Oranžovou barvou jsem označil svorkovnice, do kterých budou připojeny vodiče signálů pro řízený systém (S). Šedá (základní) barva patří svorkovnicím, do kterých budou připojeny vodiče signálů řídicích systémů (C1 a C2). Modrá barva pak patří zemnicím svorkovnicím a svorkám pro řízení relé. Výsledný design zařízení musí být také funkční, proto jsem vložil mezi relé (K1 až K6) a svorkovnice tabulku, která odpovídá uspořádání svorkovnic. Každá buňka tabulky tedy reprezentuje danou svorkovnici.



Obr. 4.14 Návrh designu zařízení Signal switch

Potřebný materiál pro výrobu jednoho zařízení Signal Switch i s cenou jednotlivých položek jsem zapsal do kusovníku, viz Tab. 4

Tab. 4 Kusovník pro výrobu jednoho zařízení Signal Switch

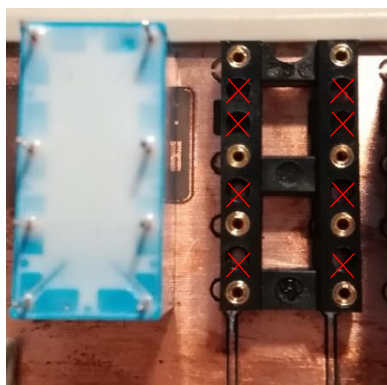
Položka	Parametr/ozn. výrobce	ks	Prodejce: Kód objednávky	Cena s DPH/ ks [Kč]
DPS [š x d x v mm]	[112,5 x 76 x 1,7 mm]	1	-	200
Bočnice	WEB1002-B1	2	GME: 662-189	29
Lamela	WEB1002-B3	2	GME: 622-191	36
Lamela	WEB1002-B4	1	GME: 622-192	49
Klips	WEB1002-B5	1	GME: 622-205	65
Relé	RY-24W-K	6	GME: 634-156	43
Rezistorová síť	A741G (470 Ω)	1	GME: 111-325	3,3
Patice	126-3 16 G	6	GME: 824-004	9,5
Dutinková lišta	131-S-20-05-G	1	GME: 824-014	18
Přepínač	DS1040-04P	1	GME: 632-002	6,8
Svorkovnice WAGO	250-408	6	Conrad: 736462	38
Svorkovnice WAGO	250-404	6	Conrad: 720173	20,76
Svorkovnice WAGO	250-403	6	Conrad: 720149	15,1
Σ				1230,26

Při nákupu většího množství součástek doporučuji objednávat v internetovém obchodě Farnell. Pro výrobu každého zařízení Signal Switch se doporučuji držet následujícího výrobního postupu, který také příkládám jako přílohu číslo 5.

Výrobní postup:

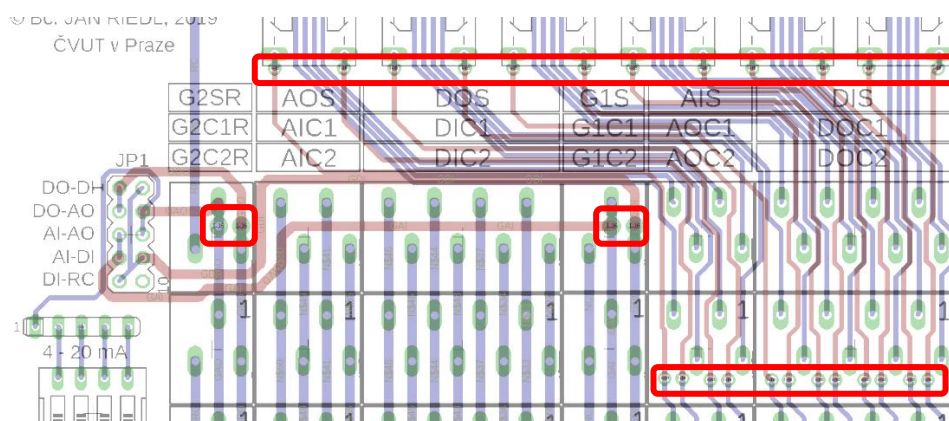
K výrobě jsou nezbytné: mikropájka, kalafuna (roztok), cín, součástky dle kusovníku, tavná pistole (dle potřeby) a elektrická nářadí.

- a. *Příprava před pájením:* je nutné nejprve provést rozměrovou kontrolu DPS. Ideální je zkusit nasadit DPS do rámečku.
- b. *Příprava před pájením:* úprava patice pro relé podle Obr. 4.15. Piny lze odstranit vypíchnutím nebo vytlačení kleštěmi ze spodní strany patice (piny nahoru). Vzniklé otvory jsou doporučeny „zakápnout“ tavnou pistolí. Piny je potřeba odstranit z důvodu správné orientace při nasazení relé do patice.



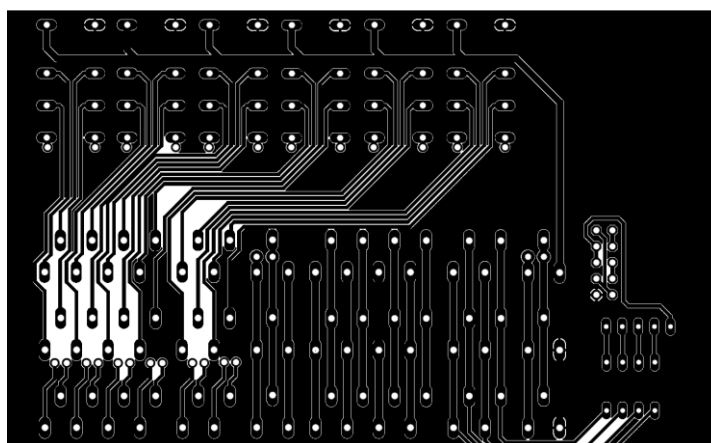
Obr. 4.15 Úprava patič

- c. *Příprava před pájením*: kontrola, zda má DPS prokovené otvory. Pokud ano, je možno pokračovat na bod e. Pokud ne, je nutné otvory propojit (viz bod d.)
- d. *Pájení propojů*: propojení obou stran DPS připájením měděného drátku (ideálně o průměru 0.5mm – stačí drátek z ethernetového kabelu) na vyznačených místech Obr. 4.16 (červené obdélníky). Celkem 28 propojů.



Obr. 4.16 Vyznačení propojů DPS

- e. Pájení součástek bude probíhat ze strany, která vypadá následovně (strana cínu):



Obr. 4.17 Pohled na zadní stranu DPS – Strana cínu

- f. *Vložení a následné pájení*: upravené patice pro relé.
- g. *Vložení a následné pájení*: svorkovnice WAGO (zde nezáleží na pořadí).
- h. *Vložení a následné pájení*: spínač dip.
- i. *Vložení a následné pájení*: dutinková lišta pro rezistorovou síť.
- j. *Vložení a následné pájení*: dvouřadá kolíková lišta.
- k. Vložení DPS do rámečku, nasunutí klipsny na montáž na DIN lištu (zkosenou stranou směrem nahoru).
- l. Vložení relé do patic, orientace je dána upravenými piny.
- m. Vložení síťového rezistoru do dutinkové lišty pinem 1 zleva (pin 1 je označen bílým puntíkem.)

Další součástí technické dokumentace k zařízení Signal Switch je návod k použití, který přikládám jako přílohu 6.

Základní návod k použití:

Součástí tohoto návodu je tabulka parametrů Tab. 5., tabulka zkratk Tab. 6. a mapa svorkovnic (vše je součástí přílohy č. 6).

Připojování vodičů do svorkovnic:

- Připojený vodič musí mít průřez v rozmezí 0,14 až 0,5 mm²
- Vodiče nesmí mít roztřepené konce (v případě lankového drátu), v takovém případě je vodič nutno pocínovat.
- Šroubovákem se stlačí pružný element svorkovnice a vloží se vodič do otvoru svorkovnice.
- Vodiče vždy zapojovat od svorky číslo 0!

Připojování řídicích signálů – výstupy z řídicích systémů C1 a C2:

- Vodiče řídicích digitálních (popř. analogových) signálů se zapojují do svorkovnic DOC1/2 (popř. AOC1/2)
- Zemnicí vodiče se zapojují do svorkovnic G1C1/2. Digitální (popř. analogové) na svorky č. 2 – GDI (popř. svorky č. 1 – GAI)

Připojování řídicích signálů – vstup do systému S

- Vodiče řídicích digitálních (popř. analogových) signálů se zapojují do svorkovnice DIS (popř. AIS)

- Zemní vodiče se zapojují do svorkovnice G1S. Digitální (popř. analogové) na svorky č. 2 – GDI (popř. svorky č. 1 – GAI)

Připojování zpětné vazby – vstupy do řídicích systémů C1 a C2:

- Vodiče zpětné vazby digitálních (popř. analogových) signálů se zapojují do svorkovnic DIC1/2 (popř. AIC1/2)
- Zemní vodiče se zapojují do svorkovnic G2C1R/2R. Digitální (popř. analogové) na svorky č. 2 – GDO (popř. svorky č. 1 – GAO)
- V případě, že je signál analogové zpětné vazby napěťový, pak by se měl vypnut potřebný kontakt na DIP spínači S1 (páčka dolů). V případě proudové analogové zpětné vazby musí být spínač S1 sepnut.

Připojování zpětné vazby – výstup ze systému S

- Vodiče řídicích digitálních (popř. analogových) signálů se zapojují do svorkovnice DOS (popř. AOS)
- Zemní vodiče se zapojují do svorkovnice G2SR. Digitální (popř. analogové) na svorky č. 2 – GDO (popř. svorky č. 1 – GAO)

Připojování vodičů pro řízení přepínacích relé RC

- Vodič řídicího binárního signálu se zapojuje do svorkovnice G2SR na svorku č. 0
- Zemní vodič se zapojuje do svorkovnice G2C1R/2R na svorku č. 0

Řada svorkovnic s označením C1 je připojena na relé na kontaktu NO (normally open). Tato řada je doporučena pro použití primárního řídicího signálu (nejvíce používané výstupy řídicího systému). Řada svorkovnic C2 je doporučena k připojení sekundárního řídicího signálu.

5. Vzdálené ovládání zařízení Signal Switch

Možnost vzdáleného ovládání bylo dalším požadavkem na funkci/použití zařízení Signal Switch. Vzdálené ovládání bude realizováno požadavkem ze SCADA serveru na řídicí PLC, které bude využívat jeden z možných digitálních výstupů. SCADA systém a PLC spolu komunikují pomocí protokolu MODBUS. Na naprogramování PLC Tecomat Foxtrot CP-1013 použiji vývojové prostředí Mosaic verze 2018.2 a jeden z jazyků na programování PLC dle normy IEC/EN 61131-3.

Mosaic je vývojové prostředí pro tvorbu a ladění programů pro programovatelné logické systémy (PLC) TECOMAT a TECOREG z produkce firmy Teco a.s. Kolín. Prostředí je vyvíjeno ve shodě s mezinárodní normou IEC EN-61131-3, která definuje strukturu programů a programovací jazyky pro PLC. [8]

Pozn.: tato diplomová práce se SCADA systémem nezabývá; je pro to vyhrazena jiná diplomová práce.

MODBUS je komunikační protokol, který umožňuje předávat data jak po sériové lince (např. standardy RS-232, RS-485, RS-422), tak po síti (využití protokolu TCP/IP). Komunikace je typu Master-Slave, kde Master zařízení (PC, PLC atd.) se dotazuje a Slave zařízení (jiné PLC, čidla, měřidla atd.) odpovídají na dotazy. [9]

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition (Dispečerské řízení a sběr dat) je SW, který se využívá v průmyslové automatizaci. Umožňuje dlouhodobý sběr dat a jejich následné vyhodnocení. SCADA se dále používá ke sledování (vizualizaci) např. technologického procesu ve strojírenství, potravinářství, dopravě atd., k nastavení požadovaných veličin (např. teplota a tlak média) nebo např. k signalizaci poruchového nebo rizikového stavu pomocí tzv. alarmů. [10]

5.1 Programovací jazyky PLC dle normy IEC/EN 61131-3

Norma IEC/EN 61131-3 definuje čtyři typy programovacích jazyků pro PLC – dva textové (IL, ST) a dva grafické (LD, FBD). Jako pátý se někdy uvádí grafický programovací nástroj SFC, který definuje jiná související norma. SFC bývá také mylně zaměňován za GRAFCET. Je pravděpodobné, že do normy v budoucnu přibude další grafický jazyk – CFC, který je velmi podobný jazyku FBD. [11] [12] Pro každý z výše uvedených programovacích jazyků uvedu velmi stručný popis a příklad zápisu jednoduché logické funkce: $Q0.1 = I0.1 \cdot \overline{I0.2} + I0.3$.

IL - Instruction List, nebo-li jazyk seznamu instrukcí, je textový programovací jazyk na úrovni jazyku typu assembler (ASM) k programování mikroprocesorů. Patří mezi řádkově orientované jazyky (vykonávání programu řádek po řádku). Je velmi vhodný pro optimalizaci kódu programu. [2] [11]

```

PROGRAM prgMain

VAR_INPUT
    AT %I0.1 : BOOL
    AT %I0.2 : BOOL
    AT %I0.3 : BOOL
END_VAR
VAR_OUTPUT
    AT %Q0.1 : BOOL
END_VAR

LD    %I0.1
ANDN  %I0.2
OR    %I0.3
ST    %Q0.1

END_PROGRAM

```

Obr. 5.1 Příklad zápisu logické funkce v jazyce IL; prostředí Mosaic

ST - Structured Text je textový jazyk na úrovni programovacích jazyků C nebo Pascal a je objektově orientovaný. [8]

```

PROGRAM prgMain
VAR_INPUT
    AT %I0.1 : BOOL
    AT %I0.2 : BOOL
    AT %I0.3 : BOOL
END_VAR
VAR_OUTPUT
    AT %Q0.1 : BOOL
END_VAR

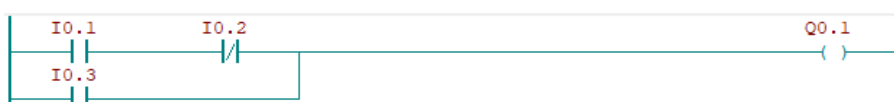
%Q0.1 := %I0.1 AND NOT %I0.2 OR %I0.3

END_PROGRAM

```

Obr. 5.2 Příklad zápisu logické funkce v jazyce ST; prostředí Mosaic

LD - Ladder Diagram, nebo-li jazyk kontaktních schémat, je grafický jazyk obdobný liniovému schématu v elektrotechnice.



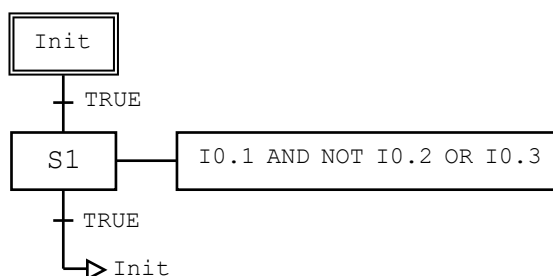
Obr. 5.3 Příklad zápisu logické funkce v jazyce LD; prostředí Mosaic

FBD - Function Block Diagram, nebo-li jazyk funkčních bloků, je grafický jazyk. Program je složen z obdélníkových bloků, které jsou propojeny spojnicemi. Vstupy do těchto funkčních bloků bývají zpravidla zleva a výstupy zprava. [8]



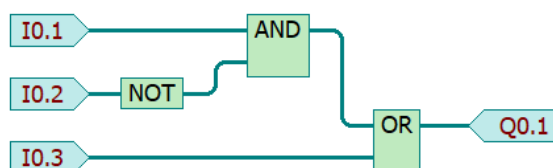
Obr. 5.4 Příklad zápisu logické funkce v jazyce FBD; prostředí Mosaic

SFC - Sequential Function Chart je grafický nástroj sekvenčního programování. Obdélníky (Init a S1) reprezentují kroky (sekvenci kroků). Každému kroku může (a nemusí) být přiřazena akce, která se má v daném kroku vykonat. Kroky jsou spojeny svislými čarami (hranami), na kterých jsou vodorovnými čarami znázorněny přechody. Přechod mezi jednotlivými kroky je uskutečněn teprve po skončení podmínky. [11]



Obr. 5.5 Příklad zápisu logické funkce v jazyce SFC

CFC - Continuous Flow Chart je grafický jazyk, který je velmi podobný jazyku FBD. Tento jazyk (zatím) není definován normou. Rozdílem CFC oproti FBD je volné vkládání funkčních bloků na pracovní plochu (podobně jako v Matlab Simulink) a tím je možné vytvořit velmi přehledný program. [11]



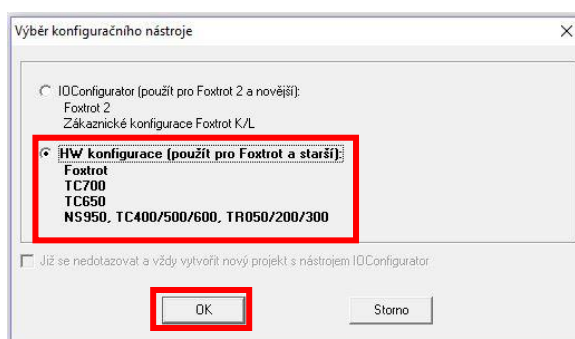
Obr. 5.6 Příklad zápisu logické funkce v jazyce CFC; prostředí Mosaic

5.2 Program umožňující vzdálené ovládání

Pro vzdálené ovládání (spínání relé), které bude využíváno k řízení laboratorních modelů (systémů), bude využit jeden z digitálních výstupů řídicího PLC Tecomat Foxtrot CP-1013, Mosaic umožňuje zápis programu v jazycích – ST, IL, LD, FBD a CFC. Po domluvě s kolegou, který pracuje na diplomové práci, která se zabývá SCADA systémem (SW MySCADA) a programováním funkcí výše zmíněného PLC pro laboratorní úlohy, jsem zvolil jazyk ST. Mým úkolem je tedy sestavit část programu v prostředí Mosaic, která bude implementovaná do kolegovy diplomové práce.

Nejdříve jsem se zabýval nastavením komunikace mezi PLC a SCADA systémem. Vycházel jsem již z hotového řešení bakalářské práce kolegy Bc. Filipa Šrámka [13], kterou jsem použil jako návod a také z nápovědy prostředí Mosaic. Postupoval jsem následujícím postupem:

Nejprve jsem vytvořil nový projekt a následně jsem vybíral mezi dvěma konfiguračními nástroji – vybral jsem HW konfiguraci.



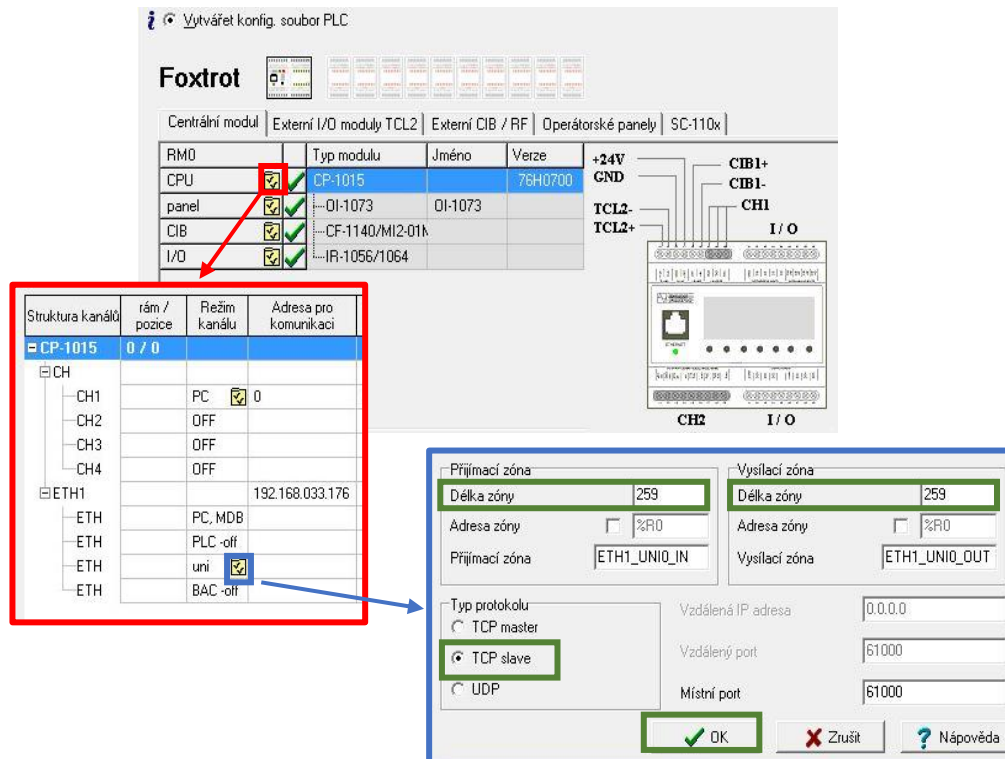
Obr. 5.7 Konfigurační nástroje

Dalším krokem nastavení projektu je volba programovacího jazyka dle normy IEC/EN 61131-3. Pro aplikaci vzdáleného ovládání zařízení Signal Switch jsem zvolil jazyk ST.



Obr. 5.8 Programovací jazyky prostředí Mosaic

Na co jsem jistě nesměl zapomenout je nastavit typ PLC, které se bude používat. Nejprve jsem spustil Manažer projektu a připojil se k reálnému PLC – Výběr typu připojení; poté jsem zvolil konkrétní řadu PLC (tj. CP-1013) – Výběr řady PLC. Nakonec jsem nastavil parametry komunikačního kanálu (ETH0) – Konfigurace HW, viz Obr. 5.9. Po nastavení komunikačního kanálu bylo PLC připraveno a bylo možné začít s psaním hlavního programu. [13]



Obr. 5.9 Nastavení komunikačního kanálu

Samotný program se skládá ze tří částí:

- I. Deklarace proměnných: v této části definuji rozměr jednotlivých polí, která budou přenášena prostřednictvím MODBUS.

```
VAR_GLOBAL CONSTANT
```

```
//nastavení počtu znaků
```

```
MODBUS_INPUTS_CNT      : UINT := 64;
MODBUS_COILS_CNT       : UINT := 64;
MODBUS_INPUT_REG_CNT   : UINT := 32;
MODBUS_HOLDING_REG_CNT : UINT := 128;
```

```
END_VAR
```

```
VAR_GLOBAL
```

```
//nastavení délky polí od 1 do nastaveného počtu znaků
```

```
ModbusInputs : ARRAY [1..MODBUS_INPUTS_CNT] OF BOOL;
ModbusCoils   : ARRAY [1..MODBUS_COILS_CNT]   OF BOOL;
ModbusInputReg : ARRAY [1..MODBUS_INPUT_REG_CNT] OF UINT;
ModbusHoldingReg : ARRAY [1..MODBUS_HOLDING_REG_COUNT] OF UINT;
```

```

//pracovní proměnné
RC_I : BOOL := 0; //nastavení vnitřní proměnné typu BOOL na
//0
RC_O AT r0_p3_DO.D00 : BOOL := 0; //přiřazení vnitřní proměnné
//na fyzický výstup PLC (typ BOOL)
//a nastavení na 0
END_VAR

```

II. Hlavní program – Nastavení pro komunikaci pomocí protokolu MODBUS: v této části kódu nastavuji hlavní parametry funkčního bloku fbModbusTCPslave.

```

PROGRAM prgMain

VAR
  Modbus : fbModbusTCPslave; //volání funkčního bloku komunikace
END_VAR
Modbus (
  UnitID := 1, //identifikátor slave zařízení
  chanCode := ETH1_uni0, //kód komunikačního kanálu
  inputsCnt := MODBUS_INPUTS_CNT, //počet diskretních vstupů (pole typu BOOL)
  coilsCnt := MODBUS_COILS_CNT, //počet diskretních vstupů (pole typu BOOL)
  inputRegCnt := MODBUS_INPUT_REG_CNT, //počet vstupních registrů (WORD)
  holdingRegCnt := MODBUS_HOLDING_REG_CNT, //počet registrů (WORD)

  inputs := ModbusInputs [1], //první diskretní vstup v poli
  coils := ModbusCoils [1], //první diskretní vstup v poli
  inputRegs := ModbusInputReg [1], //první vstupní registr v poli
  holdingRegs := ModbusHoldingReg [1]); //první registr v poli

```

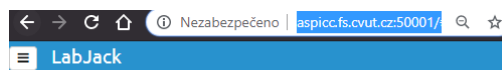
III. Hlavní program – Program pro přepínání výstupu PLC:

```

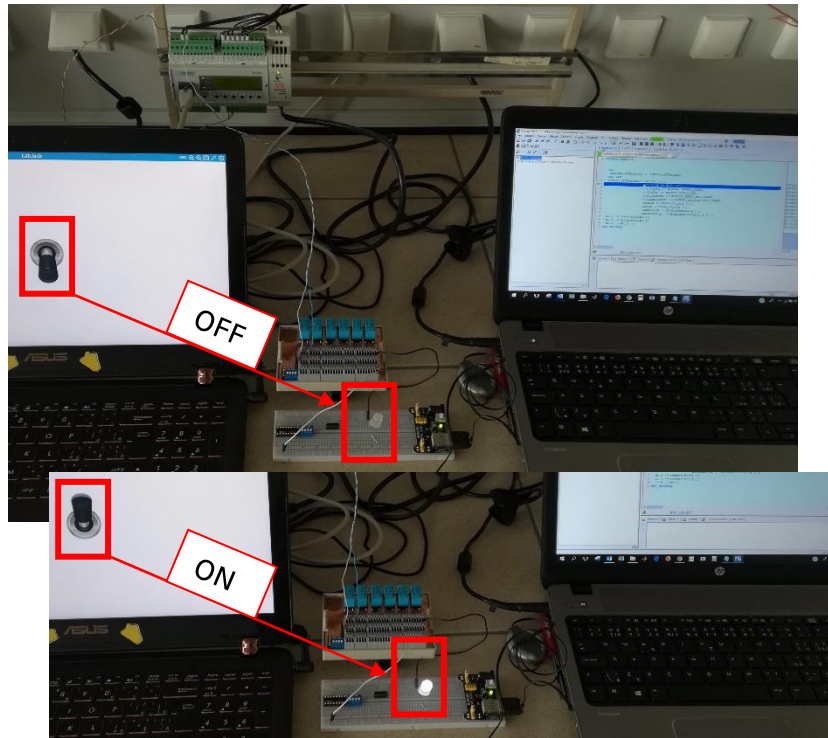
RC_I := ModbusCoils[1]; //přiřazení vnitřní proměnné RC_I k prvnímu místu
//v poli ModbusCoils
RC_O := RC_I; //nastavení pomocné proměnné RC_O na hodnotu,
//kterou má vnitřní proměnná RC_I
END_PROGRAM

```

K otestování funkčnosti programu mi kolega Bc. Martin Cahyna, který se ve své diplomové práci zabývá tvorbou vizualizace v prostředí MySCADA, poskytl jednoduché prostředí ke vzdálenému ovládání. Toto prostředí se nachází na školním serveru, konkrétně na adrese <http://aspicc.fs.cvut.cz:50001/> viz Obr. 5.10. Obsahuje jednoduchou vizualizaci páčkového přepínače, u kterého je možné měnit stav jedním klikem myši.



Obr. 5.10 Prostředí na otestování funkce vzdáleného přepínání



Obr. 5.11 Fotografie experimentu vzdáleného ovládání zařízení Signal Switch

K experimentu jsem použil prototyp zařízení Signal Switch; PLC Tecomat Foxtrot CP-1015; nepájivé pole s jednou bílou LED, předřadným rezistorem a USB napájecím modulem +5V DC; dva notebooky – první s prostředím ke vzdálenému ovládání (Obr. 5 notebook nalevo) a druhý s vývojovým prostředím Mosaic. Experiment probíhal tak, že kliknutím myši na virtuální přepínač se jeho polarita změnila a nastavila tak vnitřní proměnnou např. na hodnotu 1. Následně se tato hodnota odeslala prostřednictvím protokolu MODBUS po ethernetu do PLC. Na základě změny vnitřní proměnné se změnila i logická hodnota na digitálním výstupu PLC (dle hlavního programu) a přepnula tak blok relé na zařízení Signal Switch. Tím se přepnul kontakt NO do stavu sepnuto a rozsvítil LED.

Experiment tedy skončil úspěchem a výsledek mohu poskytnout jako podklad pro řešení diplomové práce kolegy Bc. Martina Cahyny.

6. Závěr:

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a sestavit funkční prototyp zařízení pro konkurenční ovládání laboratorního modelu. Tento cíl, jsem podle mého názoru, splnil. Veškerá dokumentace k tomuto zařízení se nachází v přílohách 1 až 6. Projekt s tímto tématem se zúčastnil konference Studentské tvůrčí činnosti [1].

V rámci prvotního návrhu prototypu zařízení Signal Switch jsem sestavil přípravek a následně provedl experiment. Na základě tohoto experimentu a zvážení výhod a nevýhod jsem se rozhodl pro způsob přepínání řídicích signálů s relé. (kapitola 4.1)

Při návrhu prototypu zařízení Signal Switch jsem začal zjednodušeným schématem, ze kterého jsem pak vyšel při tvorbě úplného elektrického zapojení. Následně jsem začal tvořit návrh DPS. Po Osazení DPS součástkami jsem provedl test funkce na reálné laboratorní úloze Kulička na tyči. Test jsem provedl pod dohledem správce laboratoře, který správnost funkce potvrdil. (kapitola 4.4)

Dále jsem provedl drobnou úpravu návrhu prototypu zařízení Signal Switch, ale jen v rámci zásahu do počtu svorkovnic. Na základě toho jsem vytvořil návrh schématu zapojení a DPS finálního zařízení Signal Switch. Poté jsem sepsal výrobní postup, podle kterého se budou zařízení Signal Switch vyrábět. Dále jsem sepsal také jednoduchý návod k použití. (kapitola 4.5)

Sestavil jsem program pro PLC Tecomat Foxtrot CP-1015 v jazyce ST, který umožňuje vzdálené ovládání zařízení Signal Switch. Tento program jsem otestoval na prototypu zařízení za pomoci kolegy Bc. Martina Cahyny, který mi poskytl jednoduché prostředí ke vzdálenému ovládání. (kapitola 5.2)

Během řešení této práce se vyskytlo mnoho komplikací. Jedna z nich je popsána v kapitole 4.1, kdy při experimentu s analogovým přepínačem shořel zdroj napětí. To mě utvrdilo v rozhodnutí, že bude lepší použít relé, protože nemusí být napájeno. Další komplikace se objevila, např. při tvorbě návrhu DPS prototypu, kde jsem musel několikrát zvětšovat šířku spojů, kvůli rozlišení při výrobě (min. šířka 0.3mm). Tím se všechny součástky posunuly a většinou jsem musel vymyslet jiný způsob trasování spojů.

Jsem velmi rád, že jsem mohl pracovat na této práci, protože jsem mohl vytvořit věc, která bude reálně nasazena v laboratoři automatického řízení a nezůstane tzv. v šuplíku.

Bibliografie

- [1] RIEDL J., CAHYNA M., *Řešení konkurenčního přístupu řídicího HW k řízenému laboratornímu modelu*. Sborník ČVUT, Dopusud nezveřejněno.
- [2] KLAUS, TKOTZ, *Příručka pro elektrotechnika*. Praha: Europa-Sobotáles cz. s.r.o., 2006. ISBN 80-86706-13-3
- [3] ŠEBEK M., *Číslicové a diskrétní řízení*. 18.4.2018. [Online]. Available: http://www.polyx.com/_ari/slajdy/Bas-ARI-20-Digital.pdf. [Přístup získán 5.5.2019].
- [4] HORÁK K., *Úvod do zpracování signálů*. [Online]. Available: http://midas.uamt.feec.vutbr.cz/ZVS/Lectures/01_Uvod_do_zpracovani_signalu.pdf. [Přístup získán 5.6.2019].
- [5] Technická Univerzita Liberec, *Výkonová elektronika*. [Online]. Available: <http://web.archive.org/web/20100602001214/http://www.mti.tul.cz/files/vke/menice.pdf>. [Přístup získán 5.6.2019].
- [6] FUJITSU, *Datasheet RY SERIES*. 18.1.2008. [Online]. Available: <https://datasheet.octopart.com/RY-24W-K-Fujitsu-datasheet-4797.pdf>. [Přístup získán 22.3.2019].
- [7] VISHAY, *Datasheet Precision Quad SPDT Analog Switch*. 21 9 2015. [Online]. Available: <http://www.vishay.com/docs/70803/dg333a.pdf>. [Přístup získán 22.3.2019].
- [8] TECO a.s., *Programování PLC podle normy IEC 61131-3 v prostředí Mosaic*. Listopad 2007. [Online]. Available: http://www.edumat.cz/texty/Programovani_IEC61131-3.pdf. [Přístup získán 30.4.2019].
- [9] *Modbus Application Protocol Specification V1.1b3*. 4.4.2012. [Online]. Available: http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf. [Přístup získán 9.1.2019].
- [10] PRIMUS T., *Systémy SCADA a nástroje pro sběr, vizualizaci a analýzu průmyslových dat*. [Online]. Available: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/70825>. [Přístup získán 5.2.2019].
- [11] ŠMEJKAL L., *Esperanto programátorů PLC*. Duben 2017. [Online]. Available: <http://tecoacademy.cz/wp-content/uploads/2017/04/Esperanto-final.pdf>. [Přístup získán 1.5.2019].

- [12] VOJÁČEK A., *Programovací režimy pro PLC dle IEC 61131-3 (Codesys)*. [Online]. Available: <https://automatizace.hw.cz/programovaci-rezimy-pro-plc-dle-iec-611313-codesys>. [Přístup získán 27.4.2019].
- [13] ŠRÁMEK F., *Vzdálené řízení PLC SCADA systémem pomocí protokolu Modbus*. 2018. [Online]. Available: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/77620/F2-BP-2018-Sramek-Filip-Bakalarska__prace__sramek.pdf?sequence=-1&isAllowed=y. [Přístup získán 2.3.2019].

Seznam příloh:

Příloha 1 – Úplné schéma prototypu zařízení Signal Switch.....	37
Příloha 2 – DPS prototypu zařízení Signal Switch	38
Příloha 3 – Úplné schéma finálního zařízení Signal Switch	39
Příloha 4 – DPS finálního zařízení Signal Switch.....	40
Příloha 5 – Výrobní postup zařízení Signal Switch	41
Příloha 6 – Návod k použití zařízení Signal Switch	43

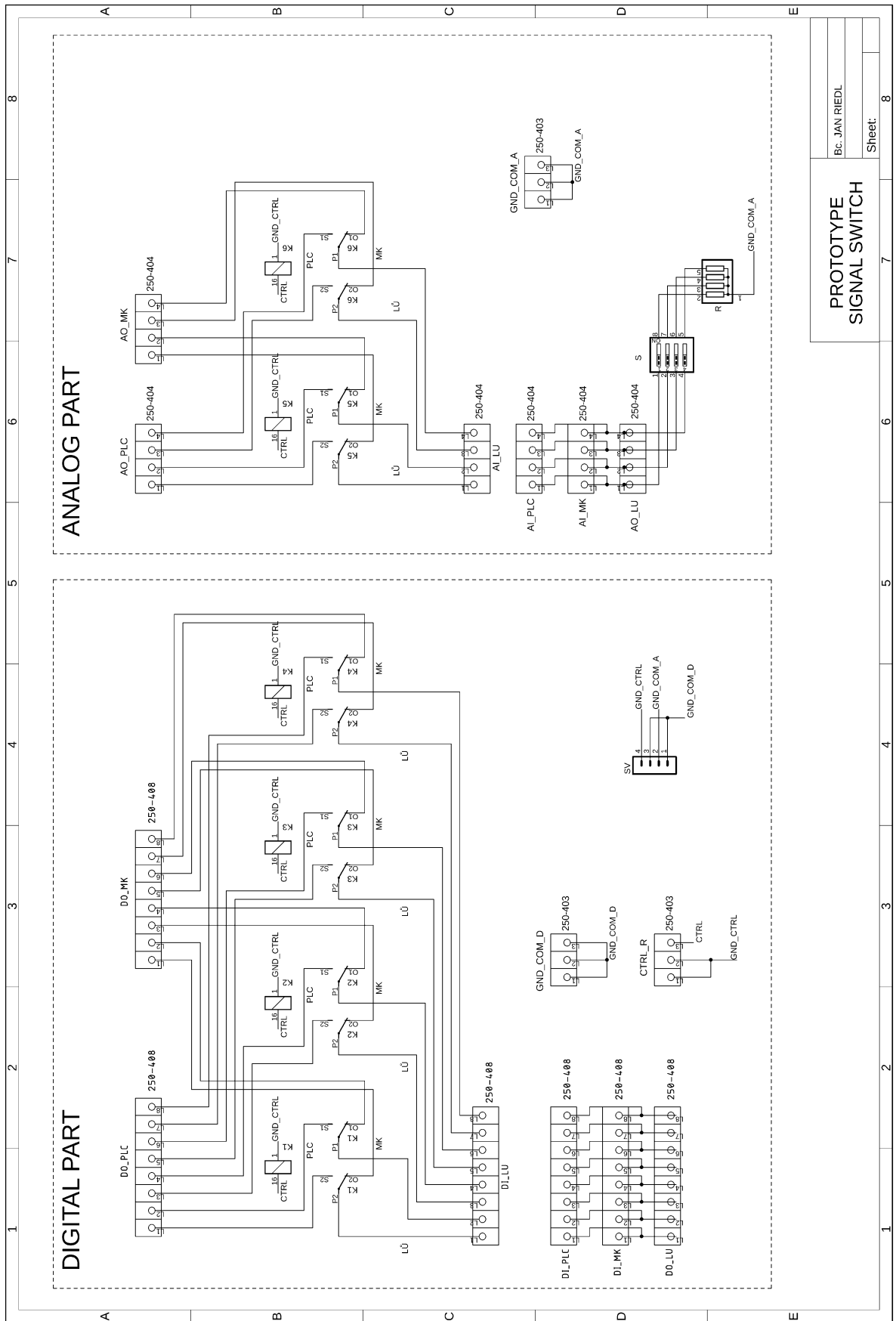
Seznam elektronických příloh

Elektronické přílohy jsou zabaleny v archivu *Elektronické přílohy.rar*, které jsou vypáleny na příloženém CD.

Obsah:

1. Diplomová práce__Jan Riedl.pdf
2. Fotodokumentace
 - 2.1. Přípravek (1) – (3)
 - 2.2. Test_prototypu (1) – (8)
3. Shéma a DPS
 - 3.1. Signal_Switch_Basic_Connection.pdf
 - 3.2. Signal_Switch_Bottom.pdf
 - 3.3. Signal_Switch_DPS.brd
 - 3.4. Signal_Switch_DPS.sch
 - 3.5. Signal_Switch_Full_Connection.pfd
 - 3.6. Signal_Switch_Labels.pdf
 - 3.7. Signal_Switch_Top.pdf
4. Vzdálené ovládání
 - 4.1. Mosaic_Backup_Project.piz
5. Kusovník.pdf
6. Návod k použití.pdf
7. Výrobní postup.pdf

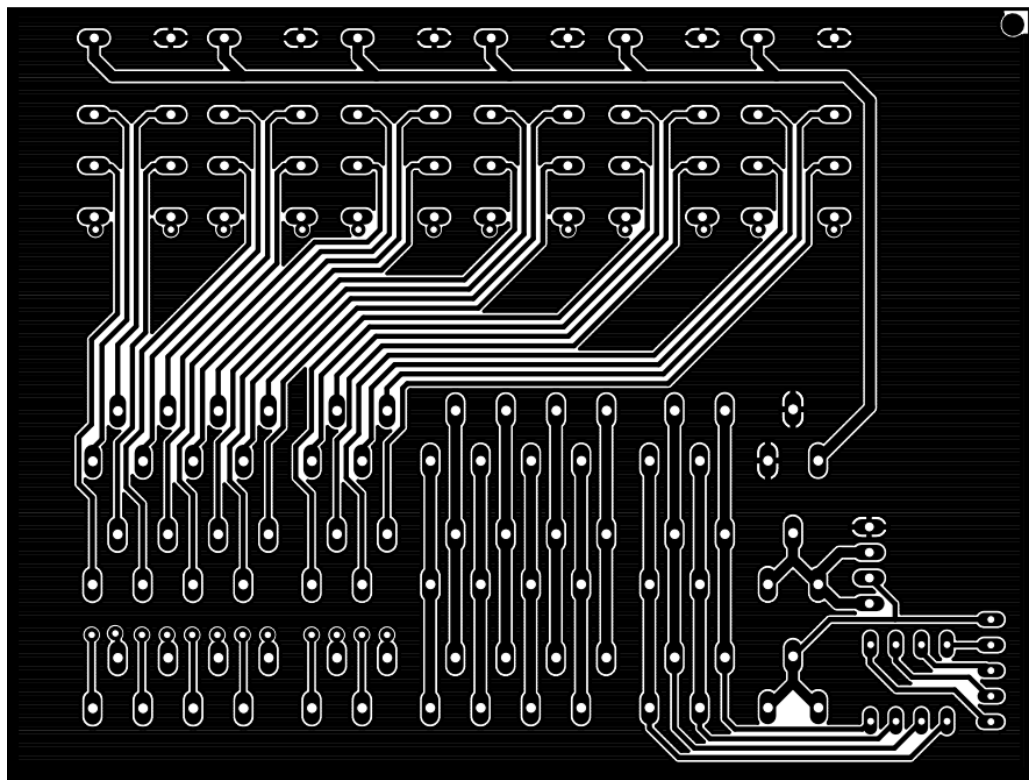
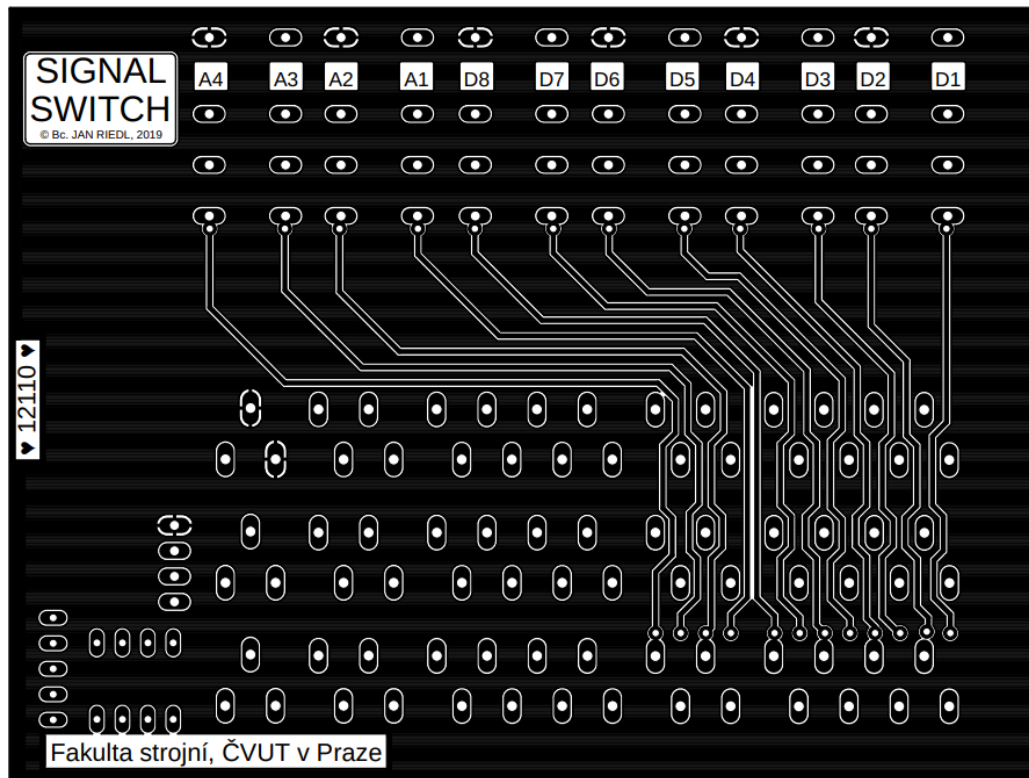
Příloha 1 – Úplné schéma prototypu zařízení Signal Switch



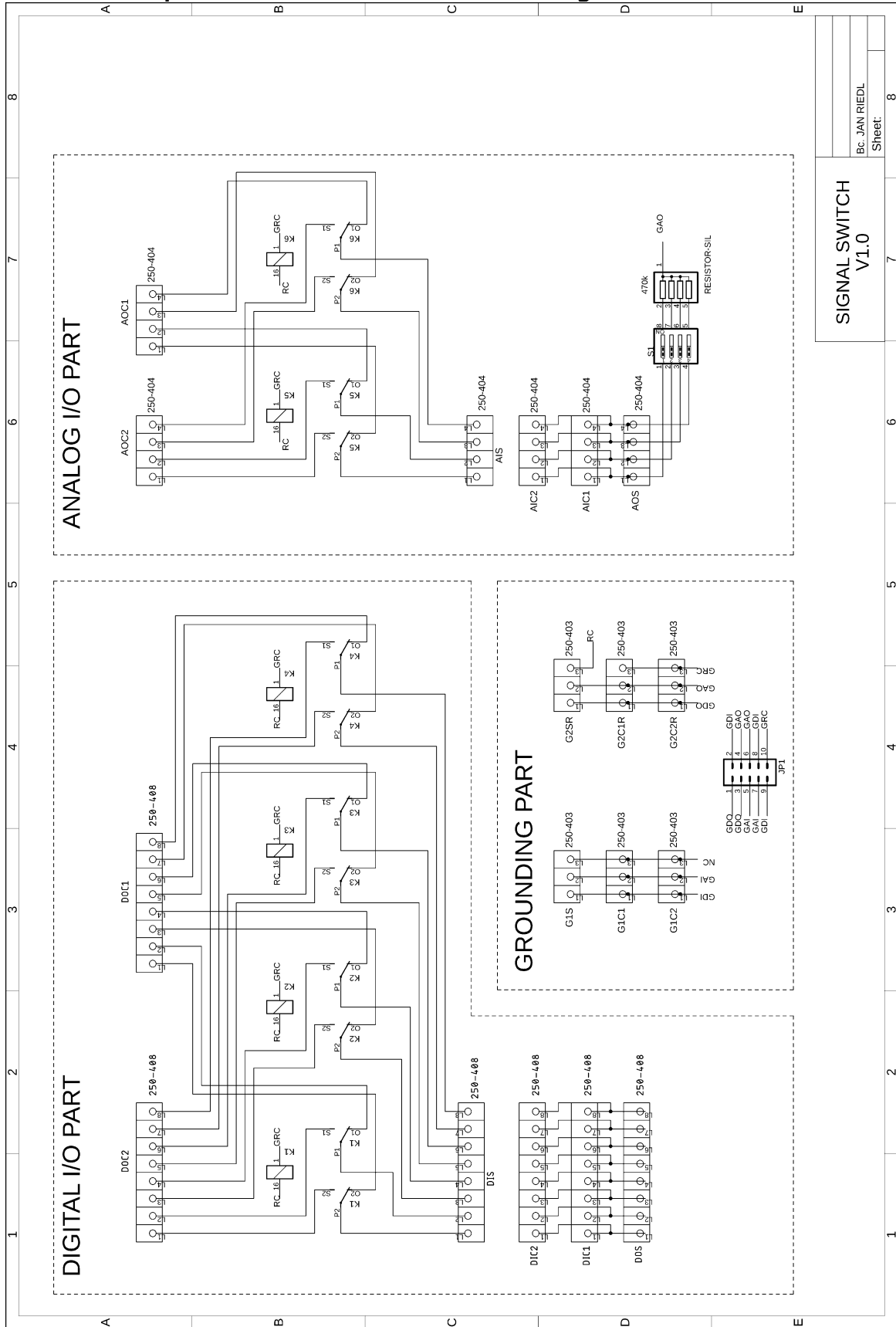
**PROTOTYPE
SIGNAL SWITCH**

Bc. JAN RIEDL
Sheet: 8

Příloha 2 – DPS prototypu zařízení Signal Switch



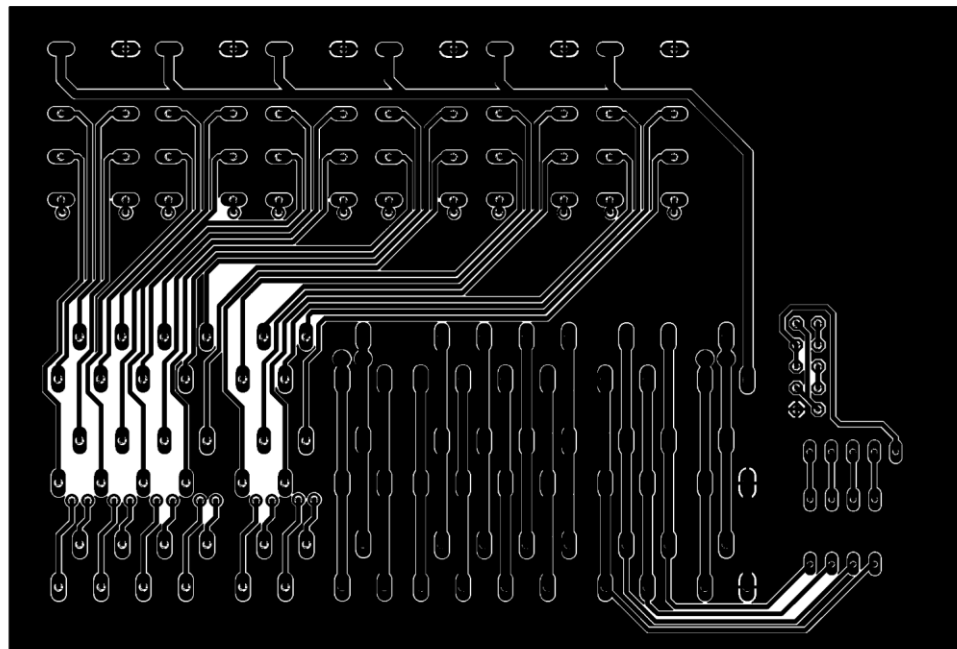
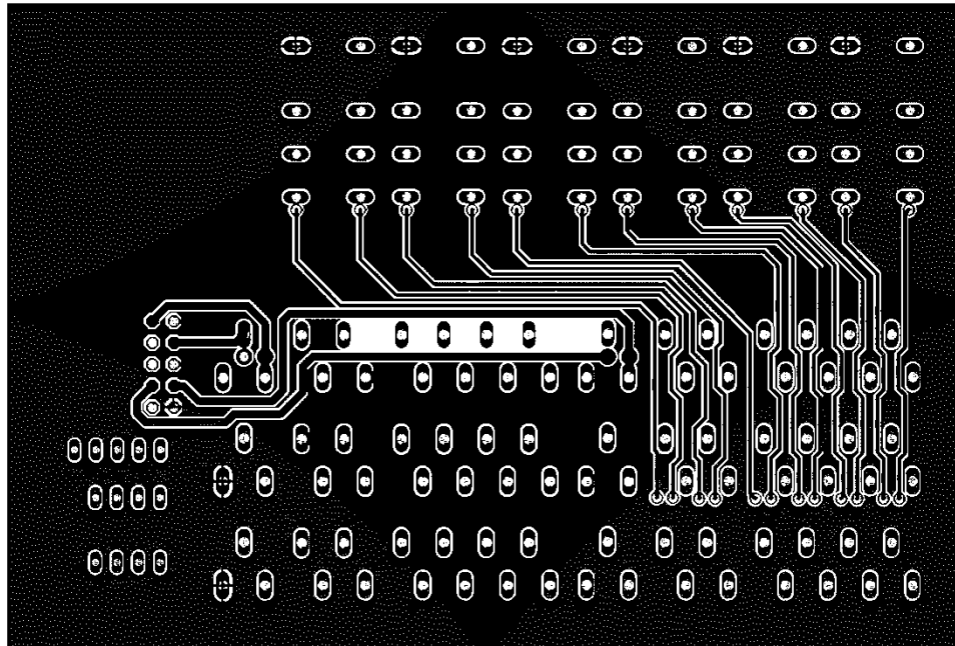
Příloha 3 – Úplné schéma finálního zařízení Signal Switch



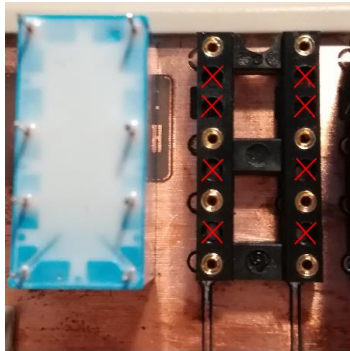

**SIGNAL SWITCH
V1.0**

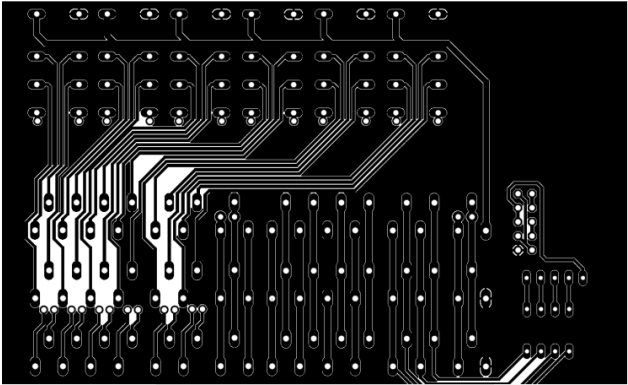
Bc. JAN RIEDL
Sheet: 8

Příloha 4 – DPS finálního zařízení Signal Switch



Příloha 5 – Výrobní postup zařízení Signal Switch

Výrobní postup zařízení Signal Switch	
Pomůcky	Mikropájka, Kalafuna (roztok), Cín, Elektrikářské náradí, Tavná pistole (dle potřeby), Měděný drátek (d = 0,5 mm)
Příprava před pájením	1. Je nutné nejprve provést rozměrovou kontrolu DPS. Ideální je zkusit nasadit DPS do rámečku.
	2. Úprava patic pro relé podle obrázku. Piny lze odstranit vypíchnutím nebo vytlačení kleštěmi ze spodní strany patice (piny směrem nahoru). <div style="text-align: center;">  </div> <p>Piny je potřeba odstranit z důvodu správné orientace při nasazení relé do patice.</p>
	3. Vzniklé otvory jsou doporučeny „zakápnout“ tavnou pistolí.
	4. kontrola, zda má DPS prokovené otvory. Pokud ano, je možno pokračovat na bod 6. Pokud ne je nutné otvory propojit (viz bod 5.)
Pájení propojů	5. propojení obou stran DPS připájením měděného drátku (d = 0.5mm) na vyznačených místech Obr. 4.16 (červené obdélníky). Celkem se 28 propojů. <div style="text-align: center;">  </div>

Pájení součástek		<p>Pájení součástek bude probíhat ze strany, která vypadá následovně (strana cínu)</p> 
	6.	Patice pro relé.
	7.	Svorkovnice WAGO (nezáleží na pořadí)
	8.	Spínač dip.
	9.	Dutinková lišta pro rezistorovou síť.
	10.	Dvouřadá kolíková lišta.
Montáž	11.	Vložení DPS do rámečku, nasunutí klipsny pro montáž na DIN lištu (zkosenou stranou nahoru) do rámečku
	12.	Vložení relé do patic, orientace je dána upravenými piny.
	13	Vložení síťového rezistoru do dutinkové lišty pinem 1 z leva (pin 1 je označen bílým puntíkem.)

Příloha 6 – Návod k použití zařízení Signal Switch

Návod k použití zařízení Signal Switch

Parametry zařízení

Tab. 5 Tabulka parametrů zařízení Signal Switch

Jmenovité napětí RC (relé RY-24W-K)	$U_n = 24 \text{ V DC}$
Maximální proud RC (relé RY-24W-K)	$I_{MAX} = 1,25 \text{ A}$
Minimální spínací napětí	16.8 V DC
Maximální rozpínací napětí	1.2 V DC
Počet vstupů	8 Digitálních, 4 Analogové
Počet výstupů	8 Digitálních, 4 Analogové
Možnost galvanického oddělení analogových a digitálních vstupů/výstupů (galvanické oddělení není umožněno pro jednotlivé signály zvlášť)	

Připojování vodičů do svorkovnic:

- Připojený vodič musí mít průřez v rozmezí 0,14 až 0,5 mm²
- Vodiče nesmí mít roztřepené konce (v případě lankového drátu), v takovém případě je vodič nutno pocínovat.
- Šroubovákem se stlačí pružný element svorkovnice a vloží se vodič do otvoru svorkovnice.
- Vodiče vždy zapojovat od svorky číslo 0

Připojování řídicích signálů – výstupy z řídicích systémů C1 a C2:

- Vodiče řídicích digitálních (popř. analogových) signálů se zapojují do svorkovnic DOC1/2 (popř. AOC1/2)
- Zemní vodiče se zapojují do svorkovnic G1C1/2. Digitální (popř. analogové) na svorky č. 2 – GDI (popř. svorky č. 1 – GAI)

Připojování řídicích signálů – vstup do systému S

- Vodiče řídicích digitálních (popř. analogových) signálů se zapojují do svorkovnice DIS (popř. AIS)
- Zemní vodiče se zapojují do svorkovnice G1S. Digitální (popř. analogové) na svorky č. 2 – GDI (popř. svorky č. 1 – GAI)

Připojování zpětné vazby – vstupy do řídicích systémů C1 a C2:

- Vodiče zpětné vazby digitálních (popř. analogových) signálů se zapojují do svorkovnic DIC1/2 (popř. AIC1/2)
- Zemní vodiče se zapojují do svorkovnic G2C1R/2R. Digitální (popř. analogové) na svorky č. 2 – GDO (popř. svorky č. 1 – GAO)
- V případě, že je signál analogové zpětné vazby napěťový, pak by se měl vypnut potřebný kontakt na DIP spínači S1 (páčka dolů). V případě proudové analogové zpětné vazby musí být spínač S1 sepnut.

Připojování zpětné vazby – výstup ze systému S

- Vodiče řídicích digitálních (popř. analogových) signálů se zapojují do svorkovnice DOS (popř. AOS)
- Zemní vodiče se zapojují do svorkovnice G2SR. Digitální (popř. analogové) na svorky č. 2 – GDO (popř. svorky č. 1 – GAO)

Připojování vodičů pro řízení přepínacích relé RC

- Vodič řídicího binárního signálu se zapojuje do svorkovnice G2SR na svorku č. 0
- Zemní vodič se zapojuje do svorkovnice G2C1R/2R na svorku č. 0

Řada svorkovnic s označením C1 je připojena na relé na kontaktu NO (normally open). Tato řada je doporučena pro použití primárního řídicího signálu (nejvíce používané výstupy řídicího systému). Řada svorkovnic C2 je doporučena k připojení sekundárního řídicího signálu.

Tab. 6 Tabulka zkratek; Systém značení svorkovnic a signálů (Anglický jazyk)

Terminal block	Name of signal	Mean
DIS	DIS.0 ... 7	Digital Input to System
DOC1	DOC1.0 ... 7	Digital Output from Control 1
DOC2	DOC2.0 ... 7	Digital Output from Control 2
AIS	AIS.0 ... 1	Analog Input to System
AOC1	AOC1.0 ... 3	Analog Output from Control 1
AOC2	AOC2.0 ... 3	Analog Output from Control 2
G1S	-NC-	Not connected
	GAI ¹	Ground of System Analog Input
	GDI ²	Ground of System Digital Input
G1C1	-NC-	Not connected
	GAI	Ground of Control 1 Analog Output
	GDI	Ground of Control 1 Digital Output
G1C2	-NC-	Not connected
	GAI	Ground of Control 2 Analog Output
	GDI	Ground of Control 2 Digital Output
DOS	DOS.0 ... 7	Digital Output from System
DIC1	DIC1.0 ... 7	Digital Input to Control 1
DIC2	DIC2.0 ... 7	Digital Input to Control 2
AOS	AOS.0 ... 3	Analog Output from System
AIC1	AIC1.0 ... 3	Analog Input to Control 1
AIC2	AIC2.0 ... 3	Analog Input to Control 2
G2SR	RC	Relay Control (Signal to switch)
	GAO ³	System Ground Analog Output
	GDO ⁴	System Ground Digital Output
G2C1R	GRC	Ground of Relay Control
	GAO	Ground of Control 1 Analog Input
	GDO	Ground of Control 1 Digital Input
G2C2R	GRC	Ground of Relay Control
	GAO	Ground Control 2 Analog Input
	GDO	Ground Control 2 Digital Input
Notes:	¹ GAI – Ground Analog Input (in terms of system) ² GDI – Ground Digital Input (in terms of system) ³ GAO – Ground Analog Output (in terms of system) ⁴ GDO – Ground Digital Output (in terms of system)	

