

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
Fakulta elektrotechnická
Katedra elektrotechnologie



Bakalářská práce

Testovací přípravek IRC

Veranika Karpuk

Vedoucí práce: Ing. Karel Künzel, CSc.

Studijní program : Elektrotechnika, energetika a management
Obor : Aplikovaná elektrotechnika
25. května 2018



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Karpuk Jméno: Veranika Osobní číslo: 457247
Fakulta/ústav: Fakulta elektrotechnická
Zadávající katedra/ústav: Katedra elektrotechnologie
Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Studijní obor: Aplikovaná elektrotechnika

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Testovací přípravek IRC

Název bakalářské práce anglicky:

IRC testing kit

Pokyny pro vypracování:

Seznamte se s požadavky na testovací přípravek.
Navrhněte případné úpravy a rozšíření přípravku.
Navrhněte programové vybavení přípravku.
Ověřte funkčnost přípravku.
Změňte parametry přípravku.

Seznam doporučené literatury:

Karpuk, V.: Individuální projekt, ČVUT v Praze, FEL 2018
Getting started with STM32F4 Discovery kit , ST Microelectronic
User manual STM32F429 Discovery kit, ST Microelectronics
Koberle, P., Pavelka, J.: Elektrické pohony a jejich řízení, ČVUT Praha 2016

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Karel Künzel, CSc., katedra elektrotechnologie FEL

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

Datum zadání bakalářské práce: 26.01.2018

Termín odevzdání bakalářské práce: 25.05.2018

Platnost zadání bakalářské práce: 30.09.2019

Ing. Karel Künzel, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Poděkování

Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu Ing. Karlu Künzelovi, CSc. za vedení, zájem, připomínky a čas, který mi věnoval.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 25.5.2018

.....

Abstract

The Bachelor thesis deals with design and implementation of IRC testing kit that allows simulation of incremental rotary encoders with different parameters.

The thesis explains function of incremental rotary encoders. It also describes hardware that has been made to facilitate operation of the device. The thesis includes verification of functionality of the device.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací testovacího přípravku IRC, který umožňuje simulování inkrementálních čidel s různými parametry.

Součástí práce je vysvětlení principu funkce inkrementálních čidel. Dále popisuje hardware, který byl vyrobený k usnadnění práce s přípravkem. Práce zahrnuje ověření funkčnosti zařízení.

Obsah

Úvod	1
1.1 Inkrementální čidlo	1
1.1.1 Princip inkrementálního čidla pro měření rychlosti	1
1.1.2 Vyhodnocení výstupního signálu	2
1.1.3 Parametry současných čidel	3
Testovací přípravek IRC	5
2.1 Funkce	5
2.2 Výchozí nastavení	6
2.3 Ovládání	6
2.4 Schéma připojení testovaného zařízení	8
Použitý hardware	9
3.1 Vývojový kit STM	9
3.2 Plošný spoj	9
3.2.1 Schéma	10
3.2.2 Seznam použitých součástek	11
3.2.3 Výpočet parametrů součástek	11
3.2.4 Vysvětlení schématu	12
3.2.5 Výroba plošného spoje	12
Programové vybavení	14
4.1 Knihovny programu	14
4.1.1 Hlavní program main.c	14
4.1.2 Knihovna gui.c	15
4.1.3 Knihovna touch.c	15
4.1.4 Knihovna rotary_encoder.c	16
Ověření funkce	17
5.1 Ověření funkce změny rychlosti	17
5.2 Ověření funkce změny směru otáčení	18
5.3 Parametry přípravku	18
Zhodnocení práce	19
6.1 Testovací přípravek IRC	19
6.2 Plošný spoj	19
6.3 Celkové zhodnocení	19
Literatura	20
Schéma zapojení plošného spoje	21
Deska plošného spoje	22
Výroba plošného spoje	23

Seznam obrázků

Obrázek 1: Inkrementální čidlo [1].....	1
Obrázek 2: Provedení inkrementálního čidla s detekci směru pohybu a definovaným počátkem [2].....	2
Obrázek 3: Výstupní signál	2
Obrázek 4: Maxon Motor IRC [3]	3
Obrázek 5: Displej - Hlavní menu	6
Obrázek 6: Displej - Nastavení typu IRC	7
Obrázek 7: Displej - Klávesnice	7
Obrázek 8: Displej - Změna rychlosti	8
Obrázek 9: STM32F429I DISC1 [4]	9
Obrázek 10: Schéma zapojení.....	10
Obrázek 11: Blokové schéma přípravku.....	10
Obrázek 12: Regulátor napětí [5]	12
Obrázek 13: Průběh změny rychlosti	17
Obrázek 14: Průběh změny směru otáčení.....	18

Seznam tabulek

Tabulka 1: Parametry čidla od Maxon Motor	3
Tabulka 2: Výchozí nastavení přípravku	6
Tabulka 3: Seznam součástí	11
Tabulka 4: Parametry pro testování změny rychlosti.....	17
Tabulka 5: Parametry pro testování změny směru otáčení.....	18
Tabulka 6: Parametry přípravku	18

Kapitola 1

Úvod

Bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací testovacího přípravku IRC, který simuluje inkrementální čidlo. Cílem bylo navrhnout hardwarové řešení přípravku s použitím vývojové desky s mikroprocesorem a navrhnout programové vybavení simulátoru. Přípravek musí být schopen generovat signály podobně jako reálné inkrementální čidlo se shodnými parametry.

1.1 Inkrementální čidlo

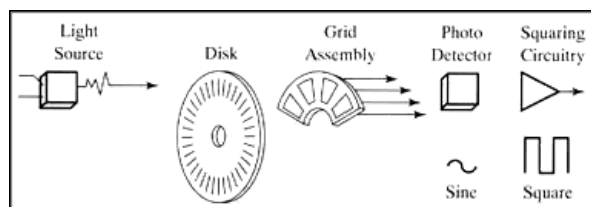
Rotační čidla slouží pro zjištění polohy pohonů, pro měření rychlosti a směru otáčení, což umožňuje přesné nastavení polohy a řízení pohonů. Tato zařízení převádějí otáčivý pohyb na elektrický signál.

V případě inkrementálních čidel se při rotačním pohybu generují pulsy, jejichž určitý počet odpovídá určité vzdálenosti, posuvu nebo natočení a závislost počtu pulsů na časovém úseku odpovídá rychlosti. Výstupní signál je tedy relativní a informuje jen o pohybu, ne však o přesné pozici. Vyhodnocení pozice se provádí na základě referenční počáteční pozice externí měřicí jednotkou nebo použitím synchronizačního impulsu ve zvolené pozici.

1.1.1 Princip inkrementálního čidla pro měření rychlosti

Celý systém inkrementálního čidla se skládá z následujících hlavních částí:

- *Disk* s posloupností opticky průhledných a neprůhledných otvorů (*Grid Assembly*) nebo odrazných a neodrazných plošek
- Optický vysílač (*Light Source*) – nejčastěji LED dioda vysílající světlo ve viditelném nebo infračerveném spektru
- Optický přijímač (*Photo Detector*) – fototranzistor nebo fotodioda

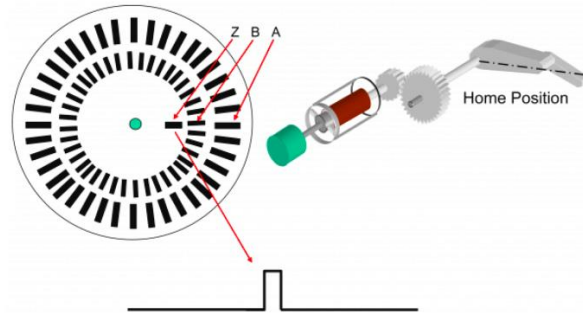


Obrázek 1: Inkrementální čidlo [1]

Disk je spojen s otočnou spojovací hřídelí snímače, která je pak připevněna ke hřídeli motoru. Hřídel se tedy otáčí současně s diskem. LED diody jsou umístěny před diskem, fototranzistory jsou umístěny na opačné straně. V okamžiku, kdy světlo vysílané LED diodou prochází otvorem na druhou stranu, fototranzistor je v saturaci a výstupem je obdélníkový impuls. (Zdroj informace [2])

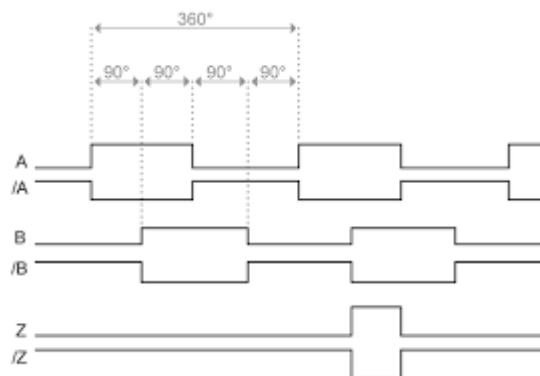
1.1.2 Vyhodnocení výstupního signálu

Inkrementální čidlo obvykle generuje 2 obdélníkové signály posunuté o 90 elektrických stupňů (*kanál A* a *kanál B*), vyhodnocením kterých lze zjistit rychlost a směr otáčení, a synchronizační puls (*kanál Z*), který udává referenční počáteční polohu a je obvykle ve fázi s *kanálem A*.



Obrázek 2: Provedení inkrementálního čidla s detekcí směru pohybu a definovaným počátkem [2]

Výstupem inkrementálního čidla je většinou 6 kvadraturních signálů – *kanály A*, *B*, *Z* a jejich negace. Pokud je potřeba měřit pouze rychlost a směr, tedy není potřeba měřit pozici, *kanál Z* se vynechá.



Obrázek 3: Výstupní signál

Inkrementální čidlo generuje 4 impulsy za periodu, které vyjadřují změnu alespoň jednoho z *kanálů A* a *B*.

1.1.3 Parametry současných čidel

Prvním úkolem pro kvalitní zpracování této práce bylo seznámit se s funkcí inkrementálního čidla a se současnými parametry čidel, aby testovací přípravek IRC byl co nejvíce podobný tomu, co se v současné době používá. Nejdůležitějšími parametry pro návrh tohoto přípravku tedy byly:

- Rozlišení
- Maximální rychlost

Rozlišení udává počet měřících segmentů (otvorů nebo odrazných plošek) na disku za jednu otáčku. Obvykle je udáván v katalogovém listu jako počet impulsů na jednu otáčku. Proto lze říct, že větší počet měřících segmentů zvyšuje rozlišení rotačního čidla, což zvyšuje citlivost čidel ke změnám rychlosti. Avšak větší rozlišení neznamena větší přesnost, protože přesnost je dána dalším zpracováním signálů, ovšem v této práci se přesností nebude zabývat.

Maximální rychlost inkrementálního čidla závisí na maximální mechanické a elektrické rychlosti. Maximální mechanická rychlost je hodnota rychlosti otáčení, při které se čidlo nepoškodí. Elektrická rychlost je závislá na spínací frekvenci součástek uvnitř rotačního čidla a rozlišení:

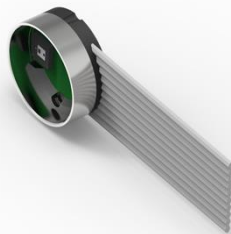
$$v_{el_{max}} = \frac{f_{max}}{en} * 60$$

kde $v_{el_{max}}$ je maximální elektrická rychlost,
 f_{max} je maximální spínací frekvence součástek,
 en je rozlišení čidla.

Kombinací těchto dvou rychlostí, mechanické a elektrické, tedy dostaneme maximální rychlost rotačního čidla.

Rozlišení současných čidel v závislosti na účelu aplikace dosahuje stovek až desítek tisíc generovaných impulsů na jednu otáčku. Tady je příklad inkrementálního čidla pro malé stejnosměrné motory :

Výrobce : Maxon Motor
Název IRC : ENC 16 RIO



Obrázek 4: Maxon Motor IRC [3]

Počet kanálů	3
Maximální rozlišení	16384 impulsů na otáčku
Maximální pracovní frekvence	3125 kHz
Maximální rychlost	40000 min ⁻¹

Tabulka 1: Parametry čidla od Maxon Motor

Tento inkrementální rotační snímač má volitelné rozlišení 512 až 65536 počtů impulsů na jednu otáčku s krokem 256 (*CPR - Counts per revolution*). Toto číslo vyjadřuje počet impulsů na jednu otáčku po 4x dekodování. Po převedení rozlišení na impulsy na otáčku dostaneme rozlišení 128 až 16384 impulsů na jednu otáčku s krokem 64.

Kapitola 2

Testovací přípravek IRC

Testovací přípravek IRC je schopen simulovat inkrementální čidla s rozlišením 300 a 600 impulsů na jednu otáčku. Je možné přidat další hodnoty rozlišení v programu. Umožňuje jednoduché ovládání parametrů pro testování pomocí dotykového displeje. Přípravek podporuje možnost simulování změn rychlosti a směru otáčení s nastavitelným časem změny. Skutečnou generovanou rychlost lze pozorovat za běhu programu v hlavním menu. Generované signály jsou vyvedeny na výstupní konektor pro snadné připojení testovaného zařízení.

2.1 Funkce

Jak bylo zmíněno výše, přípravek umožňuje simulování změn rychlosti. Nová hodnota rychlosti je spočtená každých 10 ms po spuštění této funkce a rychlost se obnovuje s každým doběhnutím impulsu, pokud je nová hodnota již připravená. Pro výpočet nové rychlosti se nejdříve vypočítá krok, se kterým se nová hodnota bude měnit. Samozřejmě hodnoty rychlostí jsou v programu převedeny na jiné parametry (perioda čítače, frekvence atd), ale výpočet kroku zhruba je:

$$\Delta v = \frac{|v_1| - |v_2|}{\frac{t_z}{T}},$$

kde Δv je krok pro $|v_1| > |v_2|$,

v_1, v_2 jsou rychlosti 1 a 2,

t_z je čas změny,

T je perioda spočítání nové rychlosti, $T = 10ms$.

Při simulování změny směru otáčení se nejdříve provede změna z rychlosti 1 na rychlost maximálně přiblíženou nule (rychlost 0), která je v programu nadefinována, pak z rychlosti 0 na rychlost 2. Čas změny pro oba směry se tedy rozdělí proporcionálně:

$$t_{z1} = \frac{|v_1|}{|v_1| + |v_2|} * t_z,$$
$$t_{z2} = t_z - t_{z1},$$

kde t_{z1}, t_{z2} jsou časy změny 1 a 2,

v_1, v_2 jsou rychlost 1 a 2,

t_z je čas změny.

2.2 Výchozí nastavení

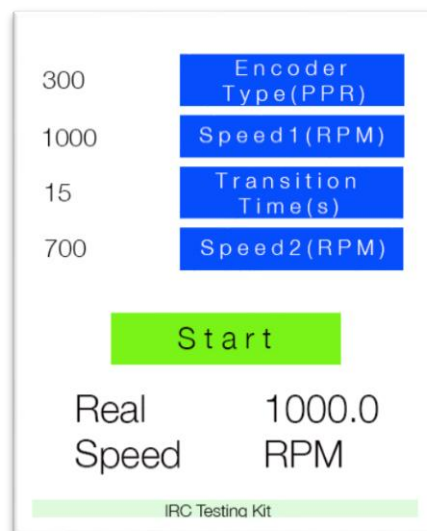
Při zapnutí přípravku je generováno inkrementální čidlo s následujícími parametry:

Typ IRC	300 impulsů na otáčku
Rychlost 1	1000 min ⁻¹
Čas změny	15 s
Rychlost 2	700 min ⁻¹

Tabulka 2: Výchozí nastavení přípravku

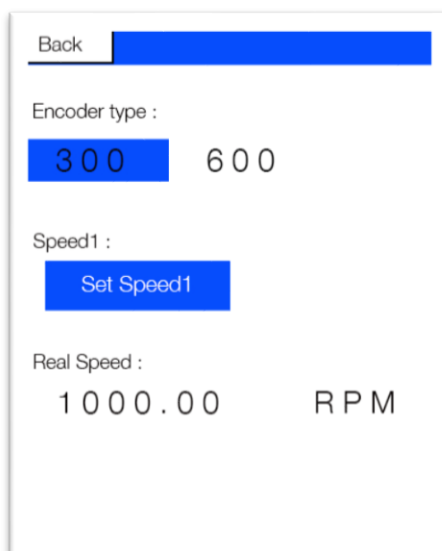
2.3 Ovládání

Při zapnutí přípravku se zobrazí hlavní nabídka, ve které jsou zobrazeny aktuálně nastavené parametry s možností jejich změny pomocí ovládacích tlačítek, tlačítko na spuštění změny rychlosti podle nastavených parametrů a skutečná generovaná rychlost.



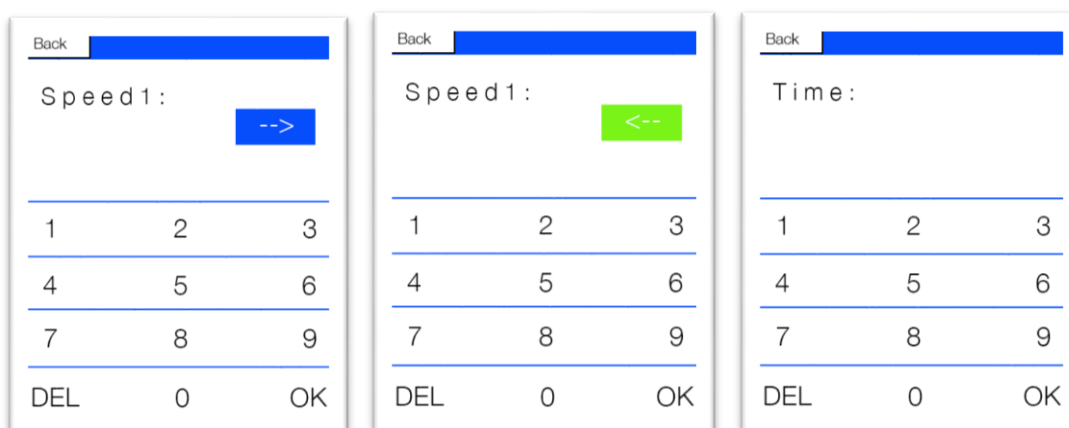
Obrázek 5: Displej - Hlavní menu

Stisknutím tlačítka „Encoder Type“ se otevře nabídka pro výběr typu inkrementálního čidla. Vybraný typ čidla se zvýrazní modrou barvou. Změny není potřeba ukládat. Vybraná hodnota je aktualizována v následující periodě signálu. Je zde možné přímo nastavit i hodnotu rychlosti 1 stisknutím tlačítka „Set Speed1“.



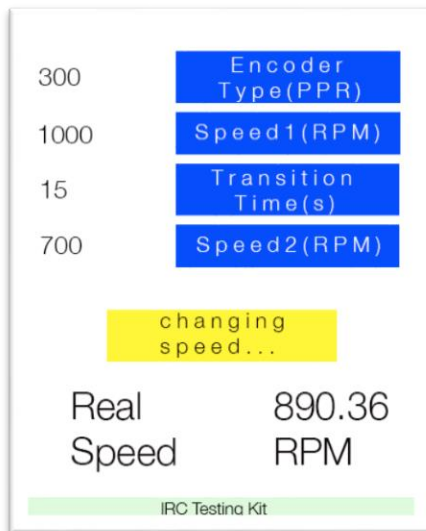
Obrázek 6: Displej - Nastavení typu IRC

Tlačítka „Speed1“, „Speed2“ a „Transition Time“ otevřou klávesnici pro zadání rychlosti 1, rychlosti 2 a času změny. Změny se uloží stisknutím „OK“. Opravit zadanou hodnotu je možné stisknutím „DEL“. Při zadávání rychlostí je možné také zvolit směr otáčení šipkou vpravo nahore.



Obrázek 7: Displej - Klávesnice

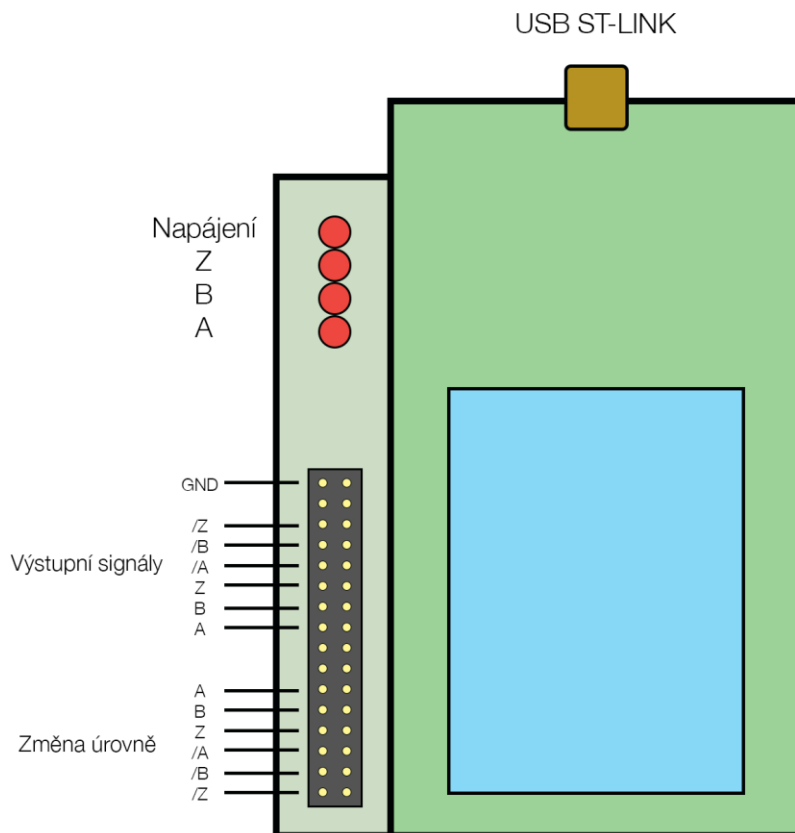
Tlačítkem „Start“ se spustí změna rychlosti 1 („Speed1“) na rychlost 2 („Speed2“) za čas, zadaný v bodě „Transition Time“.



Obrázek 8: Displej - Změna rychlosti

V dolní části hlavní nabídky přípravek vypíše skutečnou rychlost v daný okamžik.

2.4 Schéma připojení testovaného zařízení



Kapitola 3

Použitý hardware

3.1 Vývojový kit STM

Pro realizaci simulátoru inkrementálního čidla jsem použila vývojovou desku STM32F429 Discovery vybavenou displejem s dotykovým ovládáním prostřednictvím kterého je možno přípravek ovládat.

Základní vlastnosti desky STM32F429I DISC1 jsou :

- ARM mikrokontrolér STM32F429ZIT6 s jádrem Cortex-M4
- Barevný TFT displej s úhlopříčkou 2,4 s QVGA rozlišením (320 x 240)
- Dotyková vrstva a její řadič
- 2 uživatelské LED, 1 uživatelské tlačítko a tlačítko Reset
- Programátor/debuger ST-LINK V2

Obvod má následující parametry :

- 32bitové jádro s jednotkou pro výpočet pohyblivé řádové čárky (FPU) s maximálním taktem 180 MHz
- 2 MB paměť FLASH, 256 + 4 kB paměť SRAM
- LCD-TFT řadič pro rozlišení XGA až (1024 x 768)
- Napájecí napětí 1,7 V až 3,6 V
- 17 časovačů



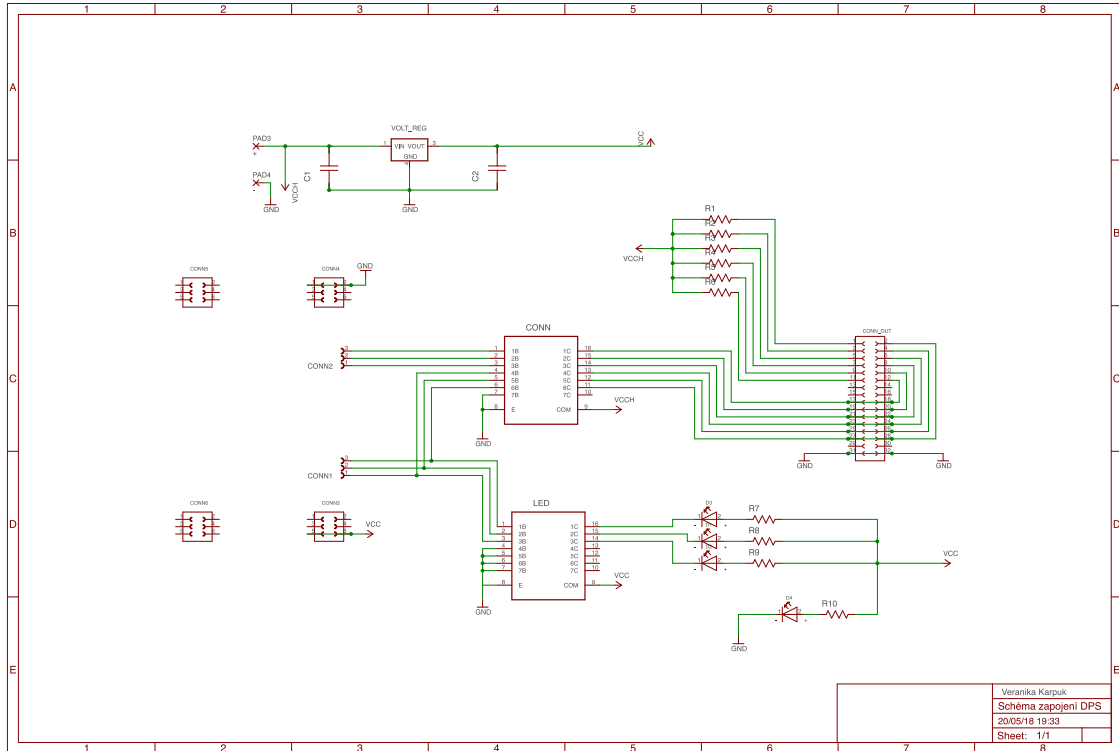
Obrázek 9: STM32F429I DISC1 [4]

3.2 Plošný spoj

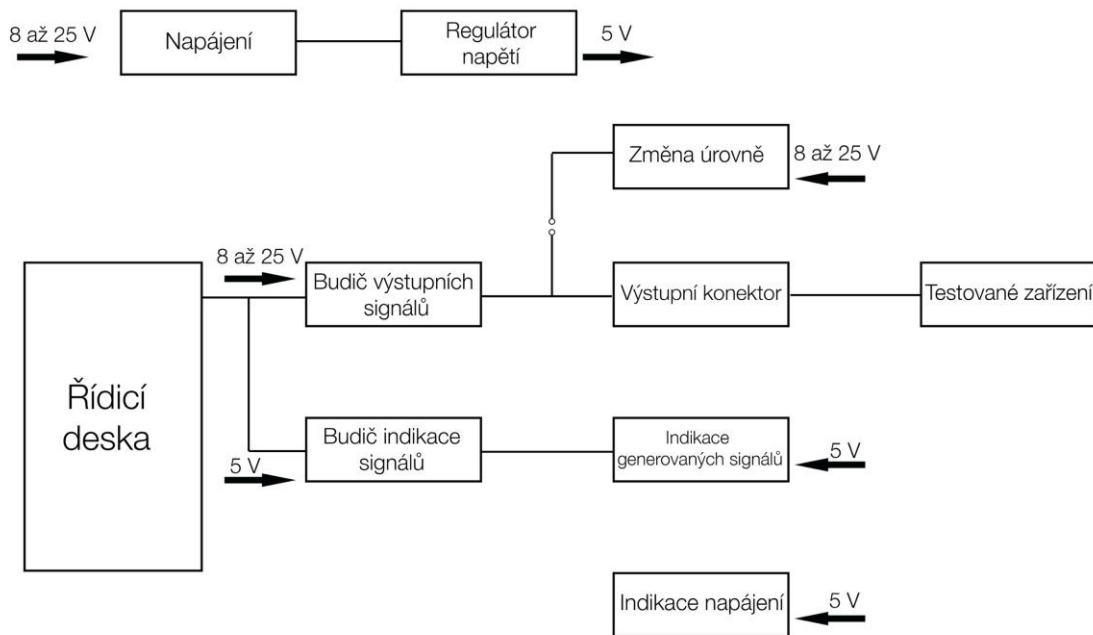
Pro vyvedení signálů generovaných mikroprocesorem na výstupní konektor byl navržen plošný spoj, který umožňuje snadné připojení testovaného zařízení. Existuje možnost změny vysoké úrovně signálů na výstupním konektoru, což značně zvětšuje

použitelnost zařízení pro různé úrovně logických signálů podle parametrů připojených zařízení.

3.2.1 Schéma



Obrázek 10: Schéma zapojení



Obrázek 11: Blokové schéma přípravku

Schéma plošného spoje a zvětšené schéma zapojení jsou v příloze A a B.

3.2.2 Seznam použitých součástek

Označení ve schématu	Popis	Provedení	Hodnota
Napájení			
<i>VOLT_REG</i>	Stabilizátor napětí L7805	SMD	VIN = 8 až 25 V, VOUT = 5 V
<i>C1</i>	Kondenzátor keramický	SMD	330 nF
<i>C2</i>	Kondenzátor keramický	SMD	100 nF
Konektory			
<i>CONN1</i>	Piny PE2, PE4, PE6 mikroprocesoru	THT	-
<i>CONN2</i>	Piny PD5, PD7, PG9 mikroprocesoru	THT	-
<i>CONN3</i>	5V pin řídicí desky	THT	-
<i>CONN4</i>	GND pin řídicí desky	THT	-
<i>CONN5</i>	Pro mechanickou pevnost	THT	-
<i>CONN6</i>	Pro mechanickou pevnost	THT	-
<i>CONN_OUT</i>	Výstupní konektor	THT	-
Zpracování signálů			
<i>CONN</i>	Tranzistorové pole bipolární ULN2003	SMD	-
<i>R1</i>	Rezistor	SMD	1 W, 680 Ω
<i>R2</i>			
<i>R3</i>			
<i>R4</i>			
<i>R5</i>			
<i>R6</i>			
Indikace			
<i>LED</i>	Tranzistorové pole bipolární ULN2003	SMD	-
<i>R7</i>	Rezistor	SMD	0,125 W, 1,6 kΩ
<i>R8</i>			
<i>R9</i>			
<i>R10</i>			
<i>D1</i>	LED dioda červená, kanál A	THT	1,8 V, I _{max} = 30 mA
<i>D2</i>	LED dioda červená, kanál B		
<i>D3</i>	LED dioda červená, kanál Z		
<i>D4</i>	LED dioda červená, napájení		

Tabulka 3: Seznam součástek

3.2.3 Výpočet parametrů součástek

Rezistory R1 až R6 jsou dimenzovány na maximální napětí 25 V tak, aby byly odolné vůči zkratu. Pro zvolený proud kolem 37 mA hodnota odporu je tedy:

$$R_1 = \frac{U_{CCH}}{I}$$

$$P = \frac{U_{CCH}^2}{R}$$

kde U_{CCH} je 25 V,
 I je 37 mA.

Rezistory R7 až R10 omezují proud LED diodami D1 až D4, které mají typickou svítivost při 2 mA.

$$R_7 = \frac{U_R}{I_R} = \frac{U_{CC} - U_{LED}}{I_{LED}}$$

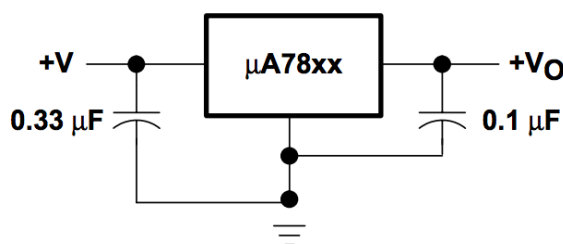
Kde U_{CC} je 5 V,
 U_{LED} je 1,8 V,
 I_{LED} je 2 mA.

3.2.4 Vysvětlení schématu

Konektory *CONN1* až *CONN6* slouží ke spojení vývojové desky a desky plošného spoje. Konektory *CONN1* a *CONN2* přivádí generované signály na příslušných pinech vývojové desky na desku plošného spoje k dalšímu zpracování a vyvedení na výstupní konektor. Konektor *CONN3* zajišťuje napájení vývojové desky. Konektor *CONN4* slouží ke spojení zemí vývojové desky a desky plošného spoje.

Konektory *CONN5* a *CONN6* byly přidány pro lepší mechanickou pevnost, jelikož všechny použité piny jsou na druhé straně vývojové desky.

Regulátor napětí *VOLT_REG* má vedle sebe dva kondenzátory *C1* a *C2* pro vytvoření stálého výstupu 5 V. Hodnoty kapacit těchto kondenzátorů jsou převzaty z katalogového listu.



Obrázek 12: Regulátor napětí [5]

Tranzistorová pole bipolární *LED* a *CONN* byly použity jako budiče pro indikaci signálů a napájení a pro řízení výstupních signálů.

Rezistory *R1* až *R6* byly přidány pro možnost změny hodnoty vysoké úrovně signálů na výstupním konektoru. Nejsou stále propojeny se signály, proto v případě potřeby je možné propojit je jumperem na výstupním konektoru.

3.2.5 Výroba plošného spoje

Schéma viz Příloha B. Plošný spoj byl navržen v programu Eagle.
Rozměry desky : 80 × 100 mm

Všechny součástky, se kterými uživatel nebude pracovat přímo, jsou umístěny na spodní straně desky. Na horní straně jsou pouze 4 LED diody *D1* až *D4* pro indikaci napájení a výstupních signálů simulátoru.

V Příloze C jsou podklady k vytvoření souborů pro výrobu desky. Uvedení správného postupu vytvoření těchto souborů bylo požadavkem vedoucího.

Kapitola 4

Programové vybavení

Pro vytvoření programu bylo využito vývojové prostředí μ Vision Keil v5.0, které bylo vybráno díky velké podpoře vývojových desek od společnosti STMicroelectronics. Při vývoji programu byly využity veřejně dostupné standartní periferní knihovny od STMicroelectronics. Program je rozdělen na několik *.c knihoven z důvodu přehlednosti celého programu.

Program byl zdokumentován pomocí nástroje k vytváření dokumentace Doxygen.

4.1 Knihovny programu

Soubory

soubor	gui.c	Grafické rozhraní programu.
soubor	main.c	Hlavní program.
soubor	rotary_encoder.c	Funkce simulátoru inkrementálního čidla.
soubor	touch.c	Dotykové ovládání.

4.1.1 Hlavní program main.c

Hlavní program spojuje funkce ostatních knihoven, tedy v hlavním programu jsou nakonfigurovány všechny potřebné periferie a je zajištěná hlavní funkce celého programu – generování signálu na výstupních pinech.

Funkce

int	main (void)	Na začátku programu se postupně volají procedury ke konfiguraci všech potřebných periferií a funkce pro výpočet výchozích parametrů. Poté se program dostane do nekonečné smyčky while(1), kde se volá procedura Touch_Control() , která stále aktualizuje stav dotykové vrstvy, procedura RealSpeedCalculator() , která vypočítá skutečnou rychlost a procedura GUI_RealSpeed() , která vypíše skutečnou rychlost na displeji, pokud se uživatel nachází v hlavním menu. ...
void	TIM2_IRQHandler (void)	Funkce přerušení od TIM2. Za běhu programu je vždy povoleno přerušení od TIM2. V této proceduře je signál pro zvolený směr otáčení posílán po jednotlivých impulsích na piny vývojové desky a je nastavená nová perioda čítače podle nové výpočtené hodnoty rychlosti, pokud je nastaven požadavek na změnu periody, nastavený v jiných částech programu. ...
void	TIM3_IRQHandler (void)	Funkce přerušení od TIM3. Při spuštění změny rychlosti nebo směru tlačítkem "Start" je aktivován čítač TIM3. Ve funkci přerušení od tohoto čítače se spočte nová hodnota rychlosti každých 10 ms a nastaví se požadavek na změnu periody TIM2. Po dosažení nastavené konečné rychlosti TIM3 je deaktivován. ...

4.1.2 Knihovna gui.c

V této knihovně je realizována funkce grafického rozhraní.

Funkce

void LCD_Init_default (void)	Tato procedura konfiguruje LCD displej pomocí knihoven od společnosti STMicroelectronics. ...
void GUI_Keyboard (void)	Klavesnice pro nastavení rychlostí 1 a 2 a času. ...
void GUI_Direction (char direction)	Změna směru šipky na GUI s klávesnicí podle zvoleného směru. ...
void GUI_Menu (void)	Hlavní menu. ...
void GUI_Start (void)	Tlačítko Start. ...
void GUI_ChangingSpeed (void)	Změna tlačítka Start při jeho stisknutí. Po doběhnutí změny vrátí se na původní stav GUI_Start()
void GUI_Encoder (void)	Menu pro výběr typu čidla. ...
void GUI_Settings_Encoder ()	Zvýraznění vybraného čidla. ...
void GUI_RealSpeed (void)	Zobrazení skutečné rychlosti. ...

4.1.3 Knihovna touch.c

Knihovna touch.c zajišťuje správnou funkci programu při obsluze dotykového displeje.

Funkce

void Touch_Control (void)	Dotykové ovládání - rozlišení grafického rozhraní. Tato funkce je v nekonečné smyčce v main.c . Rozlišuje, v jaké části grafického rozhraní se nacházím, a spouští další procedury podle rozhraní. ...
void Touch_GUI_Config (void)	Kontrola dotyku. Procedura kontroluje, zda je dotykový displej v pořádku a pokud ano, tak se zobrazí hlavní nabídka a pokud ne, tak se zobrazí chybová hláška "IOE NOT OK. Reset the board and try again." na červeném pozadí. ...
void Touch_Menu (void)	Dotykové ovládání pro hlavní menu. ...
void Touch_Keyboard (unsigned int *number, unsigned int max_number)	Dotykové ovládání pro klávesnici. ...
void Touch_Settings (void)	Dotykové ovládání pro nastavení typu inkrementálního čidla. ...
void Touch_KeyboardControl (char number)	Dotykové ovládání numerické klávesnice. ...
void Delete_Address (void)	Dotykové ovládání - oprava zadané hodnoty. Procedure se volá při stisknutí tlačítka DEL. Smaže řádek se zadaným číslem. ...
void Delay (void)	Zpoždění. ...

4.1.4 Knihovna rotary_encoder.c

Knihovna rotary_encoder.c má v sobě všechny potřebné procedury k umožnění hlavních funkcí programu – simulování změny rychlosti a také změny směru otáčení. Procedury této knihovny provádí výpočty hodnot, které jsou potřebné k dosažení nastavených hodnot s co největší přesností.

Funkce

void	RE_Config (void)	Konfigurace pinů, zvolených jako výstup signálu. ...
void	Timer2_Config (void)	Konfigurace čítače TIM2. ...
void	Timer3_Config (void)	Konfigurace čítače TIM2. ...
void	SignalOut (void)	Vysílání vymaskovaného i-tého bitu signálu na piny vývojové desky. ...
void	PeriodCalculator (void)	Výpočet periody TIM2 ze zadané rychlosti. ...
void	RealSpeedCalculator (void)	Výpočet skutečné rychlosti. ...
double	StepCalculator (unsigned int speed_1, unsigned int speed_2, double time1)	Výpočet kroku pro změnu rychlosti. ...
char	Polarity (unsigned int speed_1, unsigned int speed_2)	Zjištění polarit zrychlení. ...
void	TimeCalculator (void)	Výpočet časů změny proporcionálně rychlostem 1 a 2, pokud mají různé polarit. ...
void	SpeedChange (void)	Funkce změny rychlosti. Nejdřív se vyhodnotí polarit obou rychlostí. Pak se provede výpočet kroku a nastaví se polarita zrychlení. TIM3 je aktivován. ...
void	NewSpeedCalculator (void)	Výpočet nové rychlosti odečtením nebo přičtením kroku k předchozí hodnotě. ...

Kapitola 5

Ověření funkce

Pro ověření funkce přípravku jsem použila logický analyzátor ASIX OMEGA Logic Analyzer.

Pro snadnější porovnání nastavených a změřených hodnot jsem přepočítala hodnoty rychlostí na periodu jednoho impulsu.

$$f = en * v * \frac{1}{60},$$
$$T = \frac{1}{f},$$

kde f je frekvence signálu,
 en je rozlišení inkrementálního čidla,
 v je nastavená rychlost,
 T je perioda jednoho impulsu.

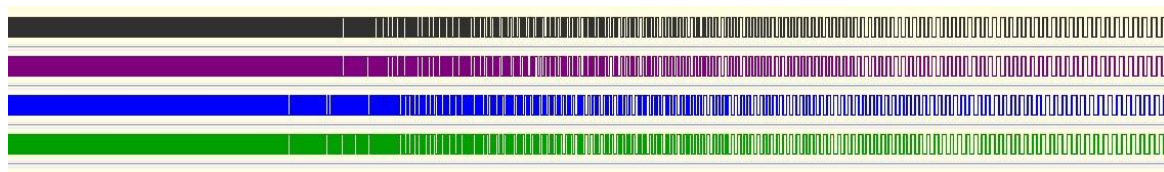
5.1 Ověření funkce změny rychlosti

Pro ověření této funkce jsem si zvolila dvě skupiny hodnot s velmi odlišnými parametry.

Rozlišení	300 impulsů na otáčku	
	Nastavené parametry	Naměřené hodnoty
Rychlost 1	2500 min ⁻¹	2789 min ⁻¹
Frekvence 1	12,5 kHz	13,949 kHz
Rychlost 2	1900 min ⁻¹	2038 min ⁻¹
Frekvence 2	9,5 kHz	10,194 kHz
Čas změny	30 s	-
Rychlost 1	500 min ⁻¹	535 min ⁻¹
Frekvence 1	2,5 kHz	2,6752 kHz
Rychlost 2	10 min ⁻¹	10,7 min ⁻¹
Frekvence 2	50 Hz	53,526 Hz
Čas změny	10 s	-

Tabulka 4: Parametry pro testování změny rychlosti

Z naměřených hodnot lze usoudit, že s menší frekvencí signálů je přesnost větší. Tady jsou zaznamenané signály pro výše nastavené parametry. Čas změny je 10 s.



Obrázek 13: Průběh změny rychlosti

5.2 Ověření funkce změny směru otáčení

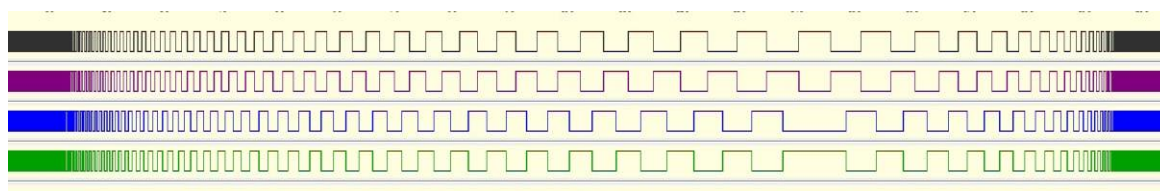
V dalším kroku jsem ověřila funkci změny směru otáčení s rozlišením simulovaného čidla 600 impulsů na otáčku.

Rozlišení	600 impulsů na otáčku	
	Nastavené parametry	Naměřené hodnoty
Rychlost 1	700 min ⁻¹	746 min ⁻¹
Frekvence 1	7 kHz	7,468 kHz
Rychlost 2	-300 min ⁻¹	547 min ⁻¹
Frekvence 2	3 kHz	5,472 kHz
Čas změny	20 s	-
Rychlost 1	700 min ⁻¹	746 min ⁻¹
Frekvence 1	7 kHz	7,468 kHz
Rychlost 2	-300 min ⁻¹	374 min ⁻¹
Frekvence 2	3 kHz	3,7431 kHz
Čas změny	60 s	-

Tabulka 5: Parametry pro testování změny směru otáčení

Z naměřených hodnot je vidět, že s větším časem změny je přesnost simulování nastavené konečné rychlosti větší.

Tady jsou zaznamenané signály pro výše nastavené parametry. Čas změny je 20 s.



Obrázek 14: Průběh změny směru otáčení

5.3 Parametry přípravku

Rozlišení	300 a 600 impulsů na otáčku
Maximální rychlost	3000
Maximální frekvence	31 kHz
Počet kanálů	3

Tabulka 6: Parametry přípravku

Kapitola 6

Zhodnocení práce

Cílem práce bylo zhotovení testovacího přípravku IRC, který bude schopen simulovat inkrementální čidlo podobně jako reálné čidlo se shodnými parametry. V kapitole 1 jsem se seznámila s funkcí inkrementálních čidel a s jejich současnými parametry.

Dalším úkolem bakalářské práce bylo vybrat vhodný hardware, který byl popsán v kapitole 3.

6.1 Testovací přípravek IRC

Zvolený hardware umožňuje široké možnosti realizace. Dotykový displej, kterým je vybavena vývojová deska usnadnil návrh ovládání přípravku. Pro pohodlnější ovládání částých funkcí by mohly být přidány tlačítkové spínače přímo na plošném spoji. Přípravek umí všechny základní funkce jako simulování změny rychlosti a směru otáčení za nastavitelný čas změny a o další funkce může být rozšířen.

6.2 Plošný spoj

Plošný spoj byl vytvořen pro snadné připojení testovaného zařízení a možnost pozorování generovaných signálů. Samozřejmě, při vysokých frekvencích změny rychlosti nejsou na LED diodách viditelné, jsou však vyvedeny výstupní piny pro připojení osciloskopu nebo logického analyzátoru i na úrovni 5 V. Při změně směru otáčení je vidět, jak se mění hodnota výstupního signálu a kdy rychlost dosáhne nulové hodnoty.

6.3 Celkové zhodnocení

Testovací přípravek IRC funguje, jak je definováno zadání bakalářské práce a jeho funkčnost byla ověřena v kapitole 5. Hardware splňuje požadované funkce a umožňuje další modifikace. Díky dotykovému displeji si grafické rozhraní můžeme přizpůsobit.

Přípravek pracuje s určitou chybou, která dává prostor pro další vylepšení. Dalším vylepšením by mohlo být :

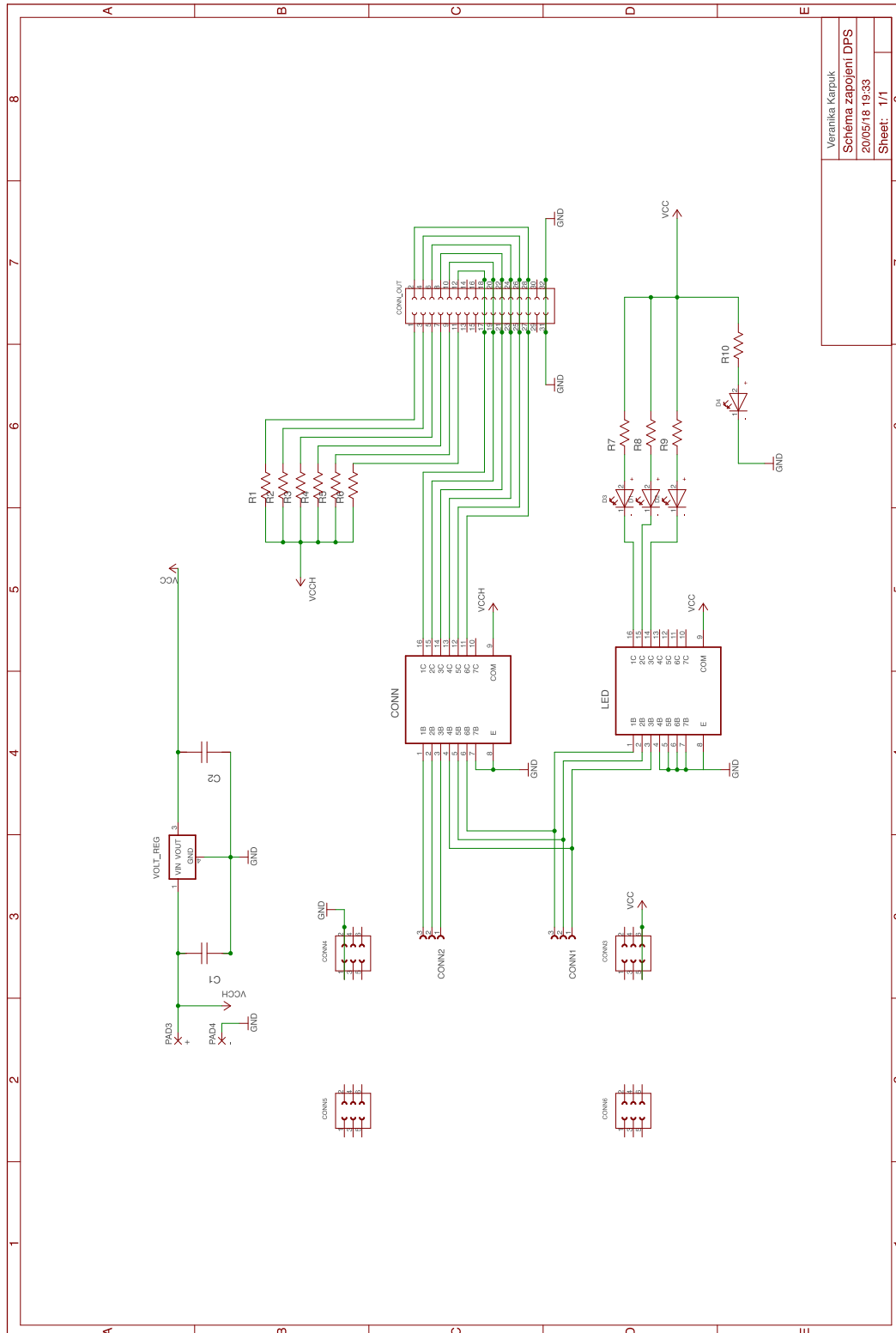
- simulování dvou čidel s možností rozdílných otáček pro simulaci skluzu dvou náprav
- přidání vstupů a programu pro měření otáček ze standardních čidel
- rozšíření nabídky čidel

Literatura

- [1] National Instruments *Linear and Rotary Encoders* [online]. 2016. Dostupné z <http://www.ni.com/white-paper/14805/en/>.
- [2] Automatizace *Rotační enkodéry pro řízení pohonů a pohybu* [online]. 2017. Dostupné z <https://automatizace.hw.cz/rotacni-enkodery-pro-řízení-pohonu-a-pohybu.html>
- [3] Maxon Motor *ENX 16 RIO Datasheet* [online]. Dostupné z https://www.maxonmotor.com/medias/sys_master/root/8827949023262/X-drives-EN-123.pdf.
- [4] STMicroelectronics UM1670 *Discovery kit with STM32F429ZI MCU* [online]. Dostupné z http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/6b/25/05/23/a9/45/4d/6a/DM00093903.pdf/files/DM00093903.pdf/jcr:content/translations/en.DM00093903.pdf >.
- [5] Texas Instruments *μA7800 Series Positive-Voltage Regulators* [online]. 2003. Dostupné z <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf>.

Příloha A

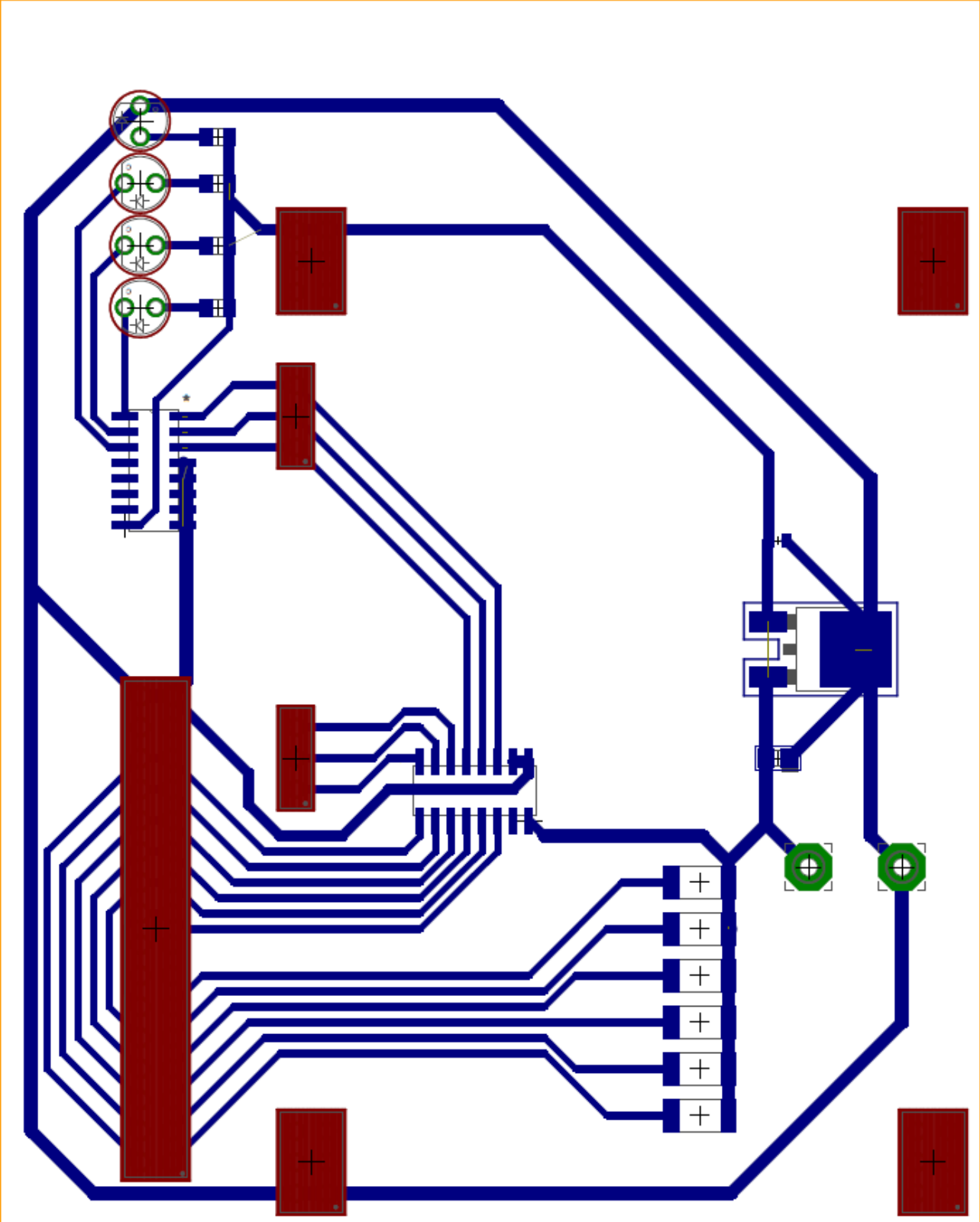
Schéma zapojení plošného spoje



Veranika Karpuk
Schéma zapojení DPS
20/05/18 19:53
Sheet: 1/1

Příloha B

Deska plošného spoje

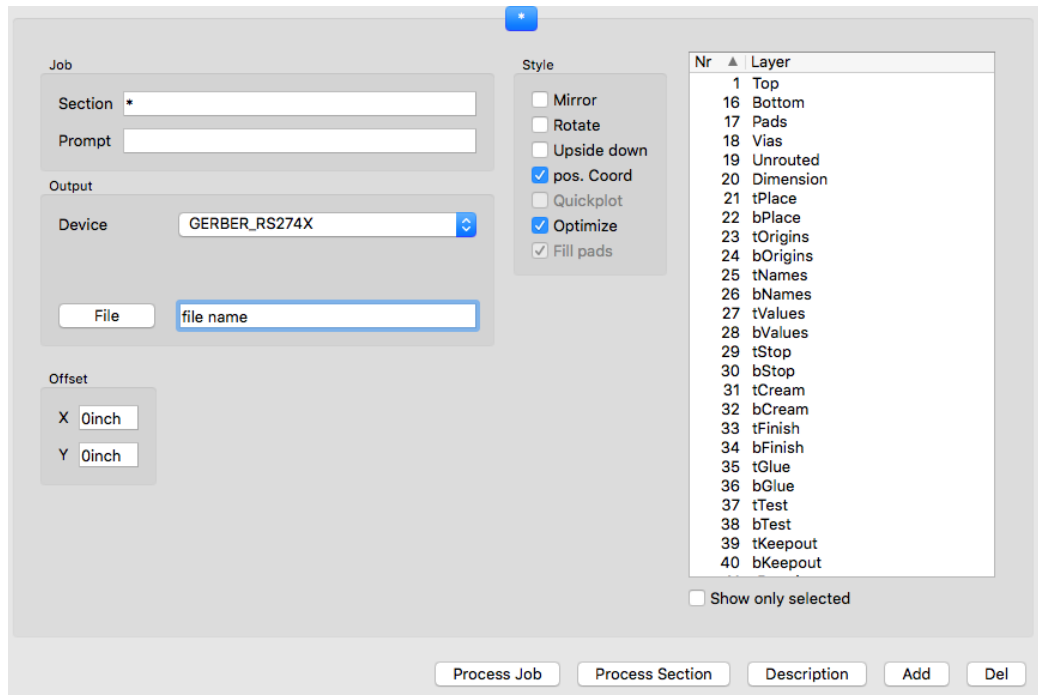


Příloha C

Výroba plošného spoje

Z důvodu možných problémů při generování výstupních souborů je zde uveden správný postup, který se skládá z následujících kroků:

- Otevřít File -> Cam processor



- Na pravé straně vybrat potřebné vrstvy
- Vybrat zařízení:
 - Pro top a bottom vrstvy vybrat GERBER_RS274X
 - Pro drills and holes vybrat EXCELLON_24
- Zadat jméno souboru
- Stisknout „Process Section“