

Dlouhodobá maturitní práce



Střední **průmyslová** škola  
na Proseku

26-41-M/01 Elektrotechnika

# Laboratorní zdroj

Smola Antonín

Vedoucí: Jan Kárník  
Zaměření: Mechatronika  
2024

## ZADÁNÍ PRAKTICKÉ MATURITNÍ PRÁCE

Žák: Antonín Smola  
Obor: 26-41-M/01 - Elektrotechnika  
Školní rok: 2024/2025  
Téma práce: Návrh a výroba elektronického zařízení  
Název práce: Laboratorní zdroj  
Ved. práce: Jan Kárník  
Oponent: bude jmenován ředitelem školy v souladu s vyhláškou 177/2009 Sb.

|   |  |
|---|--|
| Termín odevzdání – řádný termín:                      | <b>28. 2. 2025 do 12:00 hodin</b>  |
| Termíny odevzdání – opravné termíny:                  | podzimní opravný termín: nejpozději poslední pracovní den v červnu do 12:00 hodin<br>jarní opravný termín: nejpozději první pracovní den v březnu do 12:00 hodin |
| Délka obhajoby maturitní práce před maturitní komisí: | 15 minut včetně doplňujících otázek  |

*Poučení: Dle vyhlášky 177/2009 Sb. § 15 odst. 7 – Neodevzdá-li žák pro vážné důvody práci v termínu stanoveném podle odstavce 1 písm. b), omluví se písemně řediteli školy nejpozději v den stanovený pro odevzdání maturitní práce; uzná-li ředitel školy omluvu žáka, určí žákovi náhradní termín pro odevzdání maturitní práce. Pokud žák maturitní práci neodevzdá v termínu podle odstavce 1 písm. b) bez písemné omluvy s uvedením vážných důvodů nebo pokud mu omluva nebyla uznána, posuzuje se, jako by danou zkoušku vykonal neúspěšně.*

*Dle školského zákona č. 561/2004 Sb. § 79 odst. 7 - Profilová část maturitní zkoušky je veřejná s výjimkou zkoušek konaných formou písemné zkoušky a jednání zkušební maturitní komise o hodnocení žáka; zkoušky konané formou praktické zkoušky jsou neveřejné v případech, kdy je to nutné z důvodu ochrany zdraví, bezpečnosti práce a u zdravotnických oborů také z důvodu ochrany soukromí pacienta.*

Pokyny pro vypracování:

- Návrh a realizace konstrukce izolovaného laboratorního zdroje.
- Návrh a realizace elektrického zapojení funkčních modulů CC/CV zdroje za použití vlastního DPS.
- Návrh a realizace ovládacího programu pro řízení laboratorního zdroje zvoleným mikrokontrolerem.
- vypracování rešerší pro seznámení s řešenou tematikou (V práci musí být vypracovány rešerše v takovém rozsahu, aby byla odůvodněna každá část návrhu od volby koncepce řešení až po volbu jednotlivých komponent, či návrh programu. Zároveň práce nesmí obsahovat rešerše nadbytečné, které s návrhem nesouvisí. Minimální počet rešerší jsou dvě.)
- vytvoření technické dokumentace umožňující reprodukci navrženého zařízení
- pořízení fotodokumentace a videozáznamů průběžné práce z realizovaného zařízení
- vypracování návodu pro uvedení do provozu a manuálu obsluhy zařízení
- prezentace pro obhajobu práce

Požadavky:

- vypracování jednoduchého průzkumu trhu a stanovení základní funkce navrhovaného výrobku
- stanovení návrhových parametrů zařízení
- návrh a realizace mechanické konstrukce řešeného zařízení
- návrh a realizace elektrické části zařízení včetně plošného spoje, zapojení řídicího systému a senzorů
- návrh a realizace programu pro komunikaci řídicí jednotky se zařízením
- otestování navrženého zařízení v reálných podmínkách a zhodnocení funkčnosti
- vypracování pracovních výkazů za jednotlivé měsíce, vč. nákladů na materiál do formuláře (šablony)



**Střední průmyslová škola na Proseku**  
**190 00 Praha 9, Novoborská 2**

#### Hodnocení:

- výsledná známka z maturitního projektu s obhajobou se skládá z hodnocení:
  - hodnocení v závěrečném posudku vedoucího maturitního projektu
  - hodnocení v závěrečném posudku oponenta maturitního projektu
  - hodnocení obhajoby maturitního projektu před maturitní komisí

#### Hodnocení práce – plagiátorství:

Odevzdané textové části práce budou posouzeny systémem na kontrolu plagiátů odevzdej.cz. V případě míry shody přesahující **15 %** bude práce posouzena předmětovou komisí a výsledek posouzení bude poté předán k rozhodnutí maturitní komisí. Pokud se ukáže při hodnocení práce, či při samotné obhajobě, že je práce plagiátem, maturitní komise rozhodne, že práce bude hodnocena známkou nedostatečný.

#### Kritéria hodnocení maturitního projektu:

- samostatný a tvůrčí přístup k práci
- dodržování stanovených termínů
- prezentace dosažených výsledků projektu při konzultacích
- dodržení stanoveného rozsahu práce – minimálně pět citovaných zdrojů (nelze citovat web Wikipedia), alespoň dvě témata pro rešerši
- kvalita vypracovaných rešerší
- dodržení typografických pravidel
- kvalita provedení praktické části práce
- splnění pokynů k vypracování
- prezentace výsledků projektu a schopnost obhajoby práce (prezentace)

#### Rozsah práce:

- Minimální rozsah textové části práce (rešerše a popis praktického řešení) je 15 normostran textu (bez formálních částí – obsah, literatura atd.).
- Minimální rozsah praktické části je stanoven pokyny k vypracování práce, tj. splněním cílů práce.
- V případě zavedení distanční výuky, nebo nařízení karantény v předmětu Projekt, trvající déle než 45 kalendářních dnů (vč. období prázdnin), nemusí žák odevzdávat fyzický prototyp, který je součástí praktické části práce. V tomto případě bude při hodnocení kladen důraz na dokumentační část projektu (výkresy, modely, schémata, simulace, ...), podle které musí být prototyp realizovatelný.

#### Počet vyhotovení práce:

- Maturitní práce bude odevzdána v elektronické podobě.
- Veškeré uložené textové dokumenty, včetně příloh (i fotodokumentace a videozáznamů), budou odevzdány v původním formátu (zdrojový formát např. .DOCX) i ve formátu .PDF.
- Textová část dokumentu bude obsažena v jednom souboru a bude obsahovat všechny formální části (titulní strana, anotace, obsah atd.), pro zadání bude v dokumentu jedna nečíslovaná stránka.
- Elektronická verze práce (včetně prezentace) bude uložena na Google Classroom (přesné pokyny k odevzdání budou zaslány žákům na školní e-mail, nebo prostřednictvím školního informačního systému v průběhu února 2025).

V Praze dne 4. 10. 2024

.....  
Ing. Lukáš Procházka  
ředitel školy

převzal dne: \_\_\_\_\_

podpis žáka: \_\_\_\_\_

## Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svým rodičům, kteří byli mou oporou při tvorbě dlouhodobé maturitní práce, po fyzické a abstraktní stránce. Rád bych také poděkoval všem učitelům, kteří mi s touto prací byly nápomocni a ochotni konzultovat problémy, spojené s touto prací, které jsem musel řešit .

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou maturitní práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje (literaturu, projekty, SW, atd.), které jsou uvedené v seznamu literatury.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze, 2024

.....

Podpis autora práce

**CZ verze**

**Abstrakt**

**Abstract**

**EN verze**

# Obsah

|   |  |
|---|--|
| <b>Úvod</b>   | <b>11</b>                              |
| <b>1 Rešerše</b>  | <b>12</b>                              |
| 1.1 „Digitalizace“ potenciometrů.....                                       | 12                                     |
| 1.1.1 Digitální potenciometr (Digitally Controlled Potentiometer, DCP)..... | 12                                     |
| 1.1.2 Digitálně ovládané tranzistory (MOSFET) .....                         | 13                                     |
| 1.1.3 Digitální řízení přes DAC (Digital-to-Analog Converter) .....         | 14                                     |
| 1.1.4 Přímé řízení pomocí PWM a nízkoprůchodového filtru.....               | 14                                     |
| 1.1.5 Závěr rešerše a moje volba .....                                      | 15                                     |
| 1.2 Měření proudu na výstupu zdroje .                                       | 15                                     |
| 1.2.1 Měření proudu pomocí shunt rezistoru.....                             | 15                                     |
| 1.2.2 Hallův efekt .....  | 16                                     |
| 1.2.3 Transformátor proudu.....   | 16                                     |
| 1.2.4 Měření proudů pomocí optoizolátorů .....                              | 17                                     |
| 1.3 Závěr rešerše a moje volba.....   | 17                                     |
| <b>2 Vytváření kapitol</b>  | <b>Chyba! Záložka není definována.</b> |
| 2.1 Příklad podkapitoly   | <b>Chyba! Záložka není definována.</b> |
| 2.1.1 Příklad podpodkapitoly ...  | <b>Chyba! Záložka není definována.</b> |
| <b>3 Formátování textu</b>  | <b>Chyba! Záložka není definována.</b> |
| 3.1 Odrážky   | <b>Chyba! Záložka není definována.</b> |
| 3.2 Přímá citace  | <b>Chyba! Záložka není definována.</b> |

|  |  |
|--|--|
| 3.3 Technická typografie .....                           | <b>Chyba! Záložka není definována.</b> |
| 3.3.1 Veličiny, proměnné, neznámé, funkce                | <b>Chyba! Záložka není definována.</b> |
| 3.3.2 Operátory, matematické funkce, konstanty, jednotky | <b>Chyba! Záložka není definována.</b> |
| 3.3.3 Indexy   | <b>Chyba! Záložka není definována.</b> |
| 3.3.4 Jednotky   | <b>Chyba! Záložka není definována.</b> |
| 3.3.5 Čísla  | <b>Chyba! Záložka není definována.</b> |
| 3.3.6 Matematické operátory a spojovníky                 | <b>Chyba! Záložka není definována.</b> |
| <b>4 Obrázky, grafy, rovnice, tabulky</b>                | <b>Chyba! Záložka není definována.</b> |
| 4.1 Obrázky, grafy, tabulky .....                        | <b>Chyba! Záložka není definována.</b> |
| 4.1.1 Nezlomitelná mezera.....                           | <b>Chyba! Záložka není definována.</b> |
| 4.1.2 Seznam obrázků a tabulek                           | <b>Chyba! Záložka není definována.</b> |
| 4.2 Rovnice  | <b>Chyba! Záložka není definována.</b> |
| 4.3 Tabulky  | <b>Chyba! Záložka není definována.</b> |
| 4.4 Citování obrázků, grafů a tabulek                    | <b>Chyba! Záložka není definována.</b> |
| <b>5 Desatero před odevzdáním</b>                        | <b>Chyba! Záložka není definována.</b> |

|          |                           |            |
|----------|---------------------------|------------|
| <b>6</b> | <b>Návrhové parametry</b> | <b>18</b>  |
| <b>7</b> | <b>Praktická část</b>     | <b>19</b>  |
|          | <b>Závěr</b>              | <b>23</b>  |
|          | <b>Zdroje</b>             | <b>24</b>  |
|          | <b>Příloha A</b>          | <b>i</b>   |
|          | <b>Příloha B</b>          | <b>ii</b>  |
|          | <b>Příloha C</b>          | <b>iii</b> |
|          | <b>Příloha D</b>          | <b>iv</b>  |

## Seznam obrázků

|   |    |
|---|----|
| Obrázek 1 – příklad DCP [SR] 1 .....                        | 12 |
| Obrázek 2 - vnitřní schema DCP [SR] 2..                     | 12 |
| Obrázek 3 - MCP41HV51[SR] 3 .....                           | 13 |
| Obrázek 4 – MOSFET [SR] 4.....                              | 13 |
| Obrázek 5 - MCP4725 .....                                   | 14 |
| Obrázek 6 - PWM .....                                       | 14 |
| Obrázek 7 - Shunt rezistor .....                            | 15 |
| Obrázek 8 - Hallův snímač proudu .....                      | 16 |
| Obrázek 9 - proudový transformátor.....                     | 16 |
| Obrázek 10 - dvoukanálový optoizolátor.                     | 17 |
| Obrázek 11 - modul ZK-SJ4 .....                             | 19 |
| Obrázek 12 - prototypové zapojí modulu s<br>dvěma DCP ..... | 20 |
| Obrázek 13 - zapojení X9C102S s Arduinem<br>UNO .....       | 21 |



## Seznam tabulek

Tabulka 1 – Výběr řídicí jednotky [3], [4],  
[5], [6]..**Chyba! Záznam není definován.**



## Úvod

Cílem práce je návrh a realizace digitalizace laboratorního zdroje. Tohoto cíle chci dosáhnout výměnou stávajících potenciometrů na modulu CC a CV za obvody, které převedou digitální výstup z mikrokontroleru, pomocí DA převodníků a operačních zesilovačů, na napětí které bude použito jako referenční napětí na modulu CC, CV.

V poslední době jsem se začal zajímat o funkcionalitu laboratorních zdrojů, protože po koupi komerčně dostupného laboratorního zdroje jsem se jím rychle stal fascinován. Na tomto zdroji mi ale nevyhovuje uživatelské rozhraní v podobě dvou potenciometrů a špatně nečitelného displeje. Chtěl bych tyto chyby opravit ve své práci v podobě enkodérů jako uživatelské rozhraní a 20x4 LCD displejem.

Práce se bude skládat ze základní dekonstrukce laboratorního zdroje, pochopení funkcionality modulu CC a CV, vybrání neoptimálnější digitalizační metody, návrh DPS, návrh schránky pro zdroj.

## 1 Rešerše

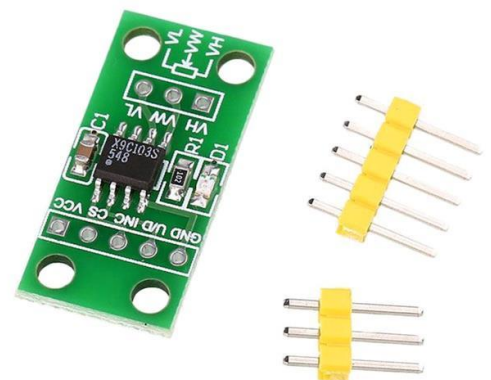
(1)(2)(3)(4)(5)(6)(7)(8)(9)(10)(11)(12)(13)(14)(15)(16)

## 1.1 „Digitalizace“ potenciometru

Na modulech CC a CV jsou 2 potenciometry o hodnotách  $2K\Omega$ , na nastavení výstupního proudu, a  $50K\Omega$  na nastavení výstupního napětí. Ty bych chtěl nahradit/upravit tak, aby šlo moduly ovládat přes enkodéry a mikrokontroler. Tuto rešerši jsem tedy věnoval vhodné náhražce 2 potenciometrů.

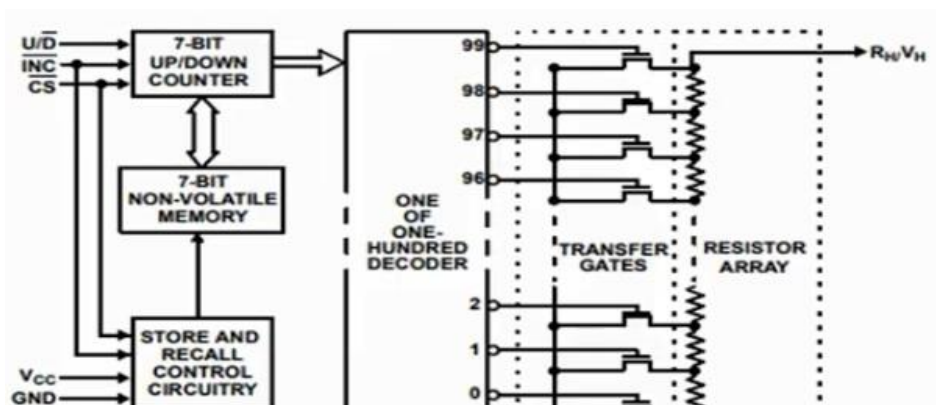
### 1.1.1 Digitální potenciometr (Digitally controlled potentiometer, DCP)

**Popis:** Digitální potenciometr (Obrázek 1), často označovaný jako DCP, funguje jako náhrada klasického mechanického potenciometru, ale místo manuálního otáčení rotační hřídelí je odpor nastavován pomocí digitálních signálů na logických úrovních. Tento typ potenciometru využívá pevný rezistorový řetězec a elektronické přepínače, které selektivně propojují různé body na řetězci, tudíž na výstupu vzniká různý výsledný odpor.



Obrázek 1 – příklad DCP [1]

**Fungování:** Ovládání digitálních potenciometrů probíhá prostřednictvím komunikačních protokolů, jako jsou I2C a SPI. Z mikrokontroleru se po sběrnici odešle v požadovaném formátu, daným výrobcem DCP, informace o požadovaném počtu do série spojených pevných rezistorů (Obrázek 2 **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**).



Obrázek 2 - vnitřní schema DCP [2]

Mikrokontroler na DCP poté informace přijme, vyhodnotí a provede potřebné kroky pro splnění přijatých požadavků.

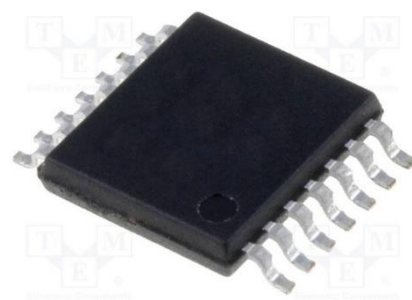
**Příklady použití:** Digitální potenciometry lze využít, například při řízení hlasitosti ve zvukových systémech, nastavování napětového offsetu, ladění frekvenčních filtrů nebo jako náhrada potenciometrů v určitých aplikacích.

**Výhody:** Umožňuje přesné, rychlé řízení výstupu bez mechanického opotřebení a snadná integrace do digitálně řízených systémů.

**Nevýhody:** Nižší maximální výkony (např. některé jsou omezené na napětí v řádu několika mW výkonu nebo desítek mA proudu) a nižší maximální napětí.

#### Příklady součástek:

- MCP41010 (od Microchip, SPI rozhraní)
- MCP41HV51 (Obrázek 3) (od Microchip, SPI rozhraní)
- AD5252 (od Analog Devices, I2C rozhraní)



Obrázek 3 - MCP41HV51 [3]

### 1.1.2 Digitálně ovládané tranzistory (MOSFET)

**Popis:** Tranzistory MOSFET (Obrázek 4) mohou regulovat proud a napětí pomocí pulzní šířkové modulace (PWM), kterou lze ovládat pomocí mikrokontroleru.

**Fungování:** Průměrné výstupní napětí nebo proud lze řídit PWM signálem, jehož frekvence a střída určuje hodnotu výstupního signálu. PWM signál vytváří zátěž, která prochází tranzistorem, čímž se mění průměrné napětí.

**Výhody:** Vysoká účinnost.

**Nevýhody:** Složitější implementace a požadavek na vyhlazovací obvody a neschopnost plynulé regulace (bez vyhlazovacího obvodu na výstupu skoky napětí)



Obrázek 4 – MOSFET [4]

### 1.1.3 Digitální řízení přes DAC (Digital-to-Analog Converter)

**Popis:** DAC převádí digitální hodnoty z mikrokontroléru na čisté analogové napětí. To nahrazuje funkci potenciometru pro jemné nastavování referenčního napětí či proudového řízení.

**Fungování:** Mikrokontrolér posílá digitální data do DAC, který je převádí na analogové napětí.

**Výhody:** Vysoká přesnost, široký rozsah aplikací.

**Nevýhody:** Vyšší náklady a složitost v porovnání s digitálním potenciometrem.

**Příklady DAC:**

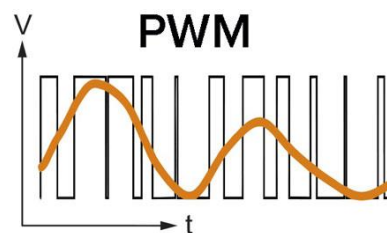
- MCP4725 (Obrázek 5) (jednokanálový, I2C rozhraní)
- AD5686 (čtyřkanálový, SPI rozhraní)



Obrázek 5 - MCP4725 [5]

### 1.1.4 Přímé řízení pomocí PWM a nízkoprůchodového filtru

**Popis:** Alternativním způsobem pro dosažení analogového výstupního napětí je použití PWM signálu z mikrokontroléru. Tento signál je filtrován pomocí nízkoprůchodového filtru, který vyhlazuje výstup na plynulý analogový signál.



Obrázek 6 – PWM [6]

**Fungování:** PWM signál prochází nízkoprůchodovým filtrem, který eliminuje vyšší frekvence a zachovává průměrnou hodnotu signálu (Obrázek 6). To umožňuje převod PWM signálu na přijatelný analogový.

**Výhody:** Snadná integrace s Arduino a jinými mikrokontroléry.

**Nevýhody:** Nutnost navrhnout vhodný filtr a nižší přesnost ve srovnání s DAC nebo digitálním potenciometrem, vysoké proudové zatížení mikrokontroleru.

### 1.1.5 Závěr rešerše a moje volba

Pro mojí aplikaci na modulech CC a CV jsem si vybral požit digitální potenciometry MCP41HV51 (od Microchip, SPI rozhraní), protože přímo nahradí potenciometr bez nutnosti použití složitých obvodů na ovládání např. DAC a operačních zesilovačů. Nevýhodou jsou fixní hodnoty možného odporu v mém případě MCP41HV51 je 8 bitový digitální potenciometr s 256 možnými hodnotami odporu.

## 1.2 Měření proudu na výstupu zdroje

V mém projektu potřebuji na výstupu zdroje měřit výstupní proud, jehož hodnotu potřebuji zobrazovat na displeji. Potřebuji tedy nějakou metodu, která dokáže změřit proud a odeslat jeho hodnotu do mikrokontroleru.

### 1.2.1 Měření proudu pomocí shunt rezistoru

Jednou z nejběžnějších metod měření proudu je použití shunt rezistoru (Obrázek 7). Tato metoda je založena na Ohmově zákonu, který říká, že proud ( $I$ ) je přímo úměrný napětí ( $U$ ) a nepřímo úměrný odporu ( $R$ ), tedy

$$I = \frac{U}{R} \quad (2.1)$$

V tomto případě je malý odpor (shunt rezistor např.  $1\Omega$ ) vložen do série s obvodem, ve kterém chceme měřit proud. Napěťový úbytek na tomto odporu je měřen pomocí ADC (analogově-digitálního převodníku) a následně odeslán do mikrokontroleru.

**Výhody:** Jednoduché zapojení, přesné přímé měření, široký rozsah měření při různých hodnotách proudu.

**Nevýhody:** Shunt rezistor způsobuje úbytek napětí v obvodu, zahřívání rezistoru při vyšších proudech může ovlivnit přesnost měření, nutnost používat výkonové shunt rezistory



Obrázek 7 - Shunt rezistor [7]

## 1.2.2 Hallův efekt

Měření proudu pomocí Hallova efektu je nepřímá metoda, která využívá vlivu magnetického pole na polovodičový materiál. Když proud prochází vodičem, vytváří kolem něj magnetické pole. Hallův snímač (Obrázek 8) umístěný v blízkosti vodiče měří toto pole.



Obrázek 8 - Hallův snímač proudu [8]

**Výhody:** Nepřímé bezpečné měření, protože není třeba zasahovat přímo do obvodu, žádné úbytky napětí v měřeném obvodu, vhodné pro měření jak stejnosměrného (DC), tak střídavého (AC) proudu.

**Nevýhody:** Nižší přesnost než u přímých metod, vyšší cena snímačů, citlivost na vnější magnetická pole, což může způsobit rušení.

## 1.2.3 Transformátor proudu

Transformátory proudu (CT, Current Transformer, Obrázek 9) jsou speciální typy transformátorů určené pro měření vysokých proudů ve střídavých obvodech. Primární vinutí transformátoru je vodič s měřeným proudem, zatímco sekundární vinutí je připojeno k měřicímu přístroji, kde proud snížený poměrem transformace může být bezpečně měřen AD převodníkem.



Obrázek 9 - proudový transformátor [9]

**Výhody:** Možnost měřit vysoké proudy, elektrické oddělení mezi primární a sekundární stranou, široký rozsah měření.

**Nevýhody:** Použitelné pouze pro střídavé proudy, vyžaduje přesnou kalibraci, aby byla zachována přesnost, složitější mechanická konstrukce.



### 1.2.4 Měření proudů pomocí optoizolátorů

Optoizolátory (Obrázek 10) se často používají k měření proudu v prostředích, kde je třeba galvanické oddělení. Tento princip zahrnuje použití LED a fotodetektoru – proud protékající obvodem způsobí, že LED emituje světlo, které je detekováno fotodetektorem a převedeno na elektrický signál úměrný proudu.



Obrázek 10 - dvoukanálový optoizolátor [10]

**Výhody:** Úplné galvanické oddělení mezi měřeným obvodem a měřicím zařízením, vysoká bezpečnost při měření vysokých proudů nebo napětí.

**Nevýhody:** Komplexní elektronika potřebná pro zpracování signálu, omezený rozsah a přesnost měření.

## 1.3 Závěr rešerše a moje volba

Pro moji aplikaci nemohu použít metody pro měření proudů v AC obvodu bez dalších DC to AC převodníků, proto Transformátor proudu nelze použít. Vzhledem k nízkým měřeným proudům a možnosti rušení Hallova sensoru díky kompaktním požadavkům laboratorního zdroje. Pro moji aplikaci tedy použiji metodu Shunt rezistoru a AD převodníku, protože v kombinaci s 12bitovým AD převodníkem, dokáží dosáhnou velmi přesného měření proudu s minimální nepřesností díky přímému měření proudu, které tato metoda zahrnuje.

## 2 Návrhové parametry

Laboratorní zdroj s CC a CV (dále jen „Laboratorní zdroj“) bude konstruován jako relativně přenosný (bez madel, pouze jeho rozměry a váha by měly umožnit jeho snadný přesun) a s elektricky izolovanými výstupy od přívodního AC napětí. Laboratorní zdroj bude mít v zadní části konektor 3 Pin IEC320 C14 s integrovaným kolébkovým vypínačem a pojistkou. Všechny kovové části zdroje budou elektricky spojeny s ochranným vodičem (PE). Zdroj bude na přední straně disponovat 3 výstupními terminály: PLUS, GND, MÍNUS (v tomto pořadí) (GND bude spojeno s PE ochranným vodičem), displejem a enkodéry jako uživatelské rozhraní.

Laboratorní zdroj bude na displeji zobrazovat aktuální výstupní napětí a výstupní proud zdroje, které se budou upravovat po stisku jednoho z enkodérů podle požadavků uživatele. Laboratorní zdroj bude schopen dodávat napětí až 30V a proud až 4A.

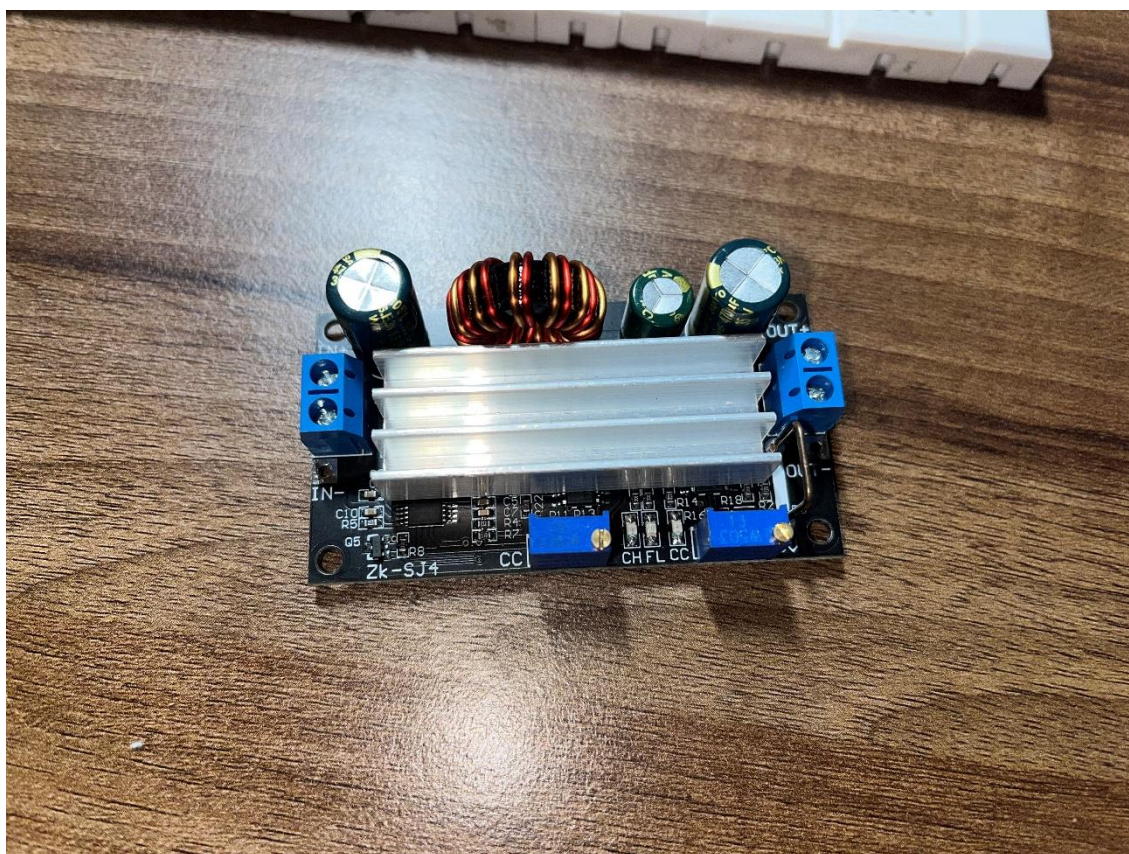
## 3 Praktická část

V následujících kapitolách jsem se zaměřil na praktickou část DMP, zvažování možných řešení, odůvodnění mnou vybraného řešení a následné provedení tohoto řešení v praxi.

### 3.1 Elektrická část

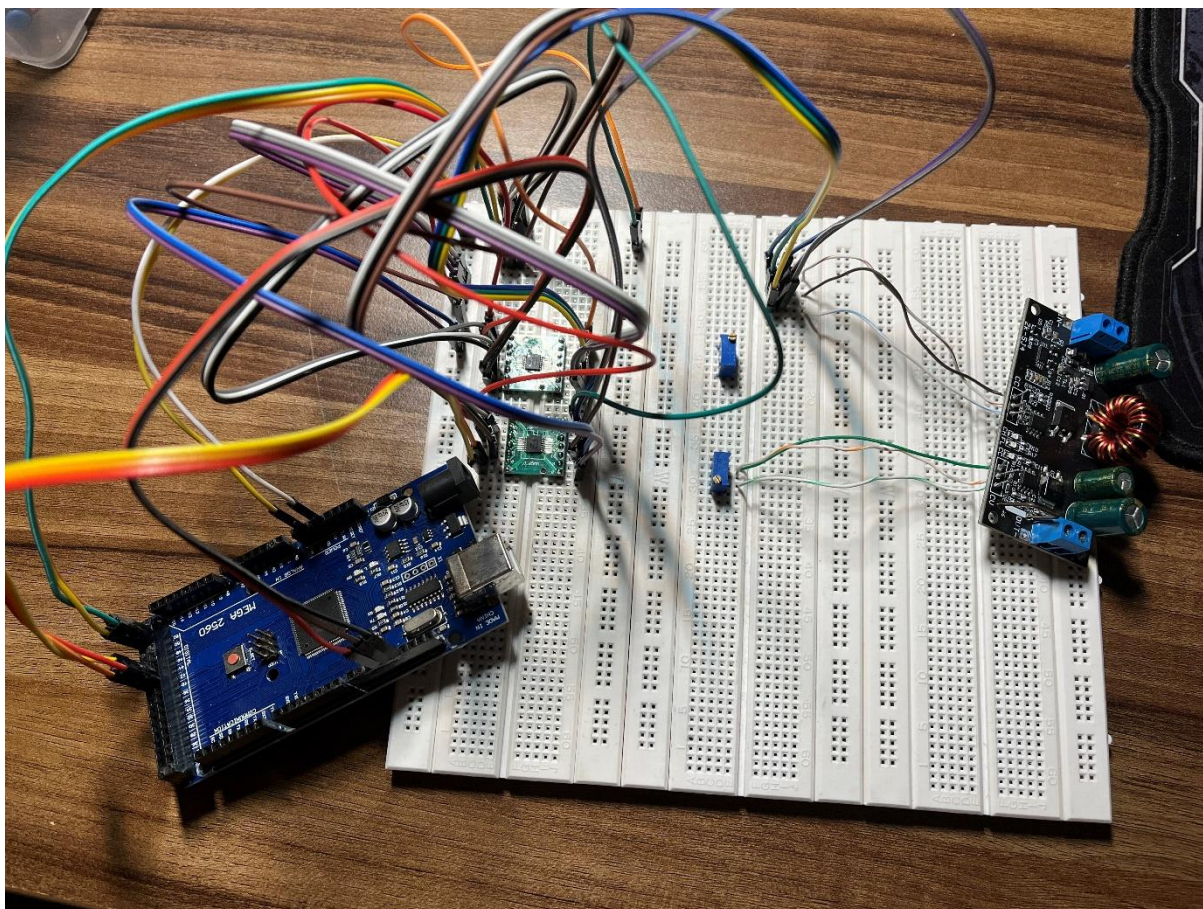
#### 3.1.1 CC a CA moduly

Hlavní částí mého maturitního projektu jsou dva zdroje napětí a proudu (Obrázek 11) s možností regulace těchto veličin podle polohy dvou trimérů. Trimer  $50\text{K}\Omega$  na regulaci výstupního napětí a trimer  $2\text{K}\Omega$  na regulaci výstupního proudu. Tyto trimery nahrazují jejich digitálními variantami DCP (1.1.1).





Pro usnadnění testování možných nahrazení trimerů jsem u modulu napětí a proudu odstranil oba trimery a nahradil je drátovými propojkami pro snadnou integraci do nepájivého pole (Obrázek 12).



Obrázek 12 - prototypové zapojí modulu s dvěma DCP

Jako první variantu jak ovládat proud a napětí modulů zdrojů jsem zkoušel využít DCP X9C103S (Obrázek 1), který podle datasheetu ([14]) dokázal nastavit 100 různých hodnot odporu mezi jeho maximální a minimální, hodnotou podle následujícího vzorce

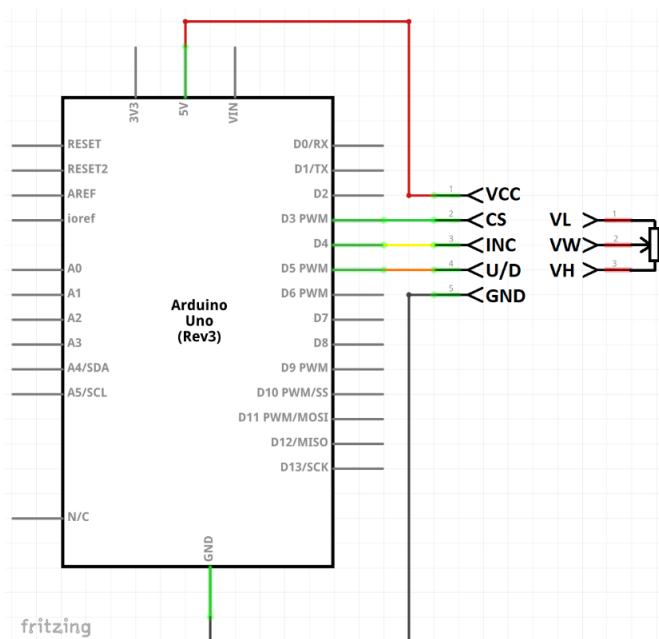
$$R_V = \frac{R_{MAX}}{100} \times STEP,$$

[3.1.1]

Kde  $R_V$  představuje výstupní hodnotu odporu DCP,  $R_{MAX}$  maximální hodnotu odporu DCP a  $STEP$  představuje nastavený krok v celých číslech na DCP od 0 do 99.

Pomocí knihovny FastX9CXXX [12] poté DCP lze jednoduše ovládat a získat i přibližnou hodnotu výstupního odporu.

Tento způsob ovládání vyžaduje pouze 5 propojení DCP s mikrokontrolerem, přičemž piny 1 a 5 jsou použity pro napájení a zbylé piny 2, 3, 4 musí být připojeny na digitál out piny mikrokontroleru. Bohužel DCP X9C se vyrábí pouze ve variantách 102k $\Omega$ , 103k $\Omega$ , 104k $\Omega$  a 503 k $\Omega$ , což pro mé účely bylo značně nepraktické, protože pro docílení potřebného



Obrázek 13 - zapojení X9C102S s Arduinem UNO [11]

odporu by bylo zapotřebí využívat paralelního zapojení výstupů DCP pro dosažení požadovaného odporu na výstupu.

Další z problémů, kvůli kterému jsem se definitivně rozhodl toto řešení pomocí DPC X9C zahrnout, byla limitace napětí stanovená výrobcem [13], které může být od  $-8\text{V}$  do  $+8\text{V}$  mezi VL a VH (Obrázek 13). Toto byl zásadní parametr, protože moduly CC a CV mají na pinech trimérů napětí až  $+28\text{V}$  při maximálním zatížení. Z tohoto důvodu jsem jako jednu z hlavních kategorií pro výběr jiného DCP vybral maximální napětí na výstupních pinech.

Jako mé další a zároveň finální řešení řízení modulů CC a CV jsem zvolil použití DCP MCP41HVX1. Už z jejich názvu (HV- High Voltage) je patrná jejich hlavní výhoda a to maximální napětí na výstupních pinech až  $+36\text{V}$  nebo  $\pm 18\text{V}$ , což bylo ideální pro mou aplikaci  $+28\text{V}$ . Další výhodou těchto DCP je širší rozsah možných hodnot oproti 100 možných pozic MCP41HVX1 má 256 možných pozic.

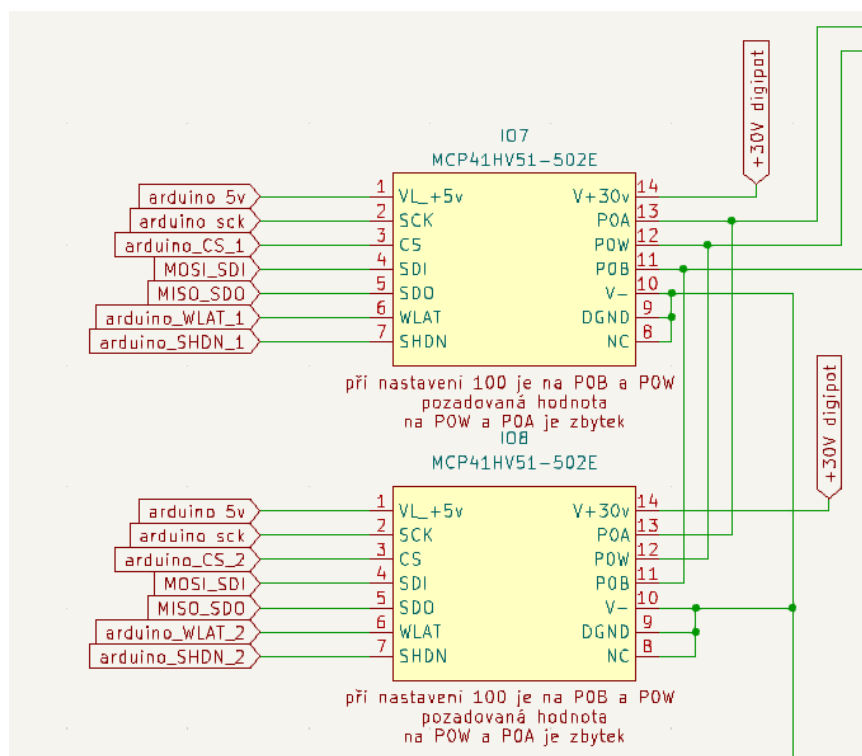
Těchto 156 pozic navíc mi umožnilo ovládání napětí na přesnost 0,125V oproti předchozímu teoretickému 0,32V na jeden STEP podle rovnice

$$V_{STEP} = \frac{V_{Max}}{STEPS}, \quad [3.1.2]$$

kdy  $V_{STEP}$  je napětí na 1 krok,  $V_{Max}$  je maximální napětí modulu CC a CV, a  $STEPS$  je počet kroků DCP.

Bohužel ale MCP41HVX1 vyžaduje pro své ovládání využití SPI komunikačního protokolu a připojení 8mi pinu na mikrokontroler pro úspěšné ovládání. Navíc podle výrobce [15] DCP potřebuje pro svou správnou funkčnost ČISTÉ analogové napětí +30V, které musí být dodáno z externího zdroje. Naštěstí +30V je zapotřebí pouze jako reference pro funkčnost analogového obvodu v DCP a reálný odběr je okolo 8mA, proto stačí použít měkký zdroj napětí.

Pro mé účely jsem použil vždy pár MCP41HVX1 se stejnou hodnotou odporu zapojený do paralelního zapojení (Obrázek 14). Tímto zapojením jsem také docílil podle rovnice [3.1.2] až 32768 možných nastavení výstupního napětí modulů s přesností cca na 0,001V.



Obrázek 14 - zapojení MCP41HVX1

## Závěr

V závěru autor zhodnocuje

## Zdroje

Obrázky:

- [1] <https://www.hadex.cz/m496-digitalni-potenciometr-10kohm-modul-s-x9c103s/>
- [2] [https://www.researchgate.net/figure/X9C103-Block-diagram\\_fig1\\_348463410](https://www.researchgate.net/figure/X9C103-Block-diagram_fig1_348463410)
- [3] [https://www.tme.eu/cz/details/mcp41hv51-103e\\_st/potenciometry-digitalni/microchip-technology/](https://www.tme.eu/cz/details/mcp41hv51-103e_st/potenciometry-digitalni/microchip-technology/)
- [4] <https://cz.rs-online.com/web/p/mosfet/1258047>
- [5] <https://www.hadex.cz/m437h-dac-prevodnik-12bit-i2c-s-mcp4725/>
- [6] <https://www.thomsonlinear.com/en/support/tips/what-is-pwm>
- [7] <https://www.bourns.com/de/products/resistors/current-sense-resistors>
- [8] <https://www.laskakit.cz/halluv-neinvazivni--snimac--proudu-wcs1800-35a/>
- [9] <https://www.elfetex.cz/proudovy-transformator-s-delenym-jadrem-3200235>
- [10] <https://pajenicko.cz/dvoukanalovy-modul-optoizolatoru-s-pc817>
- [11] <https://navody.drateg.cz/navody-k-produktum/digitalni-potenciometr-x9c103s.html>
- [12] <https://github.com/GitMoDu/FastX9CXXX>
- [13] [https://www.elecrow.com/download/X9C103S\\_Datash eet.pdf?srsId=AfmBOoq9aIQytCKSgbbCzACgFSTO1g8fUpo-g7T8QfGxVdnJ0H2QF6pO](https://www.elecrow.com/download/X9C103S_Datash eet.pdf?srsId=AfmBOoq9aIQytCKSgbbCzACgFSTO1g8fUpo-g7T8QfGxVdnJ0H2QF6pO)
- [14] <https://www.hadex.cz/spec/m496.pdf>
- [15] <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/20005207b.pdf>



## Rešerše Literatura použitá k posouzení nejlepšího řešení pro moji aplikaci:

- (1) <https://vyvoj.hw.cz/zaklady-digitalnich-potenciometru-a-jak-je-pouzivat.html>
- (2) [https://shop.atoselektro.cz/digitalni-potenciometr-10kohm-modul-s-x9c103s\\_d486842.html?srsId=AfmBOoq6mAkX2jPHJRjKwtLe0ZI-9jeHM7-wPBgKDcdRzwWVZ2Q5hIFnxk](https://shop.atoselektro.cz/digitalni-potenciometr-10kohm-modul-s-x9c103s_d486842.html?srsId=AfmBOoq6mAkX2jPHJRjKwtLe0ZI-9jeHM7-wPBgKDcdRzwWVZ2Q5hIFnxk)
- (3) <https://www.electronicclinic.com/digital-potentiometer-x9c103s-arduino-circuit-and-programming/>
- (4) [https://www.tme.eu/cz/details/mcp41hv51-103e\\_st/potenciometry-digitalni/microchip-technology/](https://www.tme.eu/cz/details/mcp41hv51-103e_st/potenciometry-digitalni/microchip-technology/)
- (5) <https://cz.rs-online.com/web/p/mosfet/9047345>
- (6) <https://www.youtube.com/watch?v=uezoQ5fkixY>
- (7) <https://www.digikey.cz/cs/products/filter/%C5%99%C3%ADzen%C3%AD-spot%C5%99eby-energie-pmic/regul%C3%A1tory-nap%C4%9Bt%C3%AD-ovlada%C4%8De-line%C3%A1rn%C3%ADch-regul%C3%A1tor%C5%AF/757>
- (8) <https://www.ziehl-abegg.com/cs/produkty/elektronicke-pristroje-pro-regulaci-napeti?srsId=AfmBOopMQa76safO4783b6PmTdMn3Welp8Y6XMerNOGD9sU9QSCNz0gd#modelselection>
- (9) <https://www.hadex.cz/m437h-dac-prevodnik-12bit-i2c-s-mcp4725/>
- (10) <https://botland.cz/blog/mosfet-co-to-je-a-k-cemu-slouzi/>
- (11) <https://www.indmall.in/faq/what-is-pwm-pulse-width-modulation/>
- (12) [https://www.researchgate.net/figure/X9C103-Block-diagram\\_fig1\\_348463410](https://www.researchgate.net/figure/X9C103-Block-diagram_fig1_348463410)
- (13) <https://vyvoj.hw.cz/presne-mereni-proudu-a-rizeni-vykonu-pomoci-shunt-rezistoru.html>
- (14) [https://cs.wikipedia.org/wiki/Hall%C5%AFv\\_je\\_v](https://cs.wikipedia.org/wiki/Hall%C5%AFv_je_v)
- (15) <https://www.riaccontrol.cz/slovnicek/halluv-efekt/>
- (16) <https://www.hangzhiprecision.com/cs/znalostni-centrum/hall-efekt-proud-senzor/>

## zapojení relátek:

<https://electronics.stackexchange.com/questions/667487/switching-between-series-and-parallel-connection-of-batteries-using-relays>



## Příloha A

Do příloh autor řadí veškeré obrázky, grafy, tabulky, výpočty a schémata, **které nemohl z důvodu velikosti či rozsahu umístit přímo do práce**. V práci se tak objeví jen část (např. základní vzorec a výsledek) a zbytek umístí do přílohy. Přílohy se **nečísly**. Každá příloha se označuje písmenem A, B, C, D, E... nebo římskými číslicemi I, II, III, IV, V...

Pokud chcete do přílohy **vložit zdrojový kód**, tak nejlépe jako obrázek z programovacího prostředí. Pokud byste rádi vložili kód jako prostý text, dbejte na to, aby kód **nesl vhodné formátování a byl vhodně strukturován**. Viz příklad níže. Jako styl textu využijte → *Program*.

```
int main() {
    srand(time(0));
    int number = generate_random();
    int user_number = 0;
    int count = 0;
    printf("Zadejte číslo: ");
    while (true) {
        scanf("%d", &user_number);
        count++;
        if (user_number > number) {
            printf("Zadejte menší číslo: ");
        }
        else if (user_number < number) {
            printf("Zadejte větší číslo: ");
        }
        else {
            printf("Gratuluji uhold jste číslo | %d |.
Počet pokusů | %d |.\n", number, count);
            break;
        }
    }
    return 0;
}
```

## Příloha B

Zde můžete vložit dokumentaci DPS.

## Příloha C

Zde můžete vložit schéma elektrického zapojení.

## Příloha D

Zde můžete vložit 3D model Vašeho projektu.