STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

10. elektrotechnika, elektronika a telekomunikace

**Kompaktní laboratorní zdroj**

Milan Kopper

Trutnov, 2022

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

10. elektrotechnika, elektronika a telekomunikace

**Kompaktní laboratorní zdroj**

**Compact power supply**

Autor: Milan Kopper

Škola: Střední průmyslová škola, Trutnov, Školní 101

Kraj: Královéhradecký kraj

Konzultant: Bc. Jakub Šenkýř

Trutnov, 2022

**Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svoji práci SOČ pod vedením Bc. Jakuba Šenkýře vypracoval samostatně a použili jsme pouze zdroje uvedené v seznamu zdrojů.

Prohlašuji, že tištěná a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

V Trutnově dne 28.3.2022 Milan Kopper ………………………………

**Poděkování (přepiš do jednotného čísla!)**

V první řadě děkujeme našemu konzultantovi Bc. Jakubu Šenkýřovi, za to že podpořil náš nápad a usměrnil ho svými věcnými připomínkami - díky nim jsme se zaměřili i na uživatelský pohled na věc. Dále děkujeme naší škole za poskytnutí materiálu, vybavení a prostor pro výrobu prototypu. V neposlední řadě chceme poděkovat ostatním členům školního kroužku mechatroniky za podporu a možnost si v této skvělé komunitě předávat například poznatky o nových výrobních postupech.

**Anotace**

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Mauris dolor felis, sagittis at, luctus sed, aliquam non, tellus. Nullam rhoncus aliquam metus. Pellentesque sapien. Nullam justo enim, consectetuer nec, ullamcorper ac, vestibulum in, elit. Suspendisse nisl. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Curabitur sagittis hendrerit ante. Cras pede libero, dapibus nec, pretium sit amet, tempor quis. Nullam lectus justo, vulputate eget mollis sed, tempor sed magna. Vivamus luctus egestas leo. Suspendisse sagittis ultrices augue. Quisque porta. Duis bibendum, lectus ut viverra rhoncus, dolor nunc faucibus libero, eget facilisis enim ipsum id lacus. Aenean id metus id velit ullamcorper pulvinar. Nullam faucibus mi quis velit. In dapibus augue non sapien. Etiam posuere lacus quis dolor.

**Klíčová slova**

STM32, laboratorní zdroj, buck regulátor, proudový zdroj, napěťový zdroj, 3D tisk

**Anotace**

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Mauris dolor felis, sagittis at, luctus sed, aliquam non, tellus. Nullam rhoncus aliquam metus. Pellentesque sapien. Nullam justo enim, consectetuer nec, ullamcorper ac, vestibulum in, elit. Suspendisse nisl. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Curabitur sagittis hendrerit ante. Cras pede libero, dapibus nec, pretium sit amet, tempor quis. Nullam lectus justo, vulputate eget mollis sed, tempor sed magna. Vivamus luctus egestas leo. Suspendisse sagittis ultrices augue. Quisque porta. Duis bibendum, lectus ut viverra rhoncus, dolor nunc faucibus libero, eget facilisis enim ipsum id lacus. Aenean id metus id velit ullamcorper pulvinar. Nullam faucibus mi quis velit. In dapibus augue non sapien. Etiam posuere lacus quis dolor.

**Keywords**

STM32, laboratory power supply, buck regulator, current source, voltage source, 3D printing

**Obsah**

[1. Úvod 6](#_Toc94440764)

[2. Hardwarová část 7](#_Toc94440765)

[2.1. Ovládací panel 7](#_Toc94440766)

[2.1.1. Enkodér 8](#_Toc94440767)

[2.1.2. Tlačítka 8](#_Toc94440768)

[2.1.3. Ergonomie 8](#_Toc94440769)

[2.1.4. Mechanické provedení 9](#_Toc94440770)

[2.2. Řídící deska 9](#_Toc94440771)

[2.2.1. Napájení MCU 9](#_Toc94440772)

[2.2.2. Převodník logických úrovní 9](#_Toc94440773)

[2.2.3. Regulace chlazení 10](#_Toc94440774)

[2.2.4. EEPROM 10](#_Toc94440775)

[2.2.5. Přehled použitých pinů MCU 10](#_Toc94440776)

[2.3. Buck regulátor 11](#_Toc94440777)

[2.3.1. Vlastní obvod buck regulátoru 11](#_Toc94440778)

[2.3.2. Stavitelný napěťový dělič 11](#_Toc94440779)

[3. Softwarová část 13](#_Toc94440780)

[3.1. Standardní pracovní režimy 13](#_Toc94440781)

[3.1.1. Mód 0 – měření 13](#_Toc94440782)

[3.2. Startovní sekvence 13](#_Toc94440783)

[3.3. Detekce poruch 13](#_Toc94440784)

[4. Závěr 14](#_Toc94440785)

[5. Zdroje 15](#_Toc94440786)

[6. Zkratky 16](#_Toc94440787)

[7. Seznam obrázků 17](#_Toc94440788)

[8. Seznam tabulek 18](#_Toc94440789)

[9. Seznam grafů 18](#_Toc94440790)

[10. Přílohy 18](#_Toc94440791)

# Úvod

# Hardwarová část

Zdroj sestává z několika desek plošného spoje, které byly vyrobeny svépomocí fotocestou, v důsledku toho že tato metoda výroby v naších podmínkách neumožňuje prokovení je nutno u THT součástek vždy přivést vodivou cestu na spodní stranu desky tak aby je bylo možno pájkou se součástkou vodivě spojit. V důsledku toho jsou na některých místech umístěny propojky jednotlivých stran desky u konektorů.

## Ovládací panel



Obrázek 1: ovládací panel

Tabulka 1: přehled ovládacích prvků

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1. | OLED display SSD1306, úhlopříčka 0,91“, 128x64 pixelů, I2C | |
| 2. | Inkrementální enkodér s tlačítkem | -Otáčení nastavuje číslici  -Stlačení vstup do menu volby velikostí výstupu nebo jako tlačítko OK |
| 3. | Tlačítko posunu vlevo | O cifru zvýší zapisované číslo |
| 4. | Tlačítko posunu vpravo | O cifru sníží zapisované číslo |
| 5. | Tlačítko menu | Zobrazí další stránku menu |
| 6. | Kladný výstup zdroje | |
| 7. | Záporný výstup zdroje | |

### Enkodér

Byl využit enkodér E1171S, jedná se o enkodér s tlačítkem a rozlišením 20 impulzů na otáčku, společný kontakt přepínače enkodéru a jeden z kontaktů tlačítka je připojen na zem zatímco jsou zbylé piny přivedeny na MCU kde je využito vnitřního enkodéru.

U enkodéru se ukázaly být velkým problémem zákmity, vzhledem k možné vyšší rychlosti otáčení je navíc MCU snímán pomocí přerušení, softwarová řešení využívající minimální dobu mezi pulzy se ukázala jako nepříliš přesná a zachytávající velké množství falešných pulzů, převážně na vzestupné hraně signálu. Bylo tedy přistoupeno k HW řešení na výstupy přepínače byly připojeny dva kondenzátory o kapacitě 10nF které na vzestupné hraně fungují s interními pull-upy jako RC článek, zatímco na sestupné hraně dojde k téměř okamžitému nabití pouze přes odpor spínačů. Sestupná hrana jež je pro přerušení podstatná je tedy velmi ostrá. Je to poměrně obvyklé řešení vzhledem k dostupnosti těchto kondenzátorů. Hodnota pull-up rezistorů v MCU STM32F103C8 je obvykle 40kΩ. [1]

Čas nabytí kondenzátoru na 90% napětí byl určen ze vztahu:

)

Z čehož:

=> t = 933us

Vyjdeme-li z toho že enkodér poskytuje 20 imp/otáčku a nabíjení by muselo trvat ¼ impulzu aby mohlo ovlivnit měření můžeme spočíst maximální rychlost otáčení:

= 84,17 rad/s

To je prakticky nedosažitelná rychlost a proto nemůže tato kapacita ovlivnit chod zařízení tím že by se nacházela v zakázaném pásmu.

### Tlačítka

Vzhledem k tomu, že nebyla očekávána vysoká frekvence impulzů jsou zákmity řešeny pouze softwarově. Tlačítka se spínají proti zemi zatímco jsou připojena na vstupy MCU s interními Pull-up rezistory. To platí i pro tlačítko enkodéru. K napojení na řídící desku jsou u DPS tlačítek použity SMD plošky, k nimž jsou připájeny vodiče, a to především kvůli prostorové úspornosti.

### Ergonomie

Umístění výstupů zdroje bylo zvoleno co nejdál od ovládací a zobrazovacích prvků zdroje aby nedošlo k jejich zablokování případným větším množství kabelů způsobeným například vzájemným spojením více banánků.

Hmatník enkodéru je pak tvarován tak aby ho bylo možno pohodlně uchopit třemi prsty, ovládací tlačítka jsou poté umístěna hned pod ním což zaručuje snadné přehmatávání.

### Mechanické provedení

Pro výrobu ovládacího panelu byla zvolena metoda 3D tisku, díky níž bylo možné na něj umístit jak úchyty pro ovládací a zobrazovací prvky tak úchyty pro řídící desku. Uchycení DPS je řešeno pomocí závitových vložek M2 typu BN1054. OLED displej je na místě uchycen pomocí krytu, jež ho ze zadní strany přidržuje na místě, vzhledem k nevýhodnému umístění montážních otvorů na OLED pro tuto aplikaci. Přichycení ke spodní části krytu je zajištěno sešroubováním s protikusem na vnější straně krytu šrouby velikosti M2. V horním krytu je ovládací panel zajištěn západkou.

## Řídící deska

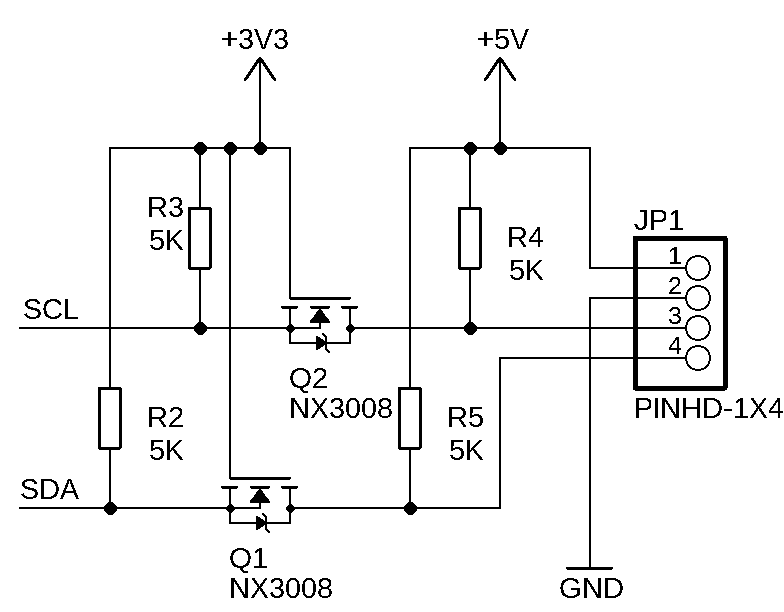
Řídící deska je použita k napojení MCU STM32F103C8 na vývojové desce bluepill ke konektorům, periferii EEPROM a jejímu napájení. Také je zde umístěn MOSFETový převodník úrovní pro I2C1.

### Napájení MCU

K napájení je použita série regulátorů počínající regulací 24V na 12V za pomoci MC78M12CDTG v pouzdru DPAK za ním následuje regulace na 5V zajištěná IC AZ1117CD5, jež využívá stejného pouzdra, regulátory jsou dle doporučeného zapojení doplněny o 100nF MLCC SMD kondenzátory na vstupu i výstupu každého z nich. Dále je ke každému antiparalelně připojena dioda sloužící k ochraně před záporným rozdílem napětí na regulátoru. Regulaci z 5V na 3,3V zajišťuje již samotná vývojová deska.

### Převodník logických úrovní

Převodník je použit pro komunikaci s OLED displejem který pracuje s napěťovou úrovní 5V. Využívá k tomu I2C1. Pro převod je použito poměrně rozšířené řešení převodu za pomoci MOSFET tranzistorů s kanálem typu N. Moduly používající toto zapojení jsou běžně prodávány [2] a ke stavbě bylo přistoupeno pouze z prostorových důvodů. Jako převodní tranzistory byly zvoleny NX3008 v pouzdru SOT23. Jako pull-up rezistory 0805 o odporu 5KΩ, což je doporučovaná hodnota pull-upů pro I2C sběrnici.



Obrázek 2: převodník log. úrovní (výňatek ze schéma řídící desky)

### Regulace chlazení

Snímání teploty je prováděno termistorem NTCM-10K-B3380, jež je typu NTC má R25=10kΩ a B = 3380. Je spojen do série jako napěťový dělič s rezistorem o hodnotě 10kΩ. Napojení termistoru je řešeno vodiči. Výstupní napětí děliče je přivedeno na pin MCU PA3.

Řízení výkonu ventilátoru je řešeno skrze PWM, pro řízení j použit N-MOSFET NX3008. Na gate je přiveden z MCU 1. kanál 2. časovače na pinu PA15. Ventilátor je napájen 5V napájecí větví, vzhledem k tomu, že to byla s ohledem na dostupnost komponent v době stavby jediná možná varianta.

### EEPROM

Pro zapamatování servisních údajů u kterých je možná jejich častější změna je na desce umístěn čip EEPROM M24C01-WMN6P, který je napojen na sběrnici I2C2. Jeho kapacita je 1Kb, jeho adresa byla nastavena za pomoci pinů E0-E2 a to na hodnotu 1010000. Je používán na 3,3V logice.

### Přehled použitých pinů MCU

Tabulka 2: přehled použitých pinů

|  |  |
| --- | --- |
| pin | funkce |
| PA0 | ADC – snímání proudu |
| PA1 | ADC – snímání napětí |
| PA2 | ADC – snímání napětí na prvku proudové regulace |
| PA3 | ADC – měření teploty |
| PA4 | D IN – tlačítko enkodéru |
| PA5 | D IN – tlačítko vlevo |
| PA6 | D IN – tlačítko vpravo |
| PA7 | D IN – tlačítko menu |
| PA8 | D OUT – relé napájení spínaného regulátoru |
| PA9 | D OUT – relé napájení lineárního regulátoru |
| PA15 | TIM2\_CH1 – PWM výstup řízení ventilátoru |
| PB0 | EXTI – signál enkodéru A |
| PB1 | D IN – signál enkodéru B |
| PB6 | I2C1 SCL |
| PB7 | I2C1 SDA |
| PB10 | I2C2 SCL |
| PB11 | I2C2 SDA |
| PB12 | D OUT – řízení pulzního regulátoru MSB |
| PB13 | D OUT – řízení pulzního regulátoru |
| PB14 | D OUT – řízení pulzního regulátoru |
| PB15 | D OUT – řízení pulzního regulátoru LSB |

## Buck regulátor

Pro snížení výkonových ztrát při malých napětích a velkých proudech na výstupu byl použiti do série zapojený stavitelný spínaný regulátor architektury BUCK. Pro řízení tohoto regulátoru byl zvolen IO AP1501 s výstupním proudem 3A. [3]

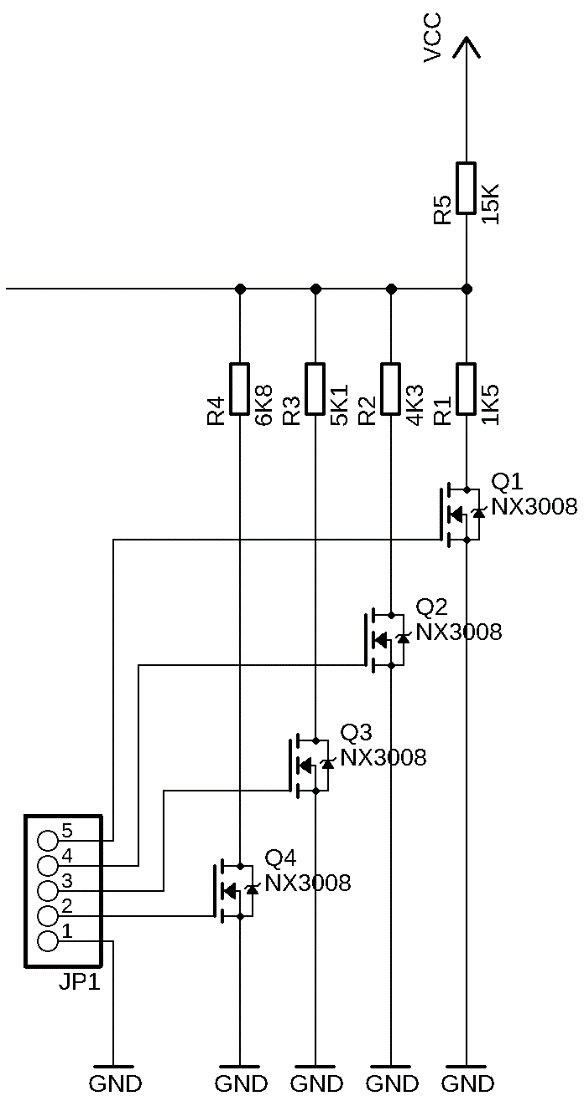
### Vlastní obvod buck regulátoru

Zapojení regulátoru vychází z doporučeného zapojení výrobce [4], s tím že hodnoty komponent byly u kondenzátorů zaokrouhleny nahoru kvůli momentální dostupnosti.

### Stavitelný napěťový dělič

ADJ verze obvodu AP1501 je opatřena vývodem feedback na němž se snaží udržet 1,23V. Proud zpětnovazební elektrody se pohybuje pod 50nA v celém pracovním rozsahu, doporučený rozsah R2 je poté 1 – 3 kΩ, tento však nebyl dodržen. I přesto je však proud děliče při nejnižším nastaveném napětí 181uA, což je bezpečně více než 10-ti násobkem proudu řídící elektrody, bylo tedy přistoupeno k porušení tohoto doporučení. Odpory děliče byly standardizovány dle řady E24. Pro referenční odpor byla zvolena hodnota 15KΩ.

Obrázek 3: schéma nastavitelného děliče



Graf : graf zvolitelných napětí

# Softwarová část

## Standardní pracovní režimy

### Mód 0 – měření

## Startovní sekvence

## Detekce poruch

# Závěr

# Zdroje

1. ST - STM32F103C8. St.com [online]. 2015 [cit. 2022-01-18]. Dostupné z: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f103c8.html>
2. Drátek.cz: IIC I2C 5V na 3.3V Obousměrný Převodník Logické Úrovně. Diodes incorporated [online]. [cit. 2022-01-19]. Dostupné z: https://dratek.cz/arduino/1481-iic-i2c-5v-na-3.3v-obousmerny-prevodnik-logicke-urovne.html
3. Datasheet AP1501. Diodes incorporated [online]. 2021 [cit. 2022-01-19]. Dostupné z: <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/AP1501.pdf>
4. AP1501 Aplication note. Diodes incorporated [online]. 2006 [cit. 2022-01-19]. Dostupné z: <https://www.diodes.com/assets/Part-Support-Files/AP1501/ANP002_AP1501.pdf>

# Zkratky

Zkratka: Anglický význam: Český význam:

MCU microcontroller unit mikrokontroler

HW hardware hardváré

IO integrated circuit integrovaný obvod

Imp impulse impulz

Log. Logical logická

NTC negative temperature coefficient negastor

D digital digitální

ADC Analog digital converter analogově digitální převodník

DAC Digital analog converter digitálně analogový převodník

IN input vstup

OUT output výstup

PWM puls wight modulation pulzně délková modulace

EXTI external interrupt vnější přerušení

TIM timer/counter čítač/časovač

CH chanel kanál

# Seznam obrázků

[Obrázek 1: ovládací panel 7](#_Toc94440692)

[Obrázek 2: převodník log. úrovní (výňatek ze schéma řídící desky) 10](#_Toc94440693)

[Obrázek 3: schéma nastavitelného děliče 12](#_Toc94440694)

# Seznam tabulek

[Tabulka 1: přehled ovládacích prvků 7](#_Toc93601714)

[Tabulka 2: přehled použitých pinů 10](#_Toc93601715)

# Seznam grafů

[Graf 1: graf zvolitelných napětí 12](#_Toc94440734)

# Přílohy