Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola, Liberec, příspěvková organizace

Regulovatelný lineární zdroj

Maturitní práce

Autor **Jonáš Mikeš**

Obor **Elektrotechnika**

Vedoucí práce **Ing. Petr Zenkl**

Školní rok **2023/2024**

Počet stran **37**

Počet slov **4723**



Anotace

Tato maturitní práce se zabývá výrobou regulovatelného lineárního zdroje, který umožní uživateli nastavit výstupní napětí v rozmezí 1,25 - 24 V a regulovat proudové omezení do 2 A. Zdroj napájení by měl být spolehlivý, stabilní a bezpečný pro různé elektronické aplikace a experimenty.

Summary

This work deals with the production of an adjustable linear power source that will allow the user to set the output voltage in the range of 1.25 - 24 V and regulate the current limit up to 2 A. The power source should be reliable, stable and safe for various electronic applications and experiments.

Poděkování

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou maturitní práci vypracoval sám a uvedl jsem veškerou použitou literaturu a bibliografické citace.

V Liberci dne 15.02.2024

Jonáš Mikeš

Obsah

[Poděkování 3](#_Toc158886627)

[1 Teoretická část 4](#_Toc158886628)

[1.1 Lineární zdroje 4](#_Toc158886629)

[1.1.1 Síťový transformátor 4](#_Toc158886630)

[1.1.2 Usměrňovač 4](#_Toc158886631)

[1.1.3 Filtr 6](#_Toc158886632)

[1.1.4 Stabilizátor 7](#_Toc158886633)

[1.2 Spínané zdroje 10](#_Toc158886634)

[1.2.1 Blokové schéma 10](#_Toc158886635)

[1.2.2 Porovnání s lineárními zdroji 10](#_Toc158886636)

[1.3 Schéma 11](#_Toc158886637)

[1.4 Deska plošných spojů 13](#_Toc158886638)

[1.5 Panelový voltmetr a ampérmetr 15](#_Toc158886639)

[1.6 Pouzdro zdroje 16](#_Toc158886640)

[2 Praktická část 17](#_Toc158886641)

[2.1 Výroba DPS 17](#_Toc158886642)

[2.2 Osazení DPS 17](#_Toc158886643)

[2.2.1 Pájení pomocí pájecí pasty 18](#_Toc158886644)

[2.2.2 Pájení pomocí pájecí stanice 19](#_Toc158886645)

[2.3 První verze DPS 20](#_Toc158886646)

[2.3.1 Oživení 21](#_Toc158886647)

[2.3.2 Vylepšení 21](#_Toc158886648)

[2.4 Druhá verze DPS 22](#_Toc158886649)

[2.4.1 Oživení 22](#_Toc158886650)

[2.5 Výroba pouzdra zdroje 23](#_Toc158886651)

[2.6 Měření 23](#_Toc158886652)

[2.6.1 Měření první verze 24](#_Toc158886653)

[2.6.2 Měření hotového zdroje 28](#_Toc158886654)

[Závěr 29](#_Toc158886655)

[Seznam zkratek a odborných výrazů 30](#_Toc158886656)

[Seznam obrázků 31](#_Toc158886657)

[Použité zdroje 32](#_Toc158886658)

[A. Seznam přiložených souborů I](#_Toc158886659)

Úvod

Maturitní práce se zabývá návrhem a sestrojením lineárního regulovatelného zdroje, který umožní uživateli nastavit výstupní napětí v rozmezí 1,25 - 24 V a regulovat proudové omezení do 2 A. Toto téma jsme vybrali ve spolupráci s firmou JABLOTRON Controls, protože by pro takový zdroj našli uplatnění v oddělení výrobkového testovaní.

JABLOTRON Controls je firma, která se zabývá vývojem a výrobou prostředků pro chytré vytápění a chlazení nebo pro regulaci vytápění a přípravy teplé vody. Firmu jsem si vybral, protože jsem u ní již v minulosti absolvoval praxe ve třetím ročníku a byl jsem s ní naprosto spokojen.

# Teoretická část

Tato kapitola popisuje teoretickou část maturitní práce. Obsahuje deskripci jednotlivých částí lineárního zdroje, porovnání se spínanými zdroji a popis jednotlivých částí použitého schéma.

## Lineární zdroje

Lineární zdroj je elektrické zařízení, které se skládá ze čtyř základních částí. Transformátoru, filtru, usměrňovače a stabilizátoru. Zdroj následně dodává požadovanou energii do obvodu. Výstupní napětí je ideálně konstantní nehledě na odebíraném proudu. (1)

### Síťový transformátor

Síťové transformátory jsou určeny ke změně střídavého napětí ze sítě (230 V/50 Hz) na požadované napětí. Další důležitá vlastnost transformátorů je galvanické oddělení, které nám oddělí síť od zátěže. Transformátor se skládá z primárního a sekundárního vinutí.

Obsah obrázku typografie, design

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 1, Schématická značka transformátoru

Poměr závitů na primárním a sekundárním vinutí udává poměr vstupního napětí ke napětí výstupnímu.

V mém případě počet závitů na sekundáru je menší než na primáru, tudíž na výstupních svorkách transformátoru bude menší než vstupních svorkách. Toto napětí musí být větší než napětí požadované na výstupu lineárního zdroje. (1)

### Usměrňovač

Usměrňovače jsou určeny ke změně střídavého proudu na stejnosměrný. V oblasti zdrojů se používá několik základních zapojení usměrňovačů. Dané zapojení se vybírá podle požadované velikosti proudu, napětí a zvlnění. K tomuto účelu se nejčastěji používají usměrňovací diody, a to v zapojení jako jednocestný, dvoucestný usměrňovač nebo můstkový usměrňovač. (1) (2 str. 17)

#### Jednocestný usměrňovač

Nejjednodušší způsob usměrnění, jelikož v zapojení je pouze jedna usměrňovací dioda v sérii se zátěží. Propouští pouze jednu půlvlnu vstupního napětí, druhou zablokuje, a proto má poloviční účinnost. Používá se pouze u aplikací s malým odběrem proudu nebo tam, kde nevadí velké zvlnění. (2 str. 17) (3)

Obsah obrázku řada/pruh, diagram, Obdélník, Vykreslený graf

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 2, Schéma zapojení jednocestného usměrňovače, zobrazení napětí na zátěži

#### Dvoucestný usměrňovač

Tento způsob zapojení na rozdíl od jednocestného usměrňovače využívá obou půlvln vstupního napětí. Pro toto zapojení je nutno použít transformátor s vyvedený středem, což mnohdy může ztížit konstrukci. Tento způsob se využívá u zařízení, kde je potřeba větších proudů. (3)

Obsah obrázku řada/pruh, diagram, Vykreslený graf, design

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 3, Schéma zapojení dvoucestného usměrňovače, zobrazení napětí na zátěži

#### Můstkový usměrňovač

Můstkový usměrňovač je zapojení, které vynalezl Karel Pollak a nechal si jej patentovat v prosinci 1895 ve Velké Británii. V roce 1897 nezávisle vymyslel podobné zapojení Leo Greatz, podle kterého se zapojení označuje Greatzův můstek

Je to soustava nejčastěji čtyř usměrňovacích diod. Tyto diody umožňují průchod proudu pouze v jednom směru, čímž se střídavý proud převádí na pulsující stejnosměrný proud. Na rozdíl od dvoucestného usměrňovače zde není nutno použít transformátor s vyvedeným středem. (4)

Obsah obrázku řada/pruh, diagram, Vykreslený graf, Obdélník

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 4, Schéma zapojení můstkového usměrňovače, zobrazení napětí na zátěži

### Filtr

Filtr je důležitou součástí zdroje, protože je určen pro vyrovnávání stejnosměrného napětí, tak aby bylo co nejméně zvlněné.

Nejjednodušší možnost, jak filtrovat zvlněné napětí je za pomoci kondenzátoru. Kondenzátor je součástka, která průchodem proudu skrz obvod shromažďuje energii. Ve funkci filtru se zapojuje paralelně s výstupem usměrňovače. Funkci filtru si můžeme rozdělit na dvě části:

1. V první části se po příchodu první kladné půlvlny kondenzátor nabije na napětí rovné amplitudě.
2. V druhé části se kondenzátor postupně vybíjí do zátěže až do příchodu další kladné půlvlny.

Tyto dvě části se neustále opakují, a právě díky tomu by napětí za filtrem nemělo být zvlněné. Pro dosažení co nejlepších výsledků se musí použít dostatečně velká kapacita kondenzátoru, tak aby kondenzátor napájel zátěž po celou dobu druhé části, to znamená do té doby, než se kondenzátor znovu nabije. Další důležitý parametr kondenzátoru je jeho maximální napětí, zde je dobré počítat s rezervou. (1)

Obsah obrázku diagram, řada/pruh, Vykreslený graf, Obdélník

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 5, Zapojení můstkového usměrňovače s kondenzátorem 470uF, zobrazení napětí na zátěži

### Stabilizátor

Obvody, které nám dokážou stabilizovat výstupní napětí nebo proud při změnách výstupní zátěže, vstupního napětí nebo změně teploty okolí. Mimo stabilizaci každý stabilizátor snižuje střídavou složku napětí a může tudíž fungovat i jako filtr. Je mnoho druhů stabilizátorů, kde jedno z nejjednodušších zapojení je se Zenerovou diodou, dále pak existují složitější integrované stabilizátory. Já jsem v mém zdroji použil třísvorkový stabilizátor 78L05 a integrovaný spínaný stabilizátor napětí XL4015. (2 str. 19) (5)

#### Stabilizátor se Zenerovou diodou

Samotné zapojení se Zenerovou diodou je velmi jednoduché. Pro udržení konstantního výstupního napětí se využívají vlastnosti Zenerovi diody. Je to polovodičová součástka, která může pracovat ve zpětném směru při dosažení určitého napětí, známého jako Zenerovo napětí. Princip spočívá v tom, že při poklesu vstupního napětí Zenerova dioda začne vodit a udržuje výstupní napětí stabilizované. Je důležité vybrat hodnotu Zenerovi diody podle požadovaného výstupního napětí. Součástí zapojení je také rezistor, který je vybrán tak, aby při běžných změnách vstupního napětí Zenerova dioda pracovala ve svém zpětném směru a udržela tak stabilní výstupní napětí. Tento typ stabilizátoru je jednoduchý, nákladově efektivní, a proto je často používán v jednoduchých elektronických obvodech. (5)

Obsah obrázku diagram, řada/pruh, Vykreslený graf, Písmo

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 6, Zapojení stabilizátoru se Zenerovou diodou

#### Stabilizátor 78L05

Jedná se o stabilizátor napětí, který se řadí do rodiny 78xx integrovaných stabilizátorů. Tento typ stabilizátorů je stejně jako zapojení se Zenerovou diodou určen pro udržení konstantního výstupního napětí.

Vyráběny jsou v širokém rozsahu výstupních napětí od 5 V až po 24 V. Toto napětí lze vyčíst z názvu daného stabilizátoru a je označené jako dvě poslední číslice. Dále z názvu můžeme zjistit, zda výstupní napětí je kladné či záporné, a to je označeno první dvojicí čísel, která může být buď 78xx tím pádem se jedná o kladné výstupní napětí nebo to může být 79xx, a to nám označuje napětí záporné. Jako další parametr je maximální vstupní proud. Ten je u těchto stabilizátorů standartně od 100 mA do 3 A. V mém případě je maximální vstupní proud 100 mA, a to je v názvu značeno jako písmeno L.

Podmínkou pro správnou funkci lineárních stabilizátoru je to, že by na vstupu mělo být větší napětí než požadované napětí na výstupu. To můžeme vyčíst z datasheetu, ale ve většině případů to je minimálně o 2 až 2,5 V. Tudíž například pro požadované výstupní napětí 5 V použijeme vstupní napětí aspoň 7 V. Vstupní napětí nižší, než tato hodnota může způsobit, že stabilizátor nebude schopen udržet požadované výstupní napětí, což může vést k nespolehlivému chování nebo selhání stabilizátoru. Je vždy doporučeno poskytnout stabilizátoru dostatečný rezervní prostor nad minimálním vstupním napětím pro zajištění spolehlivého provozu. Dále si musíme dávat pozor na chlazení, které je zejména potřebné u větších výkonů. (6)

Obsah obrázku elektronka

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 7, SMD 78L05, pouzdro SOT89 (7)

#### Stabilizátor XL4015

XL4015 je integrovaný spínaný stabilizátor napětí. Patří mezi step-down měniče, to jsou stabilizátory, který vstupní napětí zmenšují na nižší úroveň. Tento čip se řadí mezi regulátory spínaného napětí, což znamená, že pracuje na principu spínání a řídí průtok proudu na výstupu pomocí spínání tranzistorů. XL4015 na rozdíl od 78L05 umožnuje za pomocí externích součástek nastavení výstupního napětí. Podle datasheetu je možné výstupní napětí regulovat od 1,25 V do 32 V. Další výhodou jsou zabudované ochranné funkce, jako jsou ochrana proti přetížení, přehřátí a ochrana proti zkratu. Stabilizátor XL4015 má pět vývodů, které jsou jednotlivě popsány v následující tabulce. (8)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Číslo pinu** | **Název pinu** | **Popis** |
| 1 | GND | Zemnící pin |
| 2 | FB | Feedback pin, na který se připojuje externí odporový dělič pro nastavení výstupního napětí |
| 3 | SW | Switch output pin, který dodává energii na výstup |
| 4 | VC | Pin, který má za úkol poskytovat externí kapacitu, v datasheetu je doporučen kondenzátor o hodnotě 1uF |
| 5 | VIN | Vstup napájecího napětí, které je od 8 V do 36 V |

Tabulka 1, Popis výstupů na stabilizátoru XL4015 (8)

Obsah obrázku text, diagram, skica, řada/pruh

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 8, Vyznačené vývody na IO XL4015 (8)

Vstupní část stabilizátoru XL4015 obsahuje filtry pro eliminaci nežádoucích rušení a vstupní ochranu, která chrání obvod před přepětím a přetížením a dalšími nežádoucími jevy. Pak obsahuje spínaný měnič v podobě Power PMOSFETU, což je MOSFET, který je speciálně navržen pro pracování s vyššími napětími a proudy. Tento unipolární tranzistor se periodicky otevírá a zavírá podle řízení integrovaného obvodu. Tím se mění průběh napětí a proudu. Dále je vnitřním zapojení vidět feedback vazba, pomocí které se nastavuje výstupní napětí. Zapojení pak obsahuje oscilátor nebo tepelnou ochranu. (8)

Obsah obrázku diagram, Plán, Technický výkres, schématické

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 9, Vnitřní zapojení XL4015 (8)

## Spínané zdroje

Jsou určeny stejně jako lineární zdroje pro přeměnu elektrické energie. Princip fungování spínaných zdrojů spočívá v rychlém spínání a vypínání spínacího prvku, jako jsou například tranzistory, za účelem regulace průchodu energie. Tento cyklický proces umožňuje efektivní regulaci výstupního napětí nebo proudu. Spínané zdroje jsou schopny pracovat na vysokých frekvencích, což umožňuje snížení velikosti a hmotnosti zařízení a zároveň zvyšuje účinnost převodu energie. Tento typ zdroje se vyskytuje například u nabíječek pro mobilní telefony, notebooky nebo ve zdrojích počítačů. (9)

### Blokové schéma

Obsah obrázku diagram, Plán, text, Technický výkres

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 10, Blokové schéma spínaného zdroje

Na obrázku je vyobrazeno blokové schéma spínaného zdroje, který má obvod řízený v primáru. Vstupní napětí 230 V s frekvencí 50 Hz je filtrováno a usměrněno vysokonapěťovými součástkami, širokopásmový filtr zabraňuje vracení rušivých signálu zpět do sítě.  [Spínač](https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Elektronick%C3%BD_sp%C3%ADna%C4%8D&action=edit&redlink=1) je řízen ve smyčce [zpětné vazby](https://cs.wikipedia.org/wiki/Zp%C4%9Btn%C3%A1_vazba) tak, aby výstupní napětí bylo konstantní. Spínač generuje obdélníkové napětí s frekvencí v desítkách kHz. Toto napětí je následně převedeno impulsním transformátorem na požadovanou velikost, usměrněno pomocí Schottkyho diod a dále filtrováno výstupním filtrem. (9)

### Porovnání s lineárními zdroji

Oba typy zdrojů mají v elektrotechnice svoje uplatnění. Spínané zdroje jsou obvykle menší a lehčí což je dáno jejich schopností pracovat na vyšších frekvencích a tím snižovat velikost pasivních komponent, a proto se používají právě například pro nabíječky pro mobilní telefony. Na rozdíl lineární zdroje jsou obvykle větší a těžší, ale jsou preferovány u aplikací, kde se klade důraz na stabilitu napětí a nízký šum. Další srovnání mezi zdroji je v následující tabulce. (5)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Parametr** | **Spínané zdroje** | **Lineární zdroje** |
| Účinnost | 75 [%] | 30 [%] |
| Velikost | 0,2 [W/cm3] | 0,05 [W/cm3] |
| Váha | 100 [W/kg] | 20 [W/kg] |
| Výstupní zvlnění | 50 [mV] | 5 [mV] |
| Šumové napětí | 200 [mV] | 50 [mV] |
| Doba náběhu | 20 [ms] | 2 [ms] |
| Cena | Přibližně konstantní | Roste s výkonem |

Tabulka 2, Porovnání spínaných a lineárních zdrojů (5)

## Schéma

Zdroj jsem podle zadaní měl udělat co nejmenší, nejjednodušší a aby nebylo potřeba aktivního chlazení. Proto jsem se rozhodl poupravit schéma z již existujícího regulátoru napětí XL4015. Toto zapojení všechny potřebné parametry, které jsem potřeboval na sestavení mého zdroje. Schéma lze rozdělit do několika částí, které postupně vysvětlím.

První část schéma je vstupní část, která se skládá ze vstupních svorek, proudové pojistky, diodového můstku a kondenzátorů. Diodový můstek je zde pro usměrnění střídavého napětí z transformátoru na napětí stejnosměrné. A filtrační kondenzátory jsou pro vyrovnání napětí. Jejich hodnota je byla vybrána taková, aby bylo dosaženo co nejmenšího zvlnění.

Obsah obrázku diagram, řada/pruh

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 11, Vstupní část schéma

Další část schématu je pro omezení proudu. Na schématu je vidět, že používáme regulátor napětí 78L05, což je regulátor, který je k převodu vstupního napětí na stálých 5 V pro integrovaný obvod TL431. To je napěťová reference nastavená do režimu konstantního proudu s pomocí rezistoru R2 a potenciometru. Tato reference je porovnávána s napětím z výstupní strany rezistoru R9 k omezení proudu. Konstantní režim TL431 je používán k poskytování stabilního napětí a zároveň udržuje stálý proud v obvodu, ve kterém je používán. Je schopen udržovat stálý proud, i když se napětí mění. Toho využijeme jako konstantní zdroj proudu pro operační zesilovače.

Obsah obrázku diagram, text, Plán, řada/pruh

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 12, Část schéma pro omezení proudu

K omezení proudu je komparátor, který porovnává výstupní napětí na rezistoru R9 s referenčním napětím z TL431. Když je výstupní napětí větší než referenční napětí, je na výstupu kladné saturační napětí operačního zesilovače to pak následně jde přes LED diodu, která indikuje režim omezení, na stabilizátor XL4015, který omezí napětí, tak aby nebylo překročeno požadovaného proudu.

Obsah obrázku diagram, text, řada/pruh, Vykreslený graf

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 13, Zapojení komparátoru

Regulace napětí je také provedena pomocí stabilizátoru XL4015, u kterého se na zpětnou vazbu FB připojí odporový dělič, který se skládá z potenciometru a rezistoru R6. Na výstupu stabilizátoru je cívka, Schottkyho dioda a kondenzátory. Ty jsou zde pro udržení stabilního výstupního napětí. Dále lze ještě vidět kondenzátor C6, který je zapojen podle doporučení v datasheetu s hodnotou 1uF a slouží jako externí kapacita stabilizátoru.

Obsah obrázku diagram, text, řada/pruh, Plán

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 14, Část schéma pro regulaci napětí

A jako poslední část schématu je k indikaci nabíjení baterie. Tato funkce není potřebná pro funkci zdroje, ale rozhodl jsem se ji ponechat, kvůli zjednodušení ověření funkce zdroje. Jelikož používám integrovaný obvod LM358, který obsahuje dva komparátory, je dobré využít oba. Zapojení je velmi jednoduché, protože když je baterie plně nabitá, výstup klesne, což zapne LED diodu pro signalizaci dokončeného nabíjení. Pokud je baterie v procesu nabíjení, svítí druhá LED dioda, indikující probíhající nabíjení.

Obsah obrázku diagram, text, řada/pruh, Plán

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 15, Část schéma pro indikaci nabíjení baterie

## Deska plošných spojů

Desku jsem stejně jako schéma navrhoval v programu EAGLE 7.7.0. Při návrhu jsem musel dávat pozor hlavně na rozpoložení součástek. Dále na šířku spojů tak, aby v částech, kde mohou být až desítky voltů nebyla příliš úzká. Jelikož jsem desku nechával vyrobit u firmy JLCPCB, která umožňuje výrobu oboustranných DPS, tak jsem mohl spoje vést po obou stranách, a to mi celý návrh hodně ulehčilo. Při návrhu jsem se mimo jiné také snažil, aby byla od sebe oddělená silová a řídící část. Na obou stranách desky je také rozlitá měď, která je připojená na GND. To zlepšuje celkové vlastnosti, a hlavně to umožňuje, aby se jednotlivé smyčku obvodu uzavřeli co nejkratší cestou. Proto jsem pro ještě lepší výsledek následně na vybraných místech přidal řadu prokovů. U stabilizátoru XL4015, který nemá plošku připojenou na zem, jsem taky použil rozlitou měď pro lepší chlazení součástky. Ta musela být oddělená, aby se nespojila se zemí.



Obrázek 16, DPS pohled z vrchu

Obsah obrázku snímek obrazovky, zelené, Obdélník

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 17, DPS pohled ze spodu

## Panelový voltmetr a ampérmetr

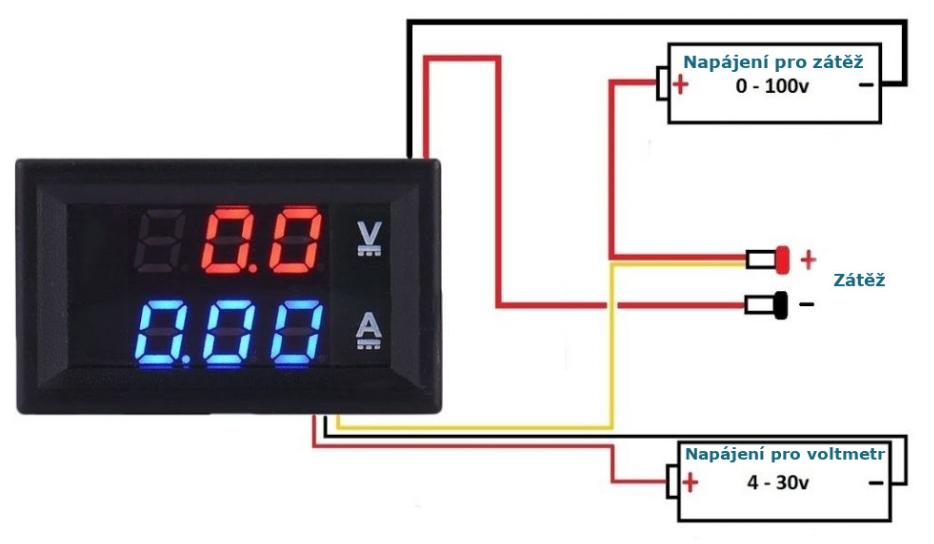
U zdroje je dobré vidět jakou hodnotu jsme na výstup nastavili. Pro toto zobrazení jsem se rozhodl použít panelový digitální voltmetr s ampérmetrem. Digitální měřák umožňuje rozsah měření napětí 0 až 100 V a proud 0 až 10 A. Přesnost měření napětí je 0,1 % a přesnost měření proudu jsou 2 %. V případě nepřesnosti lze zobrazené napětí ještě pomocí trimeru doladit tak aby zobrazené napětí bylo co nejpřesnější. (10)

Obsah obrázku hodiny, Digitální hodiny, text

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 18, Panelový digitální voltmetr a ampérmetr (10)

Měřák lze zapojit i bez vlastního napájení, ale to umožňuje zobrazení pouze od 4 V jinak je potřeba měřák napájet, a protože chci zobrazovat napětí už od 1,25 V je potřeba vlastní napájení minimálně 4 V. Proto jsem využil toho, že na zdroji používám stabilizátor 78L05. A vyvedl jsem hned na výstupu stabilizátoru, tak aby nerušil řídící část, napájení 5 V pro měřák. Protože jsem naměřil, že voltmetr má odběr pouze 10 mA tak by neměl do funkčnosti stabilizátoru nějak zasahovat.



Obrázek 19, Zapojení měřáku s napájením pro voltmetr (10)

## Pouzdro zdroje

Při návrhu jsem se snažil pouzdro vymyslet tak, aby bylo i po složení dále rozložitelné. Proto jsem celkovou krabičku rozdělil na dvě části, které jsem následně spojil. V krabičce jsem pak udělal i čtyři nožičky pro upevnění desky tak aby se tam volně nepohybovala. To stejné jsem udělal i pro transformátor. Ze přední strany jsem vytvořil otvory pro digitální měřák, svorky na banánky a potenciometry pro nastavení výstupního napětí a proudu a kolébkový přepínač. Ze zadní strany jsem přidal žebrovaní pro proudění vzduchu dovnitř pouzdra a otvor pro napájecí konektor. Celý návrh jsem vytvořil v programu Fusion 360. Jelikož jsem s programem neměl zkušenosti chvilku mi trvalo, než jsem se v programu naučil pracovat.

# Praktická část

Tato kapitola se zabývá praktickou částí maturitní práce. Snažím se zde popsat můj postup výroby lineárního zdroje. Od desky plošných spojů a její osazení až po jednotlivé verze a výsledný produkt.

## Výroba DPS

Desku jsem nechal vyrobit u společnosti JLCPCB, což je čínská firma specializována na výrobu desek plošných spojů. Objednání bylo velmi snadné, stačilo pouze připravit Gerber soubory a ty nahrát při objednávce. To se dalo zvládnout za pár minut za pomocí návodu na jejich stránce. Po nahrání souborů jsem si už mohl prohlédnou, jak bude deska vypadat. Dále jsem si už mohl vybrat parametry jako počet desek či jejich barvu. Výroba pěti desek mě pak bez dopravy stála něco okolo 50 Kč. Pro výrobu desky u firmy jsem se rozhodl z několika důvodů. Jeden z nich byla určitě kvalita vyrobené desky, následně možnost výroby oboustranné desky a také kvůli její přívětivé pořizovací ceně.

## Osazení DPS

Při objednávání desky jsem měl na výběr, jestli si nechci nechat osadit některé součástky. Toho jsem ale nevyužil, protože jsem měl možnost využít pec, a protože jsem to nikdy nepoužíval tak jsem si to chtěl sám vyzkoušet, jak se součástky pájejí za pomoci pece. Další výhodou pece je že je vhodná pro SMD součástky, které se manuálně špatně pájí.

Obsah obrázku obvod, Elektronické inženýrství, Obvodoví součástka, Elektronická součástka

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 20, Osazená DPS

### Pájení pomocí pájecí pasty

Typ pece, kterou jsem použil je infračervená bezolovnatá pájecí pec LT-5060C. Je určena pro malé plošné spoje a využívá záření v oblasti far-infrared s vlnovou délkou 15–1000 µm.

Obsah obrázku interiér, elektronika, Domácí spotřebič, Elektronické inženýrství

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 21, Infračervená bezolovnatá pájecí pec LT-5060C

I když to bylo poprvé co jsem tuto technologii používal bylo to velmi jednoduché. Na plošky stačilo nanést trochu pájecí pasty a osadit danými součástkami. Takto osazená deska se pak vložila do pece a pak počkat zhruba 15 minut. Ohřev součástek a desky plošných spojů je způsoben především přímo dopadajícím infračerveným zářením a částečně také horkým vzduchem uvnitř ohřívače. Teplota musí dosáhnout bodu tavení pájecí směsi. K ochlazení je pak využito ventilátorů. Podle použité pájecí slitiny se nastaví letovací křivka, celý proces je pak automaticky řízen pomocí procesorového systému. Při tomto postupu jsem musel dávat pozor na množství použité pasty a na její rozložení po plošce. (11)

Obsah obrázku text, displej, Elektricky modrá, multimédia

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 22, Použitá letovací křivka

Obsah obrázku elektronika, obvod, Obvodoví součástka, Elektronická součástka

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 23, Detail na zapájené SMD součástky

### Pájení pomocí pájecí stanice

Jelikož na své DPS nepoužívám pouze SMD součástky, tak jsem zbylé THT součástky zapájel za pomocí pájky. S touto metodou pájení jsem měl již zkušenosti ze školních praxí, a tudíž to pro mě nebyl problém. Do již připravených děr jsem vložil součástku a z druhé strany připájel její vývody k desce.

Obsah obrázku interiér, nářadí, kancelářské potřeby, počítač

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 24, Pracovní plocha s pájecí stanicí

Obsah obrázku obvod, Elektronické inženýrství, elektronika, Elektronická součástka

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 25, Detail na zapájení THT součástek

## První verze DPS

Při výrobě mého lineárního zdroje jsem v průběhu narazil na několik chyb, a proto jsem se následně rozhodl pro vyrobení další verze desky plošných spojů. V této části tudíž budu popisovat první verzi.

Obsah obrázku elektronika, Elektronická součástka, Elektronické inženýrství, Obvodoví součástka

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 26, Osazená první verze DPS

### Oživení

Pro první oživení desky jsem připojil vstup přímo na zdroj napětí. Vše po spuštění vypadalo v pořádku, a proto jsem hned vyzkoušel jeho základní funkce. Po připojení multimetru na výstup jsem ověřil funkci změny napětí, která fungovala a dostával jsem se na minimální napětí okolo 1,25 Voltů jako v zadání. Následně jsem vyzkoušel připojit na výstup zátěž a ověřit funkci omezení výstupního proudu, která také fungovala. Dále jsem za pomoci osciloskopu podíval na zvlnění na výstupu a usoudil jsem, že by mohlo být lepší. To se následně ukázalo jako chyba. Po tomto krátkém testu funkcí jsem se rozhodl pro podrobnější měření. Abych popřípadě našel místo pro vylepšení. Jako poslední jsem při oživení zkusil připojit digitální měřák a v tu chvíli jsem zjistil, že bude potřeba externího napájení pro měřák.

Obsah obrázku elektronika, Elektronické inženýrství, Elektrické vedení, stroj/přístroj

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 27, Test digitálního měřáku

### Vylepšení

Pro novou verzi jsem se rozhodl, protože jsem do konce maturitní práce měl ještě dostatek času a v první verzi jsem udělal několik chyb, které jsem se do další verze následně pokusil opravit. Jedna z hlavních chyb bylo špatné přečtení datasheetu u stabilizátoru XL4015, kde jsem si myslel, že ploška na stabilizátoru je zem. Toho jsem si všiml až po objednání desky při vypracovávání dokumentace. Proto jsem to pak při zkoušce funkčnosti desky musel opravit oříznutím této plošky a vyvrtáním prokovů. Tak aby ploška nebyla spojena se zemí. Mezi další chyby patřil špatný výběr pouzder k součástkám, které jsem chtěl použít. To však pro první test tolik nevadilo a ve funkčnosti to roli také nehrálo. Dále jsem se na základě měření rozhodl rozšířit zapojení o dva kondenzátory s větší kapacitou pro menší výsledný zvlnění. Poslední větší změnou bylo přidání vývodů za stabilizátorem 78L05 pro napájení digitálního měřáku, na které jsem při první verzi desky nemyslel. Dále už byli jen malé úpravy desky patři přidání možnosti vyvedení potenciometrů mimo desku a použití větších svorek na vstupu a výstupu. Pak jsem už jen upravil maličkosti jako je popis součástek a přidal díry na rozích desky pro připevnění do krabičky.

Obsah obrázku obvod, Elektronické inženýrství, Elektronická součástka, elektronika

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 28, Neosazená první verze DPS s vyznačenými chybami

## Druhá verze DPS

Ve druhé verzi desky plošných spojů jsem opravil všechny chyby, které jsem zmínil u první verze. Celý proces výroby lineárního zdroje to sice značně prodloužilo, ale určitě to za ten čas stálo.

### Oživení

Oživení druhé verze probíhalo stejně jako u první, tudíž jsem desku připojil ke zdroji stejnosměrného napětí a vyzkoušel jeho základní vlastnosti. A pak mi při prvotním měření došlo, že měření zvlněné, které jsem prováděl u první verze bylo k ničemu, protože jsem to celé měřil se stejnosměrným napětím na vstupu.

Obsah obrázku elektronika, Elektronické inženýrství, Elektrické vedení, stroj/přístroj

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 29, Oživení druhé verze DPS

## Výroba pouzdra zdroje

Pouzdro jsem se rozhodl vytisknout na 3D tiskárně, ke které jsem měl ve firmě přístup. Soubor jsem exportoval ve formátu .stl a následně dal tisknou. Pro tisk jsem použil PetG filament, který má dobrou odolnost vůči vysoké teplotě, a tudíž by nemělo vadit i vetší zahřátí zdroje.

## Měření

V této části maturitní práce je měření, které jsem provedl nejdříve u první verze desky plošných spojů pro zjištění případných chyb a následně i na druhé verzi. Jednotlivé měření jsem provedl, protože jsem si chtěl ověřit vlastnosti zdroje. Proto jsem u zdroje měřil hlavně zatěžovací charakteristiku a výstupné zvlnění při různých zátěží. Pro měření jsem mohl využít přístroje ve firmě.

Použité přístroje pro měření:

* SIGLENT SPD3303X-E DC Power Supply
* Multimetr AXIOMET AX-18B
* Osciloskop RIGOL DS401

### Měření první verze

U měření první verze desky jsem se rozhodl změřit zatěžovací charakteristiku pro tři různá napětí. Obvod jsem zapojil ke zdroji napětí a výstup na zátěž, u které jsem postupně měnil jeho hodnotu tak abych viděl, jak zdroj bude fungovat. Zdroj jsem omezil na 2 A, protože to je proud, který jsem stanovil v zadání a zdroj by tento proud měl zvládnout. Naměřené hodnoty jsem zapisoval do tabulky. Z těchto tabulek jsem následně vytvořil grafy. Z těchto grafů následně lze vidět, že zdroj je tvrdý.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| U [V] | 5 | 4,96 | 4,93 | 4,92 | 4,9 | 4,88 | 4,85 | 4,82 | 4,77 | 4,75 | 4,72 | 4,71 | 4,7 | 3,79 |
| I [A] | 0,12 | 0,3 | 0,39 | 0,49 | 0,58 | 0,73 | 0,93 | 1,13 | 1,43 | 1,64 | 1,81 | 1,86 | 1,9 | 2,05 |

Tabulka 3, Naměřené hodnoty pro napětí 5 V

Tabulka 4, Naměřené hodnoty pro napětí 12 V

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| U [V] | 12 | 11,98 | 11,96 | 11,94 | 11,93 | 11,9 | 11,88 | 11,85 | 11,81 | 11,78 | 11,77 | 11,75 | 11,68 | 10,77 |
| I [A] | 0,29 | 0,32 | 0,41 | 0,51 | 0,60 | 0,75 | 0,91 | 1,10 | 1,44 | 1,62 | 1,74 | 1,85 | 1,93 | 2,04 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| U [V] | 24,13 | 24,09 | 24,05 | 24,01 | 23,97 | 23,9 | 23,88 | 23,83 | 23,72 | 23,62 | 23,56 | 23,51 | 23,44 | 20,16 |
| I [A] | 0,58 | 0,66 | 0,75 | 0,83 | 0,91 | 1 | 1,09 | 1,19 | 1,41 | 1,61 | 1,73 | 1,82 | 1,92 | 2,04 |

Tabulka 5, Naměřené hodnoty pro napětí 24 V

Následně jsem měřil zvlnění, které je vyobrazeno pomocí osciloskopu. Zvlnění jsem změřil u stejných napětí jako při zatěžovací charakteristice. Nejdříve jsem zvlnění měřil naprázdno, které nebylo tak zajímavé. Poté jsem ještě změřil zvlnění při zátěži 1 A. Měření jsem prováděl se stejnosměrným vstupem což nebylo ideální, ale pro první verzi to pro představu stačilo.

Obsah obrázku snímek obrazovky, text

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 30, Zvlnění při 5 V, bez zátěže

Obsah obrázku snímek obrazovky, text

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 31, Zvlnění při 12 V, bez zátěže

Obsah obrázku snímek obrazovky, text, Grafický software

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 32, Zvlnění při 24 V, bez zátěže

Obsah obrázku snímek obrazovky, text

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 33, Zvlnění při 5 V, zátěž 1 A

Obsah obrázku snímek obrazovky, text

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 34, Zvlnění při 12 V, zátěž 1 A

Obsah obrázku snímek obrazovky, text

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek 35, Zvlnění při 24 V, zátěž 1 A

U posledního obrázku je menší zvlnění způsobeno tím, protože je spínač plně otevřený. To je způsobeno tím že rozdíl mezi vstupním a nastaveným výstupním je velmi malý.

### Měření hotového zdroje

Závěr

Tak jsem se dostal až na konec.

Seznam zkratek a odborných výrazů

*C* [F] kondenzátor

*cm3* centimetr krychlový

*DPS* deska plošných spojů

*f* [Hz] kmitočet

*GND* označení zemnící svorky (zem)

*I* [A] proud

*IO* integrovaný obvod

*Kg* kilogram

*MOSFET* Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor(unipolární tranzistor)

*N* počet závitů

*P* [W] výkon

*R* [Ω] odpor

*SMD* povrchová montáž součástek

*THT* technologie osazování plošných spojů součástkami s drátovými vývody

*U* [V] napětí

Seznam obrázků

[Obrázek 1, Schématická značka transformátoru 4](#_Toc158841597)

[Obrázek 2, Schéma zapojení jednocestného usměrňovače, zobrazení napětí na zátěži 5](#_Toc158841598)

[Obrázek 3, Schéma zapojení dvoucestného usměrňovače, zobrazení napětí na zátěži 5](#_Toc158841599)

[Obrázek 4, Schéma zapojení můstkového usměrňovače, zobrazení napětí na zátěži 6](#_Toc158841600)

[Obrázek 5, Zapojení můstkového usměrňovače s kondenzátorem 470uF, zobrazení napětí na zátěži 6](#_Toc158841601)

[Obrázek 6, Zapojení stabilizátoru se Zenerovou diodou 7](#_Toc158841602)

[Obrázek 7, SMD 78L05, pouzdro SOT89 (7) 8](#_Toc158841603)

[Obrázek 8, Vyznačené vývody na IO XL4015 (8) 9](#_Toc158841604)

[Obrázek 9, Vnitřní zapojení XL4015 (8) 9](#_Toc158841605)

[Obrázek 10, Blokové schéma spínaného zdroje 10](#_Toc158841606)

[Obrázek 11, Vstupní část schéma 11](#_Toc158841607)

[Obrázek 12, Část schéma pro omezení proudu 12](#_Toc158841608)

[Obrázek 13, Zapojení komparátoru 12](#_Toc158841609)

[Obrázek 14, Část schéma pro regulaci napětí 13](#_Toc158841610)

[Obrázek 15, Část schéma pro indikaci nabíjení baterie 13](#_Toc158841611)

[Obrázek 16, DPS pohled z vrchu 14](#_Toc158841612)

[Obrázek 17, DPS pohled ze spodu 14](#_Toc158841613)

[Obrázek 18, Panelový digitální voltmetr a ampérmetr (10) 15](#_Toc158841614)

[Obrázek 19, Zapojení měřáku s napájením pro voltmetr (10) 15](#_Toc158841615)

[Obrázek 20, Použitá letovací křivka 18](#_Toc158841616)

[Obrázek 21, Infračervená bezolovnatá pájecí pec LT-5060C 18](#_Toc158841617)

[Obrázek 22, Neosazená první verze DPS s vyznačenými chybami 19](#_Toc158841618)

[Obrázek 23, Zvlnění při 5 V, bez zátěže 22](#_Toc158841619)

[Obrázek 24, Zvlnění při 12 V, bez zátěže 23](#_Toc158841620)

[Obrázek 25, Zvlnění při 24 V, bez zátěže 23](#_Toc158841621)

[Obrázek 26, Zvlnění při 5 V, zátěž 1 A 24](#_Toc158841622)

[Obrázek 27, Zvlnění při 12 V, zátěž 1 A 24](#_Toc158841623)

[Obrázek 28, Zvlnění při 24 V, zátěž 1 A 25](#_Toc158841624)

Použité zdroje

1. **Wikipedia Foundation.** Stabilizovaný zdroj. *Wikipedie Otevřená encyklopedie.* [Online] 12. listopad 2022. [Citace: 9. listopad 2023.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Stabilizovan%C3%BD\_zdroj.

2. **KREJČIŘÍK, Alexandr.** *Lineární napájecí zdroje.* 2001 : BEN - Technická literatura, Praha. ISBN 80-7300-002-4.

3. **ELUC.** Usměrňovače. *ELUC ikap.* [Online] [Citace: 9. listopad 2023.] https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/652.

4. **Wikipedia Foundation.** Usměrňovací můstek. *Wikipedie Otevřená encyklopedie.* [Online] 20. prosinec 2021. [Citace: 9. listopad 2023.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Usm%C4%9Br%C5%88ovac%C3%AD\_m%C5%AFstek.

5. **KRAJC, David.** *Měřicí přípravek se spínaným zdrojem.* [Online] 2013. [Citace: 9. listopad 2023.] Dostupné z https://core.ac.uk/download/pdf/17305262.pdf. Bakalářská práce. Technická univerzita Ostrava. Ing. Petr Vaculík, Ph.D..

6. **Wikipedia Foundation.** Stabilizátor napětí. *Wikipedie Otevřená encyklopedie.* [Online] 17. duben 2023. [Citace: 16. listopad 2023.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Stabiliz%C3%A1tor\_nap%C4%9Bt%C3%AD.

7. **Micros sp.j.** 78L05 smd. *Micros.* [Online] [Citace: 18. Leden 2024.] https://www.micros.com.pl/en/product/st05l-f,13526.html.

8. **XLSEMI.** XL4015, 5A, 180KHz, 36V Buck DC to DC Converter. *XL4015 datasheet.* [Online] [Citace: 16. listopad 2023.] https://www.hadex.cz/spec/m408b.pdf.

9. **Wikipedia Foundation.** Spínaný zdroj. *Wikipedie Otevřená encyklopedie.* [Online] 7. květen 2023. [Citace: 30. Listopad 2023.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Sp%C3%ADnan%C3%BD\_zdroj.

10. **Laskakit.** Panelový digitální voltmetr + ampérmetr 100V 10A DC. *laskakit.cz.* [Online] [Citace: 1. Únor 2024.] https://www.laskakit.cz/panelovy-digitalni-voltmetr-ampermetr-100v-10a-dc/?gclid=Cj0KCQjwmvSoBhDOARIsAK6aV7hwcYv1niFXZpeLXXBKMTxMr6glG7CD7ojqdPvq9-2jYXNYddc-atIaAnmWEALw\_wcB.

11. **HOTAIR.** Infračervená bezolovnatá pájecí pec LTC-5060C. *hotair.cz.* [Online] [Citace: 4. Leden 2024.] https://www.hotair.cz/detail/pajeni/pajeci-pece/infracervena-bezolovnata-pajeci-pec-ltc-5060c.html.

1. Seznam přiložených souborů