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 **2**

Počet slov **1116**



Anotace

Práce se zabývá

Summary

This work …

Čestné prohlášení

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

V Liberci dne 30.11.2023

Jonáš Mikeš

Obsah

[Úvod 1](#_Toc152781906)

[1 Teoretická část 2](#_Toc152781907)

[1.1 Lineární zdroje 2](#_Toc152781908)

[1.1.1 Síťový transformátor 2](#_Toc152781909)

[1.1.2 Usměrňovač 2](#_Toc152781910)

[1.1.3 Filtr 4](#_Toc152781911)

[1.1.4 Stabilizátor 5](#_Toc152781912)

[1.2 Spínané zdroje 6](#_Toc152781913)

[1.2.1 Blokové schéma 7](#_Toc152781914)

[1.2.2 Porovnání s lineárními zdroji 7](#_Toc152781915)

[1.3 Schéma 8](#_Toc152781916)

[1.4 Deska plošných spojů 8](#_Toc152781917)

[2 Praktická část 9](#_Toc152781918)

[Závěr 10](#_Toc152781919)

[Seznam zkratek a odborných výrazů 11](#_Toc152781920)

[Seznam obrázků 12](#_Toc152781921)

[Použité zdroje 13](#_Toc152781922)

[A. Seznam přiložených souborů I](#_Toc152781923)

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.

# Teoretická část

Tato kapitola popisuje teoretickou část maturitní práce. Obsahuje popis 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)

#### Stabilizátor XL4015

XL4015 je integrovaný spínaný stabilizátor napětí. 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 krátkým spojením. Stabilizátor XL4015 má pět vývodů, které jsou jednotlivě popsány v následující tabulce. (7)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **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 , Popis výstupů na stabilizátoru XL4015 (7)

## 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. (8)

### Blokové schéma

Obsah obrázku diagram, Plán, text, Technický výkres

Popis byl vytvořen automaticky

Obrázek , Blokové schéma spínaného zdroje

Na obrázku je vyobrazeno blokové schéma spínaného zdroje, který má obvod řízený v primáru. Vstupní napětí 230 Voltů s frekvencí 50 Hertz 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. (8)

### 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.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **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 , Porovnání spínaných a lineárních zdrojů (5)

## Schéma

## 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 vodících cest tak, aby vstupní část, kde mohou být až desítky voltů nebyla úzká. Jelikož jsem desku nechával vyrobit u firmy JLCPCB, která umožňuje výrobu oboustranných DPS, tak jsem mohl cesty vést, přes obě strany, a to mi celý návrh hodně ulehčilo. … obrázek

# Praktická část

## Výroba DPS

Desku jsem nechal vyrobit u firmy JLCPCB. Objednání bylo velmi jednoduché, stačilo pouze připravit soubory a ty nahrát při objednávce. Dále jsem si už mohl vybrat parametry jako počet desek či jejich barvu.

Závěr

Tak jsem se dostal až na konec.

Seznam zkratek a odborných výrazů

Seznam obrázků

[Obrázek 1, Schématická značka transformátoru 2](#_Toc152781888)

[Obrázek 2, Schéma zapojení jednocestného usměrňovače, zobrazení napětí na zátěži 3](#_Toc152781889)

[Obrázek 3, Schéma zapojení dvoucestného usměrňovače, zobrazení napětí na zátěži 3](#_Toc152781890)

[Obrázek 4, Schéma zapojení můstkového usměrňovače, zobrazení napětí na zátěži 4](#_Toc152781891)

[Obrázek 5, Zapojení můstkového usměrňovače s kondenzátorem 470uF, zobrazení napětí na zátěži 4](#_Toc152781892)

[Obrázek 6, Zapojení stabilizátoru se Zenerovou diodou 5](#_Toc152781893)

[Obrázek 7, Blokové schéma spínaného zdroje 7](#_Toc152781894)

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

8. **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.

1. Seznam přiložených souborů