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 14.12.2023

Jonáš Mikeš

Obsah

[Úvod 1](#_Toc155270559)

[1 Teoretická část 2](#_Toc155270560)

[1.1 Lineární zdroje 2](#_Toc155270561)

[1.1.1 Síťový transformátor 2](#_Toc155270562)

[1.1.2 Usměrňovač 2](#_Toc155270563)

[1.1.3 Filtr 4](#_Toc155270564)

[1.1.4 Stabilizátor 5](#_Toc155270565)

[1.2 Spínané zdroje 6](#_Toc155270566)

[1.2.1 Blokové schéma 7](#_Toc155270567)

[1.2.2 Porovnání s lineárními zdroji 7](#_Toc155270568)

[1.3 Schéma 8](#_Toc155270569)

[1.4 Deska plošných spojů 10](#_Toc155270570)

[2 Praktická část 11](#_Toc155270571)

[2.1 Výroba DPS 11](#_Toc155270572)

[2.2 Osazení DPS 11](#_Toc155270573)

[2.3 První verze DPS 12](#_Toc155270574)

[Závěr 13](#_Toc155270575)

[Seznam zkratek a odborných výrazů 14](#_Toc155270576)

[Seznam obrázků 15](#_Toc155270577)

[Použité zdroje 16](#_Toc155270578)

[A. Seznam přiložených souborů I](#_Toc155270579)

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 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)

#### 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 1, 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 7, 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. (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 8, 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. TL431 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 9, 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 10, 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 11, Část schéma pro regulaci napětí

A jako poslední část schématu je k indikaci nabíjení baterie. Tato funkce není potřebná pro funkci zdroje, ale pro výrobkové testovací účely se hodí. Jelikož používám integrovaný obvod LM358, který obsahuje dva komparátory, je vhodné 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 12, 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 vodících cest 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 cesty vést po obou stranách, a to mi celý návrh hodně ulehčilo. Při návrhu jsem se také snažil, aby byla oddělená silová a řídící část. Na obou stranách desky je také rozlitá měď, která je připojená na GND. Proto jsem pro lepší výsledek následně na vybraných místech přidal řadu prokovů.

# Praktická část

Tato kapitola se zabývá praktickou část maturitní práce. Je zde popsána výroba desky plošných spojů a její osazení. Následně měření na jednotlivých verzí.

## 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 minout za pomocí návodu na jejich stránce. 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

Pro pájení SMD součástek jsem použil infračervenou přetavovací pec, protože je vhodná pro malé součástky, které by se manuálně blbě pájely. 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. I když to bylo poprvé co jsem tuto technologii používal bylo to velmi jednoduché. Na plošky stačilo nanést trochu pájecí pasty a osadit potřebnými součástkami. Takto osazená deska se pak vložila do pece. 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. Zbylé THT součástky jsem na desku zapájel ručně. (9)

Obsah obrázku text, displej, Elektricky modrá, multimédia

Popis byl vytvořen automaticky

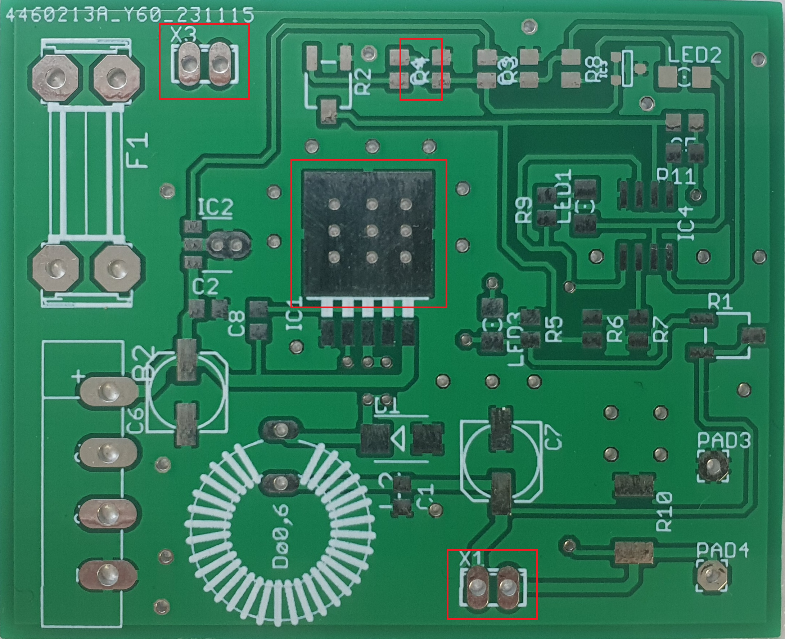
Obrázek , Použitá letovací křivka



Obrázek , Infračervená bezolovnatá pájecí pec LT-5060C

## První verze DPS

V první verzi jsem udělal několik chyb, které jsem se následně pokusil opravit. Jedna z hlavních chyb bylo špatné přečtení datasheetu u stabilizátoru XL4015, kde jsem si myslel, že ploška na stabilizátoru je zem. To jsem pak při zkoušce funkčnosti desky musel napravit oříznutím této plošky vyvrtáním prokovů. Mezi další chyby patřil špatný výběr pouzder k součástkám, které jsem chtěl použít. To však pro první test tolik nevadilo. Dále jsem se na základě měření rozhodl rozšířit zapojení o dva kondenzátory s větší kapacitou pro menší výsledný zvlnění. Mezi další 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 případné připevnění do krabičky.



Obrázek , Neosazená první verze DPS

Závěr

Tak jsem se dostal až na konec.

Seznam zkratek a odborných výrazů

Seznam obrázků

[Obrázek 1, Schématická značka transformátoru 2](#_Toc155251645)

[Obrázek 2, Schéma zapojení jednocestného usměrňovače, zobrazení napětí na zátěži 3](#_Toc155251646)

[Obrázek 3, Schéma zapojení dvoucestného usměrňovače, zobrazení napětí na zátěži 3](#_Toc155251647)

[Obrázek 4, Schéma zapojení můstkového usměrňovače, zobrazení napětí na zátěži 4](#_Toc155251648)

[Obrázek 5, Zapojení můstkového usměrňovače s kondenzátorem 470uF, zobrazení napětí na zátěži 4](#_Toc155251649)

[Obrázek 6, Zapojení stabilizátoru se Zenerovou diodou 5](#_Toc155251650)

[Obrázek 7, Blokové schéma spínaného zdroje 7](#_Toc155251651)

[Obrázek 8, Vstupní část schéma 8](#_Toc155251652)

[Obrázek 9, Část schéma pro omezení proudu 9](#_Toc155251653)

[Obrázek 10, Zapojení komparátoru 9](#_Toc155251654)

[Obrázek 11, Část schéma pro regulaci napětí 10](#_Toc155251655)

[Obrázek 12, Část schéma pro indikaci nabíjení baterie 10](#_Toc155251656)

[Obrázek 13, Použitá letovací křivka 11](#_Toc155251657)

[Obrázek 14, Infračervená bezolovnatá pájecí pec LT-5060C 12](#_Toc155251658)

[Obrázek 15, Neosazená první verze DPS 12](#_Toc155251659)

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.

9. **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