

Návrh a realizace regulovatelného napětového zdroje

Tibor Kubiš

Bakalářská práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tibor Kubiš**
Osobní číslo: **A12034**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Návrh a realizace regulovatelného napěťového zdroje**
Téma anglicky: **The Design and Development of a Controllable Power Supply**

Zásady pro vypracování:

1. Nastudujte a popište používané konstrukce regulovatelných napěťových zdrojů.
2. Navrhněte regulovatelný napěťový zdroj pro daný rozsah výstupního napětí a proudu.
3. Realizujte výše specifikovaný návrh napěťového zdroje.
4. Zobrazení nastavených veličin na zdroji realizujte vhodným způsobem.
5. Provedte ověření správné funkčnosti celého zařízení.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. JURÁNEK, A. a M. HRABOVSKÝ. EAGLE: návrhový systém pro plošné spoje pro začátečníky. Praha: BEN – technická literatura, 2007. ISBN 8073002132.
2. BRANDŠTETTER A KOL., P. ELEKTRONIKA: Prvky elektronických obvodů [online]. Ostrava: Ediční středisko VŠB TUO, 2007 [cit. 2015-01-22]. Dostupné z: http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FEI/EL/Brandstetter_Elektronika_text.pdf
3. UHLÍŘ, I. ELEKTRICKÉ OBVODY A ELEKTRONIKA [online]. Praha: ČVUT, 2006 [cit. 2015-01-22]. Dostupné z: http://www.strojar.com/upload/skripta/3rocnik/EOE_skripta.pdf
4. ELEKTRONICKÉ NAPÁJECÍ ZDROJE A AKUMULÁTORY. 2. vyd. Tiskové středisko ZČU Plzeň: Vydavatelství Západočeské univerzity Husova 11, 306 14 Plzeň, 1998. ISBN 80-7082-411-5.
5. NOVOTNÝ, V., P. VOREL a M. PATOČKA. NAPÁJENÍ ELEKTRONICKÝCH ZAŘÍZENÍ: Přednášky [online]. Brno: FEKT VUT v Brně, 2002 [cit. 2015-01-22]. Dostupné z: http://www.dufi.net/black/BOOKS_cz/_ELEKTRO/ele%20knihy/Napajeni%20Elektronickych%20

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Skočík

Ústav elektroniky a měření

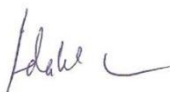
Datum zadání bakalářské práce:

6. března 2015

Termín odevzdání bakalářské práce:

22. května 2015

Ve Zlíně dne 6. března 2015



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



L.S.



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové/bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně 15.5.2015

Luboš Tíbor
.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Cieľom bakalárskej práce bolo popísať základné používané konštrukcie regulovateľných napäťových zdrojov. Práca sa ďalej zaoberá návrhom a realizáciou zdroja jednosmerného napätia. Zariadenie umožňuje nastaviteľné výstupné napätie v rozsahu 0 až 30V a reguláciu prúdového obmedzenia do 3A. Schéma a doska plošného spoja bola vytvorená v prostredí Eagle. Súčasťou práce bolo tiež zobrazenie výstupného napätia pomocou LCD displeja a následné overenie správnej funkčnosti celého zdroja.

Kľúčové slová: napájací zdroj, sieťový transformátor, mostíkový usmerňovač, stabilizátor, filtračný kondenzátor, dióda, výkonový rezistor

ABSTRACT

The aim of my bachelor thesis was to describe basic used constructions of controllable voltage sources. The thesis also deals with design and implementation of DC voltage source. The device allows the adjustable voltage output in the range of 0 – 30 V and control current limit to 3A. The scheme and the printed circuit board were created in Eagle software. The part of the work was also to display the output voltage through the LCD screen and subsequent verification of the correct function of the entire source.

Keywords: power supply, power transformer, bridge rectifier, stabilizer, filter capacitor, diode, power resistor

Touto cestou by som chcel poďakovať vedúcemu bakalárskej práce Ing. Petrovi Skočíkovi za metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc pri spracovávaní mojej bakalárskej práce. Taktiež by som rád poďakoval svojej rodine a priateľke za podporu pri písaní tejto práce.

Motto:

Aristoteles

„Vzdelanie má horké koreňky, ale sladké ovocie.“

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČASŤ	10
1 NAPÁJACIE ZDROJE	11
1.1 ROZDELENIE NAPÁJACÍCH ZDROJOV	11
1.2 POROVNANIE ZAPOJENÍ SPÍNANÝCH A LINEÁRNYCH ZDROJOV	12
1.2.1 Zdroje spínanej koncepcie	12
1.2.2 Zdroje lineárnej spojitej koncepcie.....	13
2 TRANSFORMÁTOR.....	15
3 NERIADENÉ USMERŇOVAČE	17
3.1 JEDNOFÁZOVÝ USMERŇOVAČ S ODPOROVOU ZÁŤAŽOU.....	17
3.2 JEDNOFÁZOVÝ USMERŇOVAČ S KAPACITNÝM CHARAKTEROM ZÁŤAŽE.....	19
3.3 JEDNOFÁZOVÝ DVOJCESTNÝ USMERŇOVAČ S DIFERENČNÝM TRANSFORMÁTOROM.....	21
3.4 JEDNOFÁZOVÝ DVOJCESTNÝ USMERŇOVAČ V MOSTÍKOVOM ZAPOJENÍ	23
4 REGULÁCIA VÝSTUPNÉHO NAPÄTIA SIEŤOVÝCH ZDROJOV	25
4.1 STABILIZÁTORY	25
4.2 PARAMETRICKÉ STABILIZÁTORY	25
4.2.1 Stabilizátor napätia so Zenerovou diódou.....	26
4.3 REGULÁTORY.....	28
4.3.1 Princíp činnosti trojsvorkových stabilizátorov.....	28
4.4 KLASIFIKÁCIA STABILIZÁTOROV	29
II PRAKTICKÁ ČASŤ	31
5 ÚVOD DO PRAKTICKEJ ČASTI.....	32
6 NÁVRH NAPÁJACIEHO ZDROJA.....	33
7 NÁVRH SCHÉMY A PLOŠNÉHO SPOJA PRE ZDROJ	35
7.1 EAGLE	35
7.1.1 Spustenie návrhového systému a hlavný panel	35
7.1.2 Postup práce v schematickom editore.....	36
7.1.3 Základy práce v editore plošného spoja.....	38
7.2 VLASTNÝ NÁVRH SCHÉMY A PLOŠNÉHO SPOJA.....	39
8 VÝBER VHODNÝCH SÚČIASTOK.....	47
9 VÝROBA A OSADENIE PLOŠNÉHO SPOJA.....	49
9.1 VÝROBA PLOŠNÉHO SPOJA.....	49
9.2 OSADENIE PLOŠNÉHO SPOJA.....	51
10 VLASTNÁ KONŠTRUKCIA NAPÄŤOVÉHO ZDROJA	54
11 OVERENIE FUNKČNOSTI	56
ZÁVER	60
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	61
ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....	63
ZOZNAM OBRÁZKOV	66

ZOZNAM TABULIEK	68
ZOZNAM PRÍLOH	69

ÚVOD

Obsah dokumentu rozoberá problematiku jednotlivých blokov napájacích zdrojov, pričom je venovaná zvláštna pozornosť práve zdrojom sieťovým. Práca tiež obsahuje návrh regulovateľného zdroja jednosmerného napätia až po jeho samotnú realizáciu. Práca je rozčlenená do niekoľkých častí.

Prvá časť je úvodom do problematiky, kde je čitateľovi predstavená základná charakteristika napájacích zdrojov a ich základné členenie podľa niektorých vybraných kritérií. Je tu tiež možno nájsť prehľadné porovnanie vlastností zdrojov lineárnych a spínaných, čo by malo priblížiť rozhodovanie sa medzi jednotlivými variantmi. Zvyšok tejto časti popisuje jednotlivé základné bloky sieťového zdroja. Popis je vedený v istom chronologickom poriadku. Na začiatku je vždy uvedená charakteristika daného bloku, ktorá približuje jeho význam v tomto usporiadaní. Následne sú postupne predstavené určité základné zapojenia, s ktorými sa môže konštruktér v rámci tejto problematiky stretnúť. K jednotlivým zapojeniam je vždy uvedená schéma, na ktorej je ilustrovaný základný princíp činnosti prvku v danom zapojení. K objasneniu princípu sú využívané názorné charakteristiky s odpovedajúcimi matematickými vzťahmi. Koniec popisu každého bloku je doplnený klasifikáciou, rozdelením.

V úvode druhej časti je popísaných niekoľko kľúčových dôvodov, prečo som sa rozhodol práve pre túto prácu. Návrh zdroja je doplnený o stanovenie cieľov a požiadaviek, ktoré by mala moja práca splňať. Časť návrhu schémy a plošného spoja obsahuje zoznámenie sa s návrhovým softvérom Eagle, od založenia nového projektu až po nastavenie pracovného prostredia a prácu v jednotlivých editoroch. Z tohto dôvodu si myslím, že časť by mohla slúžiť tiež ako doplnkový materiál pre vyučovanie začiatočníka. Ďalšia časť je venovaná výberom použitých súčiastok, popisom ich parametrov a cenovému rozpočtu. Dôvod, prečo som sa rozhodol plošný spoj vyrobiť práve metódou nažehľovania a detailnejší postup jednotlivých krokov je zaznamenaný v deviatej kapitole. Čitateľ tam nájde tiež ilustratívne obrázky z procesu osadzovania súčiastok či samotnej mechanickej konštrukcie. Navrhnuté a vyrobené zariadenie bolo na konci potrebné ešte premerať a overiť jeho správnu funkčnosť počas prevádzky. Súčasťou overovania bolo zostrojenie zaťažovacích charakteristík.

V závere sa nachádza zhodnotenie dosiahnutých výsledkov bakalárskej práce.

I. TEORETICKÁ ČASŤ

1 NAPÁJACIE ZDROJE

Napájacím zdrojom rozumieme zariadenie, ktoré je schopné dodať elektrickému zariadeniu napätie či prúd potrebný k jeho činnosti. V súčasnej dobe nás obklopuje veľa elektrických a elektronických zariadení, ktoré potrebujú k svojej činnosti a funkcii elektrický napájací zdroj. Úlohou každého napájacieho zdroja je dodávať elektrickému zariadeniu požadované hodnoty napájacieho napätia a prúdu. Táto požiadavka úzko súvisí s potrebou stanovenia hodnôt použitých komponentov a s parametrami obvodov v zdroji podľa požadovaných hodnôt výstupných veličín. [1]

1.1 Rozdelenie napájacích zdrojov

Napájacie zdroje možno rozdeliť na nasledujúce podľa [1], [2] :

- **Batériové spôsoby napájania**
 - galvanické články (priama transformácia chemickej energie na elektrickú)
 - akumulátory (využitie vratného elektrochemického procesu)
 - palivové články (premena chemickej energie plynného paliva na elektrickú)
- **Typ dodávaného výkonu**
 - zdroje jednosmerných napätí a prúdov
 - zdroje striedavých napätí a prúdov
- **Základný fyzikálny princíp**
 - elektrochemické (primárne a sekundárne suché články)
 - elektromechanické (generátory, dynamá, alternátory)
 - zdroje využívajúce ako prívodný signál rozvodnú sieť 230 V/50 Hz (sieťové napájacie zdroje)
- **Regulovanie výstupných veličín**
 - neregulovateľné zdroje (hodnoty výstupných veličín pevne nastavené)
 - regulovateľné zdroje (spojitá či nespojitá regulácia)

- **Priebeh napätia na vstupe a výstupe**

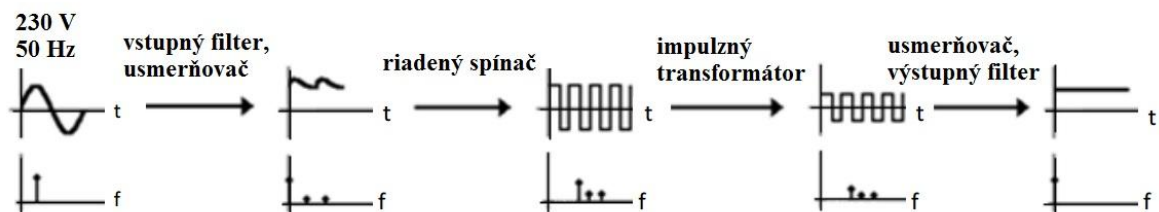
Tabuľka 1: Rozdelenie zdrojov podľa priebehov signálov [6]

VSTUP	VÝSTUP	CHARAKTERISTIKA
striedavý	jednosmerný	menič, lineárny stabilizátor, usmerňovač
jednosmerný	jednosmerný	jednosmerný menič, lineárny stabilizátor
striedavý	striedavý	transformátor, frekvenčný menič
jednosmerný	striedavý	striedač

1.2 Porovnanie zapojení spínaných a lineárnych zdrojov

1.2.1 Zdroje spínanej koncepcie

Na Obrázku 1 je vidieť principiálnu blokovú schému spínaného zdroja. Vstupné sieťové napätie je na začiatku usmernené, následne vyfiltrované a nakoniec privedené na elektronický spínač. V tomto bode je napätie rozkmitané na signál obdĺžnikového tvaru s frekvenciou rádovo stoviek kHz. Napätie je privedené na vysokofrekvenčný transformátor, ktorý zabezpečí pretransformovanie na potrebnú hodnotu. Následne je signál usmernený a vyfiltrovaný. Komparátor (zosilňovač odchýlky) tu slúži k udržiavaniu požadovanej hodnoty výstupného napätia. Na jeho vstup je privádzané výstupné napätie, ktoré je porovnávané s referenčnou hodnotou. [5], [9]



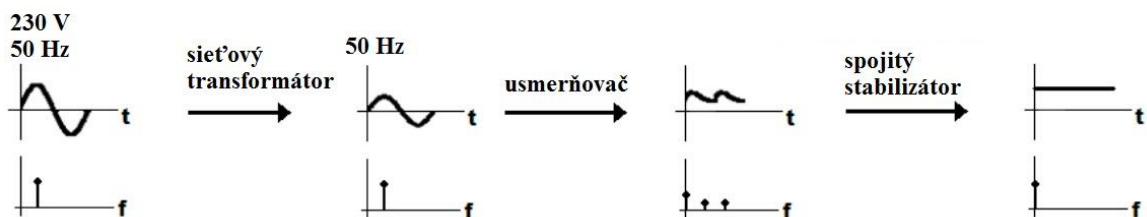
Obrázok 1: Priebeh veličín spínaného zdroja [4]

- **Vstupný filter** zaisťuje filtráciu rušivých signálov vstupujúcich do zdroja a taktiež filtráciu vyšších harmonických zložiek z riadeného spínača. [4]
- **Usmerňovač** sa stará o usmernenie vstupného striedavého napätia. Ku svojej činnosti využíva polovodičové diódy vo vhodnom zapojení. Usmernením sa myslí premena striedavého napätia na jednosmerné. Súčasťou je i kondenzátor, ktorý vyhladzuje usmernené napätie. [9]

- **Riadený spínač** je spínacie zariadenie, ktoré na základe vyhodnotenia aktuálnej situácie v systéme zopne či rozopne daný obvod. Väčšina impulzných zdrojov pracuje s konštantnou frekvenciou a premennou striedou. [4]
- **Impulzný transformátor** je zvyčajne tvorený feritovým jadrom a vinutiami. Vďaka spínacej frekvencii sú rozmery i hmotnosť transformátoru niekoľkonásobne menšie než u transformátora sieťového. [5]
- **Schottkyho usmerňovač a filter** slúži k usmerneniu a filtrácii napätia na výstupe impulzného transformátora. Ako už z názvu vyplýva, je tvorený Schottkyho diódou. Vzhľadom na vysokú frekvenciu nemôžeme túto diódu nahradiť klasickými usmerňovacími diódami. Súčiastka využíva usmerňovaciu vlastnosť prechodu MN (kov-polovodič). Filter pozostáva z filtračného kondenzátora a nárazovej tlmivky. K výstupu je pripojený paralelne a pre jednosmernú zložku má nekonečne veľký odpor. Pre striedavé zložky sa odpor znižuje. Tlmivka je s výstupom zapojená do série. Pre jednosmernú zložku má tlmivka nulový odpor a pre striedavú sa odpor s frekvenciou zvyšuje. [5], [16]
- **Snímač výstupného napätia** umožňuje získať na výstupe násobok referenčného napätia. [4]
- **Zosilňovač odchýlky** je tvorený komparátorom, ktorý porovnáva výstupné napätie s referenčným napätím a tým riadi striedu elektronického spínača. Čím väčšie je jeho zosilnenie, tým kvalitnejšie je výstupné napätie čo sa týka jeho zmien pri pripojení záťaže, alebo zmien vstupného napätia. [17]
- **Riadiace obvody** slúžia k tvarovaniu signálov z výstupu komparátora pre elektronický spínač. [4]

1.2.2 Zdroje lineárnej spojitej koncepcie

Na Obrázku 2 je vidieť principiálnu blokovú schému lineárneho spojitého zdroja.



Obrázok 2: Priebeh veličín lineárneho zdroja [4]

- **Sieťový transformátor** je dvojbran alebo viacbran, vďaka ktorému môžeme elektrickú energiu prenášať z jedného obvodu (primárneho) do druhého (sekundárneho) pomocou vzájomnej elektromagnetickej indukcie. V tejto koncepcii najčastejšie slúži na premenu striedavého sieťového napätia na požadované napätie pre pripojené zariadenie a pre galvanické oddelenie obvodov. Medzi primárnym a sekundárnym vinutím transformátora je dôležitá dobrá elektromagnetická väzba. [18]
- **Usmerňovač** slúži k usmerneniu striedavého napätia pomocou vhodného zapojenia polovodičových diód. Usmernením striedavého napätia sa rozumie jeho premena na napätie jednosmerné. [19]
- **Stabilizátor** je obvod, ktorý slúži k stabilizácii napätia alebo prúdu pre záťaž. Dôležitou požiadavkou na stabilizované napätie alebo prúd je čo najmenšia závislosť na vonkajších veličinách (veľkosť záťaže a jej charakter, veľkosť vstupného napätia, veľkosť vstupného prúdu, teplota, rušenie). Spojitý stabilizátor aplikuje pre stabilizáciu spojitú reguláciu. [4], [19]
- **Porovnanie vlastností**

V Tabuľke 2 sú zobrazené niektoré z vlastností spínaných a lineárnych zdrojov.

Tabuľka 2: Parametre lineárnych a spínaných zdrojov [7]

PARAMETRE	SPÍNANÝ ZDROJ	LINEÁRNY ZDROJ
účinnosť	75 (%)	30 (%)
veľkosť	0,2 (W/cm ³)	0,05 (W/cm ³)
váha	100 (W/kg)	20 (W/kg)
výstupné zvlnenie	50 (mV)	5 (mV)
šumové napätie	200 (mV)	50 (mV)
odozva na skok	1 (ms)	20 (μs)
doba nábehu	20 (ms)	2 (ms)
cena	približne konštantná	stúpa s výkonom

2 TRANSFORMÁTOR

Transformátor je dvojbran alebo viacbran, ktorého úlohou je prenos elektrickej energie z primárneho elektrického obvodu do sekundárneho obvodu pomocou vzájomnej elektromagnetickej indukcie. Jeho základnou úlohou u lineárneho zdroja je znížiť alebo zvýšiť vstupné striedavé napätie. Jednou z ďalších úloh je galvanicky oddeliť výstupný obvod od obvodu vstupného, čo býva najviac vhodné, ak sa vstupné napätie získava zo siete. [18]

Primárne vinutie transformátora slúži k prevodu elektrickej energie na magnetickú. Prúd pretekajúci primárnym vinutím vytvára v jadre transformátora magnetický tok Φ . Základnou jednotkou magnetického toku je Wb. Dôsledkom magnetického toku je vybudenie napätia na sekundárnom vinutí transformátora. Výstupné napätie je tiež striedavé a má rovnakú fázu ako napätie vstupné, pričom môže byť iba amplitúda rôzna. [7]

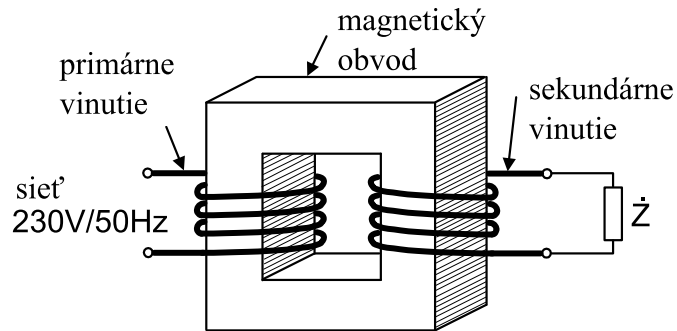
Pretože v transformátore prechádza vinutiami na spoločnom jadre rovnaký indukčný tok, majú indukované napätia vo vinutiach rovnaký časový priebeh. Polarita indukovaných napätí závisí na zmysle vinutí (získovaná napr. vzhľadom na začiatky vinutí). Jadro je magnetizované takým celkovým magnetickým napätím, ktoré je dané vektorovým súčtom magnetických napätí jednotlivých vinutí. Indukčný tok nemení nikdy svoju veľkosť skokom. Nové veľkosti dosahuje iba zväčšovaním alebo zmenšovaním z počiatočnej veľkosti. [8]

Vzťah pre prevod transformátora vychádza z indukčného zákona. Dosadením veličín pre primárne a sekundárne vinutie získavame rovnicu ideálneho transformátora:

$$p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} [-], \quad (1)$$

kde p je prevod transformátora, U_1 [V] je napätie na primárnej cievke, U_2 [V] je napätie na sekundárnej cievke. N_1 [-] je počet závitov primárnej cievky a N_2 [-] počet závitov cievky sekundárnej. Ak $p > 1$, hovoríme, že sa jedná o transformátor znižujúci, ak $p < 1$, ide o transformátor zvyšujúci. Výstupné napätie U_2 je potrebné voliť tak, aby jeho maximálna hodnota U_{2MAX} mala o niečo vyššiu hodnotu než požadovaná hodnota výstupného napätia U_{2OUT} . Je totiž potrebné zohľadniť úbytky napätia vzniknuté na jednotlivých súčiastkach (usmerňovač, stabilizátor atď.).

Transformátor pre sieťový zdroj musí byť správne dimenzovaný pre požadovaný výkon zdroja a z tohto dôvodu je potrebné vhodne voliť prierezy vodičov a rozmery samotného jadra. [7], [1]



Obrázok 3: Ilustrácia k pojmu sieťový transformátor [1]

- **Rozdelenie transformátorov**

V Tabuľke 3 je zobrazené rozdelenie transformátorov podľa základných kritérií.

Tabuľka 3: Základné rozdelenie transformátorov [1]

Podľa počtu fáz	jednofázové, trojfázové, viacfázové
Podľa dodávaného výkonu	malé (približne do výkonu 5 kVA), výkonové (nad 5 kVA)
Podľa druhu chladenia	vzduchové (chladenie vzduchom), olejové
Podľa aplikácie	oddeľovacie, meracie, impulzné

3 NERIADENÉ USMERŇOVAČE

Usmerňovače bývajú u sieťových zdrojov zaraďované za sieťový napájací transformátor. Ich hlavnou úlohou je usmerniť harmonické napätie na výstupe transformátora, teda premeniť ho na napätie ideálne jednosmerné (konštantné). V praxi je často signál na výstupoch usmerňovačov viac či menej zvlnený s jednosmernou zložkou (strednou hodnotou). Jednotlivé typy usmerňovačov sa líšia okrem iného práve veľkosťou tejto jednosmernej zložky na svojich výstupoch. Časové priebehy napätí pre ideálny jednofázový neriadený usmerňovač môžeme vidieť na Obrázku 4. [10], [1]

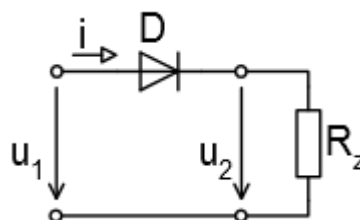


Obrázok 4: Schematické znázornenie ideálneho usmerňovača [1]

Ako je vidieť na Obrázku 4, výstupné napätie obsahuje zložku spektra (ideálne len jednu), ktorá nie je obsiahnutá v spektre vstupného napätia. Túto transformáciu energie môže spôsobiť jedine nelineárny alebo parametrický prvok. Naznačená zmena časového priebehu a tým súčasne spektrálneho zloženia napätia či prúdu je v usmerňovačoch dosahovaná najčastejšie polovodičovými diódami alebo tyristormi. Z hľadiska časových priebehov môžeme povedať, že tieto prvky sa správajú ako ventily, teda prepúšťajú prúd iba jedným smerom. [10]

3.1 Jednofázový usmerňovač s odporovou záťažou

Ide o najjednoduchší typ zapojenia usmerňovača. Obsahuje len jeden usmerňovací prvok - diódu, záťažou je rezistor. Schéma zapojenia je uvedená na Obrázku 5. [8]

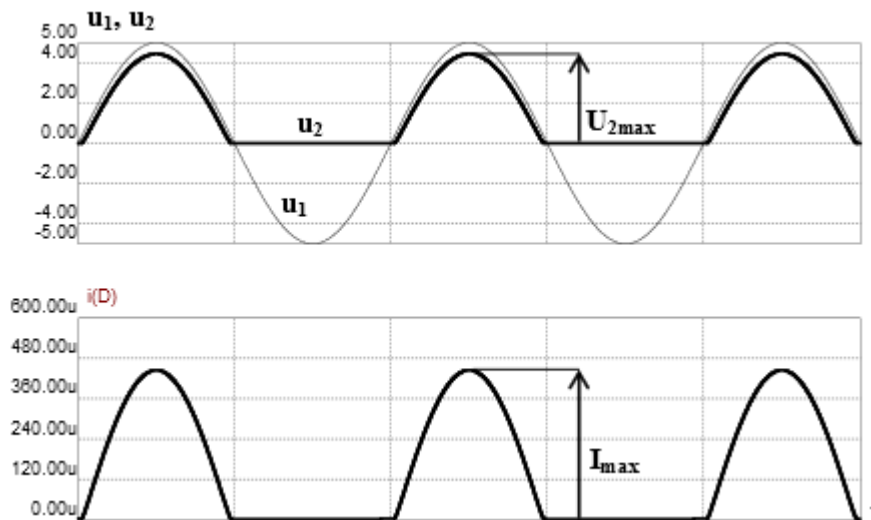


Obrázok 5: Jednocestný usmerňovač [19]

$$U_{1MAX} - U_{2MAX} \doteq 0.7 V \quad (2)$$

$$i = \frac{u_2}{R_Z} [A] \quad (3)$$

$$I_{MAX} = \frac{U_{2MAX}}{R_Z} [A] \quad (4)$$



Obrázok 6: Jednocestný jednofázový usmerňovač s odporovou záťažou [11]

Z Obrázku 6 je zrejme, že dióda prepúšťa prúd iba po dobu, kedy je vstupné napätie kladné. Maximálna veľkosť výstupného jednocestne usmerneného napätia U_{2MAX} je menšia než amplitúda vstupného signálu U_{1MAX} , a to o úbytok na dióde (uvažujeme kremíkovú diódu) približne $0,7 V$. Keďže hlavným zmyslom usmerňovača je vytvoriť na svojom výstupe jednosmerný signál, jednosmerná zložka (stredná hodnota) výstupného napätia bude daná vzťahom: [1]

$$\frac{1}{\pi} * U_{2MAX} \cong 0,318 * U_{2MAX}. \quad (5)$$

Pre posúdenie prúdových pomerov uvažujeme linearizáciu obvodu z Obrázku 6. Do doby, kedy obvodom tečie prúd, diódu nahradíme lineárnym (statickým) odporom R_S . Potom platí Ohmov zákon :

$$i_{(t)} = \frac{u_1(t)}{R_S + R_Z} [A]. \quad (6)$$

Maximálnu hodnotu prúdu je potom možné vyjadriť jednoducho vzťahom:

$$I_{MAX} = \frac{U_{1MAX}}{R_S + R_Z} [A]. \quad (7)$$

Stredná hodnota prúdových pulzov je potom daná analogickým vzťahom ako stredná hodnota usmerného napätia U_{2AV} , teda :

$$I_{AV} = \frac{1}{\pi} * I_{MAX} [A]. \quad (8)$$

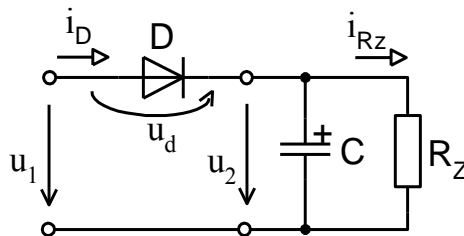
Po dobu, kedy je vstupné napätie záporné, dióda je polarizovaná záverne a namáhaná maximálnym napätím

$$U_{RMAX} = U_{1MAX} [V]. \quad (9)$$

Je potrebné počítať radšej s vyšším záverným napätím, teda s rezervou približne 20 % danou napríklad kolísaním sieťového napätia. [1]

3.2 Jednofázový usmerňovač s kapacitným charakterom zát'aže

Z jednocestných usmerňovačov patrí medzi najpoužívanejší typ. Oproti variantu s odporovou zát'ažou sa líši na prvý pohľad iba paralelne pripojeným kondenzátorom, Obrázok 7. [1]



Obrázok 7: Jednofázový usmerňovač s kapacitným charakterom zát'aže [9]

Časový priebeh výstupného napätia je zložený z dvoch základných úsekov. V dobe, kedy pre vstupné napätie platí vzťah:

$$u_1 > u_D + u_2 [V], \quad (10)$$

dióda je polarizovaná priepustne, napätie na výstupe rastie, pretože je nabíjaný kondenzátor C . Počas tejto doby tiež preteká diódou prúd. Mimo uvedenú dobu je dióda polarizovaná záverne, prúd diódou nepreteká a kondenzátor sa vybíja do zát'aže R_Z [Ω]. Výstupné napätie exponenciálne klesá. Jeho priebeh je teda zvlnený so strednou hodnotou U_{AV} a zvlnením ΔU_2 . Opis možno vidieť na Obrázku 8. [1]



Obrázok 8: Jednofázový usmerňovač s kapacitným charakterom záťaže [1]

Exaktná analýza a návrh uvedeného typu usmerňovača sú pomerne komplikované a využíva sa preto odvodených vzťahov a normovaných grafov. Dióda sa pri takýchto výpočtoch nahrádza linearizovaným modelom (ideálna dióda v sérii s dynamickým odporom). V praxi sa preto často využívajú zjednodušené vzťahy a empirické skúsenosti. Dôraz sa kladie predovšetkým na tieto parametre: [1]

- zvlnenie jednosmerného výstupného napätia
- napät'ové namáhanie diódy
- veľkosť priepustného prúdu diódou (maximálna hodnota pri zapnutí a pri ustálenom stave)
- napätie na záťaži. [1], [2]

Zvlnenie výstupného napätia hodnotíme tzv. činiteľom zvlnenia

$$\delta = \frac{\Delta U_2}{U_{2AV}} * 100 [\%]. \quad (11)$$

Ideálny usmerňovač by mal činiteľ zvlnenia nulový. Tento činiteľ je jedným z kritérií pre posúdenie rozdielu medzi usmerňovačmi. Veľkosť zvlnenia závisí najmä na veľkosti odporu záťaže, frekvencii vstupného napätia a veľkosti kapacity C , ale tiež na vlastnostiach usmerňovacích diód a na veľkosti sekundárneho vinutia transformátora. Usmerňovacia dióda je pri prevádzke namáhaná jednak pri zapnutí usmerňovača, kedy je vybitý kondenzátor a dochádza k veľkému prúdovému impulzu. Dióda je tiež namáhaná v závernom smere, kedy na katódu pôsobí súčet vstupného napätia a napätie nabitého kondenzátora. Na

dióde sa tak môže objaviť až dvojnásobok amplitúdy vstupu $2 * U_{1MAX}$. Je možné ukázať, že pri závernej polarizácii diódy je na katóde približne $2 * U_{2AV}$. Usmerňovaciu diódu teda vyberáme z katalógu tak, aby pre jej záverné napätie platilo: [1], [9]

$$U_R \geq 2 * U_{2AV} [V]. \quad (12)$$

Z Obrázku 8 je zrejmé, že pri zapnutí usmerňovača je prvý prúdový impulz najväčší. Hovoríme, že v obvode vzniká prechodový dej. Je teda potrebné počítať s tým, že pri prvom zapnutí, kedy je vybitý kondenzátor, prechádza maximálny prúd. Jeho veľkosť je obmedzená prakticky iba odporom diódy a odporom sekundárneho vinutia transformátora. Dióda teda musí tento prúd vydržať. [1]

V priebehu ustáleného stavu je maximálna veľkosť prúdových impulzov diódou rovnaká. Táto veľkosť je najviac závislá predovšetkým na veľkosti kapacity kondenzátora. Pri veľkých kapacitách sú impulzy kratšie a ich amplitúda je väčšia. V praxi nás zaujíma jednosmerná (stredná hodnota) prúdu do záťaže I_{RZAV} [A]. Tento prúd má tiež zvlnený charakter. Pri voľbe maxima strednej hodnoty priepustného prúdu diódou sa riadime vzťahom: [1]

$$I_{FMAX} > I_{RZAV} [A]. \quad (13)$$

Veľkosť kapacity filtračného kondenzátora výrazne ovplyvňuje časové priebehy napätia a prúdu. Veľkosť kapacity kondenzátora môžeme voľiť podľa empirického vzťahu:

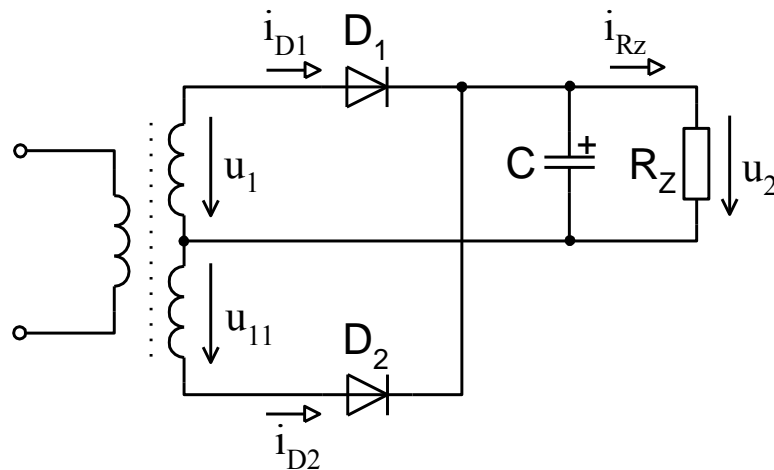
$$C > \frac{300 * I_{RZAV}}{\delta * U_{2AV}} [F], \quad (14)$$

za predpokladu sieťovej frekvencie 50 Hz. [1]

3.3 Jednofázový dvojcestný usmerňovač s diferenčným transformátorom

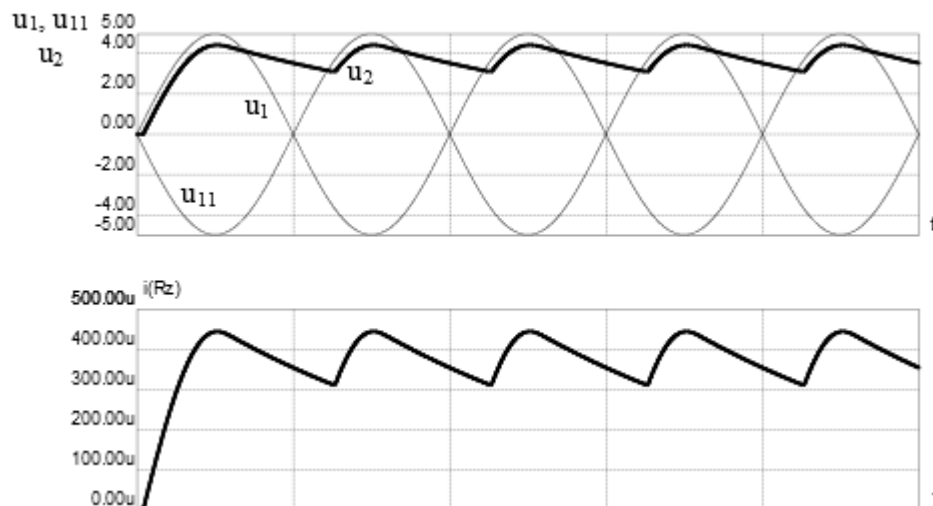
Keďže sa v praxi dvojcestné usmerňovače používajú takmer výhradne v kombinácii s filtračným kondenzátorom alebo tlmivkou, nebudem ďalej uvádzať jednoduchšie varianty s čisto odporovou záťažou.

Snaha o zvýšenie strednej hodnoty výstupného napätia a pokles zvlnenia viedla k vývoju obvodu na Obrázku 9. [1]

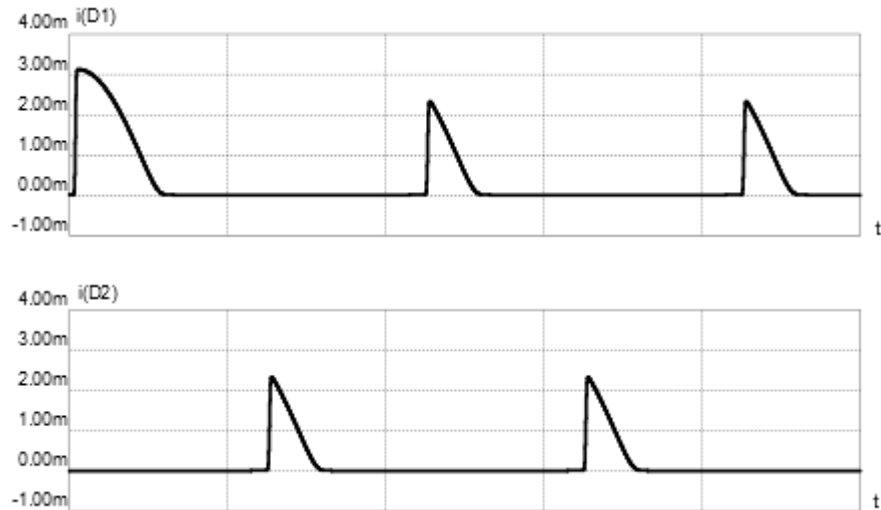


Obrázok 9: Jednofázový usmerňovač s diferenčným transformátorom [9]

Aby bola zachovaná správna činnosť obvodu, je potrebné implementovať do zapojenia transformátor s odbočkou. Transformátor sa správa ako zdroj dvoch harmonických priebehov o rovnakej frekvencii a amplitúde, ale so vzájomným posuvom 180° . Sekundárne vinutie musí byť teda realizované čo najpresnejšie. Z Obrázku 9 je zrejmé, že diódy vedú prúd striedavo. Do doby, kedy nie je žiadna z diód polarizovaná priepustne, napätie na výstupe klesá, kondenzátor sa vybíja do záťaže. Výstupné napätie má taktiež zvlnený priebeh, avšak s polovičným zvlnením a vyššou strednou hodnotou než u jednocestného ekvivalentu. [1], [2]



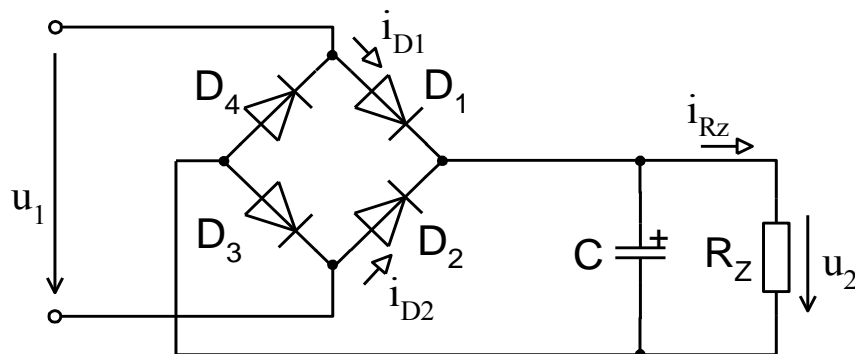
Obrázok 10: Časové priebehy napätia a prúdu tečúceho záťažou z Obrázku 9 [1]



Obrázok 11: Časové priebehy prúdu tečúceho jednotlivými diódami z Obrázku 9 [1]

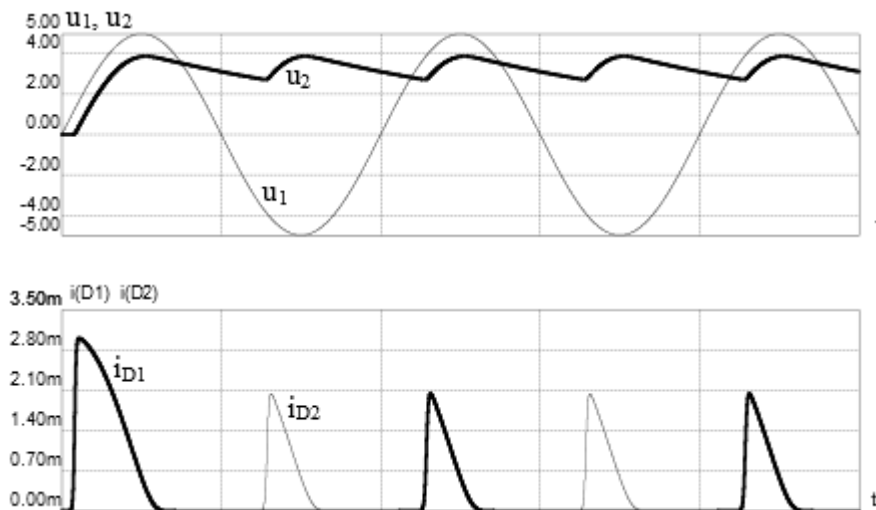
3.4 Jednofázový dvojcestný usmerňovač v mostíkovom zapojení

Usmerňovač uvedený na Obrázku 12 odstraňuje základnú nevýhodu predchádzajúceho typu a to nutnosť dvoch primárnych napätí v protifáze. Toto zapojenie sa zvykne často nazývať Graetzov mostík. [1]



Obrázok 12: Graetzov mostík [9]

Z Obrázku 12 môžeme popísať činnosť obvodu. Počas kladnej polvlny vstupného harmonického napätia sú priepustne polarizované diódy D_1 a D_3 . Prúd teda prechádza cez diódu D_1 do záťaže a cez D_3 späť. V priebehu zápornej polperiódy sa otvoria diódy D_2 a D_4 . V každej polperióde vstupného napätia sú teda v činnosti iba dve diódy. Znamená to, že jednou diódou tečie polovica výstupného prúdu. Časové priebehy prúdu všetkými diódami sú zhodné. Priebeh výstupného napätia je zhodný s predchádzajúcim typom usmerňovača. [1], [9]



Obrázok 13: Časové priebehy napätí a prúdov pre zapojenie z Obrázku 12 [1]

- **Klasifikácia usmerňovačov**

Tabuľka 4 demonštruje rozdelenie usmerňovačov podľa niekoľkých kritérií.

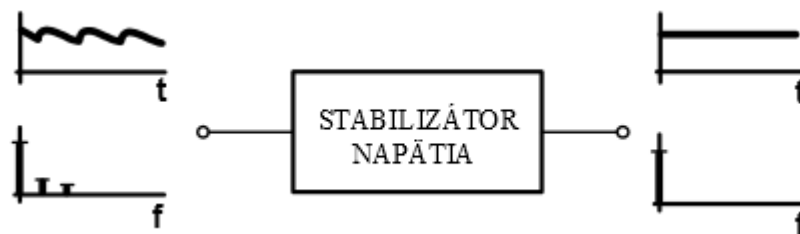
Tabuľka 4: Rozdelenie usmerňovačov [12]

Podľa riaditeľnosti	neriadené (diódové), riadené (tyristorové), poloriadené (diódové + tyristorové), aktívne (tranzistorové +diódové)
Podľa zapojenia	mostíkové, uzlové
Podľa počtu fáz	bez použitia transformátora, s použitím špeciálneho transformátora
Podľa charakteru zát'aže	s odporovou, kapacitnou, induktívnou zát'ažou
Podľa frekvencie vstupu	s frekvenciou siete (50 Hz), iná frekvencia (napr. 400 Hz)
Ďalšie	zdvojovače, násobiče

4 REGULÁCIA VÝSTUPNÉHO NAPÄTIA SIEŤOVÝCH ZDROJOV

4.1 Stabilizátory

Ďalším stavebným blokom sieťových napájacích zdrojov je stabilizátor. Jeho úlohou je stabilizovať hodnotu napätia na svojom výstupe, teda zabezpečiť, aby sa menila čo najmenej pri zmenách vstupného napätia, výstupného prúdu a teploty. Stabilizátory tiež podstatne znižujú zvlnenie, hovoríme, že majú filtračný účinok. Samozrejmovou požiadavkou je, aby bol stabilizátor schopný dodať do záťaže potrebný výkon. Na Obrázku 14 je znázornená iba jedna dôležitá z vlastností, a to odstránenie (v praxi podstatné zníženie) zvlnenia vstupného napätia (uvažujeme ideálny stabilizátor). [13]



Obrázok 14: Ideálny stabilizátor [1]

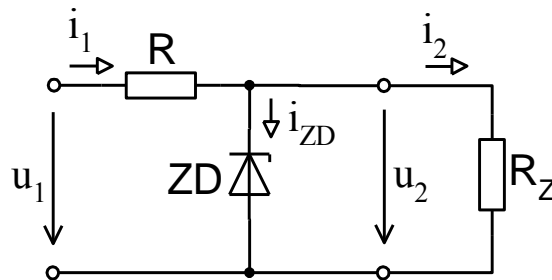
Z hľadiska zvlnenia výstupného napätia sa ideálny stabilizátor napätia správa ako ideálny frekvenčný filter typu dolná priepusť, ale navyše musí dodať potrebný výkon do záťaže. Okrem žiadanej strednej hodnoty by ostatné vyššie harmonické zložky spektra výstupného napätia boli potlačené. V praxi dochádza k podstatnému zmenšeniu ich veľkosti. Stabilizovať môžeme nielen napätie, ale aj prúd, a to voči najrôznejším zmenám a vplyvom, napr. odberu, teplote atď. [13]

4.2 Parametrické stabilizátory

Elektronické zariadenia, ktoré nepotrebujú vysokú presnosť stabilizácie a majú malý prúdový odber, využívajú parametrické stabilizátory. Najčastejšie sú pre tento účel tvorené Zenerovými diódami. Vhodný tvar $V - A$ charakteristiky je pri stabilizácii určujúci. U tohto typu stabilizátorov je podstatný rozdiel medzi hodnotami statického R_S [Ω] a dynamickeho odporu r_d [Ω] v pracovnom bode. Ak platí, že $r_d \ll R_S$, hovoríme o parametrickom stabilizátore napätia. Ak $r_d \gg R_S$, ide o parametrický stabilizátor prúdu. [14]

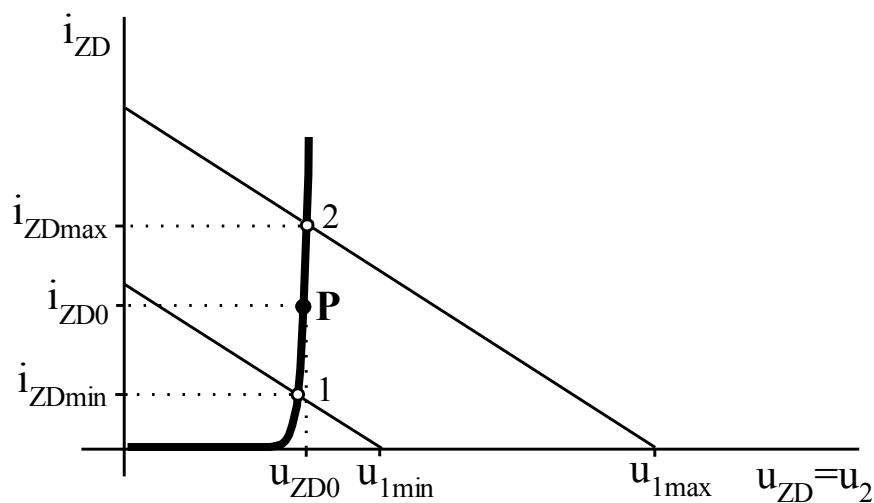
4.2.1 Stabilizátor napätia so Zenerovou diódou

Tento typ stabilizátora využíva k svojej činnosti vlastnosti záverne polarizovanej diódy, u ktorej dochádza pri prekročení istého napätia k neobyčajnému nárastu prúdu diódou. Napätie nazývame Zenerovým napätím. Uvedený jav je spôsobený buď Zenerovým alebo lavínovým javom. Základné zapojenie je znázornené na Obrázku 15. [14], [1]



Obrázok 15: Základné zapojenie stabilizátora so Zenerovou diódou [2]

Na Obrázku 16 je ilustrovaná $A - V$ charakteristika diódy spolu s vyznačením pracovného bodu a jeho medzných stavov, ktorá bude slúžiť k vysvetleniu stabilizačných vlastností.

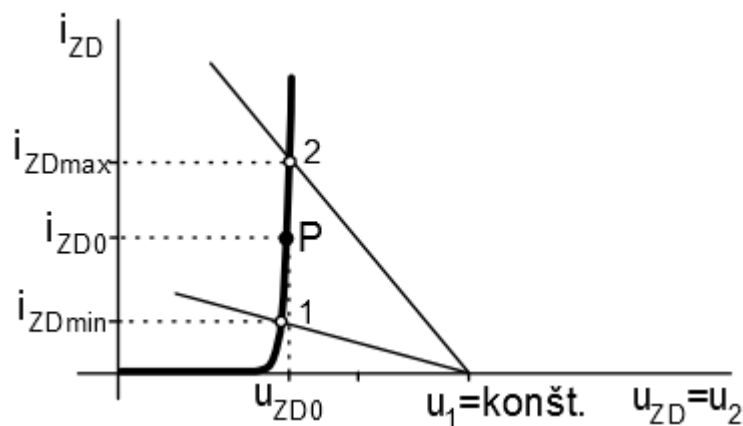


Obrázok 16: $A - V$ charakteristika Zenerovej diódy pri $i_2 = \text{konšt.}$ [1]

Uvažujme prvý prípad, kedy do záťaže tečie konštantný prúd $i_2 = \text{konšt.}$ [A] Pri správnej činnosti obvodu by malo mať vstupné napätie u_1 [V] takú veľkosť, aby napätie na dióde u_{ZD} [V] a prúd diódou i_{ZD} [A] vymedzovali pracovný bod P . Vplyvom zmien vstupného nestabilizovaného napätia u_1 sa však poloha pracovného bodu P mení. Vstupné napätie sa môže meniť len v rozmedzí, aby pracovný bod neprekročil vyznačené body 1 a 2 v charakteristike. Ak poklesne vstupné napätie pod hodnotu u_{1min} , teda P prekročí hranicu

1 smerom dolu, obvod stráca stabilizačné schopnosti. Ak prekročí vstupné napätie hodnotu u_{1max} , diódou potečie príliš veľký prúd a mohlo by dôjsť k zničeniu. Na základe Obrázku 16 môžeme konštatovať, že ak sa bude pracovný bod pohybovať vo vymedzenej oblasti, tak pri pomerne veľkých zmenách prúdu sa úbytok na dióde mení veľmi málo. Obvod vykazuje stabilizačné vlastnosti vzhľadom na zmeny vstupného napätia. [1]

Podobným spôsobom možno vyšetriť i druhý prípad. Vstupné napätie bude konštantné, bude platiť $u_1 = konst.$ a prúd i_2 sa bude meniť. Situáciu znázorňuje Obrázok 17.



Obrázok 17: A-V charakteristika Zenerovej diódy pri $u_1 = konst.$ [1]

Zmeny polohy pracovného bodu P sú spôsobené zmenami prúdu i_2 do záťaže. Ak vzrastie prúd i_2 , potom vzhľadom na vzťah

$$i_1 = i_{ZD} + i_2 [A] \quad (15)$$

dôjde k zmenšeniu prúdu diódou, pretože vstupné napätie sa nemení a napätie na dióde u_{ZD} sa prakticky tiež nemení (iba veľmi málo). Obvod sa tak správa ako zdroj napätia. V medznom prípade poklesne prúd diódou tak, že pracovný bod prekročí hranicu 1 (príliš veľký prúd do záťaže). Analogické správanie bude v prípade poklesu prúdu do záťaže, teda pri náraste prúdu diódou. Znovu hrozí v krajnom prípade prekročenie bodu 2 charakteristiky (najviac pri odpojení záťaže). Tiež tu platí, že ak sa bude bod P pohybovať vo vymedzenej oblasti, obvod bude vykazovať stabilizačné vlastnosti vzhľadom na zmeny prúdu do záťaže. [1]

Kvalitu stabilizátora hodnotíme dvoma parametrami. Ide o činiteľ stabilizácie napätia a vnútorný odpor stabilizátora. Činiteľ stabilizácie je definovaný vzťahom:

$$S_U = \frac{\frac{\Delta u_1}{u_1}}{\frac{\Delta u_2}{u_2}} [-], \quad i_2 = \text{konšt.} [A], \quad (16)$$

kde $u_1 [V]$ a $u_2 [V]$ sú stredné hodnoty vstupného a výstupného napätia (obe zvlnené). Symboly Δu_1 a Δu_2 označujú zmeny zvlnenia týchto napätí. Činiteľ stabilizácie vyjadruje koľkokrát stabilizátor znižuje relatívne kolísanie vstupného napätia. Čím je hodnota S_U väčšia, tým viac znižuje zvlnenie. [2]

4.3 Regulátory

Princíp parametrických stabilizátorov naznačený v predchádzajúcej kapitole využíva k stabilizácii vhodný tvar prevodnej charakteristiky nelineárneho prvku, napr. Zenerovej diódy. Pre stabilizáciu je však možné využiť aj iný spôsob, konkrétne použitie regulačného obvodu. Úlohou regulačného obvodu bude snímať veľkosť výstupného napätia s využitím referenčného napätia, vyhodnotiť jeho odchýlku od požadovanej (nastavenej) hodnoty a podľa veľkosti či znamienka tejto odchýlky zaistiť dostavenie hodnoty výstupného napätia. V praxi majú tieto typy stabilizátorov podobu integrovaných obvodov, ktoré sa implementujú v základných prevedeniach tromi svorkami. Odtiaľ vzniká aj ich ďalší názov troj-svorkové stabilizátory. [15]

- **Hlavné časti troj-svorkových stabilizátorov**

- zdroj referenčných napätí často s využitím Zenerových diód a zdrojov prúdu
- rozdielový (diferenčný) zosilňovač, ktorý zosilňuje odchýlku medzi požadovaným výstupným a referenčným napätím
- výkonový regulačný člen zaisťujúci korekciu výstupného napätia podľa regulačnej odchýlky [1]

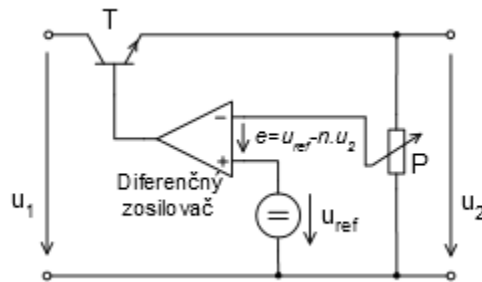
4.3.1 Princíp činnosti troj-svorkových stabilizátorov

Na Obrázku 18 a Obrázku 19 sú uvedené dva základné princípy regulátorov. V súlade s vyššie uvedeným obsahujú zdroj referenčného napätia a rozdielový zosilňovač, ktorý vhodne zosilňuje regulačnú odchýlku

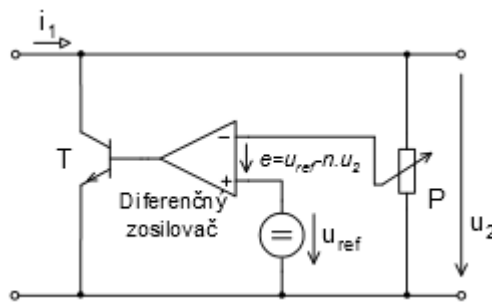
$$e = u_{ref} - n * u_2 [V] \quad (17)$$

medzi požadovaným výstupným napätím a napätím referenčným. Podľa veľkosti a povahy tejto regulačnej odchýlky tak zaistí korekciu výstupného napätia na nastavenú hodnotu

pomocou výkonového regulačného člena. Regulácia prebieha v čase spojito (spojito regulované stabilizátory). Tieto obvody obsahujú nutne spätnú väzbu, preto sa niekedy tiež nazývajú spätnoväzbové stabilizátory. V praxi je častejšie používaný princíp sériovej regulácie. Na tieto obvody sa dá tiež nahliadať ako na kaskádové spojenie zdroja referenčného napätia a výkonového zosilňovača so silnou napät'ovou zápornou spätnou väzbou. [1], [13]



Obrázok 18: Princíp činnosti lineárnych stabilizátorov so sériovou reguláciou [13]



Obrázok 19: Princíp činnosti lineárnych stabilizátorov s paralelnou reguláciou [1]

Zdrojom referenčného napätia býva vhodne zapojená Zenerova dióda často v kombinácii so zdrojom konštantného prúdu. Obrázok 18 a Obrázok 19 je potrebné chápať iba principiálne. Úplné schémy vnútorných zapojení obsahujú tiež kompenzačné a ochranné obvody, vyznačujúce sa naviac veľkou variabilitou. Výsledkom je, že užívateľ má k dispozícii jednoducho aplikovateľnú súčiastku s pomerne dobrými parametrami z hľadiska stabilizácie, prúdového odberu, teplotnej kompenzácie atď. [3]

Je vidieť, že pri sériovej regulácii je obvod napájaný zo zdroja napätia a výkonový regulačný člen, často výkonový tranzistor zapojený ako lineárny prvok, je v sérii so zdrojom vstupného napätia. V prípade paralelnej regulácie je obvod budený zo zdroja prúdu a regulačný člen je potom zapojený paralelne k vstupu. [3]

4.4 Klasifikácia stabilizátorov

V Tabuľke 5 je uvedené rozdelenie stabilizátorov podľa niekoľkých kritérií.

Tabuľka 5: Rozdelenie stabilizátorov [2], [15]

Podľa použitých prvkov	nelineárne (parametrické), lineárne (spätoväzbové)
Podľa času činnosti regulačných prvkov	spojité, nespojité (impulzné)
Podľa spôsobu prepojenia vstupu a výstupu (iba pre nespojité)	s galvanickým prepojením (impulzné stabilizátory), s galvanickým oddelením (impulzné regulované zdroje)
Podľa stabilizovanej obvodovej veličiny	stabilizátory napätia, stabilizátory prúdu

II. PRAKTICKÁ ČASŤ

5 ÚVOD DO PRAKTICKEJ ČASTI

Úvodom do praktickej časti by bolo vhodné uviesť niekoľko slov k dôvodom výberu tejto témy bakalárskej práce a tiež aj k požadovaným cieľom. Téma tohto projektu bola zvolená predovšetkým z dôvodu potreby regulovateľného sieťového napájacieho zdroja s nastaviateľným rozsahom napätia a prúdového obmedzenia. Potreba zariadenia je zrejmá. Regulovateľný zdroj je základným vybavením prakticky každého meracieho pracoviska či amatérskej elektrodiele. Prúdové obmedzenie je veľmi užitočná súčasť zdroja, ktorá dokáže uchrániť elektrické zariadenie pred deštrukciou pri výskyte nejakej chyby. Pri zvažovaní kúpy hotového regulovateľného zdroja sa naskytla otázka, či by nebolo pre mňa výhodnejšie si takýto zdroj sám navrhnuť a skonštruovať. K rozhodnutiu zrealizovať si zdroj ma viedlo niekoľko dôvodov. Jedným z dôvodov, ktorým som bol motivovaný je, že zdroj podobných parametrov je dostupný po stránke výkonovej aj kvalitatívnej v oveľa vyššej cenovej relácii. Ďalším faktorom, ktorý ma v myšlienke podporil, bola znalosť návrhového systému Eagle, v ktorom by bolo možné zariadenie navrhnuť. Keďže mám doma aj menšiu elektrodieleň vybavenú rôznym praktickým príslušenstvom, rozhodol som sa tieto plusy zžiť. V nasledujúcej kapitole bude ilustrácia blokovej schémy a schémy zapojenia. Ďalšia časť bude venovaná softwaru Eagle a práci v ňom. Následne bude predstavená použitá metóda výroby plošného spoja, osadenie súčiastok a samotné oživenie zariadenia. Záverom budú prezentované výsledky meraní uskutočnené na zariadení a zhodnotenie výsledkov.

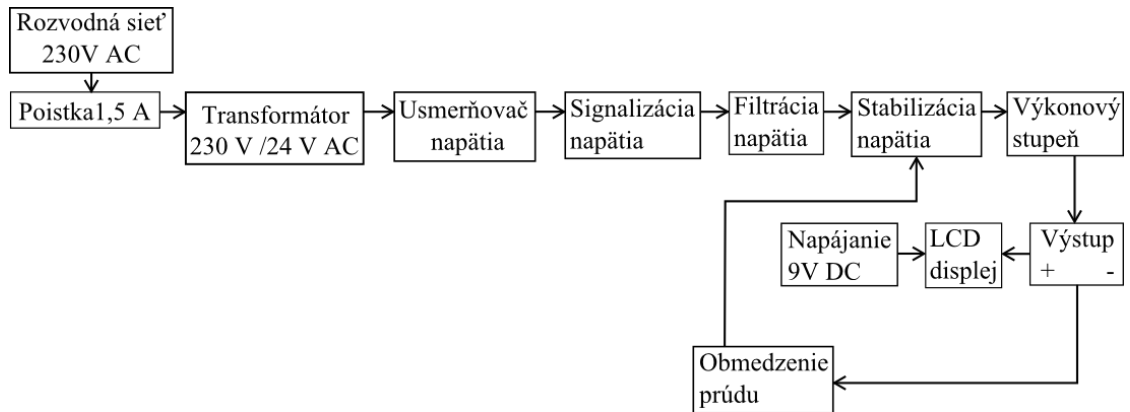
6 NÁVRH NAPÁJACIEHO ZDROJA

Na vstupe zdroja je striedavé napätie 230 V získané zo siete, ktoré je privedené na toroidný transformátor cez ochrannú poistku. Sekundárne vinutie transformuje 230 V AC na 24 V AC. Takto transformované striedavé napätie je ďalej privedené do usmerňovača, ktorý je tvorený pomocou 4 diód typu 1N5408 zapojených do Graetzovho mostíka. Upravený jednosmerný signál je následne privedený na zelenú LED diódu LED1 cez predradný rezistor, aby bolo zrejmé, že zariadenie je v prevádzke. Na výstupe usmerňovača je napätie, ktoré v čase nemení polaritu, ale jeho okamžitá hodnota sa však mení. Odstrániť alebo aspoň potlačiť zmeny výstupného napätia zabezpečujú filtračné kondenzátory C2 a C3 s kapacitou 2200 μF . Tieto kondenzátory hromadia náboj a dodávajú ho do záťaže (vybíjajú sa) v čase, keď napätie na transformátore klesne, prípadne zmení polaritu. Zvlnenie výstupného napätia výrazne klesne a narastie jeho stredná hodnota. Zdroj funguje na princípe jednosmerného zosilňovača s nemenným zosilnením. Referenčné napätie je získavané pomocou napäťovej referencie TL 431. Stabilita tejto referencie je oveľa lepšia než u bežne používanej Zenerovej diódy. Referenčné napätie 2,5 V sa cez potenciometer na reguláciu napätia privádza na vstup operačného zosilňovača IO1A. Ten je zapojený ako neinvertujúci zosilňovač. Zosilnenie ide vyjadriť vzťahom:

$$A = 1 + \frac{R_{16}}{R_{17}} [V], \quad (18)$$

čo je v tomto zapojení $A = 13$. Výstupné napätie teda môže dosiahnuť až $13 * 2,5 \text{ V} = 32,5 \text{ V}$. Aby sa operačný zosilňovač napätia nerozkmital, je pre striedavé prúdy blokovaný keramikými kondenzátormi. Prúd pretekajúci záťažou je snímaný rezistorom R_{15} . Úbytok napätia na tomto rezistore je privádzaný na invertujúci vstup operačného zosilňovača IO1B, kde je toto napätie porovnané s referenčným napätím, ktoré je regulovateľné pomocou potenciometra pre prúdové obmedzenie. Ak je napätie na bočníku vyššie než referenčné napätie nastavené potenciometrom pre prúdové obmedzenie, výstup IO1B začne klesať smerom k zápornému napätiu. Tým začne pretekať prúd cez diódu D7. To zapríčiní zníženie napätia na vstupe napäťového zosilňovača. Dôjde k zníženiu výstupného napätia zdroja na takú úroveň, kedy je napätie na záťaži tak malé, aby cez rezistor R_{15} tiekol požadovaný prúd nastavený potenciometrom P1. Zdroj teda pracuje v režime konštantného prúdu. Obmedzenie výstupného prúdu je indikované rozsvietením LED2. Na tranzistore T4 vzniká výkonová strata približne 90 – 100 W vtedy, keď nastavíme na zdroji plný výstupný prúd

a skratujeme výstup zdroja. Z tohto dôvodu bolo nutné tento tranzistor umiestniť na dostatočne veľký chladič. Uvedené označovanie súčiastok odpovedá označeniu v prílohe P I.



Obrázok 20: Bloková schéma kompletného zdroja

7 NÁVRH SCHEMY A PLOŠNÉHO SPOJA PRE ZDROJ

V dnešnej dobe sa pri kreslení schém a návrhu dosiek plošných spojov (DPS) ustupuje od ručného návrhu a takmer výhradne sa používajú počítačové programy CAD (Computer Aided Design). Tieto programy zbavia konštruktéra otrockej práce. Zabezpečia, že nakreslená čiara je rovná, kolíčko guľaté, správne rozteče vývodov a normované rozmery súčiastok. Je potrebné uvedomiť si, že návrhové systémy sú značne drahé a preto je potrebné ekonomicky zvážiť výhodnosť nákupu. Návrhových systémov je k dispozícii celý rad. Keďže mám isté skúsenosti so softvérom Eagle a tento program má aj freeware verziu Light, rozhodol som sa preň. Eagle je veľmi rozšíreným systémom pre návrh plošných spojov. Systém vyvíja a stále zdokonaľuje nemecká firma CadSoft. [20]

CadSoft Computer je súčasťou skupiny Premier Farnell, špičkového svetového distribútora elektronických súčiastok, výrobkov a služieb. Špecializuje sa na vývoj populárneho CAD softwaru Eagle, používaného konštruktérmi na celom svete už dlhšie než 20 rokov. Eagle je užívateľsky prívetivý, výkonný softvér pre efektívny návrh DPS, kde pod jediným rozhraním zahŕňa moduly editoru schém, editor rozloženia a modul automatického vedenia spojov. [21]

7.1 Eagle

V nasledujúcich podkapitolách je rozobraný metodický postup základnej práce v programe Eagle 5.6.0 Light edition. Prvá podkapitola ilustruje návod od spustenia programu až po popis hlavného panelu. Nasledujúce dve podkapitoly popisujú základný postup použitý pri vlastnom návrhu v jednotlivých editoroch návrhového systému.

7.1.1 Spustenie návrhového systému a hlavný panel

Spustenie programu je možné previesť dvoma spôsobmi :

- ponuka ŠTART/PROGRAMY/EAGLE ...
- pomocou zástupcu na pracovnej ploche.

Ovládanie jednotlivých častí systému je možné niekoľkými spôsobmi a závisí na voľbe užívateľa. Prakticky sú možné nasledujúce spôsoby a kombinácie :

- myš – kurzor – ikona
- z roletového menu pomocou myši
- zadaním príkazu z klávesnice

- kombinácia predchádzajúcich spôsobov.

- **Popis hlavného panelu**

Na obrazovke sa nám objaví Hlavný panel (Control panel - CP). Umožňuje nám previesť základné nastavenia, prechádzať medzi jednotlivými editormi a zložkami, sme informovaní o verzii systému.

Najviac nás bude zaujímať nastavenie, prechod do SCH E, E PCB, zložka projektov (Projects) a Libraries (Knižnice súčiastok).

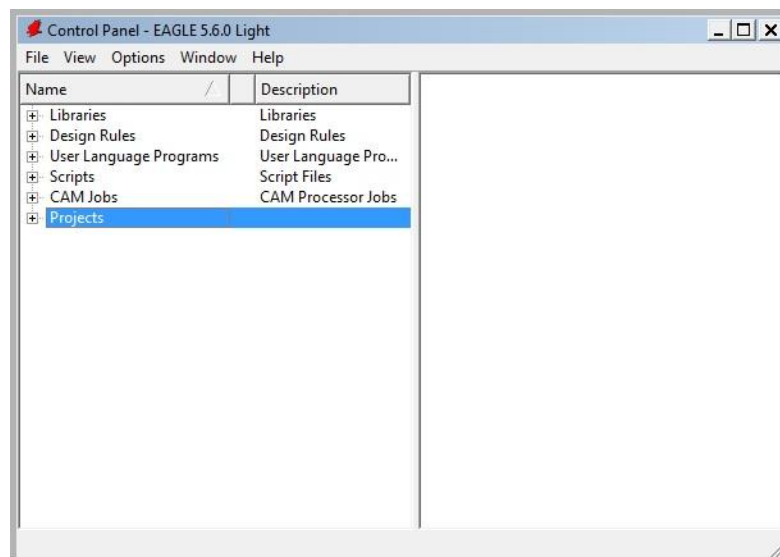
Pre základnú prácu sú podstatné nasledujúce položky menu :

File - otváranie editorov pre vytvorenie (načítanie) nových (vytvorených) projektov, schém, dosiek a knižníc.

Options – nastavenie ciest k súborom (Directories), počet vytváraných kópií a nastavenie času automatického zálohovania súborov (Backup), nastavenie pracovného prostredia editorov (User interface).

Help – nápoveda.

Pohľad na otvorené okno Hlavného panelu je uvedený na Obrázku 21.



Obrázok 21: Okno hlavného panelu

7.1.2 Postup práce v schematickom editore

Ďalší postup pri vytvorení novej schémy závisí na užívateľovi, existujú dva spôsoby. Prvý cez založenie projektu a druhý cez vytvorenie schémy – **CP/File/New/Schematic**.

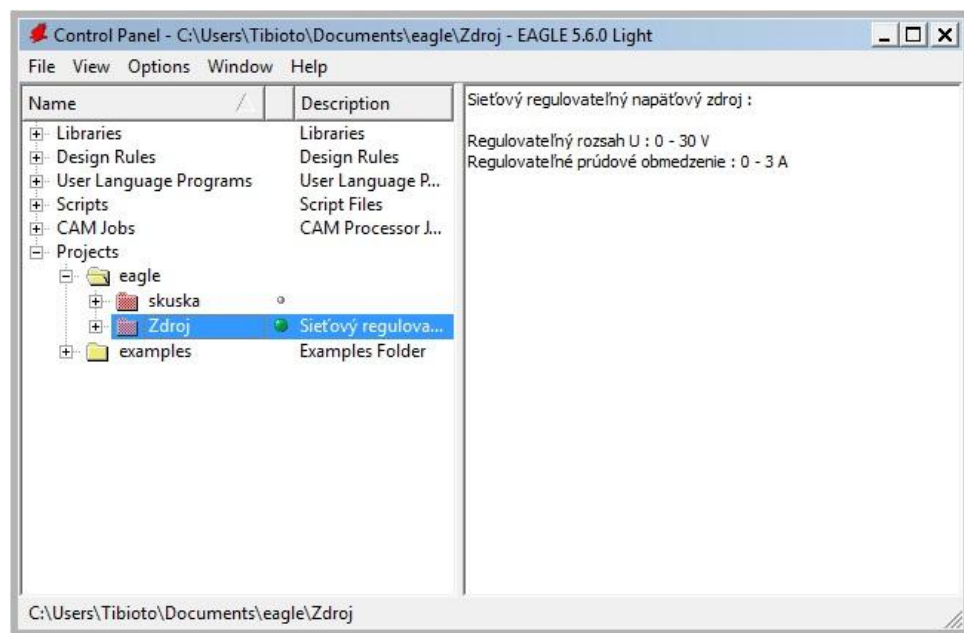
Pri úprave už skôr vytvorenej schémy sa postupuje podobne, akurát sa použije iná cesta - **CP/File/Open/Schematic/umiestnenie/názov_suboru (*.sch)**.

- **Založenie projektu**

Vytvorenie nového projektu sa uskutočňuje v Control paneli (CP) nasledujúcim spôsobom. Pravým tlačidlom myši (PTM) sa vyberie adresár, kde bude projekt umiestnený, napr. zložku Projects.

V kontextovom okne je potrebné vybrať príkaz New Project, kde užívateľ napíše názov projektu. Pre lepšiu orientáciu je možné celý projekt popísať – PTM/ Edit Description a v spodnom okne uviesť napríklad ďalšie údaje o parametroch a konštrukcii. Všetky vytvorené súbory k danému obvodu sa budú automaticky ukladať do tejto zložky. Podľa zobrazeného zeleného bodu užívateľ zistí, ktorý projekt je aktívny. Kliknutie ľavým tlačidlom myši (LTM) na zelený bod umožňuje projekt deaktivovať.

Založenie projektu **Zdroj** v prostredí Control panelu (CP) je ukázané na Obrázku 22.



Obrázok 22: Založenie projektu

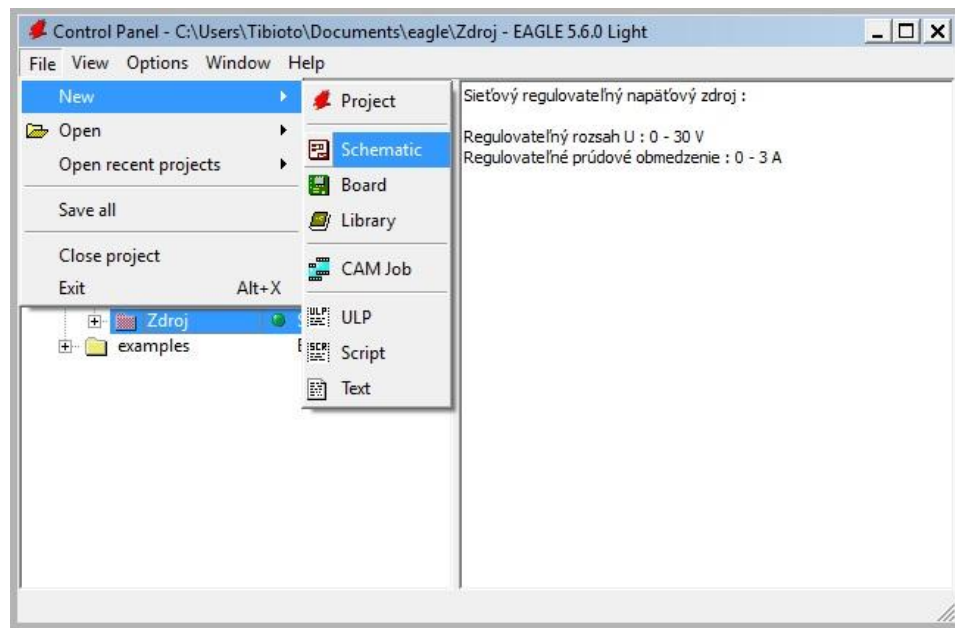
- **Prechod z CP do schematickeho editoru a jeho nastavenie**

Je možný tiež druhý spôsob bez vytvorenia projektu. Využíva sa CP a postupuje sa takto:

- vytvorenie novej schémy – **File/New/Schematic**

- načítanie už skôr vytvorenej schémy napríklad pre editáciu – **File/Open/Schematic**.

Situácia na CP pri vytváraní novej schémy je na Obrázku 23. Následne sa zobrazí pracovné prostredie SCH E. Pri podržaní kurzoru na ikone sa zobrazí jej názov a vľavo dolu popis toho, čo daná ikona vykonáva.



Obrázok 23: Vytvorenie novej schémy

7.1.3 Základy práce v editore plošného spoja

Pred vytvorením dosky sa odporúča previesť elektrická kontrola schémy, ktorá by mala ušetriť veľa úprav na hotovej doske. Je dobré si tiež uvedomiť, že návrhový systém zaisťuje kontrolu dodržovania väzieb medzi editormi. Pri zmene v jednom editore sa zmena prejaví v druhom editore.

- **Spôsoby prechodu do editoru plošného spoja**
 1. **Štandardný** – je vytvorená schéma zapojenia v SCH E a použijeme ikonu „prepínanie SCH E/E PCB“ (BOARD), automaticky sa spustí E PCB.
 2. **Načítanie (úprava) už vytvorenej DPS – CP/Open/BOARD.**
 3. **Tvorba DPS bez vytvorenia schémy – CP/New/BOARD.**

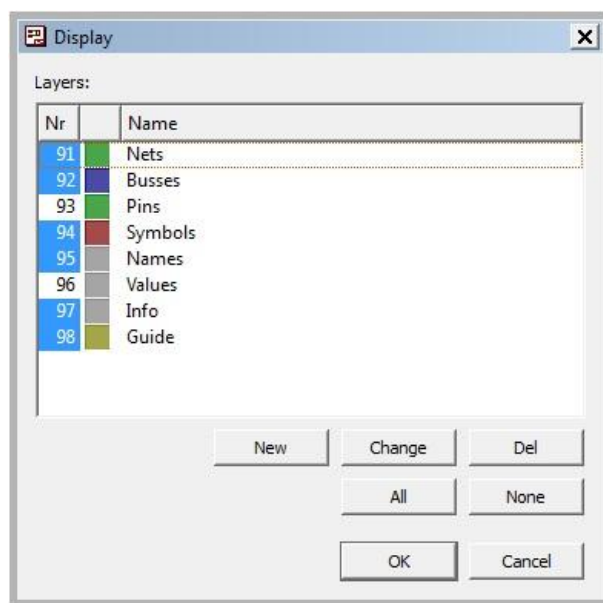
- **Popis pracovného prostredia E PCB**

Po aktivácii ikony BOARD sa ihned' spustí E PCB. Pracovné prostredie a spôsob ovládania je podobné schematickému editoru.

7.2 Vlastný návrh schémy a plošného spoja

Na základe vyššie popísanej kapitoly 7.1 som si vytvoril v CP nový projekt a začal s návrhom schémy sieťového regulovateľného zdroja.

Všetky informácie v editoroch sú rozdelené do kresliacich hladín, z ktorých je možné neskôr zložiť fyzické hladiny plošného spoja. Preto je potrebné nastaviť ich farby a zobrazenie. Toto nastavenie uskutočníme ikonou **Display**, okno je znázornené na Obrázku 24.



Obrázok 24: Okno Display

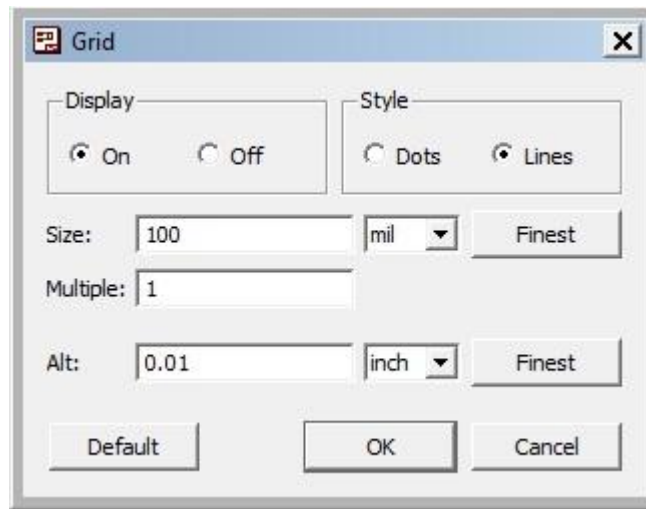
V SCH E sú nasledujúce hladiny. Najdôležitejšie uvádzam v Tabuľke 6 .

Tabuľka 6: Význam jednotlivých hladín

91	Nets	spoje
92	Busses	zbernice
93	Pins	vývody súčiastok
94	Symbols	schematické značky
95	Names	mená súčiastok
96	Values	hodnoty/typy súčiastok

Nastavenie prekladacieho rastru je pre ďalšiu prácu v oboch editoroch dôležité. Prakticky je to vytvorenie siete bodov, na ktoré sa budú ukladať vývody súčiastok, spoje a ďalšie

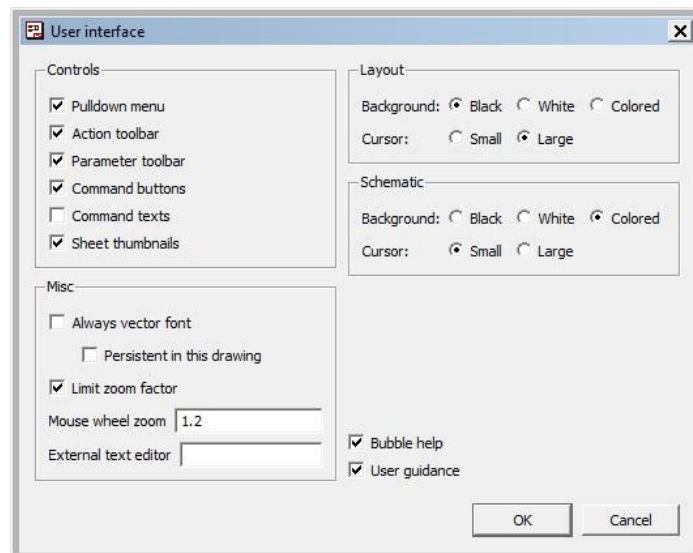
objekty v schéme i na doske. Po tomto rastru sa bude pohybovať i kurzor. Pre nastavenie je treba použiť ikonu **GRID** uvedenú na Obrázku 25.



Obrázok 25: Okno Grid

Boli zvolené palcové jednotky (mil), kde $100 \text{ mil} = 2.54 \text{ mm}$. I keď sa to môže na prvý pohľad javiť zbytočne zložitú, ide o nadväznosť na E PCB, kde rozmery súčiastok sú v palcových jednotkách.

Ďalej bolo potrebné nastaviť si farbu pracovnej plochy a typ kurzoru SCH E (rovnako i v E PCB) príkazom **Options/User Interface**. Pre zníženie namáhania očí som zvolil nasledujúce nastavenie zobrazené na Obrázku 26.



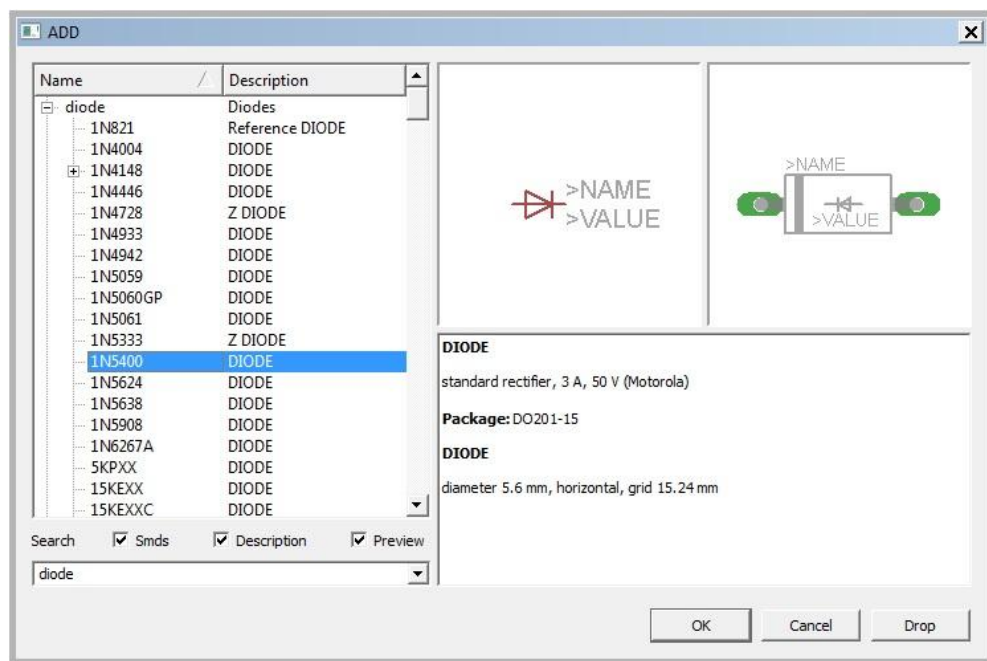
Obrázok 26: Nastavenie farby pracovnej plochy a typu kurzoru

- **Ohraničenie pracovnej plochy**

Ohraničením pracovnej plochy sa dá predísť neskorším problémom pri záverečnej grafickej úprave budúcej schémy. Môže sa stať, že vytvorenú schému neumiestním do zvoleného formátu a musel by som ho znovu zdĺhavo upravovať. Formát vyberiem z knižnice a umiestnim na pracovnú plochu nasledujúcim spôsobom: **ADD/frames/DINA3_L/OK**.

- **Umiestnenie objektov na plochu**

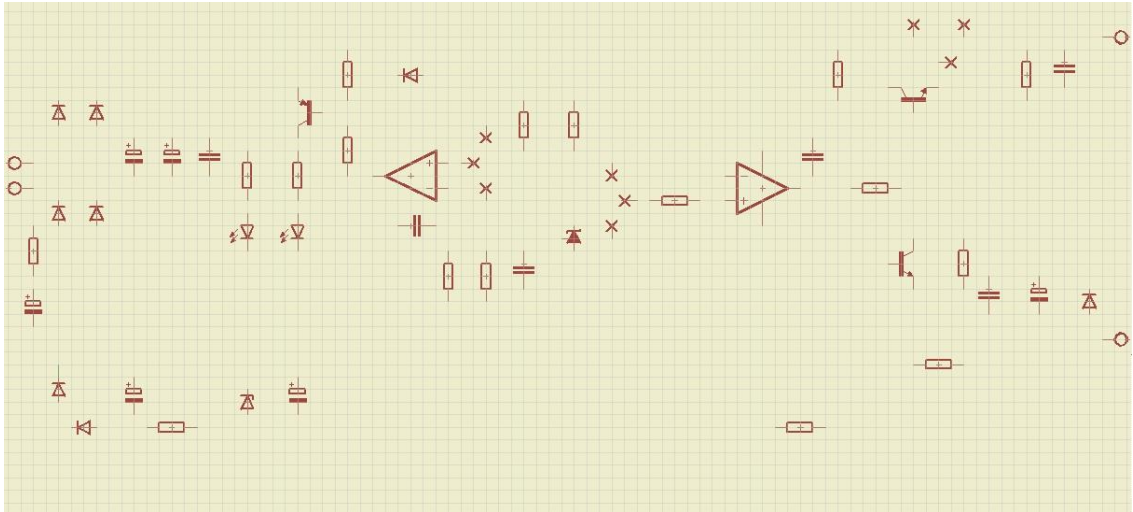
Všetky súčiastky sú uložené v knižniciach. Knižnice sú organizované podľa typu súčiastok alebo podľa výrobcov pomocou stromovej štruktúry. Na Obrázku 27 je zobrazený príklad rozvinutej knižnice diód.



Obrázok 27: Rozvinuté okno knižnice diode

Listovaním v knižnici nachádzame súčiastku v odpovedajúcom puzdre. Schematická značka, puzdro vybranej súčiastky a popis (knižnica, typ puzdra, rozmery puzdra, ...) sú zobrazené v pravej časti. Súčiastka z knižnice musí odpovedať súčiastke z katalógu, obchodu, skladu. Tu je preto nutné myslieť dopredu na návrh plošného spoja, na konštrukciu obvodu.

Týmto spôsobom si všetky potrebné súčiastky po typoch vyvolám z knižnice a rozmiestním do svojho pracovného poľa. Situácia je znázornená na Obrázku 28.

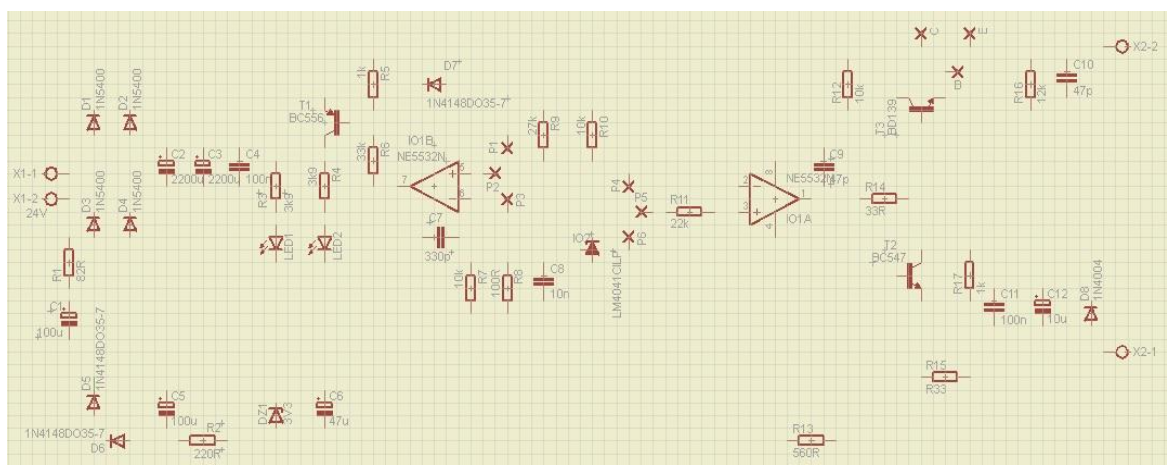


Obrázok 28: Rozmiestnenie súčiastok na pracovnom poli

Pri vkladaní súčiastok bolo potrebné zapnúť mriežku (napr. pomocou F6). Súčiastky som sa snažil umiestňovať symetricky, vyrovnané v horizontálnej a vertikálnej rovine pomocou ikony **Move**. Uchopením súčiastky za uchopovaciu značku a následným tlačidlom PTM som zabezpečil požadovanú rotáciu.

- **Editácia súčiastok**

Každá súčiastka musí byť presne definovaná (i pre budúci prechod do editoru plošných spojov) menom **Name** a hodnotou **Value**. Pre aktiváciu bolo potrebné kliknúť PTM na uchopovaciu značku, rozkliknúť **Properties** a nastaviť definíciu. Ilustrácia je na Obrázku 29.



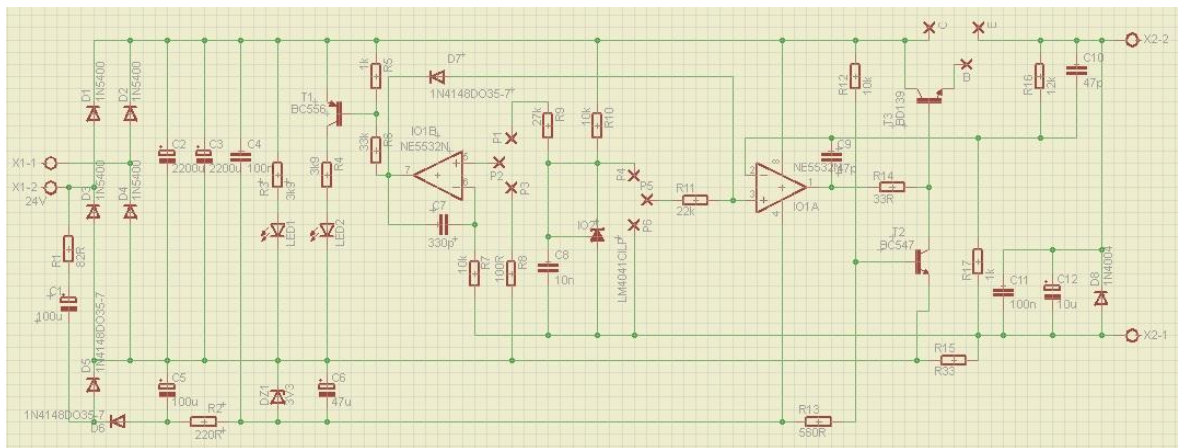
Obrázok 29: Nastavenie mena a hodnoty k jednotlivým súčiastkam

- **Prepojenie súčiastok**

K prepojeniu vývodov súčiastok som použil ikonu **Net**. Postup bol nasledovný:

- ikona **Net** – ikona spoja (kurzor) na vývod súčiastky a LTM
- štýl vedenia spoja sa mení pomocou PTM
- ukončenie segmentu spoja (zlom, roh) – LTM
- koniec spoja na vývode súčiastky – LTM.

Po ukončení spoja na inom spoji sa automaticky zobrazí spojovací bod **Junction**. Výsledná schéma je zobrazená na Obrázku 30. Originál pôvodnej schémy, ktorou som sa inšpiroval, uvádzam k nahliadnutiu na [22].



Obrázok 30: Schéma po výslednej grafickej úprave

- **Prechod do editoru plošného spoja**

Za pomoci postupu popísaného v kapitole 7.1.3 sa dostávame do editora plošného spoja. Na pracovnej ploche je už vidieť puzdrá súčiastok, ktoré obsahuje navrhnutá schéma. Jednotlivé vývody sú prepojené „gumovými spojmi“. Automaticky sa zobrazuje obrys dosky, jej rozmer je podľa verzie, ktorá sa používa (LIGHT 80 x100 mm).



Obrázok 31: Puzdrá súčiastok a gumové spoje

- **Nastavenie prostredia E PCB**

Podobne ako v schematicom editore je potrebné nastaviť hodnotu mriežky. Popis prostredia **Grid** a jeho nastavenie som popísal vyššie. Parameter **Size** bol v tomto bode nastavený na doporučenú hodnotu 50 mil.

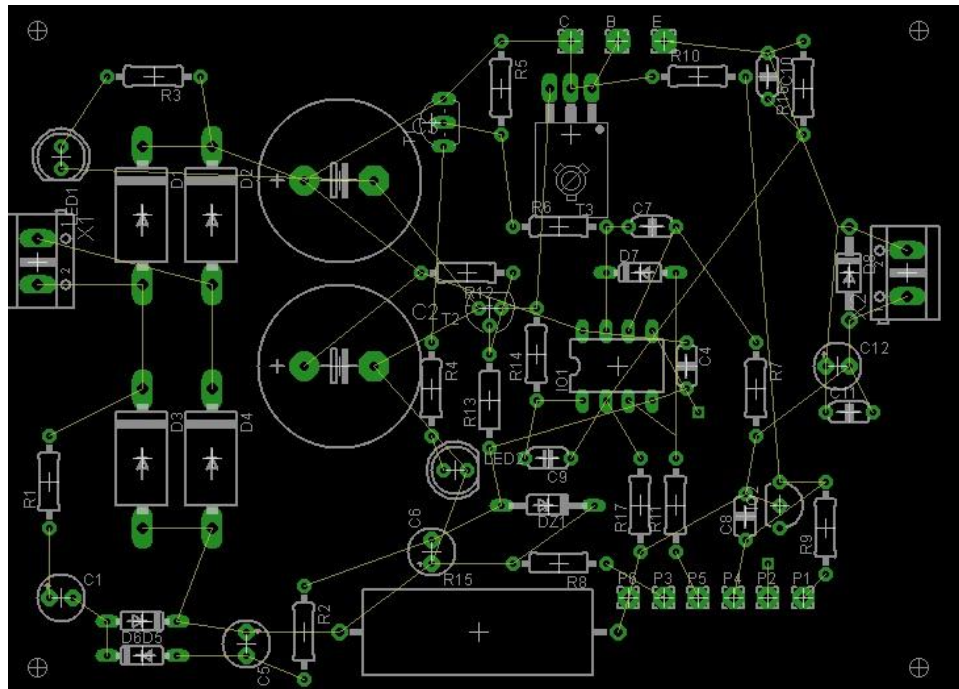
Nastavenie viditeľnosti a farieb jednotlivých hladín pomocou ikony **DISPLAY** je obdobné. Hladín je však viac než v predchádzajúcom editore. Je potrebné uvedomiť si, že pred nami na monitore je pohľad zo strany súčiastok.

- **Kontrola a prípadná zámena puzdier súčiastok**

Následne bolo potrebné vykonať kontrolu úplnosti puzdier, či všetky prešli zo schémy a všetky ich vývody sú prepojené gumovými spojmi. Pozornosť je potrebné venovať rozmerom puzdier. Prípadnú zámenu je možné riešiť príkazom **Replace**. Pred použitím ikony je vždy treba vypnúť SCH E, inak by zámena nebola možná.

- **Rozmiestnenie puzdier súčiastok**

Pri rozmiestňovaní puzdier bola použitá mriežka **Size** = 50 mil. Puzdrá súčiastok boli presúvané za pomoci ikony **Move**, pričom bolo potrebné rešpektovať vedenie gumových spojov. Možný navrhnutý variant rozmiestnenia a pohľad na dosku je na Obrázku 32.



Obrázok 32: Vlastný variant rozmiestnenia puzdier

- **Určenie obrysu novej DPS a náhrada gumových spojov**

V tomto bode, keď už sú puzdrá súčiastok a uchyťavacie otvory vhodne rozmiestnené, je možné vytvoriť obrys. Pred vytvorením obrysu budúcej dosky je vhodné príkazom **Delete** vymazať automaticky nastavený obrys dosky a vytvoriť nový. Rozmery dosky budú 10 cm x 8 cm.

- **Prepojenie vývodov puzdier**

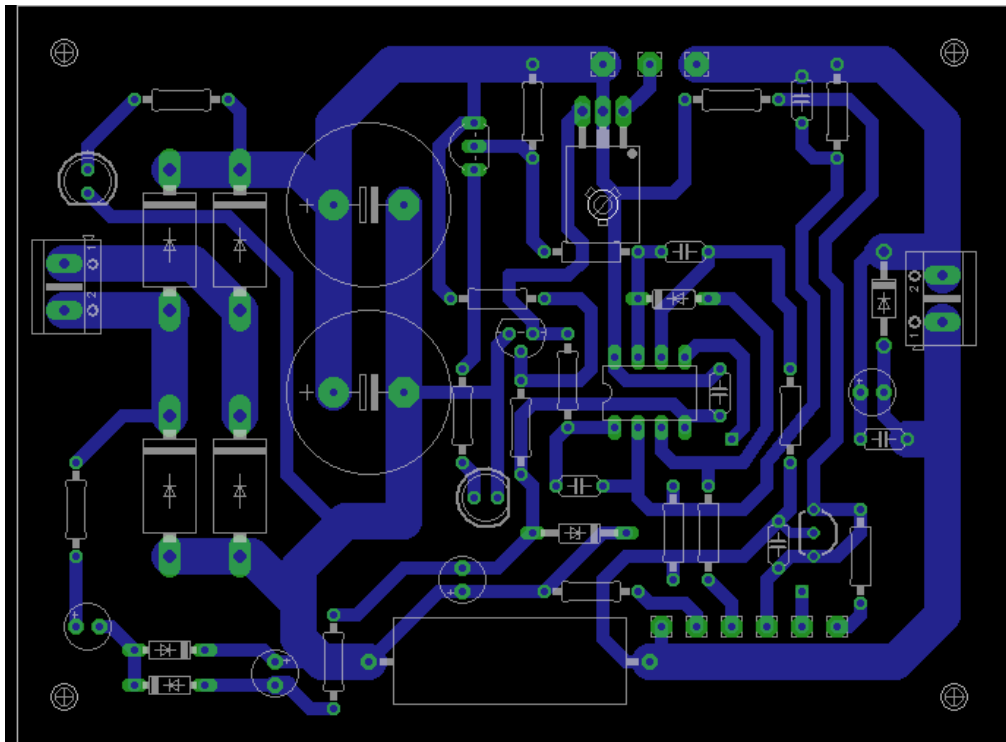
Existuje niekoľko spôsobov ako vytvoriť motív plošného spoja. V mojom návrhu bol použitý ručný spôsob, kde bol postup nasledujúci:

- ikona **Route**/hladina 16 – Bottom (strana spojov - štandardne modrá farba)/**Width** (šírka spoja)/spôsob vedenia spoja je rovnaký ako u vedenia spojov v SCH E
- návodom sú predpripravené vzdušné spoje vývodov puzdier súčiastok (hladina 19), pre prehľadnosť bolo dobré vypnúť hladinu Name 25 a 26.

Šírka plošných vodičov je závislá na prúde, hrúbke Cu fólie a dovolenom oteplení. Preto bolo potrebné nastavovať rôznu šírku vybraným častiam spoja pomocou ikony **Change**. Pri vedení plošných spojov som sa snažil držať niekoľkých základných zásad:

- zo spájkovacieho bodu sa vychádzalo horizontálnym a vertikálnym smerom a až potom sa zalamovalo
- rohy spojov sú skosené pod uhol 45° .

Na Obrázku 33 je zobrazený celkový pohľad na variant navrhnutej dosky zdroja po grafickej úprave, pre názornosť sú niektoré hladiny vypnuté. Originál pôvodnej dosky plošného spoja, ktorou som sa inšpiroval, uvádzam na [22].



Obrázok 33: Celkový pohľad na navrhnutú dosku plošného spoja

8 VÝBER VHODNÝCH SÚČIASTOK

V Tabuľkách 7,8,9 je zobrazený súpis všetkého materiálu, ktorý bol potrebný k realizácii napäťového zdroja.

Tabuľka 7: Vnútro skrinky

Popis	Označenie	Hodnota	Cena s DPH [€]
Toroidný transformátor	T1	230/24 V, 100 VA	[-]
Výkonový tranzistor	T4	2N3055	2,80
Chladič	A1	110 x 75 x 25 mm	[-]
Plošný spoj	DPS	100 x 80 x 3 mm	[-]
Plastová podložka	[-]	250 x 110 x 5 mm	[-]
Suma	[-]	[-]	2,80 €

Tabuľka 8: Panel prístroja (skrinka)

Popis	Označenie	Hodnota	Cena s DPH [€]
Plastová krabica	rozmery	250 x 150 x 90 [mm]	4,00
LCD displej	V1	voltmeter PM-438	8,00
Zdierka	L-	K205B čierna	0,70
Zdierka	L+	K205R červená	0,70
Vypínač	Q1	12x19 IRS-101-8C3 červený	1,60
Vypínač	Q2	12x19 MRS-201-C3 čierny	1,30
Poistka	FU1	T 1,5 A	0,18
Suma	[-]	[-]	16,48 €

Tabuľka 9: Doska plošného spoja

Rezistory	Hodnota	Cena s DPH [€]
R1	80 Ω /0,25 W	0,03
R2	220 Ω /0,25 W	0,07
R3,R4	3,9 k Ω /0,25 W	0,06
R5,R17	1 k Ω /0,25 W	0,06
R6	33 k Ω /0,25 W	0,03
R7,R10,R12	10 k Ω /0,25 W	0,09
R8	100 Ω /0,25 W	0,03
R9	27 k Ω /0,25 W	0,03
R11	22 k Ω /0,25 W	0,03
R13	560 Ω /0,25 W	0,03
R14	33 Ω /0,25 W	0,03
R15	0,33 Ω /5 W	0,40
R16	12 k Ω /0,25 W	0,03
Kondenzátory		
C1,C5	100 μ F/25 V	0,26
C2,C3	2200 μ F/50 V	2,00
C4,C11	100 nF	0,20
C6	47 μ F/50 V	0,15
C7	330 pF	0,10
C8	10 nF	0,07
C9,C10	47 pF	0,14
C12	10 μ F/50 V	0,10
Diódy		
D1,D2,D3,D4	1N5408	0,68
D5,D6,D7	1N4148	0,21
D8	1N4007	0,10
DZ1	3,3 V/0,5 W	0,13
LD1	zelená, 5 mm	0,13
LD2	červená, 5 mm	0,13
Tranzistory		
T1	BC556B	0,13
T2	BC546B	0,13
T3	BD139	0,45
Potenciometre		
P1,P2	10 k Ω /LIN	1,70
Napät'ová referencia		
IO1	TL 431 (2,5 V)	0,40
Operačný zosilňovač		
IO2	NE5532	0,60
Suma	[-]	8,73 €
Suma celkovo	[-]	28,01 €

9 VÝROBA A OSADENIE PLOŠNÉHO SPOJA

Nasledujúce dve podkapitoly približujú spôsob výroby plošného spoja, jeho následné osadenie a overenie funkčnosti.

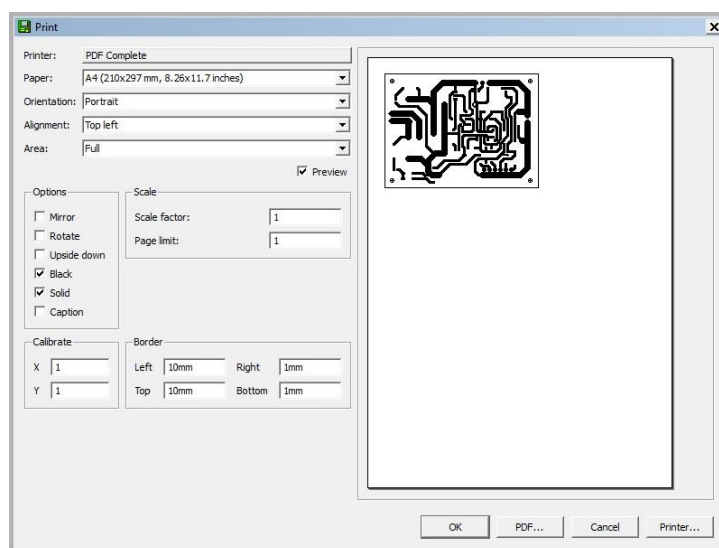
9.1 Výroba plošného spoja

Vyrobiť plošný spoj rýchlo, lacno a kvalitne, obzvlášť keď nechceme tisícky kusov, býva niekedy problém. Pokiaľ ide o jednoduchú dosku, je možné vystačiť si s liehovou fixou. Vo väčšine prípadov býva ale doska natoľko zložitá, že s takouto metódou by sme si nevyštáčili. V nasledujúcom texte je popísaný spôsob výroby dosky plošných spojov, ktorý nevyjde užívateľa na viac než pár korún, spôsob, ktorý som si zvolil pre výrobu ja.

Táto metóda je založená na princípe tlače toneru z laserovej tlačiarne na fotopapier a následnom prežehlení na DPS. V celom procese je najdôležitejšia laserová tlačiareň, žehlička a fotopapier.

- **Vytlačenie predlohy a príprava DPS**

V tomto kroku bolo dôležité uvedomiť si, ako to bude zo zrkadlením predlohy. Najskôr sa prezradlí predloha kvôli tomu, že ide o spodnú stranu DPS a v návrhovom editore ju vidno zhora. Druhýkrát sa prezradlí kvôli priloženiu papiera potlačou smerom k DPS. Dvojitém zrkadlením sa takto získa pôvodná predloha. Tiež treba dbať na to, aby bol papier čistý a tlač čo najsýtejšia. Na Obrázku 34 uvádzam printscreen z návrhového editoru.

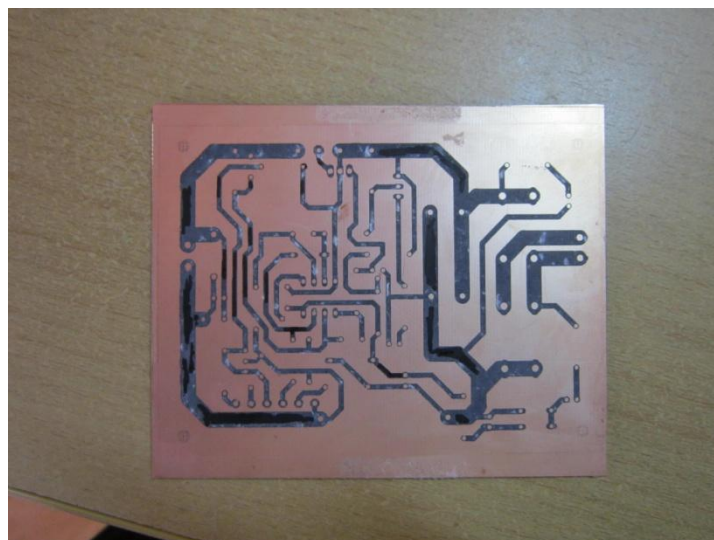


Obrázok 34: Printscreen z tlače predlohy

Následne bolo potrebné narezat' plošný spoj na požadované rozmery pomocou píly na železo. Vonkajšie hrany boli jemne zrazené pilníkom. Plocha plošného spoja bola odmastená liehom a gumou.

- **Nažehľovanie**

Keď už boli pripravené oba objekty, prišlo na rad nažehľovanie. Medzitým ako sa žehlička nahriala na požadovanú teplotu, bol cuprextid prichytený o predlohu a uchytený lepiacou páskou na okrajoch. Aby sa predloha dobre prilepila, bolo potrebné najprv zľahka prejsť žehličkou po DPS. Následným pritláčaním žehličky po dobu približne desiatich minút sa dosiahlo požadovaného odtlačku. Keďže bol cuprextid horúci, bol uložený nachvíľu do chladného prostredia. Po ochladení prišla na rad kontrola otláčenia všetkých vodivých ciest, ktorá je zobrazená na Obrázku 35. Je vidieť, že niektoré cesty sa neotlačili úplne a preto ich bolo potrebné zvýrazniť dodatočne. K tomuto účelu bola použitá fixa edding 400.

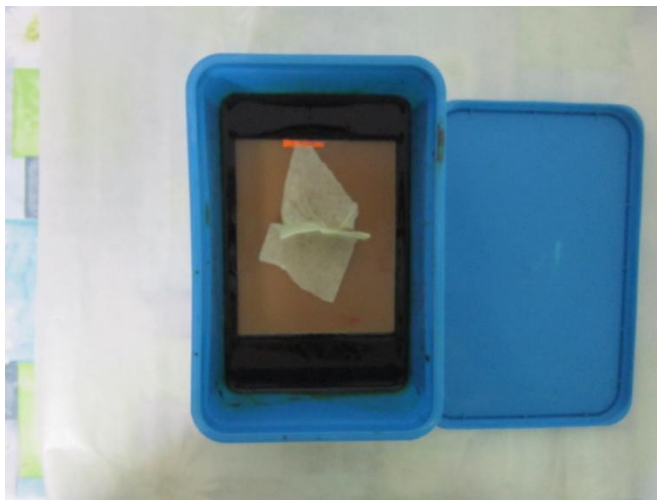


Obrázok 35: Kontrola odtlačku

- **Leptanie**

Jeden z posledných úkonov bolo leptanie v 200 ml roztoku ELCHEMCO. Leptací roztok bolo potrebné pred samotným leptaním ohriať na približne 40 °C až 50 °C. Ohriatie bolo zaistené v umývadle s horúcou vodou, do ktorého bol ponorený na 15 minút v originálnej dobre zatvorenej fľaši. Do leptacieho roztoku by sa nemala dostať voda, spôsobilo by to jeho znehodnotenie. V tejto fáze bola DPS opatrne položená na hladinu kvapaliny med'ou smerom nadol. Dosku je potrebné pokladať zošikma, aby sa pod ňou nevytvorili bubliny

vzduchu. Aby sa predišlo zničeniu iných pomôcok a pre lepšiu manipuláciu, prilepil som na plastovú stranu DPS lepiacu pásku na úchyt. Keďže bol roztok dostatočne ohriaty, DPS sa vyleptala do desiatich minút, čo bolo vidieť jej priesvitnosťou. Ilustrácia je na Obrázku 36.



Obrázok 36: Leptanie

- **Záverečné úpravy**

Po vyleptaní DPS bol plošný spoj očistený prúdom studenej vody a vysušený. Pozostatky toneru boli odstránené liehom. Takto pripravený spoj bol nalakovaný pomocou ochranného laku. Po dôslednom vysušení prišlo na rad vrtanie dier pomocou mikrovŕtačky. K vrtaniu dier boli použité vrtáky 0,8 a 1 mm.

9.2 Osadenie plošného spoja

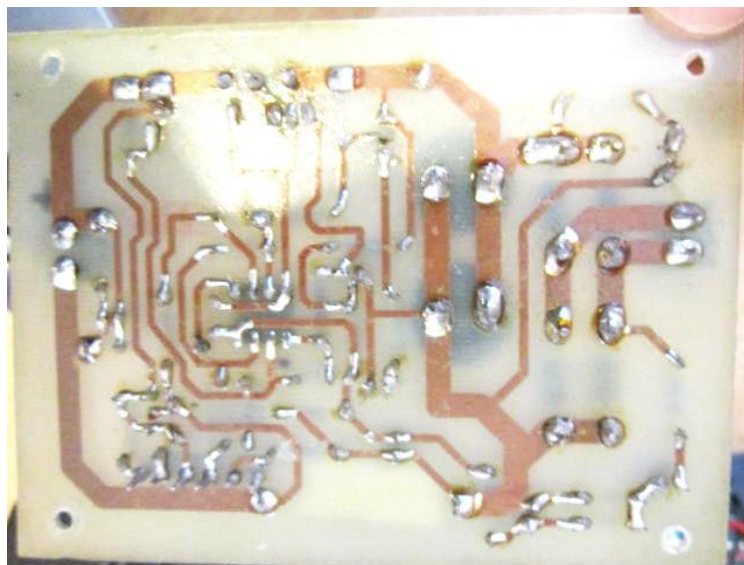
Súčiastky boli osádzané na plošný spoj postupne od najmenších po tie najväčšie. Výkonný tranzistor, signalizačné LED diódy, potenciometre išli ako posledné. Bolo to z dôvodu nutnosti uchytenia tranzistoru o chladič a zvyšné súčiastky bolo potrebné vyviesť dlhšími vodičmi tak, aby mohli byť uchytené na paneli. Návrh DPS bol riešený tak, aby bol univerzálny pre použitie ako radiálnych tak aj axiálnych súčiastok.



Obrázok 37: Príprava pracoviska pred osadzovaním



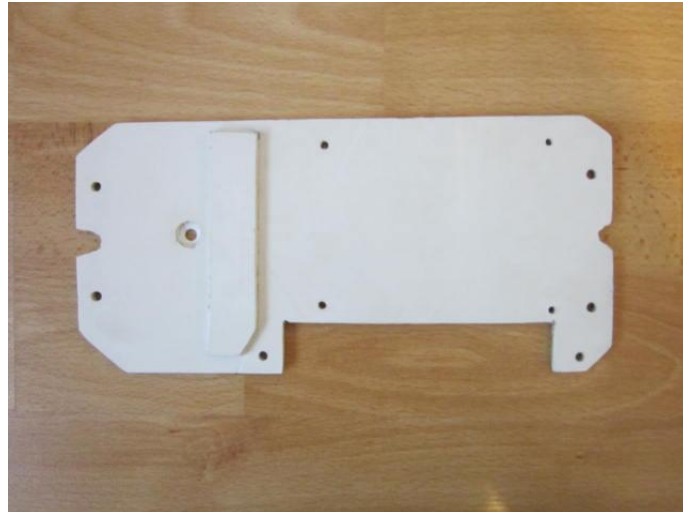
Obrázok 38: Osadenie tranzistoru na pasívne chladenie



Obrázok 39: Kompletné osadenie DPS

10 VLASTNÁ KONŠTRUKCIA NAPĚŤOVÉHO ZDROJA

Zdroj bol umiestnený do plastovej krabice o rozmeroch 250 x 190 x 90 mm. Plošný spoj spolu s transformátorom a výkonovým prvkom boli uchytené na pripravenú plastovú podložku o rozmeroch 250 x 110 x 5 mm zobrazenú na Obrázku 41.

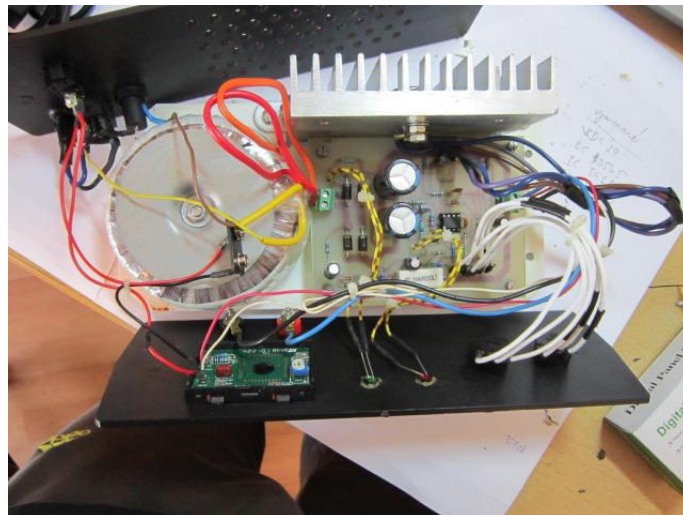


Obrázok 40: Plastová podložka

Na prednej strane panelu boli umiestnené signalizačné LED diódy, LCD voltmeter a výstupné zdierky. Na zadnej strane možno nájsť vypínač displeja, sieťový vypínač a ochrannú poistku. Podľa predpripravenej šablóny boli na zadnej strane vyvrtané diery v okolí výkonového tranzistoru pre lepší odvod tepla.



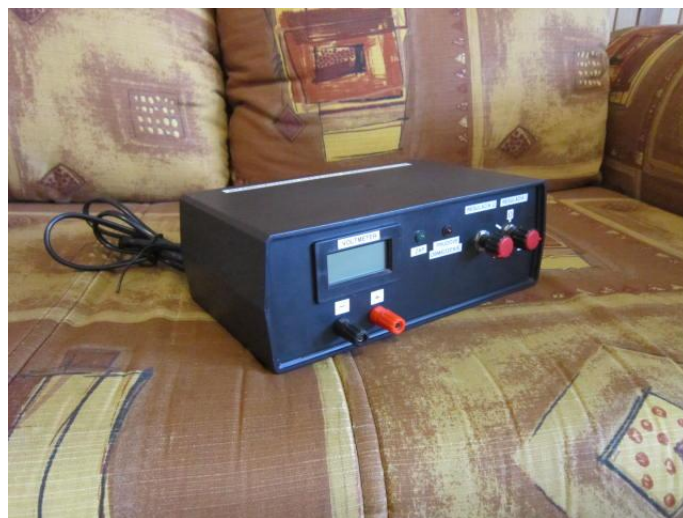
Obrázok 41: Proces výroby predného panela



Obrázok 42: Umiestňovanie komponentov



Obrázok 43: Zadný panel vo výsledku



Obrázok 44: Konečný výrobok

11 OVERENIE FUNKČNOSTI

Overovanie funkčnosti zariadenia spočívalo v nameraní zaťažovacích charakteristík a charakteristík naprázdno. Charakteristiky naprázdno boli overované pomocou digitálneho multimetra Agilent 34401A, ktorý je charakteristický svojou vysokou presnosťou až $6^{1/2}$ digitov. Tento údaj reprezentuje, že prístroj bude mať šesť číslic, ktoré budú zobrazovať čísla od nuly do deviatky a jedno, ktoré bude zobrazovať iba nulu alebo jednotku.



Obrázok 45: Agilent 34401A

Meranie napätia naprázdno bolo vykonané desaťkrát pre hodnoty 1 až 30 V s krokom 1 V a desaťkrát pre 10 náhodných desatinných hodnôt. V Tabuľke 10, 11, 12 sú zobrazené priemerné výsledky pre krok 1 V, v Tabuľke 13 pre náhodný desatinný krok. U_Z vyjadruje napätie nastavené na zdroji, U_{AG} napätie namerané digitálnym multimetrom Agilent.

Tabuľka 10: Meranie naprázdno – priemerné výsledky merania, krok 1 V

U_Z [V]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U_{AG} [V]	0,035	1,054	2,066	3,088	4,066	5,100	6,098	7,101	8,126	9,101	10,107

Tabuľka 11: Meranie naprázdno – priemerné výsledky merania, krok 1 V

U_Z [V]	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
U_{AG} [V]	11,124	12,108	13,107	14,088	15,069	16,068	17,054	18,052	19,025	20,043

Tabuľka 12: Meranie naprázdno – priemerné výsledky merania, krok 1 V

U_Z [V]	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
U_{AG} [V]	21,081	22,083	23,034	24,027	25,044	26,032	27,061	28,055	29,053	30,088

Tabuľka 13: Meranie naprázdno – priemerné výsledky pre desatinný krok

U_Z [V]	0,5	3,3	8,8	11,3	14,7	17,1	22,5	26,9	27,1	29,8
U_{AG} [V]	0,533	3,418	8,903	11,422	14,779	17,176	22,523	26,912	27,133	29,826

Pre zaťažovacie charakteristiky boli zvolené hodnoty výstupného napätia 5 V, 15 V, 25 V aj pre prúdové obmedzenie aj bez neho. Tieto hodnoty boli nastavené pri nezaťaženom zdroji a potom bol postupne zvyšovaný prúd po danom kroku a odčítavané skutočné hodnoty výstupného napätia. Zdroj mohol byť zaťažovaný maximálne do 0,6 A, pretože väčšia záťaž nebola k dispozícii. Z nameraných hodnôt vyplýva, že pri všetkých hodnotách výstupného napätia klesajú skutočné napätia so zvyšujúcou sa záťažou len nepatrne. Pre zvolené hodnoty sa meralo desaťkrát, z dôvodu rozsiahlosti uvádzam v Tabuľke 14, 15, 16 iba priemerné výsledky.

Tabuľka 14: Zaťažovacia charakteristika pre $U_Z = 5$ V, meranie bez prúdového obmedzenia – priemerné hodnoty

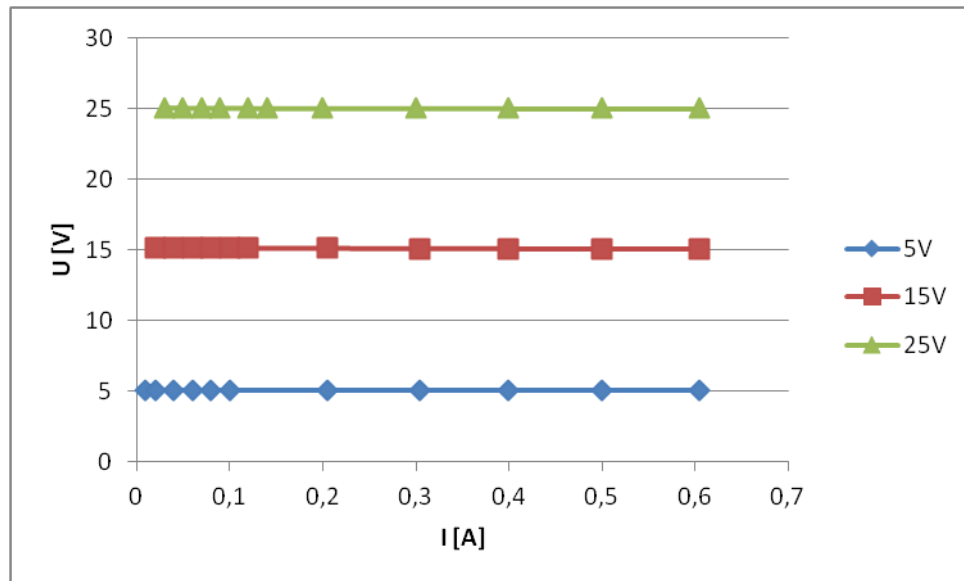
U_Z [V]	5,085	5,085	5,085	5,080	5,080	5,080	5,070	5,060	5,050	5,040	5,030
I [A]	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,205	0,305	0,4	0,5	0,605

Tabuľka 15: Zaťažovacia charakteristika pre $U_Z = 15$ V, meranie bez prúdového obmedzenia – priemerné hodnoty

U_Z [V]	15,11	15,1	15,1	15,09	15,09	15,09	15,08	15,07	15,06	15,05	15,04
I [A]	0,02	0,04	0,0605	0,08	0,1	0,12	0,205	0,305	0,4	0,5	0,605

Tabuľka 16: Zaťažovacia charakteristika pre $U_Z = 25$ V, meranie bez prúdového obmedzenia – priemerné hodnoty

U_Z [V]	25,06	25,045	25,04	25,03	25,025	25,02	25,02	25,02	25,01	25	24,99
I [A]	0,03	0,05	0,07	0,09	0,12	0,14	0,2	0,3	0,4	0,5	0,605



Obrázok 46: Zaťažovacie charakteristiky bez prúdového obmedzenia

Mierny pokles napätia so zvyšujúcim sa prúdom možno prisudzovať vnútornému odporu zdroja, ktorý je tvorený napríklad odporom vodičov, odporom kontaktov. Tento vnútorný odpor je vypočítaný podľa vzťahu:

$$R_i = \frac{U_0 - U_{výst}}{I_{výst}} [\Omega], \quad (19)$$

kde R_i je vnútorný odpor zdroja, $U_0 [V]$ výstupné napätie naprázdno, $U_{výst} [V]$ je skutočné výstupné napätie a $I_{výst} [A]$ je výstupný prúd. Výstupný odpor vyšiel približne $0,1 \Omega$, čo je pomerne dobrá hodnota.

Ďalej bolo pri meraní zaťažovacích charakteristík nastavené potenciometrom prúdové obmedzenie na tri rôzne hodnoty: $0,1 \text{ A}$, $0,2 \text{ A}$ a $0,4 \text{ A}$, zvyšok merania bol identický s použitým postupom u merania bez prúdového obmedzenia. Po prekročení tohto prúdu zareagovala prúdová ochrana a to tak, že došlo k zníženiu výstupného napätia. Napätový zdroj sa v tomto stave začal správať ako zdroj konštantného prúdu. V Tabuľkách 17, 18, 19 je zobrazený priemer nameraných hodnôt. Na Obrázku 48 sa nachádzajú zaťažovacie charakteristiky pre tri rôzne nastavenia prúdového obmedzenia.

Tabuľka 17: Zaťažovacia charakteristika pre $U_Z = 5 \text{ V}$, prúdové obmedzenie = $0,1 \text{ A}$ – priemerné hodnoty

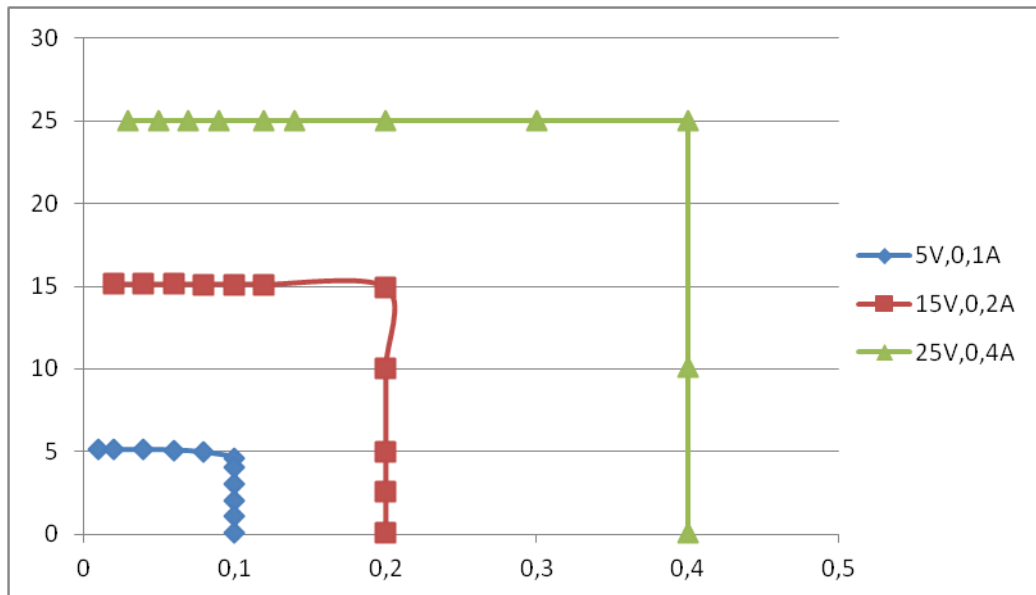
$U_Z [V]$	5,08	5,08	5,08	5,07	4,93	4,6	3,99	3,037	2,022	1,042	0,055
$I [A]$	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Tabuľka 18: Zaťažovacia charakteristika pre $U_z = 15\text{ V}$, prúdové obmedzenie = $0,2\text{ A}$ – priemerné hodnoty

U_z [V]	15,11	15,1	15,1	15,09	15,09	15,09	14,9	10	4,99	2,552	0,048
I [A]	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Tabuľka 19: Zaťažovacia charakteristika pre $U_z = 25\text{ V}$, prúdové obmedzenie = $0,4\text{ A}$ – priemerné hodnoty

U_z [V]	25,04	25,04	25,03	25,02	25,01	25,01	25	25	25	10,05	0,087
I [A]	0,03	0,05	0,07	0,09	0,12	0,14	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4



Obrázok 47: Zaťažovacie charakteristiky s prúdovým obmedzením

ZÁVER

Táto bakalárska práca sa venuje problematike sieťových regulovateľných napájacích zdrojov. Úlohou prvej časti bolo zoznámiť sa s rôznymi používanými konštrukciami zdrojov. V tejto časti preto možno nájsť rôzne používané zapojenia jednotlivých blokov a základné rozdelenia.

Mojím cieľom v praktickej časti bolo vytvoriť funkčný regulovateľný napäťový zdroj pre napájanie zariadení konštruovaných na maximálny prúd 3 A a výstupné napätie 0 až 30 V. Najskôr bola preto navrhnutá bloková schéma zariadenia a podrobný popis princípu činnosti zariadenia. Pri návrhu napájacieho zdroja bolo zvolené zapojenie tvorené operačným zosilňovačom s pevne nastaveným zosilnením referenčného napätia, ktoré je pomocou spätnej väzby udržiavané na konštantnej hodnote. Súčasťou zdroja je tiež nastaviteľné prúdové obmedzenie. Ak dosiahne výstupný prúd nastavenú hodnotu, zdroj napätia sa stáva zdrojom konštantného prúdu. Pomocou softvéru Eagle som navrhol schému zapojenia a tiež dosku plošného spoja. Výroba plošného spoja mala byť pôvodne realizovaná metódou fotocesty, no nakoľko výkon UV žiariča, ktorý som mal k dispozícii, bol iba 9 W, nepodaril sa mi dobre osvit filmovej predlohy a cesty sa vyvolali veľmi slabo. Z tohto dôvodu som sa nakoniec rozhodol pre alternatívu a zvolil metódu nažehľovania. Pre zaistenie správnej činnosti LCD voltmetra osadeného na prednom paneli bolo potrebné naštudovať manuál k súčiastke. Voltmetrom je možné merať rôzne napäťové rozsahy v závislosti na rezistoroch R_A a R_B . Pre správnu funkciu boli zvolené $R_A = 9,99 M\Omega$ a $R_B = 10 k\Omega$. Pomocou voltampérových charakteristík sa overila správna funkcia zdroja. Pri zaťažovaní došlo k veľmi malým úbytkom napätia na výstupe. Úbytky dosahujú rádovo jednotiek stotín voltu. V tomto rozsahu je zdroj tvrdý. Vnútorný odpor zdroja bol vypočítaný zo vzťahu (19), $R_i = 0,1 \Omega$. Relatívne nízka hodnota vnútorného odporu svedčí o tom, že straty na vedeniach sú minimálne. Pred používaním zdroja by bolo vhodné previesť ešte niekoľko ďalších meraní, aby sa zistilo správanie zariadenia v celom rozsahu medzných hodnôt. Štandardná káblková vidlica, ktorú som použil k napájaniu, sa veľmi neosvedčila pri preprave zariadenia. Z tohto dôvodu by som ju odporučil v dohľadnej dobe vymeniť napríklad za vidlicu panelovú PSCM1, ktorá stojí menej ako 1 €. Celková cena konštrukcie napäťového zdroja bola 28,01 €. Pri kúpe hotového zariadenia podobných parametrov by bolo potrebné investovať približne štyrikrát viac.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY

- [1] ZAPLATÍLEK, K. Napájecí zdroje: kapitola z připravovaných skript Elektronické obvodu [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné také z:
http://user.unob.cz/zaplatilek/Obecne/Skripta_napajeci%20zdroje/Skripta.htm
- [2] NOVOTNÝ, V., P. VOREL a M. PATOČKA. 2002. NAPÁJENÍ ELEKTRONICKÝCH ZAŘÍZENÍ: Prednášky [online]. FEKT VUT v Brně [cit. 2015-05-17]. Dostupné z:
http://www.dufi.net/black/BOOKS_cz/_ELEKTRO/ele%20knihy/Napajeni%20Elektronic kych%20Zarizeni.pdf
- [3] KREJČIŘÍK, A. 1998. Napájecí zdroje I. 2. Praha: BEN. ISBN 97880-7300-294-7.
- [4] ZELINOVÁ, L. 2011. LABORATORNÍ ZDROJ S VYSOKOU ÚČINNOSTÍ. Brno. Dostupné také z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=37268. Diplomová práce. VUT. Vedoucí práce ING. JIŘÍ PETRŽELA, PH.D.
- [5] MOŠTĚK, J. 2012. NÁVRH DVOJITÉHO STABILIZOVANÉHO NAPÁJECÍHO ZDROJE. Brno. Dostupné také z:
http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52563. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. VUT. Vedoucí práce Prof. Ing. LUBOMÍR BRANČÍK, CSc.
- [6] VYSOKÝ, O. 2002. Elektronické systémy II. 2. Praha: CVUT. ISBN 80-01-02658-2.
- [7] KREJČIŘÍK, A. 1996. Napájecí zdroje I. 2. Praha: BEN. ISBN 80-86056-02-3.
- [8] HAMMERBAUER, J. 1998. ELEKTRONICKÉ NAPÁJECÍ ZDROJE A AKUMULÁTORY. Plzeň. ISBN 80-7082-411-5.
- [9] UHLÍŘ, I. 2006. ELEKTRICKÉ OBVODY A ELEKTRONIKA. Praha. Dostupné také z: http://www.strojar.com/upload/skripta/3rocnik/EOE_skripta.pdf. ČVUT.
- [10] KUBÍČEK, M. 2011. Protokoly a návody k laboratorním cvičením předmětu BNEZ. BRNO. Dostupné také z:
http://www.urel.feec.vutbr.cz/web_documents/studium/predmety/bnez/BNEZ_lab_2011.pdf. VUT.
- [11] VYLEGALA, . 2006. ELEKTRONIKA [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z:
http://www.sse-najizdarne.cz/dokumenty/studijni_materialy/elektronika.pdf
- [12] PATOČKA, M. 2010. Výkonová elektronika, 1. část - usměrňovače, střídavé měniče napětí: skriptum FEKT. Brno.
- [13] MATĚJU, J. 2010. Laboratorní zdroj. Brno. Dostupné také z:
http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=28091. Bakalářská práce. VUT. Vedoucí práce P.Beneš.

[14] BRZOBOHATÝ, J., V. MUSIL a A BAJER. 2002. Elektronické součástky. Brno. Elektronické texty. VUT.

[15] DOSTÁL, Z. a M. _x0008_ ĎULÍK., 2011. Elektronika 1: Návod na laboratorní cvičení z předmětu [online]. Žilina [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: http://lm.uniza.sk/~dulik/SkriptaLC_E1.pdf

[16] Polovodičové diody: Druhy diod [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://jjohnyk.sweb.cz/elektronika/01.htm>

[17] HORÁK, M. 2009. Lineární regulátor s napětí s velmi nízkým šumem. Praha. Dostupné také z: http://measure.feld.cvut.cz/cs/system/files/files/cs/vyuka/zaverecne_prace/BP_2009_Horak_Martin_locked.pdf. Bakalářská práce. ČVUT. Vedoucí práce V.Papež.

[18] BEDNÁŘ, V. Transformátor [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: http://www.sse-najzdarne.cz/dokumenty/BEDNAR/Elektro/Vypocet_TR.pdf

[19] BRANDŠTETTER A KOL., P. ELEKTRONIKA: Prvky elektronických obvodů [online]. Ostrava: Ediční středisko VŠB – TUO, 2007 [cit. 2015-01-22]. Dostupné z: http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FEI/EL/Brandstetter_Elektronika_text.pdf

[20] Počítačové metody návrhu a realizace plošných spojů, OrCAD, Cadence, VHDL, Eagle: Počítačový návrh desek plošných spojů [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/mnen/Files/kap_7.pdf

[21] [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/firemni-clanky/cadsoft-odkryva-sestou-verzi-popularniho-nastroje-eagle-pro-navrh-dps.html>

[22] Gme.sk [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.gme.sk/img/cache/doc/767/001/stabilizovany-zdroj-30v-3a-kh031-datasheet-4.pdf>

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

MN	Schottkyho prechod, prechod typu kov-polovodič.
Φ	Magnetický indukčný tok.
p	Prevod transformátora.
U_1	Napätie na primárnej cievke.
U_2	Napätie na sekundárnej cievke.
N_1	Počet závitov primárnej cievky.
N_2	Počet závitov sekundárnej cievky.
U_{2MAX}	Maximálne napätie na sekundárnej cievke.
U_{2OUT}	Požadovaná hodnota výstupného napätia.
U_{2MAX}	Maximálna veľkosť výstupného jednocestne usmerneného napätia.
U_{1MAX}	Maximálna veľkosť vstupného neusmerneného napätia.
i	Prúd prechádzajúci obvodom na Obrázku 5.
u_2	Usmernené výstupné napätie.
R_Z	Odporová záťaž.
I_{MAX}	Maximálna veľkosť prúdu prechádzajúceho obvodom na Obrázku 5.
R_S	Statický odpor.
u_1	Vstupné neusmernené napätie.
U_{2AV}	Stredná hodnota usmerneného napätia.
I_{AV}	Stredná hodnota usmerneného prúdu.
U_{RMAX}	Maximálne namáhacie napätie.
u_D	Úbytok napätia na dióde.
C	Kapacita, kondenzátor.
U_{AV}	Stredná hodnota napätia.
ΔU_2	Zvlnenie výstupného napätia.

δ	Činiteľ zvlňenia.
U_R	Záverné napätie diódy.
I_{RZAV}	Stredná hodnota prúdu tečúceho záťažou.
I_{FMAX}	Maximálna stredná hodnota priepustného prúdu.
D	Dióda.
$V - A$	Voltampérová charakteristika.
r_d	Dynamický odpor.
i_2	Prúd tečúci do záťaže.
u_{ZD}	Napätie na Zenerovej dióde.
i_{ZD}	Prúd tečúci Zenerovou diódou.
P	Pracovný bod, potenciometer.
u_{1min}	Minimálna hodnota vstupného napätia.
u_{1max}	Maximálna hodnota vstupného napätia.
i_1	Vstupný prúd.
S_U	Činiteľ stabilizácie.
Δu_1	Zmena zvlňenia strednej hodnoty vstupného napätia.
Δu_2	Zmena zvlňenia strednej hodnoty výstupného napätia.
e	Regulačná odchýlka.
u_{ref}	Referenčné napätie.
AC	Alternating current, striedavý prúd.
LED	Svetlo vyžarujúca dióda.
A	Zosilnenie.
T	Tranzistor.
DPS	Doska plošných spojov.
CAD	Návrh pomocou počítača.

CP	Hlavný panel.
SCH E	Schematický editor.
E PCB	Editor plošného spoja.
PTM	Pravé tlačidlo myši.
LTM	Ľavé tlačidlo myši.
Cu	Meď.
R_i	Vnútorový odpor zdroja.
U_0	Napätie naprázdno.
$U_{výst}$	Skutočné výstupné napätie.
$I_{výst}$	Výstupný prúd.
UV	Ultrafialové žiarenie.
LCD	Liquid Crystal Display.
U_{AG}	Napätie namerané na multimetri Agilent.
U_Z	Napätie namerané na mojom zdroji.

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1: Priebeh veličín spínaného zdroja [4].....	12
Obrázok 2: Priebeh veličín lineárneho zdroja [4]	13
Obrázok 3: Ilustrácia k pojmu sieťový transformátor [1].....	16
Obrázok 4: Schematické znázornenie ideálneho usmerňovača [1].....	17
Obrázok 5: Jednocestný usmerňovač [19].....	17
Obrázok 6: Jednocestný jednofázový usmerňovač s odporovou záťažou [11].....	18
Obrázok 7: Jednofázový usmerňovač s kapacitným charakterom záťaže [9]	19
Obrázok 8: Jednofázový usmerňovač s kapacitným charakterom záťaže [1]	20
Obrázok 9: Jednofázový usmerňovač s diferenčným transformátorom [9]	22
Obrázok 10: Časové priebehy napätia a prúdu tečúceho záťažou z Obrázku 9 [1]	22
Obrázok 11: Časové priebehy prúdu tečúceho jednotlivými diódami z Obrázku 9 [1]	23
Obrázok 12: Graetzov mostík [9].....	23
Obrázok 13: Časové priebehy napätí a prúdov pre zapojenie z Obrázku 12 [1]	24
Obrázok 14: Ideálny stabilizátor [1].....	25
Obrázok 15: Základné zapojenie stabilizátora so Zenerovou diódou [2].....	26
Obrázok 16: A-V charakteristika Zenerovej diódy pri $i_2 = konšt.$ [1]	26
Obrázok 17: A-V charakteristika Zenerovej diódy pri $u_1 = konšt.$ [1]	27
Obrázok 18: Princíp činnosti lineárnych stabilizátorov so sériovou reguláciou [13]	29
Obrázok 19: Princíp činnosti lineárnych stabilizátorov s paralelnou reguláciou [1]	29
Obrázok 20: Bloková schéma kompletného zdroja	34
Obrázok 21: Okno hlavného panelu.....	36
Obrázok 22: Založenie projektu.....	37
Obrázok 23: Vytvorenie novej schémy	38
Obrázok 24: Okno Display	39
Obrázok 25: Okno Grid	40
Obrázok 26: Nastavenie farby pracovnej plochy a typu kurzoru.....	40
Obrázok 27: Rozvinuté okno knižnice diode.....	41
Obrázok 28: Rozmiestnenie súčiastok na pracovnom poli.....	42
Obrázok 29: Nastavenie mena a hodnoty k jednotlivým súčiastkam	42
Obrázok 30: Schéma po výslednej grafickej úprave.....	43
Obrázok 31: Puzdrá súčiastok a gumové spoje.....	44
Obrázok 32: Vlastný variant rozmiestnenia puzdier	45

Obrázok 33: Celkový pohľad na navrhnutú dosku plošného spoja	46
Obrázok 34: Printscreen z tlače predlohy	49
Obrázok 35: Kontrola odtlačku	50
Obrázok 36: Leptanie	51
Obrázok 37: Príprava pracoviska pred osadzovaním	52
Obrázok 38: Osadenie tranzistoru na pasívne chladenie	52
Obrázok 39: Kompletné osadenie DPS	53
Obrázok 40: Plastová podložka.....	54
Obrázok 41: Proces výroby predného panela	54
Obrázok 42: Umiestňovanie komponentov	55
Obrázok 43: Zadný panel vo výsledku	55
Obrázok 44: Konečný výrobok	55
Obrázok 45: Agilent 34401A.....	56
Obrázok 46: Zaťažovacie charakteristiky bez prúdového obmedzenia	58
Obrázok 47: Zaťažovacie charakteristiky s prúdovým obmedzením.....	59

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1: Rozdelenie zdrojov podľa priebehov signálov [6].....	12
Tabuľka 2: Parametre lineárnych a spínaných zdrojov [7].....	14
Tabuľka 3: Základné rozdelenie transformátorov [1]	16
Tabuľka 4: Rozdelenie usmerňovačov [12].....	24
Tabuľka 5: Rozdelenie stabilizátorov [2], [15].....	30
Tabuľka 6: Význam jednotlivých hladín	39
Tabuľka 7: Vnútro skrinky	47
Tabuľka 8: Panel prístroja (skrinka).....	47
Tabuľka 9: Doska plošného spoja	48
Tabuľka 10: Meranie naprázdno – priemerné výsledky merania, krok 1 V.....	56
Tabuľka 11: Meranie naprázdno – priemerné výsledky merania, krok 1 V.....	56
Tabuľka 12: Meranie naprázdno – priemerné výsledky merania, krok 1 V.....	57
Tabuľka 13: Meranie naprázdno – priemerné výsledky pre desatinný krok	57
Tabuľka 14: Zaťažovacia charakteristika pre $UZ = 5 V$, meranie bez prúdového obmedzenia – priemerné hodnoty	57
Tabuľka 15: Zaťažovacia charakteristika pre $UZ = 15 V$, meranie bez prúdového obmedzenia – priemerné hodnoty	57
Tabuľka 16: Zaťažovacia charakteristika pre $UZ = 25 V$, meranie bez prúdového obmedzenia – priemerné hodnoty	57
Tabuľka 17: Zaťažovacia charakteristika pre $UZ = 5 V$, prúdové obmedzenie = 0,1 A – priemerné hodnoty	58
Tabuľka 18: Zaťažovacia charakteristika pre $UZ = 15 V$, prúdové obmedzenie = 0,2 A – priemerné hodnoty	59
Tabuľka 19: Zaťažovacia charakteristika pre $UZ = 25 V$, prúdové obmedzenie = 0,4 A – priemerné hodnoty	59

ZOZNAM PRÍLOH

PRÍLOHA P I: OBVODOVÉ ZAPOJENIE

PRÍLOHA P II: DOSKA PLOŠNÉHO SPOJA

PRÍLOHA P III: OSADZOVACÍ PLÁN

PRÍLOHA P IV: MERANIE NAPRÁZDNO

PRÍLOHA P V: ZAŤAŽOVACIA CHARAKTERISTIKA 1

PRÍLOHA P VI: ZAŤAŽOVACIA CHARAKTERISTIKA 2

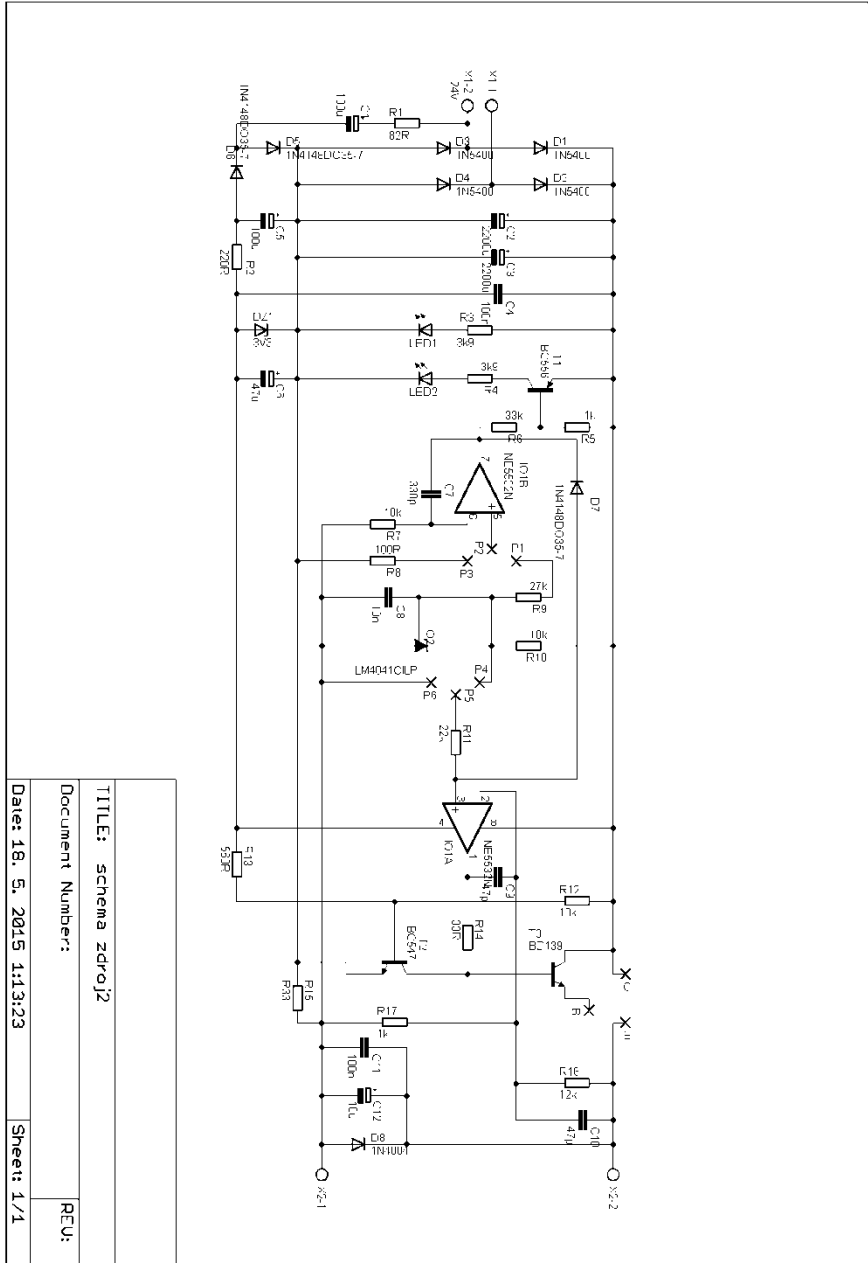
PRÍLOHA P VII: ZAŤAŽOVACIA CHARAKTERISTIKA 3

PRÍLOHA P VIII: ZAŤAŽOVACIA CHARAKTERISTIKA 4

PRÍLOHA P IX: ZAŤAŽOVACIA CHARAKTERISTIKA 5

PRÍLOHA P X: ZAŤAŽOVACIA CHARAKTERISTIKA 6

PRÍLOHA P I: OBVODOVÉ ZAPOJENIE



TITLE: schema zdroj[2]

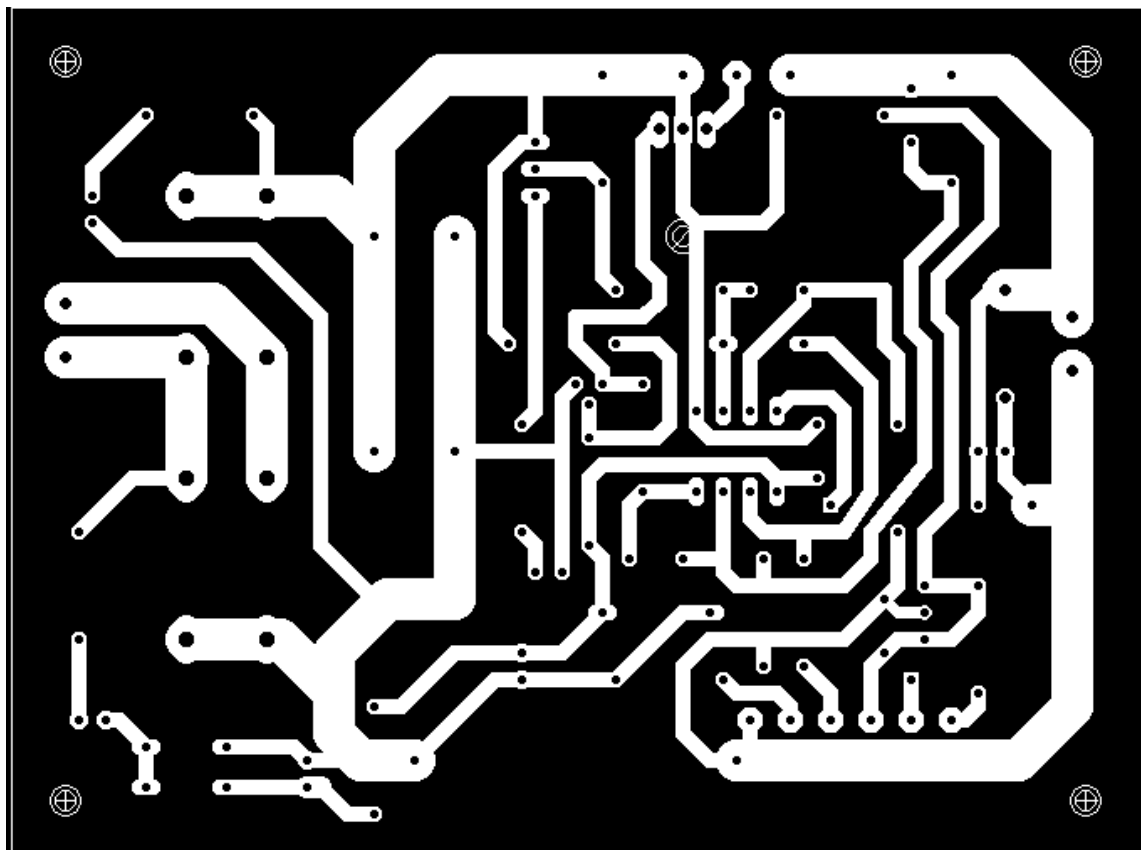
Document Number:

REU:

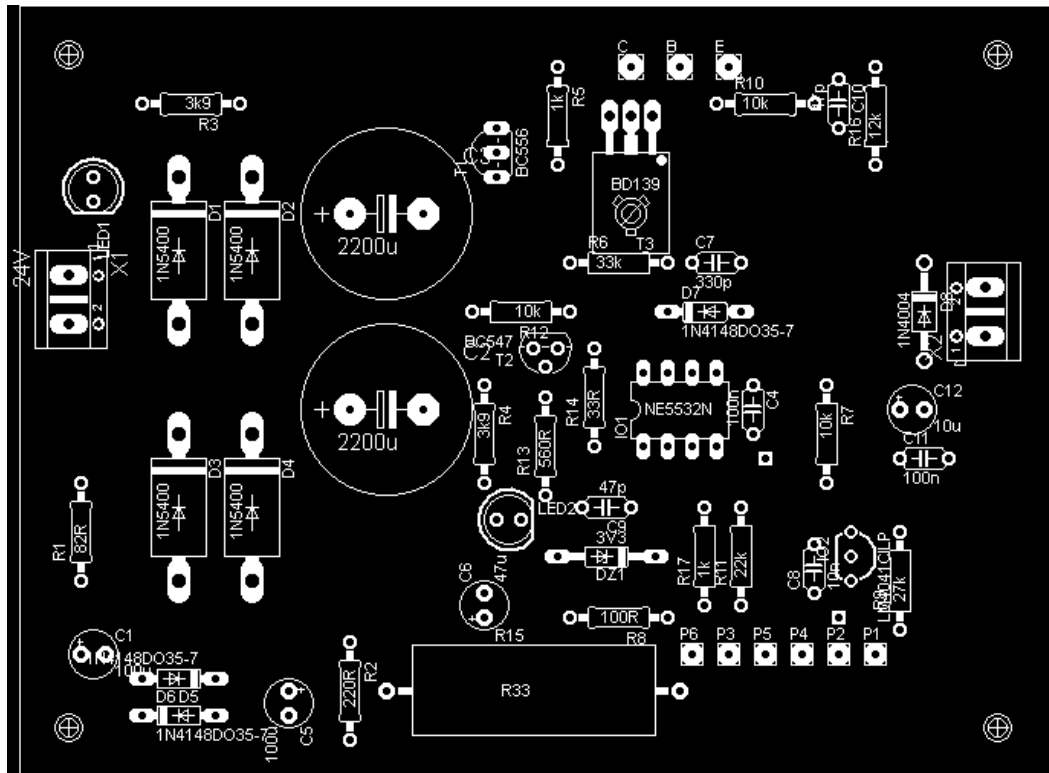
Date: 18. 5. 2015 14:3:23

Sheet: 1/1

PRÍLOHA P II: DOSKA PLOŠNÉHO SPOJA



PRÍLOHA P III: OSADZOVACÍ PLÁN



PRÍLOHA P IV: MERANIE NAPRÁZDNO

a) Meranie naprázdno – priemerné výsledky merania, krok 1 V

U_Z [V]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U_{AG} [V]	0,035	1,054	2,066	3,088	4,066	5,100	6,098	7,101	8,126	9,101	10,107

U_Z [V]	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
U_{AG} [V]	11,124	12,108	13,107	14,088	15,069	16,068	17,054	18,052	19,025	20,043

U_Z [V]	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
U_{AG} [V]	21,081	22,083	23,034	24,027	25,044	26,032	27,061	28,055	29,053	30,088

Štatistické vyhodnotenie pre U_{AG}

Minimálna hodnota = 0,035 V , Maximálna hodnota = 30,088 V

Smerodajná odchýlka = 8,932 V , Priemerná hodnota = 15,072 V

b) Meranie naprázdno – priemerné výsledky pre desatinný krok

U_Z [V]	0,5	3,3	8,8	11,3	14,7	17,1	22,5	26,9	27,1	29,8
U_{AG} [V]	0,533	3,418	8,903	11,422	14,779	17,176	22,523	26,912	27,133	29,826

Štatistické vyhodnotenie pre U_{AG}

Minimálna hodnota = 0,533 V , Maximálna hodnota = 29,826 V

Smerodajná odchýlka = 9,735 V , Priemerná hodnota = 16,262 V

Štatistické vyhodnotenie pre U_Z

Minimálna hodnota = 0,5 V , Maximálna hodnota = 29,8 V

Smerodajná odchýlka = 9,76 V , Priemerná hodnota = 16,2 V

PRÍLOHA P V: ZAŤAŽOVACIA CHARAKTERISTIKA 1

- a) Zaťažovacia charakteristika pre $U_Z = 5\text{ V}$, meranie bez prúdového obmedzenia –
priemerné hodnoty

U_Z [V]	5,085	5,085	5,085	5,080	5,080	5,080	5,070	5,060	5,050	5,040	5,030
I [A]	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,205	0,305	0,4	0,5	0,605

Štatistické vyhodnotenie pre $U_Z = 5\text{ V}$

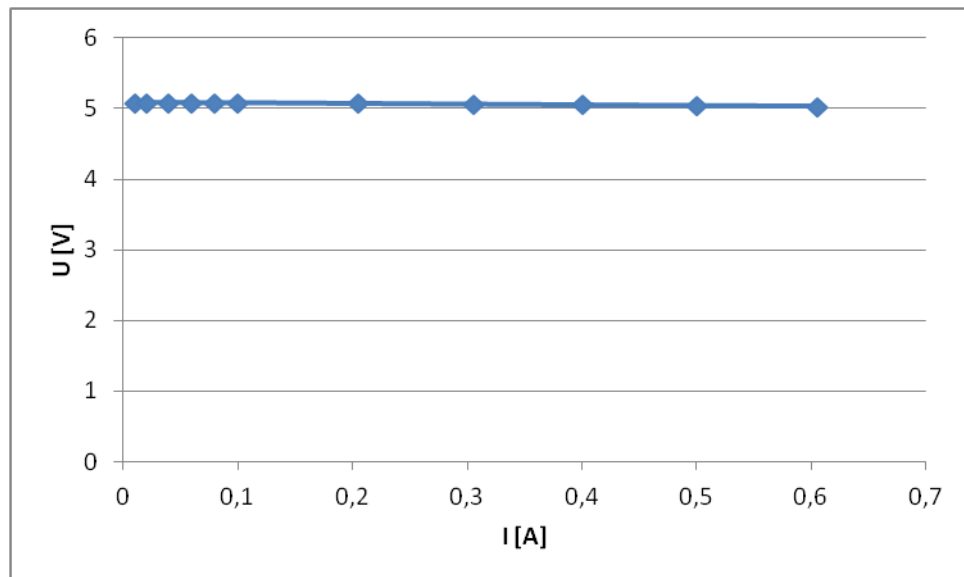
Minimálna hodnota = 5,030 V , Maximálna hodnota = 5,085 V

Smerodajná odchýlka = 0,018 V , Priemerná hodnota = 5,067 V

Štatistické vyhodnotenie pre I

Minimálna hodnota = 0,01 V , Maximálna hodnota = 0,605 V

Smerodajná odchýlka = 0,2 V , Priemerná hodnota = 0,211 V



PRÍLOHA P VI: ZAŤAŽOVACIA CHARAKTERISTIKA 2

- a) Zaťažovacia charakteristika pre $U_Z = 15\text{ V}$, meranie bez prúdového obmedzenia –
priemerné hodnoty

U_Z [V]	15,11	15,1	15,1	15,09	15,09	15,09	15,08	15,07	15,06	15,05	15,04
I [A]	0,02	0,04	0,0605	0,08	0,1	0,12	0,205	0,305	0,4	0,5	0,605

Štatistické vyhodnotenie pre $U_Z = 15\text{ V}$

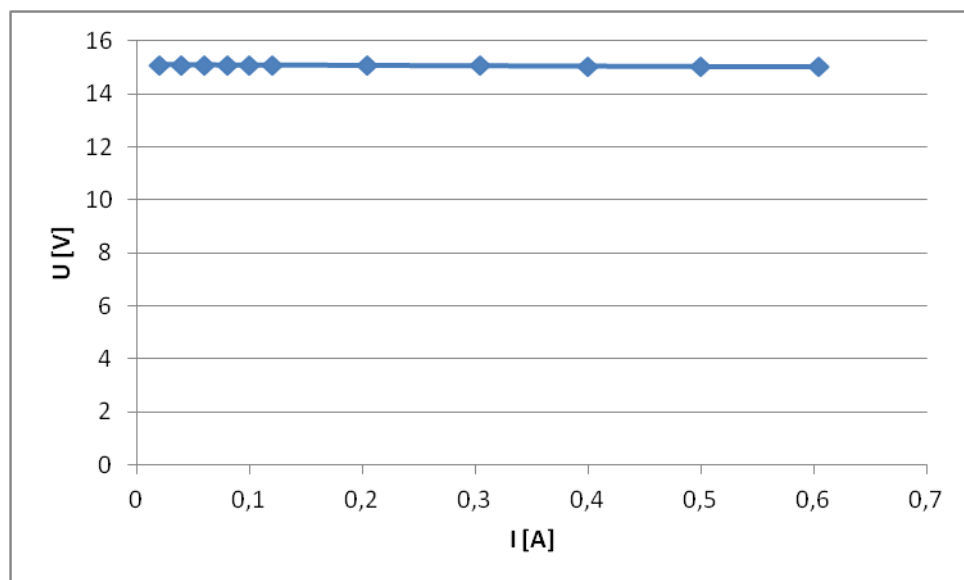
Minimálna hodnota = 15,04 V , Maximálna hodnota = 15,11 V

Smerodajná odchýlka = 0,021 V, Priemerná hodnota = 15,08 V

Štatistické vyhodnotenie pre I

Minimálna hodnota = 0,02 V , Maximálna hodnota = 0,605 V

Smerodajná odchýlka = 0,192 V, Priemerná hodnota = 0,221 V



PRÍLOHA P VII: ZAŤAŽOVACIA CHARAKTERISTIKA 3

- a) Zaťažovacia charakteristika pre $U_Z = 25\text{ V}$, meranie bez prúdového obmedzenia – priemerné hodnoty

U_Z [V]	25,06	25,045	25,04	25,03	25,025	25,02	25,02	25,02	25,01	25	24,99
I [A]	0,03	0,05	0,07	0,09	0,12	0,14	0,2	0,3	0,4	0,5	0,605

Štatistické vyhodnotenie pre $U_Z = 25\text{ V}$

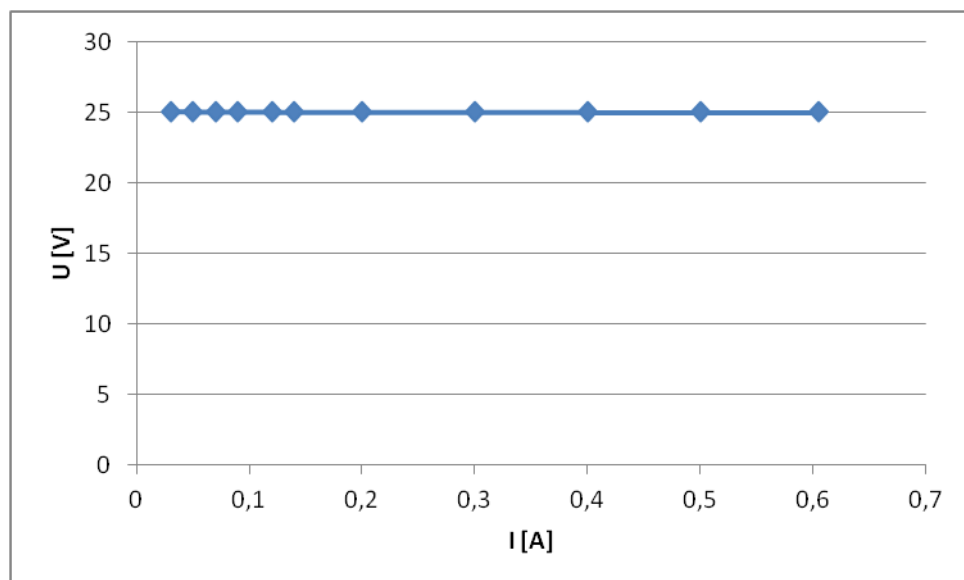
Minimálna hodnota = 24,99 V , Maximálna hodnota = 25,06 V

Smerodajná odchýlka = 0,019 V , Priemerná hodnota = 25,023 V

Štatistické vyhodnotenie pre I

Minimálna hodnota = 0,03 V , Maximálna hodnota = 0,605 V

Smerodajná odchýlka = 0,187 V , Priemerná hodnota = 0,227 V



PRÍLOHA P VIII: ZAŤAŽOVACIA CHARAKTERISTIKA 4

a) Zaťažovacia charakteristika pre $U_Z = 5\text{ V}$, prúdové obmedzenie = $0,1\text{ A}$ – priemerné hodnoty

U_Z [V]	5,08	5,08	5,08	5,07	4,93	4,6	3,99	3,037	2,022	1,042	0,055
I [A]	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Štatistické vyhodnotenie pre $U_Z = 5\text{ V}$

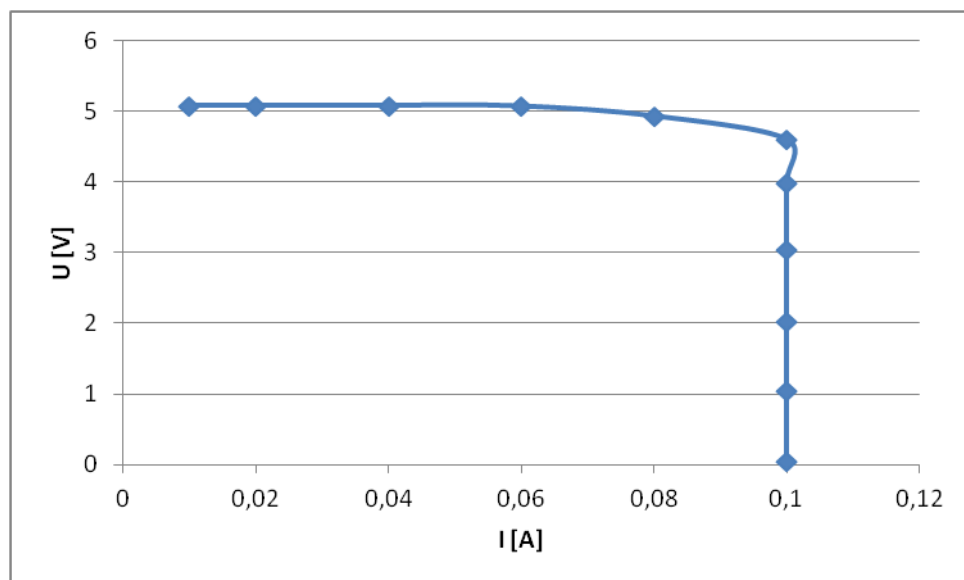
Minimálna hodnota = $0,055\text{ V}$, Maximálna hodnota = $5,08\text{ V}$

Smerodajná odchýlka = $1,746\text{ V}$, Priemerná hodnota = $3,635\text{ V}$

Štatistické vyhodnotenie pre I

Minimálna hodnota = $0,01\text{ V}$, Maximálna hodnota = $0,1\text{ V}$

Smerodajná odchýlka = $0,033\text{ V}$, Priemerná hodnota = $0,073\text{ V}$



PRÍLOHA P IX: ZAŤAŽOVACIA CHARAKTERISTIKA 5

- a) Zaťažovacia charakteristika pre $U_Z = 15\text{ V}$, prúdové obmedzenie = $0,2\text{ A}$ – priemerné hodnoty

U_Z [V]	15,11	15,1	15,1	15,09	15,09	15,09	14,9	10	4,99	2,552	0,048
I [A]	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Štatistické vyhodnotenie pre $U_Z = 15\text{ V}$

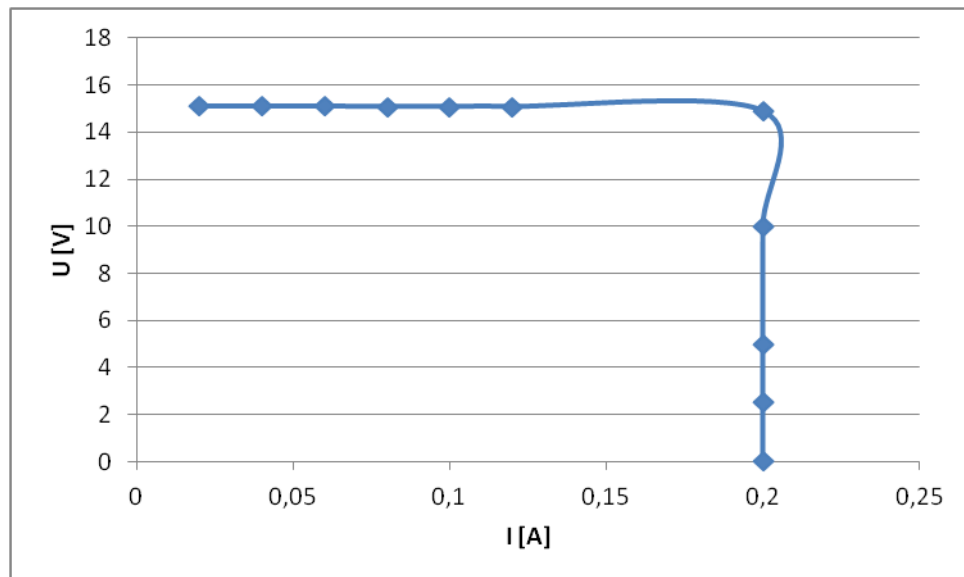
Minimálna hodnota = $0,048\text{ V}$, Maximálna hodnota = $15,11\text{ V}$

Smerodajná odchýlka = $5,591\text{ V}$, Priemerná hodnota = $11,188\text{ V}$

Štatistické vyhodnotenie pre I

Minimálna hodnota = $0,02\text{ V}$, Maximálna hodnota = $0,2\text{ V}$

Smerodajná odchýlka = $0,069\text{ V}$, Priemerná hodnota = $0,129\text{ V}$



PRÍLOHA P X: ZAŤAŽOVACIA CHARAKTERISTIKA 6

a) Zaťažovacia charakteristika pre $U_Z = 25\text{ V}$, prúdové obmedzenie = $0,4\text{ A}$ – priemerné hodnoty

U_Z [V]	25,04	25,04	25,03	25,02	25,01	25,01	25	25	25	10,05	0,087
I [A]	0,03	0,05	0,07	0,09	0,12	0,14	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4

Štatistické vyhodnotenie pre $U_Z = 25\text{ V}$

Minimálna hodnota = $0,087\text{ V}$, Maximálna hodnota = $25,04\text{ V}$

Smerodajná odchýlka = $7,981\text{ V}$, Priemerná hodnota = $21,389\text{ V}$

Štatistické vyhodnotenie pre I

Minimálna hodnota = $0,03\text{ V}$, Maximálna hodnota = $0,4\text{ V}$

Smerodajná odchýlka = $0,141\text{ V}$, Priemerná hodnota = $0,2\text{ V}$

