

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Modul napájecího zdroje 0 – 30 V / 0 – 5 A

Anotace

Tato bakalářská práce je zaměřena na teoretické zpracování a následné praktické zkonstruování modulu napájecího zdroje s výstupním napětím 0 - 30 V a proudem 0 - 5 A.

Klíčová slova

Transformátor, usměrňovač, filtr, stabilizátor, proudová ochrana, regulátor napětí

Abstract

This work is focused on the theoretical treatment and subsequent practical module construction of a power supply with output voltage 0 - 30 V and current of 0 - 5 A.

Key words

The transformer, rectifier, filter, stabilizer, current protection, voltage regulator

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 7.6.2012

Jakub Novotný

.....

Obsah

OBSAH	6
ÚVOD.....	7
SEZNAM SYMBOLŮ	8
1 LINEÁRNÍ NAPÁJECÍ ZDROJ - TEORIE	9
1.1 TRANSFORMÁTOR.....	9
1.2 USMĚRŇOVAČ	10
1.2.1 Jednocestný usměrňovač.....	11
1.2.2 Dvoucestný usměrňovač	14
1.2.3 Můstkový usměrňovač.....	15
1.2.4 Další typy usměrňovačů.....	16
1.3 FILTR.....	17
1.4 STABILIZÁTOR	18
1.4.1 Stabilizátor se Zenerovou diodou	19
1.4.2 Sériová stabilizace s tranzistorem	20
2 LINEÁRNÍ NAPÁJECÍ ZDROJ – PRAKTICKÁ KONSTRUKCE	21
2.1 AKTIVNÍ MŮSTKOVÝ USMĚRŇOVAČ S MOSFET	21
2.1.1 Popis funkce.....	21
2.1.2 Praktická realizace	22
2.1.3 Zhodnocení.....	23
2.2 REGULOVATELNÝ STABILIZÁTOR NAPĚTÍ S PROUDOVOU OCHRANOU	24
2.2.1 Popis funkce.....	24
2.2.2 Praktická realizace	25
2.2.3 Zhodnocení.....	26
3 ZÁVĚR.....	27
POUŽITÁ LITERATURA.....	29
SEZNAM PŘÍLOH.....	30
PŘÍLOHY	I

Úvod

Předkládaná práce se zabývá problematikou praktické konstrukce lineárního napájecího zdroje 0 – 30 V / 0 - 5 A.

Psaný text práce je rozdělen na dvě části. První část je teoretická a popisuje jednotlivé bloky napájecího zdroje a jejich funkci. Ve druhé části je dále popsán praktický návrh napájecího zdroje, jeho konstrukce a reálné naměřené parametry.

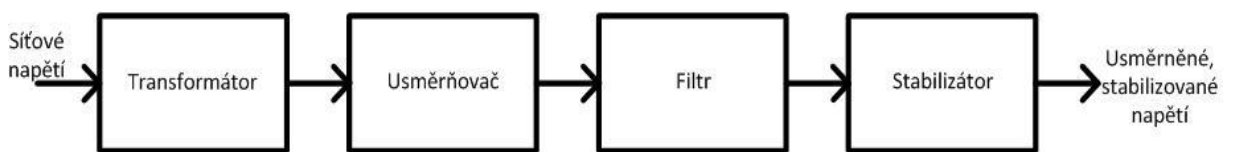
Seznam symbolů

C [F].....	Kapacita
d [m].....	Tloušťka
f [Hz].....	Frekvence
i [A].....	Střídavý elektrický proud
I [A].....	Stejnoseměrný proud
I _z [A].....	Zenerův proud
K [-].....	Empirická konstanta
l [m].....	Délka
L [H].....	Indukčnost
P [W].....	Výkon
Q [C].....	Náboj
R [Ω].....	Elektrický odpor
t [s].....	Čas
T [K].....	Absolutní teplota
u [V].....	Střídavé napětí
U, U _{ss} [V].....	Stejnoseměrné napětí
AC.....	Střídavý proud
DC.....	Stejnoseměrný proud
FET.....	Polem řízený tranzistor
IGBT.....	Bipolární tranzistor řízený elektrickým polem s izolovaným hradlem
IO, IC.....	Integrovaný obvod
MOSFET.....	Polem řízený tranzistor s kovovým hradlem odizolovaným oxidovou vrstvou
V-A.....	Volt-ampérová charakteristika

1 Lineární napájecí zdroj - teorie

Lineární napájecí zdroj je zařízení pro napájení různých elektrotechnických zařízení pro elektroniku. U lineárního zdroje jsou jeho výstupní veličiny spojité.

Lineární napájecí zdroj se v základu skládá ze síťového transformátoru, usměrňovače, filtru a stabilizátoru (*Obr. 1.1*). Mezi další stavební bloky napájecího zdroje mohou patřit např. proudová ochrana, měřidla napětí a proudu, ale třeba také řídicí mikroprocesor, který celý lineární zdroj řídí a přes který se napájecí zdroj nastavuje.



Obr. 1.1 Blokové schéma napájecího zdroje

1.1 Transformátor

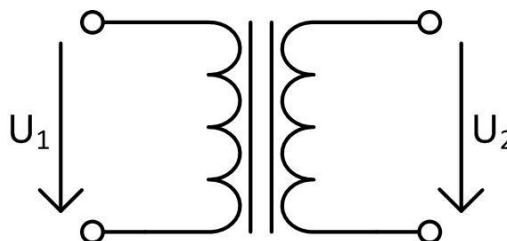
Síťový transformátor slouží k transformování síťového napětí na napětí o jiné velikosti. V napájecích zdrojích na napětí menší než je síťové napětí. Zároveň slouží ke galvanickému oddělení napájecí sítě a samotného napájecího zdroje.

Transformátory se dají rozdělit na několik skupin:

1. Podle počtu fází:
 - a. Jednofázový
 - b. Trojfázový
 - c. Speciální
2. Podle konstrukce magnetického obvodu:
 - a. Plášťový
 - b. Jádrový
 - c. Toroidní
3. Podle použití:
 - a. Napájecí
 - b. Regulační
 - c. Měřicí
 - d. A jiné (bezpečnostní, rozptylové...)

4. Podle počtu vinutí:
 - a. Dvojvinuťový
 - b. Trojvinuťový
 - c. Vícevinuťový [5]

Na *Obr. 1.2* je znázorněna schematická značka transformátoru.



Obr. 1.2 Schematická značka transformátoru

Jak již bylo zmíněno, transformátor transformuje napětí o jedné velikosti na napětí stejné velikosti nebo jiné. Z tohoto důvodu je zaveden tzv. transformační poměr k (1), kde U_1 je napětí na primárním vinutí, U_2 napětí na sekundárním vinutí, N_1 počet závitů primárního vinutí a N_2 počet závitů sekundárního vinutí.

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1)$$

Je-li $k > 1$ jedná se o transformaci napětí nahoru, je-li $k < 1$ jedná se o transformaci napětí dolů. Bude-li $k = 1$ pak transformátor napětí netransformuje na jinou hodnotu a na primárním i sekundárním vinutí je napětí o stejné hodnotě. Toho se využívá pro galvanické oddělení dvou obvodů.

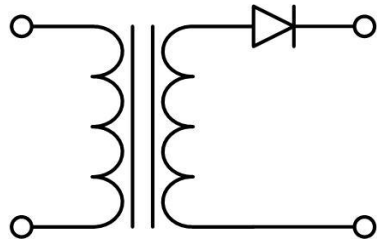
1.2 Usměrňovač

Usměrňovač slouží k usměrnění střídavého napětí na napětí stejnosměrné.

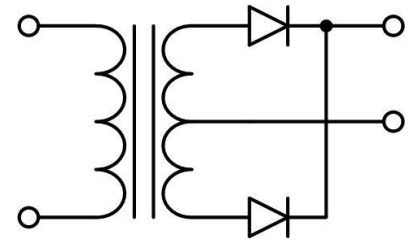
Usměrňovače se dají rozdělit podle počtu fází na jednofázové a třífázové. Pro další využití v napájecím laboratorním zdroji se budeme zabývat pouze jednofázovými usměrňovači.

Pro jednofázovou napájecí soustavu se potom usměrňovače dají rozdělit na tři základní druhy:

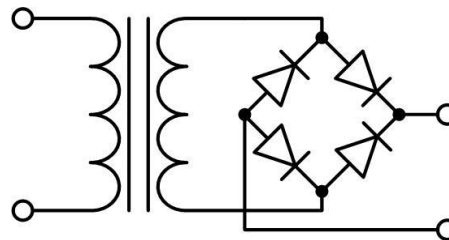
- Jednocestný
- Dvojcestný
- Můstkový usměrňovač.



Obr. 1.3 Jednocestný usměrňovač



Obr. 1.4 Dvojcestný usměrňovač

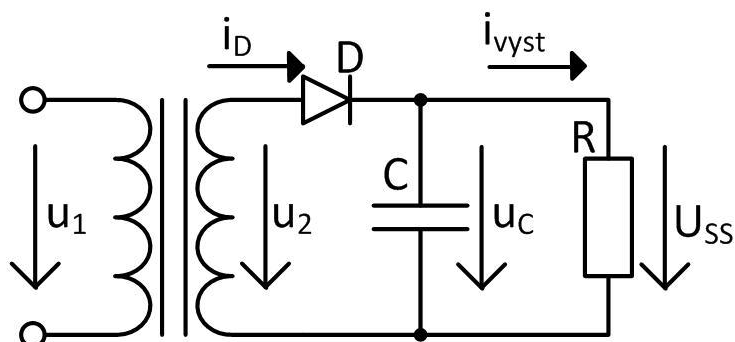


Obr. 1.5 Můstkový usměrňovač

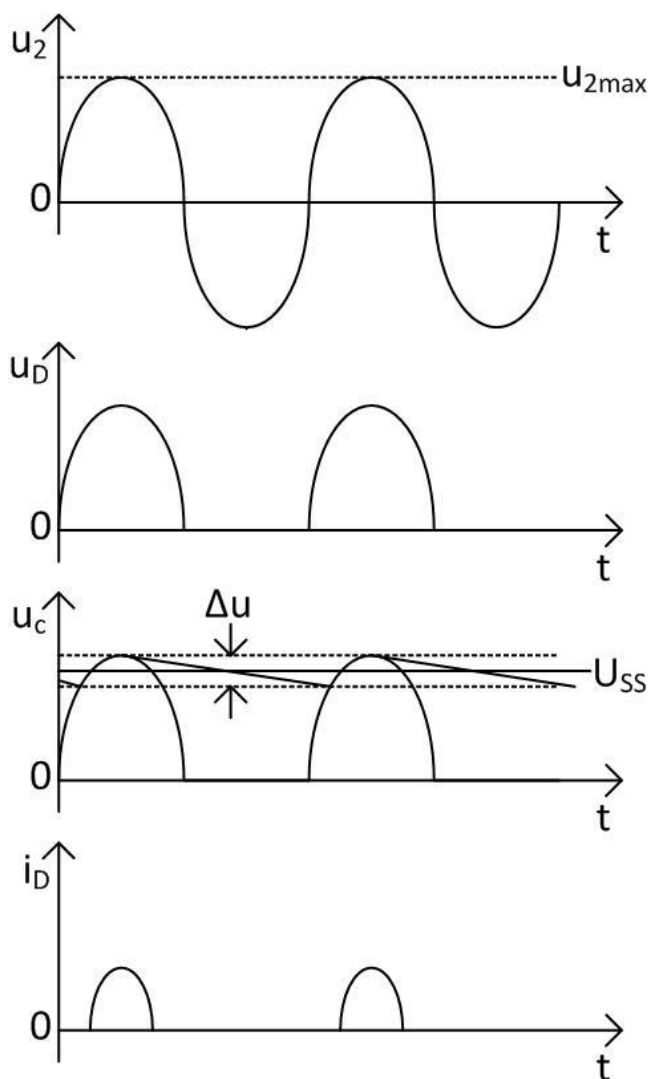
1.2.1 Jednocestný usměrňovač

Nejjednodušší usměrňovač, který se používá v elektronice, je jednocestný a také je nazýván jako jednopulsní usměrňovač. Na obrázku *Obr. 1.6* je znázorněn jednocestný usměrňovač s kapacitorem C (jako filtrací) a zátěží tvořenou odporem R . Transformátor převede napětí u_1 na napětí u_2 o jiné amplitudě. Jelikož se zabýváme laboratorním zdrojem, tak transformátor transformuje napětí síťové o velikosti $u_1 = 230 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$ na napětí o menší amplitudě u_2 . Dioda D , která je připojena do série za transformátor, usměrňuje napětí u_2 . Za diodou je paralelně připojen kapacitor C a zátěž R . Ze zapojení a funkce diody vyplývá, že dioda usměrňuje pouze kladnou půlvlnu střídavého napětí a při záporné půlvlně je uzavřena a napětí je nulové. Na *Obr 1.7* jsou znázorněny průběhy napětí a proudu v obvodu. Napětí u_D v tomto případě není napětí na diodě, ale napětí usměrněné diodou bez připojeného kapacitoru. „Je-li zapojen do obvodu kapacitor C o kapacitě dostatečně veliké s ohledem na velikost odebíraného proudu, teče diodou v kladné půlvlně u_2 a proud i_D pouze v době, kdy je na anodě napětí o hodnotu propustného úbytku napětí diody U_F větší, než na katodě.

Kapacitor je proto dobíjen na hodnotu $u_{2\max} - U_F$. Po zbývající dobu se kapacitor vybíjí proudem do zátěže“ [1].



Obr 1.6 Jednocestný usměrňovač s filtračním kapacitorem



Obr 1.7 Průběhy napětí a proudů u jednocestného usměrňovače

Na kapacitoru je potom stejnosměrné napětí U_{SS} . Vybíjecí proud do zátěže a dobíjecí proud z transformátoru zapříčiní zvlnění napětí Δu , které je obecně definováno jako

$$p = \frac{U_{ef}}{U_{SS}} \cdot 100 [\%]. \quad (2)$$

Zvlnění je považováno za výchozí konstrukční parametr a lze ho nejjednodušeji vypočítat pomocí vztahu mezi nábojem kapacitoru a vybíjecím proudem po empiricky zjištěnou dobu $\Delta t = 16 \text{ ms}$

$$C \cdot \Delta u = Q = I_{vyst} \cdot \Delta t. \quad (3)$$

Z tohoto vztahu získáme výraz pro Δu a po jeho dosazení do (2) obdržíme výraz pro zvlnění obsahující konstrukční parametry I_{vyst} , U_{SS} , C a empirickou konstantu $K = 600 \text{ s}$

$$p = \frac{K \cdot I_{vyst}}{C \cdot U_{SS}} [\%; s, mA, \mu F, V] \quad (4)$$

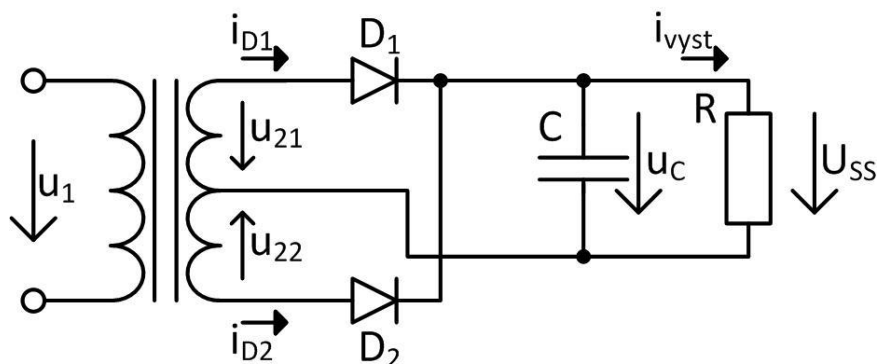
Zvlnění napětí roste se snižující se hodnotou kapacitoru a s rostoucí hodnotou odebíraného proudu.

Pro návrh zdroje je proto nutné dimenzování součástek. Kapacitor bychom měli volit na napětí vyšší než je hodnota výstupního napětí, tzn. $U_{SS} + \frac{1}{2} \Delta u$. Diody musíme zvolit takovou, aby vydržela maximální možný proud, který bude možné dodávat do zátěže. Závěrné napětí diody musí být větší nebo rovno $u_{2max} + U_{SS}$, to zhruba odpovídá $2 \cdot U_{SS}$. Na dynamické parametry diody není nutno brát ohledy, jelikož síťové napětí má malou frekvenci a všechny dostupné diody jsou pro použití vyhovující.

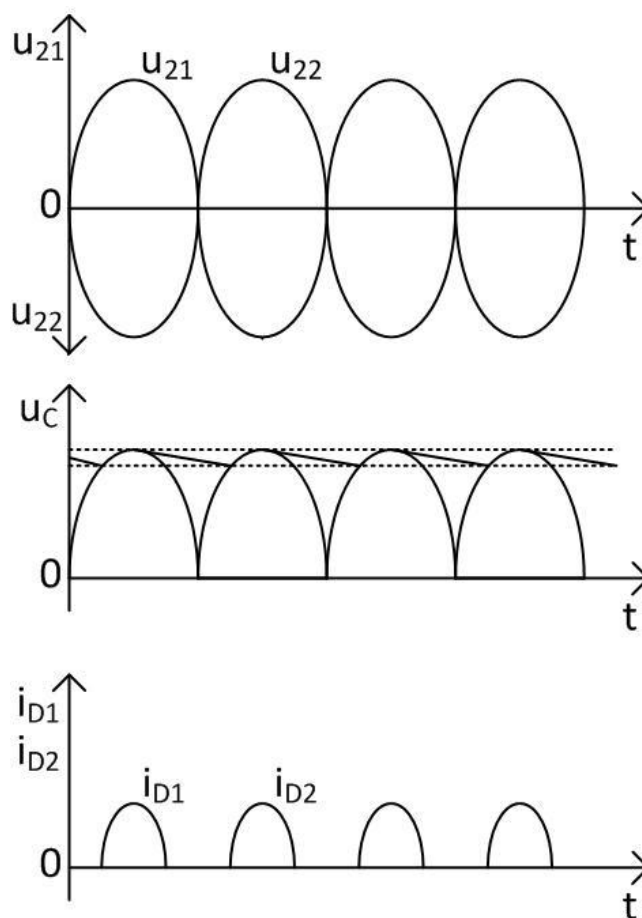
Výhoda jednocestného usměřňovače spočívá v jeho jednoduchosti. Na úkor jednoduchosti, jednocestný usměřňovač trpí nevýhodou velkého zvlnění a z toho plyne velká hodnota filtračního kapacitoru. Dalším problémem jsou velké ztráty v transformátoru způsobené jeho nesymetrickým proudovým zatížením, které vede na stejnosměrnou magnetizaci jádra. Tento usměřňovač je proto dobré používat pouze na malé výkony [1].

1.2.2 Dvoucestný usměrňovač

Dvoucestný usměrňovač se snaží odstranit nevýhody usměrňovače jednocestného. V zapojení jsou použity dvě diody a je vyveden střed vynutí transformátoru *Obr. 1.8*. V kladné půlčlenně teče proud přes diodu D_1 a v záporné přes diodu D_2 . Z toho je již patrné, že frekvence, kdy se dobíjí kondenzátor, se zvýšila na dvojnásobek, neboli na frekvenci 100 Hz (*Obr. 1.9*). Z toho dále vyplývá snížení konstanty K na hodnotu $K = 300$. Jinými slovy na poloviční zvlnění za jinak stejných podmínek.



Obr. 1.8 Dvoucestný usměrňovač s filtračním kapacitorem



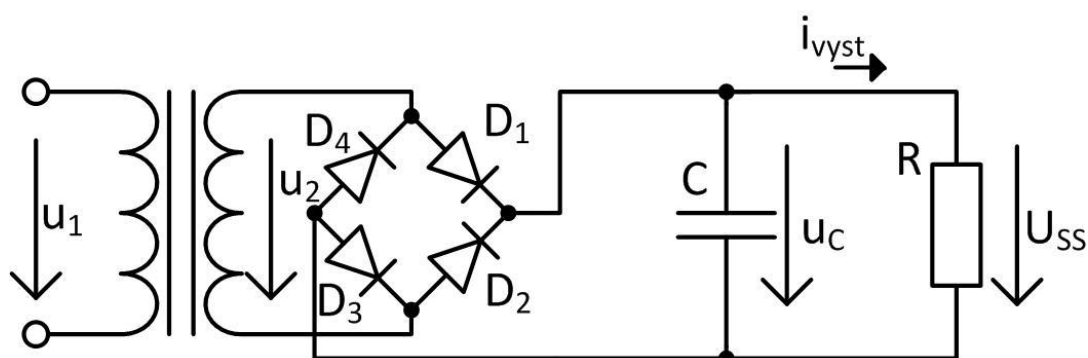
Obr. 1.9 Průběhy napětí a proudu na dvoucestném usměrňovači

Dimenzování parametrů součástek u dvojcestného usměrňovače je téměř totožná s dimenzováním součástek u jednocestného usměrňovače. Závěrné napětí diod se volí stejné, tzn. $u_{2\max} + U_{SS}$, stejně tak napětí kondenzátoru $U_{SS} + \frac{1}{2} \Delta u$. Jiné je to pouze u proudu procházejícího diodou. V tomto případě je to pouze polovina proudu, kterým chceme zatěžovat usměrňovač. Je to zcela logické a je to dáno tím, že se diody ve vedení proudu střídají.

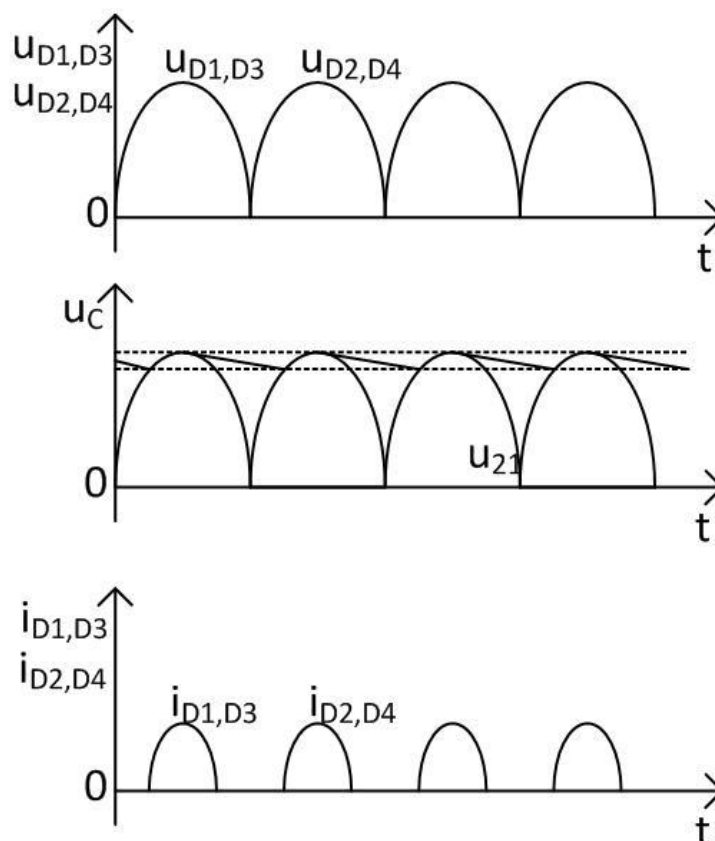
Nevýhodou tohoto usměrňovače je nutnost transformátoru, který má vyvedený střed sekundárního vnutí [1].

1.2.3 Můstkový usměrňovač

Jelikož nechceme nebo nemůžeme pokaždé použít transformátor s vyvedeným středem sekundárního vnutí, můžeme využít usměrňovač můstkový, označovaný také jako Greatzův usměrňovač Obr. 1.10. Na Obr. 1.11 jsou zobrazeny průběhy napětí a proudů na můstkovém usměrňovači. V kladné půlvlně napětí u_2 jsou diody D_1 a D_3 v propustném směru a teče přes ně proud do filtračního kapacitoru C . Diody D_2 a D_4 jsou uzavřeny. V záporné půlvlně se situace otočí a D_1 a D_3 se uzavřou a D_2 a D_4 se otevřou.



Obr. 1.10 Můstkový usměrňovač



Obr. 1.11 Průběhy napětí a proudu na můstkovém usměrňovači

Diody volíme na polovinu proudu, který chceme odebírat z usměrňovače. Napětí kapacitoru volíme jako $U_{SS} + \frac{1}{2} \Delta u$. Závěrné napětí diod pak volíme větší nebo rovno u_{2max} , to je z důvodu, zapojení vždy dvou diod zapojených v sérii. Úroveň zvlnění usměrňovače je stejná jako u dvojcestného usměrňovače ($K = 300$ s). Tento usměrňovač je vhodný i pro velké výkony [1].

1.2.4 Další typy usměrňovačů

Usměrňovač se dá zkonstruovat jak pasivně, z diod nebo diodových můstků, tak i aktivně, z polovodičových prvků. V dnešní době nejčastěji tranzistorů MOSFET. U aktivních usměrňovačů se také dá pomocí řídicího úhlu řídit střední hodnota usměrněného napětí.

Principiálně zůstává schematické zapojení s tranzistory, totožné jako zapojení s diodami, pouze jsou diody nahrazeny tranzistory. Zapojení je dále zkomplikováno o řídicí obvody, které jsou nezbytné pro časování a správné otevírání tranzistorů v přesně určenou dobu.

Nevýhodou těchto usměrňovačů je tedy nutnost řídicích obvodů a tím poměrně složitějšího zapojení, než pouze s diodami.

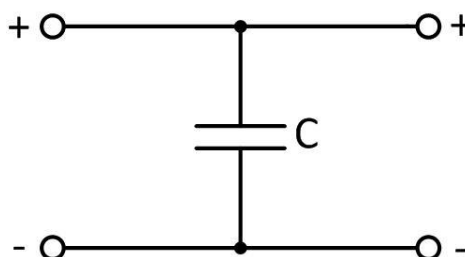
Výhodou je však větší účinnost takového zapojení, možnost ovlivnění střední hodnoty výstupního usměrněného napětí (pomocí řídicího úhlu) a v neposlední řadě možnost odebírat velké proudy do zátěže.

1.3 Filtr

Funkcí filtru je vyhlazení usměrněného napětí na potřebnou míru. V dnešní době se používají výhradně kapacitní filtry. Z důvodu nízkého kmitočtu napájecí sítě, jsou filtrační kondenzátory velkých rozměrů. Proto je výhodnější z hlediska filtrace používat můstkový usměrňovač, jelikož jeho zapojení zdvojuje síťový kmitočet.

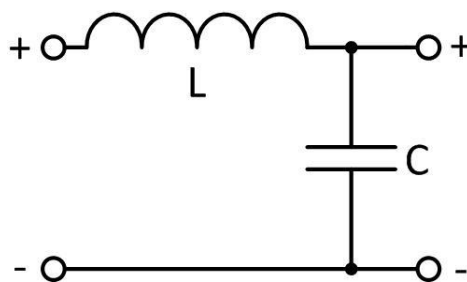
Velikost kapacity kondenzátoru je závislá na odebíraném proudu a jeho velikost lze vypočítat ze vztahu:

$$C = I_C \cdot \frac{dt}{du_c} [F] \quad (5)$$



Obr. 1.12 Filtr tvořený jedním kapacitorem

Jako filtr se dají také použít filtry tvořené kapacitorem a indukčností. Indukčnost v obvodu omezuje zvlnění výstupního proudu. Nevýhodou tohoto filtru tvořeného indukčností a kapacitorem je, že k dosažení výstupního napětí je třeba vyššího vstupního napětí. Při síťovém kmitočtu 50 Hz je také indukčnost velkých rozměrů. Je to způsobeno tím, že indukčnost snižuje nabíjecí proud kondenzátoru a prodlužuje jeho trvání při snížení napětí usměrňovače k nule. Proto se v běžných filtrech indukčnosti nepoužívají. Smysl použít indukčnost ve filtru v napájecím zdroji má tehdy, kdy stavíme zdroj impulsní, jelikož jeho pracovní kmitočty se pohybují v rozmezí 1 kHz až 10 MHz [2].



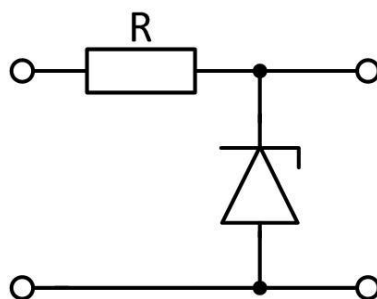
Obr. 1.13 Filtr tvořený indukčností a kapacitorem

1.4 Stabilizátor

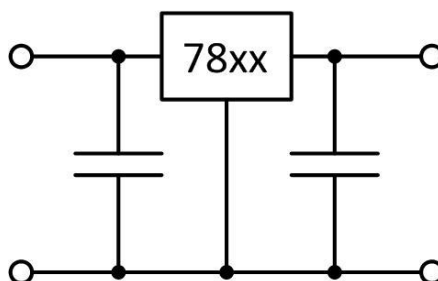
Stabilizátor napětí slouží ke stabilizování hodnoty výstupního napětí na požadovanou hodnotu. Ke stabilizaci se používají Zenerovy diody, Zenerovy diody doplněné o tranzistor, nebo integrované stabilizátory.

Zenerovy diody se používají v případě, že ze zdroje nepotřebujeme odebírat velké proudy (řádově do desítek mA).

Integrované stabilizátory v základním provedení se potom používají v případech, kdy ze zdroje potřebujeme odebírat větší proudy (zhruba do 1 A).



Obr. 1.14 Stabilizátor Zenerovou diodou



Obr. 1.15 Stabilizátor integrovaným obvodem

Při potřebě odebírání ještě větších proudů (zhruba do 10 A), můžeme použít výkonové stabilizátory, které je však nutno osadit chladičem, z důvodu zahřívání stabilizátoru. Zahřívání

stabilizátoru je samozřejmě zapříčiněno průchody velkých proudů skrz stabilizátor.

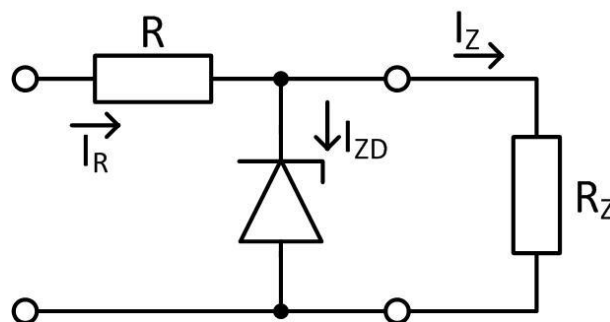
Druhým způsobem, kdy potřebujeme odebrat větší proud, ale nemáme výkonový stabilizátor, je použít integrovaný stabilizátor v základním provedení a ten posílit o výkonový tranzistor. I tato metoda zapojení však potřebuje, aby byl výkonový tranzistor z důvodu odvodu tepla přidělán na patřičně veliký chladič.

Stabilizátory napětí se dají dále rozdělit na pevné a proměnné. Pevné stabilizátory se realizují již zmíněnými Zenerovými diodami nebo také integrovanými obvody např. řady 78xx, kde xx značí číslo výstupního stabilizovaného napětí (např. 7805 stabilizuje napětí na hodnotu 5 V). Nastavitelné stabilizátory napětí se realizují pomocí integrovaných obvodů např. LM317 a lze si výstupní napětí plynule regulovat v závislosti na parametrech daného obvodu.

Stabilizátorů napětí je v dnešní době celá řada, ale toto jsou ty nejzákladnější a nejpoužívanější. Stabilizátory mohou také namísto napětí stabilizovat proud, mohou být v sériovém nebo paralelním zapojení a také mohou stabilizovat kladné nebo záporné napětí.

1.4.1 Stabilizátor se Zenerovou diodou

Zenerova dioda se používá pro stabilizaci napětí v závěrném směru, spolu s předřadným odporem R Obr. 1.14. Při zvýšení napětí na vstupních svorkách začne diodou procházet větší proud, její odpor se zmenší a napětí na svorkách diody zachová téměř stejnou velikost. Stejným způsobem Zenerova dioda stabilizuje napětí na zátěži v závislosti změny zatěžovacího odporu [3].



Obr. 1.16 Stabilizátor se Zenerovou diodou a připojenou zátěží

Uvažujme teď připojení zátěže R_Z na výstup stabilizátoru Zenerovou diodou, proud procházející zátěží I_Z , proud procházející Zenerovou diodou I_{ZD} a proud procházející odporem R (Obr. 1.16). Poté můžeme říci, že proud odporem R je

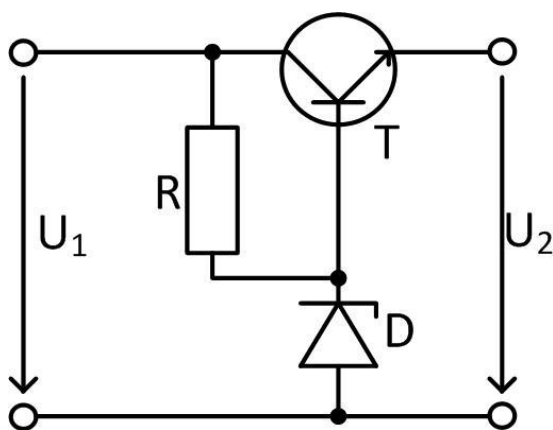
$$I_R = I_{ZD} + I_Z. \quad (6)$$

Sníží-li se proud I_Z , musí zákonitě stoupnout proud I_{ZD} . Z toho vyplývá, že při velkém poklesu I_Z hrozí zničení Zenerovy diody z důvodu průchodu velkého proudu. Zapojení stabilizátoru se Zenerovou diodou se proto nehodí pro proměnnou zátěž, a využívá se spíše jako zdroj referenčního napětí [1].

1.4.2 Sériová stabilizace s tranzistorem

Na Obr. 1.17 je schéma zapojení sériové stabilizace s tranzistorem. V zapojení je dále Zenerova dioda a odpor.

Sériový stabilizátor vyrovnává změny vstupního napájecího napětí a výstupního napětí v závislosti na změně zatěžovacího odporu. Zenerova dioda stabilizuje napětí, které má tranzistor přivedeno na bázi. „Při zvětšení vstupního napětí na kolektoru by se zvětšilo i napětí na emitoru. Protože je napětí na bázi konstantní, tranzistor se přivírá, zvětšuje svůj odpor, čímž se zmenší napětí na emitoru, tj. výstupní napětí U_2 . Při snížení vstupního napětí U_1 je tomu naopak“ [3].



Obr. 1.17 Schéma zapojení stabilizátoru s tranzistorem

Tento typ stabilizátoru je použit v praktické části bakalářské práce na desce usměřovače a slouží pro napájení komparátorů a budičů tranzistorů.

2 Lineární napájecí zdroj – praktická konstrukce

2.1 Aktivní můstkový usměrňovač s MOSFET

2.1.1 Popis funkce

Jako prvním blokem při praktické realizaci lineárního napájecího zdroje jsem se zabýval aktivním usměrňovačem. Při návrhu jsem vycházel ze článku vydaného v Praktické elektronice 09/2011. Aktivní usměrňovač byl zvolen namísto klasického diodového usměrňovače, protože má menší ztráty a při větším odebíraném proudu nemá potřebu chlazení.

Nevýhodou tohoto řešení usměrňovače je poměrně vyšší cena použitých součástek a to hlavně z důvodu nutnosti řízení a buzení tranzistorů.

Základem zapojení jsou čtyři MOSFET tranzistory (*Obr. 4.2*), sloužící k usměrňování napětí. Jsou v zapojení použity přesně tak, jak by v případě pasivního usměrňovače byly zapojeny jednotlivé diody. Přes svorky X1 a X2 je přivedeno síťové napětí na tranzistory a na dva odporové děliče, jeden tvořený kombinací odporů $R2/(R4+R5)$ a druhý kombinací $R9/(R7+R8)$. Toto napětí je přivedeno na neinvertující vstupy komparátoru IC2. Na invertujících vstupech komparátoru je napětí přivedené z děliče tvořeného z $R1/R10$. Toto napětí je bráno až za usměrňovačem a nese informaci o jeho velikosti. Obě přivedená napětí na vstupy komparátoru IC2 jsou v závislosti na jejich okamžitých velikostech porovnávána a přes budiče IC1 a IC3, jsou buzeny čtyři tranzistory MOSFET.

Při připojení střídavého napájení ze síťového transformátoru se přes diody v MOSFET tranzistorech začne usměrňovat napětí. V tuto chvíli tranzistory fungují pouze jako usměrňovací Greatzův můstek, jelikož nejsou zatím buzeny z budičů. Tento jev nastává až do chvíle, kdy se na filtračních kondenzátorech C2 až C7 navýší napětí na takovou hodnotu, při které se spustí napájení integrovaných obvodů, tvořené z D3, R11, T5, CD3E, CD3 a C12. Zároveň se spuštěním napájení se rozeběhne komparátor IC2 a oba budiče IC1 a IC3.

Komparátor IC2 na základě porovnávání napětí na invertujících a neinvertujících vstupech vysílá střídavě impulsy do budičů tranzistorů IC1 a IC3, které budí samotné tranzistory T1 až T4.

V jednu chvíli jsou sepnuty vždy dva tranzistory současně, jako by to bylo v klasickém usměrňovači z diod. Diody, které jsou v přechodech tranzistorů, jsou nyní přemost'ovány vlastním přechodem hradel v tranzistorech.

Je-li na svorce X1-1(2) kladná půlvlna a na X3-1(2) je usměrněné kladné napětí nižší než kladná půlvlna, komparátor na vstupech IN2- a IN2+ porovná napětí. Na výstupu OUT2 překloupí a přes budič vybudí tranzistory T2 a T4. Tento stav trvá až do doby, než se nabijí kondenzátory C2 až C7, zvýší se napětí na výstupu a vyrovná se napětí vstupnímu na komparátoru. Komparátor se překloupí zpět do nízké úrovně a T2 a T4 se zavřou.

2.1.2 Praktická realizace

Schéma a plošný spoj jsem vytvořil v programu Eagle. Jedná se o program na tvorbu plošných spojů pro elektrotechniku. Seznámení s programem nebylo mé prvé a tak nebyl tak veliký problém se rychle do problematiky tvorby plošného spoje dostat. Při návrhu jsem si musel dávat hlavně pozor na to, že deskou potečou velké proudy, v mém případě 5A, a musel jsem proto vytvořit dostatečně velké cesty pro průchod takto velkého proudu. Při špatném návrhu tloušťky spojů, by se mohla měď z desky úplně vypařit.

Po vyrobení plošného spoje došlo na jeho osazování. S osazováním THT součástek jsem již zkušenosti měl, ale s osazováním SMD součástek zatím ne. V osazování však žádný problém nebyl a vše šlo velmi dobře. Osazování se musí provádět od nejmenších součástek až po ty největší.

Po osazení součástkami a vizuální kontrole byl usměrňovač připraven k zapojení a měření. Desku usměrňovače jsem zkoušel bez kapacitorů C2 – C7, jelikož jejich vybíjení by trvalo velkou dobu a do odporu, který jsem používal pro vybíjení, by tekla velký proud. Proto jsem prozatím použil pouze dva kapacitory o hodnotě 47 μ F.

Po připojení na zkušební transformátor a připojení multimetru na výstup usměrňovače se objevilo nějaké napětí. Vzal jsem sondy osciloskopu a chtěl se podívat na komparátor, jestli překloupí a na budiče, jestli správně budí. Osciloskopem jsem nic nenaměřil a tak jsem vzal opět multimetr, abych si ověřil, jestli jde do integrovaných obvodů napájecí napětí. Žádné jsem nenaměřil. Bylo to nejspíše způsobeno tím, že na výstupu nebylo dostatečně velké napětí, pro správný chod pomocného napájecího obvodu. Proto jsem se pustil do úpravy desky.

Po mírné úpravě desky, jsem nejprve přivedl napětí 15 V přímo k napájení integrovaných obvodů. Multimetrem jsem zkontroloval, zda je napájecí napětí správně rozváděno po desce. Vše bylo v pořádku a tak jsem na vstupní svorky přivedl stejnosměrné napětí. Osciloskopem jsem zkontroloval, zda komparátor překloupil na jednom výstupu na vysokou úroveň a na druhé zůstal na nule. Komparátor byl překloupen a jeho výstupní napětí přivedeno na budič.

Budič byl vybuzen, avšak tranzistory nebyly vybuzeny. Nevěděl jsem, kde se stala chyba a tak jsem zatím otočil stejnosměrné napětí připojené na vstup. Opět jsem změřil napětí komparátoru, a zda budič budí. Vše se chovalo naprosto totožně s předchozím případem. Tranzistory opět byly uzavřeny. Usměrňovač tedy stále usměrňoval, ale pouze z důvodu diod v tranzistorech.

Vzal jsem si proto opět pro měření osciloskop a znovu kontroloval napětí na výstupech komparátoru. Tentokrát jsem však přivedené stejnosměrné napětí na výstup pomalu zvyšoval od nuly. Po dosažení 17,4 V komparátor překlopil. Sjel jsem tedy s napětím na nulu a otočil polaritu. Znovu jsem začal postupně zvyšovat napětí a na osciloskopu hlídal překlopení komparátoru. S takto přiloženým napětím mi však komparátor při 16,8 V začal kmitat a kmitání se ustálilo až při dosažení zhruba 18 V.

Po dalším nešikovném měření jsem si omylem uzemnil pomocné napájení 15 V a v důsledku toho jsem odpálil tranzistor T5. Byl jsem nucen ho vyměnit avšak v důsledku velkého zahřátí plošného spoje se mi cesty k tranzistoru T5 zcela oddělili od kuprextitu. Nahradil jsem je proto kouskem drátu. Vyměnil jsem tranzistor a pokračoval v měření. Měření po výměně tranzistoru však vedlo k úplně stejným výsledkům. Po nějaké chvíli mi opět shořel tranzistor T5 a při pokusu o jeho výměnu byla deska již dost znehodnocena a proto jsem byl nucen si nechat vytvořit novou desku.

Po jejím zhotovení, následném osazení a následném vizuálním zkontrolování, však k žádnému měření nedošlo, neboť při připojení ke zkušebnímu transformátoru se mi vznítily budič IC1 a došlo k jeho totální destrukci.

2.1.3 Zhodnocení

V prvním ani ve druhém pokusu o oživení usměrňovače jsem neuspěl. V prvním případě za to mohli nejspíše nábojové pumpy za budiči, které nedodali patřičně velký náboj, který by stačil pro otevření tranzistorů. Jiný důvod nevidím. Komparátor po změření osciloskopem překlápěl a signál z budičů také. Dalším problémem byli zákmity komparátoru při přivedení mnou nasimulované „záporné půlvlny“. To bylo nejspíše způsobeno vnitřní destrukcí v integrovaném obvodu při osazování, při ohřevu, nebo problémem, který vznikl v napájecí větvi a vedl ke zkratu. Mohla vzniknout nějaká špička a ta měla opět za příčinu destrukci ve vnitřní struktuře integrovaného obvodu. U druhého pokusu došlo při připojení napětí k vizuální destrukci jednoho z budičů. Závadu jsem již nehledal, jednak z důvodu časové tísně a také hlavně kvůli tomu, že jsem neměl již náhradní budič, se kterým bych to mohl zkusit znovu. Závada mohla být způsobena opět při osazování v důsledku ohřevu a následné

destrukci vnitřní struktury budiče, jelikož budiče jsem z pokusné desky jedna vypájel a osadil na desku druhou.

Musím proto bohužel napsat, že jsem se k žádným kloudným hodnotám, které by vedly na technické parametry usměrňovače jako celku, nedostal. Je to způsobeno tím, že se mi nepodařilo usměrňovač zprovoznit, tak jak byla jeho teoretická funkce předpokládána. V prvním případě mi sice usměrňovač fungoval, avšak pouze ve stavu, kdy nebyly tranzistory buzeny a napětí se usměrňovalo jen přes vnitřní diody tranzistorů. Usměrňovač usměrňoval pouze jako pasivní Greatzův můstek.

2.2 Regulovatelný stabilizátor napětí s proudovou ochranou

2.2.1 Popis funkce

Druhý blok laboratorního zdroje je regulovatelný stabilizátor napětí s regulovatelnou proudovou ochranou. V návrhu jsem vycházel ze zapojení pana Michala Slánského [4] a také z článku vydaného v Praktické elektronice a Radiu 12/96, autorem byl Marian Takáč.

Základem celého zapojení je integrovaný stabilizátor napětí LM317T (*Obr. 4.1*). Jedná se o integrovaný stabilizátor napětí, který zvládá regulovat podle datasheetových hodnot v rozmezí 1,25 V až 37 V. Maximální proudovou zátěž, kterou obvod zvládne je 1,5 A. Z tohoto důvodu musí být v zapojení regulátor posílen o výkonový tranzistor, který zvládne větší proudy. Jedná se prakticky o přemostění regulátoru tranzistorem, který za regulátor přenáší velký výstupní proud, námi zvolený až na 5 A. V původním zapojení, ze kterého jsem vycházel, byl použit tranzistor MJ4502. Já jsem jako tranzistor použil typ BD250C. Svými parametry je dostatečně dimenzovaný a je také jednoduše k sehnání.

Odpor R1 o velikosti 33 Ω v zapojení slouží právě k otevírání tranzistoru T1. Při překročení proudu procházejícího odporem danou mez vznikne úbytek napětí a tranzistor T1 se v důsledku toho otevře. Otevře se tak další cesta pro procházející proud. Jelikož se tranzistor otevírá při průtoku proudu v rozmezí 100 – 200 mA, nemusí být stabilizátor LM317T umístěn na chladiči. Odpor R2 slouží ke snímání úbytku napětí a jeho hodnota je vedena na operační zesilovač LM741. Operační zesilovač slouží v zapojení regulace jako proudová pojistka zařízení. Pracuje jako rozdílový zesilovač. Na jeho vstup jsou přivedena dvě napětí stejné polarity, jedno je napětí stabilizátoru a druhé je napětí právě za rezistorem R2. Odpor R2 může také sloužit jako bočník pro snímání průchodu výstupního proudu a

k jeho měření. Zapojení tak může být obohaceno o měřič proudu.

Trimr TR1 slouží při oživování k nastavení maximálního proudového omezení stabilizátoru. LED dioda signalizuje zapnutí proudové ochrany. Proudové omezení, které je uživatelsky nastavitelné, se pak mění potenciometry P2A a P2B. Změna výstupního napětí se provádí pomocí potenciometrů P1A a P1B.

Na výstupu regulátoru je umístěna dioda D3. Její funkcí je ochrana regulátoru před připojením opačně polarizovaného napětí na výstup.

Větev tvořená ze součástek D4, D5, D4, R8 a C6 je využívána k vytvoření záporného napájecího napětí pro operační zesilovač LM741.

2.2.2 Praktická realizace

Tvorbu schématu a plošného spoje pro regulátor jsem opět vytvářel v programu Eagle. U tohoto návrhu jsem musel dbát opět na tloušťku cest, které vedou hlavní proud 5 A. I zde by se bez jejich patřičné dimenzace mohli vypařit. Druhým parametrem při návrhu této desky byl fakt, že tranzistor T1 bude potřeba umístit na chladič. Z důvodu lepšího chlazení jsem desku navrhl tak, že na chladič přijde tranzistor T1, ale i stabilizátor napětí IC1 a výkonový odpor R2. Chladič bude umístěn přes distanční sloupky zespodu plošného spoje a součástky budou taktéž připevněny ze spodní strany desky. Osazení desky šlo celkem rychle, jednak z důvodu, že jsem již neměl sebemenší problém pájet SMD součástky, ale také z důvodu, že součástek nebylo mnoho. Po osazení, opět od nejmenších součástek po největší, a vizuální kontrole, byla deska regulátoru připravena pro měření.

Jelikož se mi nepodařilo oživit desku s usměrňovačem, musel jsem použít laboratorní zdroj pro nasimulování usměrňovače. Spojil jsem dva výstupy na laboratorním zdroji (svorku + a -) a vytvořil si tak symetrický regulovatelný zdroj. To jsem musel udělat, protože jsem potřeboval napájecí napětí +30 V a také -8,5 V pro napájení operačního zesilovače. Proto jsem si nastavil na jednom zdroji 30 V a ty připojil mezi svorky +Ucc a GND, a na druhém zdroji jsem nastavil hodnotu 10 V a toto napětí jsem přivedl na svorky GND a -Ucc. Proudové omezení na laboratorním zdroji jsem pro větev 30V nechal nastavenou prozatím na 500 mA. Na druhé větvi jsem nastavil hodnotu omezujícího proudu pouze na 80 mA. Zdroj slouží k napájení pouze operačního zesilovače a tak není předpokládán velký odběr. Výsledný změřený odběr komparátoru byl 5 mA.

Po nastavení laboratorního zdroje jsem připojil regulátor. Na regulátoru jsem předtím nastavil potenciometry P1A, P1B, P2A, P2A i trimr TR1 do střední polohy. Na výstup jsem připojil multimetr a změřil napětí. Napětí bylo 12,6 V. Nyní jsem musel nastavit maximální

možný proud pro proudovou ochranu. Jelikož jsem si na začátku na laboratorním zdroji nastavil proudovou ochranu pouze na 500 mA, nepředpokládal jsem, že by šel proud nastavit na větší hodnotu než na tuto. Proto jsem proudové omezení nastavil prozatím na 2 A. Jednak z důvodu, že laboratorní zdroj dokáže dodat maximálně 2,5 A a také proto, že jsem pro oživení neměl dostatečně velký chladič, na který bych umístil tranzistor T1 a použil jsem chladič menších rozměrů, který by však pro tuto zátěž proudu měl být dostatečný. Na výstup regulátoru jsem připojil výkonový odpor o hodnotě 63 Ω a ampérmetr. Pak jsem vytočil potenciometry do koncových poloh a chtěl nastavit proud trimrem. K tomuto kroku jsem se již nedostal. Ve chvíli vytočení potenciometrů P2A a P2B, které slouží k nastavování proudu, se z obou potenciometrů začalo kouřit. Rychle jsem proto regulátor odpojil od zdroje a začal kontrolovat škody. Po proměření aktivních součástí a diod jsem ještě vyzkoušel, zda přežili potenciometry, vše se zdálo být v pořádku. Proto jsem znovu nastavil trimr a potenciometry do středových poloh a připojil na laboratorní zdroj. Proudovou ochranu jsem na zdroji stáhnul zpět na 500 mA. Vše bylo zatím v pořádku. Vzal jsem multimetr a změřil napájení do operačního zesilovače a napětí na výstupu. Hodnoty odpovídaly hodnotám naměřených při prvním pokusu. Rozhodl jsem se prozatím proudovou ochranu nenastavovat a na výstup jsem připojil pouze multimetr a zkoušel regulovat napětí. To jsem prováděl potenciometry P1A a P1B. Regulátor sice napětí reguloval, ale pouze od již změřené hodnoty 12,6 V do 1,26 V. Při pomalém vytáčení potenciometrů, napětí pomalu vzrůstalo, avšak zhruba v polovičním vytočení potenciometrů se ustálilo na 12,6 V a od půlky se napětí již neměnilo.

Při druhém pokusu jsem se rozhodl nastavit proud pouze na 1 A. Je to dostatečně velká hodnota na zkoušení a také na odpravení součástí. Na výstup jsem připojil znovu odpor 63 Ω a ampérmetr. Při vytočení potenciometrů do koncových poloh se situace opakovala s rozdílem, že se tentokrát začalo jiskřit pouze z potenciometru P2B. Rychle jsem proto vytočil potenciometry na plnou opačnou polohu. Jiskření ustalo, avšak proudová ochrana po tomto vyzkoušení nefungovala.

2.2.3 Zhodnocení

Musím bohužel zkonstatovat, že ani v tomto ožívování se mi nepodařilo zařízení uvést do chodu. Regulátor sice nějakým způsobem a do určité hodnoty reguloval napětí, ale nefungoval v plném rozsahu od 1,25 – 30 V jak měl. Fungoval pouze v rozmezí 1,25 – 12,6 V. Proč právě v tomto rozsahu, netuším. Při nastavování proudové ochrany mi pokaždé začal jiskřit potenciometr P2B. To musel způsobit velký proud procházející potenciometrem. Nicméně se tak stát nemělo a proud by měl jít bez problémů nastavit bez jakéhokoliv zničení

součástek. Touto větví by neměl téci takto velký proud, jelikož v sérii k potenciometrům je připojen ještě trimr o hodnotě 50 k Ω , který je dostatečně velký.

Z toho vyplývá, že ani toto ověřené zapojení mi bohužel nefunguje. Bohužel z nedostatku času není čas hledat závadu. Neměl jsem již ani čas zkontrolovat, zda po druhém pokusu zapojení přežili všechny součástky. Ale asi ano a to usuzuji z toho, že šlo stále regulovat výstupní napětí. Sice ve sníženém rozsahu, ale šlo. Problém je nejspíše někde v operačním zesilovači. Podle chování obvodu usuzuji, že nepracuje správně. Z tohoto důvodu, pak nemůže fungovat správně ani stabilizátor napětí.

3 Závěr

Praktická realizace modulu napájecího zdroje nevedla k žádným reálným hodnotám zapojení. To bylo způsobeno nefunkčností obou vzorků zapojení a jejím následným neodhalením chyb.

V prvním případě aktivního usměrňovače byla chyba nejspíše v nábojových pumpách, které nedokázaly dodat dostatečně velký náboj pro otevření tranzistorů. Usměrňovač sice usměrňoval, ale pouze v pasivním režimu, kdy se napětí usměrňovalo pouze přes vnitřní diody v tranzistorech. Dalším problémem ze začátku byl fakt, že nešla z výstupního napětí napájecí větvev pro integrované obvody a musela být nahrazena externím laboratorním zdrojem. Po jejím nahrazení, již bylo rozvedeno správně napájecí napětí k integrovaným obvodům. Komparátor v zapojení v tuto chvíli již fungoval a při změně polarity vstupního napětí překlápěl v daných mezích. Signál byl přiveden bez problémů na oba budiče. Na výstupech budičů se také objevovaly pulsy, ale nábojová pumpa zapojená za budiči a tvořená kapacitorem C1 a C8 již nedodávala dostatek energie pro otevírání tranzistorů. Při druhém pokusu a následném připojení na transformátor, došlo k totální destrukci budiče IC1. To bylo zapříčiněno nejspíše manipulací s obvodem, při které docházelo k velkému ohřevu obvodu a následné destrukci vnitřní struktury.

Ve druhém případě se stabilizátorem napětí nedošlo bohužel také k žádným reálným hodnotám. Opět to bylo následkem nefunkčnosti bloku regulátoru. Při prvním zapojení se na výstupu stabilizátoru objevilo napětí. Po změření odebíraného proudu operačního zesilovače LM741 a změření napětí na výstupu stabilizátoru, se zdálo vše v pořádku. Dalším krokem při oživování modulu stabilizátoru, mělo být nastavení proudové ochrany. V tuto chvíli se vyskytl problém v podobě destrukce potenciometrů v důsledku velkého procházejícího

proudu. Je to zvláštní, ale touto větví skrz potenciometry a trimr, velké proudy téci neměly. Potenciometry sloužily pro nastavení operačního zesilovače a byl jimi nastavován poměr vstupních napětí přiváděných do operačního zesilovače. Napětí bylo snímáno z odporu R2, který je výkonový a malé hodnoty 0,22 Ω . Při průchodu velkého proudu rezistorem se na něm objeví úbytek a ten je přiveden právě na vstupy operačního zesilovače. Na výstupu jsem však naměřil maximální proud procházející modulem stabilizátoru do zátěže o velikosti těsně pod 500 mA. Tato hodnota proudu byla z důvodu nastavení proudové ochrany na laboratorním zdroji, který jsem využíval namísto nefunkčního bloku usměrňovače. Nicméně takovýto průchozí proud by měly potenciometry zvládnout. Odpojil jsem napájecí zdroj a proměřil aktivní součástky. Všechny byly v pořádku. Provedl jsem ještě vizuální kontrolu plošného spoje a znovu připojil zdroj. Vše se opakovalo. Vyplývá proto z toho, že se mi nepodařilo nastavit proudovou ochranu stabilizátoru. Stabilizátor přesto dokázal regulovat napětí. Původní předpoklad byl, že bude regulovat v rozmezí 1,25 – 30 V, avšak při měření mi regulátor reguloval pouze v rozmezí 1,26 – 12,6 V. Důvod, snížené regulace připisuji špatně funkčnímu operačnímu zesilovači, který mohl svým zapojením do obvodu způsobit další cestu proudu. Druhým důvodem mohlo být špatné otevírání výkonového tranzistoru T1.

Jelikož jsem neměl dostatek náhradních součástek na opětovné vyzkoušení a možné následné oživení modulů, nemám ani žádné reálné naměřené hodnoty. V teoretické části byla ukázána teoretická funkčnost zařízení. Protože se jedná již o vyzkoušené a zhotovené zapojení, nezbyvá mi než uznat, že moje zkušenosti, pro ožívování a tvorbu zařízení nejsou dostatečné, a na takové úrovni, abych se mohl zajímat o reálnou konstrukci zařízení. Při hledání závad a důvodů nefunkčnosti jsem se přesvědčil, že některé problémy sice objevím, ale nejsem schopen je odstranit. Z celé práce mohu tedy pouze zkonstatovat, že jsem si rozšířil obzory v práci s programem na výrobu plošných spojů Eagle. Dále jsem se naučil osazování plošného spoje SMD součástkami a v neposlední řadě jsem se dozvěděl, že i ověřená zapojení nemusí vždy fungovat.

Použitá literatura

Knižní literatura:

- [1] Vobecký J., Záhlava V.: *Elektornika, součástky a obvody, principy a příklady, Třetí rozšířené vydání*, Grada Publishing a.s., Praha 2005
- [2] Hammerbouer J.: *Elektronické napájecí zdroje a akumulátory*, Vydavatelství Západočeské univerzity, Plzeň 1998
- [3] Vít V. a kolektiv: *Televizní technika*, SNTL, Nakladatelství technické literatury, Praha 1979. 469 – 471 strana.

Internetové zdroje:

- [4] Konstrukce laboratorního zdroje 0 - 30V / 0 - 5A
<http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/konstrukce/konstrukce-laboratorniho-zdroje-0-30v-0-5a.html> Online 1.2.2012
- [5] Transformátor
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Transform%C3%A1tor> Online 2.1.2012
- [6] Regulovatelný zdroj
<http://www.fsid.cvut.cz/stretech/2011/sbornik/61.pdf> Online 1.2.2012

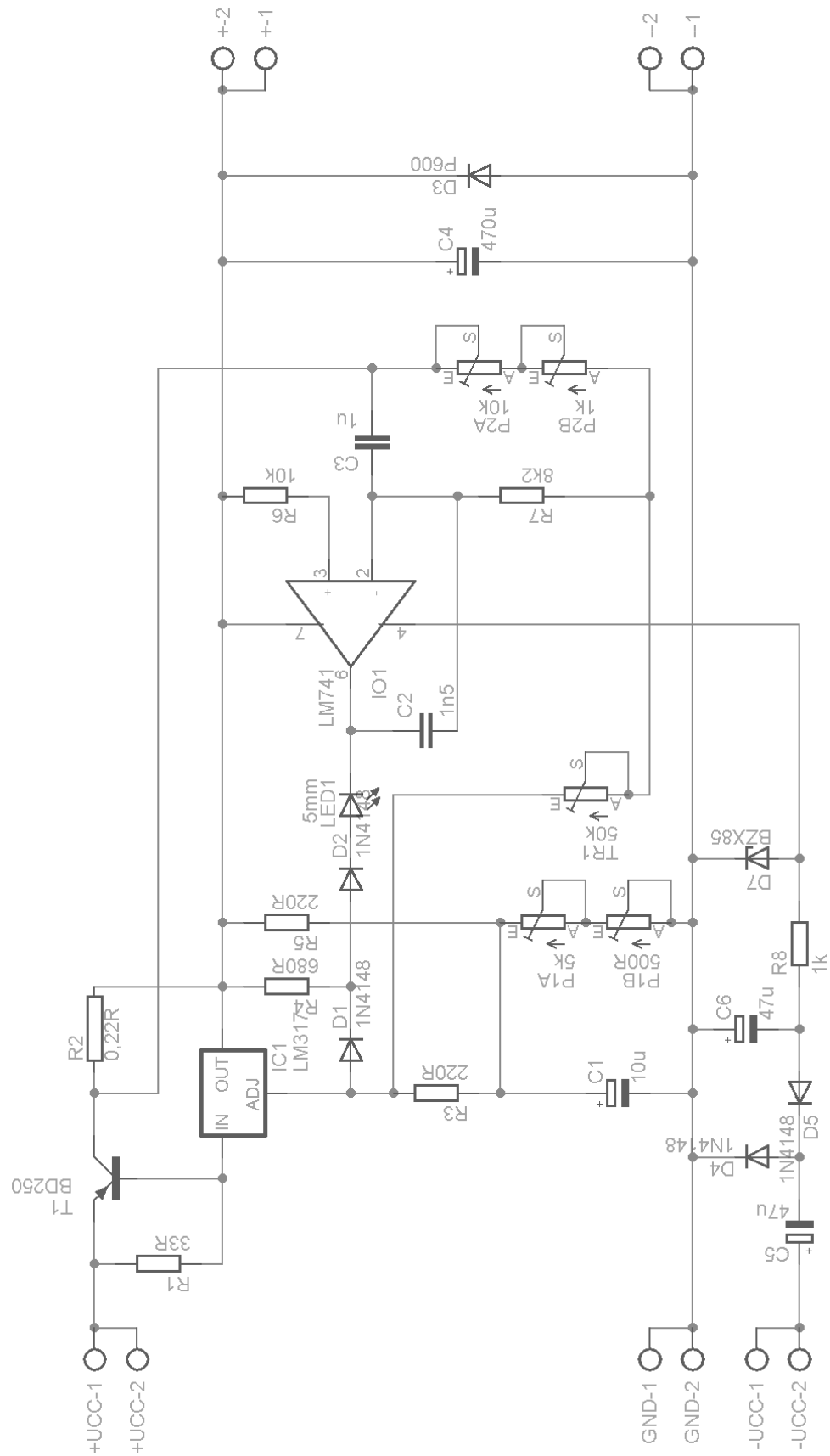
Články:

- [7] Bartoň K.: *Aktivní výkonové usměrňovače s MOSFET*, Praktická elektronika a Rádio 09/2011
- [8] Takáč M.: *Dvojitý laboratorní zdroj*, Praktická elektronika a Rádio 12/96

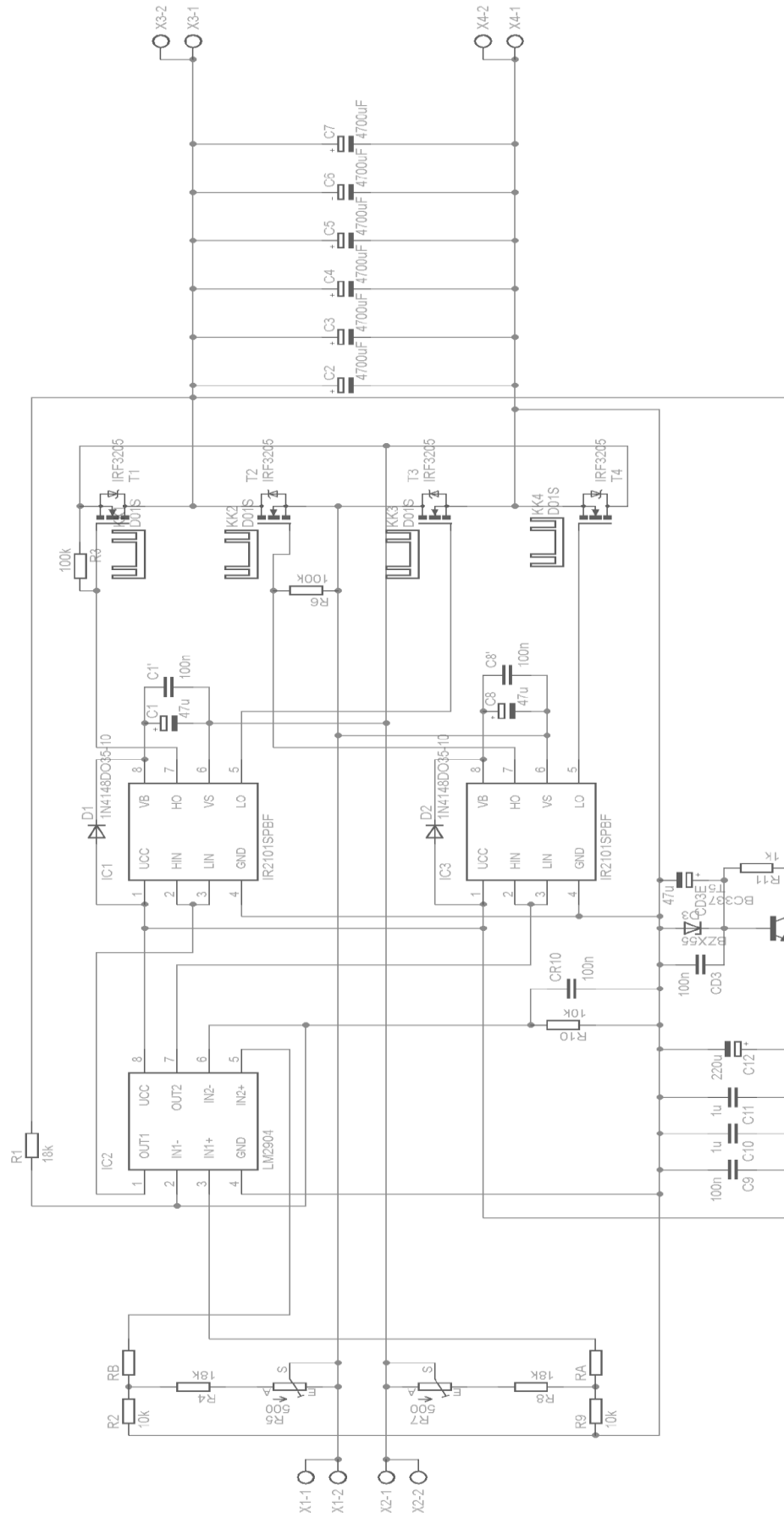
Seznam příloh

<i>OBR. 4. 1 SCHÉMA STABILIZÁTORU NAPĚTÍ</i>	I
<i>OBR. 4. 2 SCHÉMA ŘÍZENÉHO USMĚRŇOVAČE S MOSFET</i>	II
<i>OBR. 4. 3 DESKA PLOŠNÉHO SPOJE USMĚRŇOVAČE TOP</i>	III
<i>OBR. 4. 4 DESKA PLOŠNÉHO SPOJE USMĚRŇOVAČE BOTTOM</i>	III
<i>OBR. 4. 5 DESKA PLOŠNÉHO SPOJE STABILIZÁTORU TOP</i>	IV
<i>OBR. 4. 6 DESKA PLOŠNÉHO SPOJE STABILIZÁTORU BOTTOM</i>	IV
<i>OBR. 4. 7 OSAZENÁ DESKA STABILIZÁTORU</i>	V
<i>OBR. 4. 8 POHLED NA STABILIZÁTOR ZE SPODNÍ STRANY S TRANZISTOREM UMÍSTĚNÝM NA CHLADIČI</i>	V
<i>OBR. 4. 9 USMĚRŇOVAČ SE ZKUŠEBNÍMI KAPACITORY 47μF</i>	VI
<i>OBR. 4. 10 OSAZENÁ DESKA USMĚRŇOVAČE KAPACITORY 4700μF</i>	VI

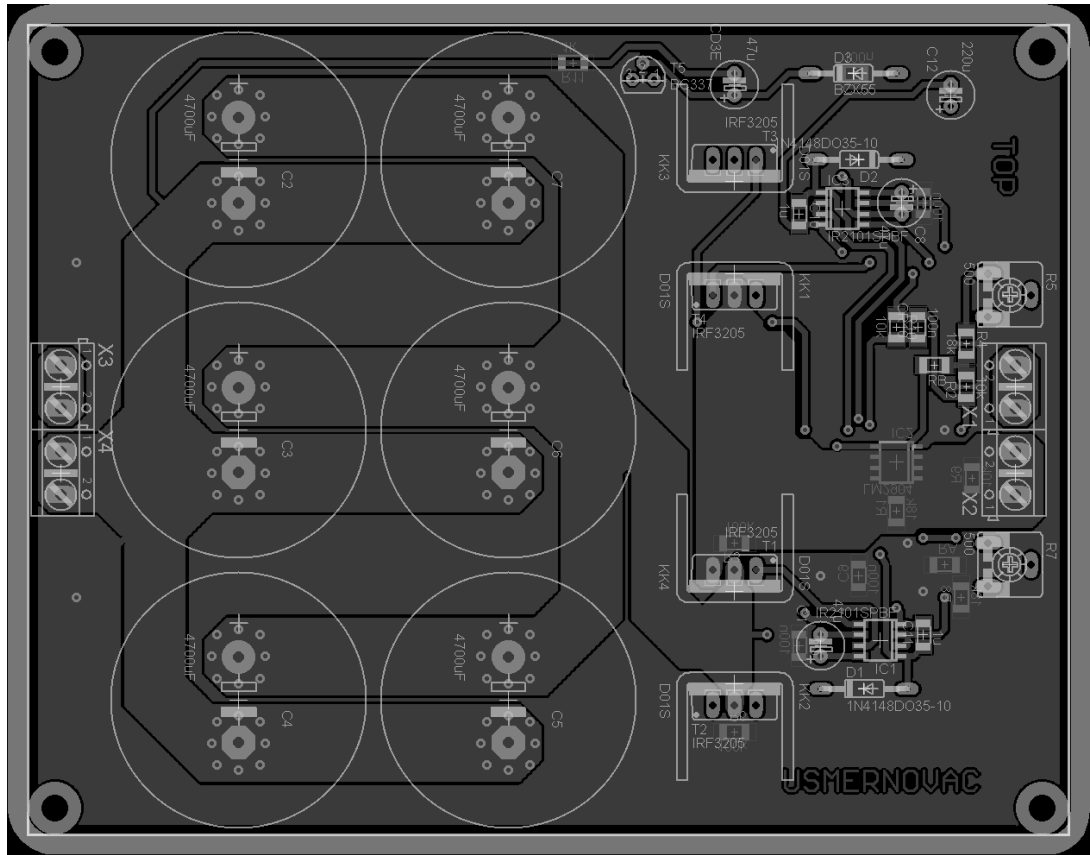
Přílohy



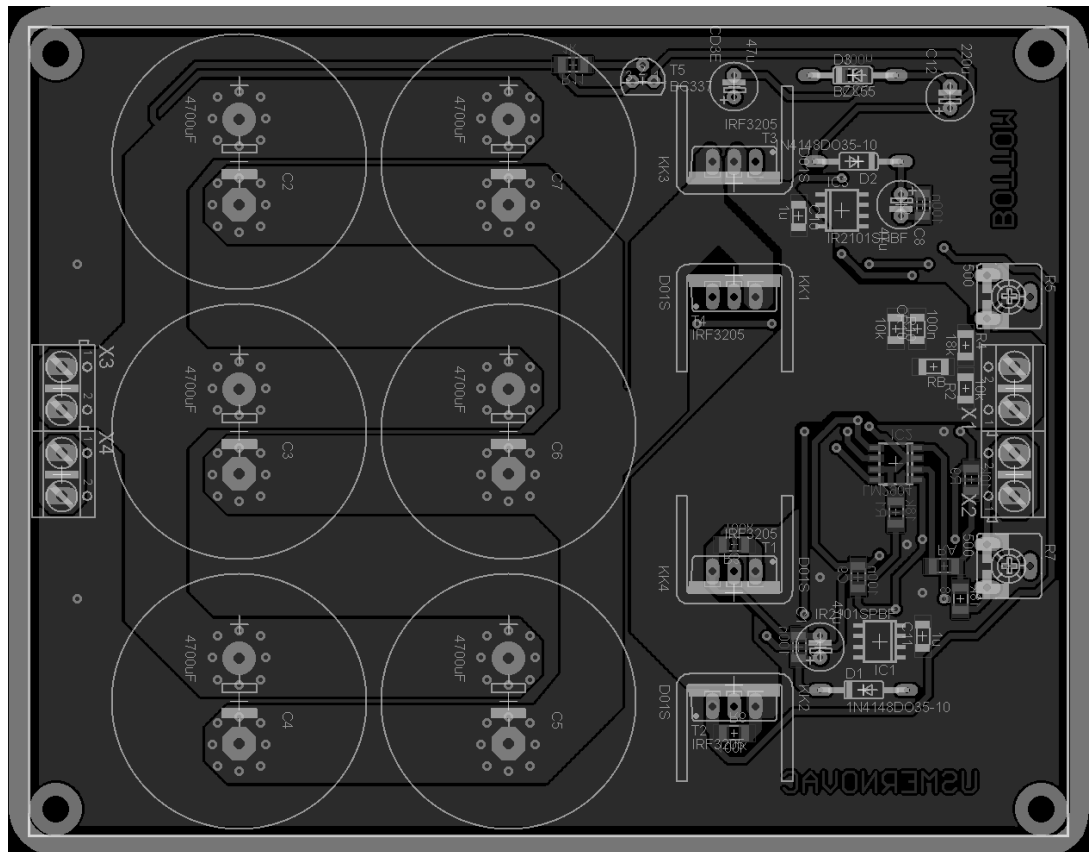
Obr. 4. 1 Schéma stabilizátoru napětí



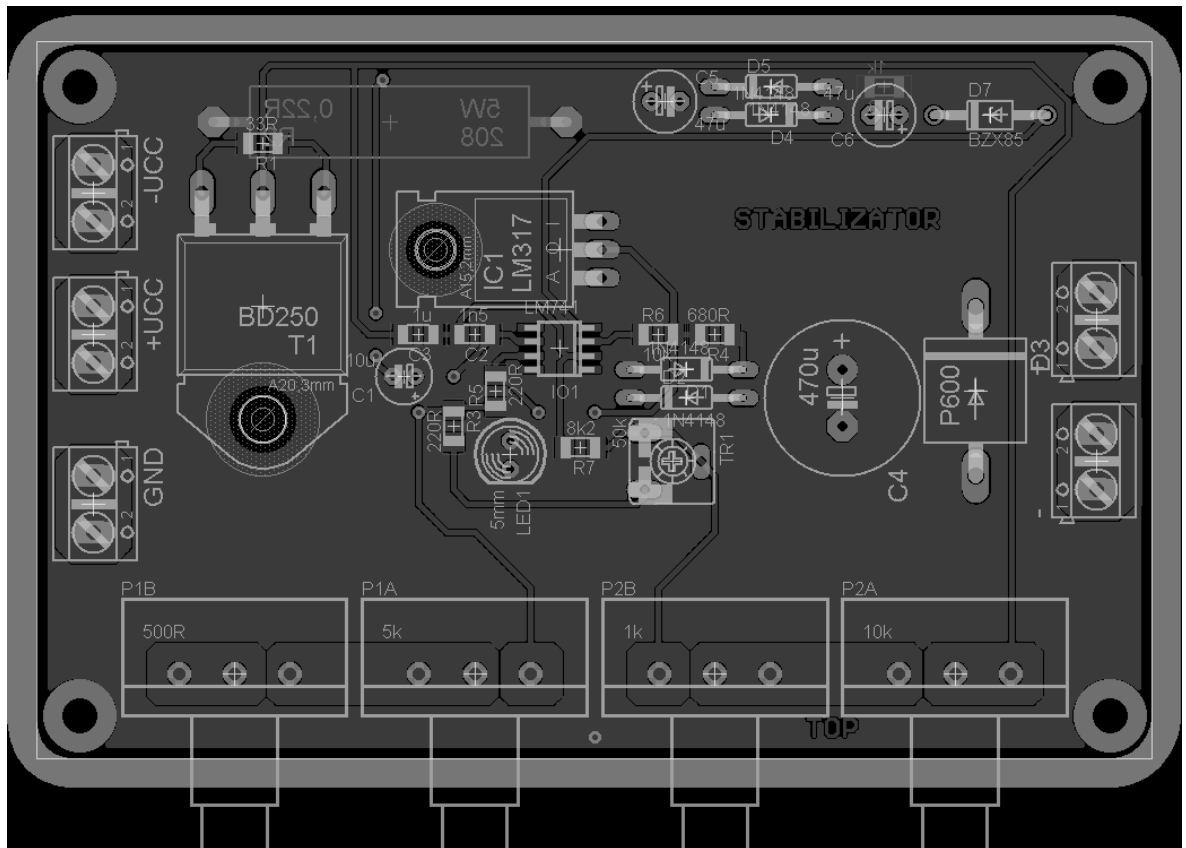
Obr. 4. 2 Schéma řízeného usměrňovače s MOSFET



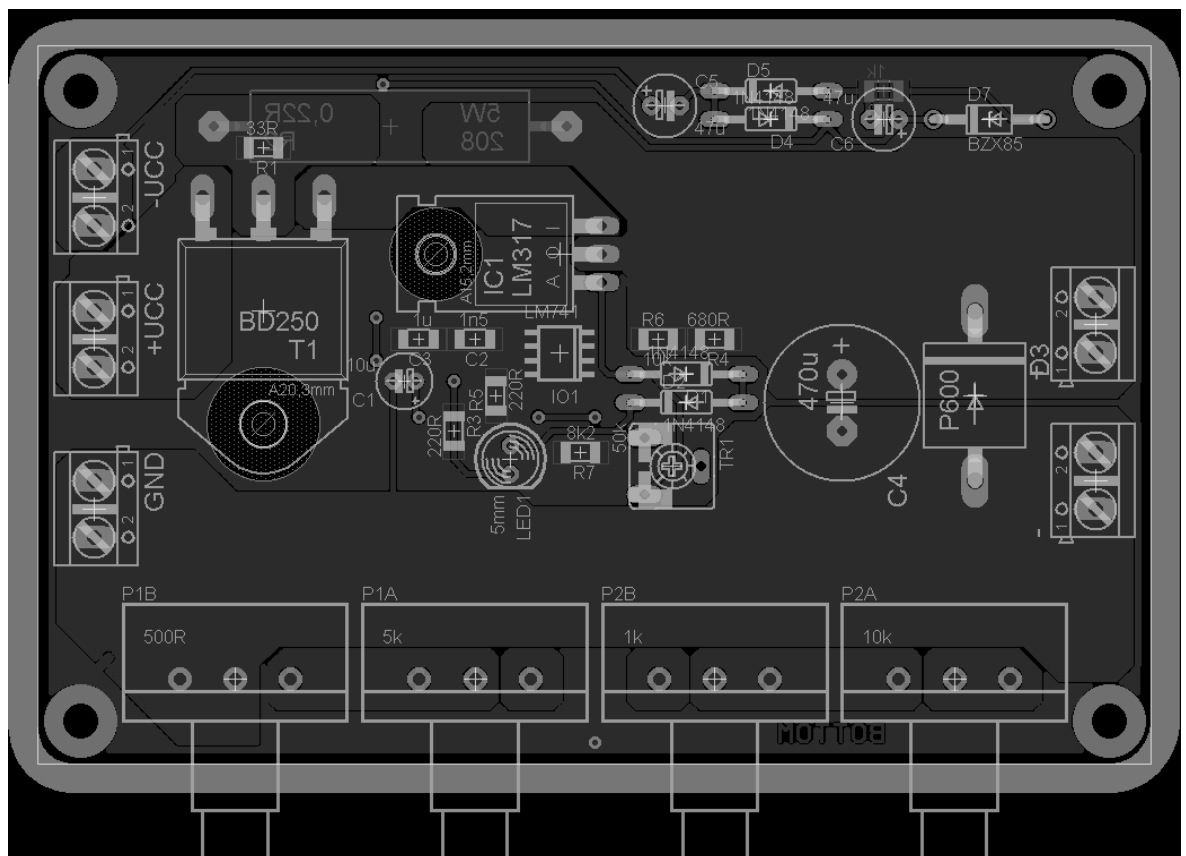
Obr. 4. 3 Deska plošného spoje usměrňovače TOP



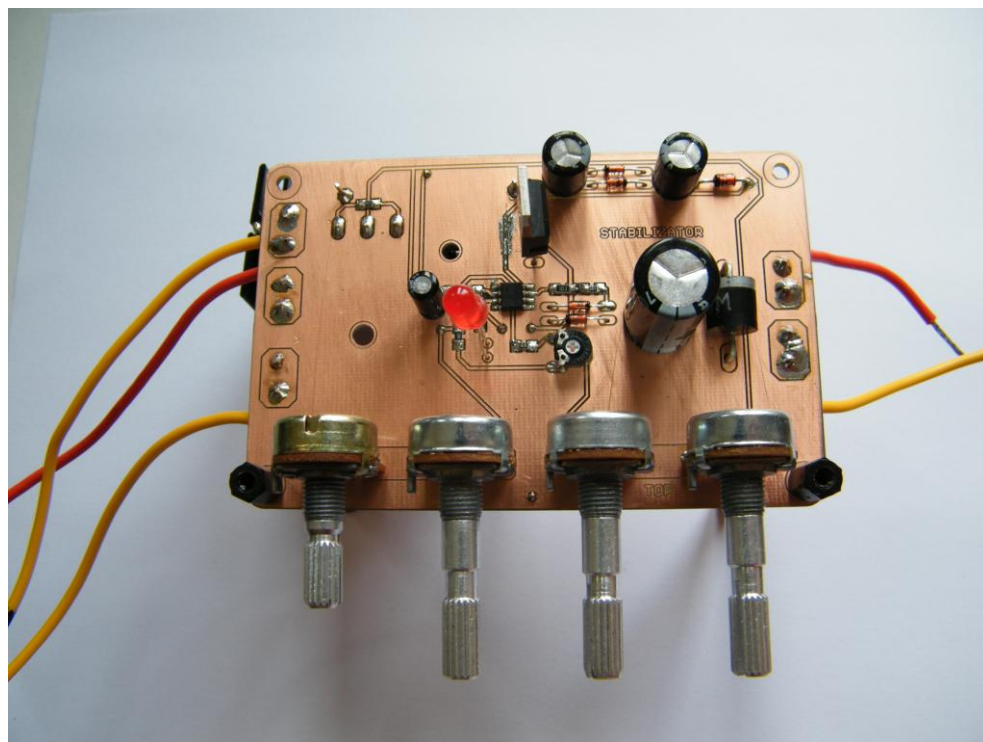
Obr. 4. 4 Deska plošného spoje usměrňovače BOTTOM



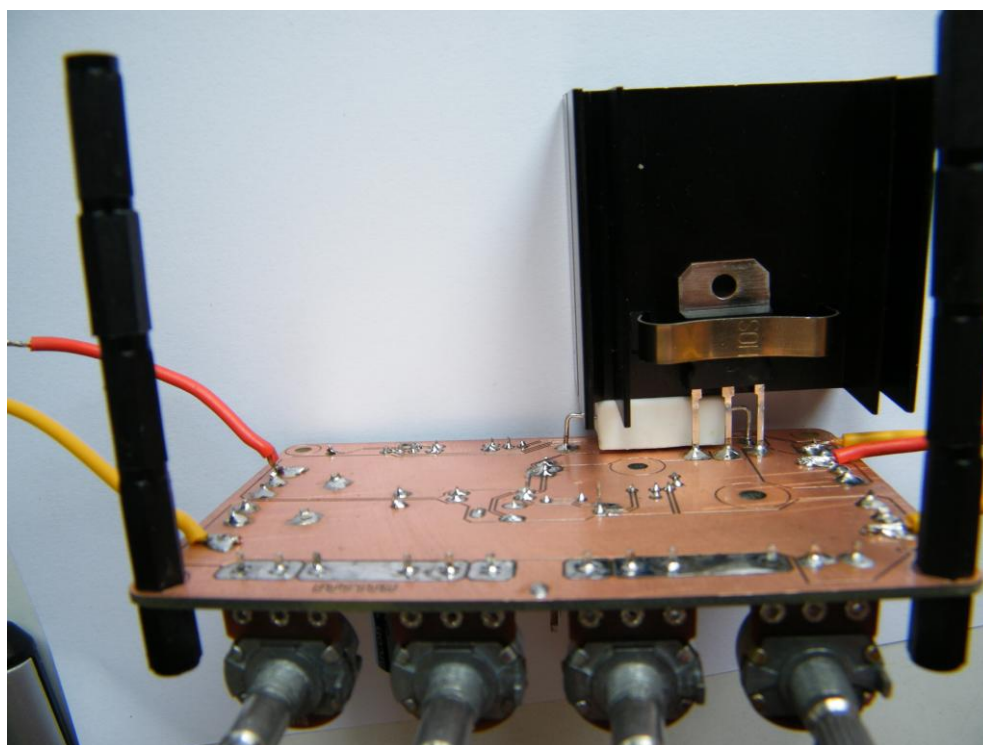
Obr. 4. 5 Deska plošného spoje stabilizátoru TOP



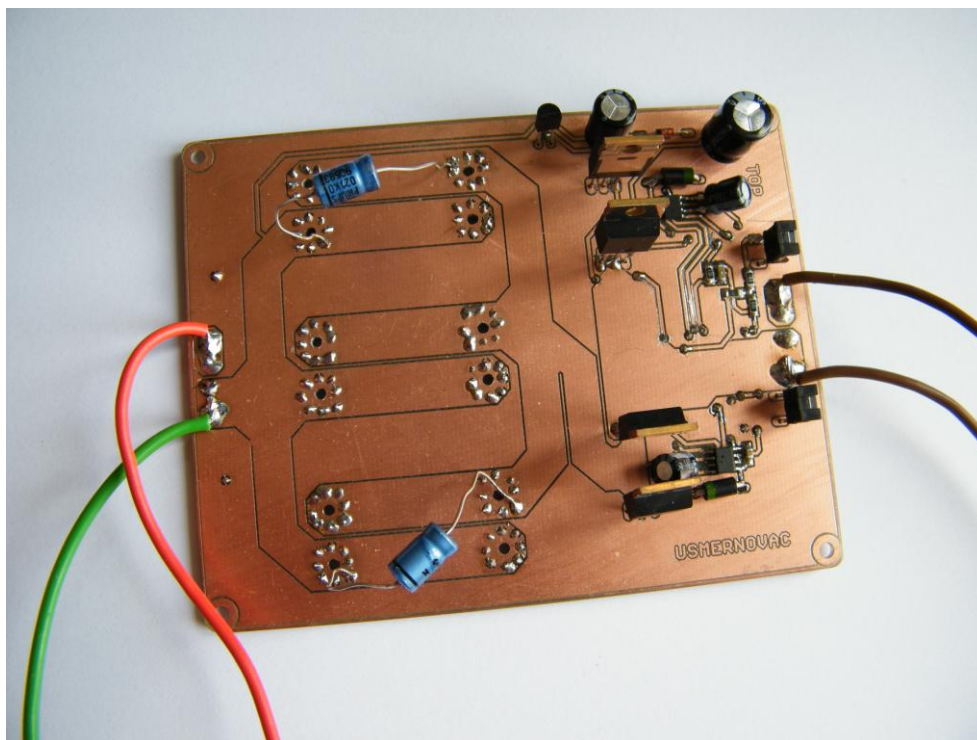
Obr. 4. 6 Deska plošného spoje stabilizátoru BOTTOM



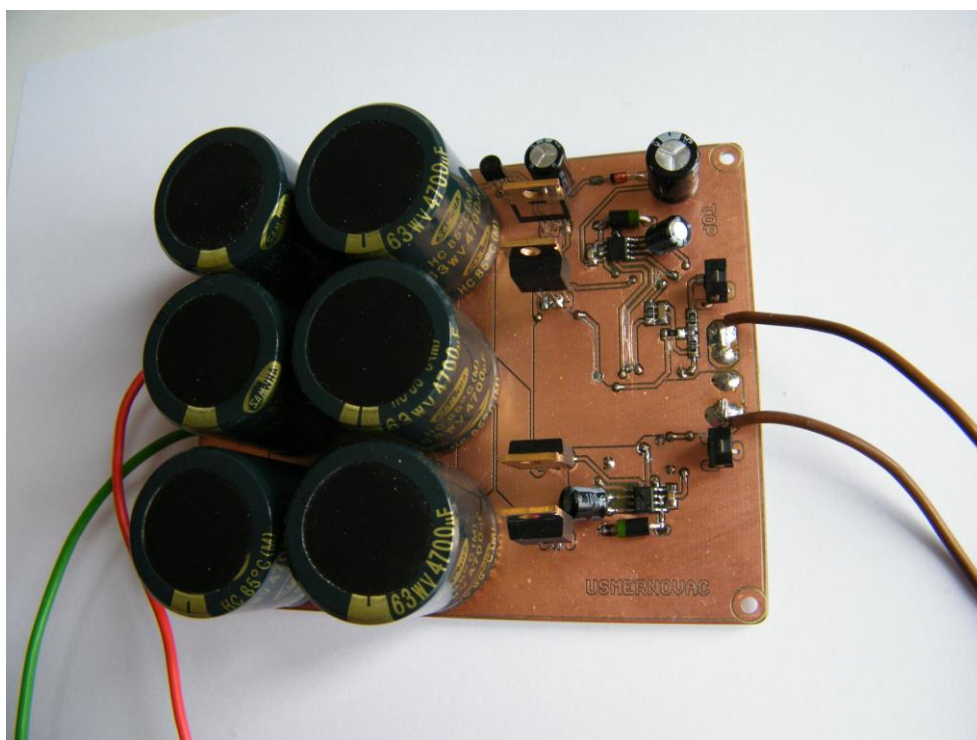
Obr. 4. 7 Osazená deska stabilizátoru



Obr. 4. 8 Pohled na stabilizátor ze spodní strany s tranzistorem umístěným na chladiči



Obr. 4. 9 Usměrňovač se zkušebními kapacitami 47 μF



Obr. 4. 10 Osazená deska usměrňovače kapacitami 4700 μF