

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií



Napájecí zdroj pro ruční laboratorní měřicí přístroje

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Liberec 2009

Lukáš Lávička

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií

Napájecí zdroj pro ruční laboratorní měřicí přístroje

Lukáš Lávička

Studijní program: B 2612 – Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: 2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy
Pracoviště: Ústav řízení systémů a spolehlivosti
Fakulta mechatroniky a mezioborových
Inženýrských studií
Technická univerzita v Liberci
Studentská 2, 461 17 Liberec
Školitel: Jiří Jelínek

Rozsah bakalářské práce:

Počet stran: 46
Počet obrázků: 33
Počet tabulek: 4

Abstrakt

Napájecí zdroj pro ruční laboratorní měřicí přístroje

Lukáš Lávička

Cílem této práce je seznámení se základními možnostmi napájení měřících laboratorních přístrojů.

V úvodu práce je podrobněji rozebrána teorie o napájení elektronických přístrojů. Dále se zabývá způsobem výroby plošných spojů a to jak v domácích podmínkách, tak na profesionální úrovni. Hlavní část práce je zaměřena na návrh a výrobu specializovaného zdroje na napájení měřících laboratorních přístrojů, který nahrazuje klasické 9V baterie.

Abstrakt

Power Supply Unit for Handy Measurement

Lukáš Lávička

The aim of this work is to acquaint with basic options of measuring laboratory appliances supply. Next, it deals with way of production of printed circuits either at home conditions or at professional level. Main part of the work is focused on design and production of specialized source for measuring laboratory appliances supply which replaces classical 9V batteries.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má práva na uzavření licenční smlouvy o užití mé BP a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V Liberci 24. 4. 2009

.....

Jméno a Příjmení

Poděkování

Tato bakalářská práce vznikla pod vedením Ing. Jiřího Jelínka, Ph.D., kterému bych touto cestou rád poděkoval za nespočet odpovědí a rad a za celkové vedení a usměrňování mých nápadů při tvorbě této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům, kteří mě celou dobu studií podporují, jelikož bez jejich podpory bych nemohl vystudovat ani vytvořit tuto práci.

Obsah

Obsah	9
Seznam tabulek	12
Seznam použitých symbolů	12
Seznam použitých zkratek	13
Úvod	14
1 Napájecí zdroje	15
1.1 Spojité stabilizátory	15
1.1.1 Stabilizátory se zenerovou diodou	15
1.1.2 Stabilizátory 78xx	16
1.1.3 Stabilizátory s proměnným napětím	17
1.2 Spínané stabilizátory	18
1.2.1 Spínané stabilizátory s transformátorem	18
1.2.2 Spínané stabilizátory s tlumivkou	21
1.3 Napájecí články	24
1.3.1 Primární články	24
1.3.2 Sekundární články	24
1.4 Pouzdra integrovaných stabilizátorů	25
1.4.1 TO-252(Dpak)	25
1.4.2 SO8(SMD)	25
1.4.3 TO-220	26
2 Výroba plošných spojů	27
2.1 Návrh plošného spoje	27
2.2 Výroba desky	28
2.2.1 Výroba DPS v domácím prostředí	29
2.3 Osazování a pájení plošného spoje	30
2.4 Cínové pájky	31
3 Návrh prototypu	32
3.1 Požadavky	32
3.2 Obvod	33
3.3 Sestavení prototypu	36
4 Výroba funkčního vzorku	39
4.1 Výroba malé série	40
4.2 Seznam použitých součástek	42

5 Měření dosažených hodnot.....	43
5.1 Zatěžovací charakteristika při stejnosměrném vstupním napětí 14V	43
5.2 Zatěžovací charakteristika při stejnosměrném vstupním napětí 30,25V	44
5.3 Zatěžovací charakteristika při střídavém vstupním napětí 9V	44
Závěr	45
Seznam použité literatury	46

Seznam obrázků

Obr. 1: Stabilizátor se zenerovou diodou [9].....	15
Obr. 2: Třísorkový stabilizátor řady 78xx [9]	16
Obr. 3: Jednočinný blokující měnič [9].....	18
Obr. 4: Jednočinný propustný měnič [9]	19
Obr. 5: Dvojčinný měnič s paralelním napájením [9]	20
Obr. 6: Dvojčinný měnič s polovičním můstkem [9]	20
Obr. 7: Snižující stabilizátor [9]	21
Obr. 8: Zvyšující stabilizátor [9]	22
Obr. 9: Invertující stabilizátor [9].....	23
Obr. 10: TO-252	25
Obr. 11: SO8(SMD)	25
Obr. 12: TO-220	26
Obr. 13: TS2940	26
Obr. 14: Návrh plošného spoje z programu Eagle.....	27
Obr. 15: Plošný spoj	29
Obr. 16: Cínová pájka.....	30
Obr. 18: Schéma zapojení.....	33
Obr. 19: Typické zapojení obvodu	35
Obr. 20: Technický nákres a rozměry	35
Obr. 21: Univerzální jednostranná deska plošných spojů pro SMD	36
Obr. 22: Prototyp 1	36
Obr. 23: Prototyp 2	37
Obr. 24: Prototyp 3	38
Obr. 25: Návrh plošného spoje z programu Eagle.....	39
Obr. 26: 3D návrh plošného spoje pomocí programu POV-Ray.....	39
Obr. 27: Finální plošné spoje.....	40
Obr. 28: Finální napájecí zdroj	40
Obr. 29: Vyrobená a osazená série 50ks napájecích zdrojů	41
Obr. 30: Napájecí zdroj zabudovaný v multimetru	41
Obr. 31: Zatěžovací charakteristika při stejnosměrném vstupním napětí 14V.....	43
Obr. 32: Zatěžovací charakteristika při stejnosměrném vstupním napětí 30,25V.....	44
Obr. 33: Zatěžovací charakteristika při střídavém vstupním napětí 9V	44

Seznam tabulek

Tab. 1: Druhy stabilizátorů	17
Tab. 2: Elektrické vlastnosti	34
Tab. 3: Teplotní výkonnost TS2940CP-5.0 v různých pouzdrech	34
Tab. 4: Seznam použitých součástek v množství pro 50ks zdrojů	42

Seznam použitých symbolů

U1	[V]	Vstupní napětí
U2	[V]	Výstupní napětí
T1	[s]	Doba sepnutí spínače
T2	[s]	Doba rozepnutí spínače
T	[s]	Doba periody impulsního signálu
ΔI_L	[A]	Rozkmit proudu tlumivkou
Uz	[V]	Zenerovo napětí
I2m	[A]	Minimální výstupní proud
I	[A]	Elektrický proud
R	[Ohm]	Elektrický odpor
L	[H]	Indukčnost
C	[F]	Kapacita
UBE	[V]	Napětí báze-emitor

Seznam použitých zkratek

Ag	Stříbro
Pb	Olovo
Sn	Cín
Cu	Měď
Bi	Bismut
Ss	Stejnoseměrné
T1	Tranzistor 1
T2	Tranzistor 2
T3	Tranzistor 3
p	převod transformátoru
uF	mikro Farady
nF	nano Farady
NiCd	Nikl-kadmiový akumulátor
NiMh	Nikl-metal hydridový akumulátor
DPS	Deska plošného spoje
SMD	SMD - Součástky určené pro povrchovou montáž
Li-polymerové	Lithium-polymerové
Li-methalové	Lithium-methalové

Úvod

Každý elektrický přístroj potřebuje pro svou funkčnost nějaký zdroj energie. Tato práce se zabývá elektrickými napájecími zdroji, které bývají nejčastějším zdrojem energie pro většinu elektrických zařízení.

Na začátku této práce je probrána problematika napájecích zdrojů z oblasti teorie se zaměřením především na základní rozdělení zdrojů na spojitě a spínané stabilizátory a také napájecí články. Dále jsou zde zmíněna základní zapouzdření integrovaných stabilizátorů.

Další kapitola je zaměřena na výrobu a osazování plošných spojů a to jak jednotlivých kusů v domácích podmínkách, tak ve větších sériích na profesionální úrovni.

Následují kapitoly zabývající se návrhem, výrobou a měřením dosažených hodnot napájecího laboratorního zdroje pro ruční laboratorní měřicí přístroje, který by měl nahrazovat klasické 9V bateriové napájení.

1 Napájecí zdroje

Napájecí zdroje se používají ve všech elektrických přístrojích a měřicích obvodech. K napájení se používají buď síťové nebo bateriové napájecí zdroje. U některých síťových napájecích zdrojů je třeba použít síťový transformátor a usměrňovač.

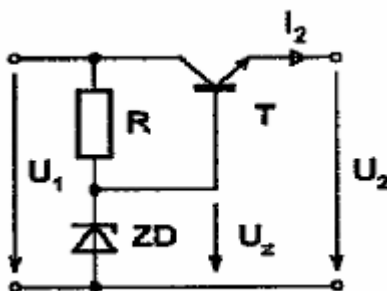
K základním vlastnostem napájecích zdrojů patří jmenovité napětí, jmenovitý proud, teplotní a časová stabilita, činitel stabilizace, účinnost, vnitřní odpor, zvlnění a odolnost proti zkratu. Ke stabilizaci stejnosměrného napětí se používají buď spojitě nebo spínané stabilizátory. Spínané stabilizátory se umísťují buď na primární nebo na sekundární straně oddělovacího transformátoru.

1.1 Spojité stabilizátory

Spojitě stabilizátory se vyznačují velkým činitelem stabilizace, malým zvlněním a šumem. Mezi jejich nevýhody patří malá účinnost. Ta se projevuje především při stabilizaci malých napětí a velkých proudů. Používají se k napájení především analogových obvodů. Pro stabilizaci napětí se nejčastěji používají sériové stabilizátory.

1.1.1 Stabilizátory se zenerovou diodou

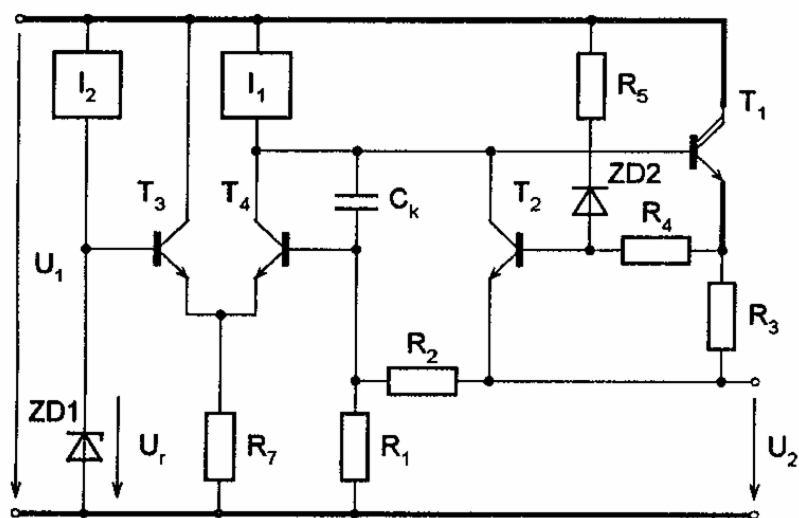
Mezi nejjednodušší provedení patří stabilizátor jehož základem je Zenerova dioda a tranzistor. Výstupní napětí stabilizátoru U_2 je určeno rozdílem Zenerova napětí U_z a úbytku napětí tranzistoru U_{BE} .



Obr. 1: Stabilizátor se zenerovou diodou [9]

1.1.2 Stabilizátory 78xx

Stabilizátor 78xx je jeden z nejpoužívanějších spjitých stabilizátorů. Jedná se o tří svorkový stabilizátor konstantního napětí, kde velikost napětí udává číslo v označení místo xx. Tyto stabilizátory obsahují rozdílový zesilovač s tranzistory T3 a T4, který zesiluje rozdíl referenčního napětí U_r a výstupního napětí U_2 . Tranzistor T2 slouží k omezení výstupního proudu na hodnotu $I_{2m} = 0,6/R_3$, při které se začne zavírat tranzistor T1.



Obr. 2: Třísvorkový stabilizátor řady 78xx [9]

1.1.3 Stabilizátory s proměnným napětím

Stabilizátory s proměnným napětím z řad xx317 a XX337 jsou tří svorkové, dovolují na rozdíl od stabilizátorů 78XX nastavit napětí v rozsahu 1,2V až 37V.

Tab. 1: Druhy stabilizátorů

	Spojité stabilizátory			
typ stabilizátoru	výstupní napětí [V]	výstupní proud I _{2max} [A]	úbytek napětí při I _{2max} [V]	počet svorek
s pevným napětím				
7805(09,12,15,24)	+5 až +24	1	2	3
7805.09,12,15,24	-5 až -24	1	1,1	3
s proměnným napětím				
xx317	+1,2 až +37	1,5	2,3	3
LM396	+1,2 až +15	10	2,1	3
xx337	-1,2 až -37	1,5	2,3	3
LM333	-1,2 až -32	3	2,3	3
nízkoztrátové				
LM2941	+1,3 až +25	1	0,5	5
LM2943	+5	3	0,5	3
LT1084	+1,3 až +25	5	1,3	3
LT1083	+1,2 až +15	7	1,3	3

1.2 Spínané stabilizátory

Spínané stabilizátory se vyznačují vyšší účinností, možností změny velikosti a polarity výstupního napětí a galvanického oddělení zdroje energie. Mezi jejich nevýhody patří větší zvlnění a rušení. Používají se proto při vyšších proudových odběrech.

Spínané stabilizátory využívají nespojitě regulace vstupního napětí. U spínaných stabilizátorů předpokládáme tak velkou kapacitu filtračního kondenzátoru, že se na ní v průběhu periodického spínání udržuje takřka konstantní napětí. Základní rozdělení spínaných stabilizátorů je na stabilizátory s transformátorem a stabilizátory s tlumivkou.

1.2.1 Spínané stabilizátory s transformátorem

Můžeme je najít také pod označením měničové zdroje. Používají se na galvanické oddělení napájecí sítě. Stabilizátory s transformátorem dále rozdělujeme podle způsobu jejich činnosti na jednočinné a dvojčinné měniče.

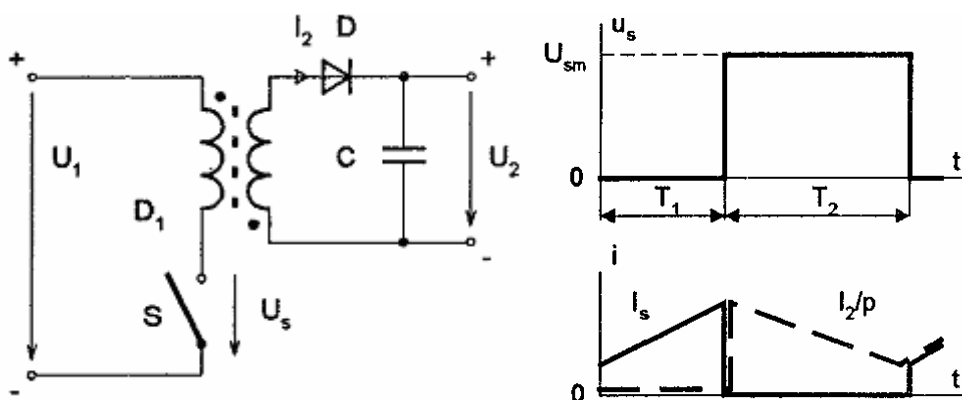
Jednočinný blokující měnič

Jednočinný blokující měnič je tvořen impulzním transformátorem, jehož primární proud je spínán spínačem a jehož výstupní proud je jednocestně usměrněn diodou. [3]

Střední hodnota výstupního napětí je dána vztahem $U_2 = \frac{T_1 U_1}{T_2 p}$, kde T_1 , T_2 jsou doby sepnutí a rozepnutí spínače a p je převodní poměr transformátoru.

sepnutí a rozepnutí spínače a p je převodní poměr transformátoru.

Hlavní nevýhodou tohoto zapojení je existence stejnosměrného magnetizačního proudu, jehož vliv se odstraňuje vzduchovou mezerou v magnetickém obvodu transformátoru.

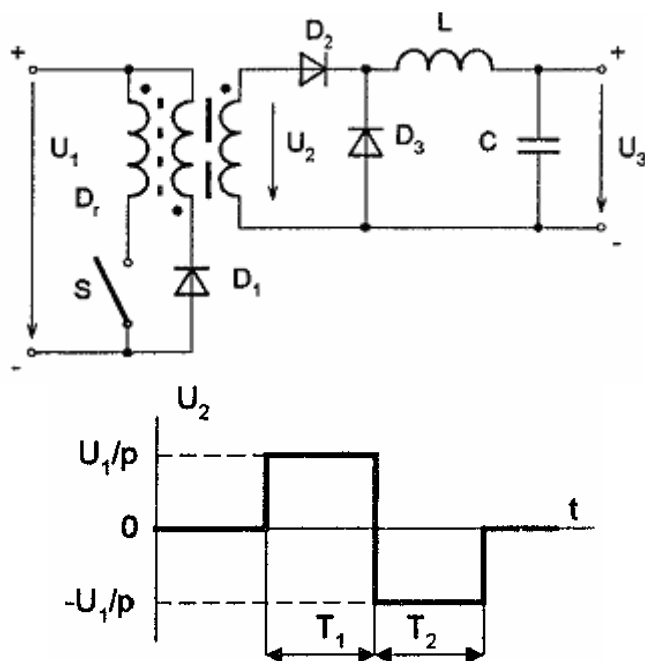


Obr. 3: Jednočinný blokující měnič [9]

Jednočinný propustný měnič

Jednočinný propustný měnič má primární vinutí transformátoru rozděleno na dvě shodné části.

Při sepnutém spínači je v jádru transformátoru indukován indukční tok, který při rozepnutí spínače indukuje proud opačné polarity do druhé sekce primárního vinutí. Rekuperační dioda D1 s demagnetizačním vinutím tak zabraňuje ss. přesycení jádra, které způsobuje pokles účinnosti zdroje. Střední hodnota výstupního napětí je poté určena poměrem $U_3 = \frac{T_1 U_1}{T p}$. [3]



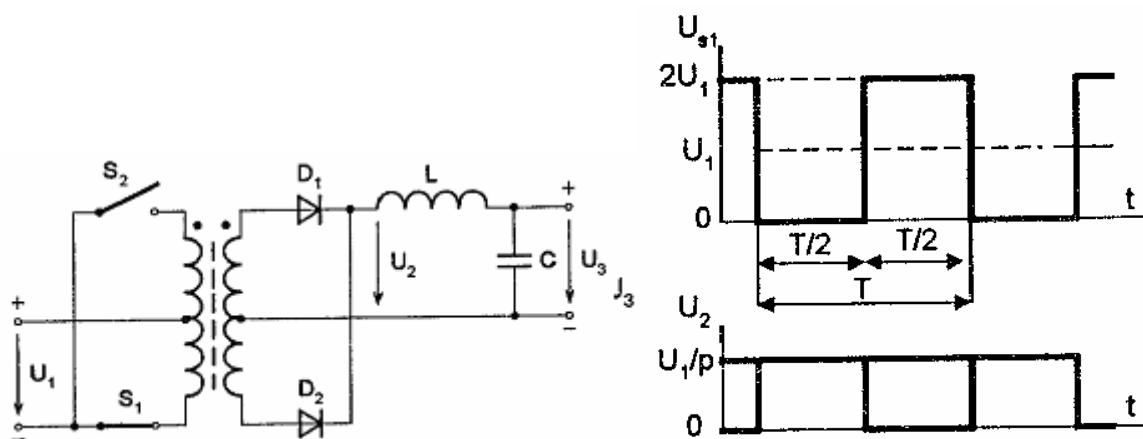
Obr. 4: Jednočinný propustný měnič [9]

Dvojčinný měnič s paralelním napájením

Dvojčinný měnič s paralelním napájením má symetrické sekce primárního a sekundárního vinutí transformátoru. Spínače řídí invertované signály. Střední hodnota výstupního napětí je

$$\text{dána vztahem } U_2 = 2 \frac{T_1 U_1}{T_2 p}. [3]$$

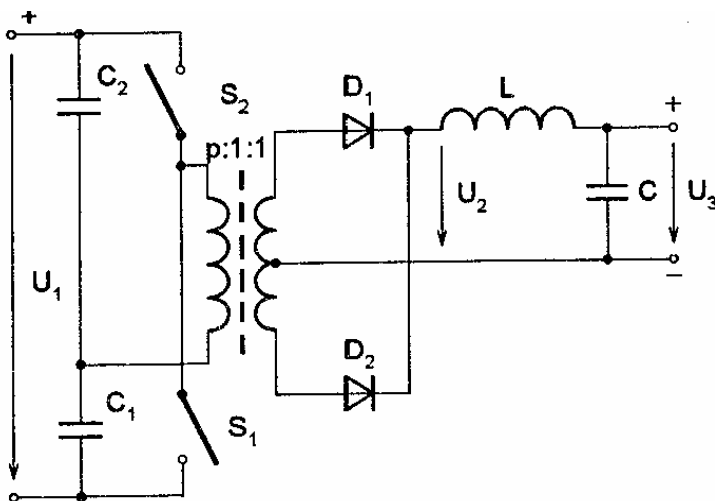
S tímto měničem lze dosáhnout účinnosti až 80% jelikož se zde neuplatňuje stejnosměrný magnetizační proud v jádru transformátoru. Další předností je minimální zvlnění výstupního napětí.



Obr. 5: Dvojčinný měnič s paralelním napájením [9]

Dvojčinný měnič s polovičním můstkem

Dvojčinný měnič s polovičním můstkem má jednoduché primární vinutí transformátoru. Přepínání polarity budícího proudu zajišťují střídavým přepínáním spínače S_1 a S_2 . Na kondenzátorech C_1 a C_2 je pak vždy napětí rovno $U_1/2$. Tento měnič má nulový stejnosměrný magnetizační proud. Pokud ho srovnáme s jednočinnými měniči, lze při stejných rozměrech jádra transformátoru přenášet až dvojnásobný výkon.



Obr. 6: Dvojčinný měnič s polovičním můstkem [9]

1.2.2 Spínané stabilizátory s tlumivkou

Základní dělení stabilizátorů s tlumivkou je na snižující, zvyšující a na invertující stabilizátory.

Snižující stabilizátor

Snižující stabilizátor má zapojen sériový spínač S do série s tlumivkou a společnou rekuperační diodou D . Na tlumivce s indukčností L se vytváří napětí $u_l = L \frac{dI_L}{dt}$. Při sepnutém spínači po dobu T_1 je dioda D nevodivá a U_2 je konstantní. Napětí na tlumivce je rovno rozdílu výstupního a vstupního napětí $U_l = U_2 - U_1$. Při rozepnutí spínače po dobu T_2 je dioda vodivá a energie se přenáší do kondenzátoru C .

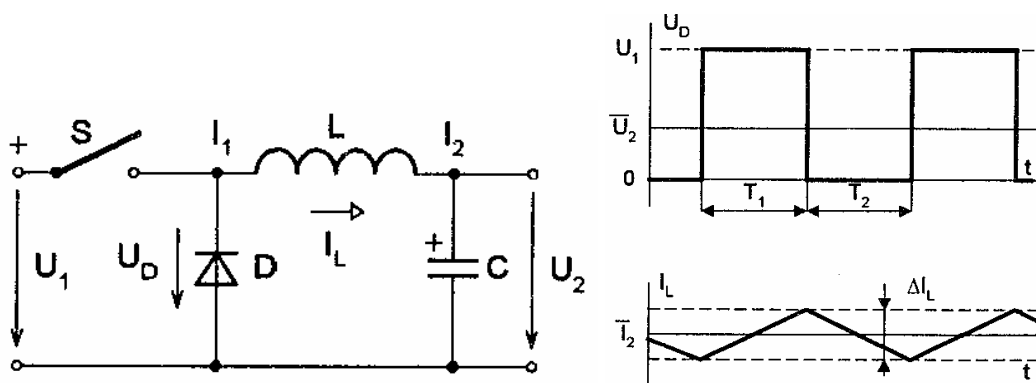
Rozkmit proudu tlumivkou je přibližně dán vztahem $\Delta I_L = \frac{U_1 - U_2}{L} T_1 = \frac{U_2}{L} T_2$.

V ustáleném stavu je střední hodnota výstupního napětí dána poměrem doby T_1 k době periody impulsního signálu $T = T_1 + T_2$. $U_2 = \frac{T_1}{T_1 + T_2} U_1 = \frac{T_1}{T} U_1$

Je-li výstupní proud I_2 menší, než je minimální hodnota $I_{2\min} = \frac{\Delta I_L}{2} = \frac{T}{2L} \left(1 - \frac{U_2}{U_1}\right) U_2$, pak

proud, protékající tlumivkou, klesne na nulu. Dioda D se stane nevodivou a stabilizátor přestane stabilizovat výstupní napětí. Z tohoto důvodu je potřeba pro správnou činnost těchto stabilizátorů zajistit minimální proudovou zátěž. Indukčnost tlumivky lze při minimálním

proudu $I_{2\min}$ určit dle vztahu $L = \left(1 - \frac{U_2}{U_1}\right) \frac{U_2}{2I_{2\min}} T$. [1]



Obr. 7: Snižující stabilizátor [9]

Zvyšující stabilizátor

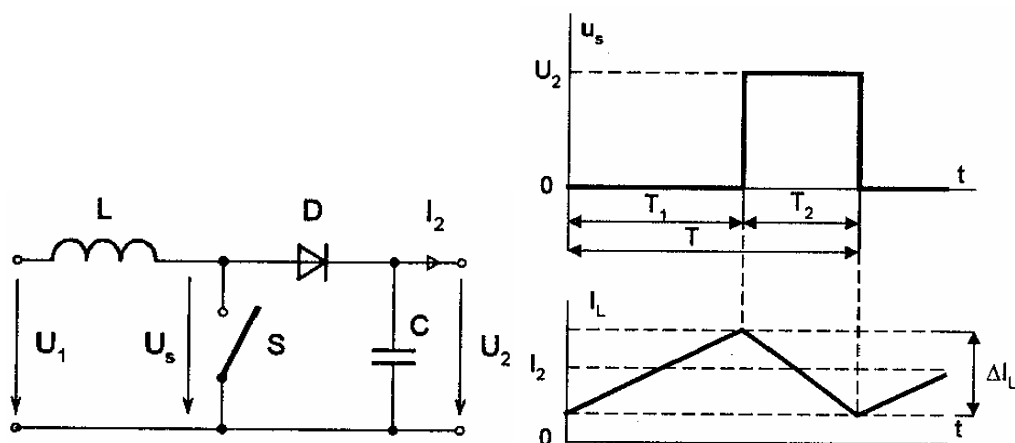
Zvyšující stabilizátor má zapojen paralelně spínač S mezi diodou D a tlumivkou L. Při sepnutí spínače se v magnetickém obvodu tlumivky akumuluje energie, dioda D nevede a odebíraný výkon na výstupu stabilizátoru je nahrazován energií z kondenzátoru C.

Střední hodnota výstupního napětí je dána poměrem doby periody T a doby rozeptnutí

$$\text{spínače } T_2. \quad U_2 = \frac{T}{U_2} U_1$$

$$\text{Minimální výstupní proud je } I_{2\min} = (U_2 - U_1) \frac{U_1 T}{U_2 2L}.$$

$$\text{Indukčnost tlumivky je dána vztahem } L = (U_2 - U_1) \frac{U_1 T}{U_2 2I_{2\min}}. [1]$$



Obr. 8: Zvyšující stabilizátor [9]

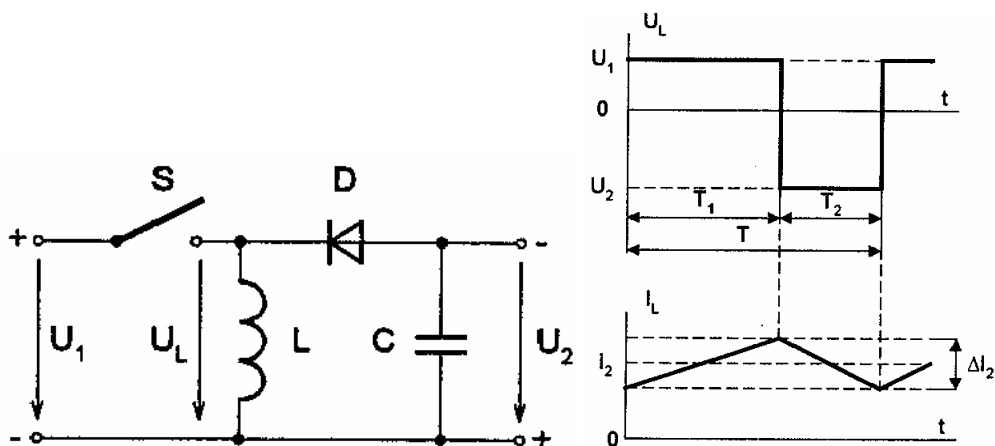
Invertující stabilizátor

Invertující stabilizátor má sériový spínač S s uzemněnou tlumivkou L a opačně polarizovanou diodou D . Při sepnutém spínači po dobu T_1 se v magnetickém obvodu tlumivky akumuluje energie, jejíž jedna část se při rozepnutí spínače přesouvá do kondenzátoru a část je odebírána na výstupu. V ustáleném stavu je střední hodnota výstupního napětí dána vztahem $U_2 = \frac{T_1}{T_2} U_1$.

Minimální výstupní proud stabilizátoru je $I_{2\min} = \frac{U_1(U_1 + U_2)}{2U_1 + U_2} \frac{T}{2L}$.

Indukčnost tlumivky lze určit z minimálního výstupního proudu $I_{2\min}$, dle vztahu

$$L = \frac{U_1(U_1 + U_2)}{2U_1 + U_2} \frac{T}{2I_{2\min}} \quad [1]$$



Obr. 9: Invertující stabilizátor [9]

1.3 Napájecí články

Napájecí články se rozlišují na primární a sekundární články. Jejich hlavní použití je pro napájení mobilních elektrických zařízení jako jsou například záložní zdroje, které se používají při výpadku napájecí sítě.

1.3.1 Primární články

Primární články mají narozdíl od sekundárních článků větší hustotu energie. Jejich značnou nevýhodou je pouze jednorázové použití. Nejpoužívanější primární články jsou alkalické, rtuťové a lithiové články.

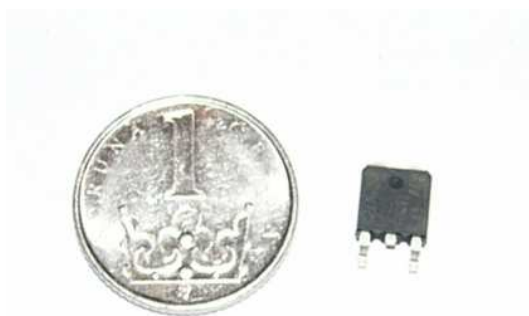
1.3.2 Sekundární články

Sekundární články se také nazývají akumulátory. Dovolují až tisícinásobné vybití a nabití článku. Nejpoužívanější jsou hermetizované Pb a NiCd akumulátory. V současnosti se stále více prosazují Li-methalové, Li-polymerové a NiMh akumulátory s malým vnitřním odporem a minimálním paměťovým efektem. Další velkou výhodou je absence jedovatých těžkých kovů. Při nabíjení akumulátorů je třeba dodržovat doporučený nabíjecí proud. Ten se obvykle pohybuje kolem 0,1 jejich kapacity a také respektuje jejich oteplování při nabíjení.

1.4 Pouzdra integrovaných stabilizátorů

1.4.1 TO-252(Dpak)

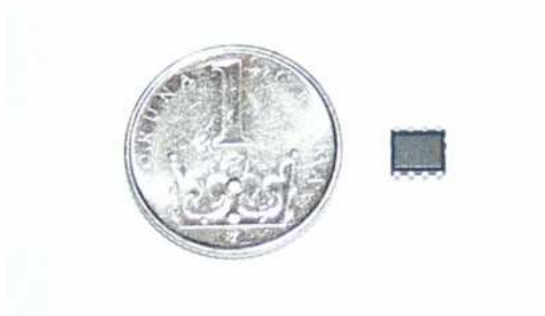
Pouzdro TO-252 na Obr. 8, je určeno pro povrchovou montáž stejně podobně jako SMD součástky. Z našeho pohledu levý vývod stabilizátoru je vstupní kontakt, prostřední zkrácený vývod je propojen s celou zadní částí stabilizátoru a slouží jako zemní kontakt a pravý vývod je výstupní kontakt stabilizátoru. Velikostí se toto pouzdro řadí do střední kategorie mezi součástky SMD a stabilizátory 78xx.



Obr. 10: TO-252

1.4.2 SO8(SMD)

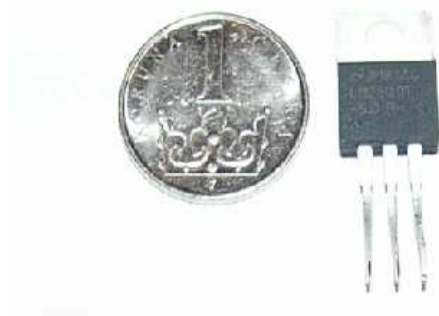
Pouzdro S08 na Obr. 9 je pouzdro SMD stabilizátoru. Jako takové je určeno pro povrchovou montáž. Vyznačuje se velmi malou velikostí, což je typické pro všechny SMD součástky.



Obr. 11: SO8(SMD)

1.4.3 TO-220

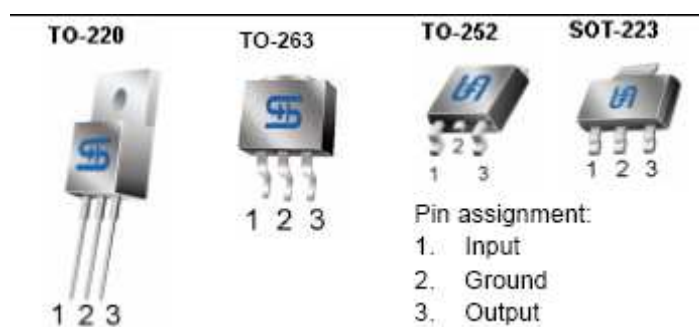
Pouzdro TO-220 na Obr. 10 je stabilizátor určený pro běžnou montáž. Oproti dříve uvedeným stabilizátorům má mnohem větší pouzdro. Jednotlivé vývody se pájí na druhé straně desky plošného spoje, než je umístěn stabilizátor. Prostřední vývod je opět propojen s celou zadní ploškou, levý vývod je vstup do stabilizátoru a pravý vývod výstup.



Obr. 12: TO-220

Na obrázku 11 jsou uvedeny všechny stabilizátory z řady TS2940. Také je zde uvedeno, jaký vývod má při zapojování jakou funkci. Číslo je vstup, číslo dvě zem, číslo tři výstup.

U všech těchto modelů je prostřední vývod, tedy zem, propojena se zadní stranou stabilizátoru.



Obr. 13: TS2940 [10]

2 Výroba plošných spojů

2.1 Návrh plošného spoje

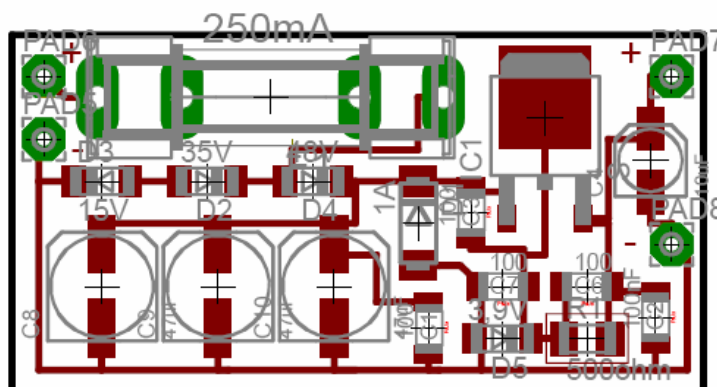
Před začátkem výroby jakéhokoli plošného spoje je vždy nutné udělat návrh. U jednoduchých zapojení vytvářených v domácím prostředí je možné návrh udělat pouze na papír. U složitějších zapojení, a tam kde je potřeba určitá preciznost výroby nebo miniaturizace, je lepší použít některé z návrhových prostředí jako je například Eagle .

Prvním krokem při tvorbě obvodu v programu Eagle je sestavení schématu zapojení v sekci *schematic*. Zde pomocí symbolu *Add* v levém menu vložíme jednotlivé součástky, z knihoven Eaglu. Pokud standardní knihovny neobsahují požadované součástky, je možnost stáhnout dodatečné knihovny z internetu nebo si knihovny vyrobit dle požadavků.

Po přenesení všech součástek na návrhovou plochu je nutné celý obvod propojit vodiči tak, jak bude výsledný obvod zapojen. Propojování se provádí pomocí tlačítka **Bus** a následným propojením jednotlivých kontaktů mezi sebou.

Ve chvíli, kdy je celé schéma vytvořené a propojené lze přistoupit k tvorbě samotné desky. Do návrhového prostředí na výrobu desky se přepneme z prostředí *Schematic* pomocí symbolu *Board* umístěného na horní liště.

V tomto prostředí je dobré si nejdříve udělat obrys desky podle její skutečné velikosti a následně rozmístit jednotlivé součástky na desku a propojit je pomocí symbolu *Route*. Při navrhování cest pomocí symbolu *Route* lze volit různé vrstvy v kterých cesty povedou. Tato funkce se využívá pokud navrhujeme vícevrstvé tištěné spoje. Program Eagle umožňuje po určitém upgradu a stažení dodatečného programu Pov-ray také vyrábět 3D návrhy plošných spojů. Tento upgrade nám umožní lepší orientaci na desce a také nám dává představu o tom, jak bude finální výrobek vypadat po osazení všemi součástkami.



Obr. 14: Návrh plošného spoje z programu Eagle

2.2 Výroba desky

Způsobů výroby DPS je několik. Nej kvalitnější a svým způsobem nejjednodušší je nechat si výrobek vyrobit u profesionální firmy. Firmě stačí zaslat návrh v některém z návrhových prostředí, například Eagle. Firma následně vyrobí DPS, přesně podle vašich požadavků. Nevýhodou takovéto výroby může být vyšší cena při výrobě jednoho kusu nebo menší série a také zdoluhavost výroby. Firmy běžné DPS vyrábějí zhruba do 14 dnů. Samozřejmě je možné výrobu urychlit expresní objednávkou, za tu je však nutné si připlatit. Pokud si objednáme u firmy výrobu DPS na neozkoušený prototyp, může se stát že výrobek nebude fungovat přesně dle našich představ. DPS by se poté musela zadávat stále znovu do výroby, což by bylo neúnosně zdoluhavé a drahé.

Proto je vhodné jednodušší zapojení a především prototypy vyrábět v domácích podmínkách, kde se dají vyrobit sice ve výrazně nižší kvalitě, ale zase mnohem rychleji a dají se snáze upravovat. Po odladění všech neduhů a vyladění uspořádání součástek můžeme námi navržený prototyp zadat do výroby profesionální firmě a nemusíme se bát, že by obvod nefungoval nebo nesplňoval požadované parametry.

2.2.1 Výroba DPS v domácím prostředí

Při výrobě plošného spoje v domácím prostředí je dobré nejprve udělat návrh spoje na papír nebo v některém z návrhových programů typu Eagle. Výsledný návrh by měl mít přesně rozmístěné součástky a vodiče tak, jak budou na výsledném plošném spoji.

Následně lze plošný spoj vyrobit několika způsoby.

První z nich je překreslit návrh na kuprexitovou destičku potaženou měděnou vrstvou za pomoci speciálního fixu a následně vyleptat pomocí leptacího roztoku. Při překreslování je nutno dávat pozor, aby fix byl dostatečně nanesen opravdu všude, kde má zůstat vodivá vrstva, jinak by mohlo dojít k proleptání vodivých cest a následné nefunkčnosti spoje.

Po vyleptání se pouze očistí fixa za pomoci ředidla či odlakovače. Nevýhodou této metody je nemožnost udělat velmi tenký spoj. A také ne příliš velká přesnost a preciznost.

Vyvrtání otvorů pro součástky lze provádět jak před leptáním tak po leptání spoje.

Druhou možností je vyrobit plošný spoj pomocí fototocitlivé vrstvy. Zde se musí vytisknout na speciální fólii předem vyrobený návrh. Tento návrh se poté přiloží na poměděnou kuprexitovou destičku se speciální fotocitlivou vrstvou. Poté se pomocí ozařování povrchu UV lampou přenese návrh na kuprexitovou destičku. Následuje leptání a odmívání narušené vrstvy. U této metody lze dosáhnout vyšší kvality i menší šíře jednotlivých spojů. Přesto nedosahuje stejné kvality, jako průmyslově vyráběné plošné spoje.



Obr. 15: Plošný spoj [6]

2.3 Osazování a pájení plošného spoje

Před zahájením osazování plošného spoje je vhodné rozmyslet si postup osazování. Nejdříve je dobré osadit menší součástky, které poté nebudou překážet, jako jsou například odpory, keramické kondenzátory atd. Následně přistoupíme k osazování větších součástek, například držáky pojistek, elektrolytické kondenzátory, polovodičové prvky osazujeme nakonec.

Pro pájení se nejčastěji používají hrotové pájky, někdy je také možno použít pájku pistolovou.

K pájení se nejčastěji používá cínová pájka, často s již obsaženou kalafunou. Přesto je dobré mít kalafunu i samostatně, jelikož obsažené množství kalafuny v pájce je často nedostatečné. Je také možno použít pájecí pastu nebo tekutinu. Při pájení hrotovou páječkou je důležité mít nastavenou páječku na správnou teplotu, jinak by docházelo k špatnému spojování pájky s plošným spojem. Také je vhodné si dát pozor, zda pájka zalila celou plošku a ne jen její část, nebo naopak nepřesahuje až do plošky jiné. V prvním případě by nemusel spoj správně vodit, v druhém by se mohl vytvořit zkrat a celý obvod by v lepším případě nefungoval, v horším by se zničili některé součástky.



Obr. 16: Cínová pájka [7]



Obr. 17: Páječka [8]

2.4 Cínové pájky

Hlavní dělení cínových pájek je na bezolovnaté a olovnaté. Dále se rozdělují podle tloušťky cínu a dle chemického složení. Dle vyhlášky evropské unie je zakázáno v průmyslu používat olovnaté pájky, jelikož olovo je toxické, proto se nyní vyrábějí a používají pájky bezolovnaté. Výjimku z této vyhlášky dostal vojenský a automobilový průmysl.

Bezolovnaté pájky

U bezolovnatých pájek je hlavní chemickou složkou cín (Sn). Vyskytuje se v konečném materiálu z 95% až 99% , zbylá procenta tvoří další přísady a to buď stříbro (Ag), měď (Cu) nebo Bismut (Bi). Bismut tvoří vždy kombinace s mědí nebo cínem nebo sloučeninou obou prvků, narozdíl od stříbra a mědi, které mohou být v pájce obsaženy jen s cínem. Vyrábí se i sloučeniny cín, stříbro, měď nebo dokonce cín, stříbro, měď, bismut. Pájky se vyrábějí v průměrech od 0,5mm do 2mm.

Olovnaté pájky

U olovnatých pájek je hlavní složkou cín. Je ovšem zastoupen v mnohem menším množství, kolem 60%. Druhou hlavní složkou, jak již název napovídá, je olovo (Pb). To je zastoupeno 39% až 40%. U některých olovnatých pájek se k olovu přimíchává měď, ale pouze v malém množství pohybujícím se kolem 1%. průměry olovnatých pájek se pohybují od 0,6mm do 2mm.

3 Návrh prototypu

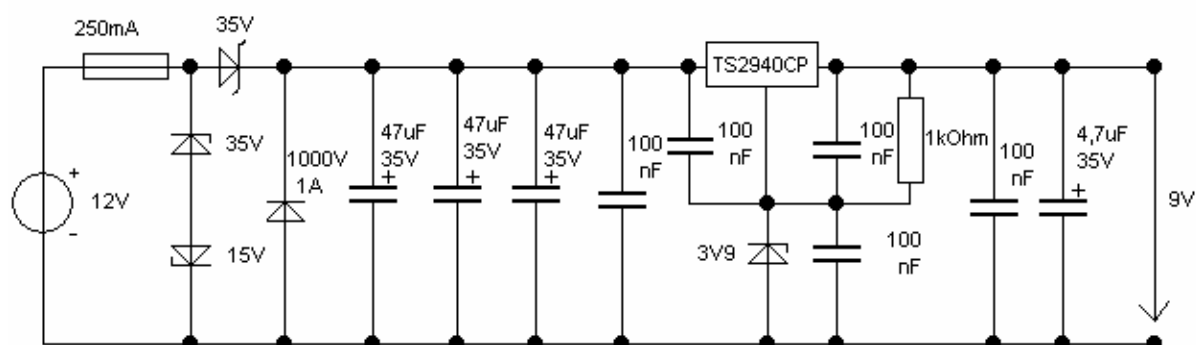
3.1 Požadavky

Navrhňte a zhotovte malou sérii zdrojů dle uvedených požadavků.

- 1) Možnost napájet zdroj jak střídavým tak stejnosměrným napájecím napětím
- 2) Při stejnosměrném napětí možnost napájení od 9V do 30V při odběru 100mA
- 3) Při střídavém napětí možnost napájet od 9V do 12V při odběru proudu max. 50mA

3.2 Obvod

Schéma zapojení:



Obr. 18: Schéma zapojení

Hlavním stabilizačním prvkem byl zvolen stabilizátor TS2940CP-5.0 s pouzdrem TO-252. Byl zvolen s ohledem na velikost stabilizátoru, která sice nepatří k nejmenším na trhu, ale byla dostatečná pro naše potřeby a také s ohledem na nízký úbytek napětí na stabilizátoru, což bylo bráno jako hlavní kritérium podle kterého byl obvod vybírán. U stabilizátoru TS2940CP-5.0 se úbytek napětí při zatěžovacím proudu 100mA pohybuje mezi 100 až 200mV. Tyto hodnoty lze vyčíst v dále uvedené tabulce. Prvním jistícím prvkem zabraňujícím přetížení obvodu je přístrojová pojistka na 250mA, která se při překročení odebíraného proudu přetaví a tím ochrání obvod. Zenerovy diody na 15V a 35V jsou určeny pro první filtraci špiček napětí a to především při použití napájení střídavým napětím. Při překročení zenerových napětí dojde k nárůstu odebíraného proudu, na který zareaguje pojistka. Schotkyho dioda slouží pro usměrnění napětí, je zde použita místo klasického diodového můstku, který by byl sice lepší, ale má větší ztrátu napětí. Paralelně zapojená dioda na 1000V před kondenzátory slouží jako ochrana v případě, že by pojistka na začátku obvodu selhala nebo nezareagovala dostatečně rychle. Hlavním cílem všech ochranných prvků je ochránit stabilizátor. Tři paralelně zapojené kondenzátory s kapacitou 47uF celkem tvoří kondenzátor s kapacitou 141uF. Takto velký kondenzátor je potřeba především při napájení střídavým napětím, jelikož kondenzátory s menší kapacitou nezvládají filtrovat přiváděná napětí. Tento jev je vidět v obrázku 33. Pět 100nF kondenzátorů slouží pro potlačené oscilací. Musí být zapojeny před a za stabilizátor a navíc ještě paralelně ke každé další součástce. Zenerova dioda na 3,9V je určena ke zvýšení výstupního napětí z 5V na 9V. Elektrický odpor 1kOhm slouží k získání dostatečného proudu na otevření zenerovy diody. Elektrolytický kondenzátor 4,7uF který je umístěn na konci obvodu slouží opět k filtraci napětí.

Katalogové informace o stabilizátoru TS2940CP-5.0

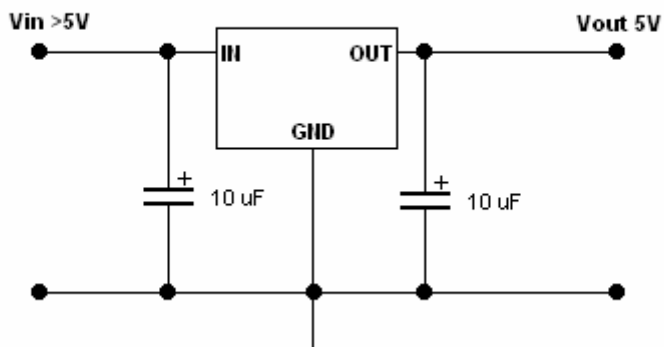
Tab. 2: Elektrické vlastnosti [10]

Electrical Characteristics					
Vin = Vout + 5V, IL = 5mA, Co = 10uF, Ta = 25 °C, unless otherwise specified.					
Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage		0.980 Vo	5.0 / 3.3	1.020 Vo	V
Output Voltage	5mA ≤ IL ≤ 1A, Vo+5V ≤ Vin ≤ 26V	0.970 Vo	2.5 / 1.8	1.030 Vo	V
Input Supply Voltage		--	--	26	V
Output Voltage Temperature Coefficient		--	50	150	ppm/°C
Line Regulation	Vo+2V ≤ Vin ≤ 26V	--	0.05	0.5	%
Load Regulation	5mA ≤ IL ≤ 1A	--	0.2	1.0	%
Dropout Voltage (Note 4)	IL=100mA	--	100	200	mV
	IL=500mA	--	300	500	
	IL=800mA	--	600	800	
Quiescent Current (Note 5)	IL=5mA	--	10	--	mA
	IL=800mA	--	30	--	
Short Circuit Current (Note 6)	Vout=0	--	--	1.5	A
Output Noise, 10Hz to 100KHz, IL=10mA	CL=2.2uF	--	500	--	uVrms
	CL=3.3uF	--	350	--	
	CL=33uF	--	120	--	

Tab. 3: Teplotní výkonnost TS2940CP-5.0 v různých pouzdrech [10]

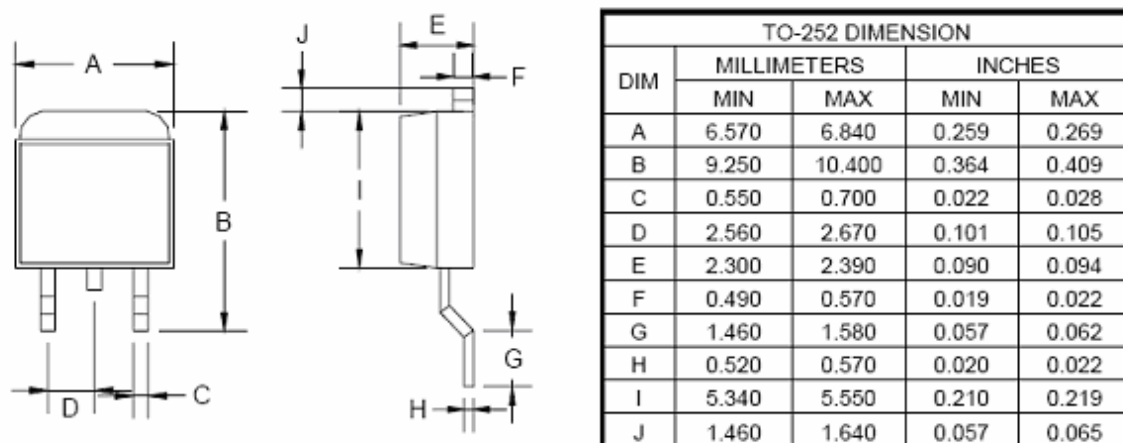
Thermal Performance			
Condition	Package type	Typ	Unit
Thermal Resistance Junction to Ambient	TO-220	60	°C/W
	TO-263	80	
	TO-252	150	
	SOT-223	170	

Na obrázku 17 je výrobcí uváděné základní zapojení stabilizátoru TS2940CP-5.0



Obr. 19: Typické zapojení obvodu

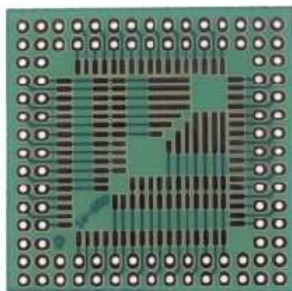
Obrázek 18 znázorňuje technický náčrtek stabilizátoru s pouzdrem TO-252 i s tabulkou kde jsou uvedeny přesné rozměry jednotlivých částí pouzdra



Obr. 20: Technický náčrtek a rozměry [10]

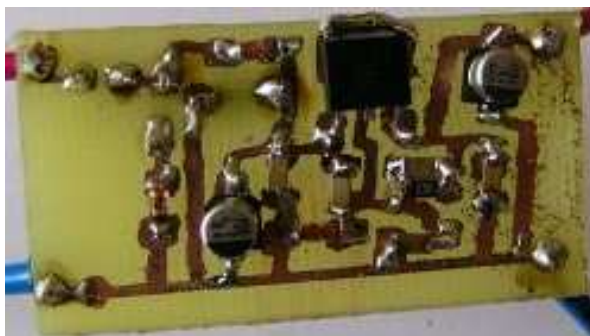
3.3 Sestavení prototypu

První prototyp byl postaven na Univerzální DPS pro SMD. Bohužel v průběhu sestavování bylo zjištěno, že univerzální DPS je nevhodný vzhledem k nutnosti u prototypu neustále upravovat složení součástek, další přidávat nebo měnit za jiné a poměrně nešťastnému rozložení a propojení pájecích bodů. Výsledný produkt vypadal velmi děsivě přesto, že byl funkční.



Obr. 21: Univerzální jednostranná deska plošných spojů pro SMD [11]

Vzhledem k předchozí zkušenosti s univerzální DPS, které prakticky práci spíše komplikuje než zjednodušuje, bylo přistoupeno pro další testování k výrobě vlastního DPS dle vlastního návrhu. Výroba byla prováděna dle techniky pro výrobu DPS v domácích podmínkách, která je popsána v kapitole 2.2.1.



Obr. 22: Prototyp 1

Na Obr. 22 je zobrazen první funkční prototyp, jenž je postaven na podomácku vyrobeném DPS. K finálnímu má ještě daleko, ale bylo na něm odladěno několik závad.

Za prvé bylo zjištěno, že polovodičová pojistka, kterou bylo původně zamýšleno použít místo pojistky přístrojové, je nevhodná, přesto že se zprvu zdála výhodnější vzhledem k jejím malým rozměrům vůči klasické přístrojové pojistce. Nevhodná je především proto, že se nestihne dostatečně rychle uzavřít, aby stihla ochránit všechny součástky. Navíc je o dost dražší, než přístrojová pojistka, kterou jsem nakonec vyhodnotil jako výhodnější i přes její větší rozměry.



Obr. 23: Prototyp 2

Na obr. 23 je zobrazena druhá verze prototypu. Na obrázku si můžete všimnout, že hlavní změnou vůči předchozí verzi je použití jiného kondenzátoru. Tato změna se ukázala jako nutná během testování na střídavém napětí.

Pokud by byl zdroj používán jen na napětí stejnosměrné, žádné změny by nebylo potřeba provádět. Při připojení střídavého napětí se ukázal původně zamýšlený kondenzátor 4,7uF naprosto nedostatečný vzhledem k potřebě odebírat proud při střídavém napájení zdroje alespoň 50 mA.

Testováním bylo zjištěno, že při odebírání 100mA za použití střídavého napětí je potřeba kondenzátor alespoň 220uF. Dle zadání stačí odebírat jen 50mA, proto byl použit 3x paralelně zapojený kondenzátor 47uF, 35V , který dohromady dá kondenzátor o kapacitě 141uF. Původně bylo zamýšleno použít SMD kondenzátor 220uF, 35V . Tento kondenzátor je však v malém množství na trhu nedostupný. Bylo tedy přistoupeno k použití tří SMD kondenzátorů zapojených paralelně viz Obr. 24.

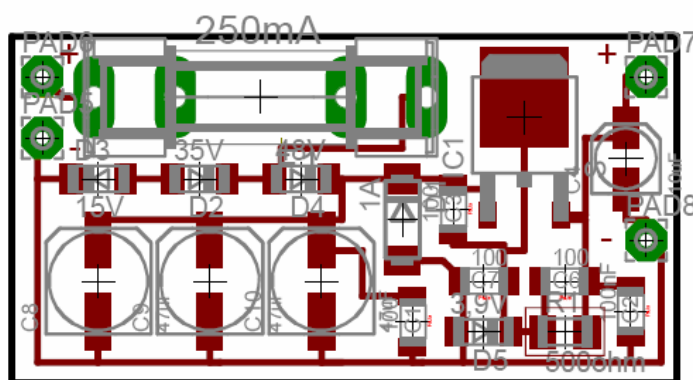


Obr. 24: Prototyp 3

Na obrázku 24 je uvedena poslední verze vývojového prototypu. Uspořádání součástek je již téměř totožné s uspořádáním na finálním DPS vyráběném u profesionální firmy. Jsou zde použity již dříve zmiňované tři paralelně zapojené elektrolitické kondenzátory, a také přístrojová pojistka, která nakonec vyšla jako výhodnější než menší, ale pomalejší pojistka polovodičová.

4 Výroba funkčního vzorku

Při výrobě funkčního vzorku bylo použito návrhové prostředí Eagle. Nejdříve byl zhotoven návrh plošného spoje, dle kterého byl poté sestaven funkční prototyp. Pro další kontrolu a také lepší představu byl zhotoven 3D návrh plošného spoje pomocí programu POV-Ray, do kterého se vloží data předem vytvořená programem Eagle. Po odzkoušení byl návrh odeslán firmě Printed. Ta zprostředkovala jak převod do dat Gerber, které se používají pro zadávání do výrobního přístroje, tak výrobu série 50 kusů plošných spojů. Firmě byla odeslána objednávka na celkem 50 kusů DPS s úpravou pomocí halování pbFree hal a použití nepájitivé masky.



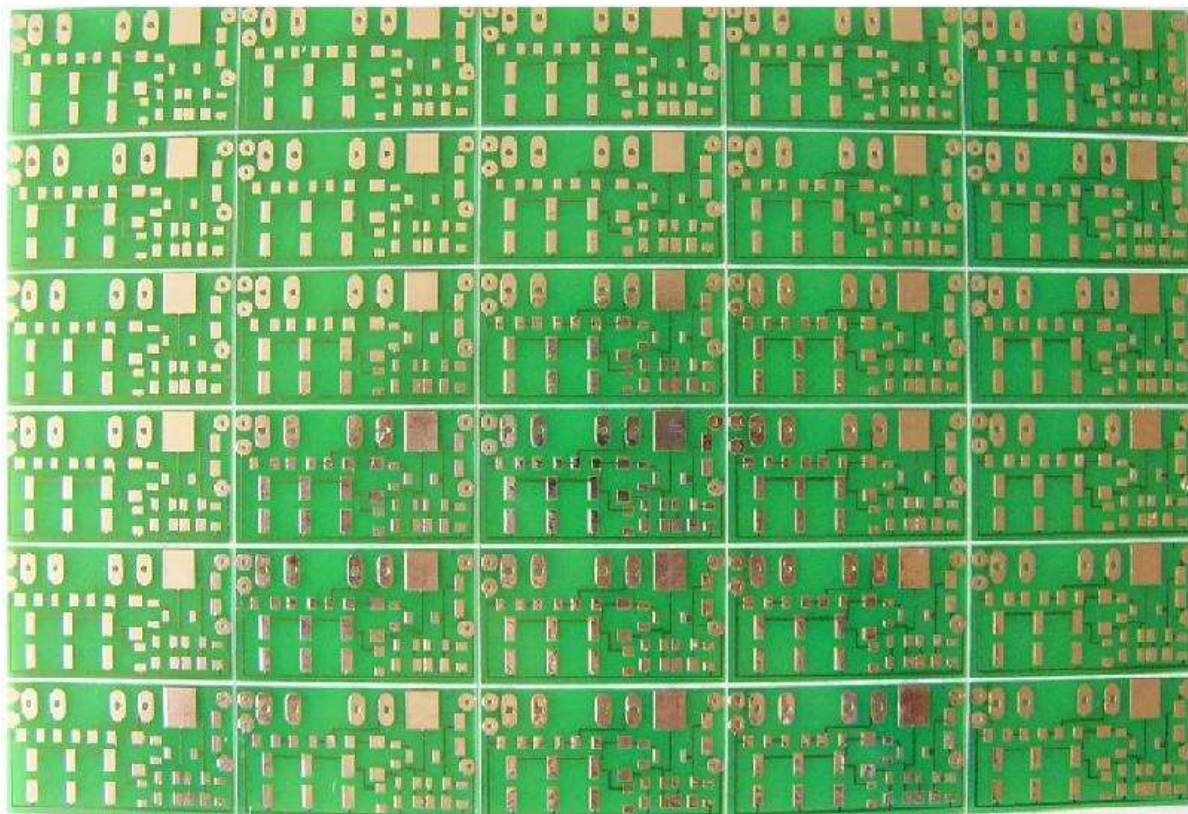
Obr. 25: Návrh plošného spoje z programu Eagle



Obr. 26: 3D návrh plošného spoje pomocí programu POV-Ray

4.1 Výroba malé série

Na Obr. 27 je vidět deska 30-ti plošných spojů z celkové série 50. Před montáží je třeba jednotlivé plošné spoje odlomit z desky, jelikož jsou vyráběny v celku. Nečiní to žádný problém, jednotlivé DPS jsou od sebe odděleny vyfrézovanými drážkami.



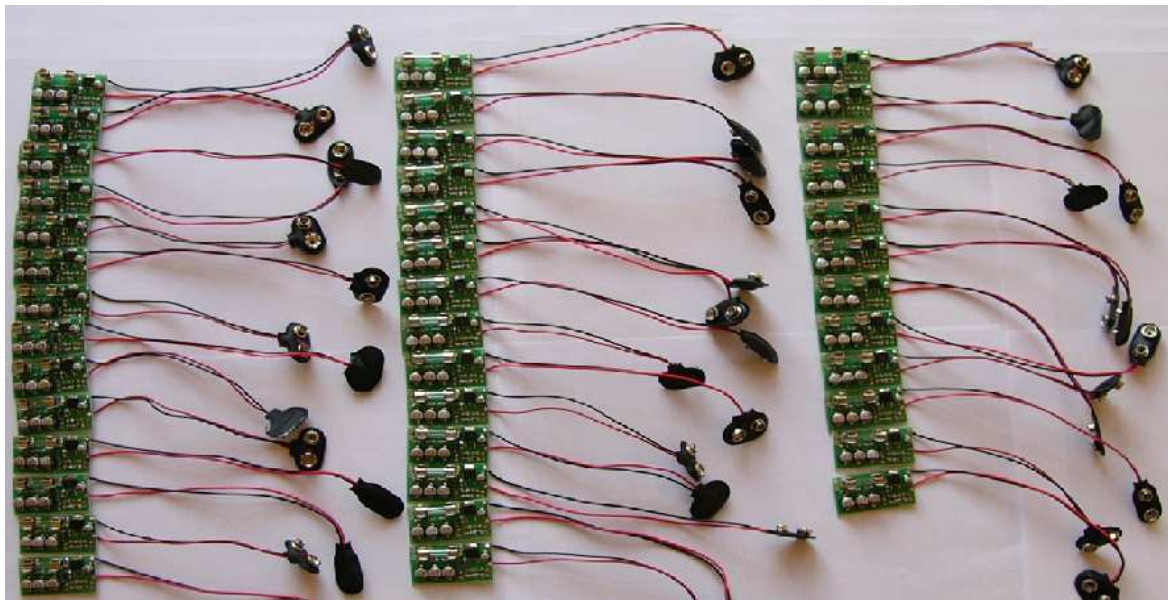
Obr. 27: Finální plošné spoje

Na Obr. 28 je zobrazen kompletně osazený a funkční napájecí zdroj napájený na vyrobené desce od firmy Printed. Jednotlivé součástky byly pájeny ručně za pomoci hrotové páječky



Obr. 28: Finální napájecí zdroj

Na Obr. 29 je kompletně osazena a zapájena celá série 50 ks napájecích zdrojů. Výstup je osazen konektorem, který má stejnou koncovku jako 9V baterie. Vstup prozatím nemá osazený žádný konektor, protože se budou konektory u jednotlivých zdrojů lišit podle toho jaké se pro ně použije napájení a kam budou zabudovány.



Obr. 29: Vyrobená a osazená série 50ks napájecích zdrojů

Na obrázku 30 je zobrazen multimetr do kterého již je zabudován napájecí zdroj. Připojení k napájecímu napětí je prováděno pomocí konektoru, který je vidět v horní části multimetru. Na fotografii je vidět, že zdroj i s konektorem zabírá méně místa, než klasické 9V baterie. Tím je zaručena kompatibilita se všemi přístroji, kde byly dříve používány 9V baterie.



Obr. 30: Napájecí zdroj zabudovaný v multimetru

4.2 Seznam použitých součástek

Tab. 4: Seznam použitých součástek v množství pro 50ks zdrojů

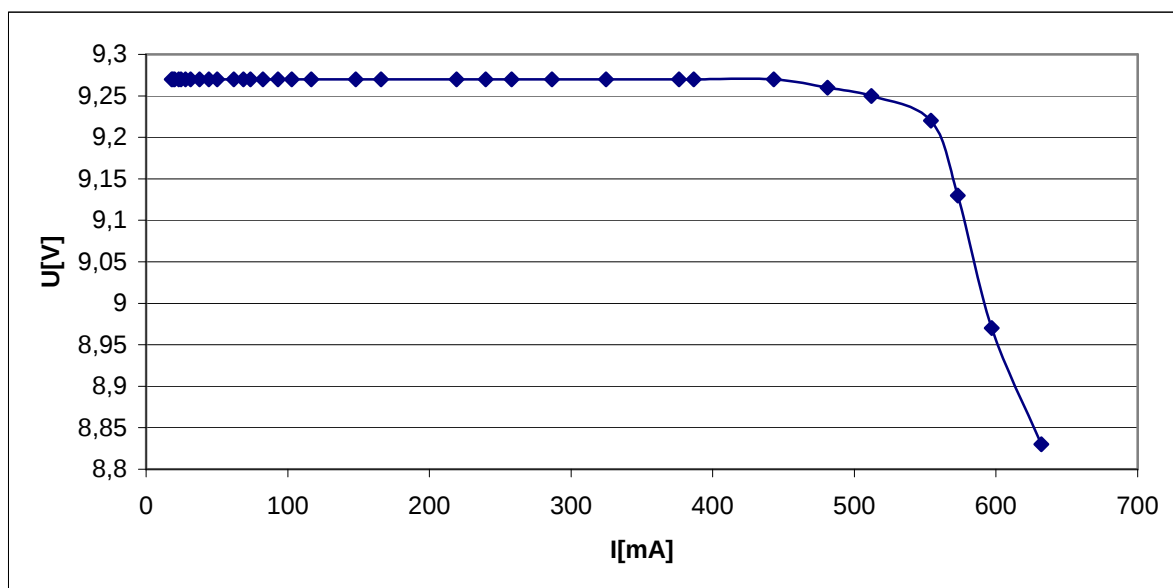
popis	ks
Pojistka F-rychlá, 0,250A/250V, 5x20mm	50
Držák pojistky 5x20mm do PCB, pro jednu stranu	100
Elektrolitycký kondenzátor,SMD, velikost C,prům 6.3x5.5mm, 47uF/ 35V	150
Keramický SMD kondenzátor, 100nF, velikost 1206	250
SMD rezistor, 1k0, CR1206	50
SMD Zenerova dioda 36V 500mW, SOD80	50
SMD Zenerova dioda 16V 500mW, SOD80	50
SMD Zenerova dioda 3,9V 500mW, SOD80	50
Dioda 1000V/1A DO213AB	50
CE10M/16V SMD, SMD kondenzátor elektrolitycký 10uF/16V	50
BAT48 SMD PDF, Schottkyho dioda 40V/350mA	50
TS2940CP-5.0 SMD PBF, Napěťový stabilizátor 5V/1A LowDrop, TO252	50
KLIPS-T,Kontaktní klips tvaru T, Vhodný pro baterie 9V, Vývody drátové	50
Plošný spoj	50

5 Měření dosažených hodnot

Měření zatěžovací charakteristiky zdroje

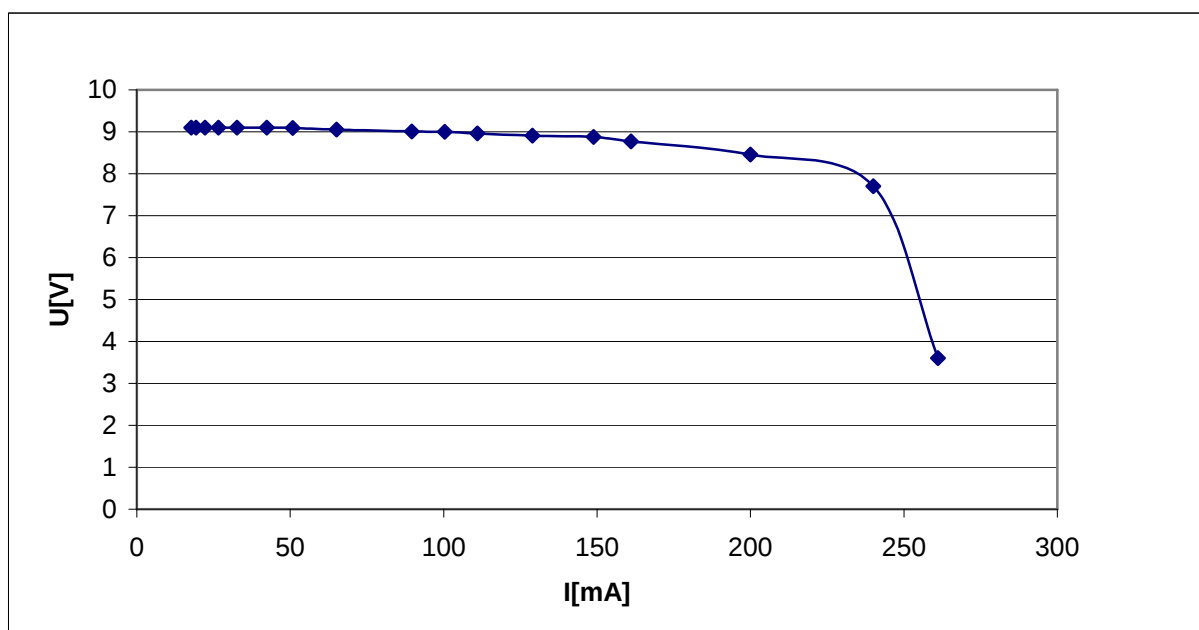
Z přechodové charakteristiky bylo zjištěna stabilita zdroje až zhruba k 580mA. Poté zasáhne tepelná ochrana stabilizátoru a sám se uzavře. Při 500mA má zdroj na vnějším obalu teplotu zhruba 100°C. Pokud teplota na vnějším obalu stabilizátoru dosáhne 113°C, zasáhne teplotní ochrana stabilizátoru. Dalo by se předpokládat, že při lepším chlazení za pomoci například malého chladiče přimontovaného na tělo stabilizátoru by bylo možné se dostat k ještě většímu odběru proudu. Dle katalogového listu stabilizátor zvládne dodávat až 1A. Pro účel tohoto zdroje ovšem bohatě postačí zmiňovaných stabilních 500mA, jelikož se nepředpokládá odběr větší než 100mA, je zde ještě značně velká rezerva.

5.1 Zatěžovací charakteristika při stejnosměrném vstupním napětí 14V



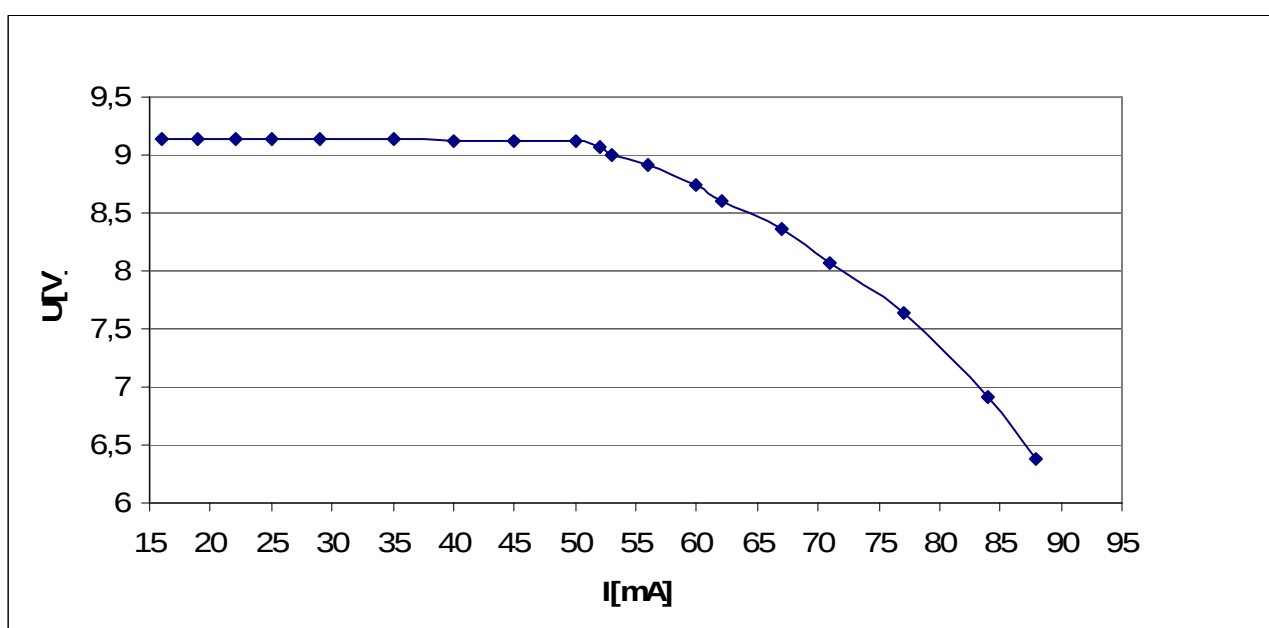
Obr. 31: Zatěžovací charakteristika při stejnosměrném vstupním napětí 14V

5.2 Zatěžovací charakteristika při stejnosměrném vstupním napětí 30,25V



Obr. 32: Zatěžovací charakteristika při stejnosměrném vstupním napětí 30,25V

5.3 Zatěžovací charakteristika při střídavém vstupním napětí 9V



Obr. 33: Zatěžovací charakteristika při střídavém vstupním napětí 9V

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vyrobit univerzální napájecí zdroje pro ruční laboratorní přístroje a teoretický rozbor problematiky napájecích zdrojů. Vyrobený zdroj by měl najít uplatnění v laboratořích měřicí techniky, kde bude ve velkém počtu namontován do ručních laboratorních přístrojů, k jejichž původnímu napájení sloužily 9V baterie. Zdroj by měl poskytnout jak značnou úsporu finančních prostředků, čímž je zajištěna rychlá návratnost investice do této bakalářské práce, tak usnadnění spravování měřících zařízení pro vyučující, jelikož již nebude třeba měnit baterie v těchto přístrojích a mohou nyní běžet téměř nepřetržitě. K bakalářské práci bylo přistupováno systematicky, tak jak je popsáno v jednotlivých kapitolách. Nejdříve byla nastudována nutná teorie, poté vytvořeny první návrhy a následně prototypy, které byly testovány. S výrobou prototypů byla těsně spjata i teorie o výrobě a pájení plošných spojů. Následně bylo nutné nastudovat program Eagle a pomocí něj vytvořit finální návrh, podle kterého poté specializovaná firma vyrobila finální plošné spoje ve větší sérii. Hlavní důraz při výrobě byl kladen na univerzálnost napájení jak střídavým, tak stejnosměrným napětím. U stejnosměrného byl požadován poměrně velký rozsah napájecího napětí. Dalším hlavním požadavkem byl nízký úbytek napětí na celém obvodu. Díky jeho dosažení je možné zdroj napájet i 9V baterií, čímž se poté ruční měřicí přístroje stanou opět přenosné, bez nutnosti napájení síťovými zdroji.

Seznam použité literatury

- [1] Krejčířík, A.: *Napájecí zdroje I*. BEN 1997. ISBN 80-86056-02-3.
- [2] Krejčířík A. *Napájecí zdroje II*. BEN 1997. ISBN 80-86056-03-1.
- [3] Vedral, J., Fischer, J.: *Elektronické obvody pro měřicí techniku*, Praha: ČVUT, 2004
340 s., ISBN 80-01-02966-2
- [4] Jelínek J. *Měřicí technika II* [aktuálně probíhající kurz]. Přednášky TUL.
- [5] Eagle – návod. Dostupné z: http://paja-trb.unas.cz/elektronika/eagle/eagle_navod.html
- [6] GM Electronic spol, s r.o. Obrázek plošného spoje. [online]. [cit. 18.3.2009].
Dostupné z: <<http://www.gme.cz> >
- [7] GM Electronic spol, s r.o. Obrázek cínová pájka. [online]. [cit. 18.3.2009].
Dostupné z: <<http://www.gme.cz> >
- [8] GM Electronic spol, s r.o. Obrázek páječka. [online]. [cit. 18.3.2009].
Dostupné z: <<http://www.gme.cz> >
- [9] Vedral J., Fischer J. *Elektronické obvody pro měřicí techniku*, Praha: ČVUT, 2004,
340s. ISBN 80-01-02966-2
- [10] Datový list. Dostupné z: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/123848/TSC/TS2940.html>
- [11] Pselectronic, s.r.o. Obrázek univerzální jednostranná deska plošných spojů pro SMD
Dostupné z: <<http://www.pselectronic.cz>>