



Střední průmyslová škola technická

Jablonec nad Nisou, Belgická 4852, příspěvková organizace



Středoškolská technika 2016

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů
na ČVUT**

ŘÍZENÝ ZDROJ NAPĚTÍ®

Michael Pokorný

Střední průmyslová škola technická

Belgická 4852, Jablonec nad Nisou

SPŠT

Anotace

Cílem této práce je návrh a realizace napájecího zdroje s plynulým řízením napětí. Součástí této práce budou teoretické fakty a podklady pro realizaci tohoto zdroje, tedy schéma zapojení, návrh plošného spoje a výpis použitých součástek.

Klíčová slova: Řízený napájecí zdroj, napájecí zdroj, spínaný napájecí zdroj, měnič, rezonanční napájecí zdroj, rezonanční měnič, kvazirezonanční měnič.

Annotation

The aim of this work is the design and implementation of a power supply with continuous control voltage. Part of this work will be theoretical facts and documentation for the implementation of this resource, therefore, diagram, PCB design and listing the components used.

Keywords : Controlled power supply, power supply, switching power supply, converter, resonant power supply, resonant converter, quasi – resonant converter.

Obsah

Obsah.....	3
Použité značky a symboly.....	5
1. Úvod.....	6
2. Spínané napájecí zdroje	7
2.1. Rozdělení spínaných zdrojů	8
2.2. Spínané zdroje bez transformátoru.....	8
2.2.1. Invertující měnič	8
2.2.2. Snižující měnič.....	10
2.3. Dvojčinné měniče.....	12
2.3.1. Push – pull.....	12
2.3.2. Polomost.....	13
2.3.3. Plný most.....	14
3. Rezonanční spínané napájecí zdroje.....	16
3.1. Rozdělení rezonančních měničů.....	17
3.1.1. Měniče se spínáním v nulovém proudu	17
3.1.2. Měniče se spínáním v nulovém napětí	17
3.1.3. Rozdělení rezonančních měničů podle způsobu zapojení.....	18
3.2. Příklady zapojení rezonančních měničů.....	19
3.2.1. Akumulační invertující rezonanční měnič s činností v nule proudu....	19
3.2.2. Akumulační kvazirezonanční měnič s transformátorem a s činností v nule proudu.....	20
4. Praktická část.....	22
4.1. Použité metody	22
4.1.1. Seznam součástí	22
4.2. Popis funkce	23
4.2.1. Návrh plošného spoje.....	23

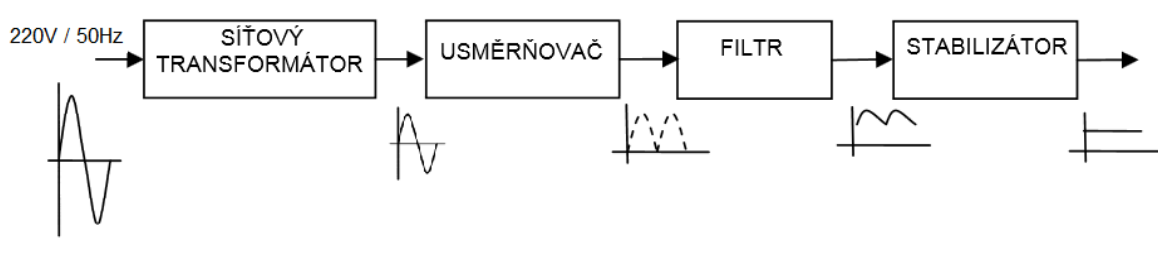
4.3. Fotodokumentace	25
5. Závěr	28
6. Seznam použité literatury a zdrojů informací	29
7. Seznam použitého softwaru.....	30
8. Licenční ujednání.....	31
9. Seznam příloh	32

Použité značky a symboly

B	.....	magnetická indukce
H	.....	intenzita magnetického pole
L	.....	indukčnost
T_a, T_b, T_c	.....	časový interval
T_{o1}, T_{o2}	.....	ochranný interval
U	.....	napětí
U_C	.....	napětí na kondenzátoru
U_1	.....	vstupní napětí
U_z	.....	výstupní napětí
ΔI_{La}	.....	přírusek proudu na cívce v časovém intervalu T_a
ΔI_{Lb}	.....	přírusek proudu na cívce v časovém intervalu T_b

1. Úvod

Jako napájecí zdroj můžeme nazývat soubor elektronických obvodů, který převádí střídavé napětí sítě na stejnosměrné napětí použitelné pro napájení přístrojů. Ve většině případů jde o změnu hodnoty síťového napětí, galvanické oddělení, usměrnění a filtraci, stabilizaci a ochranu proti případnému přetížení. U napájecích zdrojů je naším záměrem dosáhnout nejvyšší účinnosti, s kterou můžeme převést napětí z právě užívané sítě na stejnosměrné napětí požadované velikosti.

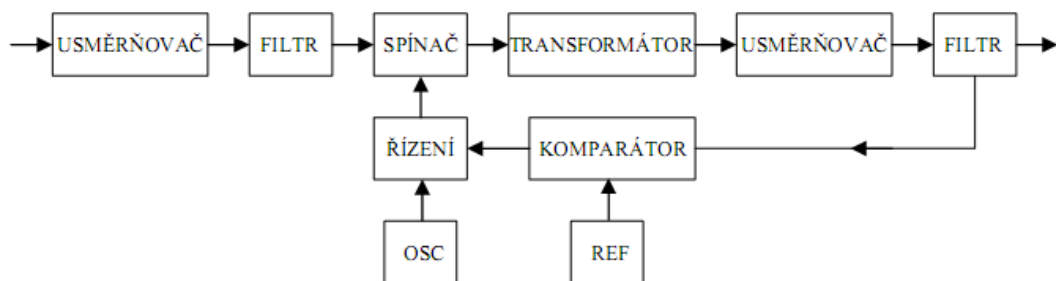


Obr. 1. 1: Blokové schéma napájecího zdroje.

Síťový transformátor slouží k transformaci střídavého napětí na menší požadované velikosti. Taktéž galvanicky odděluje zařízení od rozvodné sítě. Usměrňovač bude napájen ze sekundárního vinutí transformátoru. Na výstupu usměrňovače pak naměříme stejnosměrné pulzující napětí. Pro filtraci pulzů bude použit elektrolytický kondenzátor, který je v současné době nejčastěji používán k realizaci napájecích zdrojů. Kondenzátor v sobě hromadí náboj a dodává jen do obvodu v případě poklesu pulzujícího vstupního napětí. Stabilizátor napětí je elektronický obvod, který zpravidla využíváme, zdali chceme udržet výstupní napětí konstantní při kolísání vstupního napětí a při změně odběru proudu do spotřebiče.

2. Spínané napájecí zdroje

Tyto zdroje využívají střídačů s bipolárními nebo unipolárními tranzistory, které pracují na vysoké frekvenci. Střídače jsou řízeny zpětnou vazbou, ovlivňující frekvenci budících impulsů, což má stabilizující účinek na výstupní napětí. Tím je účinnost spínaných zdrojů podstatně vyšší než klasických spojitě regulovaných stabilizovaných zdrojů. S využitím vyšších frekvencí nastává problém ztrát použitých magnetických obvodů. Další nevýhodou z hlediska jejich vysoké pracovní frekvence je vyšší cena jednotlivých součástek, které musí na těchto vysokých kmitočtech spolehlivě pracovat [4].



Obr. 2. 1: Blokové schéma spínaného napájecího zdroje (převzato z [1]).

Střídavé síťové napětí s kmitočtem 50 Hz se nejdříve usměrní a následně kondenzátorem vyfiltruje. Poté se nejčastěji pomocí spínacího tranzistoru signál převede na střídavý obdélníkový průběh. Obdélníkové napětí se změní impulsním transformátorem a usměrňovačem se usměrní. Vyfiltrované napětí se snímá a v komparátoru se porovná s referenční hodnotou. Při vzniku odchylky se mění buď kmitočet, nebo častěji střída tak, aby se výstupní napětí stabilizovalo na požadovanou hodnotu. Spínač, transformátor, výstupní usměrňovač a výstupní filtr tvoří takzvaný měnič. Z důvodu toho, že řídicí smyčka zasahuje na primární stranu transformátoru, musí být z bezpečnostních důvodů galvanicky oddělena. To se řeší dalším transformátorem nebo častěji optronem [4].

Spínané zdroje mají i své nevýhody, mezi které patří vyšší cena daná potřebnou kvalitou a stálostí součástek, složitost (v dnešní době však bývají hlavní části integrovány do jedné součástky). U starších zapojení nesmí zdroj pracovat bez zátěže. Nejčastěji se spínané zdroje používají pro velké proudy a malá napětí (např. v počítačích).

2.1. Rozdělení spínaných zdrojů

Zapojení spínaných zdrojů mají následující dělení:

Spínané zdroje bez transformátoru:

- Invertující (BUCK – BOOST)
- Snižující (STEP – DOWN)
- Zvyšující (STEP - UP)

Spínané zdroje s transformátorem:

- Blokující (FLYBACK)
- Propustný (FORWARD)

Dvojjmenné měniče s transformátorem:

- Push – Pull
- Polomost (HALF – BRIDGE)
- Plný most (FULL – BRIDGE)

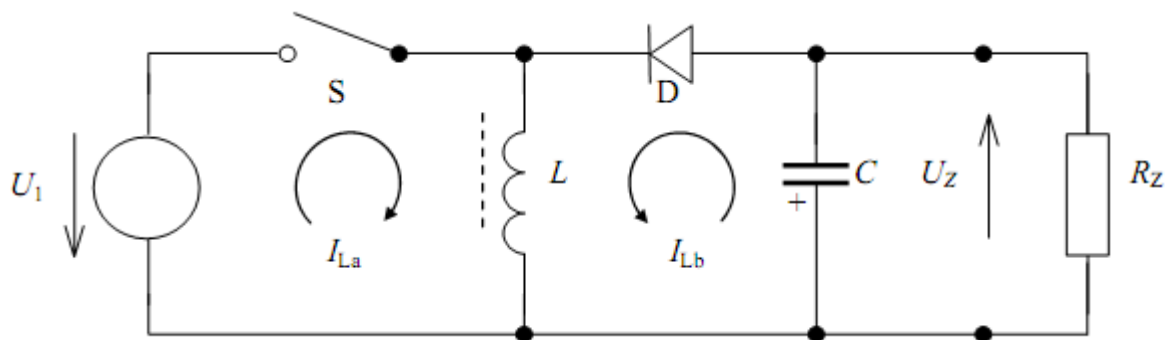
Některé z těchto zdrojů budou postupně představeny v následujícím textu.

2.2. Spínané zdroje bez transformátoru

Zdroje s těmito měniči se vyznačují přímou galvanickou vazbou ze vstupu na výstup. Skládají se ze čtyř základních prvků, kterými jsou spínací tranzistor, usměrňovací diody, filtrační tlumivky a kondenzátory. Používají se ve vysoce účinných zdrojích pro malá napětí (například měniče z 5 V na 12 V) s výkonem do 30 W.

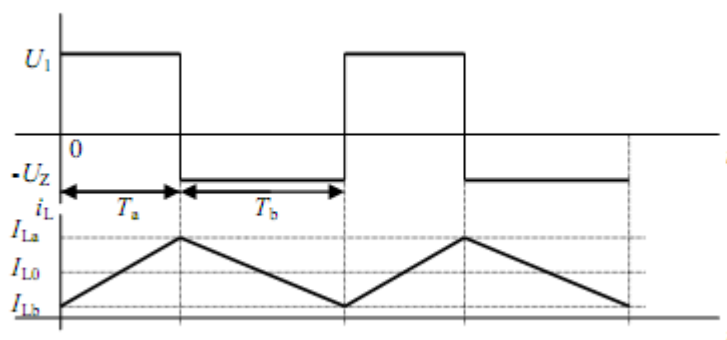
2.2.1. Invertující měnič

Jedním z možností zapojení měničů bez transformátoru je invertující měnič. Energie je shromažďována buďto v elektrickém poli kondenzátoru nebo v magnetickém poli tlumivky.



Obr. 2. 2: Invertující měnič [2].

V základním zapojení využívá invertující měnič akumulární tlumivky L , v níž se hromadí energie po dobu T_a a po dobu T_b se převádí přes usměrňovač do výstupního obvodu [2] (obr. 2.2).



Obr. 2. 3: Průběh napětí a proudu v obvodu invertujícího měniče [2].

Po sepnutí spínače S cívku začne lineárně narůstat proud I_{La} (časový interval T_a) - Za předpokladu, že má cívka zanedbatelný odpor. (viz. Obr. 2.3). Na konci tohoto intervalu dosáhne přírůstek proudu na cívce L hodnoty

$$\Delta I_{La} = \frac{U_1}{L} \cdot T_a. \quad (1)$$

V cívce je nahromaděná energie a řídicí obvod rozezne spínač (časový interval T_b). Nyní teče cívku proud I_{Lb} , který přes diodu D nabíjí kondenzátor C na napětí U_Z .

Proud cívku lineárně klesá.

$$\Delta I_{Lb} = -\frac{U_z}{L} \cdot T_b. \quad (2)$$

Ze zákona o zachování energie vyplývá následující vzorec.

$$\Delta I_{La} = -\Delta I_{Lb}. \quad (3)$$

Po provedení matematických operací dostaneme vztah pro určení výstupního napětí.

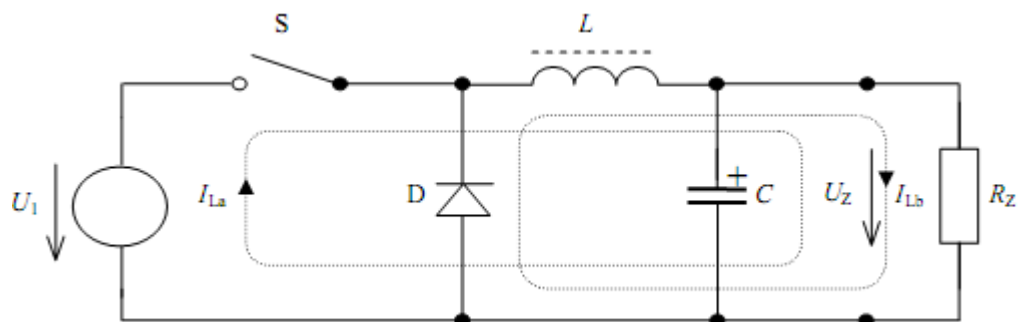
$$U_z = -U_1 \cdot \frac{T_a}{T_b}. \quad (4)$$

Výstupní napětí má opačnou polaritu než napětí vstupní a je nezávislé na odebíraném proudu. Častěji se využívá modifikace zapojení, kde cívku nahradíme transformátorem (označováno jako blokuující měnič - FLYBACK). Získáme tím galvanické oddělení, které je nutné z hlediska bezpečnosti. Mezi výhody tohoto zapojení patří jednoduchost obvodového řešení, malý počet součástek a potřeba pouze jedné cívky. Nevýhodami jsou nutnost stejného dodání a odebrání energie z magnetického obvodu, středně velké rušení vyzařováním do okolí a větší ztráty transformátoru. Invertující měnič je určen pro výkony do 30 W s širokým rozsahem výstupního napětí.

2.2.2. Snižující měnič

Princip zapojení snižujícího měniče je přibliženo na obr. 2.4. U tohoto měniče je dodávána energie do výstupního obvodu, jak v časovém intervalu T_a , tak i v intervalu T_b . Po sepnutí spínače S (časový interval T_a) se na akumulaciční tlumivce L objeví napětí [2].

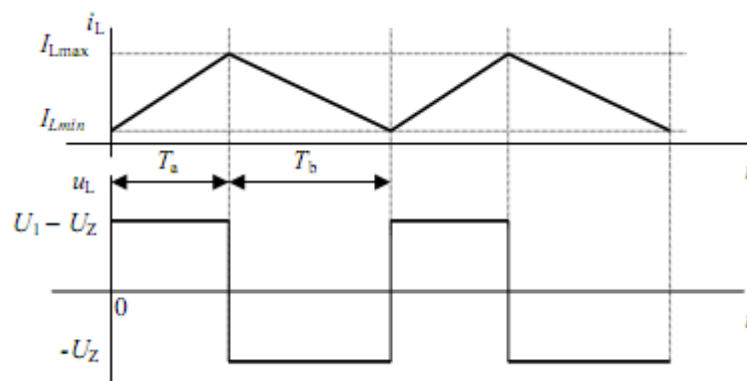
$$u_L = U_1 - U_z \quad (5)$$



Obr. 2. 4: Snižující měnič [2].

Na tlumivce narůstá lineárně proud (viz. obr. 2.5). Tento proud má na konci časového intervalu T_a maximální velikost.

$$\Delta I_{La} = \frac{U_1 - U_Z}{L} \cdot T_a \quad (6)$$



Obr. 2. 5: Průběh napětí a proudu v obvodu snižujícího měniče [2].

Spínač S rozezne (začátek intervalu T_b) a zátěž je napájena energií akumulovanou v tlumivce L přes výměnnou diodu D. Proud v tlumivce přibližně lineárně klesá a za celý interval T_b poklesne na ΔI_{Lb}

$$\Delta I_{Lb} = \frac{U_Z}{L} \cdot T_b \quad (7)$$

Ze zákona o zachování energie vyplývá následující vzorec.

$$\Delta I_{La} = \Delta I_{Lb}. \quad (8)$$

Výstupní napětí pak vypočítáme podle následujícího vzorce.

$$U_z = U_1 \frac{T_a}{T_a + T_b}. \quad (9)$$

Výstupní napětí má oproti vstupnímu stejnou polaritu. Výhodou zapojení je menší zvlnění výstupního napětí, má vyšší výkon a účinnost než invertující měnič. Při požadavku galvanického oddělení výstupního obvodu použijeme snižující měnič s impulsním transformátorem (označován jako propustný měnič - FORWARD).

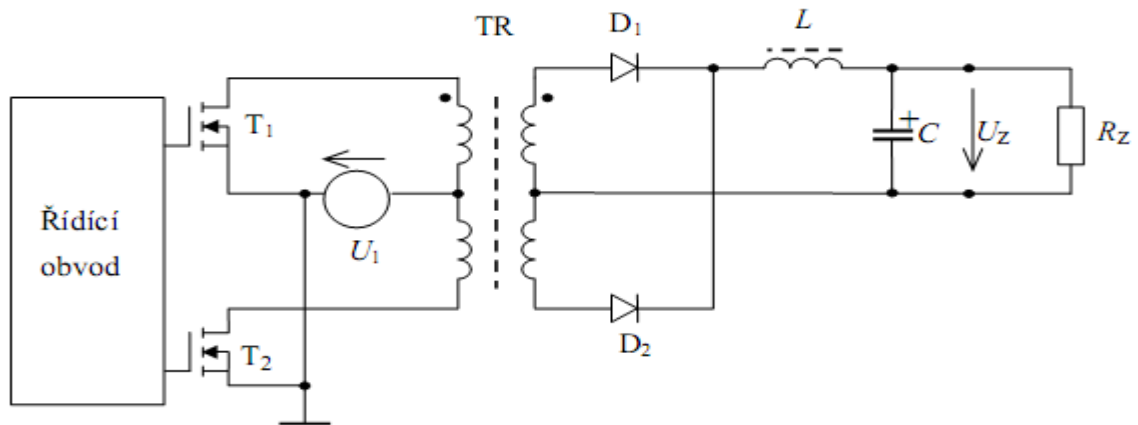
2.3. Dvojčinné měniče

Dvojčinný měnič využívá dvou tranzistorů, jež pracují do symetrického primárního vinutí impulsního transformátoru (push – pull viz obr. 2.6) nebo sériového zapojení (push - push), jemuž postačuje impulsní transformátor s jediným primárním vinutím - zapojení tzv. polomostu (obr. 2.8) nebo plného mostu (obr. 2.9). Sekundární vinutí je vždy symetrické, usměrňovač je dvojcestný. Vzhledem k symetrii zapojení je možné jádro impulsního transformátoru magnetovat jak do kladných, tak do záporných hodnot H a B, čímž je možné využít prakticky dvojnásobného zdvihu magnetické indukce ΔB oproti jednoduchému propustnému měniči. Tím lze zmenšit objem feromagnetického jádra (při stejných rozměrech je přenášený výkon dvojnásobný). Stejně tak zvlnění výstupního napětí je oproti jednoduchému měniči podstatně menší. Velmi pečlivě musejí být navrženy řídicí obvody, aby byla s jistotou vyloučena možnost současného sepnutí obou tranzistorů – musí být dodržen ochranný časový interval T_{o1} a T_{o2} (obr. 2.7).

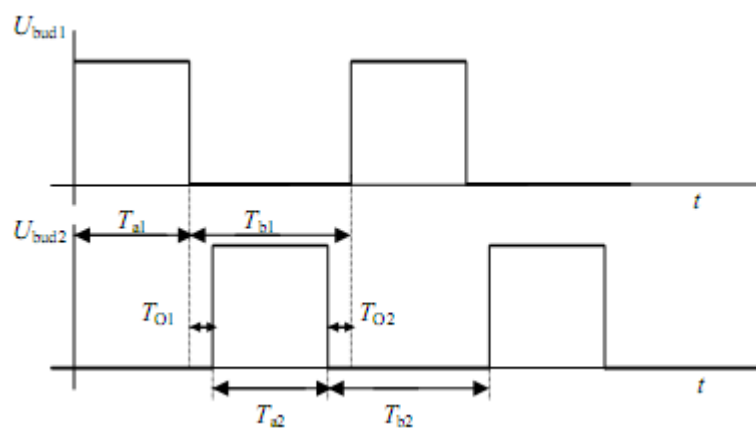
2.3.1. Push – pull

Základním prvkem zdrojů tohoto typu je symetrické primární vinutí transformátoru (viz obr. 2.6). U zapojení Push – pull nelze definovat šířku regulace pomocí poměru T_a/T_b . Každá polovina primárního vinutí je buzena samostatným tranzistorem T_1 a T_2 (obr. 2.7). Řídicí obvod zajišťuje střídavé spínání obou tranzistorů, přičemž musí být zachován ochranný interval T_0 . Účinnost takovýchto zapojení je velmi vysoká a pohybuje

se na 80 %. Další výhodou je možnost širokého rozsahu regulace. Využívá se často ve spínaných zdrojích PC do výkonu 250 W [2].



Obr. 2. 6: Push – pull [2].



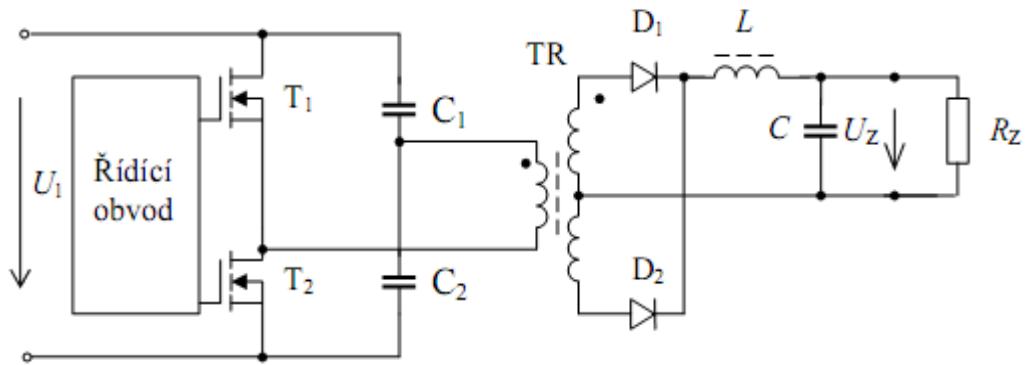
Obr. 2. 7: Princip protifázového buzení obou tranzistorů [2].

2.3.2. Polomost

Podle uspořádání jednotlivých prvků v mostu se rozlišuje celá řada můstkových zapojení. Mezi nejpoužívanější patří polomosty, kde polovina mostu je tvořena dvěma spínacími tranzistory a druhá polovina dvěma kondenzátory, což vidíme na obr. 2.8. V jejich diagonále je zapojeno primární vinutí transformátoru. Střední hodnota napětí na kondenzátorech je po zapnutí zdroje stejná [2]:

$$U_c = \frac{U_1}{2}. \quad (10)$$

Řídicí obvody zajišťují střídavé spínání obou tranzistorů, přičemž musí být opět zachován ochranný interval T_0 .

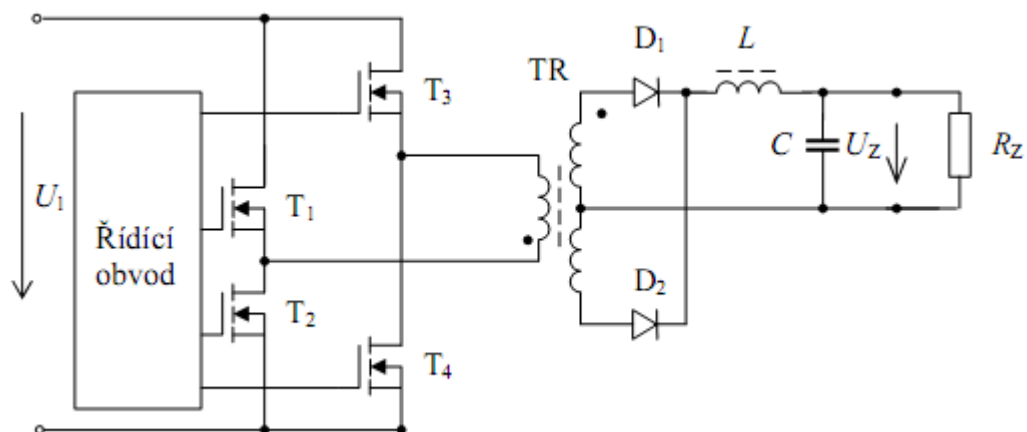


Obr. 2. 8: Polomost [2].

Proti předchozímu zapojení má polomost jediné primární vinutí a díky symetrii je vždy zajištěno odmagnetování jádra (C_1 a C_2 musejí být stejné).

2.3.3. Plný most

Základem zapojení jsou čtyři stejné budící tranzistory a jedno primární vinutí impulsního transformátoru. Primární vinutí je zapojeno do diagonály můstku, v jehož jednotlivých větvích jsou spínací tranzistory. Řídicí obvod zajišťuje současné spínání příčné dvojice tranzistorů (viz. Obr. 2. 9).



Obr. 2. 9: Plný most.

Zapojení plného mostu patří mezi obvodově velmi složité (nároky na budící tranzistory). Z tohoto důvodu se používá pouze pro velké dodávané výkony nad 400 W.

3. Rezonanční spínané napájecí zdroje

Klasické spínané zdroje s pulzně šířkovou modulací mají jeden nedostatek. Klasické spínané zdroje s pulzně šířkovou modulací mají jeden nedostatek. Tímto nedostatkem jsou parazitní reaktance ve výkonovém obvodu. Tyto reaktance jsou zdrojem energie způsobující ztrátové výkony, napěťové špičky a rušení elektromagnetickými vlnami, které se šíří po vodičích a mohou být i vyzářovány z měniče. Jednou z moderních metod, aplikovaných ve spínaných zdrojích je rezonanční a kvazirezonanční princip. Měniče pracující na tomto principu odstraňují problém se vzrůstajícími ztrátami, které jsou spojeny se spínáním ve vyšších kmitočtech. U těchto měničů se využívá rezonance kapacity a indukčnosti. Ztráty vznikající při spínání se omezují tím, že rezonanční indukčnost se připe a odpojí od rezonančního obvodu v nule proudu procházející touto indukčností (ZCS – Zero Current Switching) nebo tím, že rezonanční kapacita se připe a odpojuje v nule napětí (ZVS – Zero Voltage Switching). Nevýhodou rezonančních a kvazirezonančních měničů jsou zvýšené nároky kladené na jejich řídicí obvody i na ostatní součástky v obvodu. Přibližné ztráty u rezonančních měničů ukazuje obr. 3. 1.

Součástka	% z výkonu
Diody	10
Spínače	3
Jádro transformátoru	2
Vinutí transformátoru	2
Vinutí tlumivky	2
Spínání	1
Řízení	1,5
Vstupní filtry	0,5
Výstupní filtry	0,5
Celkem	22,5

Obr 3. 1: Přibližné rozdělení ztrátového výkonu u rezonančního měniče (převzato z [3]).

Rezonanční měniče vycházejí z klasických měničů. K pracovnímu akumulárnímu prvku se přidá duální prvek, který s ním vytvoří rezonanční obvod s rezonančním kmitočtem odpovídající kmitočtu spínání. Napětí a proud poté nemá skokový charakter, ale přechod spínání má tvar po částech spojitý odpovídající části sinusovky.

3.1. Rozdělení rezonančních měničů

Rezonanční měniče můžeme dělit podle následujících hledisek.

Dělení podle principu činnosti:

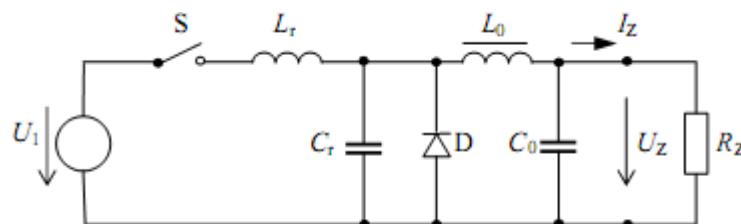
- Měniče se spínáním v nulovém proudu
- Měniče se spínáním v nulovém napětí

Dělení podle způsobu zapojení:

- Rezonanční měniče
- Kvazirezonanční měniče
- Multirezonanční měniče

3.1.1. Měniče se spínáním v nulovém proudu

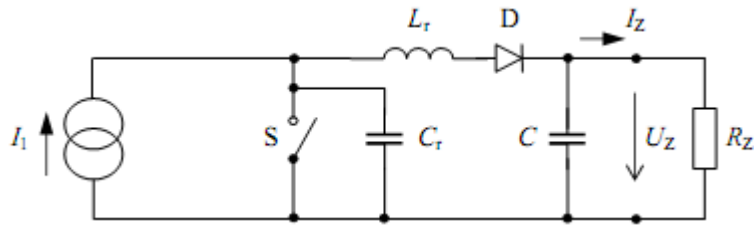
Na obr. 3. 2 je vidět zapojení měniče se spínáním v nulovém proudu. Rezonanční indukčnost je zapojena v sérii se spínacím tranzistorem (ve schématu označeným jako spínač S). Cívka L_r a kondenzátor C_r jsou vložena rezonanční indukčnost a kapacita. Doba mezi sepnutím a rozepnutím spínače se nemění. Tato doba je dána polovinou rezonanční periody. Napětí na výstupu je dáno dobou sepnutí spínače. Sinusový průběh proudu má velkou vrcholovou hodnotu a tím i velkou efektivní hodnotu.



Obr. 3. 2: Zapojení rezonančního měniče se spínáním v nule proudu [3].

3.1.2. Měniče se spínáním v nulovém napětí

Rezonanční kondenzátor je připojen paralelně ke spínacímu tranzistoru. Touto technikou můžeme dosáhnout vysoký kmitočet při spínání. Principiální schéma je ukázáno na obr. 3. 3. Cívka L_r je opět vložena rezonanční indukčnost, kondenzátor C_r je parazitní kapacita spínače.



Obr. 3. 3: Zapojení rezonančního měniče se spínáním v nule napětí [3].

Porovnání některých vlastností těchto dvou principů činností ukazuje obr. 3. 4 (převzato z [3]).

	Spínání v nule proudu	Spínání v nule napětí
řízení	Stálá doba sepnutí spínače	Stálá doba rozeptnutí spínače
tvar napětí na spínači	Přibližně pravoúhlý	Přibližně sinusový
tvar proudu spínačem	Přibližně sinusový	Přibližně pravoúhlý
rozsah zátěže	R_{\min} až R_{∞}	0 až R_{\max}
U_z / U_1 vzrůstá když	f_s roste R vzrůstá	f_s klesá R vzrůstá
plnocestný mód	Dioda antiparalelně k tranzistoru	Dioda v sérii k tranzistoru
poloviční mód	Dioda v sérii k tranzistoru	Dioda antiparalelně k tranzistoru
kmitočet spínání	Až do 1 MHz	Až do 10 MHz
výkony měničů	Do několika set W	Do několika set W
účinnost	Lepší než 70%	Lepší než 70%

Obr. 3. 4: Porovnání parametrů rezonančních měničů.

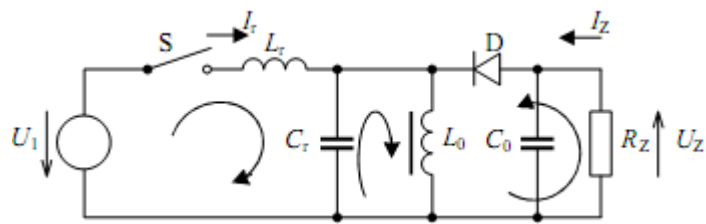
3.1.3. Rozdělení rezonančních měničů podle způsobu zapojení

- **Rezonanční měniče:** Rezonanční indukčnost i rezonanční kapacita je vyjádřena izolovanými prvky. Průběh napětí a proudů odpovídá harmonickým průběhům rezonančních LC obvodů.
- **Kvazirezonanční měniče:** Průběh napětí a proudů odpovídá jen po částech průběhům u rezonančního obvodu. Kapacita i indukčnost je složena z několika prvků, jejichž hodnoty bývají i proměnné. Kmitočet spínání bývá kolem 1MHz.
- **Multirezonanční měniče:** Během spínání a rozpínání uplatňují proměnné skupiny tlumivek a kondenzátorů, které v souhrnu vytvářejí sice periodický děj, ale s neharmonickým průběhem napětí a proudů.

3.2. Příklady zapojení rezonančních měničů

3.2.1. Akumulační invertující rezonanční měnič s činností v nule proudu

Na obr. 3.5 (převzato z [3]) je principiální zapojení obvodu, kde spínač S spíná a rozezpíná v nule proudu. Při rozezpnutí spínače je jeho parazitní kapacita nabitá. Při rozezpnutí se energie obsažená v této parazitní kapacitě zmaří ve spínači.



Obr. 3. 5: Zapojení rezonančního měniče se spínáním v nule proudu.

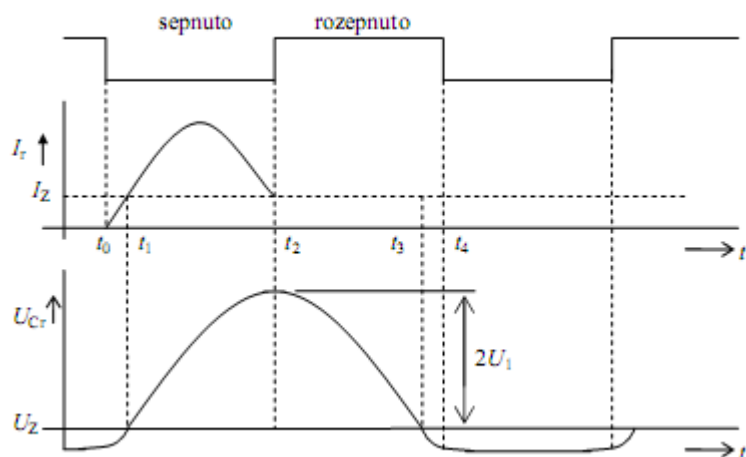
Činnost měniče probíhá ve 4 krocích (průběhy proudu a napětí jsou na obr. 3.4).

1. krok: Po sepnutí spínače v čase t_0 proud I_r rezonanční indukčností L_r lineárně vzrůstá do doby t_1 , protože kondenzátor C_r je připojen diodou D, kterou prochází proud I_z , na napětí U_Z . Tento proud je generován akumulací tlumivkou L_0 . Až proud I_r dosáhne hodnoty výstupního proudu I_z , dioda D se uzavře, je polarizována v nepropustném směru. To nastává po okamžiku t_1 .

2. krok: Kondenzátor C_r se nabíjí na hodnotu $2U_1 - U_Z$. Průběh proudu od t_1 do t_2 je sinusový. Kondenzátor C_0 se nabíjí na napětí U_C . Když dosáhne proud I_r nulové hodnoty, spínač rozezpíná.

3. krok: Stálým proudem I_z se vybíjí kondenzátor přes tlumivku L_0 do doby t_3 . Tento proud je magnetovacím proudem tlumivky L_0 , do které se akumuluje energie. Horní svorka tlumivky L_0 je kladná a proto je dioda D uzavřená. Když klesne napětí na kondenzátoru C_r na napětí $-U_Z$ přestane se kondenzátor vybíjet. Obrátí se polarita na tlumivce L_0 a dioda D je polarizována v propustném směru.

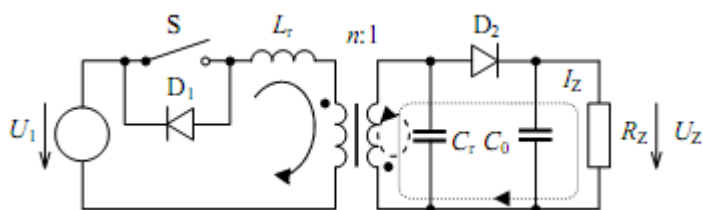
4. krok: Proud tlumivkou prochází ve stejném směru. Uzavírá se přes zatěžovací odpor. V čase t_4 spínač spíná znovu.



Obr. 3. 6: Průběh napětí na C_r a proudu I_r [3].

3.2.2. Akumulační kvazirezonanční měnič s transformátorem a s činností v nule proudu

Na obr. 3.7 (převzato z [3]) je ukázáno zapojení kvazirezonančního měniče s transformátorem. Aktivní spínač je nahrazen rezonančním spínačem S . Spínač spíná a rozpíná v nule proudu. Dochází zde ke ztrátám při sepnutí spínače, kdy dojde k zmaření nahromaděné energie v parazitní kapacitě spínače. Transformační poměr byl pro jednoduchost zvolen $n=1$. Popis obvodu je opět rozdělen do 4 kroků (obr. 3.8).



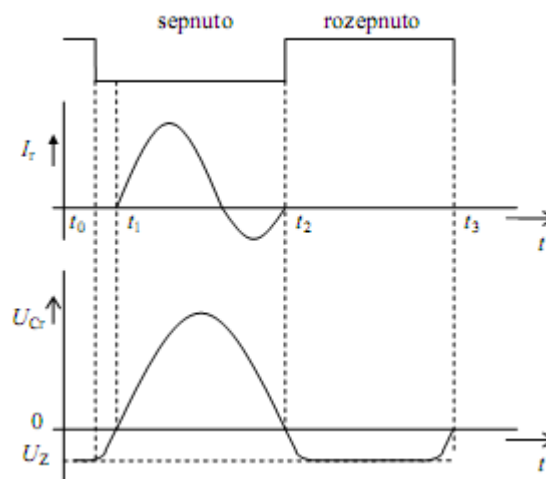
Obr. 3. 7: Zapojení kvazirezonančního měniče se spínáním v nule proudu.

1. krok: Diodou D_2 prochází proud z energie nahromaděné v indukčnosti sekundárního vinutí. Na kondenzátoru C_r a sekundárním vinutí transformátoru je dosud napětí U_Z . V čase t_0 spíná spínač S . Do doby t_1 roste lineárně proud. Na sekundárním vinutí transformátoru se v čase t_1 objeví napětí U_Z . V tomto okamžiku proud vtékající a vytékající do a z transformátoru je shodný. Dioda D_2 se uzavře, neboť je polarizována v nepropustném směru.

2. krok: Cívka L_r společně s kondenzátorem C_r jsou v rezonanci. Kondenzátor se nabije z napětí U_Z na napětí $-2U_1$. V čase t_2 rozeprne spínač S.

3. krok: Přes sekundární vinutí transformátoru se vybije kondenzátor. Protože je proud vybíjející kondenzátor stálý, je magnetovací proud transformátoru také stálý. Z tohoto důvodu se nemění na vinutí transformátoru polarita.

4. krok: Kondenzátor C_r se vybil. Magnetovací proud však prochází dále stejným směrem a uzavírá se přes diodu D_2 a zatěžovací odpor R_Z . Zmenšuje svojí hodnotu, změní se polarita napětí na transformátoru. Následuje sepnutí spínače a opakování celého cyklu.



Obr. 3. 8: Průběhy napětí na C_r a proudu I_r [3].

4. Praktická část

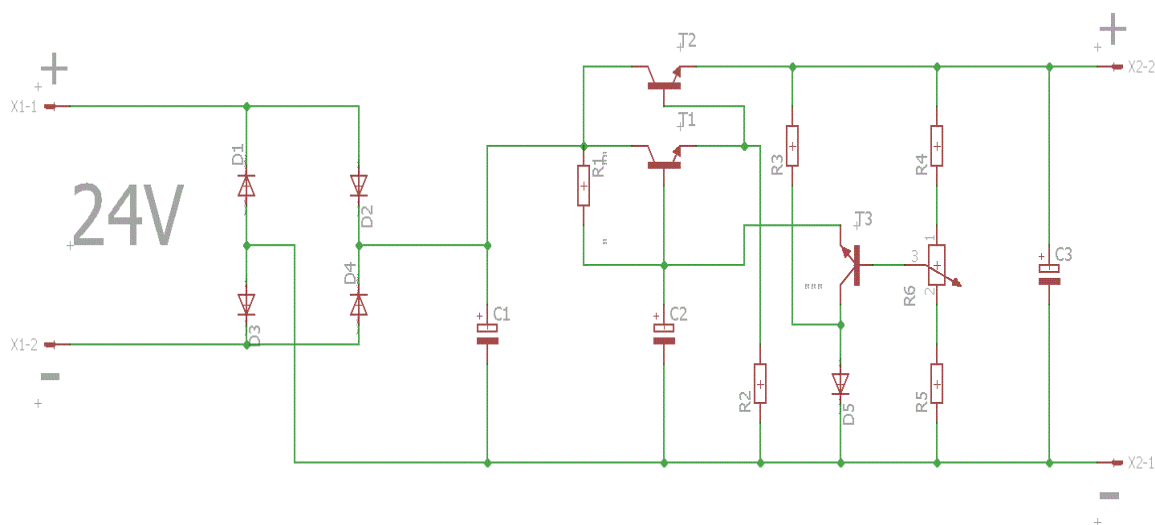
V této části budou popsány použité součásti, návrh plošného spoje napájecího zdroje napětí, jeho realizace a následná fotodokumentace.

4.1. Použité metody

Vrtání, broušení, pájení, lepení, leptání, řezání, měření.

4.1.1. Seznam součástek

R1.....	10k
R2.....	10k
R3.....	1k
R4.....	100R
R5.....	100R
P1	10k
C1.....	2200u/35V
C2.....	100u/35V
C3.....	100u/35V
D1.....	1N4007
D2.....	1N4007
D3.....	1N4007
D4.....	1N4007
D5.....	1N4007
T1	BC337
T2.....	BD139
T3.....	BC337



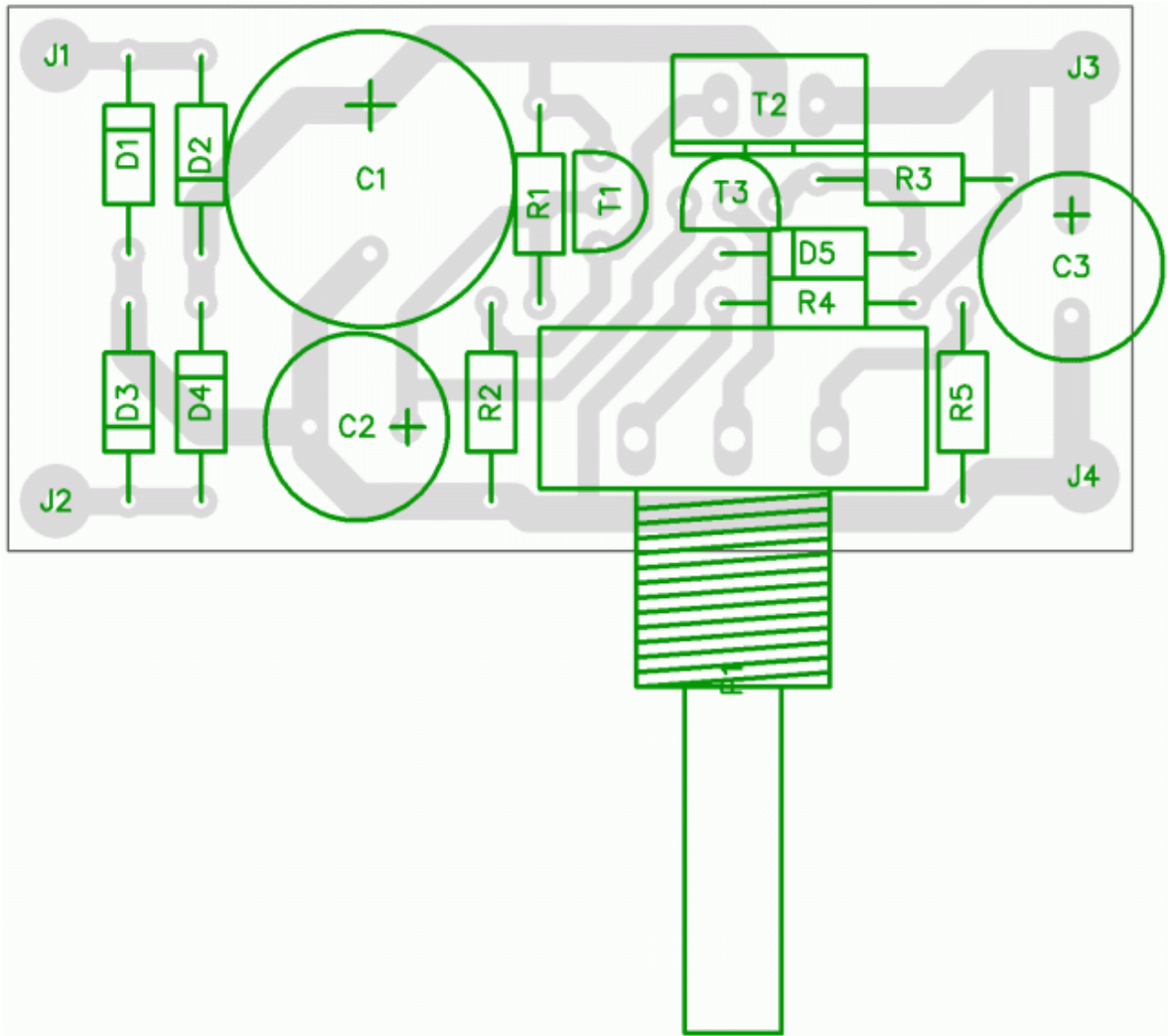
Obrázek 4. 1: Schéma plošného spoje.

4.2. Popis funkce

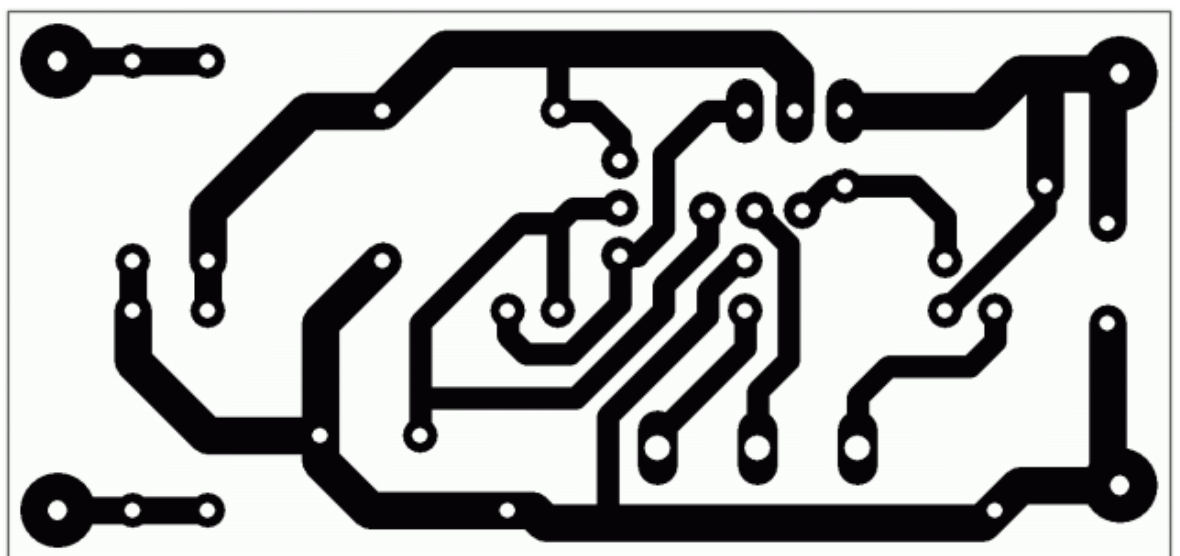
Výstup síťového transformátoru 230V/24V je připojen na piny J1 a J2. Střídavé napětí je následně usměrněno diodovým můstkem tvořeným z diod D1 až D4 typu 1N4007 a vyfiltrováno kondenzátorem C1 - 2200uF/35V. Takto vyfiltrované napětí je dále vedeno na výkonový tranzistor T2 opatřený chladičem. Tranzistor T2 je do báze řízen napětím tvořeným tranzistorem T1 a R2. I tento tranzistor je opět řízen ve své bázi a to tranzistorem T3 a potenciometrem P1. Takovéto zapojení podstatně zvyšuje stabilitu nastaveného napětí a navíc díky kondenzátoru C2 snižuje zvlnění na výstupu. Výstup z tranzistoru T2 je veden na výstupní svorky J3 a J4. V případě potřeby je možné použít na vstupu zdroje i libovolný jiný síťový transformátor. Maximální napětí je omezeno pouze použitými kondenzátory a mezním napětím použitých tranzistorů a diod. Na následujícím obrázku je motiv desky s plošnými spoji a rozmístění součástek.

4.2.1. Návrh plošného spoje

Plošný spoj byl navrhnut v programu EAGLE 7.5.0 a následně vyhotoven na cupraxitovou jednostrannou desku s měděnou vrstvou o tloušťce 35 μm . Poté se do plošného spoje vyvrtali příslušné otvory, aby mohl být osazen.

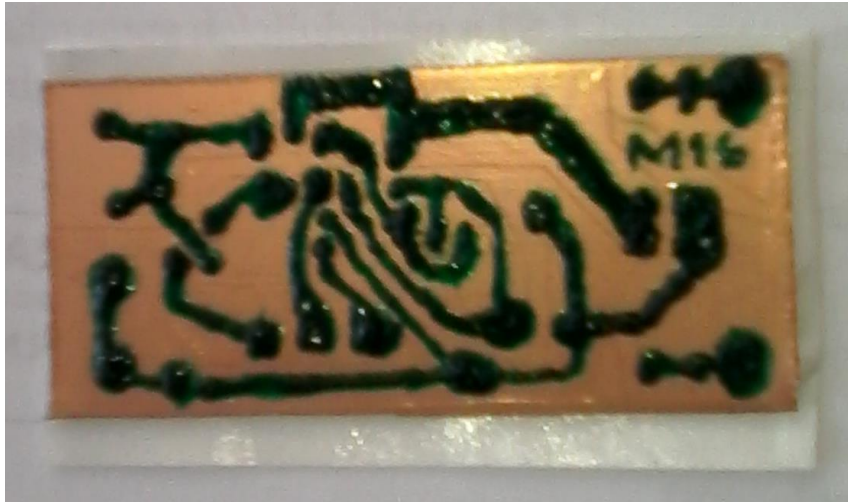


Obrázek 3. 2: Plošný spoj vrchní strana.



Obrázek 4. 3: Plošný spoj spodní strana.

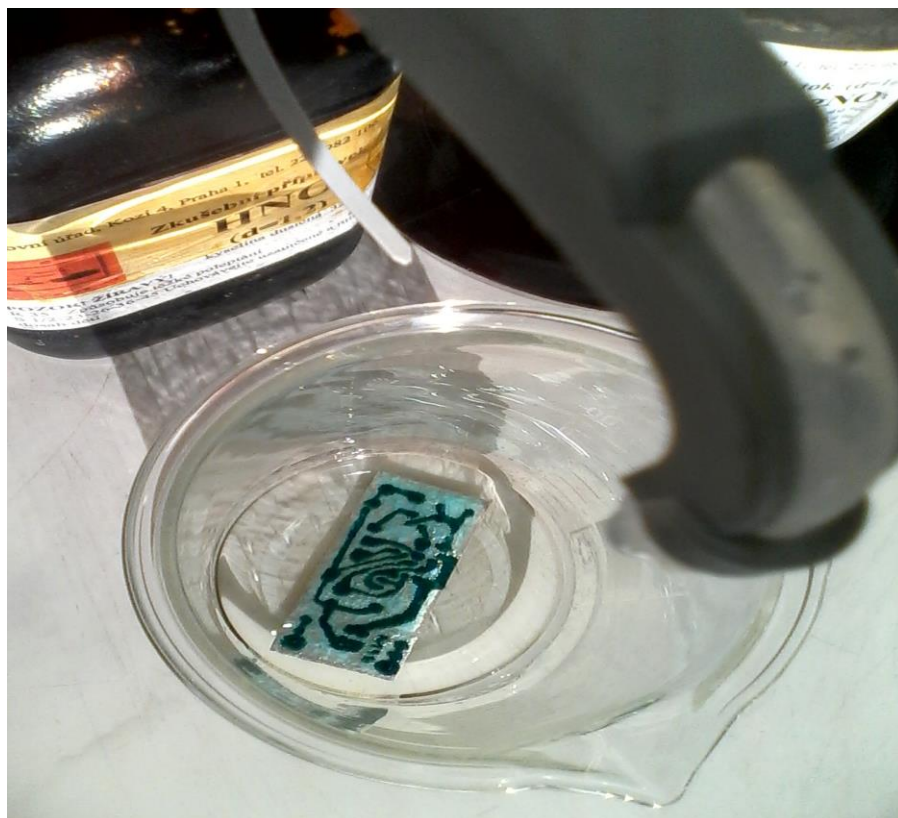
4.3. Fotodokumentace



Obrázek 4. 4: Plošný spoj před leptáním.



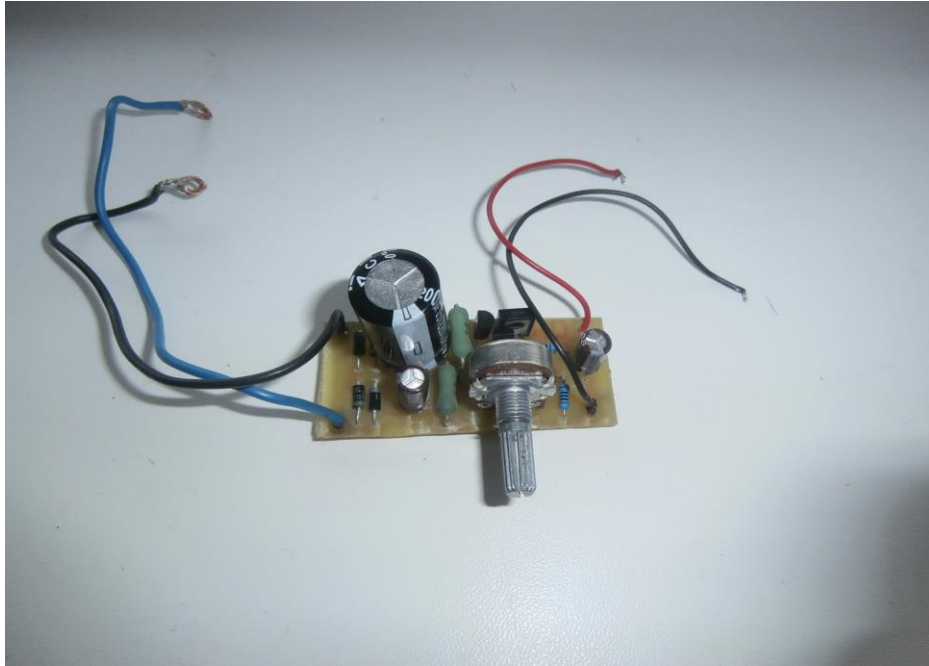
Obrázek 4. 5: Plošný spoj při leptání za použití kyselin.



Obrázek 4. 6: Plošný spoj při leptání za použití kyselin.



Obrázek 4. 7: Dokončování leptání plošného spoje.



Obrázek 4. 84: Dokončený a osazený plošný spoj.



Obrázek 4. 95: Kompletní výrobek s vlastnoručně vyrobeným pouzdem.

5. Závěr

V maturitní práci byla prostudována problematika spínaných napájecích zdrojů. Byly popsány výhody a nevýhody lineárních a spínaných zdrojů. V práci je vysvětlena funkce základních typů měničů pro spínané zdroje.

V práci je navrhována obvodová koncepce zdroje. Dále je popsán návrh zdroje s volbou konkrétních součástek. Celkové schéma navrhovaného zdroje je na obrázku 4. 1.

Po kompletním teoretickém návrhu následoval návrh desky plošných spojů v programu EAGLE. Předloha pro desku plošných spojů a osazovací výkres s popisem jednotlivých součástek jsou na obrázcích 4. 2 a 4. 3.

6. Seznam použité literatury a zdrojů informací

Literatura

- [1] KREJČÍŘÍK, A. Napájecí zdroje I. 2. vyd. Praha: BEN, 1997, 350 s.
ISBN 80-86056-02-3
- [2] NOBILIS, J. Teorie elektronických obvodů VIII. (Napájecí zdroje). Skriptum. Pardubice: Školní nakladatelství a vydavatelství SPŠE Pardubice, 2000, 110s.
- [3] FAKTOR, Z. Transformátory a tlumivky pro spínané napájecí zdroje. 1. vyd. Praha: BEN, 2002, 248 s. ISBN 80-86056-91-0
- [4] KREJČÍŘÍK, A. Spínané napájecí zdroje s obvody TOPSwitch. 1. vyd. Praha: BEN, 2002, 397 s. ISBN 80-7300-031-8

7. Seznam použitého softwaru

- Microsoft Office 2013
- Malování – v počítači
- EAGLE – 7.5.0 (Freeware)

8. Licenční ujednání

Ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., O právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským, ve znění pozdějších předpisů (dále jen autorský zákon) jsou práva k maturitním nebo ročníkovým pracím následující:

Zadavatel má výhradní práva k využití práce, a to včetně komerčních účelů.

Autor práce bez svolení zadavatele nesmí využít práci ke komerčním účelům.

Škola má právo využít práci k nekomerčním a výukovým účelům i bez svolení zadavatele a autora práce.

9. Seznam příloh

A. Datové CD obsahující:

- Text práce ve formátu MS Word 2013
- Text práce ve formátu MS Word 2007
- Text práce ve formátu PDF
- Program EAGLE 7.5.0