

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKACNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

VÝKONOVÁ ZÁBLESKOVÁ BATERIOVÁ JEDNOTKA PRO FOTOGRAFII

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

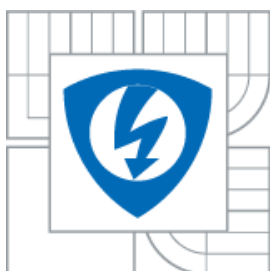
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ SLAVÍČEK

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

VÝKONOVÁ ZÁBLESKOVÁ BATERIOVÁ JEDNOTKA PRO FOTOGRAFII

POWER FLASH BATTERY UNIT FOR A PHOTO

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ SLAVÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ PAVELKA

BRNO 2014



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Tomáš Slaviček

ID: 134404

Ročník: 3

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Výkonová záblesková bateriová jednotka pro fotografii

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte výkonovou bateriovou zábleskovou jednotku (blesk) pro fotografické účely. Jednotka bude napájena z akumulátoru, bude tedy obsahovat i nabíjecí obvod. Jednotku navrhněte pro maximální zábleskový výkon cca 400Ws s možností snížení na

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- 1] Krejčířík, A. : Napájecí zdroje 1. díl, BEN, 2002. ISBN 80-86056-02-3
- [2] Krejčířík, A. : Napájecí zdroje 2. díl, BEN, 2002. ISBN 80-86056-03-1
- [3] Mann, B. : C pro mikrokontroléry, BEN, 2003. ISBN 80-7300-077-6

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 29.8.2014

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Pavelka

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Jirí Mišurec, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona c. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku c.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

V bakalářské práci se zabývám návrhem zábleskové jednotky pro focení s maximálním výkonem 400Ws. Návrh zábleskové jednotky obsahuje regulaci od maximálního výkonu po výkon 12,5Ws. Záblesková jednotka je napájena z akumulátoru. Bakalářská práce obsahuje nabíjecí obvod. Jako výbojku používáme výbojku IFK - 120 s maximálním zábleskovým výkonem 120Ws. Maximálního výkonu dosáhneme paralelním spojením čtyř těchto výbojek. Záblesková jednotka je napájena z akumulátoru. Záblesková jednotka obsahuje DC-DC měnič s regulovatelným výstupním napětím o výkonu 100W.

KLÍČOVÁ SLOVA

Záblesková jednotka, výbojka IFK – 120, DC-DC měnič

ABSTRACT

In the thesis deals with the design of the flash unit to take photos with a maximum output of 400Ws. Proposal flash drive contains a regulation of the maximum power output 12,5Ws. The flash unit is supplied from the battery. Bachelor thesis contains a charging circuit. As lamp use lamp IFK - 120 with a maximum output of 120Ws flash. Maximum performance is achieved by parallel connection of four of these lamps. The flash unit is supplied from the battery. The flash unit includes a DC-DC converter with adjustable output voltage of 100W.

KEYWORDS

The flash unit, lamp IFK – 120, DC-DC converter

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Výkonová záblesková bateriová jednotka pro fotografii“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení S 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Ondřeji Pavelkovi, za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci a především volnou ruku při návrhu zábleskové jednotky pro fotografii.

Brno

.....
(podpis autora)

Obsah

1. ÚVOD	10
2. TEORETICKÝ ÚVOD	11
2.1. Charakteristika zábleskového světla.....	11
2.2. Záblesková jednotka	11
2.3. Doba nabíjení akumulační kapacity a výdrž baterií	12
2.4. Měnič napětí	13
2.4.1. Jednočinný blokující měnič.....	13
2.4.2. Jednočinný propustný měnič	14
2.4.3. Dvočinný měnič	15
2.4.4. Dvočinný měnič v zapojení push–pull	15
2.4.5. Dvočinný měnič v zapojení plný most.....	15
2.4.6. Dvočinný měnič v zapojení půlmůstek	16
2.5. Regulace výkonu zábleskové jednotky.....	16
2.6. Synchronizace zábleskové jednotky	17
2.7. Napájení zábleskové jednotky	17
3. VYPRACOVÁNÍ	18
3.1. Blokové schéma zapojení zábleskové jednotky	18
3.2. Princip činnosti zábleskové jednotky	18
3.2.1. Popis funkce obvodu zábleskové jednotky	19
3.3. Akumulátor	19
3.3.1. Důležité parametry akumulátoru	20
3.3.2. Výběr akumulátoru.....	20
3.3.3. Výpočet doby provozu akumulátoru	20
3.4. Nabíjecí obvod.....	21
3.4.1. Schéma zapojení nabíjecího obvodu	23
3.5. Záblesková výbojka IFK - 120	23
3.6. Zapalovací transformátor	23
3.7. Měnič napětí	24
3.7.1. Výběr topologie měniče	24
3.7.2. Návrh transformátoru	25
3.7.3. Výpočet vinutí transformátoru	26
3.7.4. Výpočet parametrů vodičů jednotlivých vinutí	27

3.7.5.	Návrh tlumivky	28
3.7.6.	Výběr spínacích prvků	29
3.7.7.	Integrovaný obvod TL494.....	30
3.7.8.	Výpočet součástek pro IO TL 494	31
3.7.9.	Schéma zapojení měniče napětí	32
3.7.10.	Sestavení a měření měniče napětí.....	33
3.8.	Regulace výkonu	35
3.8.1.	Výpočet akumulačních kapacit pro regulaci výkonu	36
3.8.2.	Výběr součástek pro zábleskovou jednotku	38
4.	Realizace zábleskové jednotky pro jednu výbojku IFK -120	42
4.1.	Sestavení a oživení zábleskové jednotky s jednou výbojkou IFK – 120.....	43
5.	PŘÍLOHY	45
5.1.	Rozpis součástek.....	45
5.2.	Desky plošných spojů.....	47
5.3.	Obsah DVD	48
6.	Fotodokumentace	50
7.	ZÁVĚR	51
8.	LITERATURA	53

Seznam obrázků

<i>obr. 1: Schéma zapojení jednočinného blokujícího měniče</i>	14
<i>obr. 2: Schéma zapojení jednočinného propustného měniče</i>	14
<i>obr. 3: Schéma zapojení dvojčinného měniče typu push–pull</i>	15
<i>obr. 4: Schéma zapojení dvojčinného měniče typu plný můstek</i>	15
<i>obr. 5: Schéma zapojení dvojčinného měniče typu půlmůstek</i>	16
<i>obr. 6: Blokové schéma zábleskové jednotky</i>	18
<i>obr. 7: Principiální schéma zapojení obvodu výbojky</i>	19
<i>obr. 8: Graf vybíjení akumulátoru[6]</i>	21
<i>obr. 9: Schéma nabíjecího obvodu</i>	23
<i>obr. 10: Rozměry jádra ETD34 a ilustrační fotografie ETD34[5]</i>	25
<i>obr. 11: Integrovaný obvod TL494[14]</i>	30
<i>obr. 12: Vnitřní zapojení integrovaného obvodu TL 494[14]</i>	31
<i>obr. 13: Schéma zapojení měniče napětí</i>	32
<i>obr. 14: Sestavený DC-DC měnič napětí</i>	33
<i>obr. 15: Měření DC-DC měniče napětí</i>	34
<i>obr. 16: Měření střidy pomocí programu Saleae Logic</i>	34
<i>obr. 17: Blokové schéma regulace výkonu</i>	37
<i>obr. 18: Rozmístění vývodů 4N35 [8]</i>	39
<i>obr. 19: Schéma zapojení zábleskové jednotky bez DC-DC měniče</i>	41
<i>obr. 20: Schéma zapojení obvodu výbojky</i>	42
<i>obr. 21: Rozložení napětí v obvodu výbojky</i>	43
<i>obr. 22: Zapojení zábleskové jednotky bez osazené výbojky</i>	44
<i>obr. 23: Deska plošného spoje nabíjecího obvodu</i>	47
<i>obr. 24: Deska plošného spoje DC-DC měniče</i>	47
<i>obr. 25: Deska plošného spoje obvodu jedné výbojky</i>	48
<i>obr. 26: Schéma zapojení DC-DC měniče v plném rozlišení</i>	49
<i>obr. 27: Ilustrační fotografie ze stavby zábleskové jednotky</i>	50
<i>obr. 28: Záblesková jednotka s výbojkou IFK-120</i>	50

Seznam tabulek

<i>Tab. 1: Technické údaje akumulátoru</i>	20
<i>Tab. 2: Technické parametry výbojky IFK - 120</i>	23
<i>Tab. 3: Parametry měniče</i>	24
<i>Tab. 4: Parametry jádra ETD34 3C90[5]</i>	26
<i>Tab. 5: Parametry jádra ETD 2910[16]</i>	28
<i>Tab. 6: Tabulka regulace výkonu zábleskové jednotky</i>	38
<i>Tab. 7: Rozpis součástek pro nabíjecí obvod</i>	45
<i>Tab. 8: Rozpis součástek pro jeden obvod výbojky</i>	45
<i>Tab. 9: Rozpis součástek pro DC – DC měnič napětí</i>	46

1. ÚVOD

V bakalářské práci na téma záblesková jednotka pro fotografii se zabýváme teoretickým a praktickým návrhem zábleskové jednotky s plynulou regulací. Regulace je plynule nastavitelná v krocích $\frac{1}{32}, \frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}, 1$.

Záblesková jednotka obsahuje, jak již bylo předesláno, regulaci výkonu. Výkon regulujeme pomocí zdroje řízeného napětím tj. změnou napětí, a kvůli značnému počtu regulačních kroků jsme nuceni obvod regulovat i pomocí změny kapacity.

Záblesková jednotka pracuje na principu nabíjení hlavní kapacity, která je vybíjena do výbojky. Návrh zábleskové jednotky obsahuje akumulátor, který pomocí DC-DC měniče celý obvod napájí. V práci jsme použili olověný akumulátor. Zapojení obsahuje i nabíjecí obvod, kterým akumulátor dobíjíme.

Olověný akumulátor je v obvodu jako zdroj napětí. Napětí z akumulátoru o hodnotě $U = 12V$, je pomocí DC-DC měniče převedeno na napětí o maximální hodnotě $400V$, které je pomocí děliče napětí regulováno na hodnotu $282V$ resp. $200V$. Hodnoty těchto napětí jsou co nejvhodněji zvoleny v závislosti na regulaci výkonu.

Měnič pracuje na frekvenci $25kHz$ s účinností 80% o výkonu $100W$. Důležitým vztahem pro výpočet celkového výkonu v závislosti na přivedeném napětí a velikosti akumulační kapacity je vztah pro výpočet energie nabitého kondenzátoru (2.1).

V první části se zabýváme teoretickým úvodem do problému. V této sekci jsou popsány základní parametry zábleskové jednotky a nejvhodnější nastavení jejich parametrů. V teoretickém úvodu se zabýváme i samotným měničem napětí, který je nedílnou součástí zábleskové jednotky.

V sekci vypracování se věnujeme celkovému návrhu zábleskové jednotky. Je zde popsána regulace výkonu, výběr akumulátoru, návrh a výpočet nabíjecího obvodu s integrovaným obvodem LM 317 a návrh DC-DC měniče napětí. Ve vypracování najdeme celková schéma nabíjecího obvodu, regulace výkonu a DC-DC měniče napětí. Elektronická schéma jsou kreslena v programu EAGLE.

V závěru jsou zhodnoceny veškeré poznatky z návrhu zábleskové jednotky.

Jako přílohy jsou k bakalářské práci návrhy desek plošných spojů a rozpisky součástek pro jednotlivé obvody a DVD s veškerou dokumentací.

ŘEŠENÍ STUDENTSKÉ PRÁCE

2. TEORETICKÝ ÚVOD

2.1. Charakteristika zábleskového světla

Zábleskové světlo je uměle vytvořené světlo, které svými světelnými vlastnostmi připomíná silný reflektor, ovšem osvětluje prostor jen na krátkou dobu (řádově mikrosekundy až milisekundy). Hlavním úkolem zábleskového světla je rovnoměrně ozářit bod zájmu, který chceme fotografovat (nasvícení scény).

Důležitou vlastností zábleskového světla je barva záblesku, která má na rozdíl od reflektorů a žárovek barvu denního světla (cca 5500K), což je pro kvalitu fotografie zcela nepostradatelná vlastnost z důvodu kvality pořízené fotografie, kterou by světlo s jinou barvou mohlo zkreslovat. Do zábleskových světél se jako zdroje světelných záblesků osazují nejčastěji xenonové výbojky.

2.2. Záblesková jednotka

Z technického hlediska je záblesková jednotka tvořena výbojkou a elektronickými obvody nutnými pro její zapálení. Pro zapálení výbojky je třeba vysokého napětí (řádově kV). Z důvodu praktičnosti jsou zábleskové jednotky napájeny nejčastěji z akumulátorů o napětí 6 až 12V. Toto napětí je převáděno měničem napětí na hodnoty potřebné ke správné funkci zábleskové jednotky. Výstupní napětí z měniče je ukládáno do „kondenzátorových baterií“. V okamžiku, kdy je „kondenzátorová baterie“ zcela nabitá je blesk připraven k použití. Doba nabíjení kapacity je přímo úměrná nabíjecímu proudu (výstupní proud měniče), velikosti akumulární kapacity a nabíjecímu napětí (výstupní napětí měniče). Při nabíjení kapacity záblesková jednotka vydává typický písklavý zvuk.

Pro správný chod zábleskové jednotky je před vybitím „kondenzátorové baterie“ do výbojky nejprve ionizovat plyn, který se v ní nachází. K tomu je potřeba zapalovací transformátor (cívka), na jejíž vstup přivedeme napětí řádově stovek Voltů a na jejím výstupu bude napětí v řádech kilovoltů. Výstupní napětí ze zapalovacího transformátoru ionizuje plyn ve výbojce, a ten se stává vodivým. Poté je vybita do výbojky samotná „kondenzátorová baterie“ a tím dojde k silnému, ale krátkodobému záblesku odpovídajícímu energii nahromaděné v „kondenzátorové baterii“.

Základním vztahem pro výpočet energie zábleskové jednotky je vztah:

$$E = \frac{1}{2} C U^2 \quad [\text{J}] \quad (2.1)$$

kde: E = energie záblesku [J]

C = kapacity kondenzátorové baterie [F]

U = nabíjecí napětí kondenzátorové baterie [V]

2.3. Doba nabíjení akumulční kapacity a výdrž baterií

Nabíjení kondenzátorové baterie na energii nutnou pro zapálení a následný záblesk trvá časový okamžik, který je závislý na nabíjecím proudu tekoucím do kondenzátorové baterie. Tento časový okamžik je popsán rovnicí:

$$Q = It \quad [\text{Ah}] \quad (2.2)$$

kde Q = náboj akumulovaný na kapacitě [Ah]

I = nabíjecí proud [A]

t = časový okamžik nabití kondenzátoru [h]

Jako každá pasivní součástka i kondenzátor není ideální tzn. není bezeztrátový. Část energie naakumulované na jeho elektrodách se v průběhu času ztratí, proto je třeba kondenzátor vždy v určitých časových intervalech dobíjet na plnou hodnotu. Hodnota náboje, na kterou je kondenzátor nabíjen je závislá na hodnotě nastaveného výkonu tzn. čím menší výkon tím menší náboj na kapacitě a tím rychleji může být kapacita znovu nabita a následně vybita. Nejdelší doba nabíjení je tedy pro nejvyšší výkon, u moderních zábleskových jednotek se tato doba pohybuje okolo dvou vteřin.

Záblesková jednotka je nejčastěji napájena z akumulátorů připojených na měnič napětí. Z uvedeného vyplývá, že menší záblesky nejen zkracují dobu nabíjení kondenzátoru, ale také šetří akumulátor, který na menší záblesky můžeme použít s mnohokrát větší výdrží. Pokud není baterie plně nabitá má za následek zpomalení doby nabíjení kondenzátorových baterií. Tím prodlužuje dobu mezi záblesky. V praxi jsou zábleskové jednotky schopny poskytnout 100 až 300 záblesků na plný výkon. Toto je údaj, který je silně závislý na použitém akumulátoru a hodnotě maximálního výkonu.

2.4. Měníč napětí

Nejdůležitějším prvkem zábleskové jednotky je měnič napětí. Měníčů napětí je celá řada. Nejčastěji se používají tyto typy měničů napětí:

- Jednočinné měniče
 - Propustné měniče (Forward)
 - Blokující měniče (Flyback)
- Dvojčinné měniče
 - Push – Pull
 - Polomůstek (Half –Bridge)
 - Plný most (Full–Bridge)

Blokující měniče napětí se používají pro menší výkony. Hranice maximálního výkonu je u blokujících měničů okolo 100W, protože se zvyšujícím výkonem dochází ke snižování účinnosti. Pro výkony pro střední výkony se používají propustné měniče. Měníče napětí typu Push–Pull se používají především jako výkonové střídače, kde je vstupním zdrojem akumulátor. Pro přenos vysokých výkonů se používá měnič napětí typu Half–Bridge (100 až 500W) nebo Full–Bridge (nad 300W).

2.4.1. Jednočinný blokující měnič

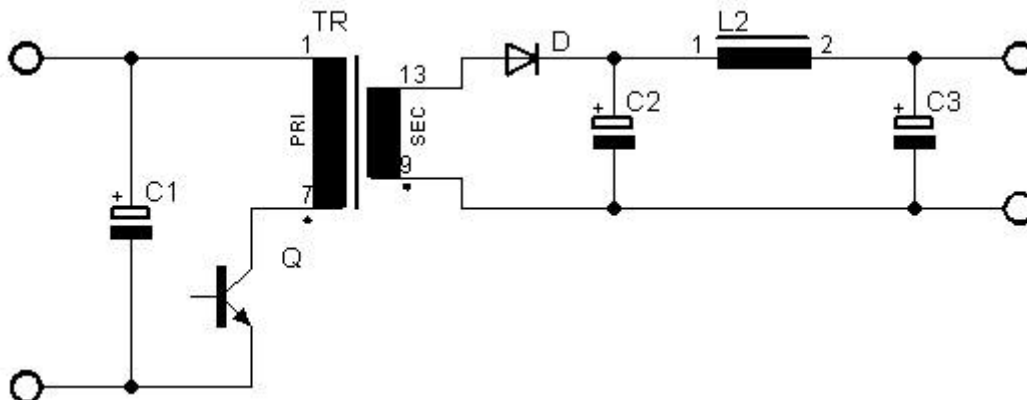
Jedná se o jednoduchý typ měniče napětí (impulzního zdroje). V topologii flyback se pro přenos výkonu používá nejčastěji transformátor se vzduchovou mezerou a jako spínací prvek j výkonový tranzistor. Jako řídicí obvod se používají obvody UC3842, UC3843, UC3844, UC3845.

Při sepnutí tranzistoru Q (čas t_{on}) protéká elektrický proud přes primární vinutí transformátoru. Sekundární vinutí je zapojeno opačně než-li vinutí primární tzn. toto napětí má opačnou polaritu. To má za následek, že dioda D je uzavřena, a veškerý proud odebíraný zátěží je dodáván z akumulčních prvků, které byly nabity předchozí časový interval (t_{off}).

Při rozepnutí tranzistoru Q (čas t_{off}) má elektrický proud protékající cívkou snahu téci stejným směrem. Polarita výstupního napětí se změní, dioda D je v propustném směru a sekundárním obvodem protéká proud.

Jednočinný blokující měnič se používá pro menší výkony, protože pro přenos vysokých výkonů by transformátor dosahoval nepřiměřeně velkých rozměrů. Používá se do výkonu 100W, poté ztrácí svoje výhody.

Tato topologie se vyskytuje především u nabíječek.



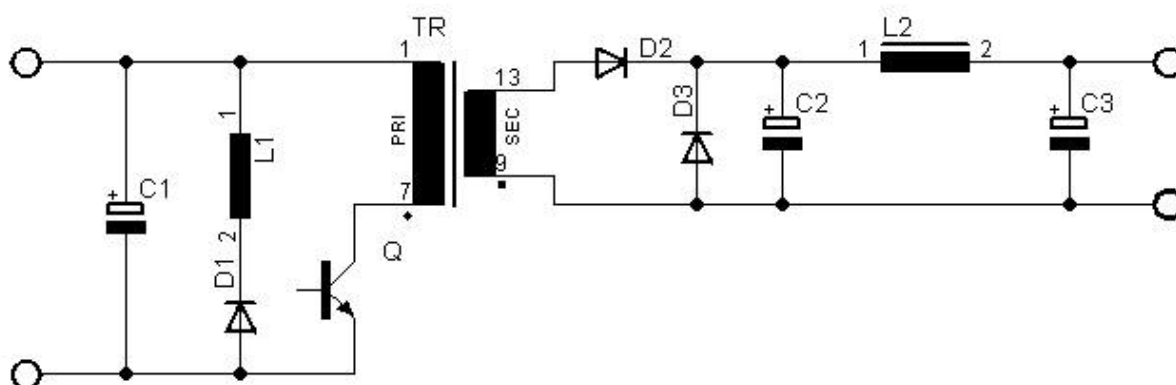
obr. 1: Schéma zapojení jednočinného blokujícího měniče

2.4.2. Jednočinný propustný měnič

Propustný měnič funguje na principu přenosu energie z primární do sekundární části obvodu. V zapojení propustného měniče se používá transformátor se dvěma primárními vinutími a jedním sekundárním.

Při sepnutí tranzistoru Q (čas t_{on}) je dioda D_2 polarizována propustným směrem. Druhé vinutí L_1 je v časovém intervalu t_{on} blokováno diodou D_2 . Druhé vinutí se nazývá rekuperační vinutí a dioda D_1 nese název rekuperační dioda. Rekuperační prvky znemožňují stejnosměrné sycení jádra.

Při rozepnutí tranzistoru Q (čas t_{off}) je dioda D_1 zapojena v propustném směru tzn. vede proud. Proud protékající cívkou (tlumivkou) se nemění skokově. Dioda D_3 je v časovém okamžiku t_{off} zapojena v závěrném směru. Přes diodu D_3 protéká proud, který se naakumuloval v časovém intervalu t_{on} .



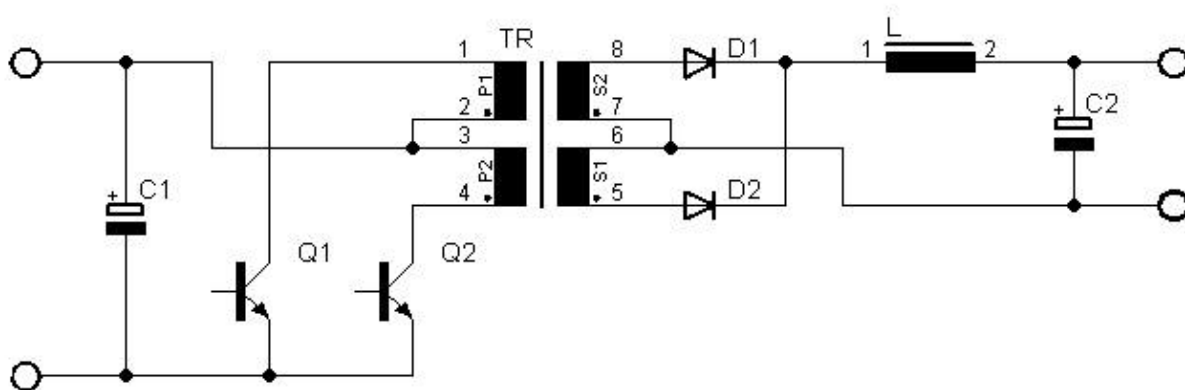
obr. 2: Schéma zapojení jednočinného propustného měniče

2.4.3. Dvojčinný měnič

Topologie dvojčinného měniče dosahuje vyšší účinnosti a je určena pro vyšší výkony než-li topologie jednočinného měniče. Jako řídicí obvod se u dvojčinných měničů využívají integrované obvody TL 494 nebo analogie tohoto obvodu SG3525.

2.4.4. Dvojčinný měnič v zapojení push–pull

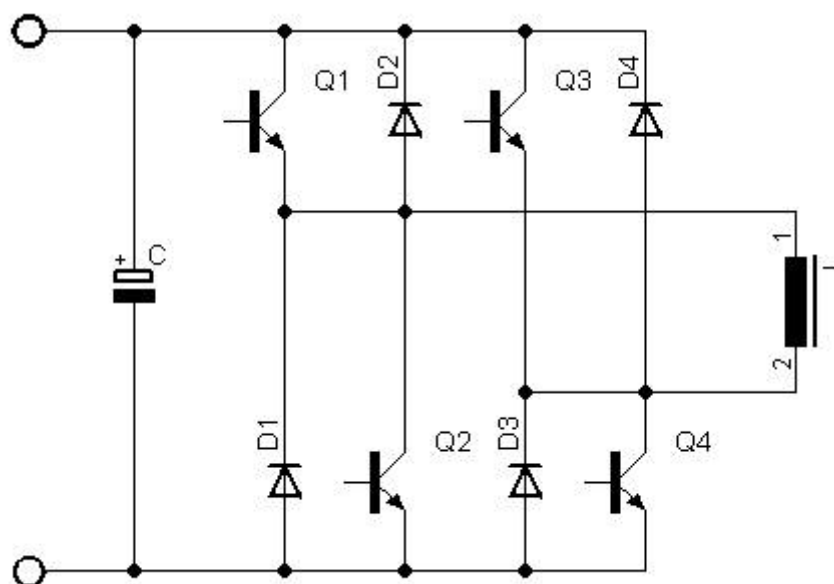
Dvojčinné zapojení měniče typu push – pull využívá dvou spínacích tranzistorů, které pracují opačně. Můžeme říci, že se jedná o dva propustné měniče, které se střídají ve vedení výkonu do zátěže. V této topologii se vyhneme stejnosměrnému sycení jádra, což je výhodou, protože není třeba vytvářet rekuperační vinutí.



obr. 3: Schéma zapojení dvojčinného měniče typu push–pull

2.4.5. Dvojčinný měnič v zapojení plný most

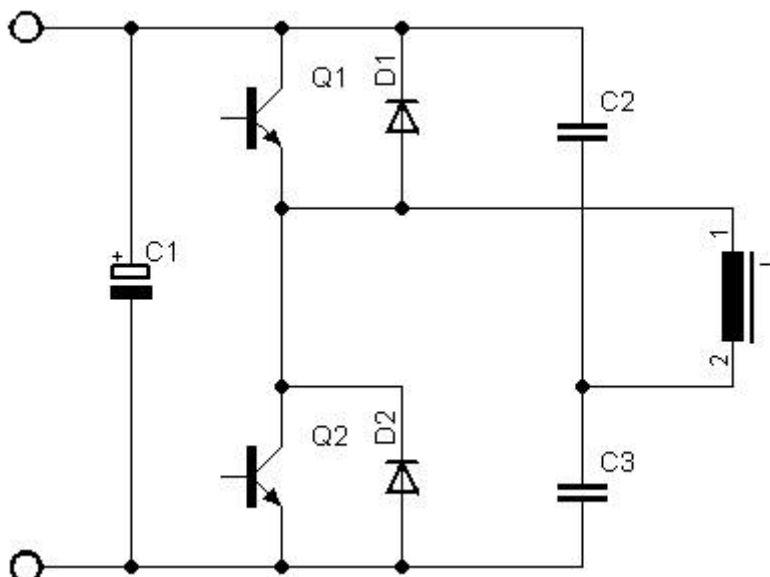
Na obr. 4 je zapojení topologie plný můstek. Tato topologie obsahuje čtyři výkonové tranzistory (Q1,Q2,Q3,Q4), které jsou spínány ve dvojicích a střídavě připojují primární vinutí ke vstupnímu napájení (v našem případě napájení z akumulátoru).



obr. 4: Schéma zapojení dvojčinného měniče typu plný můstek

2.4.6. Dvojčinný měnič v zapojení půlmůstek

Princip činnosti měniče napětí v zapojení polomostu je podobný jako u měniče v zapojení plného mostu. Zapojení polomostu obsahuje pouze dvojici výkonových tranzistorů (Q1, Q2), které jsou spínány v opačné fázi a střídavě připojují primární vinutí ke vstupnímu napětí.[4]



obr. 5: Schéma zapojení dvojčinného měniče typu půlmůstek

2.5. Regulace výkonu zábleskové jednotky

Regulací výkonu zábleskové jednotky je schopnost, kdy můžeme výkon zábleskové jednotky v závislosti na světelných podmínkách snižovat nebo zvyšovat. Regulace je v praxi velmi důležitá a správné nastavení vyzářeného výkonu má velký vliv na samotnou kvalitu fotografie. Regulace výkonu je nejčastěji plynulá a využívá se pro správné nasvícení scény. Regulace výkonu zábleskové jednotky se nejčastěji provádí v krocích od maximálního vyzářeného výkonu až po 1/64 výkonu (někdy také po 1/128 výkonu).

Nejčastěji využívaným způsobem regulace (u moderních zábleskových jednotek) je tyristorová regulace. Tyristorová regulace umožňuje zastavení nabíjení kondenzátoru ve zvoleném okamžiku na hodnotě požadovaného výkonu zábleskové jednotky. Na zábleskové jednotce si můžeme navolit požadovaný výkon v regulačních krocích např. $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ atd.

Dalším způsobem regulace, kterým je možné regulovat množství vyzářeného světla je pomocí změny napětí. Při regulaci změnou napětí se reguluje výstupní napětí z měniče (napětí nabíjené do kondenzátoru). Výkon zábleskové jednotky roste s druhou mocninou napětí přivedeného na kondenzátor.

Jako další způsob regulace výkonu zábleskové jednotky můžeme využít regulaci pomocí změny kapacity. Tato regulace se však u moderních zábleskových jednotek téměř nevyužívá. Regulace je prováděna zvýšením či snížením kapacity kondenzátorové baterie to je v praxi realizováno pomocí paralelního spojení kondenzátorů, kde se dané hodnoty kapacit sčítají. Použitím hodnot kondenzátorů, které jsou pro daný výkon spočteny ze vztahu (2.1) a při

konstantním napětí je možno regulovat výstupní výkon. Výkon je při konstantním napětí přímo úměrný hodnotě použité kapacity.

2.6. Synchronizace zábleskové jednotky

Synchronizace zábleskové jednotky je nejčastěji prováděna pomocí synchronizačního kabelu. Jako synchronizační kabel je možno použít 3,5 mm jack konektor. Synchronizační obvod je nutné galvanicky oddělit od hlavního obvodu zábleskové jednotky. Toto opatření je zde proto, aby nedošlo ke zničení fotoaparátu vysokým napětím, které je v hlavním obvodu, ale především kvůli bezpečnosti. Jako galvanické oddělení se používá optočlen, na jehož vstup přivádíme spouštěcí impuls z fotoaparátu.

Synchronizace jako taková nám nejčastěji slouží k odpálení zábleskové jednotky ve vhodném časovém sledu s fotoaparátem (při otevření závěrky), a proto je nepostradatelnou součástí každé zábleskové jednotky.

2.7. Napájení zábleskové jednotky

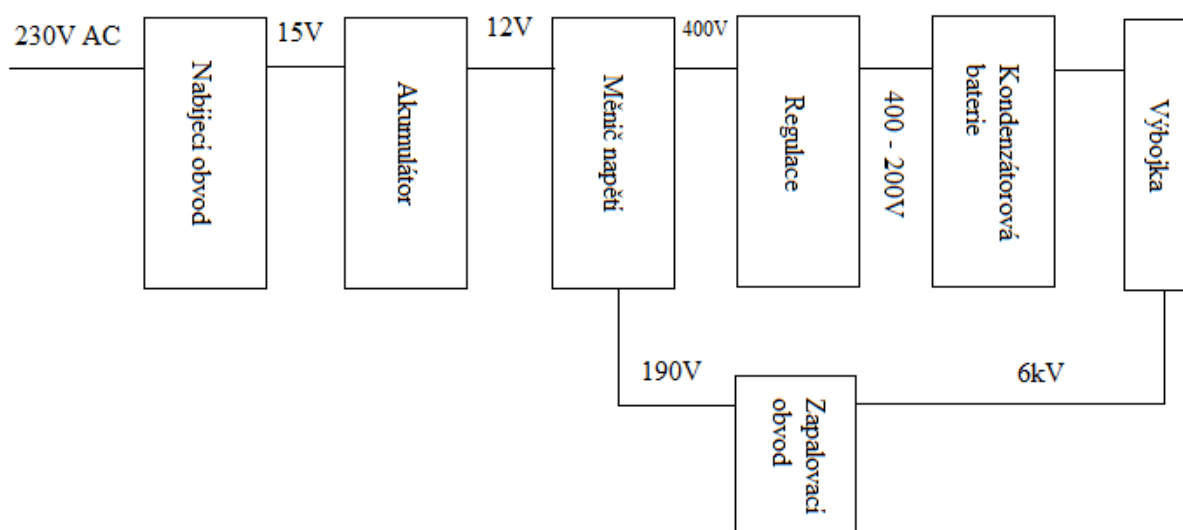
Záblesková jednotka je nejčastěji napájena z akumulátorů. U zábleskové jednotky napájené z akumulátoru/ akumulátorů je důležitým elektronickým prvkem měnič napětí, který převede akumulátorové napětí (6 až 12V) na napětí potřebné ke správnému chodu zábleskové jednotky (většinou 250 až 365V).

Další, ovšem méně používanou možností napájení zábleskové jednotky, je napájení ze síťového napětí (230V AC). Síťové napětí je usměrněno na hodnotu 325V DC, a tímto napětím je napájena záblesková jednotka. Největší nevýhodou napájení zábleskové jednotky ze síťového napětí je imobilita zábleskové jednotky tzn. použití zábleskové jednotky je pevně závislé na připojeném napětí, tudíž je nemůžeme používat v jeho nepřítomnosti.

3. VYPRACOVÁNÍ

3.1. Blokové schéma zapojení zábleskové jednotky

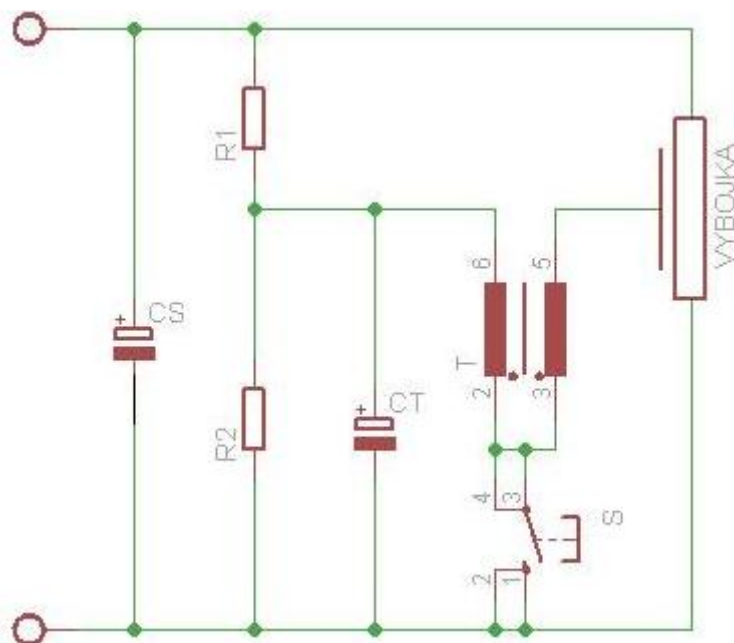
Na obr. 6 je nakresleno blokové schéma námi navržené zábleskové jednotky. Záblesková jednotka se skládá z nabíjecího obvodu, akumulátor, DC-DC měniče napětí s regulací výkonu, kondenzátorové baterie (akumulační kapacity), výbojky a zapalovacího obvodu (zapalovací transformátor). Blokové schéma obsahuje i rozvržení napětíových hodnot v elektronickém obvodu.



obr. 6: Blokové schéma zábleskové jednotky

3.2. Princip činnosti zábleskové jednotky

Na obr. 7 můžeme vidět elektronické schéma zábleskové jednotky. Zapojení obsahuje kondenzátor C_S , jenž slouží jako akumulační kapacita k naakumulování energie, která je vybita do výbojky. Dělič napětí R_1 R_2 slouží ke snížení napětí na hodnotu potřebnou pro zapálení zapalovací cívky (transformátoru) T . Napětí z děliče je akumulováno do kondenzátoru C_T . Prvek S je spínač, který spouští celý obvod.



obr. 7: Principiální schéma zapojení obvodu výbojky

3.2.1. Popis funkce obvodu zábleskové jednotky

Na obr. 7 je vyobrazeno základní zapojení zábleskové jednotky, na kterém si vysvětlíme elektronický princip činnosti zábleskové jednotky.

Na vstup obvodu je přivedeno napětí z DC-DC měniče napětí. Napětí z DC-DC měniče napětí je v rozmezí 200 až 400V. Tímto napětím je nabíjen kondenzátor C_S , který slouží jako hlavní akumulací prvek celého zábleskového systému, a je v něm uložena energie určující výkon záblesku. Proces nabíjení kondenzátoru C_S může trvat i několik sekund. Rychlost nabíjení kondenzátoru je přímo úměrná výkonu měniče resp. jeho výstupnímu proudu. Po nabití kondenzátoru C_S je přes dělič napětí R_1 a R_2 nabíjena kapacita pro zapalovací transformátor popř. cívku. Kapacita C_T je zpravidla v řádech setin milifaradů.

Po nabití obou kapacit (C_S a C_T) je systém připraven k odpálení. Odpálení je provedeno stiskem tlačítka S. Po stisknutí tlačítka je zařízení uvedeno do chodu. Kapacita C_T je vybita do zapalovacího transformátoru T, který vytvoří silný napěťový výboj (řádově kV), který ionizuje plyn ve výbojce. V tom okamžiku se výbojka stává vodivou a je do ní vybita kapacita C_S . Na výbojce nastává silný napěťový výboj, jehož výkon odpovídá energii naakumulované na kapacitě C_S . Výboj (záblesk) trvá několik milisekund. Poté je nutné opět nabít kapacity C_S a C_T a zařízení je připraveno k dalšímu odpálení.

3.3. Akumulátor

Olověný akumulátor je nejvíce používaným sekundárním zdrojem napětí. Olověný akumulátor je sekundární galvanický článek s elektrodami na bázi olova, jehož elektrolytem je kyselina sírová. Největší výhodou olověných akumulátorů je schopnost dodávat vysoké proudy (krátkodobě). Jeho největší využití je v automobilovém průmyslu, jako zdroj energie v automobilech, kde se uplatní schopnost dodávání vysokých proudů na krátký časový okamžik (startování).[17]

3.3.1. Důležité parametry akumulátoru

Parametry olověného akumulátoru rozumíme jeho elektrické vlastnosti resp. jeho napěťové hodnoty. Olověný akumulátor se nejčastěji skládá ze šesti článků (platí pro 12-ti voltové akumulátory). Jmenovité napětí jednoho článku olověného akumulátoru jsou 2V tzn. jmenovité napětí akumulátoru je 12V. Napětí nezatíženého nabitého šesti-článekového akumulátoru je v rozmezí mezi 12,6 – 12,8V. Oproti tomu napětí zatíženého akumulátoru je v rozmezí 11,8 – 12V. Akumulátor považujeme za vybitý, klesne-li napětí na hodnotu 1,8V pro jeden článek resp. na 10,8V pro šesti - článkový akumulátor. Napětí pro občasné nabíjení je v mezích od 14,4V do 14,8V.[17]

3.3.2. Výběr akumulátoru

Jak již bylo zmíněno pro naše účely budeme potřebovat akumulátor s výstupním napětím 12V. Záblesková jednotka je náročná na odebírání vysokého proudu z akumulátoru. Dalším důležitým aspektem je výdrž (kapacita) akumulátoru, která je přímo závislá na počtu záblesků ze zábleskové jednotky.

Z výše uvedených faktů jsem vybral olověný akumulátor, který není náchylný na odebírání vysokých proudů a má dostatečně velkou kapacitu, oproti NiMH akumulátorům. Další nespornou výhodou je jednoduchost nabíjení, odolnost vůči přebíjení a podbíjení. V neposlední řadě také to, že olověné akumulátory nemají paměťový efekt. Největší nevýhodou jsou poměrně velká váha a rozměry baterie, kde jsou NiMH a LiFePo4 vhodnější.

Vybral jsem akumulátor 12V/7,5Ah od firmy MOTOMA. Jedná se o olověný akumulátor.[6]

Technické údaje akumulátoru:

Parametr	Hodnota
Jmenovité napětí	12V
Kapacita	7,5Ah
Rozměry	151 × 65 × 94mm
Hmotnost	2300g
Vnitřní odpor	22mΩ
Záložní provoz	13,6 – 13,8V
Nabíjecí proud	≤ 2,25A

Tab. 1: Technické údaje akumulátoru

3.3.3. Výpočet doby provozu akumulátoru

Výpočet doby provozu (výdrže) baterie vychází ze vztahu pro náboj kondenzátoru[13]:

$$Q = C \cdot U = I \cdot t \Rightarrow t_c = \frac{Q}{I} = \frac{27000}{21,18} = 1275s \quad (3.1)$$

Kde: Q = náboj [As]

I = nabíjecí proud [A]

t = časový okamžik nabití kondenzátoru [s]

Počet záblesků na maximální výkon je roven:

$$t_{400} = \frac{C \cdot U}{I} = \frac{400 \cdot 0,005}{0,25} = 8s \quad (3.2)$$

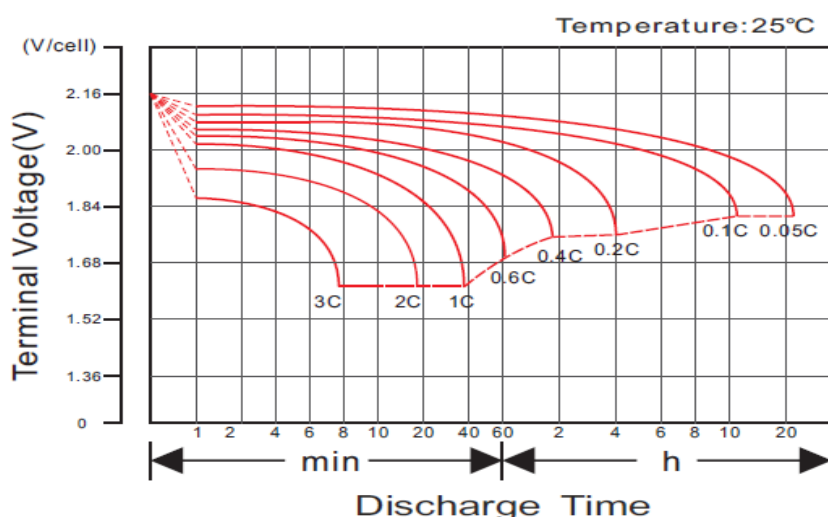
$$N = \frac{t_c}{t_{400}} = \frac{1275}{8} = 159 \text{ záblesků} \quad (3.3)$$

Počet záblesků na minimální výkon je roven:

$$t_{12,5} = \frac{C \cdot U}{I} = \frac{282 \cdot 0,0006}{0,25} = 0,68s \quad (3.4)$$

$$N = \frac{t_c}{t_{12,5}} = \frac{1275}{0,68} = 1875 \text{ záblesků} \quad (3.5)$$

Tyto údaje jsou pouze teoretické. Z katalogového listu autobaterie (viz [6]) je vidět, že pokud vybíjíme baterii proudem 3C, což odpovídá proudu, který odebíráme z baterie v našem případě, je baterie schopná vydržet okolo 8 minut (odečteno z grafu obr. 8) neustálého provozu. Tudíž nám počet záblesků značně klesne.



obr. 8: Graf vybíjení akumulátoru[6]

$$N = \frac{t_c}{t_{400}} = \frac{480}{8} = 60 \text{ záblesků na maximální výkon.} \quad (3.6)$$

3.4. Nabíjecí obvod

Jako nabíjecí obvod jsem zvolil obvod s integrovaným obvodem LM 317. Akumulátor nabíjíme $\frac{1}{10}$ proudu ($0,1C=750mA$), což je nejběžnější způsob nabíjení olověných akumulátorů.

Pro nabíjecí obvod jsem použil transformátor se vstupním napětím 230V a výstupním napětím 12V. Výstupní napětí je následně usměrněno usměrňovačem, zapojeným jako graetzův můstek z diod 1N4007 na hodnotu 17V ($U_s = 12 \cdot \sqrt{2} = 17V$). Pro správnou stabilizaci obvodem LM 317 musí být výstupní napětí menší než napětí, které do něj vstupuje.

Maximální proud nabíječky nastavujeme odporem R_4 . Tento odpor vypočítáme dle vztahu:

$$R_4 = \frac{U_B}{I_{MAX}} = \frac{0,65}{0,750} = 0,87\Omega \quad \text{volím } R_4 = 1\Omega \Rightarrow I_{MAX} = 0,65A = 650mA \quad (3.7)$$

U_B napětí potřebné k otevření tranzistoru

I_{MAX} maximální výstupní proud

Výstupní napětí nastavujeme výstupním děličem R_1 a R_2 . Z katalogového listu obvodu LM 317 vyplývá:

$$U_0 = U_{REF} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{ADJ} \cdot R_2 \quad (3.8)$$

U_0 výstupní napětí, volíme mezi 14 – 15V pro olověný akumulátor

U_{REF} referenční napětí ($U_{REF} = 1,25V$)

R_1 volíme 240Ω (doporučení výrobce)

I_{ADJ} $I_{ADJ} = 0,1mA$ (v katalogu označené jako adjustment pin current)

Z výše uvedeného vztahu vyplývá, že odpor $R_2 = 2500\Omega$, při zvoleném napětí $U_0 = 14,6V$. Rezistor o hodnotě 2500Ω nelze sehnat, a tak jsem sériově propojil rezistory $R_{21} = 2400\Omega$ a $R_{22} = 100\Omega$

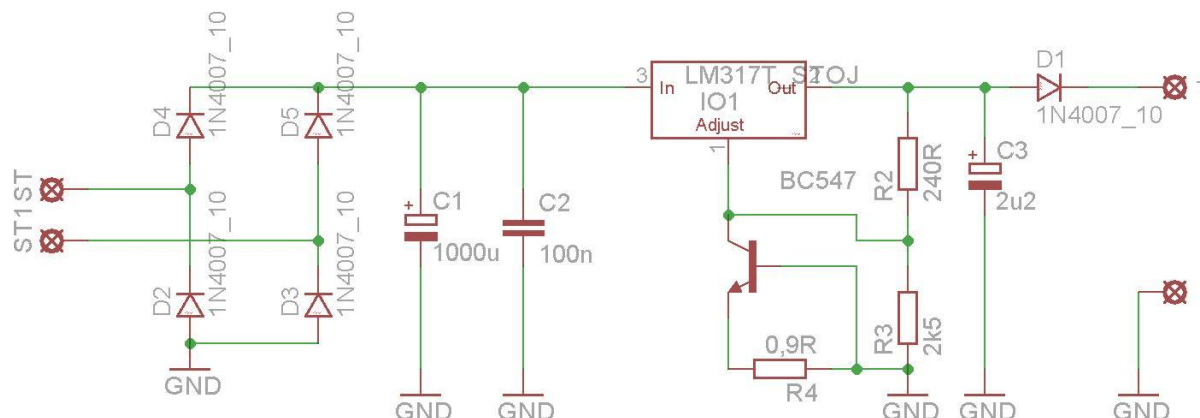
Obvod je pro větší výstupní proudy nutno osadit na chladič. Výkonové ztráty spočítáme dle vztahu:

$$P_z = (U_1 - U_0) \cdot I_{MAX} = (17 - 14,6) \cdot 0,750 = 1,80W \quad (3.9)$$

Pro takovou výkonovou ztrátu je nutno obvod umístit na chladič. Obvod LM 317 má maximální vstupní napětí $U_{1max} = 40V$ a maximální proud $I_{MAX} = 1,5A$.

Pro nabíjecí obvod jsem byl použit toroidní transformátor 230/2×12V 1A s rozměry 71×31,5mm. Tento transformátor má dvě sekundární vinutí, ovšem nám postačí pouze jedno sekundární vinutí tzn. druhé nebude zapojeno. Maximální proud transformátorem je 1A, což je pro naše účely zcela dostačující.

3.4.1. Schéma zapojení nabíjecího obvodu



obr. 9: Schéma nabíjecího obvodu

3.5. Záblesková výbojka IFK - 120

Je nedílnou součástí zábleskové jednotky. Výbojka je zařízení vydávající velký světelný tok (záblesk) ve velmi krátkém časovém úseku. Její využití je hlavně ve fotografickém průmyslu pro osvětlování fotografovaných předmětů a jiných fotografovaných objektů. Dá se využít také pro stroboskopické pozorování. Doba trvání hoření je v rozmezí $\frac{1}{300} - \frac{1}{5000}$ s.

Cena výbojky je závislá na jejím maximálním výkonu. Pro naše účely bude postačovat výbojka s maximálním zábleskovým výkonem 400Ws (Ws = J je jednotka výkonu vztažena k časovému intervalu jedné sekundy, je to vlastně výkon v čase). Kvalitní výbojku o výkonu 400Ws je obtížné sehnat za rozumnou cenu a distributoři nenabízí jejich katalogové hodnoty jako maximální napětí, minimální napětí apod.

Vzhledem k těmto aspektům jsem zvolil ruskou výbojku IFK-120. Tato výbojka má maximální výkon 120Ws, spojením čtyřech těchto výbojek dostáváme zábleskovou soustavu o hodnotě 480Ws. Nastává zde problém v odpálení, které musí být provedeno v krátkém časovém intervalu ovšem vzhledem k tomu, že závěrka blesku je otevřená cca. $\frac{1}{60}$ s a záblesk trvá cca. $\frac{1}{2000}$ s je zde dostatečný časový prostor.

Parametr	Hodnota
Minimální napětí	180V
Maximální napětí	450V
Jmenovité napětí	330V
Výkon	120Ws
Životnost	20 000 záblesků
Interval mezi záblesky	10s

Tab. 2: Technické parametry výbojky IFK - 120

3.6. Zapalovací transformátor

Pro zapálení výbojky je třeba zapalovací transformátor. Zapalovací transformátor je transformátor, na jehož primární stranu přivedeme napětí v řádech stovek voltů, a na výstupu

transformátoru dostaneme napětí v řádech několika kilovoltů potřebných pro zapálení výbojky. Tento vysoko-napěťový výboj ionizuje plyn ve výbojce. Ten se stává vodivým. Jako zapalovací transformátor pro realizaci naší zábleskové výbojky jsem vybral transformátor TC - 6 o těchto parametrech[7]:

$$\begin{aligned} U_1 &= 190\text{V} \\ U_2 &= 6\text{kV} \\ C_T &= 0,05\mu\text{F} \end{aligned}$$

kde: U_1 vstupní napětí transformátoru
 U_2 výstupní napětí transformátoru
 C_T kapacita sloužící pro uchování energie před spuštěním obvodu tzv. zapalovací kapacita.

Jako zapalovací kapacita C_T , byl vybrán elektrolytický kondenzátor $0,047\mu\text{F}/250\text{V}$

3.7. Měníč napětí

Měníče slouží k přeměně stejnosměrného napětí na jinou hodnotu, případně ke změně jeho polarity. Můžeme je použít v kombinaci s klasickým stabilizátorem k vytvoření napájecího zdroje. Rovněž je využíváme v zařízeních, která jsou napájena z baterií, u kterých je důležitá maximální účinnost. Z jednoho zdroje v nich často potřebujeme vytvořit různá napětí. Podrobněji byly měniče popsány v kapitole 2.4.

3.7.1. Výběr topologie měniče

Výběr topologie měniče vychází především z výstupního (přenášeného výkonu). Pro naše účely jsme vybrali měnič o výkonu 100W. Tato hodnota je hranicí pro jednočinné měniče, a tak jsme zvolili dvojčinné zapojení typu push–pull, které bude schopno tento výkon přenést bez větších problémů.

Jako řídicí obvod využíváme obvodu TL494 hojně využívaného v počítačových zdrojích. Jako transformátor jsme vybrali transformátor s feritovým jádrem, které dokáže pracovat na vyšších frekvencích. Pracovní frekvenci jsme zvolili 25kHz. Střída je zvolena na 0,35. Tato hodnota je typická pro daný typ DC-DC měniče.

Parametr	Hodnota
U_{INmin}	10,5V
U_{INmax}	15V
U_{OUT}	400V
P_{OUT}	100W
f	25kHz
η	80%
δ_{max}	0,35

Tab. 3: Parametry měniče

Hodnoty U_{INmin} a U_{INmax} jsou hodnoty napětí, které se mohou objevit na vstupu měniče (napětí akumulátoru). Je to dáno tím, že napětí akumulátoru v průběhu jeho vybíjení klesá. U_{OUT} je

výstupní napětí měniče dodávané do zátěže. P_{OUT} je maximální výkon měniče tímto parametrem je zároveň určen i maximální výstupní proud. Parametrem f rozumíme frekvenci pro přenos výkonu do zátěže. Účinnost 80%, tato účinnost je typická pro dvojčinné měniče. Parametr δ_{max} je maximální střída.

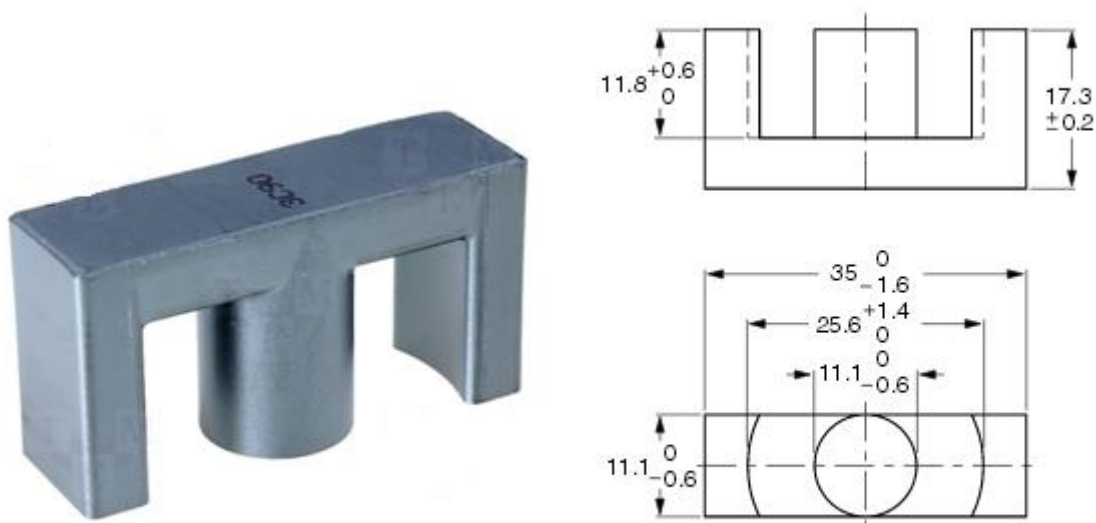
3.7.2. Návrh transformátoru

Hlavním krokem v návrhu transformátoru je volba jeho jádra. Při volbě jádra jsou rozhodujícími aspekty jeho tvar, velikost a materiál. Jako nejvhodnější tvar jádra jsme zvolili tvar ETD. ETD vychází z EE jader, ale střední sloupek je zde kulatý, což zlehčuje navíjení vinutí. To je pro naše účely velkou výhodou, protože budeme transformátor navíjet ručně.

Dalším důležitým aspektem pro návrh transformátoru je materiál, z kterého je jádro vyrobeno. Pro naši aplikaci je nemožné použít železo, protože ztráty vířivými proudy by byly příliš vysoké a rozměry transformátoru obrovské. Z toho důvodu pro tuto aplikaci použijeme jádro z magneticky měkkého feritu, který má velký měrný odpor a úzkou hysterezní smyčku, což má za příčinu menší hysterezní ztráty.

Podle těchto kritérií jsme zvolili jako nejvíce vyhovující materiál 3C90.

Posledním důležitým aspektem je velikost jádra. Při volbě velikosti jádra je nutné uvažovat výstupní výkon měniče a tím zvolit dostatečnou velikost jádra. Pro výkon 100W jsme jako vhodnou velikost jádra, vybral jádro ETD34. Podrobné rozměry jsou znázorněny na obr. 10.



obr. 10: Rozměry jádra ETD34 a ilustrační fotografie ETD34[5]

Parametry jádra ETD 34 z materiálu 3C90 od firmy Ferroxcube jsou vypsány v Tab. 4.

Parametr	Hodnota
μ_r	1740
B_s	0,38T
l_e	77,6mm
S_e	97,1mm ²
V_e	7640mm ³
A_L	2,7μH

Tab. 4: Parametry jádra ETD34 3C90[5]

Parametrem μ_r permeabilitu materiálu 3C90. Dalším parametrem je magnetická indukce značená jako B_s . Tyto dva parametry jsou dány vlastnostmi materiálu 3C90. Parametr l_e je střední délka siločáry. S_e je efektivní průřez jádra. V_e je efektivní objem jádra a A_L je součinitel indukčnosti.

Nyní můžeme přestoupit k samotnému návrhu transformátoru. Kompletní početní postup je převzat z [3]. Tento návrh vychází ze vztahu pro výpočet napěťových ploch:

$$U_{OUT} \cdot T = 2 \cdot \delta \cdot \frac{N_{OUT}}{N_{IN}} \cdot U_{IN} \cdot T \quad (3.10)$$

Úpravou rovnice (3.10) dostáváme vztah pro výpočet převodního poměru n_2 :

$$n_2 = 2 \cdot \delta_{\max} \cdot \frac{U_{INmin} - U_T}{U_{01} + 2 \cdot U_D} = 2 \cdot 0,35 \cdot \frac{10,5 - 1,5}{400 + 2 \cdot 1,5} = 0,01563 \quad (3.11)$$

3.7.3. Výpočet vinutí transformátoru

Hysterezní smyčka u dvojčinných měničů zasahuje nejen do prvního kvadrantu, nýbrž i do třetího. Z této teorie vyplývá, že max. rozkmit magnetické indukce je roven dvojnásobnému rozkmitu syčení jádra B_s . Z důvodu zachování určité rezervy tento jev zanedbáme a do vzorce dosadíme přímo hodnotu B_s . Z daných skutečností nám vyplyne vztah:

$$N_1 = \frac{U_{INmax} \cdot \delta_{\max} \cdot T}{B_s \cdot S_e} = \frac{U_{INmax} \cdot \delta_{\max} \cdot T}{2 \cdot B_s \cdot S_e} = \frac{U_{INmax} \cdot \delta_{\max}}{2 \cdot B_s \cdot S_e \cdot f_{sw}} = \frac{15 \cdot 0,35}{2 \cdot 0,38 \cdot 0,0000971 \cdot 25000} = 2,846z \quad (3.12)$$

Zaokrouhlením na celé vyšší číslo vyplývá, že primární vinutí bude mít dvakrát tři závitů s vyvedeným středem. Z převodních parametrů sekundárního vinutí dopočítáme počet závitů sekundárního vinutí N_2 :

$$N_2 = \frac{N_1}{n_2} = \frac{3}{0,01563} = 191,93 = 192 \text{ závitů} \quad (3.13)$$

Pomocí součinitele jakosti A_L , a počtu závitů N_1 a N_2 můžeme spočítat indukčnost jednotlivých vinutí L_1 a L_2 dle vztahu:

$$L = A_L \cdot N^2 \quad (3.14)$$

Potom ze vztahu (3.14) vypočítáme indukčnost jednotlivých vinutí jako:

$$L_1 = A_L \cdot N_1^2 = 2700 \cdot 10^{-9} \cdot 3^2 = 24,3 \mu\text{H} \quad (3.15)$$

$$L_2 = A_L \cdot N_2^2 = 2700 \cdot 10^{-9} \cdot 191^2 = 98,49 \text{mH} \quad (3.16)$$

3.7.4. Výpočet parametrů vodičů jednotlivých vinutí

Vyjdeme ze vztahu pro výpočet efektivní hodnoty výstupního proudu, kterou vypočítáme jako:

$$I_{OUT1ef} = \frac{P_{OUT1}}{U_{OUT1}} = \frac{100}{400} = 0,250 \text{A} \quad (3.17)$$

Z efektivní hodnoty (3.17) výstupního proudu spočítáme maximální hodnotu výstupního proudu, který je roven:

$$I_{OUT1max} = \frac{I_{OUT1ef}}{\sqrt{2} \cdot \delta_{max}} = \frac{0,25}{\sqrt{0,70}} = 0,298 \text{ A} \quad (3.18)$$

Nyní můžeme určit hodnotu maximálního vstupního proudu:

$$I_{INmax_prac} = I_{OUT1max} \cdot \frac{N_2}{N_1} = 0,298 \cdot \frac{191}{3} = 19,02 \text{A} \quad (3.19)$$

Maximální hodnota rozkmitu magnetizačního proudu je podle následujícího vztahu rovna:

$$\Delta I_{\mu 1} = \frac{\max | \int U_{IN}(t) dt |}{L_1} = \frac{U_{INmax} \cdot \delta_{max} \cdot T}{2 \cdot L_1} = \frac{U_{INmax} \cdot \delta_{max}}{2 \cdot L_1 \cdot f_{sw}} = \frac{15 \cdot 0,35}{2 \cdot 0,0000243 \cdot 25000} = 4,32 \text{A} \quad (3.20)$$

Pro stav, kdy je sepnutý tranzistor protéká primárním vinutím proud, který je roven $I_{\mu 1} + I_{IN}$ tato hodnota roste z hodnoty I_{INmin} na hodnotu I_{INmax} . Hodnoty těchto proudů spočítáme jako:

$$I_{INmin} = I_{INmax_prac} - \frac{\Delta I_{\mu 1}}{2} = 19,02 - \frac{4,32}{2} = 16,86 \text{A} \quad (3.21)$$

$$I_{INmax} = I_{INmax_prac} + \frac{\Delta I_{\mu 1}}{2} = 19,02 + \frac{4,32}{2} = 21,18 \text{A} \quad (3.22)$$

Z výsledků z předchozího vztahu určíme efektivní hodnotu vstupního proudu jako:

$$I_{INef} = \sqrt{\delta \cdot \left(\frac{\Delta I_{\mu 1}^2}{3} - I_{INmax} \cdot \Delta I_{\mu 1} + I_{INmax}^2 \right)} = \sqrt{0,35 \cdot \left(\frac{4,32^2}{3} - 21,18 \cdot 4,32 + 21,18^2 \right)} = 11,28 \text{A} \quad (3.23)$$

Musíme brát zřetel na to, že předchozí výpočet (3.23) je pouze pro jedno primární vinutí transformátoru. Celkový vstupní proud určíme ze vztahu:

$$I_Z = I_{INef} \cdot \sqrt{2} = 11,28 \cdot \sqrt{2} = 15,94 \text{A} \quad (3.24)$$

Nyní přejdeme k samotnému dimenzování vodičů, které jsou použity pro primární i sekundární vinutí transformátoru. V předchozích krocích jsme určili proudy potřebné

k výpočtu průměrů vinutí. Hodnotu proudové hustoty volím $J = 4 \text{ A/mm}^2$. Nyní můžeme dopočítat samotné průměry drátů vinutí transformátoru.

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot I_{\text{INef}}}{\pi \cdot J}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 11,28}{\pi \cdot 4}} = 1,89 \text{ mm} \quad (3.25)$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot I_{\text{OUT1ef}}}{\pi \cdot J}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,25}{\pi \cdot 4}} = 0,282 \text{ mm} \quad (3.26)$$

Při návrhu měniče jsme použili pracovní frekvenci $f = 25 \text{ kHz}$, a tak musíme brát zřetel na jev zvaný skin efekt. Pro tuto pracovní frekvenci vychází hloubka vzniku $\delta = 0,4$. Vycházíme-li z této hodnoty, pak je podle vztahu $D_{\text{MAX}} \leq 2\delta$ možné použít maximální průměr drátu $D_{\text{MAX}} \leq 0,8 \text{ mm}$.

Z daných skutečností volíme pro sekundární vinutí lakovaný měděný drát o průměru $D = 0,25 \text{ mm}$. Primární vinutí je vinuto třemi měděnými dráty o průměru $0,75 \text{ mm}$.

3.7.5. Návrh tlumivky

Výstupní tlumivka pracuje v obvodu jako vyhlazovací člen, který má společně s vyhlazovacím kondenzátorem tvořit LC člen. Tento LC člen má za úkol vyhladit výstupní napětí a zvlnění proudu. V době sepnutí některého ze spínacích tranzistorů proud na tlumivce narůstá. Pokud není sepnutý ani jeden ze spínacích tranzistorů proud výbojkou klesá. Z uvedených poznatků můžeme říci, že čím větší indukčnost tlumivka má (ideálně nekonečnou indukčnost, ovšem nesmí dojít k přesycení jádra), tím menší je zvlnění výstupního proudu. Proto je třeba navinout co největší počet závitů na vybrané jádro.

Tlumivku jsme vybrali od firmy SEMIC, která vyrábí tlumivky s implementovanou vzduchovou mezerou. Vybrali jsme jádro ETD 2910 z materiálu C138, který je svými materiálovými vlastnostmi velice blízký materiálu 3C90 od firmy FERROXCUBE. Jedná se jádro s implementovanou vzduchovou mezerou o velikosti $0,2 \text{ mm}$. Použitím dvou těchto jader dostáváme vzduchovou mezeru o velikosti $g = 0,4 \text{ mm}$.

V Tab. 5 můžeme vidět parametry jádra ETD 2910.

Parametr	Hodnota
μ_r_L	2100
B_{s_L}	0,38T
l_{e_L}	71mm
S_{e_L}	76 mm^2
V_{e_L}	5377 mm^3
A_{L_L}	235nH
g	0,4mm

Tab. 5: Parametry jádra ETD 2910[16]

Parametry použité v tabulce Tab. 5 jsou analogií k parametrům uvedené v Tab. 4. Jediným odlišným parametrem je zde parametr g , který odpovídá velikosti vzduchové mezery.

Na vedení vinutí tlumivky použijeme drát o průměru $D = 0,25\text{mm}$. Tlumivka by měla mít co nejvyšší indukčnost (ideálně nekonečnou), která je ovšem omezena geometrickými rozměry jádra a magnetickým sycením jádra. Pro jádro ETD 2910 odhadujeme maximální počet závitů vinutí na cca 400 závitů. Pro takovou hodnotu by bylo jádro přesyceno, a tak volíme jako kompromis 260 závitů. Z této hodnoty a součinitele jakosti A_{L_L} dopočítáme maximální indukčnost ze vztahu:

$$L_L = A_{L_L} \cdot N_L^2 = 235 \cdot 10^{-9} \cdot 260^2 = 15,88 \text{ mH} \quad (3.27)$$

Po vložení jádra se vzduchovou mezerou do obvodu dojde ke změnám v magnetickém obvodu. Hlavní změnou je změna permeability, kterou musíme přepočítat dle vztahu:

$$\mu_{e_L} = \frac{\mu_r \cdot L}{1 + \frac{\mu_r \cdot L}{L_{eL}}} = \frac{2100}{1 + \frac{2100 \cdot 0,4}{0,071}} = 164 \quad (3.28)$$

Nyní spočítáme hodnotu maximální magnetické indukce. Tato situace nastane, pokud bude na výstupu dvojnásobný výstupní proud $I_{OUT} = 0,25\text{A}$ tzn. $I_L = 0,5\text{A}$.

$$B_L = \mu_{e_L} \cdot \mu_0 \cdot N_L \cdot \frac{I_L}{L_{e_tl}} = 164 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 260 \cdot \frac{0,5}{0,071} = 377 \text{ mT} \quad (3.29)$$

Tato hodnota zcela vyhovuje parametrům našeho jádra $377 \square 380 \text{ mT}$ (katalogová hodnota).

3.7.6. Výběr spínacích prvků

Výběrem spínacích prvků rozumíme výběr vhodných spínacích součástek. Jedná se především o výběr spínacích tranzistorů a usměrňovacích diod.

Při výběru spínacích transformátorů je důležitým faktorem rychlost spínání a výdrž působení vysokých proudů. Pro dvojčinné měniče se nejčastěji jako spínací tranzistory používají tranzistory typu MOSFET s indukovaným kanálem N. Při výběru bereme zřetel na maximální napětí mezi vývody drain a source. Toto napětí je rovno:

$$U_{DSMax} = 2 \cdot U_{INMax} = 2 \cdot 15\text{V} = 30\text{V} \quad (3.30)$$

Dalším parametrem, který musíme zohlednit při výběru spínacího tranzistoru je maximální proud mezi vývody drain a source. Tento proud spočítáme jako:

$$I_{DSMax} = I_{INMax} = 21,18\text{A} \quad (3.31)$$

Z vypočtených parametrů volíme MOSFETový tranzistor IRFZ44N, který bez problémů vyhovuje požadovaným parametrům a je cenově dostupný. Katalogový list[15].

Při výběru usměrňovacích diod musíme brát zřetel na napětí závěrným směrem a na proud procházející jednotlivým diodami.

Minimální závěrné napětí diody určíme jako:

$$U_{DRMax} = \frac{U_{INMax}}{n_2} = \frac{15}{0,01563} = 980V \quad (3.32)$$

Efektivní proud procházející můstkovým usměrňovačem určíme jako:

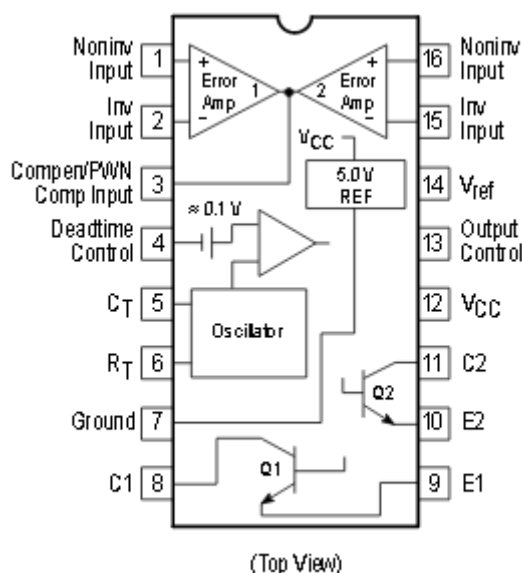
$$I_{DFef} = \frac{I_{OUTef}}{2} = \frac{0,250}{2} = 0,125A = 125mA \quad (3.33)$$

Z vypočítaných parametrů byla vybrána dioda UF4007, která odpovídá našim parametrům. Katalogový list.[11]

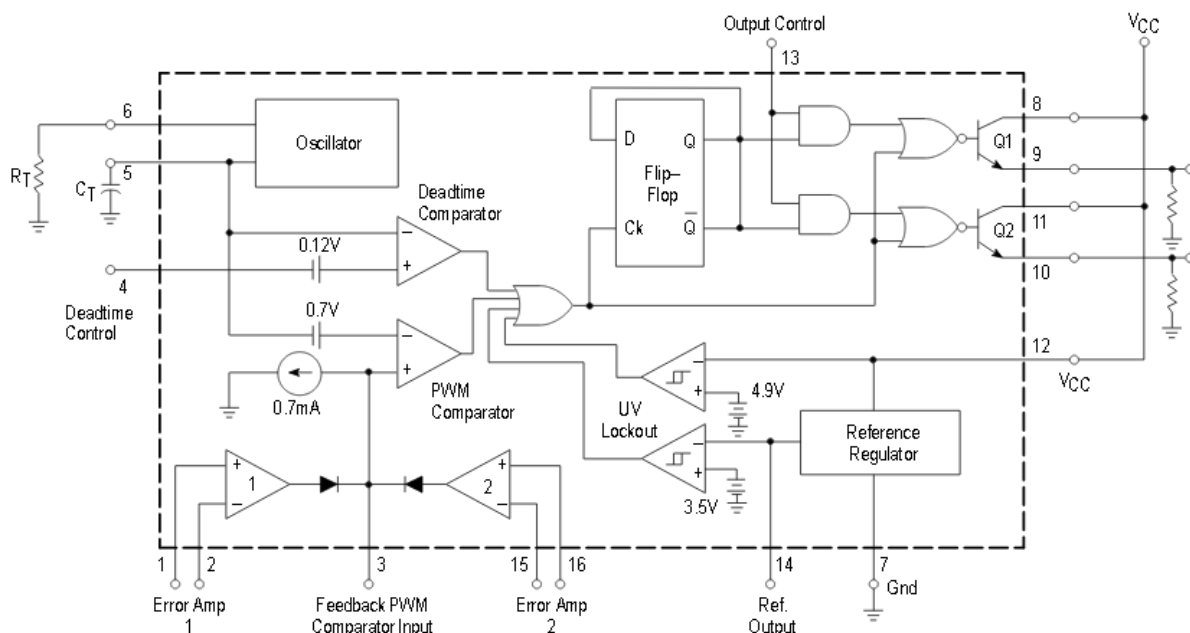
3.7.7. Integrovaný obvod TL494

Obvod TL494 slouží k řízení celého obvodu. Nejprve však musíme zvolit vhodné obvodové součástky pro jeho správnou funkci. Integrovaný obvod TL494 se využívá především v počítačových zdrojích ATX. Na obr. 12 je vyobrazeno vnitřní zapojení obvodu TL 494.

Vývody 1,2 a 15,16 jsou vstupy operačních zesilovačů, které slouží pro kontrolu funkce obvodu. Vývod 3 je společný výstup operačních zesilovačů. Vývod 4 slouží k nastavení deadtime. Vývod 5 a 6 jsou vývody pro nastavení pracovní frekvence řídicího obvodu. Pracovní frekvence může být v rozmezí od 1kHz po 400kHz (odečteno z grafu v katalogovém listu[14]). Pracovní frekvence se nastavuje vhodným výběrem RC členu. Vývod 7 je připojena na GND (zem). Vývody 8 a 11 jsou kolektory výstupních tranzistorů. Vývody 9 a 10 jsou emitory výstupních tranzistorů. Vývod 12 je napájení, které může být v rozmezí od 7 po 40V. Vývod 13 slouží pro nastavení pracovní topologie. Vývod 14 je referenční napětí 5V.



obr. 11: Integrovaný obvod TL494[14]



obr. 12: Vnitřní zapojení integrovaného obvodu TL 494[14]

3.7.8. Výpočet součástek pro IO TL 494

Dalším důležitým krokem je správný návrh/výběr součástek pro řídicí IO TL 494. Součástky vybíráme dle katalogového listu IO TL 494, kde jsou detailně popsány funkce každého vývodu a jejich nastavení pro správnou funkci.

Napájení IO TL494 je realizováno přímo z baterie, protože IO TL494 můžeme napájet v rozmezí od 7V po 40V nebude v této realizaci problém. Na vývody 12 a 7 připojíme svorky z akumulátoru a IO TL 494. Napětí z baterie můžeme přivést přes ochrannou diodu, která by chránila obvod proti přepolování.

Jako další musíme spočítat správné hodnoty součástek pro nastavení RC členu, který řídí oscilátor. Volíme hodnotu odporu $R_T = 4700\Omega$ a velikost kapacity $C_T = 4,7nF$. Ze zvolených hodnot spočítáme výstupní frekvenci PWM oscilátoru.

$$f = \frac{1,1}{R_T \cdot C_T} = \frac{1,1}{4700 \cdot 0,0000000047} = 49,79kHz \quad (3.34)$$

Výslednou frekvenci musíme podělit dvěma (dvě primární vinutí), a dostáváme hodnotu 24,89kHz. Tato frekvence je frekvence je velice blízká (stejná), jako hodnota námi zvolená při návrhu transformátoru.

Pro správné nastavení deadtime je nutné spočítat hodnotu jeho odporu. Na offsetovém komparátoru je napětí $U = 120mV$. Proud deadtime vývodem je $I = 10\mu A$. Z daných hodnot můžeme spočítat hodnotu odporu zapojeného na vývod 4 (deadtime).

$$R_{DT} = R_2 = \frac{U}{I} = \frac{0,12}{0,00001} = 12k\Omega \quad (3.35)$$

Odpor $R_{DT} = R_2$ tvoří společně s odporem o velikosti $R_{14} = 82\text{k}\Omega$ dělič napětí, na jehož výstupu je napětí o hodnotě $0,7\text{V}$, kterým je nastavena střída na $0,35$.

Softstart měniče nám slouží ke snížení namáhání spínacích tranzistorů a k pozvolnému náběhu měniče. Hodnotu kondenzátoru připojeného na vývod softstart vypočteme:

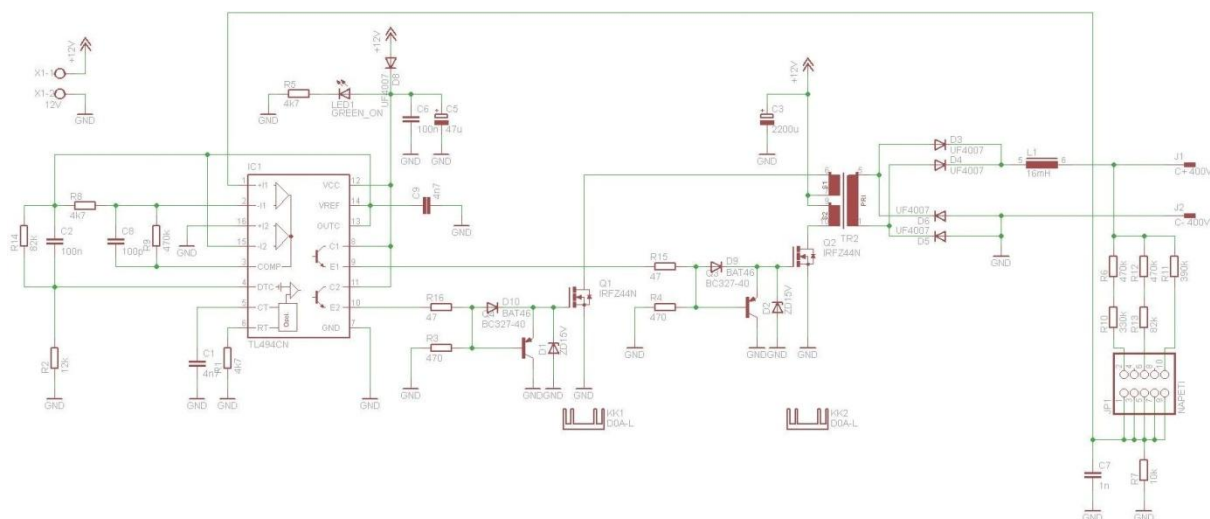
$$C_S = \frac{50}{R_{DT} \cdot f} = 83\text{nF} \Rightarrow \text{nebližší hodnota je } 100\text{nF} \quad (3.36)$$

Pro správné nastavení komparátoru jsme nastavili zesílení operačního zesilovače na 101. Tento krok provádíme především kvůli zvýšení stability. Ze vztahu pro neinvertující operační zesilovač, jsme určili hodnoty těchto odporů na $R_8 = 4\text{k}\Omega$ a $R_9 = 470\text{k}\Omega$. Na rezistor R_8 je paralelně připojena kapacita o hodnotě $C_8 = 100\text{pF}$, kterým je zvýšena stabilita a potlačeno kmitání výstupu komparátoru.

Integrovaný obvod TL494 funguje jako horní budič. Tudiž jsme museli obvod opatřit tranzistory BC 327, které vybíjí kapacitu hradla.

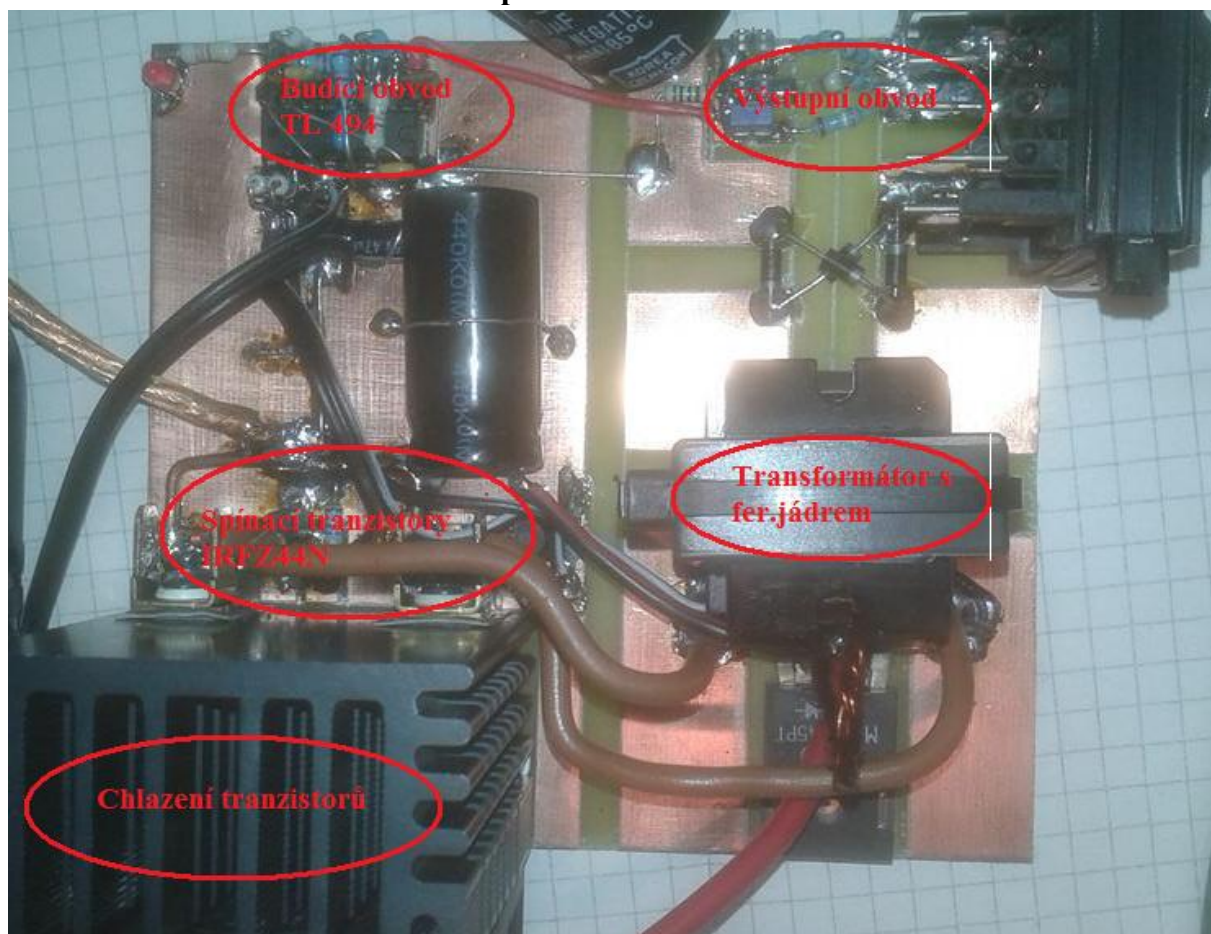
3.7.9. Schéma zapojení měniče napětí

Na obr. 13 je vyobrazeno elektronické schéma DC-DC měniče napájení. Zapojení obsahuje mimo jiné i regulaci výstupního napětí. Elektronické schéma DC-DC měniče napětí v plném rozlišení je zachyceno na obr. 26.



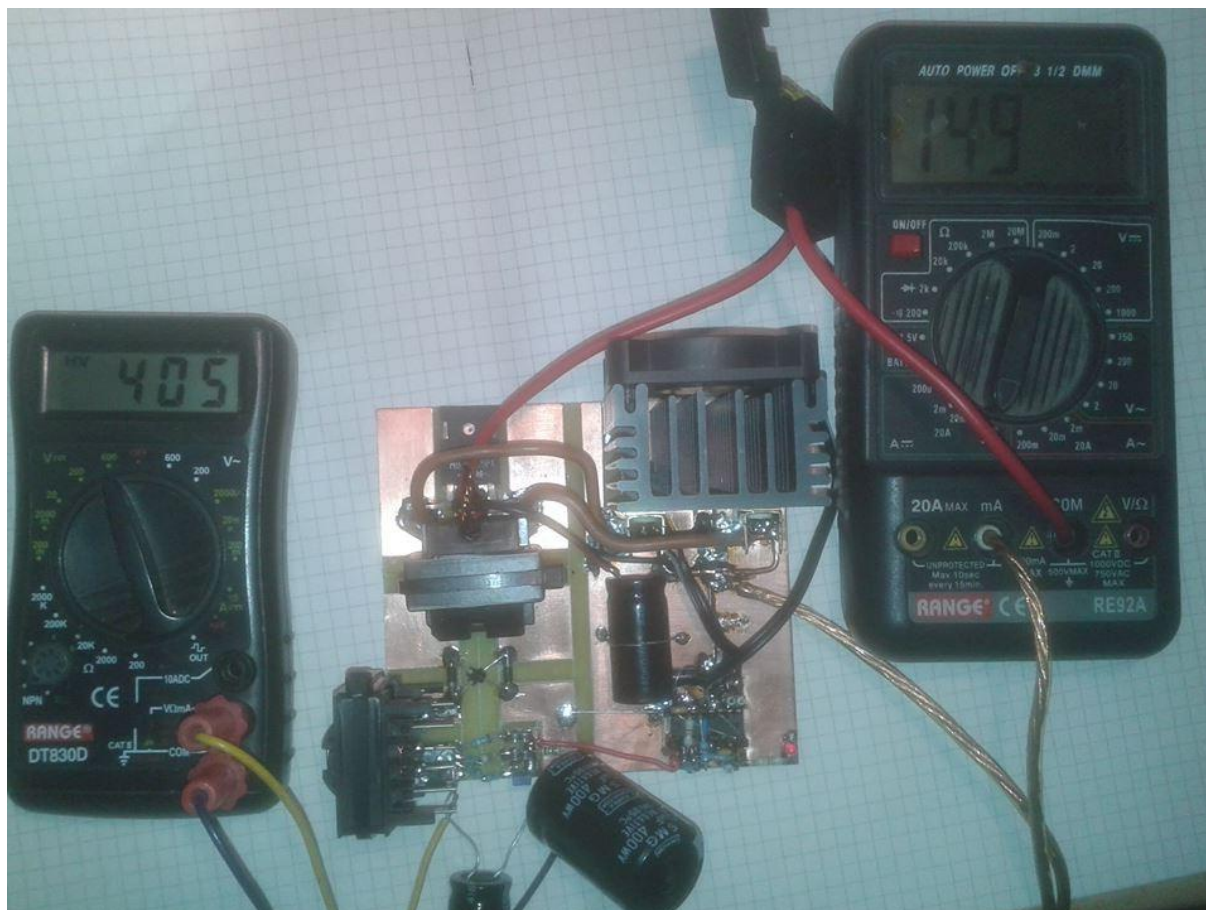
obr. 13: Schéma zapojení měniče napětí

3.7.10. Sestavení a měření měniče napětí



obr. 14: Sestavený DC-DC měnič napětí

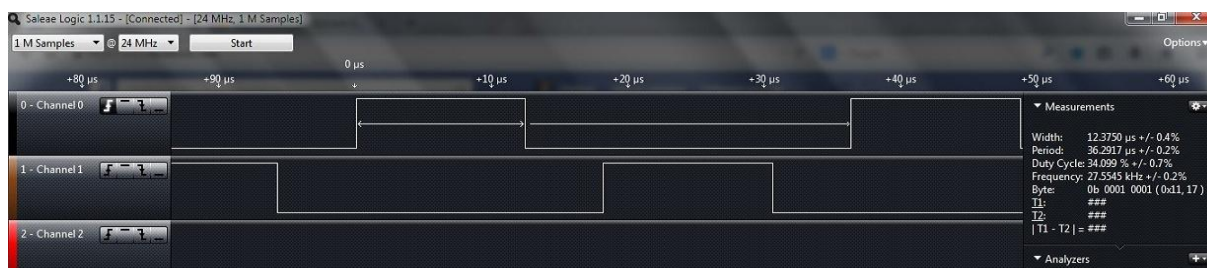
Na obr. 14 je vyobrazen sestavený DC-DC měnič napětí. Měnič napětí je postavený na „proškrábaném“ plošném spoji. Při spouštění měniče napětí se vyskytlo pár drobných problémů. Po vyřešení těchto problémů DC-DC měnič začal fungovat a na jeho výstupu se objevilo námi spočtené (požadované) napětí. Osazený chladič je zbytečně velký a ve skutečnosti by stačili klasické chladiče MOSFETů. Tento chladič zde byl osazen kvůli testování měniče. Na obr. 15 můžeme vidět fotografii ze samotného měření DC-DC měniče na jehož výstupu máme napětí 405V. Klidový odběr měniče se pohybuje v rozmezí mezi 130mA až 150mA v závislosti na nastaveném výstupním napětí (přesněji pro 405V je to 149mA). Je nutné opomenout, že všechny výkonové cesty měniče musí být řádně pocínované.



obr. 15: Měření DC-DC měniče napětí

Na voltmetru vidíme hodnotu výstupního napětí $U_{VYST} = 405V$ (levý měřicí přístroj). Na ampérmetru vidíme hodnotu klidového odběru DC-DC měniče napětí.

Na obr. 16 můžeme vidět měření průběhů střidy na gate tranzistorů IRFZ44N.



obr. 16: Měření střidy pomocí programu Saleae Logic

Měření účinnosti jsme provedli připojením odporové zátěže o hodnotě $20k\Omega$ na výstup měniče. Na vstupu DC-DC měniče jsme naměřili napětí $U_1 = 12,3V$ a vstupní proud $I_1 = 800mA$. Na výstupu měniče jsme změřili hodnotu napětí $U_2 = 398V$ a výstupní proud DC-DC měniče $I_2 = 20mA$. Z naměřených hodnot jsme spočítali účinnost DC-DC měniče, která vyšla 80,9%.

3.8. Regulace výkonu

Regulace výkonu je v mezích od 400J až po 12,5J. Výkon regulujeme v krocích 400J (max. výkon zábleskové jednotky), následuje výkon poloviční tj. 200J, čtvrtinový tj. 100J, osminový, který je roven 50J, šestnáctinový 25J a nakonec výkon 12,5J.

Regulace je realizována pomocí řízeného zdroje napětí. Napětí regulujeme děličem napětí na výstupu DC – DC měniče. Maximální výstupní napětí měniče je 400V. Pomocí děliče na jeho výstupu můžeme výstupní napětí měniče regulovat „třibodově“ o pevných hodnotách 400V, 282V, 200V. Konečná regulace výkonu je realizována pomocí vhodné změny hodnoty nabíjené kapacity.

Pro regulaci výkonu pomocí změny napětí využíváme děliče/ů na výstupu DC-DC měniče. V elektronickém schématu obr. 13 jsou tyto rezistory značeny $R_6, R_7, R_{10}, R_{11}, R_{12}, R_{13}$. Na invertující vstup komparátoru je přivedena vnitřní napěťová reference 5V. Na neinvertující vstup je přivedeno napětí z děliče nastavujícího výstupní napětí. Hodnotu zemního rezistoru jsme zvolili $R_7 = 10k\Omega$. Na rezistoru R_7 musí být nastaveno napětí 5V. Pro větší stabilitu je paralelně k tomu rezistoru přidán kondenzátor 1nF.

Pro výstupní napětí o hodnotě 200V spočítáme hodnoty rezistorů jako:

$$I_{R7} = \frac{U_{ref}}{R_7} = \frac{5}{10000} = 500\mu A \quad (3.37)$$

$$U = \frac{R_{11} + R_7}{I_{R7}} = > R_{11} + R_7 = \frac{U}{I_{R7}} = \frac{200}{0,0005} = 400k\Omega \quad (3.38)$$

$$R_{11} = 400000 - R_7 = 400000 - 10000 = 390k\Omega \quad (3.39)$$

Pro výstupní napětí o hodnotě 282V spočítáme hodnoty rezistorů jako:

$$I_{R7} = \frac{U_{ref}}{R_7} = \frac{5}{10000} = 500\mu A \quad (3.40)$$

$$U = \frac{R_{1213} + R_7}{I_{R7}} = > R_{1213} + R_7 = \frac{U}{I_{R7}} = \frac{282}{0,0005} = 564k\Omega \quad (3.41)$$

$$R_{11} = 564000 - R_7 = 564000 - 10000 = 554k\Omega \quad (3.42)$$

Rezistor této hodnoty se nevyrábí a tak jsme nuceni k sériovému spojení dvou rezistorů o hodnotách $R_{12} + R_{13}$, kde $R_{12} = 470k\Omega$ a $R_{13} = 82k\Omega$. Při použití daných hodnot vychází výstupní napětí $U = 281V$.

Pro výstupní napětí o hodnotě 400V spočítáme hodnoty rezistorů jako:

$$I_{R7} = \frac{U_{ref}}{R_7} = \frac{5}{10000} = 500\mu A \quad (3.43)$$

$$U = \frac{R_{106} + R_7}{I_{R7}} = > R_{1213} + R_7 = \frac{U}{I_{R7}} = \frac{400}{0,0005} = 800k\Omega \quad (3.44)$$

$$R_{11} = 800000 - R_7 = 800000 - 10000 = 790k\Omega \quad (3.45)$$

Rezistor této hodnoty se nevyrábí, a tak jsme nuceni k sériovému spojení dvou rezistorů o hodnotách $R_{12} + R_{13}$, kde $R_{12} = 470k\Omega$ a $R_{13} = 330k\Omega$. Při použití daných hodnot vychází výstupní napětí $U = 405V$

3.8.1. Výpočet akumulčních kapacit pro regulaci výkonu

Jelikož není možné zábleskovou jednotku regulovat pouze změnou napětí na akumulčním kondenzátoru je nutné měnit i hodnotu akumulčního kondenzátoru. Nemožnost regulace změnou napětí na akumulčním kondenzátoru je způsobena napětovým rozsahem výbojky IFK – 120, který tuto možnost značně omezuje.

Vypočet regulace výkonu vychází ze vztahu (2.1) :

$$E = \frac{1}{2}CU^2 \quad [J]$$

Pro nejmenší výkon tj. $E = 12,5J$ jsme zvolili jako nabíjecí napětí hodnotu $U = 200V$. Podle vztahu (2.1) jsme vypočítali hodnotu kondenzátoru:

$$E = \frac{1}{2}CU^2 \Rightarrow C = \frac{2E}{U^2} = \frac{25}{200^2} = 625\mu F \quad (3.46)$$

Pro dvojnásobný výkon $E = 25J$ je ponecháno stejné nabíjecí napětí tj. $U = 200V$. Z následujících hodnot jsme opět spočítali hodnotu kondenzátoru:

$$E = \frac{1}{2}CU^2 \Rightarrow C = \frac{2E}{U^2} = \frac{50}{200^2} = 1250\mu F \quad (3.47)$$

Pro výkon zábleskové jednotky $E = 50J$ je používáno napětí $U = 282V$. Z těchto hodnot spočítáme hodnotu kondenzátoru:

$$E = \frac{1}{2}CU^2 \Rightarrow C = \frac{2E}{U^2} = \frac{100}{282^2} = 1250\mu F \quad (3.48)$$

Pro výkon $E = 100 J$ používáme nabíjecí napětí $U = 400V$. Z hodnot napětí a energie opět spočítáme hodnotu kondenzátoru:

$$E = \frac{1}{2}CU^2 \Rightarrow C = \frac{2E}{U^2} = \frac{200}{400^2} = 1250\mu F \quad (3.49)$$

Z daných výpočtů je zřejmé, že pro regulaci 100J, 50J a 25J je využívána regulace pomocí změny nabíjecího napětí. Pro hodnotu 12,5J je regulace prováděna změnou kondenzátoru, protože změna napětím už nebyla kvůli rozsahu pracovního napětí výbojky možná.

Hodnota 100J je maximální výkonovou hodnotou, kterou dosáhneme pomocí výbojky IFK - 120, a tak jsme byly nuceni pro maximální výkon tj. $E = 400J$ použít výbojky čtyři.

$$E = \frac{1}{2}CU^2 \Rightarrow C = \frac{2E}{U^2} = \frac{800}{400^2} = 5000\mu F \quad (3.50)$$

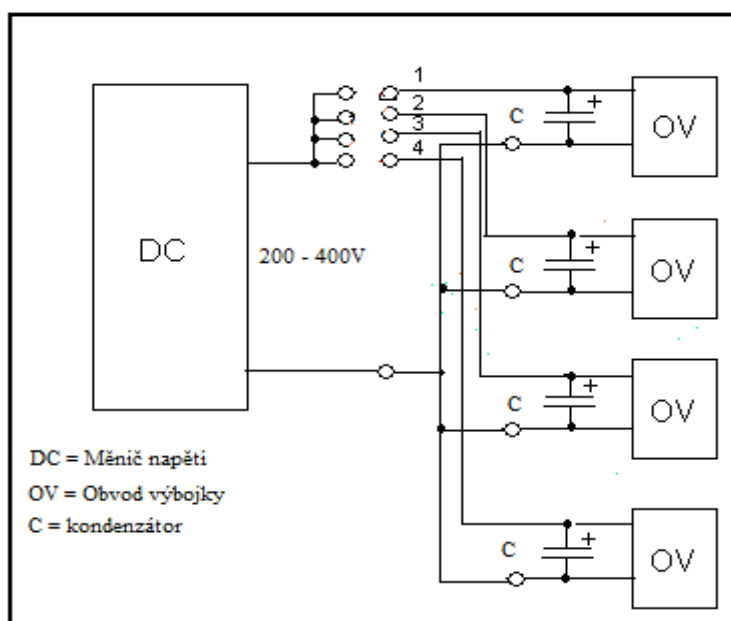
Hodnota kondenzátoru $C = 5000\mu\text{F}$ je tvořena paralelním spojením čtyř kapacit o hodnotě $C = 1250\mu\text{F}$, které obsahuje každý ze čtyř obvodů výbojek.

Analogicky postupujeme i pro výkon $E = 200\text{J}$ pro který je nutné použít výbojky dvě.

$$E = \frac{1}{2} C U^2 \Rightarrow C = \frac{2E}{U^2} = \frac{400}{400^2} = 2500\mu\text{F} \quad (3.51)$$

Hodnota kondenzátoru $C = 2500\mu\text{F}$ je tvořena paralelním spojením dvou kapacit o hodnotě $C = 1250\mu\text{F}$, použijeme dva obvody s výbojkami.

Na obr. 17 je blokové schéma regulace napětí. Schéma je tvořeno DC-DC měnič napětí a čtyřmi obvody s výbojkami. Každý obvod s výbojkou má maximální výkon 100J. K dosažení maximálního výkonu je třeba použít čtyři obvody s výbojkami tzn. musí být sepnuty všechny spínače 1 až 4. Analogicky postupujeme i pro výkony 200J, kde používáme dva obvody s výbojkami tzn. sepnuty spínače 1 a 2. Pro výkon 100J použijeme pouze jeden obvod s výbojkou. Pro menší výkony než 100J regulujeme výkony pomocí změny napětí přivedeného z DC-DC měniče resp. změnou hodnoty nastavené akumulární kapacity.



obr. 17: Blokové schéma regulace výkonu

Pro přehlednost uvádím ještě tabulku, kde jsou jednotlivé výkony a její regulace uvedeny.

Regulace výkonu zábleskové jednotky			
U[V]	C[μF]	E[J]	Počet obvodů výbojek
200	625	12.5	1
200	1250	25	1
282	1250	50	1
400	1250	100	1
400	2500	200	2
400	5000	400	4

Tab. 6: Tabulka regulace výkonu zábleskové jednotky

3.8.2. Výběr součástek pro zábleskovou jednotku

Jako akumulací kapacity pro zábleskovou jednotku dle vztahů (3.46 až 3.51) vybíráme hodnoty:

$$C = 220\mu\text{F}/450\text{V}$$

Paralelním spojením šesti těchto kapacit dostáváme hodnotu akumulací kapacity 1320μF/450V. Hodnota akumulací kapacity téměř odpovídá vypočtené akumulací kapacitě ze vztahu (3.47). Tato celková akumulací kapacita je rozdělena na dvakrát 660μF, aby bylo možné regulovat i nejnižší možný výkon (3.46).

Pro další obvody výbojek jsme zvolili kapacity o hodnotách:

$$C = 1000\mu\text{F}/450\text{V}$$

$$C = 220\mu\text{F}/450\text{V}$$

Paralelním spojením těchto kapacit dostáváme akumulací kapacity o hodnotě C=1220μF/450V. Hodnota kapacity je oproti výpočtům (3.50 a 3.51) nižší tzn. bude nižší i výkon, ovšem jedná se o nepatrnou hodnotu, a tak můžeme tyto kondenzátory použít.

Rezistory $R_{11}, R_{12}, R_{13}, R_{14}$ jsou rezistory chránící gate tyristoru (omezení proudu) jejich hodnota je 1kΩ.

Rezistor $R_1, R_5, R_9, R_{10} = 10\text{k}\Omega$ jsou to rezistory zamezující samovolnému sepnutí tyristoru.

Rezistor R_3 je omezovací rezistor před optočlenem 4N35. Tento rezistor závisí na výstupním napětí z fotoaparátu vypočítáme ho dle vztahu :

$$R_3 = \frac{U_{\text{Foto}} - U_D}{I_F} = \frac{6-1,2}{0,05} = 96\Omega \quad \text{volím odpor } R_3 = 100\Omega \quad (3.52)$$

U_{Foto} napětí z fotoaparátu [V]

U_D úbytek napětí na diodě [V]

I_F proud diodou [A]

Všechny diody D jsou diody UF4007. Slouží k tomu, aby se kondenzátory nenabíjely vzájemně tzn. jeden nenabíjel druhý. Tomu zabráňuje závěrný směr zapojení diody. Dioda UF4007 má maximální napětí $U_{rm} = 1000V$, což je pro naše účely zcela dostatečné a proud $I_F = 1A$, což vzhledem k tomu, že maximální odebíraný proud z měniče je $I_2 = 0,25A$ je zcela dostačující. Vzhledem k těmto parametrům diody UF4007 není nutné umísťovat před tyto diody předřadné rezistory, na kterých by docházelo k výkonovým ztrátám. Katalogový list UF4007[11].

Zapalovací transformátor $L_1 - L_4$ je transformátor TC – 6. Vstupní napětí je 190V. Výstupní napětí je rovno 6kV. Na primární stranu je vybíjena kapacita $C_T = 0,047\mu F$ s maximálním možným napětím 250V, což je dostačující vzhledem ke skutečnosti, že na elektrody kondenzátoru přivádíme napětí 190V. Katalogový list[7].

Hlavní spínacím prvkem jsou v obvodu tyristory BT 169. Vybírali jsme mezi typy BT 169 D a BT 169 G. Oba tyristory jsou zcela totožné a liší se jen hodnotou maximálního napětí U_{rm} , zatímco u typu D je $U_{rm} = 400V$ u typu G je $U_{rm} = 600V$. S ohledem na dané skutečnosti jsme vybrali jako spínací prvek tyristor BT 169 D, který by měl plně dostačovat. Katalogový list [10].

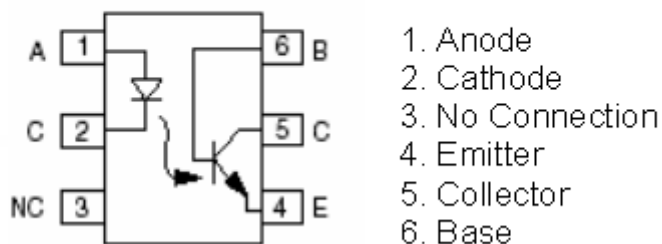
Optočlen 4N35 slouží ke spouštění obvodu. Optočlen 4N35 je tvořen fototranzistorem a diodou. Zároveň odděluje kontakty fotoaparátu přivedené na vstup optočlenu od vysokého napětí a tím chrání fotoaparát před zničením.

Přivedením napětového signálu z fotoaparátu na vstup optočlenu 4N35 dojde ke spuštění obvodu.

Důležité katalogové hodnoty:

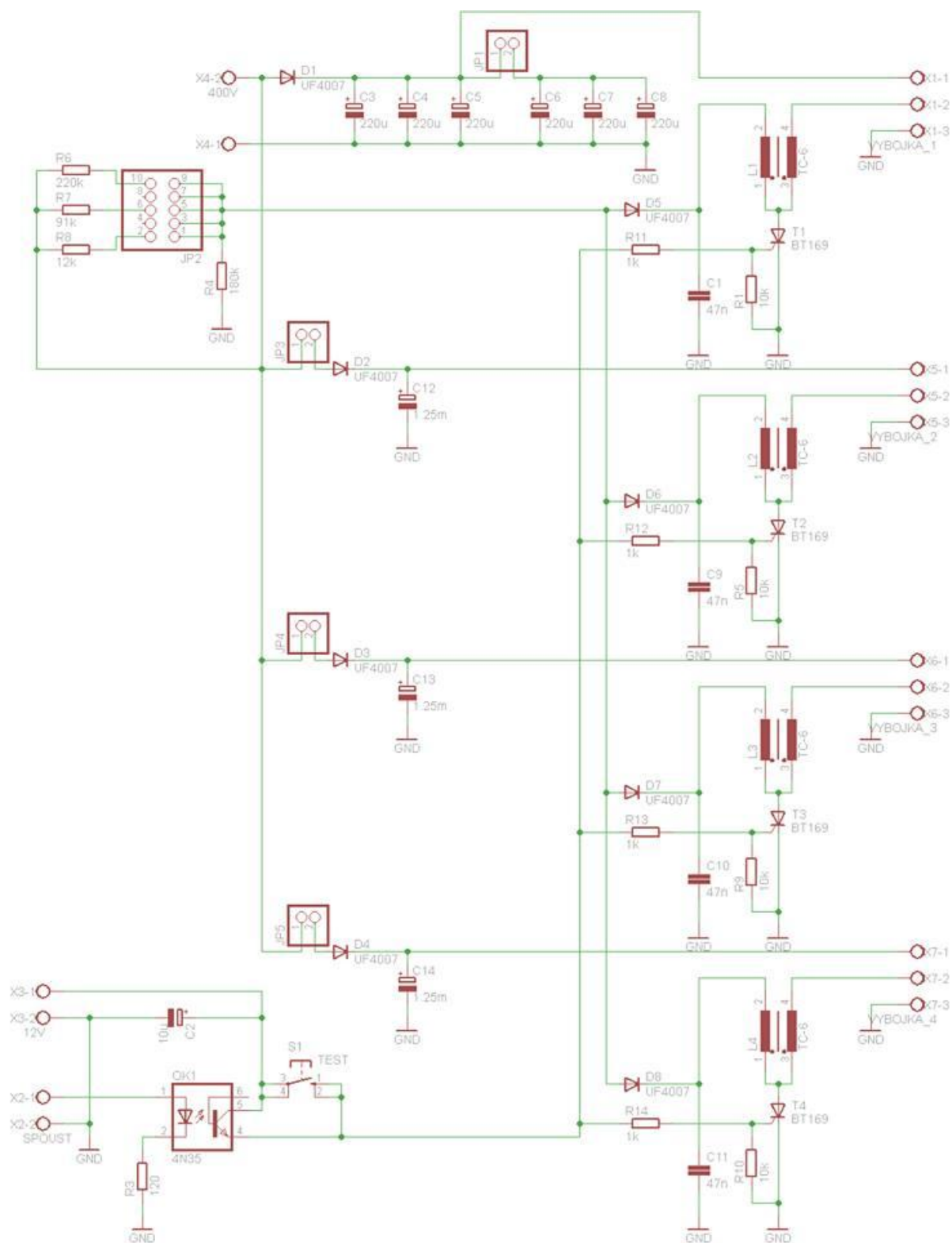
Vstupní napětí: $U_R = 6V$ (v katalogovém listu[8] jako Reverse voltage)

Proud diodou: $I_F = 50\text{ mA}$ (v katalogovém listu[8] jako Forward current)



obr. 18: Rozmístění vývodů 4N35 [8]

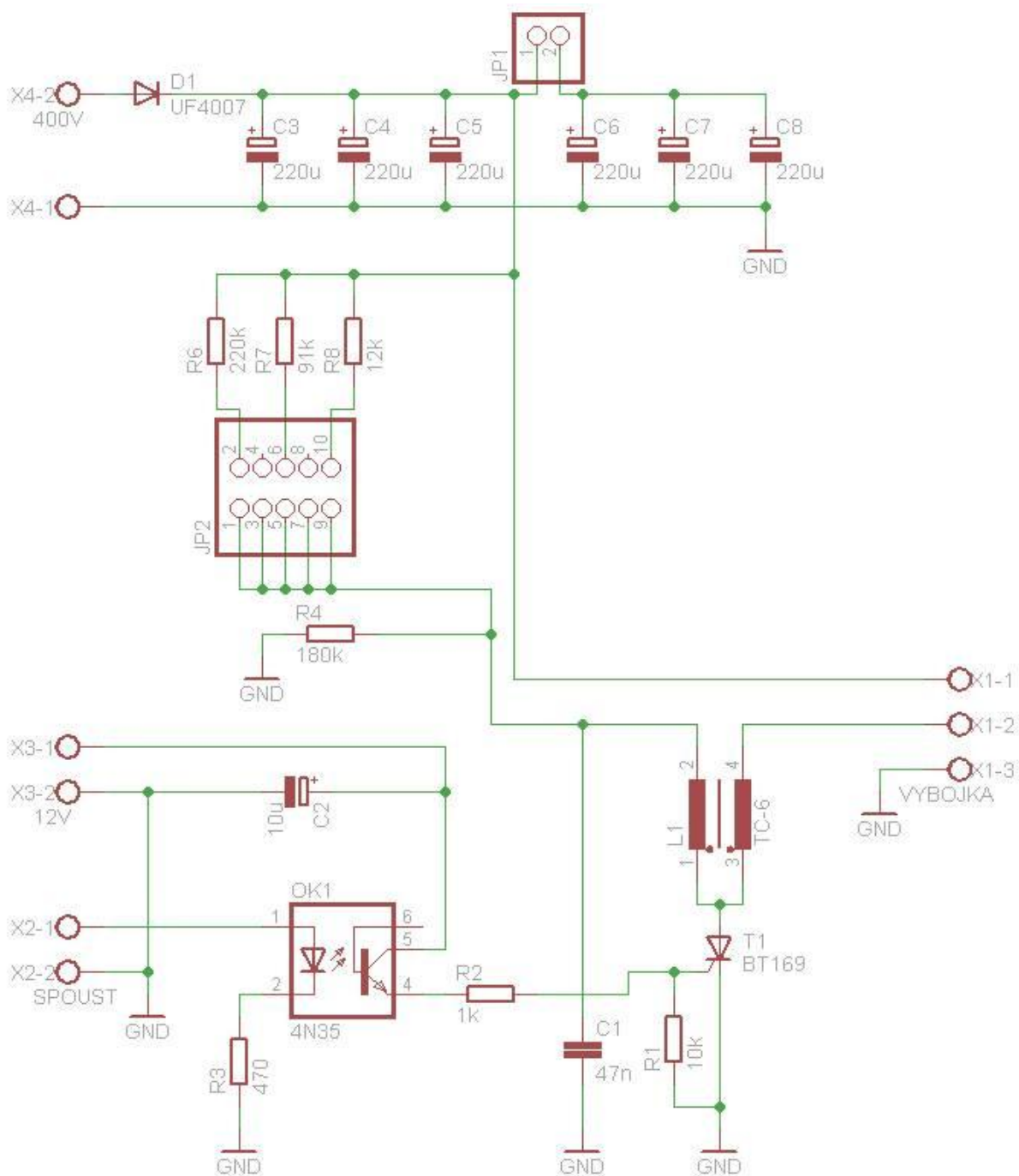
Optočlen slouží jako standardní spouštěč obvodu pomocí fotoaparátu. Avšak v obvodu jsme použili ještě tlačítko, které bude fungovat jako tzv. testovací tlačítko. Slouží k odpálení bez použití fotoaparátu a k vybití kapacit před změnou výkonové hodnoty. Jelikož je přepínání akumulčních kapacit ovládáno spínači, je potřeba při přepnutí na jinou kapacitu vybit tímto tlačítkem daný kondenzátor. Tlačítko je ve schématu (obr. 19) zakresleno jako S_{I_TEST} , a při stisku nám zkratuje obvod 4N35, v důsledku čehož dojde k odpálení obvodu.



obr. 19: Schéma zapojení zábleskové jednotky bez DC-DC měniče

4. Realizace zábleskové jednotky pro jednu výbojku IFK -120

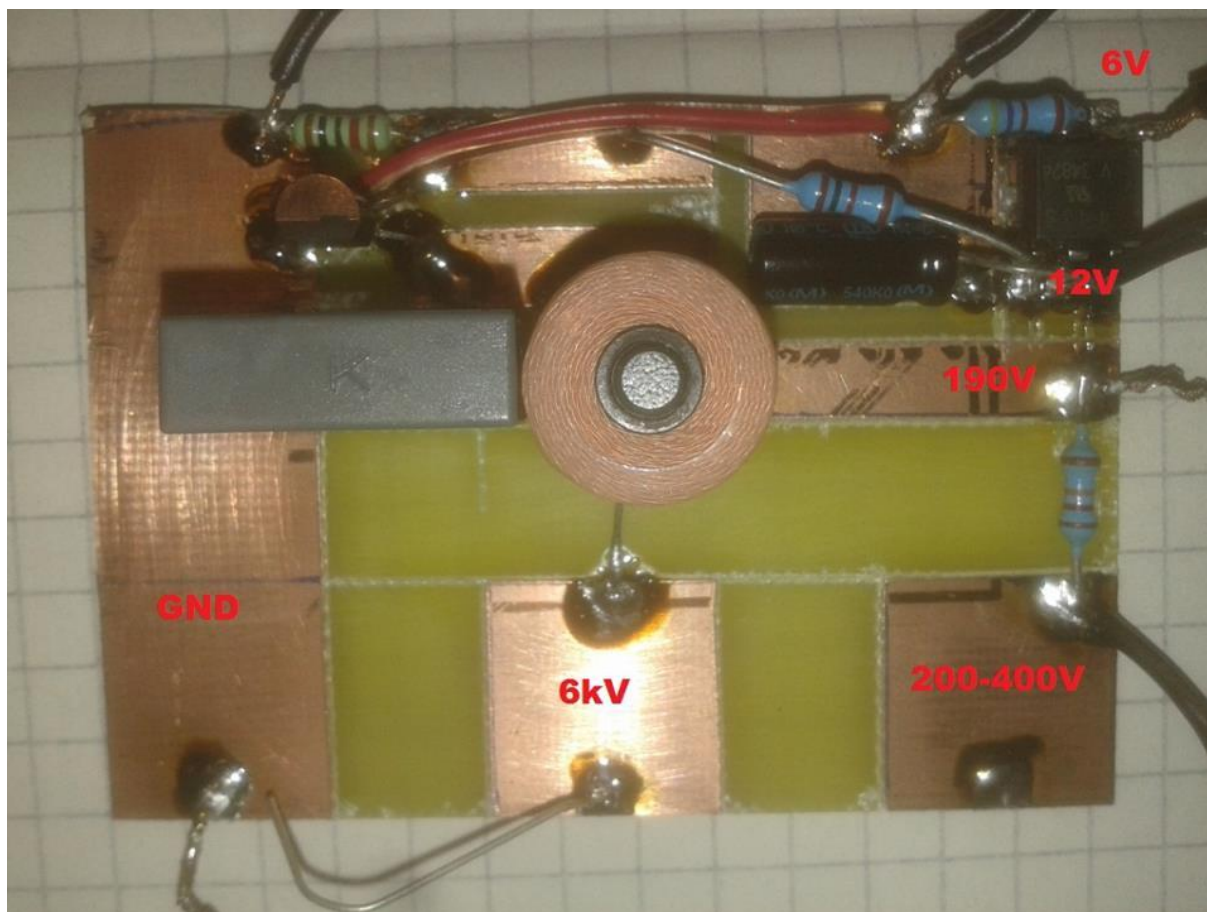
Realizace zábleskové jednotky je provedena na obvodu jedné výbojky. Obvod s jednou výbojkou má maximální zábleskový výkon 100J. Regulace výkonu pro obvod s jednou výbojkou viz obr. 20 je prováděna změnou výstupního napětí z měniče, které nabíjí akumulární kapacity. Pro nejnižší výkon tj. 12,5J jsme nuceni změnit i hodnotu akumulární kapacity na poloviční, což je realizováno pomocí přepínače, kterým ovládáme velikost akumulární kapacity na obr. 20 označen jako JP1.



obr. 20: Schéma zapojení obvodu výbojky

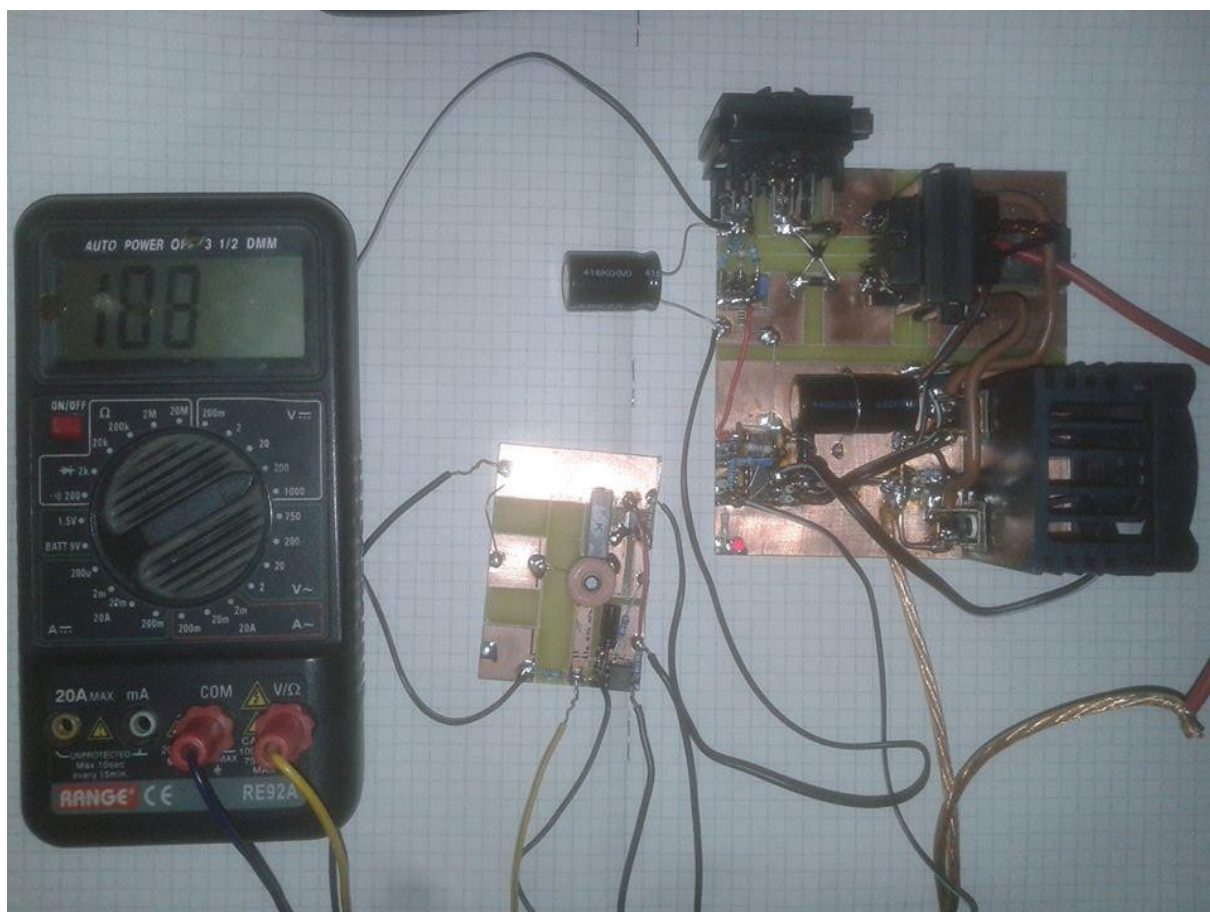
4.1. Sestavení a oživení zábleskové jednotky s jednou výbojkou IFK – 120

V této podkapitole se věnujeme samotnému oživení zábleskové jednotky. Z finančních důvodů je toto zapojení realizováno pouze pro jednu výbojku. Maximální vyzářený záblesk bude o výkonu 100J. Na obr. 21 vidíme rozložení napětí v obvodu výbojky.



obr. 21: Rozložení napětí v obvodu výbojky

Sestavení zábleskové jednotky sestává ze spojení obvodu DC-DC měniče napětí a obvodu výbojky. DC-DC měnič napětí je napájen z olověného akumulátoru. Na obr. 22 je zachyceno zapojení zábleskové jednotky. Na voltmetru je měřeno napětí přivedené na vstup zapalovacího transformátoru. Jedná se o testovací zapojení bez kondenzátorové baterie pouze s jedním kondenzátorem. Výbojka IFK – 120 je osazena mimo desku plošného spoje, ovšem je to jen pro testovací účely, jinak je zasazena v desce plošného spoje obvodu výbojky.



obr. 22: Zapojení zábleskové jednotky bez osazené výbojky

Po přivedení napětí na optočlen 4N35 byl obvod zcela funkční a došlo k jeho spuštění tzn. záblesková jednotka je zcela funkční.

5. PŘÍLOHY

5.1. Rozpis součástek

Název	Hodnota	Pouzdro	Popis	Cena [Kč]
R1	1R	O207	PZ = 0,6W	2,24
R2	240R	O207	PZ = 0,6W	2,24
R3	2k4+100R	O207	PZ = 0,6W	2,24 + 2,24
C1	CE 1000 μ F/25V		elektrolyt	8,18
C2	CK 100n/50V		keramický	2,24
C3	CT 2 μ 2/25V		tantalový	3,47
D1 až D5	1N4007	D047		8,96
T	BC547A	T092		1,23
Toroidní transformátor 230/2·12V 1A				232
Celkem:				265Kč

Tab. 7: Rozpis součástek pro nabíjecí obvod

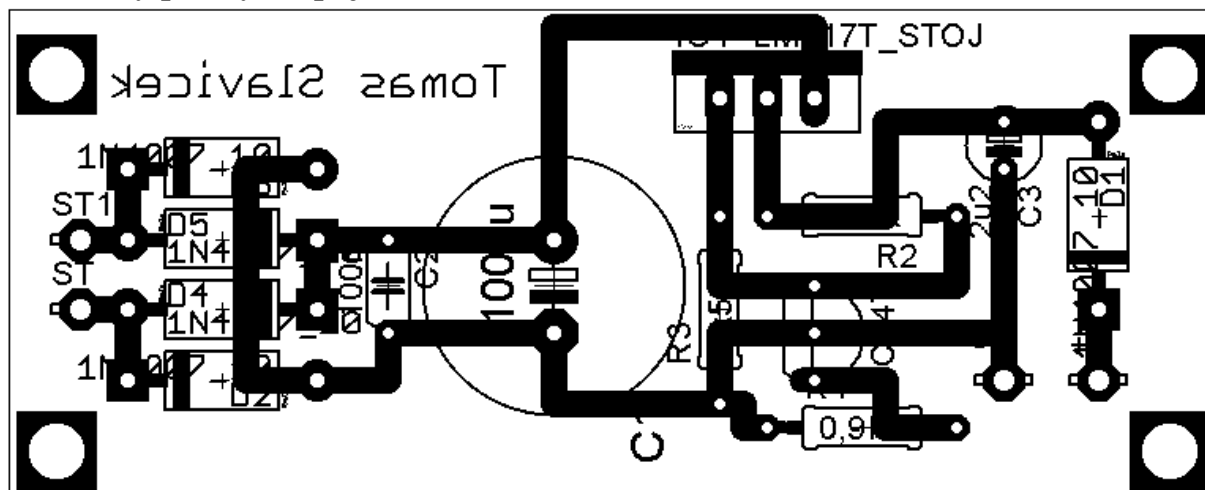
Název	Hodnota	Pouzdro	Poznámky
R1	10K	O207	Rezistor
R2	1K	O207	Rezistor
R3	470	O207	Rezistor
R4	180K	O207	Rezistor
R6	220K	O207	Rezistor
R7	91K	O207	Rezistor
R8	12K	O207	Rezistor
C3,C4,C5,C6,C7,C8	220 μ F/450V		Akumulační kapacita
C1	47n		Kondenzátor
C2	10 μ		Kondenzátor
T1	BT169	TO92	Tyristor
OK1	4N35		Optočlen
D1	UF4007		Usměrňovací dioda
L1	TC-6		Zapalovací transformátor

Tab. 8: Rozpis součástek pro jeden obvod výbojky

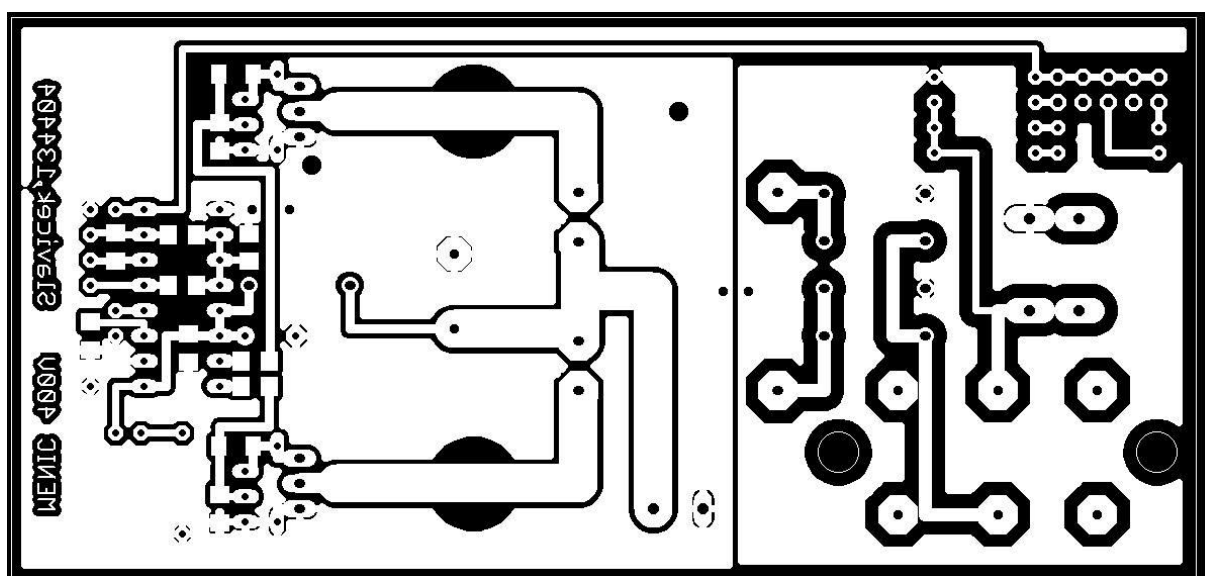
Název	Hodnota	Pouzdro	Poznámky
R1,R5,R6,R8,R9,R12	4k7	O207	Rezistor
R2,	12k	O207	Rezistor
R3,R4	470Ω	O207	Rezistor
R15,R16	47Ω	O207	Rezistor
R11	390k	O207	Rezistor
R13	82k	O207	Rezistor
R10	330k	O207	Rezistor
R7	10k	O207	Rezistor
R14	82k	O207	Rezistor
C1,C9	4n7		Kondenzátor
C2	47n		Kondenzátor
C3	2200u		Kondenzátor
C5	47u		Kondenzátor
C6	100n		Kondenzátor
C7	1n		Kondenzátor
C8	100p		Kondenzátor
D1,D2	ZD15V		Zenerova dioda
D3,D4,D5,D6,D8	UF4007		Usměrňovací dioda
D7	MBR3045PT		Dioda
D9,D10	BAT46		Dioda
L1	16mH	ETD 2910	Tlumivka
LED1	GREEN		LED
Q1,Q2	IRFZ44N		Spínací tranzistor
Q3,Q4	BC327-40	TO92	Tranzistor
IC1	TL494	DIL 16	Budicí obvod
TR2	1z/50z	ETD 34	Transformátor

Tab. 9: Rozpis součástek pro DC – DC měnič napětí

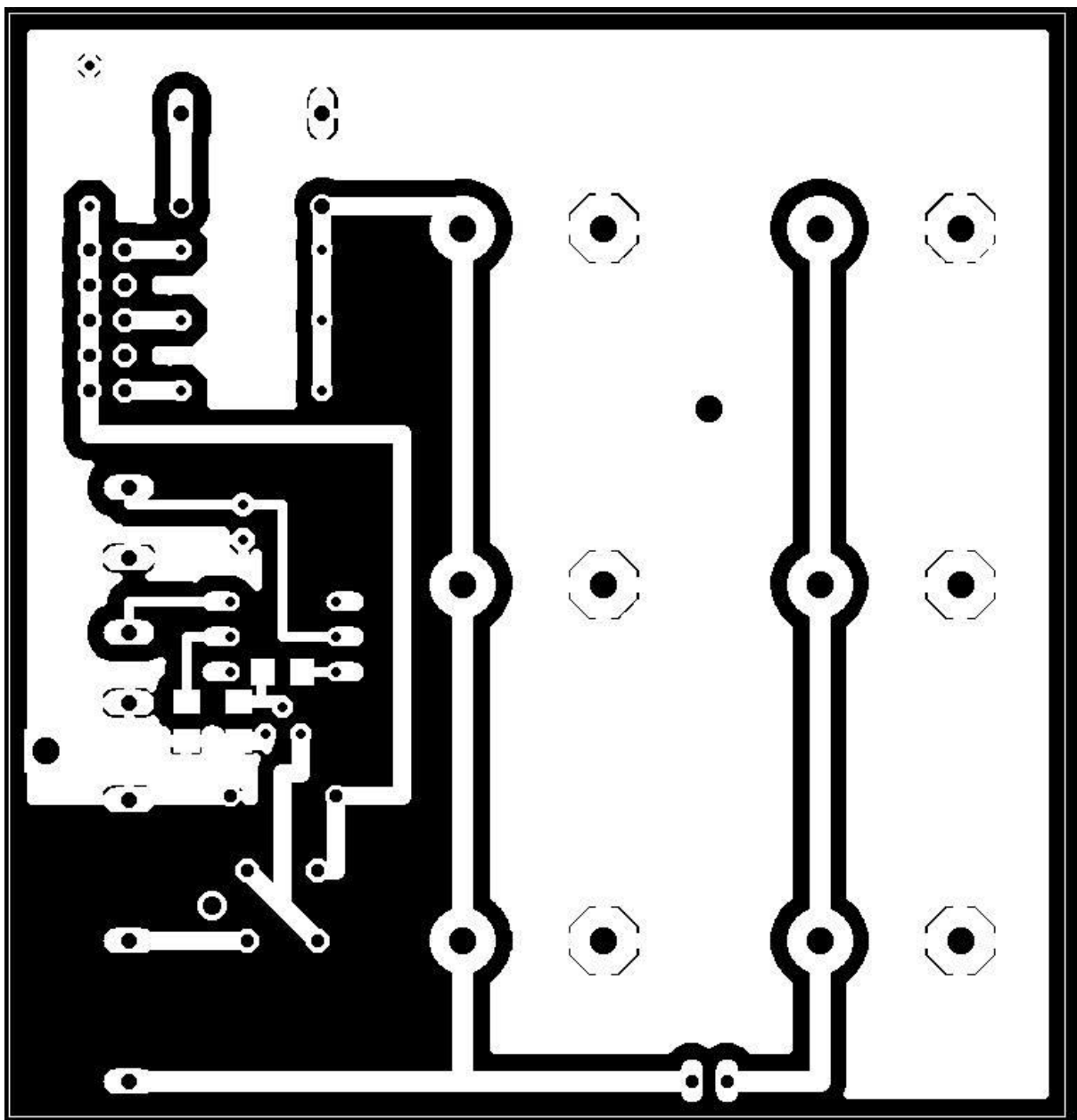
5.2. Desky plošných spojů



obr. 23: Deska plošného spoje nabíjecího obvodu



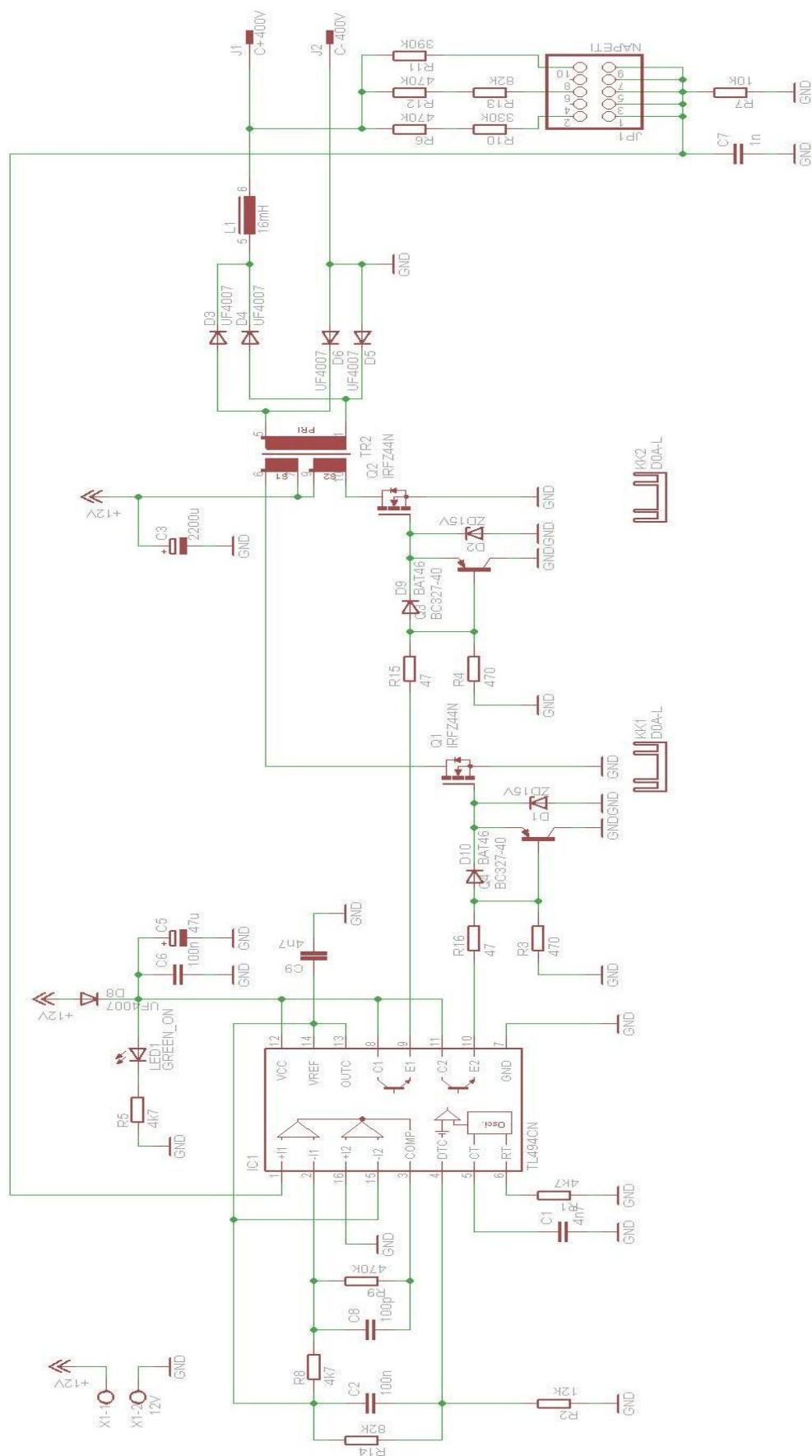
obr. 24: Deska plošného spoje DC-DC měniče



obr. 25: Deska plošného spoje obvodu jedné výbojky

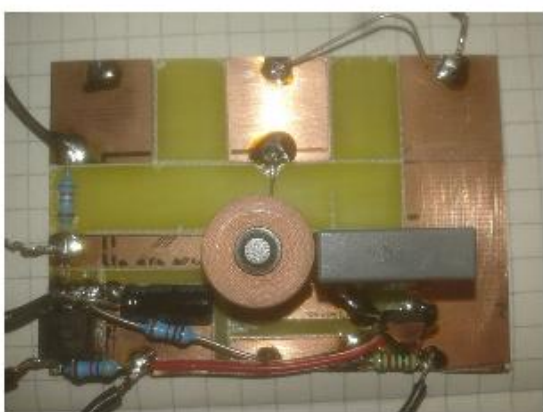
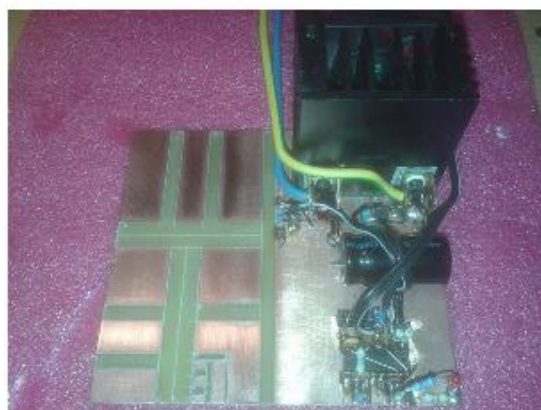
5.3. Obsah DVD

- Bakalářská práce ve formátu .pdf
- Katalogové listy součástek
- Obrazová dokumentace (elektronická schémata a desky plošných spojů)
- Fotodokumentace

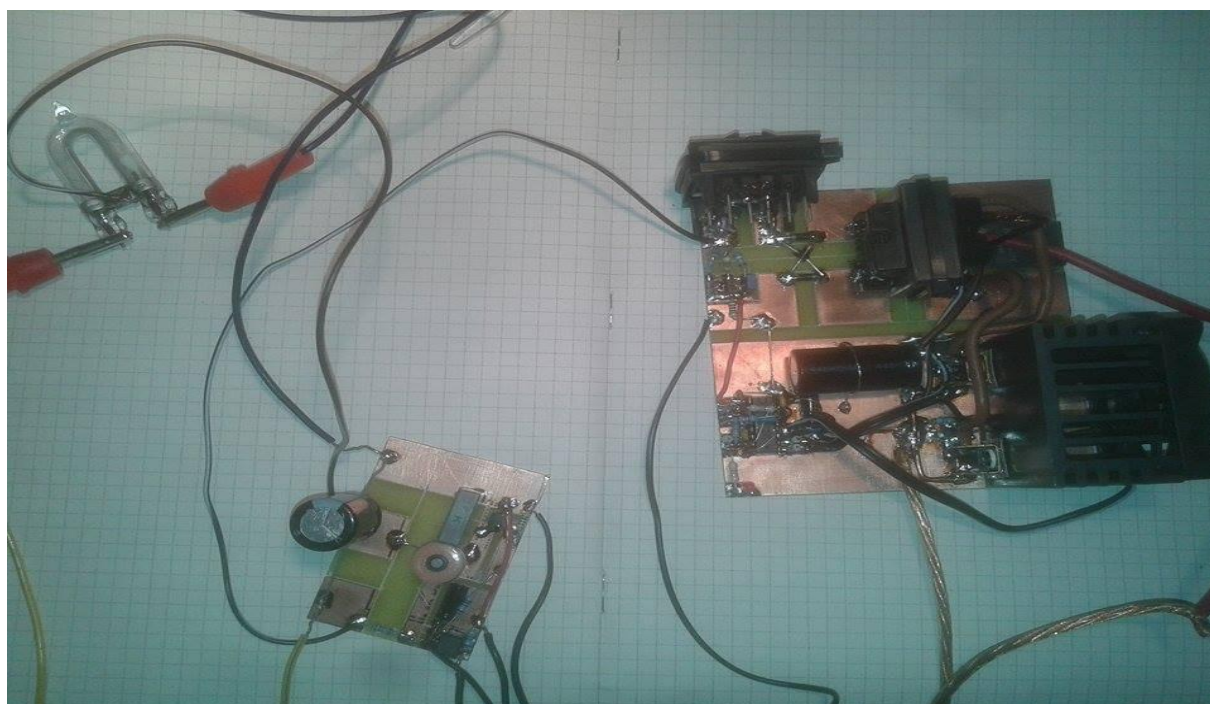


obr. 26: Schéma zapojení DC-DC měniče v plném rozlišení

6. Fotodokumentace



obr. 27: Ilustrační fotografie ze stavby zábleskové jednotky



obr. 28: Záblesková jednotka s výbojkou IFK-120

7. ZÁVĚR

V bakalářské práci na téma výkonová záblesková jednotka pro fotografii je popsán návrh zábleskové jednotky se zadanými parametry.

V teoretickém úvodu je pojednáno o úvodu do problematiky zábleskové jednotky. Věnujeme se zde také měničům napětí, problematice regulování výkonů u zábleskových jednotek a možné synchronizaci zábleskové jednotky s fotoaparátem.

V bakalářské práci jsme navrhli, sestavili a změřili DC –DC měnič napětí s možností regulace výstupního napětí o pevných hodnotách napětí ($U=400,282,200V$), který je základním stavebním prvkem zábleskové jednotky. DC – DC měnič napětí bez problému fungoval a na výstupu bylo dosaženo požadovaných výstupních napětí. Klidový odběr DC – DC měniče napětí je v rozmezí od 130 až 150mA v závislosti na výstupním napětí. Změřená účinnost DC-DC měniče napětí je 80,9%. Měnič napětí má výstupní výkon 100W. Měnič napětí je opatřen chladičem, aby nedošlo ke spálení spínacích tranzistorů IRFZ44N. Měnič napětí funguje na pracovní frekvenci 25kHz pomocí transformátoru s feritovým jádrem dosahuje poměrně malých rozměrů. Jako řídicí obvod jsme vybrali integrovaný obvod TL494, který se používá mj. také v počítačových zdrojích.

Záblesková jednotka je napájena z akumulátoru. Jako akumulátor jsme vybrali olověný akumulátor s výstupním napětím 12V a kapacitou 7,5Ah. Záblesková jednotka je doplněna o nabíjecí obvod pro tento akumulátor od značky MOTOMA. Nabíjecí obvod je tvořen obvod LM 317.

Dalším navrženým a sestaveným obvodem je obvod výbojky. Záblesková jednotka pro maximální výkon 400J sestává ze čtyř výbojek IFK – 120. Pro demonstraci funkčnosti jsme v bakalářské práci sestavili pouze obvod s jednou výbojkou IFK – 120, který má maximální zábleskový výkon 100J. Záblesková jednotka je zcela funkční jak dokazuje *obr. 22*.

Pro odpálení záblesku využíváme optočlen 4N35, který nám zároveň odděluje výstup z fotoaparátu od vysokého napětí, které by mohlo fotoaparát výrazně poškodit ne-li zničit. Optočlen 4N35 spíná tyristor BT 169D, který je připojen na zapalovací transformátor. Přivedením napětí z fotoaparátu na optočlen 4N35 je zařízení uvedeno do chodu. Další možností odpálení zábleskové jednotky je pomocí tlačítka S_{1_TEST} , které prakticky zkratuje optočlen a dojde k odpálení výbojky/výbojek.

Synchronizace zábleskové jednotky může být provedena pomocí 3,5 mm mono jack, který se běžně používá k synchronizaci blesku s fotoaparátem. Na „živý vodič“ je přiveden signál z fotoaparátu a ten je propojen s optočlenem 4N35. Na společnou zem je přivedena záporná polarita z fotoaparátu a ta je připojena na zemnicí svorku optočlenu 4N35.

Veškeré navržené obvody jsou doplněny dokumentací. Dokumentace je tvořena elektronickými schématy, deskami plošných spojů, osazovacími plány a rozpiskami součástek. Jako software jsme používali program EAGLE. Přiložené médium obsahuje

Eagle soubory s příponami .sch a .brd, fotodokumentaci a katalogové listy vybraných součástek.

Za největší nevýhodu zábleskové jednotky považuji interval mezi záblesky, který je kvůli zvolené výbojce IFK – 120 deset vteřin, což v praxi znamená, že musíme mezi záblesky deset vteřin počkat než je výbojka schopná dalšího záblesku. Další nevýhodou je řízení zábleskové jednotky resp. přepínání výkonů zábleskové jednotky, kdy při každé změně výkonové hodnoty zábleskové jednotky musíme stisknout odpalovací tlačítko S_{1_TEST} . Je to způsobeno tím, že akumulární kondenzátory zůstávají stále nabitě na předešlou výkonovou hodnotu.

Navržená záblesková jednotka je zcela funkční. Při spuštění obvodu výbojky optočlenem 4N35 dojde na výbojce IFK-120 ke krátkému, ale silnému výboji (záblesku).

8. LITERATURA

- [1] KREJČÍŘÍK, Alexandr. *Napájecí zdroje I: Základní zapojení analogových a spínaných napájecích zdrojů*. 2. vyd. Praha: BEN, 1997, 341 s. ISBN 80-860-5602-3.
- [2] KREJČÍŘÍK, Alexandr. *Napájecí zdroje: Základní zapojení analogových a spínaných napájecích zdrojů*. 2. vyd. Praha: BEN, 1997, 351 s. ISBN 80-860-5603-1.
- [3] FAKTOR, Zdeněk. *Transformátory a tlumivky pro spínané napájecí zdroje*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2002, 243 s. ISBN 80-860-5691-0.
- [4] KREJČÍŘÍK, Alexandr. *DC/DC měniče*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2001, 243 s. ISBN 80-730-0045-8.
- [5] ETD34. In: [online]. [cit. 2014-08-08]. Dostupné z: <http://www.tme.eu/cz/Document/ffa23820bae03926d5e1625a2d5cf5be/etd34.pdf>
- [6] *Datasheet akumulátoru* [online]. [cit. 2014-05-5]. Dostupné z: <http://sa.tipa.eu/datasheet/04250141-datasheet-en.pdf>
- [7] *TC - 6* [online]. [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: <http://www.ges.cz/cz/tc-6-GES05114318.html>
- [8] *Datasheet 4N35* [online]. [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/523/006/4n35-datasheet-3.pdf>
- [9] *Datasheet LM 317* [online]. [cit. 2014-05-5]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/331/004/lm317t-datasheet-1.pdf>
- [10] *Datasheet BT 169* [online]. [cit. 2014-05-5]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/225/120/bt169d-datasheet-1.pdf>
- [11] UF4007. In: [online]. [cit. 2014-08-22]. Dostupné z: http://www.ges.cz/sheets/u/uf40xx_dio.pdf
- [12] NOVOTNÝ, Vlastislav. *Napájení elektronických zařízení: přednášky*. 1. vyd. Brno: VUT FEKT, 2003, 140 s. ISBN 80-214-2300-5.
- [13] DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice elektroniky*. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 342 s. ISBN 80-730-0146-2.
- [14] TL 494. In: [online]. [cit. 2014-08-11]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/322/001/tl494-datasheet-1.pdf>
- [15] *IRFZ44N* [online]. [cit. 2014-08-12]. Dostupné z: <http://www.ges.cz/sheets/i/irfz44n.pdf>

- [16] ETD2910. In: [online]. [cit. 2014-08-18]. Dostupné z:
http://www.semic.cz/_obchody/semic.obchodak.net/prilohy/1984/lj-etd2910-cf138-g-0.20-cf-zn.vyrobce-cf138-etd291-64a8c8.pdf
- [17] Akumulatory. In: [online]. [cit. 2014-08-10]. Dostupné z:
<http://mve.energetika.cz/sikovneruce/akumulator.htm>

