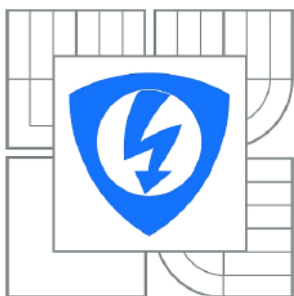




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

VÝKONOVÁ ZÁBLESKOVÁ BATERIOVÁ JEDNOTKA PRO FOTOGRAFII

PHOTOGRAPHIC BATTERY FLASH UNIT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

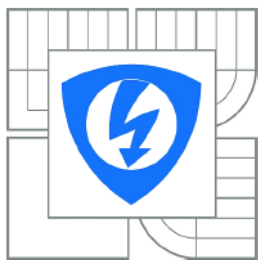
JAKUB DAŠOVSKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAROMÍR KOLOUCH, CSc.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Jakub Dašovský

ID: 158116

Ročník: 3

Akademický rok: 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Výkonová záblesková bateriová jednotka pro fotografii

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte výkonovou bateriovou zábleskovou jednotku (blesk) pro fotografické účely. Jednotka bude napájena z akumulátorů a bude obsahovat i nabíjecí obvod. Jednotku navrhněte pro maximální zábleskovou energii cca 400Ws s možností snížení na 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 a 1/64. Synchronizace s fotoaparátem bude provedena pomocí klasického drátového připojení závěrky. Navrženou jednotku realizujte a kompletně ověřte její funkčnost.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] KREJČIŘÍK, A. Napájecí zdroje 1. díl. Praha: BEN, 2002.
- [2] MANN, B. C pro mikrokontroléry. Praha: BEN, 2003.

Termín zadání: 9.2.2015

Termín odevzdání: 28.5.2015

Vedoucí práce: doc. Ing. Jaromír Kolouch, CSc.

Konzultanti bakalářské práce: Ing. Ondřej Pavelka, Honeywell

doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.
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 následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem zábleskové jednotky s maximální energií záblesku 400 Ws. Regulace je prováděna délkou záblesku. Jako zdroj energie jsou použity Li-Ion články o celkovém napětí 21 V a kapacitou 5200 mAh. Součástí této práce jsou obvody, které zajišťují regulaci výkonu výbojky délkou impulzu, napájení, změnu velikosti stejnosměrného napětí (měnič), nabíjení a hlídání minimálního napětí článků.

KLÍČOVÁ SLOVA

záblesková jednotka, Li-Ion, výbojka, regulace, nabíječka, MAX1640, LT3751

ABSTRACT

The main subject of this bachelor thesis is the design of a flash unit with a maximum output performance of 400Ws. Regulation is performed by the length of flash. The source of energy used is generated by Li-Ion cells with a total voltage of 21 V and capacity of 5200 mAh. Part of this design include circuits that provide power control to the flash tube, the resizing of the DC voltage (changing), the charging and monitoring of the minimum battery voltage.

KEYWORDS

flash unit, Li-Ion, flash tube, regulation, charger, MAX1640, LT3751

DAŠOVSKÝ, J. *Výkonová záblesková bateriová jednotka pro fotografii*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2014. 27 s., 5 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Jaromír Kolouch, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji 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 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 § 11 a následujících 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.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval konzultantovi panu Ing. Ondřeji Pavelkovi, za klíčové rady při tvorbě bakalářské práce a vedoucímu práce panu doc. Jaromírovi Kolouchovi za pedagogické vedení bakalářské práce.

OBSAH

Seznam obrázků	vii
Seznam tabulek	viii
Úvod	1
1 Teoretický rozbor	2
1 1.1 Záblesková jednotka (blesk).....	2
2 1.2 Směrné číslo	2
3 1.3 Zákon převrácených čtverců	3
4 1.4 Výbojka	4
1.4.1 Popis.....	4
1.4.2 Regulace.....	5
2 Vypracování	6
5 2.1 Blokové schéma	6
6 2.2 Akumulátor.....	7
7 2.3 Nabíjecí obvod	9
8 2.4 Měnič napětí DC/DC.....	11
9 2.5 Regulace	13
2.5.1 Základní princip regulace	13
2.5.2 Regulace energie	15
2.5.3 Generování řídicího impulsu	16
2.5.4 Galvanické oddělení	18
2.5.5 Buzení tranzistoru	19
2.5.6 Zapalovací obvod.....	20
3 Závěr	21
Literatura	22
Přílohy	23

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1:	Zákon převrácených čtverců[3]	3
Obrázek 1.2:	Výbojka pro studiové blesky od společnosti Fomei 200-600Ws [5].....	4
Obrázek 2.1	Blokové schéma celého zapojení	6
Obrázek 2.2	Vybíjecí charakteristika použitých Li-Ion článků s obchodním označením VTC5 (Power Ion 2600) od společnosti Sony, zakoupeno od JETI model. [7]	8
Obrázek 2.3	Schéma zapojení nabíjecího obvodu.....	10
Obrázek 2.4	Principiální schéma zapojení měniče DC/DC	12
Obrázek 2.5	Simulace nabíjení hlavního kondenzátoru s kapacitou 3300 μF z nulového napětí na 500 V proudem 40 A	13
Obrázek 2.6	Princip regulace pomocí délky impulzu (100% energie).....	14
Obrázek 2.7	Princip regulace pomocí délky impulzu (50% energie).....	14
Obrázek 2.8	Schéma přepínače rezistorů pro výsledný odpor R podle tabulky 2.2....	17
Obrázek 2.9	Vnitřní zapojení optočlenu HCPL0600 [13].....	18
Obrázek 2.10	Galvanické oddělení synchronizačního signálu.....	19
Obrázek 2.11	Emitterový sledovač pro buzení IGBT tranzistoru	19
Obrázek 2.12	Principiální schéma zapojení zapalovacího obvodu	20

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.1:	Přehled závislosti maximální vzdálenosti k efektivnímu využití blesku pro ISO 400 a různá směrná čísla s příklady [2].....	3
Tabulka 2.1:	Výhody a nevýhody Lithium-iontových článků[7][JETI - citace]	7
Tabulka 2.2	Přehled vypočtených rezistorů určující délku impulzu monostabilního klopného obvodu s NE555, kde R_x je odpor, který je potřeba připojit do kombinace tak, aby výsledná sériová hodnota všech rezistorů odpovídala celkovému odporu R	16

ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem zábleskové jednotky pro fotografii. Výkon záblesku je možné regulovat z celkové hodnoty maximální energie 400Ws na $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \frac{1}{16}, \frac{1}{32}, \frac{1}{64}$.

Pro maximální energii 400 Ws je hlavní elektrolytický kondenzátor s kapacitou 3300 μ F nabit na napětí 500 V.

Celé zapojení je založeno na nabití hlavního kondenzátoru a vybití do výbojky. Tento kondenzátor je nabíjen přes měnič napětí DC/DC z napětí na akumulátoru (21 V) na hodnotu 500 V. Pro správnou funkci výbojky by mělo stačit napětí kolem 180 – 200 V.

Regulace energie záblesku je prováděna délkou impulzu proudu protékajícím výbojkou. Hlavní myšlenka této regulace spočívá v tom, že se hlavní elektrolytický kondenzátor nestihne vybit celý a tím uvolní jen část energie akumulované v tomto kondenzátoru. Po skončení záblesku se po 100 ms opět začne nabíjet na maximální napětí (500 V). Obvod je napájen deseti Li-Ion články zapojenými sérioparalelně. Akumulátor s celkovým napětím 21 V disponuje kapacitou 5200 mAh a poskytuje trvalý proud 40 A a špičkový proud až 80 A.

1 TEORETICKÝ ROZBOR

V následující části je rozebírána problematika fotografování s bleskem.

1.1 Záblesková jednotka (blesk)

Fotografický blesk (dál jen blesk) je krátkodobý zdroj elektromagnetického záření o vlnové délce viditelného světla, ležícího mezi ultrafialovým a infračerveným (390 - 790 nm), a teplotě cca 5500 K. Tato hodnota zhruba odpovídá teplotě denního světla.

Můžeme si ho představit jako reflektor, který nám osvětluje danou scénu po krátký čas, řádově v jednotkách milisekund až stovkách mikrosekund. Není potřeba, aby svítil po delší dobu, snímač nebo film je stejně po zbytek času zastíněn závěrkou. Hlavní výhodou externího blesku je velký výkon a možnost regulace světelné intenzity dopadající na scénu, například natočením. Ta je definována jako světelný tok na jednotku plochy. Blesk se nepoužívá jen při fotografování, kdy je málo světla, ale i při denním světle. Například když je na scéně hluboké místo nebo stín, kam nedopadá dostatek světla, můžeme si pomoci blesku tuto část přisvítit. [2]

1.2 Směrné číslo

Směrné číslo (angl. Guide Number – GN) je objektivní údaj, který určuje maximální výkon blesku, definovaný pro ISO = 100. Říká nám, v jaké vzdálenosti v metrech je blesk ještě schopen zajistit dostatečné osvětlení a tím i správnou expozici pro clonové číslo 1. Pro vyšší hodnoty clonových čísel se maximální vzdálenost snadno spočítá podle vztahu (1):[2]

$$\text{maximální vzdálenost} = \text{směrné číslo} / \text{clonové číslo} \quad (1.1)$$

Jinými slovy, pokud pro pořizování fotografií používáte kompaktní fotoaparát s automatickým režimem nebo mobilní telefon, se směrným číslem se nesetkáte. Jestliže používáte externí blesk a chcete pořizovat fotografie na vysoké úrovni, je nezbytné znát směrné číslo. Bez tohoto údaje nejste schopni určit, na jaké vzdálenosti má smysl efektivně využít blesk.

Příklad: Blesk se směrným číslem 12 při cloně f/4 a ISO 100 je schopen správně exponovat v maximální vzdálenosti $12/4=3$ metry. Při ISO 200 je schopen správně exponovat do 4,2 metrů ($3*1,4$) a při ISO 400 do 6 metrů.[2]

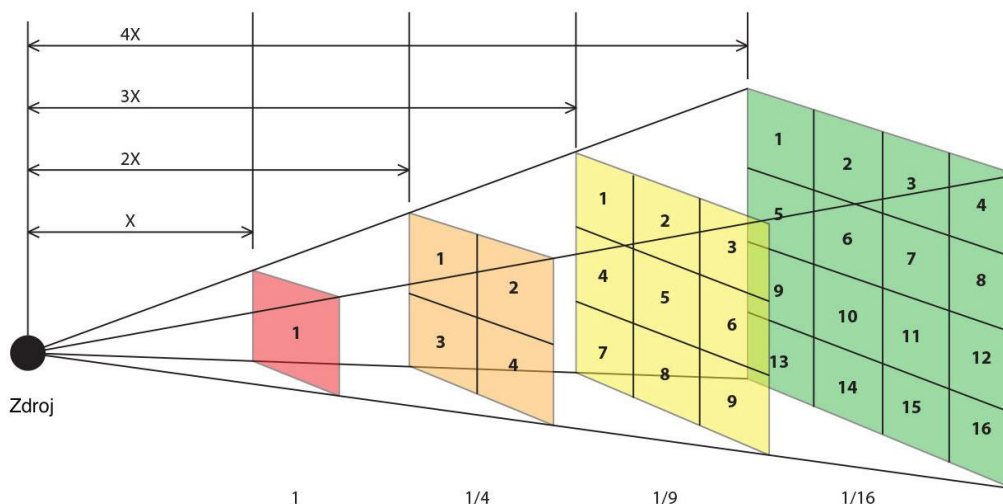
Pro lepší představu jsou v Tabulka 1.1 uvedeny orientační vzdálenosti různých zástupců pro ISO 400 a světelnost objektivu f/4.

Tabulka 1.1: Přehled závislosti maximální vzdálenosti k efektivnímu využití blesku pro ISO 400 a různá směrná čísla s příklady [2]

Zástupce	Typické směrné číslo blesku	Orientační maximální vzdálenost pro ISO 400 a objektiv se světelností f/4 [m]
Malý kompakt	5	2,5
Pokročilý kompakt	8	4
DSLR – interní blesk	12	6
Externí blesk (ohnisko 24 mm)	30	15
Externí blesk (ohnisko 105 mm)	60	30

1.3 Zákon převrácených čtverců

Zákon převrácených čtverců (angl. THE INVERSE SQUARE RULE) říká, že intenzita elektromagnetického záření (tedy i světla) klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje. Je to dáno zvětšující se plochou, na kterou se musí světlo „rozprostít“. Na Obrázek 1.1 vidíme, že při zvětšení vzdálenosti například o 2 se plocha, na kterou dopadá světlo, čtyřikrát zvětší. Z toho vyplývá, že pokud chceme fotit s bleskem na větší vzdálenosti, neobejdeme se bez externího blesku.



Obrázek 1.1: Zákon převrácených čtverců[3]

1.4 Výbojka

1.4.1 Popis

Výbojka je uzavřená trubice naplněná směsí par a plynů. Z vnějšku do ní zasahují dvě nebo více elektrod, které umožňují přívod elektrického proudu do výplně. Proud o vysokém napětí vytvoří při průchodu plynem elektrický oblouk, který emituje světlo.[4] Barva světla a světelná intenzita závisí na plynu, kterým je trubice vyplněna. Výkon výbojky je úměrný napětí přivedenému na elektrody. Podle vztahu (2.11) v kapitole 2.5.1 je možné vypočítat energii na kondenzátoru a tím i energii záblesku. Ta se většinou uvádí ve wattsekundách [Ws], což je jednotka ekvivalentní s Joulem [J]. Nelze tedy mluvit o výkonu, ale energii.

Jak je vidět na Obrázek 1.1, je kolem trubice omotaný drát. Na ten je v okamžik „odpálení“ přivedeno napětí řádově v jednotkách až desítkách kilovoltů. Takovéto napětí nám poskytne zapalovací transformátor z napětí na výbojce. Tak vysoké napětí způsobí, že plyn uvnitř výbojky se ionizuje a stává se vodivým.



Obrázek 1.2: Výbojka pro studiové blesky od společnosti Fomei 200-600Ws [5]

Výkonné výbojky používané pro fotografické účely mají většinou kruhový tvar. U některých modelů blesků je doprostřed výbojky ještě umístěno tzv. pilotní světlo. Má menší výkon (100, 300 - 1000 W v závislosti na modelu) a svítí trvale. Slouží k osvětlení objektu a tím pomáhá fotografovi ve světelné kompozici obrazu. [6]

I přes větší náročnost při návrhu je výbojka nedílnou, v dnešní době zatím nenahraditelnou a cenově dostupnou, součástí studiových blesků kvůli své vysoké vyzářené energii světla. V dnešní době se začíná prosazovat technologie zdrojů světla luminiscenčními diodami (tzv. LED). I při velkém vývojovém pokroku jsou tyto výkonné čipy drahé a zatím nedisponují takovými světelnými výkony jako výbojka.

1.4.2 Regulace

Výkon záblesku se dá regulovat třemi základními principy.

Protože je energie vyzářená výbojkou závislá na čase, je čas jedním z parametrů, který můžeme ovlivnit. Například pokud se kondenzátor vybíjí určitý čas a my ho v polovině odpojíme, kondenzátor se nestihne vybit celý. Tím je na výbojku přivedena menší část energie a tím se sníží vyzářený výkon.

Podle vztahu (1.2) je zřejmé, že výsledná energie W se dá regulovat napětím U . Energie se zvětšuje s druhou mocninou napětí. Tato regulace je možná jen na určitou úroveň minimální energie. Výbojka pro svou správnou činnost potřebuje minimální napětí 180V. V našem případě tato regulace není možná. Pro energii 400 Ws je potřeba kondenzátor s kapacitou 3,3 mF, tomu odpovídá napětí 61,55 V při energii 6,25 Ws podle vztahu (1.2). Výpočet potřebného napětí pro 6,25 Ws:

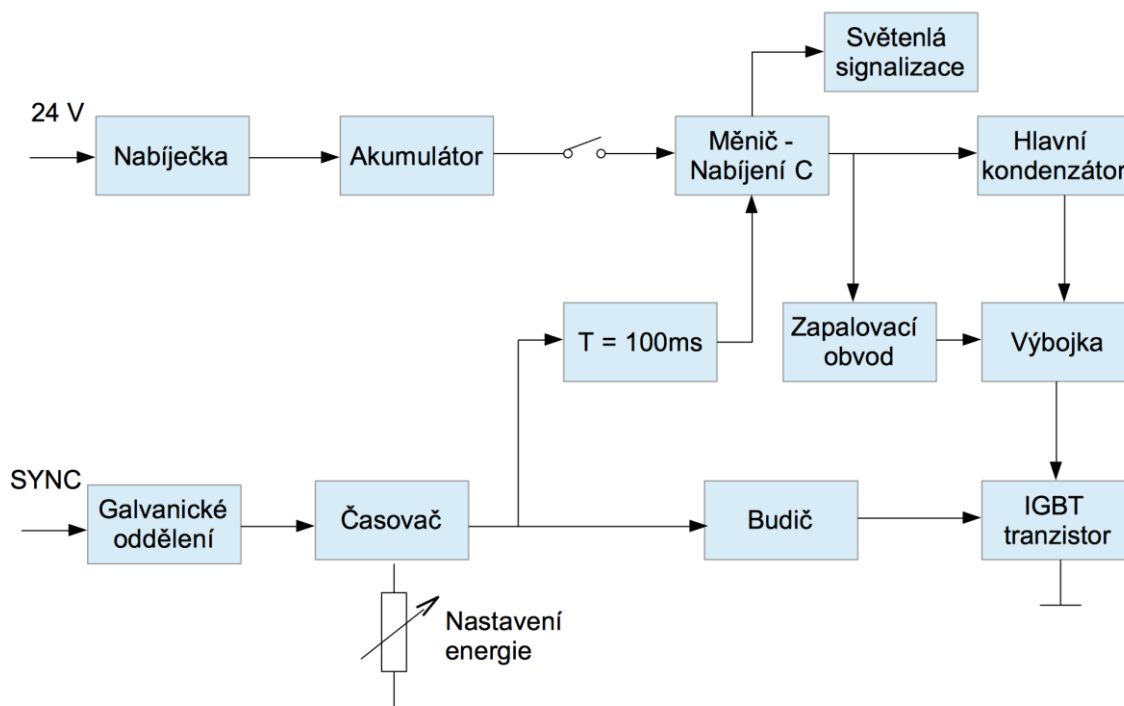
$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 \Rightarrow U = \sqrt{\frac{2 \cdot W}{C}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,25}{7,6 \cdot 10^{-3}}} = 61,55 \text{ V}, \quad (1.2)$$

kde U je napětí na kondenzátoru [V], W je energie záblesku [Ws] a C je kapacita kondenzátoru [F]. Jak bylo řečeno, minimální napětí potřebné pro výboj je 180 V a proto je tato metoda regulace nevhodná. Řešením je zkombinovat regulaci napětím s délkou impulzu. Pro malé energie záblesku snížit napětí na kondenzátoru a zároveň zkrátit délku impulzu. Z toho vyplývá, že by bylo potřeba více různých napětí. To obnáší složitější měnič (více výstupních napětí).

Jak již bylo naznačeno, další možností regulace záblesku je změna kapacity hlavního kondenzátoru. Výhodou je, že si vystačíme s jedním napětím, ale velkou nevýhodou je větší množství kondenzátorů, které při svých kapacitách a napětích mají větší rozměry. Jsou i dražší, řádově stovky až tisíce korun. Dále je tu problém, jak přepínat kondenzátory. Napětí 500 V vyžaduje opatrnější zacházení než 21 V, hrozí zde nebezpečí úrazu elektrickým proudem. Za druhé se kondenzátor vybíjí téměř do zkratu (odpor výbojky v ionizovaném stavu se blíží k nule). Z Ohmova zákona vyplývá, že proud při téměř nulovém odporu jde limitně k nekonečnu. Toto je pouze teoretický předpoklad, který zanedbává parazitní vlastnosti veškerých součástek, vodičů a spojů v cestě tohoto proudu. Je ale jasné, že proud z kondenzátoru bude odpovídat desítkám ampér.

2 VYPRACOVÁNÍ

2.1 Blokové schéma



Obrázek 2.1 Blokové schéma celého zapojení

Celé zařízení je napájeno externím 24 V zdrojem. Přes nabíječku se nabíjí akumulátor, který dále napájí měnič a veškerou řídicí elektroniku. Zapalovací obvod je spínán společně s výbojkou. IGBT tranzistor spíná proud protékající výbojkou a zapalovacím obvodem z hlavního kondenzátoru.

Nastavení výstupní energie světla, je zajištěno pomocí otočného přepínače, který přepíná rezistory u časovače. Detailnější popis regulace je popsán dále.

2.2 Akumulátor

Jako akumulátor bylo zvoleno 10 Lithium-Iontových článků v sestavě 5S2P (pět článků v sérii a dvě tyto větve paralelně). Parametry jednoho článku jsou 4,2 V/2600 mAh. Akumulátor tedy bude mít parametry:

$$U = 5 \cdot 4,2 = 21 \text{ V} \quad (2.1)$$

$$C_{\text{aku}} = 2 \cdot 2,6 = 5,2 \text{ Ah}, \quad (2.2)$$

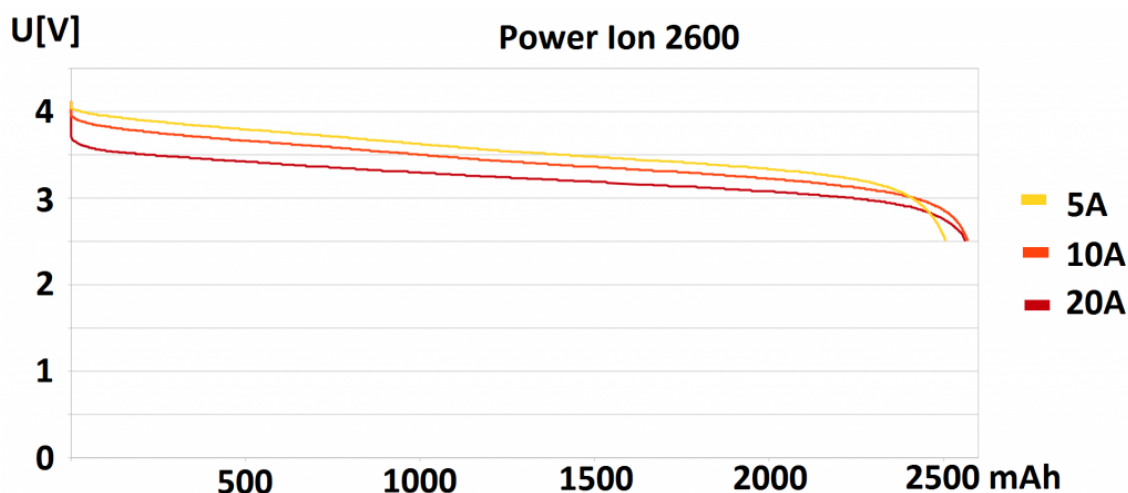
kde U odpovídá celkovému napětí nabitého akumulátoru [V] a C_{aku} je celková kapacita akumulátoru [Ah]. Z Tabulky 2.1 je vidět, že výhody Li-Ion článků jsou nesporné. Li-Ion články byly i přes vyšší cenu zvoleny především kvůli tomu, že se jednotlivé články nemusejí balancovat. To znamená, že nemusíme hlídat napětí každého článku v sadě zvlášť a to při nabíjení i vybíjení. Dále kvůli velkému proudu, který nám články nabízejí a celkové pohodlnosti při používání.

Tabulka 2.1: Výhody a nevýhody Lithium-iontových článků [7]

Výhody	Nevýhody
Není třeba balancovat články v sadě	Nutná ochrana před úplným vybitím
Dobrá poměr váha/kapacita	Větší vnitřní odpor než NiCd
Velké napětí 4,2V	Vyšší cena
Velmi malé samovybíjení	Větší zvlnění vybíjecí charakteristiky
Velký vybíjecí proud 20A , špička 40A	-
Žádný paměťový efekt	-
Jednoduché nabíjení	-
Vysoká životnost	-
Mechanická odolnost	-
Velká kapacita	-
Žádná údržba, uživatelsky velmi příjemné	-

Celkové napětí akumulátoru bylo zvoleno na 21 V z důvodu napájení obvodu LT3751, který je hlavním prvkem při přeměně elektrického napětí na vyšší hodnotu z 21 V DC na 500 V DC. Tento obvod má maximální napájecí napětí 25 V. Při šesti článcích řazených do série by výsledné napětí bylo 25,2 V, což už je větší napětí než maximální povolené. Většina integrovaných obvodů, které se používají pro nabíjení, mají také limitní napětí okolo 24 – 25 V. Z těchto důvodů bylo zvoleno pět článků zařazených do série. Velikost napájecího napětí obvodu LT3751 je jedním z hlavních kritérií určující dobu nabíjení hlavního kondenzátoru. Při snížení napájecího napětí z 25 V na 21 V odpovídá tato změna zvýšení doby nabíjení o 0,1 s z 0 V na 500 V. Tato změna je zanedbatelná.

Dvě pětičládkové větve spojené paralelně byly zvoleny za účelem zvýšení kapacity akumulátoru (tím i delší doby provozu na baterie) a možnosti většího proudu odebíraného z akumulátoru. Z Tabulka 2.1 a vzorce (2.2) je zřejmé, že takto poskládaný akumulátor nám poskytne trvalý proud o hodnotě 40 A a špičkový proud o hodnotě 80 A. V případě zapojení, ve kterém bude akumulátor použit, je to dostačující.



Obrázek 2.2 Vybíjecí charakteristika použitých Li-Ion článků s obchodním označením VTC5 (Power Ion 2600) od společnosti Sony, zakoupeno od JETI model. [7]

2.3 Nabíjecí obvod

Nabíjecí obvod zajišťuje potřebný nabíjecí proud pro akumulátor. Hlavním prvkem nabíjecího obvodu je integrovaný obvod MAX1640, od společnosti Maxim Integrated, v šestnáctivývodovém SMD pouzdře QSOP (angl. 16-Pin QSOP Package).

Tento obvod je napájen ze síťového 24 V zdroje, který je jištěn trubičkovou pomalou pojistkou s maximálním proudem 3 A umístěnou v panelovém pouzdře. Proud, kterým jsou nabíjeny Li-Ion články, je 2A, takže zdroj musí mít minimální proudovou zatížitelnost alespoň 2,5 A (zdroj byl zvolen 24 V/ 2,7 A [8]).

Jak bylo řečeno v kapitole 2.2, akumulátor má celkové napětí 21 V. Pro tohle napětí se vypočítají hodnoty součástek pro nabíječku podle katalogového listu obvodu MAX1640 [9]

Dělič R_3 , R_4 vypočítáme podle vztahu (2.3), kde R_4 zvolíme 22 k Ω , V_{OUT} je výstupní napětí (nabíjecí), $V_{TERM} = 2$ V a R_3 dopočítáme. Hodnotu napětí V_{OUT} zvolíme o něco menší kvůli toleranci rezistorů (1%) a toleranci referenčního napětí 2 V. Nabížený Li-Ion článek má napětí 4,2 V, článků máme 5 v sérii. Napětí zvolíme 4,18 V na článek.

$$R_3 = R_4 \left(\frac{V_{OUT}}{V_{TERM}} - 1 \right) = 22 \cdot 10^3 \left(\frac{4,18 \cdot 5}{2} - 1 \right) = 207,9 \text{ k}\Omega \quad (2.3)$$

Protože tento dělič určuje napětí, na které se nabije akumulátor, je důležité, aby byla hodnota co možná nejpřesnější. Pro dosažení co nejpřesnějšího výsledného odporu R_4 spojíme dva rezistory s hodnotami 330 k Ω a 560 k Ω . Výsledný odpor bude 207,64 k Ω (s chybou pouze -0,12%). Tlumivku určíme z rozsahu, který vypočítáme. Minimální hodnotu indukčnosti L_{MIN} [H] vypočteme ze vzorce (2.4) a maximální hodnotu indukčnosti L_{MAX} [H] ze vzorce (2.5), kde V_{OUTMAX} je maximální požadované napětí na výstupu a I_R je nabíjecí proud.

$$L_{MIN} = \frac{V_{OUTMAX} \cdot 1 \mu s}{I_R} = \frac{21 \cdot 1 \cdot 10^{-6}}{2} = 10,5 \mu H \quad (2.4)$$

$$L_{MAX} = \frac{V_{OUTMAX} \cdot 10 \mu s}{I_R} = \frac{21 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}{2} = 105 \mu H \quad (2.5)$$

Hodnota indukčnosti tlumivky byla zvolena 47 μ H s proudovou zátěží $I_{RMS} = 2,5$ A.[10] Z indukčnosti vypočítáme čas v rozepnutém stavu t_{OFF} podle vzorce (2.6) a čas v sepnutém stavu t_{ON} podle vzorce (2.7).

$$t_{OFF} = \frac{L \cdot I_R}{V_{OUTMAX}} = \frac{47 \cdot 10^{-6} \cdot 2}{21} = 4,48 \mu s \quad (2.6)$$

$$t_{ON} = \frac{L \cdot I_R}{V_{IN} - V_{OUT}} = \frac{47 \cdot 10^{-6} \cdot 2}{24 - 21} = 31,33 \mu s \quad (2.7)$$

Z těchto vypočtených hodnot můžeme vypočítat celkovou frekvenci spínání f_s [Hz] podle vzorce (2.8).

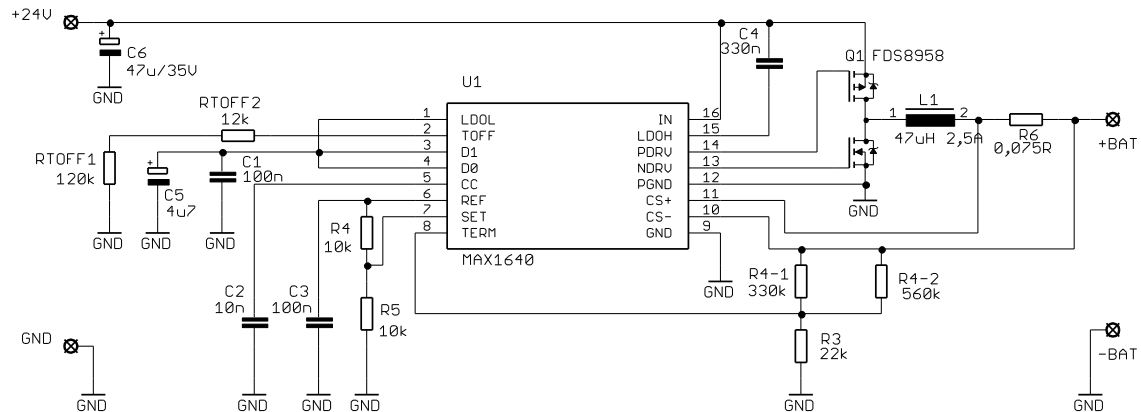
$$f_s = \frac{1}{t_{ON} + t_{OFF}} = \frac{1}{31,33 \cdot 10^{-6} + 4,48 \cdot 10^{-6}} = 27,9 \text{ kHz} \quad (2.8)$$

Frekvence spínání $f_s = 27,9 \text{ kHz}$ je uspokojivá hodnota, nebude slyšet protivné pískání, které můžeme slyšet u starších nebo méně kvalitních produktů, se kterými se poměrně často setkáváme (nabíječky, spínané zdroje apod.). Dále nás zajímá hodnota rezistoru R_{TOFF} [Ω], kterou můžeme vypočítat z času t_{OFF} [s] podle vzorce (2.9).

$$R_{TOFF} = (29,3 \cdot 10^9) \cdot t_{OFF} = 29,3 \cdot 10^9 \cdot 4,48 \cdot 10^{-6} = 131,3 \text{ k}\Omega \quad (2.9)$$

Hodnotu rezistoru zvolíme $R_{TOFF} = 132 \text{ k}\Omega$. Této hodnoty dosáhneme sériovým spojením rezistorů $120 \text{ k}\Omega$ a $12 \text{ k}\Omega$. Malá chyba směrem nahoru nevadí, tlumivka zvládne větší proud.

Rezistory R_1 a R_2 jsou pro funkci, která se v tomto zapojení nepoužívá. Výrobce neuvádí, zda se rezistory musí osazovat či nikoli, ale je zadán rozmezí v jakém mají rezistory být. Proto byly rezistory zvoleny na $10 \text{ k}\Omega$ a připojeny podle katalogového listu, aby nevznikalo například nějaké nežádoucí rozkmitání obvodu či něco podobného. Všechny ostatní součástky byly doplněny podle doporučení katalogového listu.



Obrázek 2.3 Schéma zapojení nabíjecího obvodu

2.4 Měníč napětí DC/DC

Měníč je zařízení, které mění hodnotu napětí (v našem případě z menšího na větší), s poměrně velkou účinností. Obvod se většinou neobejde bez transformátoru.

Řídícím prvkem celého měniče je obvod LT3751, od společnosti Linear Technology, ve dvacetivývodovém SMD pouzdře QFN (angl. 20-Pin QFN Package). Výrobce sice uvádí dvacetivývodové pouzdro, ale ve skutečnosti je spodní strana počítána jako samostatný (jedenadvacátý) vývod, který slouží pro připojení země (GND) a pro chlazení celé součástky. Tento vývod musí být připájen k pájecí plošce, která musí být spojena se zemí a prokovená na více místech z důvodu odvádění tepla z pouzdra součástky. Prokovy musí být „vylité“ cínem, aby dobře odváděly teplo.

Tento obvod je napájen z akumulátoru (21 V) a transformuje ho na vyšší hodnotu napětí (500 V). Hodnoty součástek byly převzaty z katalogového listu [11] a dopočítány tak, aby výstupní napětí odpovídalo 500 V. Výstupní napětí je závislé na rezistoru R_9 (Obrázek 2.3) a lze ho vypočítat pomocí vzorce (2.10),

$$R_9 = 0,98 \cdot n \cdot \frac{40,2 \cdot 10^3}{V_{OUT} + V_{DIODE}} = 0,98 \cdot 10 \cdot \frac{40,2 \cdot 10^3}{500 + 0,7} = 787 \, \Omega \quad (2.10)$$

kde n je převodní poměr transformátoru [-], V_{OUT} je výstupní napětí [V] a V_{DIODE} je napětí na diodě [V]. Rezistor R_5 určuje proud tekoucí primárním vinutím transformátoru. Z toho vyplývá, že ovlivňuje proud tekoucí do kondenzátoru a tím i dobu nabíjení. Hodnota byla zvolena $R_5 = 2,5 \, \text{m}\Omega$, to odpovídá přibližně proudu 40 A. Byl zvolen transformátor GA3460-BL od společnosti Coilcraft pro své malé rozměry (SMD provedení) a dostatečně dimenzovanými parametry. Transformátor má poměr mezi vinutím 1:10 a maximální proudovou zatížitelnost primárního vinutí 50 A. Primární vinutí je vytvořeno paralelním spojením čtyř vinutí [12].

Integrovaný obvod LT3751 má ještě jednu nepostradatelnou funkci při použití Li-Ion článků jako napájení. V Tabulka 2.1 je uvedeno, že se musí hlídat minimální napětí článků, aby nedošlo k úplnému vybití a tím zničení článků. Toto měřené napětí je úměrné odporu rezistoru R_{UVL01} (angl. Undervoltage Lockout). Ze vztahu z katalogového listu obvodu LT3751 (2.11) vyjádříme odpor rezistoru R_{UVL01} [Ω] a dopočítáme pro napětí $U_{UVL01} = 15 \, \text{V}$ (3 V na jeden článek). (2.12)

$$U_{UVL01} = 1,225 + 50 \, \mu\text{A} \cdot R_{UVL01} \quad (2.11)$$

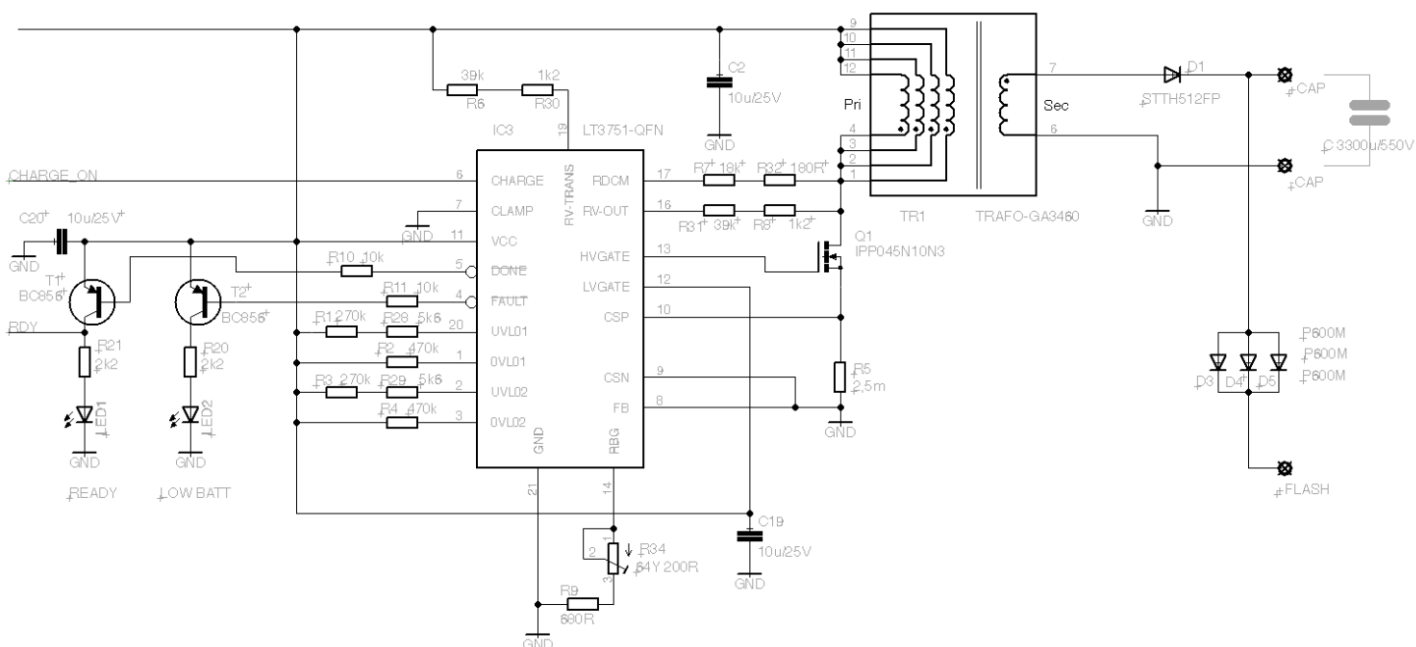
$$R_{UVL01} = \frac{U_{UVL01} - 1,225}{50 \, \mu\text{A}} = \frac{15 - 1,225}{50 \cdot 10^{-6}} = 275,5 \, \text{k}\Omega \quad (2.12)$$

Hodnota byla poskládána sériovým spojením dvou rezistorů o hodnotách 270 k Ω a 5,6 k Ω . Na vývod UVL02 byly připojeny stejné rezistory, obvod umožňuje dvě různá napětí. V tomto zapojení nevyužijeme. Stejně jako minimální napětí umí obvod hlídat i maximální (angl. Overvoltage Lockout). Podle stejné rovnice (2.12) byl určen rezistor $R_{OVL01,2} = 470 \, \text{k}\Omega$, tomu odpovídá hodnota maximálního napětí $U_{OVL01} = 24,725 \, \text{V}$.

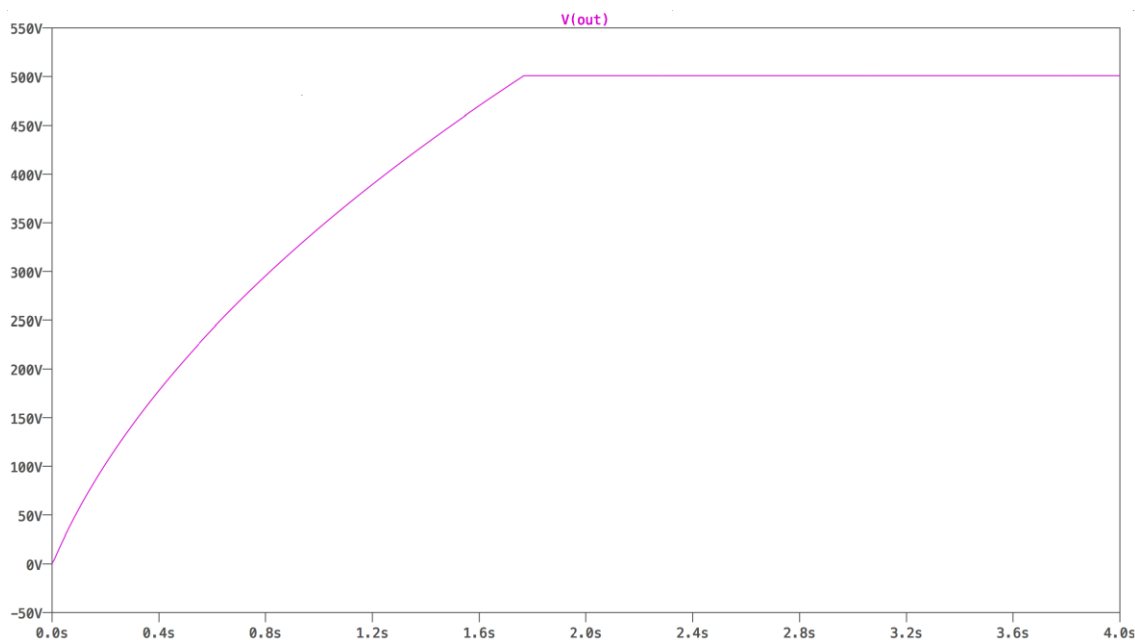
Při zjištění nízkého nebo vysokého napětí (využíváme pro indikaci nízkého napětí) se změní úroveň na negovaném vývodu FAULT a rozsvítí se LED signalizující vybití baterií. V takovém případě se blesk nesmí dále používat a musí se nabít baterie připojením k 24 V zdroji. **V opačném případě hrozí nebezpečí nevratného poškození Li-Ion článků!** Negovaný vývod DONE, změní svou úroveň při nabití hlavního kondenzátoru na 500 V, povolí sepnutí v optočlenu (Viz kapitola 2.5.4 – signál RDY) a rozsvítí se LED signalizující „připraveno.“ Vývod CHARGE, je zpožděn o 100 ms po „odpálení“ výbojky a je řízen časovačem NE555 podobně jako v kapitole 2.5.3. Jinými slovy kondenzátor se začne znovu nabíjet až po 100 ms.

Diody D_3 , D_4 a D_5 jsou v sérii s proudem tekoucím do výbojky z důvodu zamezení zpětného proudu do kondenzátoru. Výbojka při sepnutí vykazuje záporný odpor. Tři paralelně jsou kvůli velikosti proudu protékajícího do výbojky. Dioda D_1 funguje jako „usměrňovač.“

Všechny tyto hodnoty součástek byly odsimulovány v programu LTspice. Na Obrázek 2.5 můžeme vidět výsledek této simulace. Kondenzátor 3,3 mF se nabije z 0 V na 500 V za 1,77 s při napájecím napětí 21 V z akumulátoru. I při nastavení maximální energie záblesku se tento kondenzátor nevybije zcela na nulu. Kolem 80 V se oblouk ve výbojce přeruší (ionizace plynu je nedostatečná), obvod se rozpojí a kondenzátor se přestane vybíjet. Tato hodnota není konstantní, záleží zde na spouště parazitních faktorů, stavu (opotřebení) výbojky, teplotě a podobně. Proto se kondenzátor nebude nabíjet z úplné nuly a tudíž nabíjecí čas bude ještě kratší. Z nuly se bude nabíjet pouze při zapnutí blesku.



Obrázek 2.4 Principiální schéma zapojení měniče DC/DC



Obrázek 2.5 Simulace nabíjení hlavního kondenzátoru s kapacitou 3300 µF z nulového napětí na 500 V proudem 40 A

2.5 Regulace

2.5.1 Základní princip regulace

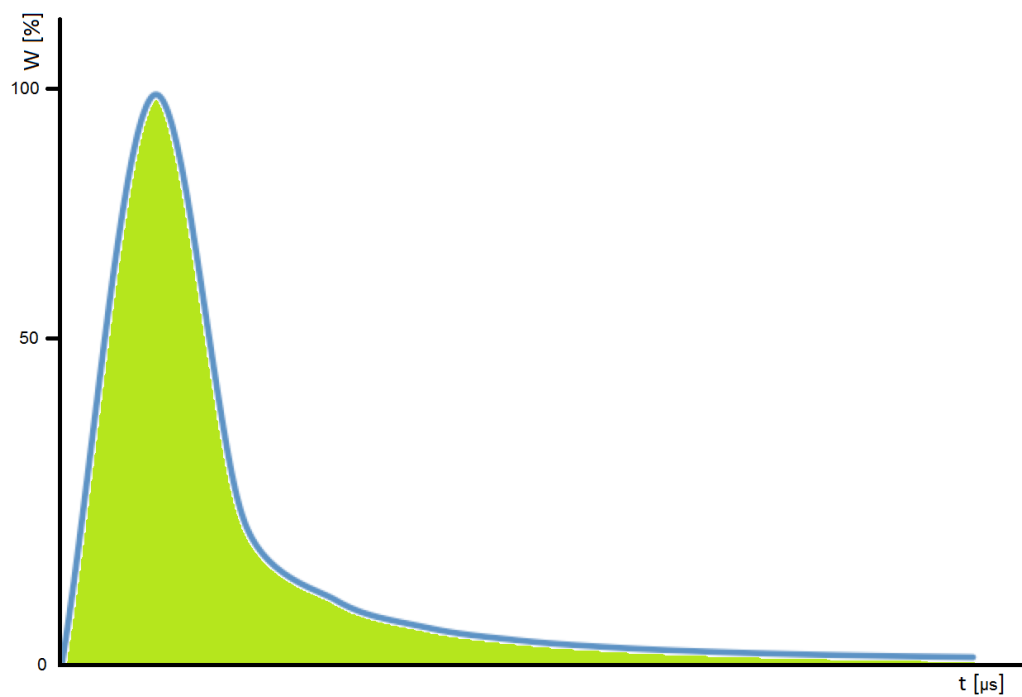
Energie záblesku je závislá na napětí a kapacitě. Je dána vztahem (2.11). Pokud výbojku odpojíme v průběhu vybíjení kondenzátoru, kondenzátor se nestihne vybit celý. To znamená, že se neuvolní veškerá energie, která je v něm akumulovaná a tím se sníží i energie dodaná do výbojky. Výbojka disponuje menší energií a to má za následek snížení vyzářené energie ve formě světla (Viz Obrázek 2.6 a Obrázek 2.7).

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2, \quad (2.11)$$

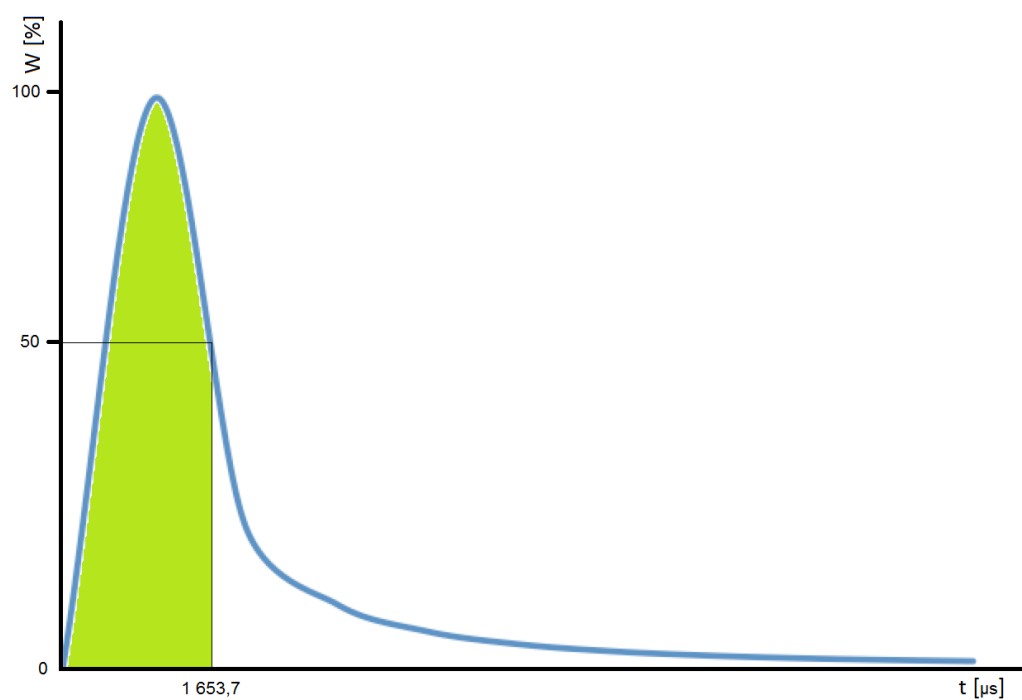
kde W je energie záblesku [Ws], C je kapacita kondenzátoru [F] a U je napětí na kondenzátoru [V]. Ze vztahu (2.12) můžeme vyjádřit kapacitu kondenzátoru potřebnou pro maximální energii 400 Ws při napětí $U = 500$ V, které poskytuje měnič.

$$C = \frac{2 \cdot W}{U^2} = \frac{2 \cdot 400}{500^2} = 3200 \text{ µF} \quad (2.12)$$

Kvůli 20% toleranci kapacity elektrolytického kondenzátoru a neúplnému vybití kondenzátoru při výboji byla zvolena větší hodnota a to 3300 µF na 550 V.



Obrázek 2.6 Princip regulace pomocí délky impulzu (100% energie)



Obrázek 2.7 Princip regulace pomocí délky impulzu (50% energie)

2.5.2 Regulace energie

Pro regulaci pomocí délky impulzu je potřeba vypočítat potřebné časy pro jednotlivé energie. Nejdříve však musíme určit, jaké napětí zůstane na hlavním kondenzátoru 3,3 mF pro dosažení požadované výstupní energie. Jak již bylo řečeno, kondenzátor je nabit na 500 V. Ze vztahu pro vybíjení kondenzátoru přes odpor (2.13) vyjádříme čas, za který se kondenzátor vybije (2.14). Nabíjení a vybíjení kondenzátoru nemá lineární průběh, ale má tvar exponenciály. Při vyjádření času musíme rovnici zlogaritmovat, e (Eulerovo číslo) je základ přirozeného logaritmu $\ln(x)$.

$$u = U \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad (2.13)$$

$$t = -R \cdot C \cdot \ln\left(\frac{u}{U}\right) \quad (2.14)$$

kde t je čas, za který se kondenzátor vybije na určitou hodnotu [s], R je odpor, přes který se bude kondenzátor vybíjet (v tomto případě odpor výbojky v ionizovaném stavu) [Ω], u je napětí v daném čase [V] a U představuje počáteční napětí na kondenzátoru [V] (500 V).

Protože mám k dispozici výbojku neznámých parametrů, odhadl jsem parametry podle rozměrů. Při experimentálním měření s touto výbojkou se mi tyto parametry téměř shodovaly. U výbojek je problém se změnou elektrických parametrů v důsledku opotřebení. To znamená, že nejsou konstantní po celou dobu své životnosti. Pro výpočty jsem hodnotu odporu výbojky v ionizovaném stavu určil 1,5 Ω .

Z rovnice (2.11) si vyjádříme zbytkové napětí [V] vzorec (2.15) a dosadíme příslušné hodnoty. Za C dosadíme kapacitu kondenzátoru [F] a za energii W dosadíme rozdíl energií. V kapitole 2.5.1 byla určena hodnota kapacity 3300 μF , tomu odpovídá celková energie na kondenzátoru 412,5 Ws. Od této hodnoty odečteme požadovanou energii. Tím vypočítáme, na jaké napětí se kondenzátor vybije při uvolnění právě této energie. Pro názornost byla vypočítána hodnota zbytkového napětí pro uvolnění energie 200 Ws. (2.16)

$$U = \sqrt{\frac{2 \cdot W}{C}} \quad (2.15)$$

$$U = \sqrt{\frac{2 \cdot (412,5 - 200)}{3,3 \cdot 10^{-3}}} = 358,9 \text{ V} \quad (2.16)$$

Všechny ostatní hodnoty byly dopočítány stejným způsobem a jsou shrnuty v Tabulka 2.2.

Dosazení hodnot do rovnice (2.14) pro energii 400 Ws (zbytkové napětí na kondenzátoru $u = 87 \text{ V}$ – viz Tabulka 2.2) vidíme v rovnici (2.17):

$$t = -R \cdot C \cdot \ln\left(\frac{u}{U}\right) = -1,5 \cdot 3,3 \cdot 10^{-3} \cdot \ln\left(\frac{87}{500}\right) = 8656,1 \mu\text{s} \quad (2.17)$$

Stejným způsobem byly dopočítány délky impulzů pro ostatní uvolněné energie (zbytková napětí na kondenzátoru). Výsledky jsou shrnuty v Tabulka 2.2. V kapitole 2.4 bylo řečeno, že oblouk ve výbojce se přeruší okolo napětí na kondenzátoru 80 V. Podle rovnice (2.16) pro uvolnění energie 400 Ws zůstane na kondenzátoru 87 V. Z toho můžeme vyvodit závěr, že maximální požadované energii 400 Ws bude dosaženo i při neúplném vybití kondenzátoru.

2.5.3 Generování řídicího impulsu

Jako zdroj řídicího impulsu byl použit časovač NE555, od společnosti Texas Instruments, v osmivývodovém SMD pouzdře SO8 (angl. SOIC8 Package). Obvod byl zapojen jako monostabilní klopný obvod, který generuje impuls v závislosti na hodnotách součástek R a C připojených na vývody 6 a 7. Kondenzátor C byl zvolen na hodnotu 22 nF. Ve výsledném zapojení je použit svitkový kondenzátor, který má lepší teplotní stabilitu než keramický kondenzátor. Ze vzorce (2.18) si vyjádříme odpor rezistoru R [Ω] (vzorec 2.19) a dopočítáme všechny potřebné hodnoty odporů. Veličina t představuje délku trvání impulsu [s].

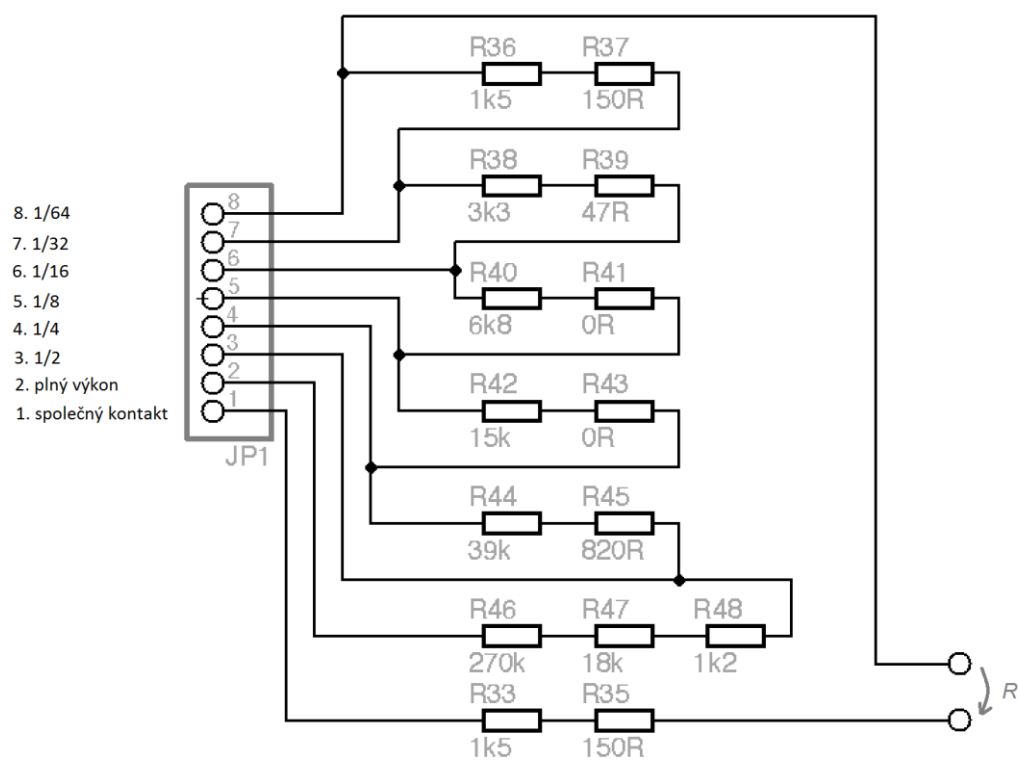
$$t = 1,1 \cdot R \cdot C \quad (2.18)$$

$$R = \frac{t}{1,1 \cdot C} = \frac{8656,1 \cdot 10^{-6}}{1,1 \cdot 22 \cdot 10^{-9}} = 357,7 \text{ k}\Omega \quad (2.19)$$

Stejným způsobem byly vypočítány hodnoty odporů pro ostatní délky trvání impulzů. Celková hodnota odporu byla přepočítána na sériovou kombinaci různých odporů. Sériové kombinace byly napočítány podle zapojení na Obrázek 2.8. Výsledné hodnoty součástek jsou shrnuty v Tabulka 2.2.

Tabulka 2.2 Přehled vypočtených rezistorů určující délku impulsu monostabilního klopného obvodu s NE555, kde R_x je odpor, který je potřeba připojit do kombinace tak, aby výsledná sériová hodnota všech rezistorů odpovídala celkovému odporu R .

Energie [Ws]	Zbytkové napětí [V]	Čas [μ s]	R [k Ω]	R_x [k Ω]	Kombinace v sérii	Skutečná hodnota [k Ω]	Chyba [%]
400	87	8656,1	357,69	289,355	270k + 18k + 1k2	289,2	0,062
200	358	1653,7	68,335	39,847	39k + 820R	39,82	0,099
100	435	689,4	28,488	14,959	15k	15	0,143
50	468	327,4	13,529	6,876	6k8	6,8	0,606
25	484	161	6,653	3,347	3k3 + 47R	3,347	0,089
12,5	492	80	3,306	1,661	1k5 + 150R	1,65	0,175
6,25	496	39,8	1,645	1,645	1k5 + 150R	1,65	-0,327



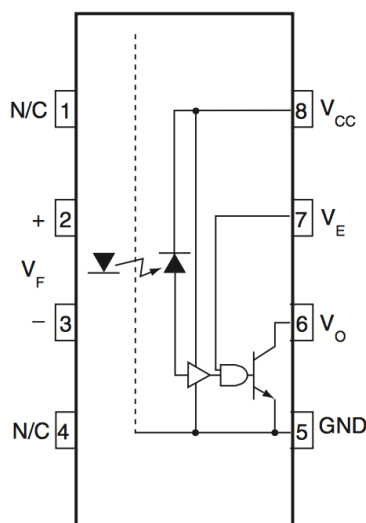
Obrázek 2.8 Schéma přepínače rezistorů pro výsledný odpor R podle tabulky 2.2

2.5.4 Galvanické oddělení

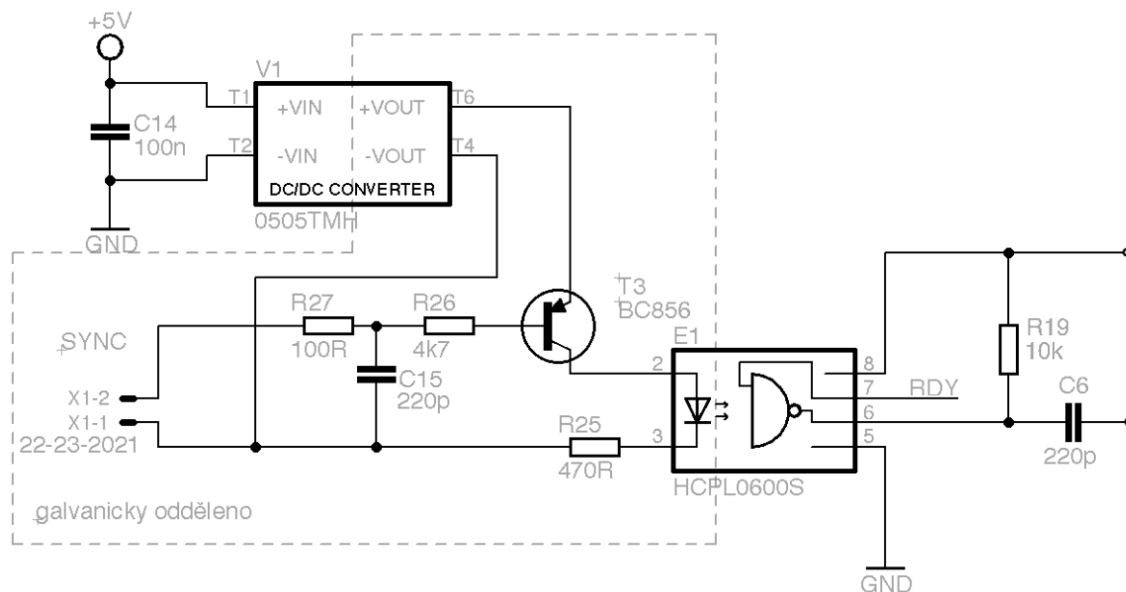
Na řídicí desce plošného spoje se vyskytuje vysoké napětí (500 V). Synchronizace s fotoaparátem, pro spuštění záblesku probíhá drátově a proto je více než vhodné, oddělit tuto část galvanicky. Galvanické oddělení nám znemožní výskyt vysokého napětí na synchronizačních svorkách, tím ochrání elektroniku fotoaparátu i lidský život před nebezpečným napětím.

Optočlen, zajišťující galvanické oddělení, byl použit HCPL0600 s digitálním výstupem v osmivývodovém SMD pouzdře. Jak je vidět na Obrázek 2.9, vývody 2 a 3 jsou vstupní, vývody 6 a 8 výstupní. Výstup je podmíněn úrovní na vývodu 7. Toho je využito při „odpalování“ výbojky. Jak je vidět na Obrázek 2.10 je tento vývod označen zkratkou RDY (angl. Ready). Úroveň signálu RDY ovládá integrovaný obvod LT3751 a je závislá na nabití hlavního kondenzátoru. Jinými slovy pokud je kondenzátor nabit na 500 V, měnič nenabíjí kondenzátor a optočlen umožní spustit časování a následně „odpálit“ výbojku. V opačném případě k tomu nedojde, protože energie záblesku by neodpovídala nastavené energii (na kondenzátoru není dostatečná energie).

DC/DC konvertor na Obrázek 2.10 nemění hodnotu elektrického napětí, ale pouze galvanicky odděluje napájení optočlenu od zbytku obvodu. Kondenzátor C_6 a rezistor R_{19} tvoří derivační článek, který z obdélníkového impulsu vytvoří pouze úzký impuls. Kondenzátor C_{15} a rezistor R_{27} tvoří dolní propust (kvůli vysokofrekvenčnímu rušení a následnému nechtěnému spuštění).



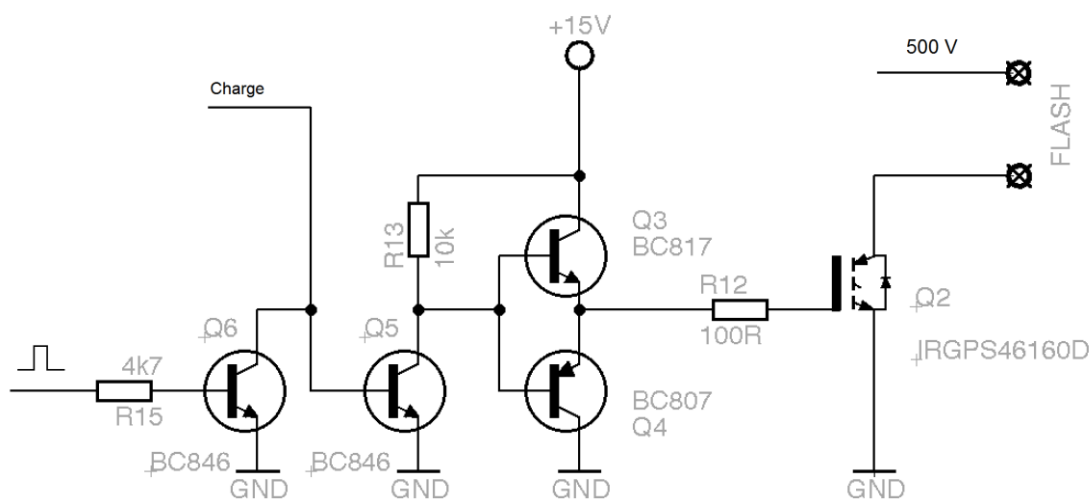
Obrázek 2.9 Vnitřní zapojení optočlenu HCPL0600 [13]



Obrázek 2.10 Galvanické oddělení synchronizačního signálu

2.5.5 Buzení tranzistoru

Spínání proudu tekoucím výbojkou je zajištěno IGBT tranzistorem IRGPS46160DPBF v pouzdře TO-274AA-3 od společnosti International Rectifier. Tranzistor má tyto parametry: napětí mezi kolektorem a emitorem až 600 V a kolektorový proud až 240 A. [14] Pro krátkodobé spínání výbojky jsou tyto parametry dostačující. Tranzistor je spínán 15 V. Kvůli velké kapacitě brány (angl. Gate) je nutno tento tranzistor spínat větším proudem. Z tohoto důvodu je použito zapojení s emitorovým sledovačem, který „zesiluje proud“ a tím snižuje čas, za který se tranzistor sepne. Tranzistory Q_3 a Q_4 tvoří emitorový sledovač a jsou umístěny v jednom pouzdře. Zapojení sledovače s pomocnými tranzistory je vidět na Obrázek 2.11.

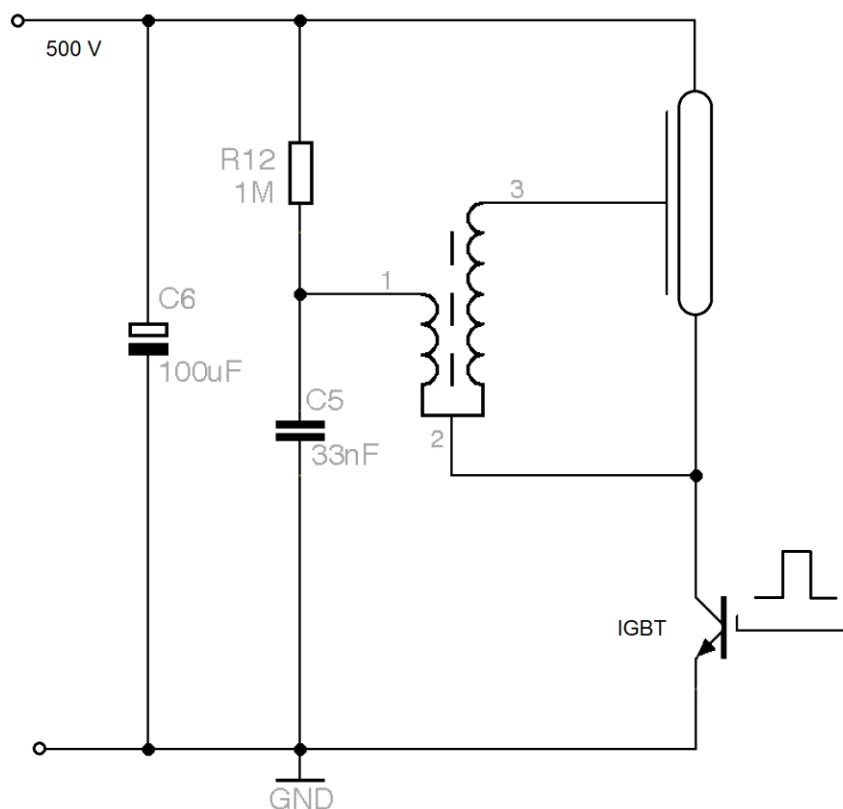


Obrázek 2.11 Emitorový sledovač pro buzení IGBT tranzistoru

2.5.6 Zapalovací obvod

Jak bylo zmíněno v kapitole 1.4.1, výbojka se neobejde bez zapalovacího napětí. Napětí, řádově v kilovoltech [kV], je přivedeno na výbojku, ionizuje plyn uvnitř výbojky a ten se stává vodivým. Vysoké napětí přeměňuje z napětí 500 V (na výbojce) zapalovací transformátor. Principiální schéma zapojení zapalovacího obvodu vidíme na Obrázek 2.12. Ionizace plynu proběhne za kratší dobu (o několik řádů), než je délka „hoření“ plynu ve výbojce a proto může být zapalovací transformátor spínán společně s výbojkou.

Protože mám k dispozici výbojku pro profesionální studiové blesky včetně zapalovacího obvodu, nezabýval jsem se příliš detailně jeho návrhem.



Obrázek 2.12 Principiální schéma zapojení zapalovacího obvodu

3 ZÁVĚR

Jistou dobu jsem se zabýval možností využití modernější technologie a to právě LED. Prodejci nabízí velmi výkonné čipy, na kterých jsou sériové a paralelní kombinace jednotlivých LED diod.

Výkon těchto čipů se pohybuje okolo 100W při trvalém svícení. Pokud použijeme krátkodobé impulzní „bliknutí“, můžeme tuto hodnotu maximálního výkonu překročit řádově v desítkách procent. Takto „přebuzený“ čip se velmi zahřívá a pro jeho ochranu před zničením je potřeba dostatečné chlazení.

Pro 400Ws v tak krátkém čase (tisícina vteřiny) je potřeba velké množství těchto LED čipů a kvůli jejich ceně (řádově jednotky tisíců korun) by takové zařízení bylo příliš nákladné. Tento způsob realizace určitě bude mít v budoucnu velké uplatnění vzhledem k rychlosti vývoje technologie LED diod. Zatím bohužel ne především kvůli vysoké ceně.

V cílech bakalářské práce jsem měl zvážit použití jedné výbojky (oproti původním čtyřem ruským výbojkám IFK – 120) a zvážit efektivnější způsob regulace (původně přepínání nabíjecích kondenzátorů) oproti semestrálnímu projektu. Myslím, že se mi těchto cílů podařilo dosáhnout celkem efektivně a to regulací pomocí délky záblesku. Podle mě je to nejefektivnější způsob regulace energie. Změna kapacity je nejméně efektivní (náročná na rozměry, přepínání kondenzátorů a cenu), změna napětí je možná, ale při snížení napětí je potřeba vybití kondenzátor. To má za následek snížení počtu záblesků na jedno nabití akumulátoru. Jinak řečeno energii z baterií vybíjíme při změnách napětí do rezistoru (přeměna energie na teplo).

Různá dílčí zapojení jsem experimentálně odzkoušel a chovaly se podle představ. Měřil jsem zbytková napětí na kondenzátoru pro jednotlivé výkony a celkem se shodovaly ($\pm 5\text{--}10\%$) oproti vypočteným hodnotám. Výbojka, kterou mám k dispozici je už opotřebená a nevím, jak dlouho byla používána (kolik záblesků bylo provedeno). Myslím si, že opotřebení výbojky je jeden z hlavních důvodů, proč se naměřené a vypočtené hodnoty úplně neshodují. Nabíječka na Li-Ion články se chová přesně podle představ a vypočtených hodnot. Kapacita baterií je 5 200 mAh a nabíjecí proud je 2 A. Numericky vychází doba nabíjení článků 2,6 hodin. Baterie nejsou vybity úplně, snížené napětí na 3 V/článek, z původních 4,2 V/článek, je signalizováno obvodem LT3751. Při vybití na tuto úroveň napětí je doba nabíjení akumulátoru přibližně 2 hodiny.

Celé zapojení by se dalo velice jednoduše upravit i na regulaci pomocí napětí. Velikost výstupního napětí měniče je závislé na rezistoru R_9 , připojeného mezi vývod 14 (integrovaného obvodu LT3751) a zem. Přepínáním tohoto odporu, na předem napočítané hodnoty, získáme několik výstupních napětí a tím i několik výstupních energií. Dalším možným vylepšením by bylo přidat k výbojce pilotní světlo. To znamená, že u výbojky by byl zdroj trvalého světla, jako je u profesionálních studiových blesků. Přidáním pilotního světla by se muselo vyřešit jeho napájení. Nejjednodušším způsobem by zřejmě bylo napětí 21 V, které nám poskytuje akumulátor. Zdrojem takového světla by mohl být LED čip.

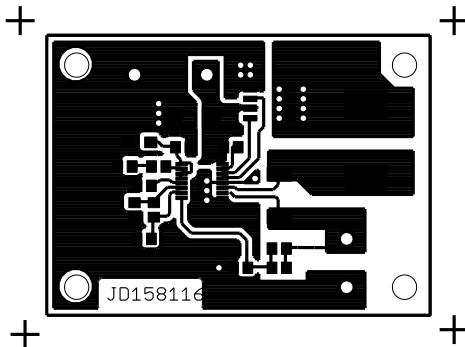
LITERATURA

- [1] Portál Citace.com. [online]. 2014 [cit. 2014-10-03]. Dostupné z: www.citace.com.
- [2] PIHAN, Roman. Fotoroman: Práce s bleskem[online]. [cit. 2014-12-17]. Dostupné z: <http://www.fotoroman.cz/>
- [3] *Good pix galleries* [online]. [cit. 2014-12-17]. Dostupné z: <http://pixgood.com>
- [4] *Výbojka* [online]. [cit. 2014-12-17]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Výbojka>
- [5] *MEGAPIXEL: Fomei výbojka pro Digitalis Pro a Digital Pro X 200-600Ws* [online]. [cit. 2014-12-17]. Dostupné z: <http://www.megapixel.cz>
- [6] *FOMEI: Studiové blesky* [online]. [cit. 2014-12-17]. Dostupné z: <http://www.fomei.com>
- [7] JETI model: Akumulátory LiIon [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.jetimodel.com/>
- [8] *Datasheet Napájecí adaptér síťový 24V 2700mA, 5,5/2,1mm, T2* [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/751/146/napajeci-adapter-sitovy-24v-2700ma-t2-vystupni-konektor-2-1-datasheet-1.pdf>
- [9] *Datasheet MAX1640* [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1861944.pdf>
- [10] *Datasheet MSS1260-473MLD* [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1681951.pdf>
- [11] *Datasheet LT3751* [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1692507.pdf>
- [12] *Datasheet GA3460-BL* [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1870439.pdf>
- [13] *Datasheet HCPL0600* [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1796808.pdf>
- [14] *Datasheet IRGPS46160DPBF* [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1868673.pdf>
- [15] Paul C. Buff: Lighting Terms Glossary [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.paulcbuff.com/terms.php>
- [16] Paul C. Buff: Manual [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.paulcbuff.com/manuals/e640.pdf>
- [17] ON Semiconductor: Xenon Flash Light [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/ANDTIG065E8-D.PDF
- [18] EXCELITAS Technologies: Discharge Circuits [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: http://www.excelitas.com/Downloads/APP_PFL.pdf

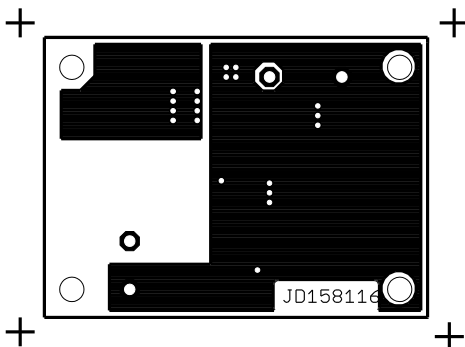
PŘÍLOHY

Nabíjecí obvod

Vrstva TOP



Vrstva BOTTOM



Osazovací plán (TOP)

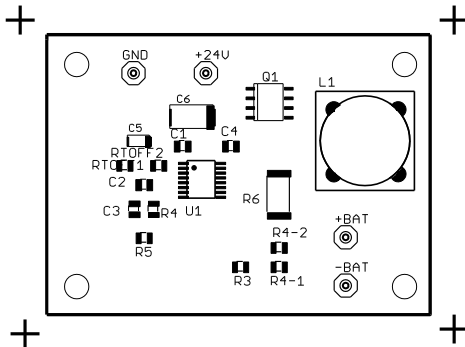
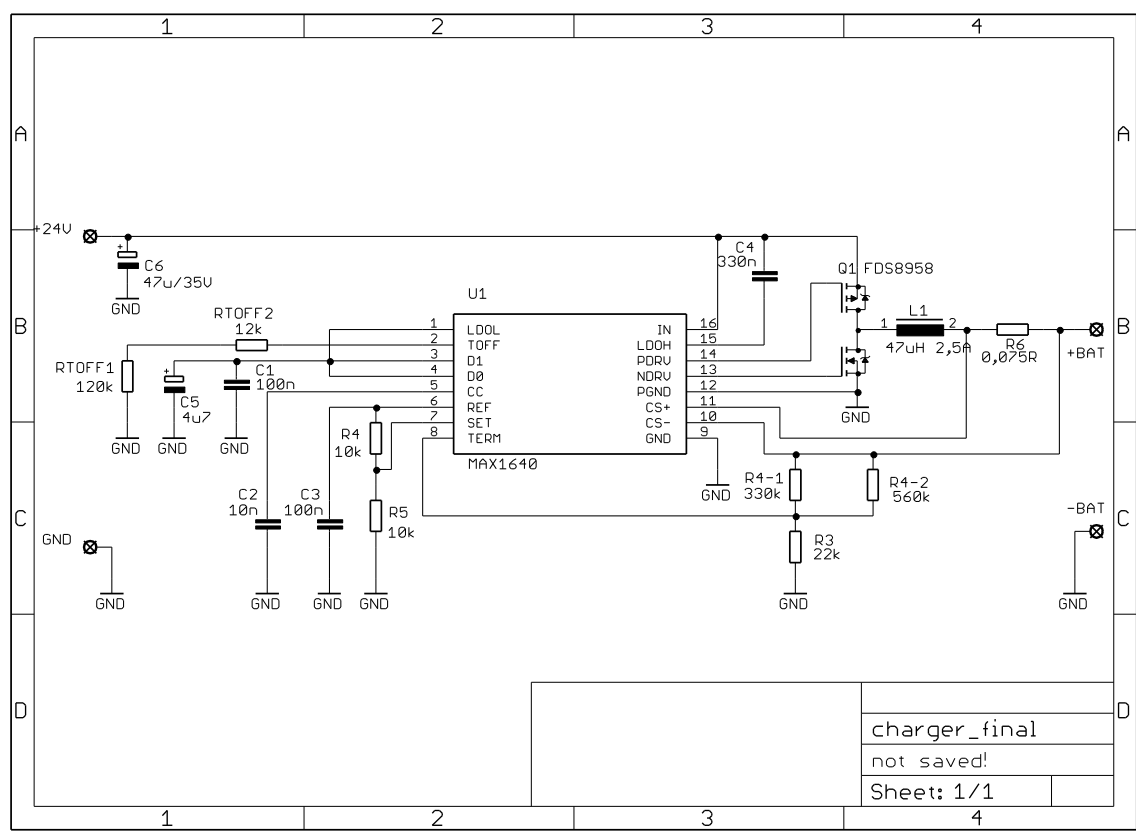
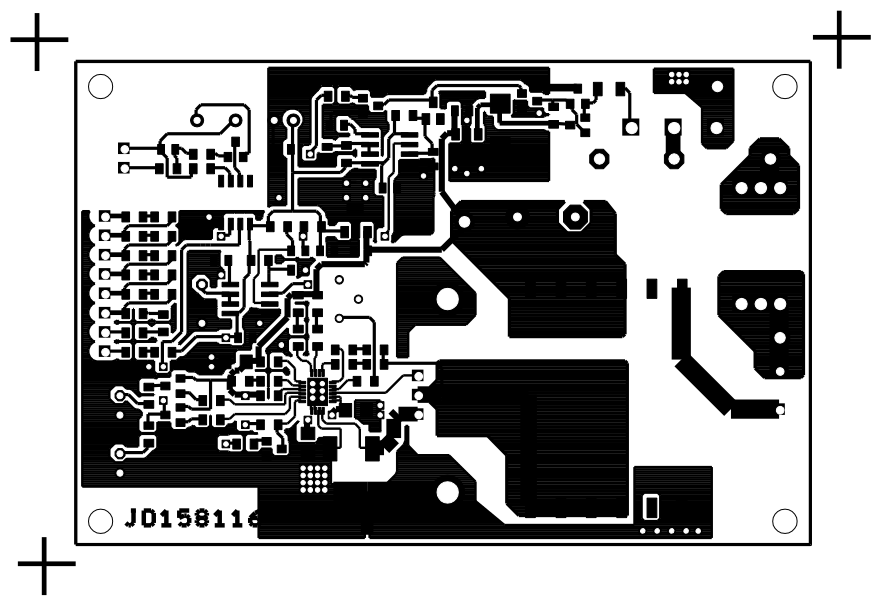


Schéma zapojení

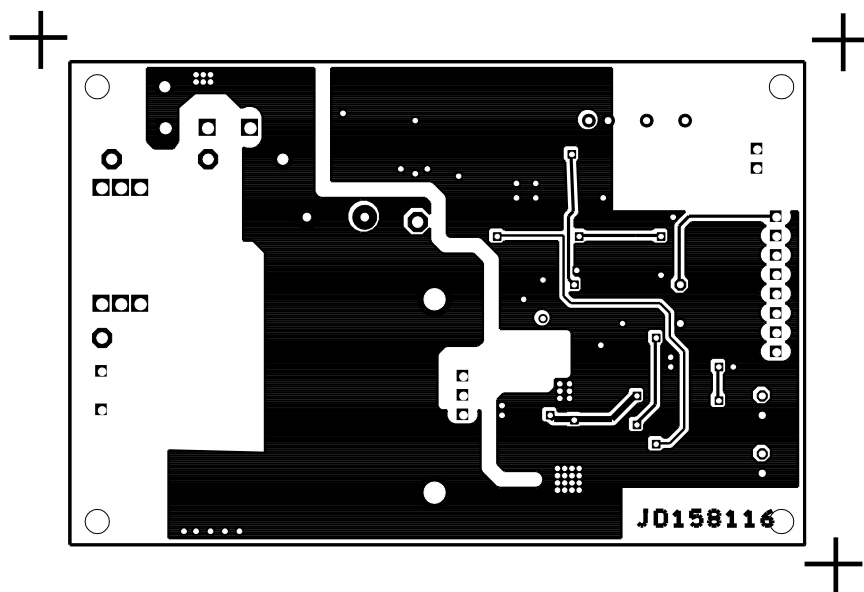


Měnič, řídicí obvody

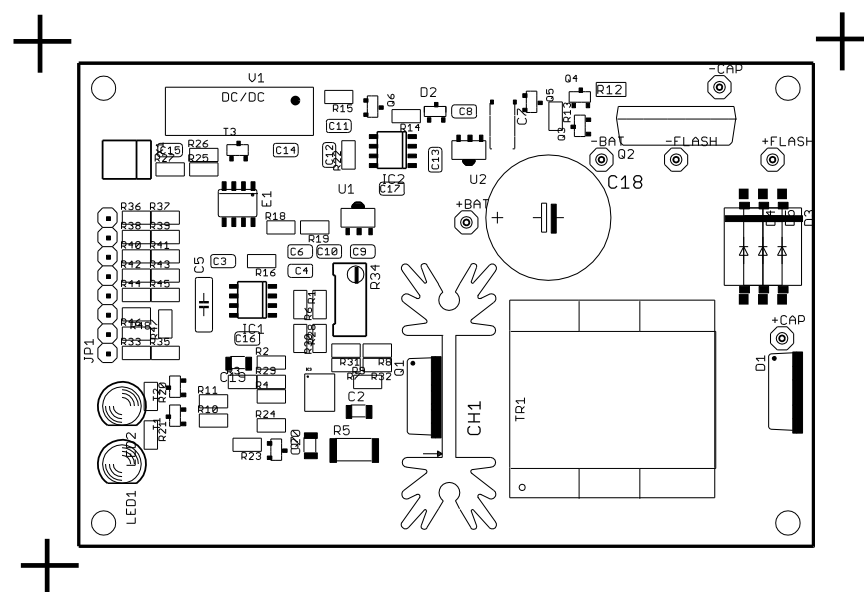
Vrstva TOP



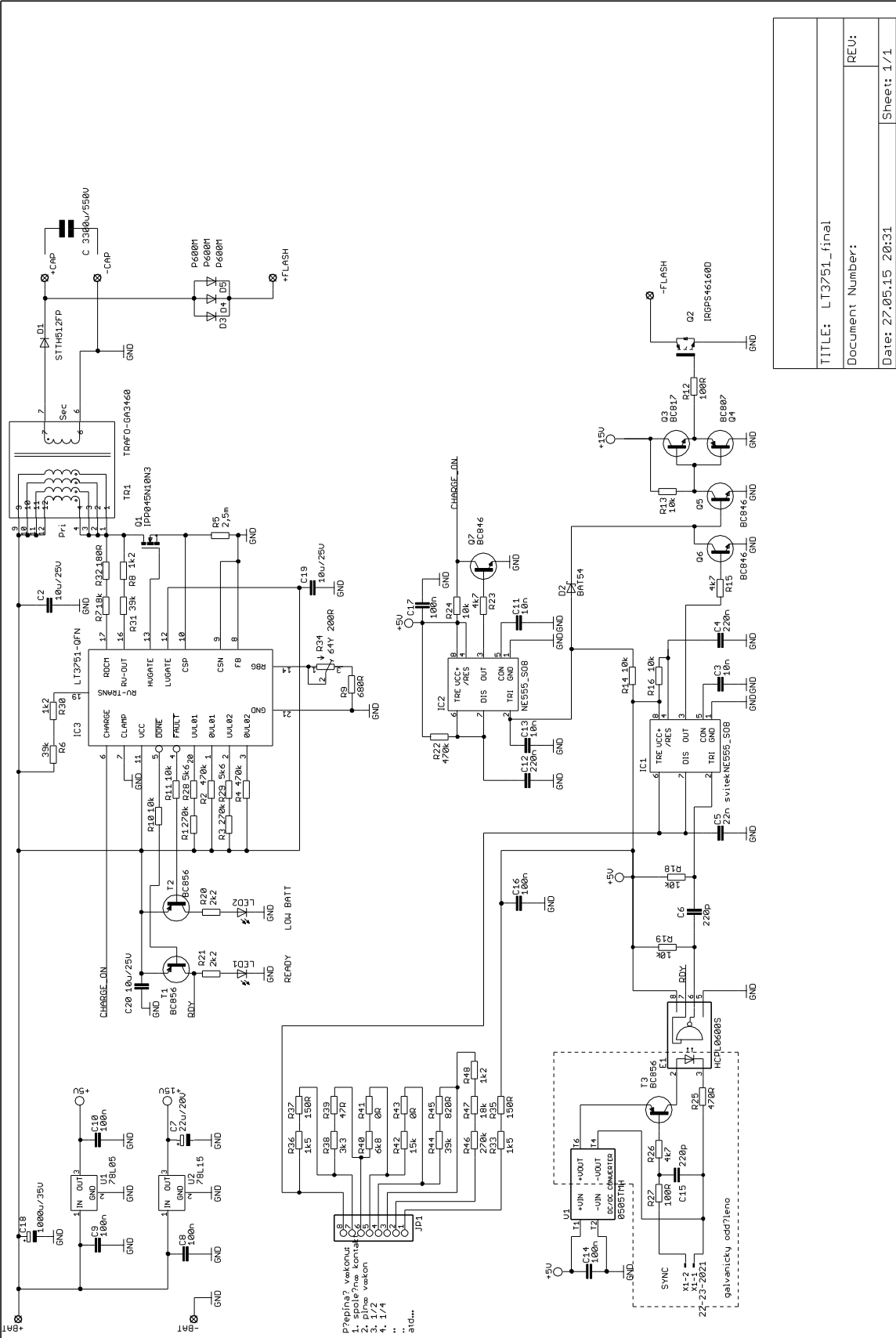
Vrstva BOTTOM



Osazovací plán (TOP)



Scháma zapojení





JETI model s.r.o.

Lomená 1530, 742 58 Příbor, tel.č. 556 802 092, e-mail: jeti@jetimodel.cz

IČO 26825147, DIČ CZ26825147

PROHLÁŠENÍ

V roce 2004 byl ve firmě JETI model s.r.o. spuštěn program využití perspektivních zdrojů na bázi Li-Ion v praktickém životě, s přihlédnutím na specifika použití pro pohon modelů. V rámci tohoto programu bylo nutné vyřešit dvě základní otázky.

První problém představoval výběr dodavatele s dostatečným produkčním portfoliem a zárukou schopnosti dodržení identických parametrů produktu.

Druhý okruh problémů představovala metodika selekce článků, která umožňuje použití článků bez dodatečných elektronických obvodů.

Celý proces byl finančně a časově poměrně náročný. Bylo nutné realizovat několik tisíc měřených cyklů a na základě těchto měření, vytvořit ucelený systém nákupu, selekce, sestavování sad a zásad užití těchto článků.

Byly použity akumulátory firmy Sony o kapacitě 1100 až 2900 mAh. Kovové pouzdro průměr 18mm, délka 65mm.

Současný stav je charakterizován užitím článků s obchodním označením VTC4 o jmenovité kapacitě 2100mAh a VTC 5 o kapacitě 2600mAh. Tyto články nakupuje firma JETI model s.r.o. v ročních objemech 20-30tis. kusů. Asi 90% článků je určeno k výrobě akumulátorových sad. Průměrný počet článků v sadě pro modelářské použití je 6-40 kusů. Firma má několik praktických realizací s elektrickým pohonem SLZ (ultralightu), kde se pohybujeme v oblasti 2-6kWh a 250 až 700 kusů článků v pohonné sadě. Vrcholem byla realizace projektu akumulátorové sady, která byla složena z 4 480 kusů článků typu VTC5.

Všechny sady jsou dodávány pouze se silovým výstupem (dva vodiče).

Můžeme potvrdit, že na základě našich měření a výše uvedených skutečností je zcela zbytečné sady vytvořené z uvedených Li-Ion článků vybavovat dodatečnými elektronickými obvody, tzv. balancery.

Příbor, 20.5.2015

Sestavil: Ing. Juraj Tinka, Ing. Stanislav Jelen

JETI model s.r.o.

Lomená 1530, 742 58 Příbor
IČ: 26825147, DIČ: CZ26825147

.....
Ing. Stanislav Jelen, jednatel společnosti