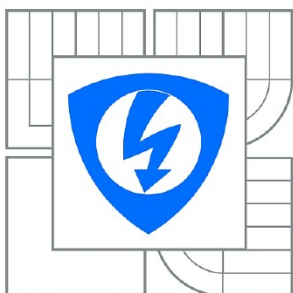


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

## SPOUŠTĚČ TRUBICOVÝCH ZÁŘIVEK

THE TUBE LIGHTS STARTER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

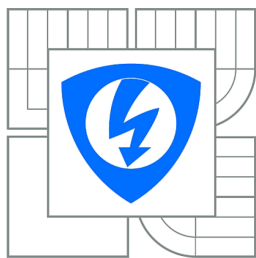
JAKUB RŮŽIČKA

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAL PAVLÍK, Ph.D.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav mikroelektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Mikroelektronika a technologie**

**Student:** Jakub Růžička

**ID:** 125618

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2011/2012

**NÁZEV TÉMATU:**

## Spouštěč trubicových zářivek

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte spouštěč trubicových zářivek s celkovým instalovaným odběrem 6x40 W. Spouštěč by měl fungovat současně i jako regulátor intenzity jasu. Jas se bude ovládat délkou stisku vypínače a bude tak přímo integrovatelný do stávajících elektroinstalací. Mimo to bude možné regulovat intenzitu osvětlení analogovým vstupem.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 6.2.2012

**Termín odevzdání:** 31.5.2012

**Vedoucí práce:** Ing. Michal Pavlík, Ph.D.

**Konzultanti bakalářské práce:**

**doc. Ing. Jiří Háze, 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 práce se zabývá návrhem elektronického předřadníku určeného ke spouštění a stmívání šesti zářivek o výkonu 40 W. Ovládání je řešeno tlačítkem a analogovým vstupem. V práci je použit mikrokontrolér který řídí budící obvod tranzistorů v polomůstkovém zapojení IR2104. Elektronický předřadník je realizován pro dvě zářivky s možností rozšíření přídatnými moduly. Chování předřadníku bylo předem nasimulováno a posléze změřeno na zhotoveném zařízení.

## **Klíčová slova:**

Konvenční předřadník, Elektronický předřadník, Zářivka, Stmívání zářivek, Spouštění zářivek, Žhavicí proud, Zápalné napětí

## **Abstract:**

This thesis is about design of the electronic ballast used for starting and dimming six 40 W fluorescent lamps. Controlling is provided by button and analog input. In the work it is used micro-controller which controls excitation circuit of transistors in the half-bridge driver IR2104. The electronic ballast is created for two fluorescent lamps with possibility to add other modules. Behavior of the ballast was simulated, and then it was measured on constructed devices.

## **Keywords:**

Electromagnetic Ballast, Electronic Balast, Fluorescent tube, Starting light tube, Dimming lights tube, Preheat current, Ignition voltage

## **Bibliografická citace**

RŮŽIČKA, J. *Spouštěč trubcových zářivek*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 38 s. Vedoucí semestrální práce Ing. Michal Pavlík, Ph.D..

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svůj semestrální projekt na téma „Spouštěč trubcových zářivek“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu 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 uvedeného semestrálního projektu dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 31. května 2012 ..... podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu semestrálního projektu Ing. Michalu Pavlíkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování projektu.

V Brně dne 31. května 2012 ..... podpis autora

# Obsah

Úvod.....	8
<b>1 Konstrukce lineární zářivky.....</b>	<b>9</b>
<b>2 Řazení zářivek.....</b>	<b>10</b>
2.1 Sériové zapojení.....	10
2.2 Paralelní zapojení.....	10
2.3 Kombinované zapojení.....	10
<b>3 Konvenční předřadník (KP).....</b>	<b>11</b>
3.1 Bimetalový startér.....	11
3.2 Elektronický startér.....	12
<b>4 Elektronický předřadník (EP).....</b>	<b>12</b>
4.1 Popis funkce EP.....	13
4.2 Studený start.....	14
4.2.1 Popis funkce studeného startu.....	14
4.3 Teplý start.....	14
4.3.1 Popis funkce teplého startu.....	14
4.4 Parametry EP.....	15
4.5 Regulace intenzity osvětlení.....	16
<b>5 Systémy pro stmívání EP.....</b>	<b>16</b>
5.1 Analogové řízení (1 – 10 V).....	16
5.2 Digitální řízení.....	17
5.2.1 DSI (Digital Signal Interface).....	17
5.2.2 DALI (Digital Addressable Lighting Interface).....	17
<b>6 Návrh zařízení.....</b>	<b>18</b>
6.1 Parametry zářivky.....	18
6.2 Blokové schéma.....	19
6.3 Návrh tlumivky a kondenzátoru pomocí Ballast Designeru V4.....	20
6.4 Atmel® AVR® ATmega48.....	22
6.4.1 Popis funkce.....	23
6.4.2 Popis programu.....	24
6.4.3 Vývojový diagram.....	26
6.5 Polomůstkový budič IR2104.....	27
6.5.1 Funkce.....	27
6.6 Výstupní tranzistory – IRF730.....	29
6.7 Počítačová simulace a měření.....	30
6.7.1 Počítačová simulace.....	30
6.7.1 Měření.....	32
6.8 Zapojení bloku zářivek.....	33
6.9 Popis EP.....	34
6.9.1 Vstupy / výstupy.....	34
<b>7 Závěr.....</b>	<b>35</b>
<b>Použitá literatura.....</b>	<b>36</b>
<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk.....</b>	<b>37</b>
<b>Seznam Příloh.....</b>	<b>39</b>

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Konstrukce lineární zářivky [4].....	9
Obrázek 2: Řazení trubic: a) paralelní b) sériové .....	10
Obrázek 3: Zapojení konvenčního předřadníku [2].....	11
Obrázek 4: Náhradní schema zapojení zářivky [9].....	12
Obrázek 5: Rezonanční křivka s možným průběhem startu zářivky [10].....	13
Obrázek 6: Zapojení analogového regulátoru [1].....	16
Obrázek 7: Zapojení DSI regulátoru [1].....	17
Obrázek 8: Zapojení řízení pomocí DALI sběrnice [1].....	17
Obrázek 9: Blokové schema zařízení.....	19
Obrázek 10: Výstup z Ballast Designeru V4 - závislost napětí na frekvenci.....	20
Obrázek 11: Ukázka návrhového prostředí Ballast Designer V4.....	21
Obrázek 12: Atmel® AVR® ATmega48 v pouzdře TQFP32 [14].....	22
Obrázek 13: Vývojový diagram programu.....	26
Obrázek 14: Zapojení vývodů IR2104 v pouzdře SOIC/PDIP [15].....	27
Obrázek 15: Typické zapojení IR2104 [15].....	28
Obrázek 16: Časový diagram závislosti výstupních signálů na vstupním .....	28
Obrázek 17: Zapojení vývodů tranzistoru IRF730.....	29
Obrázek 18: Náhradní schema zapojení modelu zářivky.....	30
Obrázek 19: Průběh napětí při spouštění zářivky.....	30
Obrázek 20: Průběh napětí a proudů při žhavení.....	31
Obrázek 21: Průběh napětí a proudů při zapálení.....	31
Obrázek 22: Průběh napětí a proudů při provozu zářivky.....	32
Obrázek 23: Naměřené hodnoty a průběhy napětí na zářivce: a) maximální jas, b) minimální jas .....	32
Obrázek 24: Paralelní zapojení zářivek 6 x 40 W.....	33
Obrázek 25: Vygenerovaný výkres pro návrh tlumivky programu Ballast Designer V4 .....	40
Obrázek 26: Konstrukční výkres kostry Lj E 3007h [13].....	41
Obrázek 27: Konstrukční výkres jádra E30 – typ Lj3007 [13].....	41
Obrázek 28: Schema zapojení EP.....	42
Obrázek 29: Schema zapojení rozšiřujícího modulu.....	43
Obrázek 30: Rozmístění součástek EP strana TOP.....	44
Obrázek 31: Rozmístění součástek EP strana BOTTOM.....	44
Obrázek 32: Rozmístění součástek modulu.....	45
Obrázek 33: DPS EP ze strany TOP.....	46
Obrázek 34: DPS EP ze strany BOTTOM.....	46
Obrázek 35: DPS modulu ze strany BOTTOM.....	46
Obrázek 36: Vyhotovená šablona DPS EP ze strany TOP (strana součástek) 120 mm x 72 mm .....	47
Obrázek 37: Vyhotovená šablona DPS EP ze strany BOTTOM (strana spojů) 120 mm x 72 mm.....	47
Obrázek 38: Vyhotovená šablona DPS rozšiřujícího modulu ze strany BOTTOM (strana spojů) 70 mm x 55 mm.....	48
Obrázek 39: Fotografie elektronického předřadníku.....	54
Obrázek 40: Fotografie modulu pro 2 zářivky.....	55

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Přehled proudů a napětí při provozu .....	18
Tabulka 2: Přehled frekvencí a napětí uvedené Ballast Designerem V4 .....	21
Tabulka 3: Technické parametry E jádra CF138/139 [13].....	21

# Úvod

Zářivky jsou velmi populárními zdroji světla. Jsou neustále vyvíjeny a výrobci se předhánějí ve výrobě nových řad a modelů. Především o typy s vysokou životností, účinností, širokým rozsahem provozních teplot, atp.

Mají dobré světelné vlastnosti, velkou účinnost a v kombinaci s elektronickými předřadníky (EP) také vysokou životnost a možnost regulace intenzity osvětlení od 1% [1]. Mají široký rozsah uplatnění díky sortimentu nabízejícím různé výkony, délky, tvary, teploty barev a dalšími typy pro speciální použití. Nalezneme je prakticky všude. V kancelářích, firmách, skladech, laboratořích i domácnostech. Jejich perspektiva dále narůstá s možným zakomponováním do inteligentního řízení budov a osvětlení [2].

Předmětem této práce je návrh spouštěče šesti zářivek s možností stmívání řízené tlačítkem a analogovým vstupem. Z důvodu požadavku na stmívání a analogové ovládání je vhodné použít EP. Ten může být vyroben z diskrétních součástek nebo s použitím integrovaných obvodů. Spouštění více zářivek je možné jejich sériovým nebo paralelním uspořádáním. Při sériovém řazení je potřeba s každou další trubicí vyšší napětí a proto je vhodné použít řazení paralelní.

Práce je členěna na dvě části. První část se týká teoretického rozboru a je rozdělena na 5 hlavních kapitol. V nich se rozebírá problematika spouštění při studeném a teplém startu, porovnávání konvenčního a elektronického předřadníku a jejich vliv na životnost zářivky. Druhá část se zabývá samotným návrhem zařízení, simulacemi průběhů při spouštění a měření na hotovém předřadníku. Na závěr jsou zhodnoceny výsledky práce.

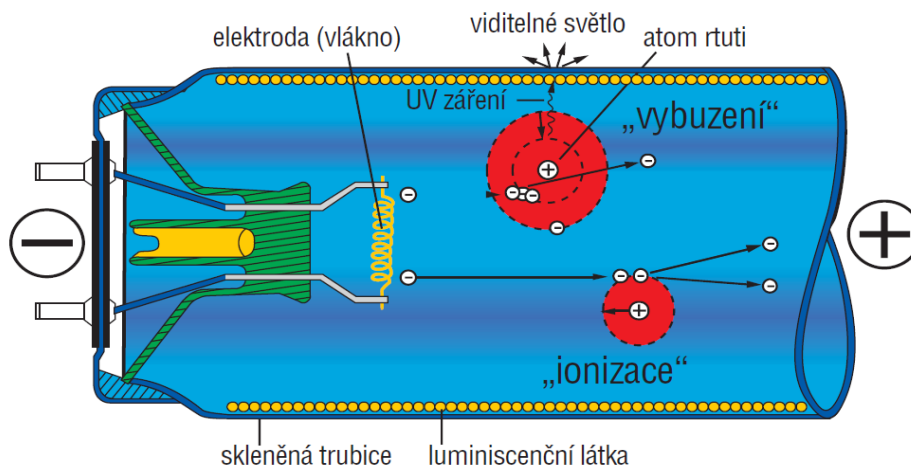


# 1 Konstrukce lineární zářivky

Zářivka je nízkotlaká rtuťová výbojka, složená ze skleněné trubice opatřená na koncích elektrodami. Trubice má zevnitř jednu nebo i více vrstev luminoforu, který při buzení ultrafialovým UV zářením výboje produkuje viditelné světlo. Elektrody jsou ve formě wolframových vláken na kterých je nanesena emisní hmota na bázi oxidů baria a vápníku. Okolo elektrod je na neutrálním přívodu umístěna ochranná kovová clonka, která zabraňuje usazování emisní hmoty na vrstvě luminoforu (omezuje černání konců zářivek) a také zlepšuje stabilizaci světelného toku při svícení.

Část konstrukce lineární trubice je vidět na obrázku 1. Jsou běžně opatřeny paticemi typu G13 a u novějších typů paticemi G5. Průměr trubice se uvádí v osminách palce za písmenem T. Označení T12 nám tedy udává průměr 38 mm, T8 průměr 26 mm, T5 průměr 16 mm atd.

Vlastní výboj probíhá v nasycených parách rtuti při tlaku asi 0,8 Pa a v inertním plynu (argonu nebo směs argonu a kryptonu). Ten snižuje zápalné napětí výboje a zabraňuje rozprašování emisní hmoty. Pro správnou funkci je potřeba do zářivek přidávat malé množství rtuti. Rtuť je toxická a proto se výrobci snaží o přidávání co nejmenšího množství (lze vystačit pouze se 3 mg u trubic T8 a u T5 jen s 1,6 mg ) [3], [4].



**Obrázek 1:** Konstrukce lineární zářivky [4]

## 2 Řazení zářivek

Zářivky lze řadit různými způsoby. Samostatně, sériově, paralelně nebo v jejich kombinaci. Pro lepší představu je na obrázku 2 vidět paralelní i sériově řazení.

### 2.1 Sériové zapojení

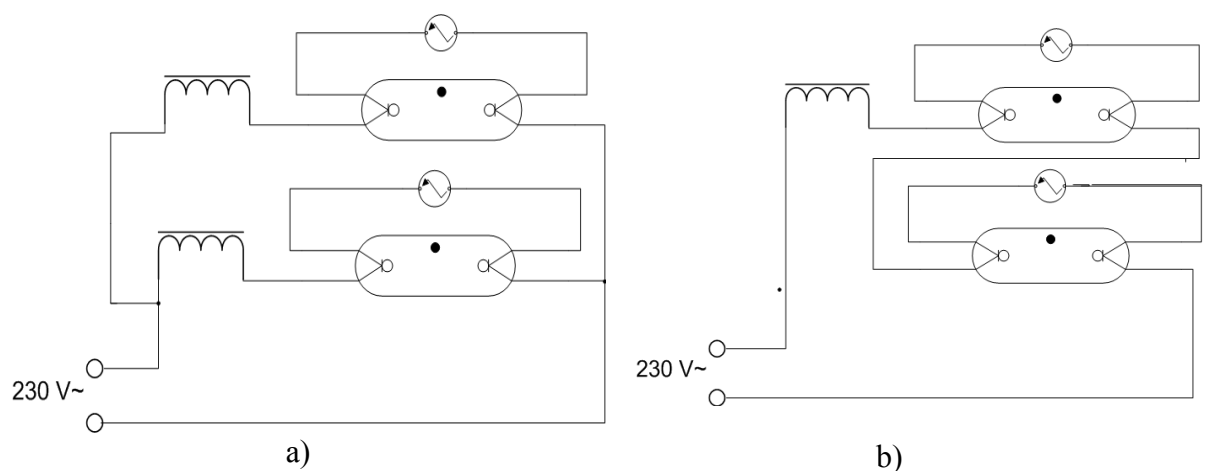
Napětí pro zapálení i provoz je rozloženo na obě zářivky a je tedy potřeba dvojnásobného napětí, které se na ně přivádí než v případě zapojení s jednou zářivkou. V obvodu stačí jen jedna tlumivka. Žhavicí proud procházející vlákny obou zářivek je stejný a při startu dochází k rozložení náboje. Pokud nenastartuje jedna zářivka, ostatní se také nerozsvítí a následuje opakované startování až do rozběhu všech sériově zapojených zářivek. Pokud se v takovém obvodu nachází špatná zářivka nebo startér, nedojde k zapálení žádné z nich. Trubice by měly být stejného typu.

### 2.2 Paralelní zapojení

Přiváděné napětí má stejnou velikost při žhavení, zapalování i běhu. Každá trubice má svoji tlumivku. Je potřeba dodávat vyšší proud do zapojení, kdy dochází k jeho rozložení mezi zapojené zářivky a je tedy potřeba použít dostatečně výkonově dimenzovaný spínač. V praxi se paralelně zapojují i několik desítek zářivek. Výhodou je, že v případě vadné zářivky se ostatní rozsvítí.

### 2.3 Kombinované zapojení

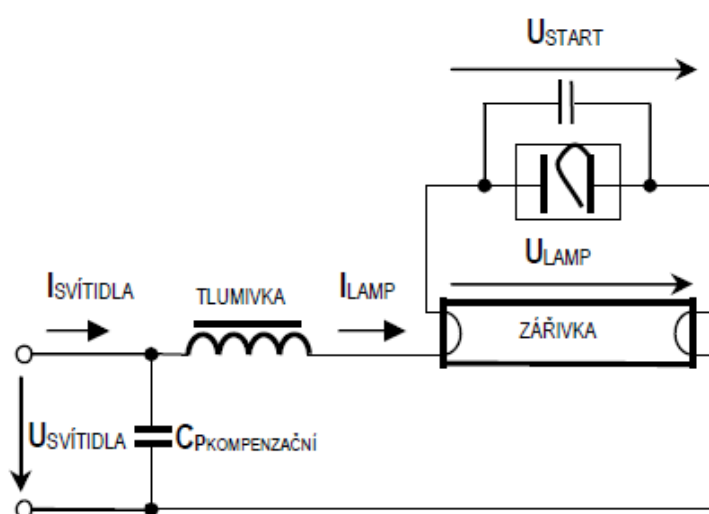
Pokud je potřeba zapojit více zářivek, za použití co nejmenšího počtu tlumivek, lze využít serioparalelní zapojení.



**Obrázek 2:** Řazení trubice: a) paralelní b) sériové

### 3 Konvenční předřadník (KP)

Předřadníky k zářivkám v provedení pouze s tlumivkou, startérem a kondenzátorem jsou jednodušší, cenově dostupnější a díky jednoduchému zapojení také spolehlivější než předřadníky elektronické. Jsou napájeny přímo střídavým síťovým napětím omezeným pouze napětím na tlumivce. Nelze přesně řídit přehřev a start zářivky může probíhat i několikrát po sobě než dojde k trvalému rozsvícení. Výrazně zkracuje životnost zářivky. Může docházet k stroboskopickému jevu, který nastává díky nízké obnovovací frekvenci výboje a nízké latenci luminoforu. Další součástí může být startér. Jsou zapojeny bezstartérové i se startérem. Běžně se využívají zapojení se startérem. Ty mohou být klasické s bimetalem, nebo elektronické. Na obrázku 3 je vidět klasické zapojení konvenčního předřadníku.



Obrázek 3: Zapojení konvenčního předřadníku [2]

#### 3.1 Bimetalový startér

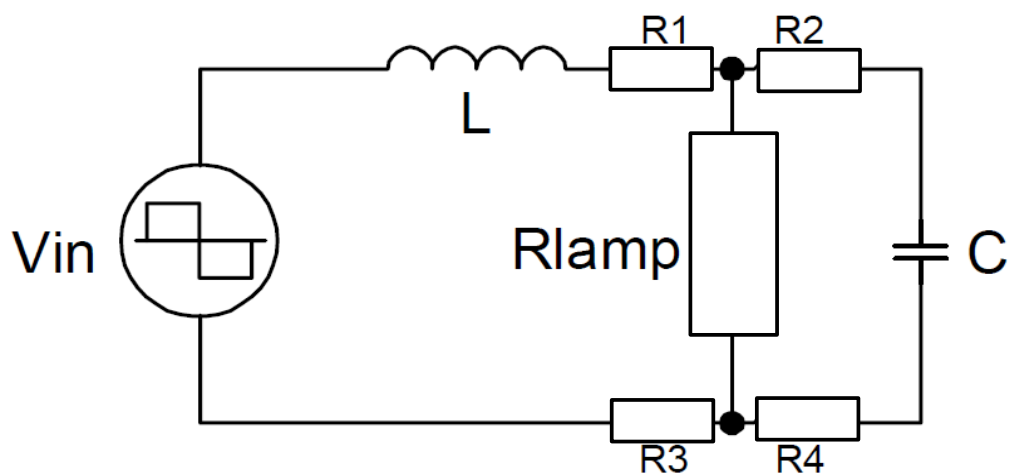
Bimetalový startér je složen z doutnavky plněné neonem, ve které je jedna elektroda pevná a druhá tvořena bimetalovým páskem. Po přivedení proudu nastane v doutnavce výboj, který ohřívá bimetalový pásek. Proud protékající obvodem nestačí k žhavení vláken zářivky. Po dotyku elektrod v doutnavce doutnavý výboj ustane a začne protékat žhavicí proud vláknů zářivky omezený pouze tlumivkou. Pásek má určitou tepelnou setrvačnost a dotyk elektrod trvá přibližně 1 s. Uvnitř zářivky dochází termoemisí k ionizaci plynu. Po oddálení elektrod v doutnavce se na tlumivce naindukuje vysoké napětí, které se přičte k síťovému napětí. Pokud je součet napětí dostatečně velký, dojde k rozsvícení zářivky. Pokud nedojde v zářivce k výboji, opakuje se start opět vytvořením doutnavého výboje [1], [5].

### 3.2 Elektronický startér

Tyto startéry plně nahrazují startéry bimetalové. Spínací funkci místo bimetalového pásku nahrazují polovodičové spínače. Výhodou je především delší životnost a zamezení blikání zářivky při startu [6].

## 4 Elektronický předřadník (EP)

Na obrázku 4 je znázorněno náhradní model zářivky. Elektronické zapalování lineárních zářivek má oproti konvenčnímu mnoho výhod. Mezi největší se řadí několikanásobné zvýšení života zářivky a absence stroboskopického jevu díky zvýšení provozní frekvence ze sítové na minimálně 25 kHz. Zkracování života především ovlivňuje četnost jejich startů. Předřadníky mohou fungovat v režimu studeného nebo teplého startu [2].

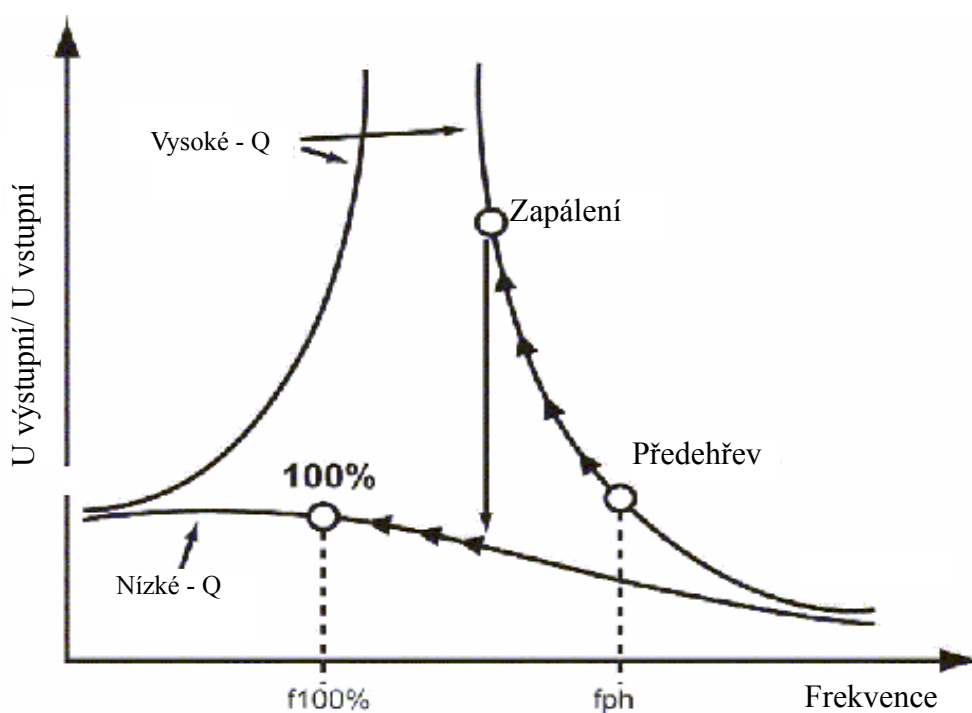


Obrázek 4: Náhradní schéma zapojení zářivky [9]

## 4.1 Popis funkce EP

Střídavé síťové napětí se nejdříve usměrní a vyhladí. Poté se zpracovává dále samotným EP, který podle parametrů zářivky generuje frekvenci obdélníkového průběhu se střídou 50 %. Předřadník má na výstupu dvojčinný měnič, který budí přes tlumivku zářivku. Místo startéru je zapojen rezonanční kondenzátor.

Frekvence se volí většinou v rozmezí 30 kHz až 50 kHz a u komerčně vyráběných až 150 kHz. Hodnota tlumivky je pro každou trubici jiná. Volí se tak, aby trubicí protékal jmenovitý proud. Rezonanční kondenzátor se volí tak, aby byl v blízkosti rezonance s tlumivkou. Průběh spouštění je vidět na obrázku 5 [7].



**Obrázek 5:** Rezonanční křivka s možným průběhem startu zářivky [10]

## **4.2 Studený start**

Při studeném startu dochází k okamžitému zapálení, kdy vysokým napětím mezi elektrodami dojde k ionizaci plynu uvnitř trubice. Zářivka je okamžitě rozsvícena, ale velkým nábojem při zapalování dochází u lineárních zářivek k poškození emisní vrstvy elektrod a tím také ke snížení života zářivky [2], [5].

### **4.2.1 Popis funkce studeného startu**

Předřadník má nastavenou fixní frekvenci. Sériově zapojená cívka s kondenzátorem pracuje s vysokým činitelem jakosti a s frekvencí blízké rezonanci. Na kondenzátoru je tak vysoké napětí. Toto napětí v zářivce vyvolá proražení výbojového kanálu a dojde k jejímu rozsvícení. Zapálená zářivka se chová jako rezistor s hodnotou v řádu 100  $\Omega$ , která je paralelně zapojena s rezonančním kondenzátorem. Jelikož většina proudu prochází zářivkou, vliv kondenzátoru v obvodu se zmenší.

## **4.3 Teplý start**

Lineární zářivky jsou určeny pro zapalování s předehřevem a tedy pro teplý start. Při teplém startu se zahřejí wolframové vlákna na koncích trubice na doporučenou hodnotu 700 °C – 1000 °C. Při které dochází k termoemisi a plyn se díky tomu ionizuje. Předehřev nejčastěji bývá nastavován v rozmezí 0,5 s – 1,5 s nebo i více. Záleží na proudu procházejícím vláknem a spolehlivostí, s jakou požadujeme aby svítidlo bylo rozsvíceno na první pokus. Vysoká doba života zářivky je tak vykoupena malou časovou prodlevou mezi sepnutím vypínače a samotným rozsvícením [2], [5], [8].

### **4.3.1 Popis funkce teplého startu**

Předřadník pracuje s proměnnou frekvencí. První dochází k předehřevu, kdy se podle doporučeného žhavicího proudu spočítá frekvence, při které cívkou bude protékat zvolený proud po definované době. Teplota vlákna by měla být v teplotním rozmezí 700 °C až 1000 °C, kdy dochází k termoemisi a ionizaci plynné náplně v trubici. Poté dojde ke zvýšení nebo snížení frekvence na zapalovací hodnotu, která je v blízkosti rezonanční frekvence tlumivky a kondenzátoru, kdy dochází k zapálení výboje. Zapalovací frekvence by měla být vzdálena alespoň 5 kHz od frekvence žhavicí, aby nedocházelo k náhodným startům. Pokud zářivka svítí, je na rezonančním kondenzátoru napětí, které je dáno proudem a odporem zapálené zářivky [2], [5], [9].

## 4.4 Parametry EP

U předřadníků s diskrétními prvky se převážně žádné ochrany nepoužívají a může tedy při nesprávném volení součástek a provozních podmínek docházet ke snižování života zářivky i předřadníku. Pokud bude v EP použit integrovaný obvod, je možné různé chybové stavy detekovat a předcházet jim.

### Detekce chyb:

- Proudová ochrana
- Napěťová ochrana
- Chyba při zapálení
- Přerušování žhavicího vlákna zářivky
- Ochrana před dosažením rezonanční frekvence
- Tepelná ochrana
- Hlášení nebo ochrana při překročení životnosti
- Čítač chyb

### Výhody:

- Široký rozsah vstupního napětí
- Vysoká frekvence spínání
- Žádný stroboskopický jev
- Vysoká životnost
- úspora energie
- možnost častého spínání
- nepotřebuje startér
- Zavedení ochran
- Nastavení doby předehřevu
- Nastavení proudu při předehřevu
- Nastavení zápalného napětí
- Nastavení proudu a napětí při normálním běhu
- Možnost stmívání
- Možnost připojení do inteligentní soustavy

## 4.5 Regulace intenzity osvětlení

EP umožňují plynulou regulaci osvětlení v rozsahu 1 % – 100 % a tím i úsporu el. Energie [1]. Stmívání spočívá v řízení kmitočtu rozsvícené zářivky. Náhradní schema zapojení je v kapitole 4 na obrázku 4 . Při provozu je vstupní napětí rozloženo na tlumivku a zářivku, kdy tlumivka má funkci činného odporu a její reaktance je závislá na frekvenci. Při 100 % výkonu má zářivka odpor, kterým prochází stanovený proud a je na něm stanovený úbytek napětí. Tyto hodnoty by měl poskytovat výrobce daného svítidla. Při stmívání je proud zářivkou snižován zvyšováním frekvence spínání. V důsledku toho se také zvyšuje odpor zářivky a také vliv paralelně připojeného kondenzátoru k zářivce. Na kondenzátoru a tedy i zářivce dochází k nárůstu napětí [10].

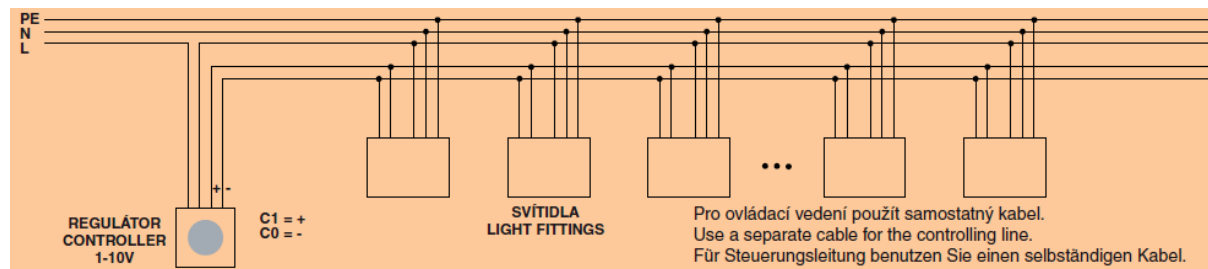
## 5 Systémy pro stmívání EP

Plynulé řízení EP je možné pouze s takovými typy, které jsou k tomuto účelu konstruovány. Předřadníky mohou být s analogovým nebo digitálním vstupem. Tyto je potřeba také specificky ovládat a proto byly vyvinuty určité standardy a také převodníky mezi nimi. Níže je uvedeno několik nejzákladnějších.

### 5.1 Analogové řízení (1 – 10 V)

Analogové řízení patří mezi nejstarší a nejjednodušší způsob regulace. Pro ovládání se používá otočný regulátor, který v sobě může mít instalován také spínač osvětlení. V regulátoru je jednoduchý dělič napětí s potenciometrem. Druhá varianta je s použitím senzoru, na které si zvolíme požadovanou intenzitu osvětlení.

Výstup je řešen samostatným dvou vodičovým kabelem a přenášený signál je spojitý v rozsahu 1 V – 10 V. Tímto způsobem lze ovládat typicky až 50 svítidel. Schema zapojení můžeme vidět na obrázku 6 [1].



Obrázek 6: Zapojení analogového regulátoru [1]

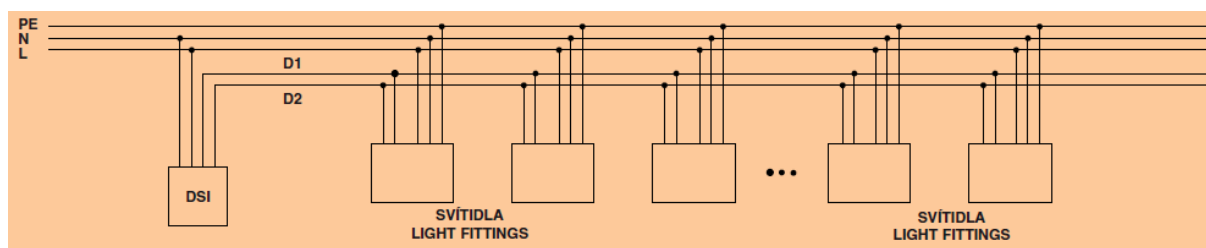


## 5.2 Digitální řízení

Digitálních standardů je hned několik. Na trhu jsou nejběžněji dostupné pod zkratkami jako DALI a DSI.

### 5.2.1 DSI (Digital Signal Interface)

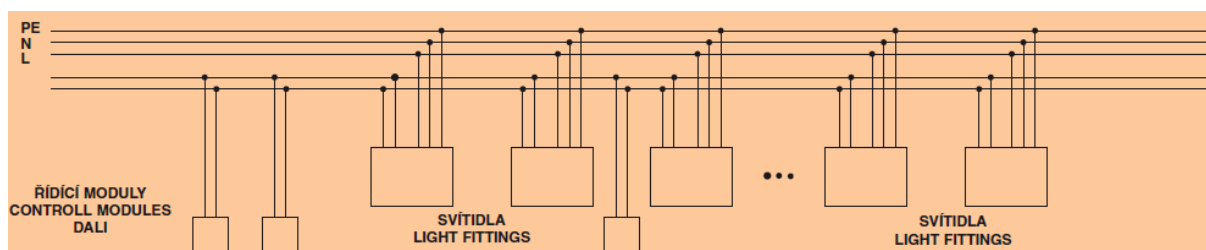
Je to protokol vytvořený pro ovládání osvětlení v budovách. V roce 1991 byl vytvořen Rakouskou společností Tidonic a je založen na 8-bitovém kódování Manchester. Pro řízení stmívání nabývá kód hodnot 0 – 255. Ovládání je dvoužilové a umožňuje jak stmívání tak i zapínání/vypínání EP [1].



Obrázek 7: Zapojení DSI regulátoru [1]

### 5.2.2 DALI (Digital Addressable Lighting Interface)

DALI je nástupce protokolu DSI a v dnešní době je to nejmodernější způsob regulace osvětlení pro systémy inteligentního řízení. Nabízí nové možnosti jako je definování Master-Slave komunikace mezi ostatními moduly. Celý systém může pojmout až 64 komponent které může členit až do 16 skupin a dále může mít nastaveno až 16 scén. Propojení je pomocí dvoužilové datové sběrnice [1].



Obrázek 8: Zapojení řízení pomocí DALI sběrnice [1]

## 6 Návrh zařízení

Koncepce elektronického předradníku je řešena paralelním řazením zářivek. Každá zářivka má svoji tlumivku a rezonanční kondenzátor. Použití mikrokontroléru umožňuje jednoduché spouštění, stmívání a také realizaci ovládání EP tlačítkem i řízení napětím. Výstupním výkonovým prvkem byly zvoleny MOSFET tranzistory v polomůstkovém zapojení, které se běžně používá u komerčních zařízení [11]. Samotný mikrokontrolér není schopen spínat tranzistory v použitém zapojení a proto je použit výkonový budič určený pro spínání tranzistorů. Blokové schéma je zobrazeno na obrázku 9.

### 6.1 Parametry zářivky

V této práci jsou navrženy trubice rozměru T8 o výkonu 40 W s provozním napětím 103 V, proudem protékající zářivkou při plném výkonu 430 mA a žhavicím proudem 650 mA. Pro porovnání s dalšími typy jsou parametry přehledně zobrazeny v tabulce 1 [4].

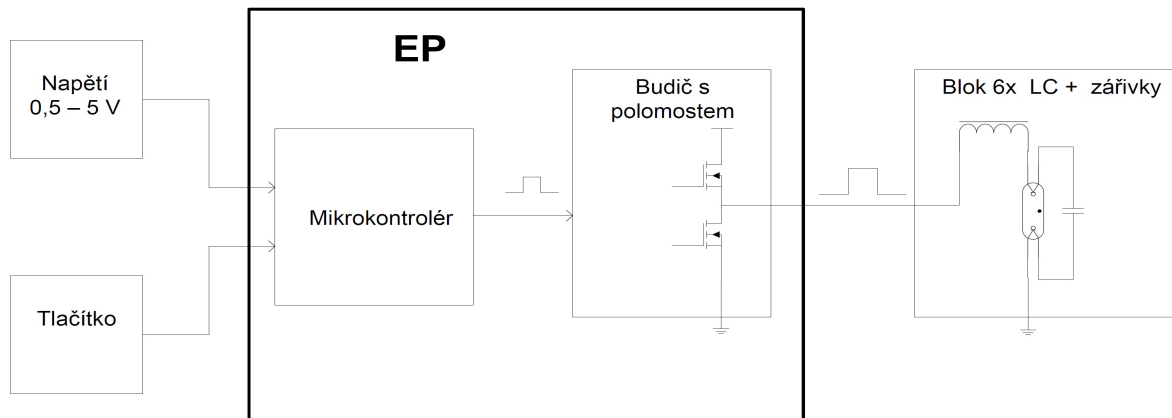
**Tabulka 1:** Přehled proudů a napětí při provozu

Výkon	Průměr	Průměr	Napětí na zářivce	Proud zářivkou
4 W	T5	16 mm	29 V	170 mA
6 W	T5	16 mm	42 V	160 mA
8 W	T5	16 mm	56 V	145 mA
10 W	T8	26 mm	64 V	170 mA
13 W	T5	16 mm	95 V	165 mA
15 W	T8	26 mm	55 V	330 mA
16 W	T8	26 mm	90 V	200 mA
18 W	T8	26 mm	57 V	370 mA
20 W	T12	38 mm	57 V	370 mA
22 W	T9	29 mm	62 V	370 mA
30 W	T8	26 mm	96 V	365 mA
32 W	T9	29 mm	81 V	425 mA
36 W	T8	26 mm	103 V	430 mA
38 W	T8	26 mm	104 V	430 mA
40 W	T12	38 mm	103 V	430 mA
58 W	T8	26 mm	110 V	670 mA
65 W	T12	38 mm	110 V	670 mA
6 W	T2	7 mm	51 V	100 mA
8 W	T2	7 mm	79 V	100 mA
11 W	T2	7 mm	110 V	100 mA
13 W	T2	7 mm	136 V	100 mA
14 W	T5	16 mm	86 V	165 mA
21 W	T5	16 mm	126 V	165 mA
28 W	T5	16 mm	166 V	170 mA
35 W	T5	16 mm	205 V	175 mA
39 W	T5	16 mm	118 V	325 mA
49 W	T5	16 mm	191 V	245 mA
54 W	T5	16 mm	120 V	455 mA
80 W	T5	16 mm	152 V	530 mA

Zdroj: <http://amarokcz.wz.cz/img/ECG-T.gif>

## 6.2 Blokové schéma

Na obrázku 9 je vidět blokové schéma elektronického předřadníku. Na vstup jsou připojeny ovládací prvky, jimž jsou tlačítko a analogový vstup. Analogový vstup je aktivní v rozmezí 0,5 V – 5 V. Jako výstup je připojen blok 6 x 40 W zářivek, přičemž každá má svoji tlumivku a startovací kondenzátor.

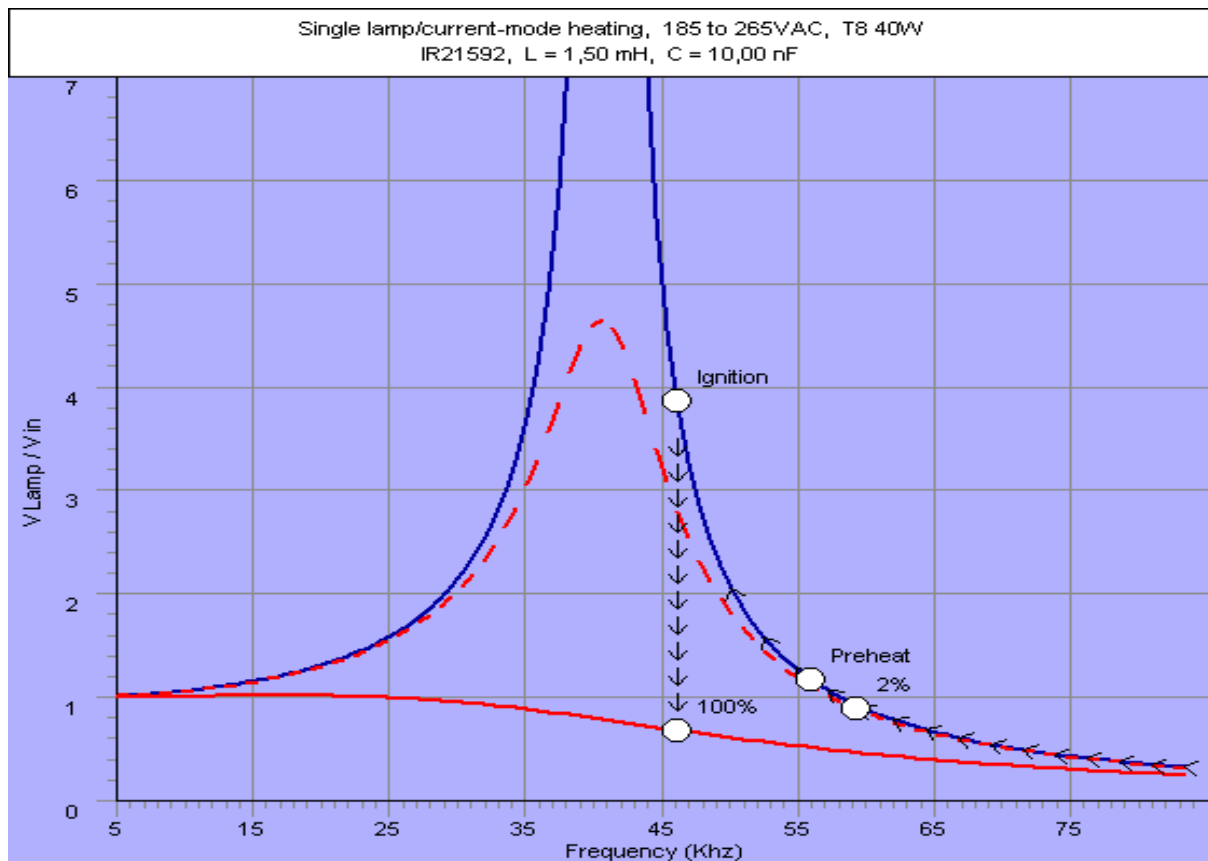


Obrázek 9: Blokové schéma zařízení

### 6.3 Návrh tlumivky a kondenzátoru pomocí Ballast Designeru V4

Pro návrh lze s výhodou použít prostředí *Ballast Designer V4* firmy International Rectifier, který je volně ke stažení na jejich webové stránce. Tento program má uloženy parametry různých zářivkových těles a lze tak jednoduše zvolit a navrhnout rezonanční kondenzátor a tlumivku pro zvolený typ zářivky. Po zadání vstupních parametrů program zobrazí frekvence pro přehřev, start a také frekvence pro 100 % i 2 % intenzity osvětlení. Po zvolení a nastavení všech nezbytných kroků lze vygenerovat parametry pro návrh i konstrukci tlumivky [12].

Program také umožňuje grafické zobrazení poměru výstupního ku vstupnímu napětí v závislosti na frekvenci. Tento výstup je pro zvolený typ zářivky vidět na obrázku 10. Můžeme zde také vidět, že zapalovací i provozní frekvence je stejná. Tímto je zajištěno spouštění více zářivek v paralelním řazení bez nutnosti detekce jejich zapálení.

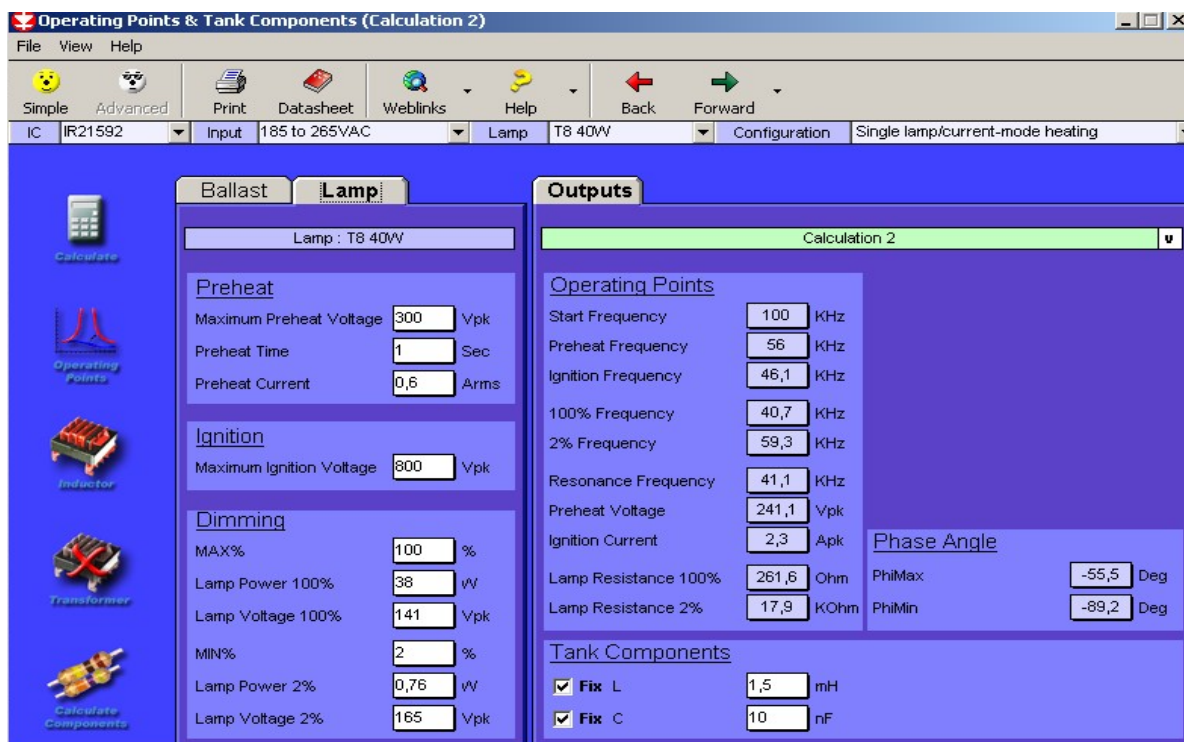


Obrázek 10: Výstup z Ballast Designeru V4 - závislost napětí na frekvenci

Návrh tlumivky a rezonančního kondenzátoru je možné buď vypočítat ručně, nebo jednodušeji pomocí programu. V této práci je využit jednodušší postup pomocí již výše uvedeného programu, jehož návrhové prostředí je vidět na obrázku 11 a v tabulce 2 jsou vypsány hodnoty frekvencí a napětí k základním režimům.

V práci byly použity feritové jádra velikosti E30 z materiálu CF138, který je ekvivalentem 3C85. Technické parametry jádra jsou uvedeny v tabulce 3 .V příloze A.1 je uveden vygenerován konstrukční výkres tlumivky s jejími parametry programem Ballast Designer V4, konstrukční výkres použité kostry na navinutí cívky a použitého jádra Lj E3007 [13] .

Na každé cívce je navinuto 206 závitů drátem o průměru 0,4 mm a mezera mezi dvěma E jádry je nastavena na 2,1 mm.



Obrázek 11: Ukázka návrhového prostředí Ballast Designer V4

Tabulka 2: Přehled frekvencí a napětí uvedené Ballast Designerem V4

Režim	Frekvence [kHz]	Napětí [Vpk]	Proud [Apk]
Žhavení	56	241	0,8
Zapálení	46	800	2,3
Provoz (100 %)	46	141	0,6
Stmívání (2 %)	59	165	Nezjištěno

Tabulka 3: Technické parametry E jádra CF138/139 [13]

Typ	$L_e$ [mm]	$A_e$ [mm <sup>2</sup> ]	$A_{min}$ [mm <sup>2</sup> ]	$V_e$ [mm <sup>3</sup> ]	$A_L$ [nH] +20 % / -25 %	m (1 ks) [g]
CF138/139	67	60	49	4000	1900	11

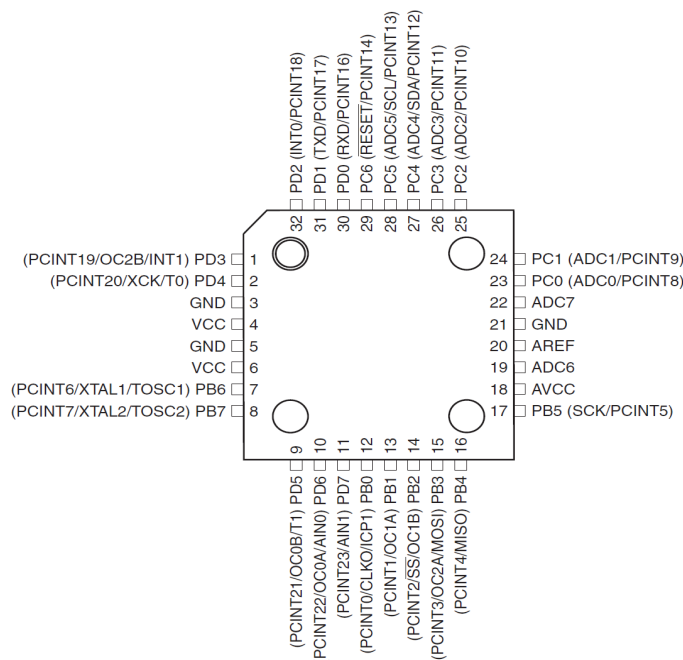
## 6.4 Atmel® AVR® ATmega48

Jádrem elektronického předřadníku je mikrokontrolér a proto jsou na něj kladeny vysoké nároky musí splňovat požadavky jako je nízká spotřeba, vysoký taktovací kmitočet v tomto případě alespoň 10 MHz, dále musí mít AD převodník a čítač/časovač. Podle katalogového listu [14] tyto minimální požadavky zvolený obvod splňuje a pro přehled je uvedeno několik parametrů. Na obrázku 12 je vyobrazen Atmel® AVR® ATmega48 v pouzdře TQFP32 [14].

ATmega48 je vysoce výkonný a energeticky úsporný mikrokontrolér s architekturou RISC. Byl vybrán převážně díky relativně nízké ceně ale především kvůli jeho dostupnosti. Maximální taktovací frekvence je až 20 MHz, což odpovídá 20-ti MIPS. Pro tento účel je to dostatečné a v zapojení je použit právě krystal s touto hodnotou. Z důvodu maximálního využití výkonu je napájecí napětí zvoleno 5 V, což má bohužel za následek mírně vyšší spotřebu. Dále je využit jeden ADC převodník a jeden 8-mi bitový čítač/časovač. Obvod disponuje 4 Kb flash paměť pro program, kterou lze až 10 000x přepsat/vymazat. Dále má 256 b EEPROM paměť, která může být až 100 000x přepsána/vymazána a 512 b paměť SRAM. Data jsou bezpečně uchována po dobu 100 let při pokojové teplotě a 20 let při zvýšené teplotě 85 °C [14].

### Vybrané parametry Atmel® AVR® ATmega48 [14]:

- frekvence až 20 MHz
- napájecí napětí 2,7 V – 5,5 V
- pracovní rozsah teplot -40 °C – 85 °C
- 23 vstupně výstupních pinů
- 2 x 8-bitové a 1 x 16-bitový čítač/časovač
- 8-mi kanálový 10-bitový AD převodník
- maximální vlastní spotřeba 12 mA



Obrázek 12: Atmel® AVR® ATmega48 v pouzdře TQFP32 [14]

## 6.4.1 Popis funkce

### Vstupy

#### Analogový vstup

Jako řídicí vstupy slouží dva piny. První, s vyšší prioritou, je vstup ADC7. Na tento se přivádí napětí, kterým je řízena intenzita osvětlení. Vstupní napětí je zvoleno v rozmezí 0,5 V – 5 V, přičemž maximální napětí odpovídá maximálnímu jasu zářivky. Pokud je detekováno napětí větší než 0,5 V, dochází k vyhodnocení tohoto napětí a to je převedeno na frekvenci. Pro výpočet byl použit upravený vzorec z katalogového listu mikrokontroléru [14]:

$$f = \left[ f_{max} + \frac{(AD - 102) * (f_{max} - f_{min})}{921} \right] \quad (1)$$

- f – vypočtená frekvence
- $f_{max}$  – maximální frekvence (minimální intenzita jasu)
- $f_{min}$  – minimální frekvence (maximální intenzita jasu)
- AD – číslo uložené v ADC registru mikrokontroléru

#### Tlačítkový vstup

Pokud je napětí nižší než minimální, dochází k detekci na pinu PB0 na kterém je připojeno tlačítko. Jestliže je zaznamenán krátký stisk, dochází podle předchozího stavu k zapnutí nebo vypnutí zářivky. V případě delšího držení je snižována popřípadě zvyšována intenzita jasu. Jako „krátký stisk“ je definována doba stisku kratší jak 300 ms. Tato časová prodleva je zvolena na základě pokusu a vyhodnocena jako kompromis, při kterém není potřeba příliš dlouho čekat než dojde k stmívání a nedochází ke stmívání, když je požadováno zhasnutí. Pokud není na vstupy přiveden žádný signál, zůstává stav ve svém posledním režimu.

### Výstupy

Výstupní signál je přiváděn na piny OC0A a PD7. Pin PD7 je použit k zapínání budícího obvodu IR2104 reagující na logickou „0“ odblokováním výstupů a logickou „1“ k jejich zablokování.

Z pinu OC0A je odebírána řídicí frekvence, kterou udává 8-mi bitový časovač. Ten je nastaven na překlápění výstupu po vypršení nastaveného času. Tento čas udává hlavní registr TCNT0, který neustále zvyšuje svou hodnotu až do čísla uloženého v registru OCR0A. Pro výpočet čísla odpovídající zadané frekvenci se zapisuje do registru OCR0A hodnota přepočítaná pomocí vzorce [14] :

- OCR – číslo uložené v registru OCR0A
- Xtal – hodnota použitého krystalu
- freq – frekvence
- N – nastavení děličky

$$OCR = \frac{Xtal}{(2 * N) * freq} - 1 \quad (2)$$

## 6.4.2 Popis programu

Program mikokontroléru je napsán jazykem C ve vývojovém prostředí AVR Studio 4 od firmy Atmel který je zdarma ke stažení z jejich webové stránky. Celý program je uveden v příloze A3. Pro lepší pochopení jsou níže popsány nejdůležitější použité funkce programu uvedeného v příloze.

Díky výpočtům v mikokontroléru, stačí zadat do proměnných *zhav*, *zapal*, *max* a *min* potřebné frekvence a program si správně sám dopočítá potřebné hodnoty zapisované do potřebných registrů:

*zhav* – předešřivací frekvence  
*zapal* – zapalovací frekvence  
*max* – frekvence maximální intenzity (minimální frekvence)  
*min* – frekvence minimální intenzity (maximální frekvence)

### Zavedení hystereze při regulaci analogovým vstupem

Při testování byl zjištěn nestabilní provoz, při kterém docházelo k opakovanému zapínání a vypínání zářivky v rozhodovací úrovni 0,5 V. Tato chyba byla odstraněna zavedením hystereze snížením rozhodovací úrovně na 0,38 V.

```
hystereze=0;
while (a>(110-Hystereze))
{
    Hystereze = 25; // nastavení hystereze - 0,12V
```

Dále bylo potřeba odstranit vliv zvlnění vstupního i referenčního zdroje, které mělo za následek neustálou změnu frekvence a tudíž i intenzity jasu. K aproximaci těchto zvlnění je použito průměrování vstupního napětí. Dochází tak k ustálení frekvence.

```
if(Prumer_citani == 100) //Průměrování a;
{
    Prumer = Prumer/100;
```

Dále byla zavedena hystereze  $\pm 50$  Hz pro převod vstupního napětí na frekvenci. Před touto hysterezí stále docházelo stále k blikání zářivky zapříčiněným nestabilitou vstupního a referenčního napětí.

```
if((Prumer>(freq+50)) || (Prumer<(freq-50)))
{
    //nová frekvence se zapíše při změně>50
    freq = Prumer;
    Zmena_freq = 1;
```

Hystereze odstranila nežádoucí blikání a stmívání je plynulé v krocích.



## Funkce „start()“

Jak je popsáno v kapitole 4.3, tak pro zvýšení životnosti je potřeba zajistit teplý start zářivky. Právě pro tento účel je zavedena funkce „start()“, která před samotným zapálením nažhaví vlákna a usnadní tak ionizaci plynu v trubici.

Popis funkce teplého startu je popsán v kapitole 4.3.1. Pro přehřev byla spočítána frekvence v kapitole 6.3 na 56 kHz. Před každým rozsvícením zářivky je nejprve nastavena tato frekvence po dobu 0,8 s. Poté dojde ke snížení frekvence na frekvenci zapalovací a následuje rozsvícení. Po startu je možná plynulá regulace jasu nebo okamžité vypnutí zářivky.

## Funkce „osc()“

Jedná se o nejdůležitější funkci v programu, která převádí frekvenci na hodnotu, kterou je potřeba uložit do registru čítače. Hodnota se vypočítá nejprve do proměnné *per*. Pro převod byl použit upravený vzorec (2) uvedený v předchozí kapitole.

```
per=((xtal/freq)/(2*N))-1; //vypočet čísla do reg
```

Při zvyšování frekvence může dojít k přetečení čítače přepsáním nižší hodnoty v registru OCR0A, kdy v TCNT0 je právě tato hodnota vyšší. Tento stav je ošetřen jednoduchou podmínkou testováním hodnoty proměnné *per* ještě před zapsáním čísla do registru.

```
while (TCNT0>50) //zamezuje přetečení čítače
    _NOP();      // čeká se na hodnotu menší 50ti
OCR0A= per;     // zapíše do registru vypočtenou hodnotu
```

Zvolení přepočtu mikrokontrolérem je použito z důvodu větší přehlednosti v programu, kde se pracuje s hodnotami frekvencí a také pro jejich jednodušší změnu.

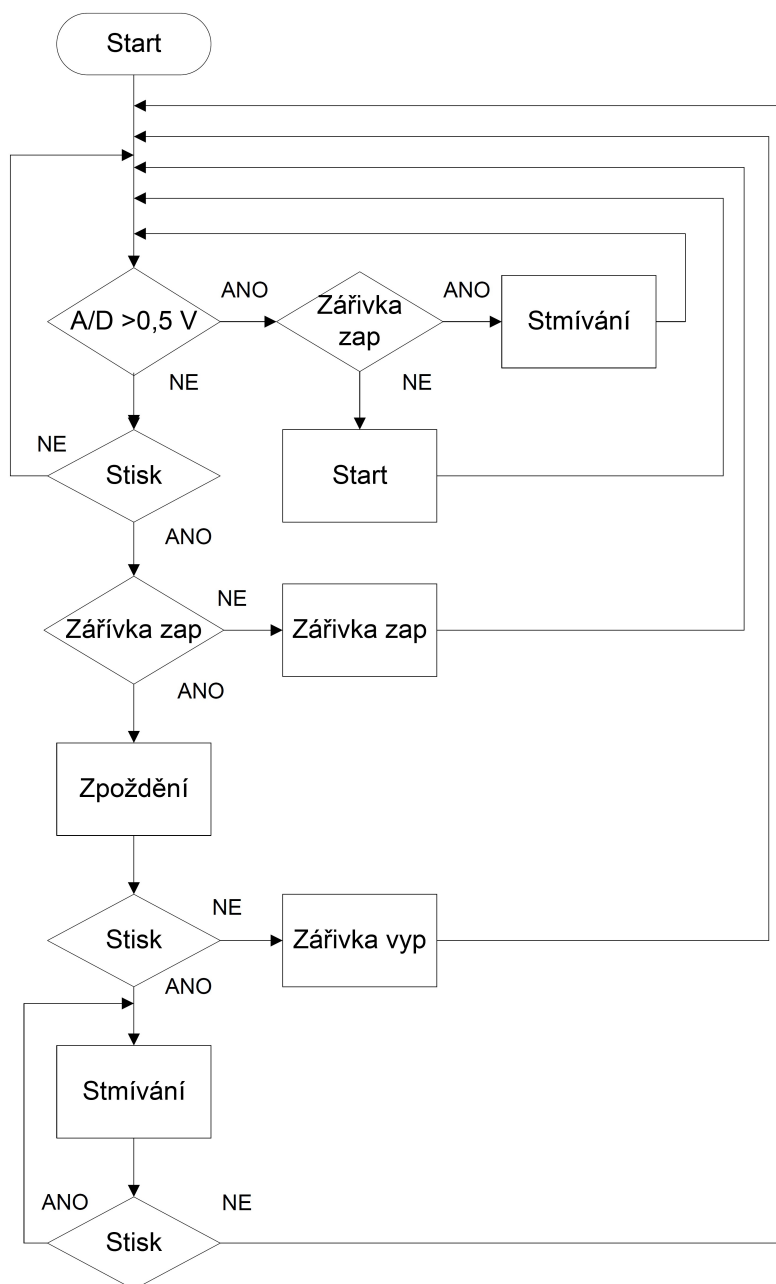
## Funkce „Stisk\_tlačítka()“

Tato funkce je zavedena jako debouncer, který testuje tlačítko proti zákmitům. Při stisku tlačítka nejdříve dojde k naplnění registru. Pokud je registr naplněn samými jedničkami, dojde k vyhodnocení stisku tlačítka jako oprávněný a nejedná se o nežádoucí zákmit.

Využívá již dříve vytvořené funkce „stisk()“, ve které je detekována nulová úroveň na tlačítkovém vstupu pinu PB0.

### 6.4.3 Vývojový diagram

Na obrázku 13 je vidět vývojový diagram navrhovaného programu. Po spuštění programu je detekováno napětí na AD vstupu. Pokud je napětí vyšší než 0,5 V, dochází k rozsvícení zářivky a následnému nastavení intenzity jasu podle úrovně napětí. Po snížení napětí pod úroveň 0,5 V dochází k vypnutí zářivky a přechází se k detekci tlačítka. Pokud je detekován stisk, kontroluje se stav zářivky. Pokud je zhaslá dochází k jejímu rozsvícení. Dále je nastavena časová prodleva a znova detekován stisk. Pokud další stisk nenastane a je rozsvíceno, dojde k zhasnutí. Jestliže je detekován stisk, znamená to, že je drženo tlačítko a dochází ke stmívání.



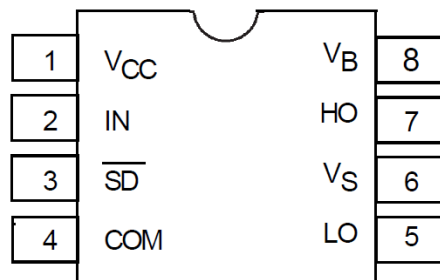
Obrázek 13: Vývojový diagram programu

## 6.5 Polomůstkový budič IR2104

Jak již bylo naznačeno v kapitole 6, pro buzení tranzistorů v polomůstkovém zapojení je zapotřebí vhodný budič. Jako vhodný „kandidát“ byl vybrán IO IR2104, který je určen pro provoz v polomůstkovém zapojení a je řízen jedním signálem a jedním blokovacím vstupem SD. Zapojení vývodů je vidět na obrázku 14. Jeho vstup je možné řídit 5 V logikou, což je prioritním požadavkem. Může být napájen napětím až 25 V při maximálním proudovém odběru 270  $\mu$ A v klidovém režimu a dokáže řídit tranzistory připojené na napětí až 600 V [15].

### Parametry[15]:

- maximální spínané napětí 600 V
- výstupní napětí 10 V – 20 V pro řízení tranzistorů
- kompatibilita s 3,3 V, 5 V a 15 V logikou
- pevně nastavená časová prodleva stejná pro oba kanály

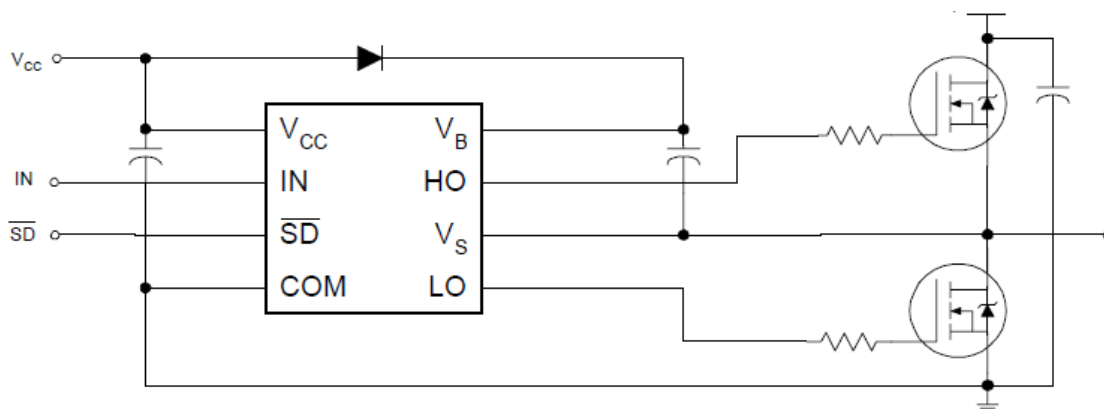


Obrázek 14: Zapojení vývodů IR2104 v pouzdře SOIC/PDIP [15]

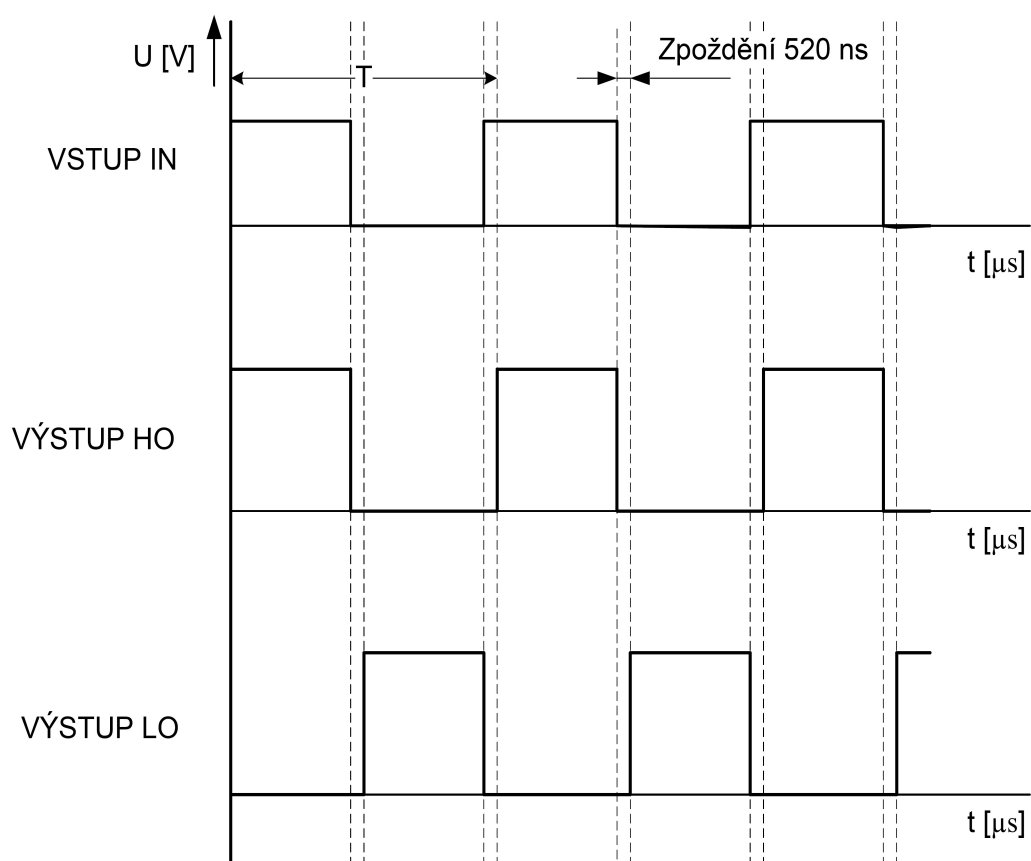
### 6.5.1 Funkce

Obvod je zapojen podle typického zapojení z katalogového listu na obrázku 15. Na vstup SD je přiváděn zapínací signál nulové úrovně, který při logické 1 blokuje oba výstupní tranzistory. Na pin IN se přivádí frekvence z mikrokontroléru s 5 V logikou. Tento obvod převádí na výstup HO signál ze vstupu a tento invertovaně na výstup LO s napětím 15 V, které je schopné spínat výstupní tranzistory.

Výstupní polomůstek je tvořen dvěma tranzistory. Horní je připojen na spínané kladné napětí a dolní na společnou zem. Pro spínání horního tranzistoru je nutné připojit jeho source na plovoucí zem. Napětí pro otevření tohoto tranzistoru tvoří kondenzátor připojený mezi piny V<sub>b</sub> a V<sub>s</sub>, který je nabíjen přes diodu kladným napětím V<sub>cc</sub> a přes otevřený dolní tranzistor připojený na společnou zem. Otevření pak probíhá připojením tohoto nabitého kondenzátoru mezi gate a source horního tranzistoru. Jak je vidět na obrázku 16, mezi těmito výstupními signály je časová prodleva 520 ns, která je potřebná k uzavření tranzistoru před otevřením tranzistoru následujícího. Pokud by spínání bylo okamžité, mohlo by dojít k proražení tranzistorů.



**Obrázek 15:** Typické zapojení IR2104 [15]



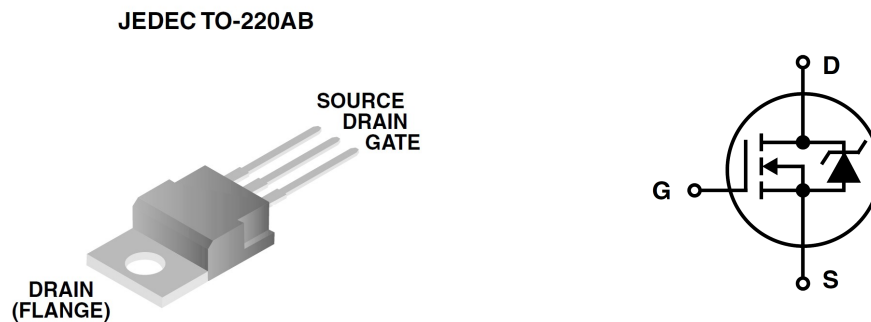
**Obrázek 16:** Časový diagram závislosti výstupních signálů na vstupním

## 6.6 Výstupní tranzistory – IRF730

Na výstupní tranzistory jsou kladeny nemalé nároky. Musí být dostatečně dimenzovány proudově i napěťově. Napětí, kterým jsou tranzistory v této práci spínány může dosahovat v krajních případech až 360 V. Špičkový proud při startu zářivek je až 15 A a při žhavení je protékající proud roven 3,9 A. Dalším parametrem je odpor otevřeného tranzistoru mezi hradly drain a source jehož úbytek na něm vytváří mnohdy nezanedbatelnou výkonovou ztrátu. Na obrázku 17 je vyobrazeno zapojení vývodů použitého tranzistoru.

### Parametry [16]:

- maximální napětí  $U_{D-S} = 400 \text{ V}$
- maximální trvalý proud  $I_{SD} = 5,5 \text{ A}$
- maximální pulzní proud  $I_{SDM} = 22 \text{ A}$
- maximální napětí  $U_{GS} = \pm 20 \text{ V}$
- maximální výkonová ztráta  $P_D = 75 \text{ W}$
- nízký odpor  $r_{DS(ON)} = 1 \Omega$

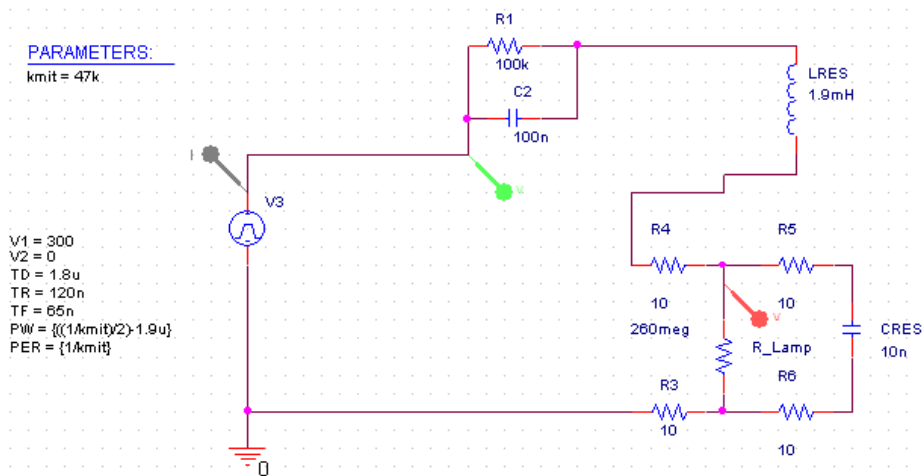


Obrázek 17: Zapojení vývodů tranzistoru IRF730

## 6.7 Počítačová simulace a měření

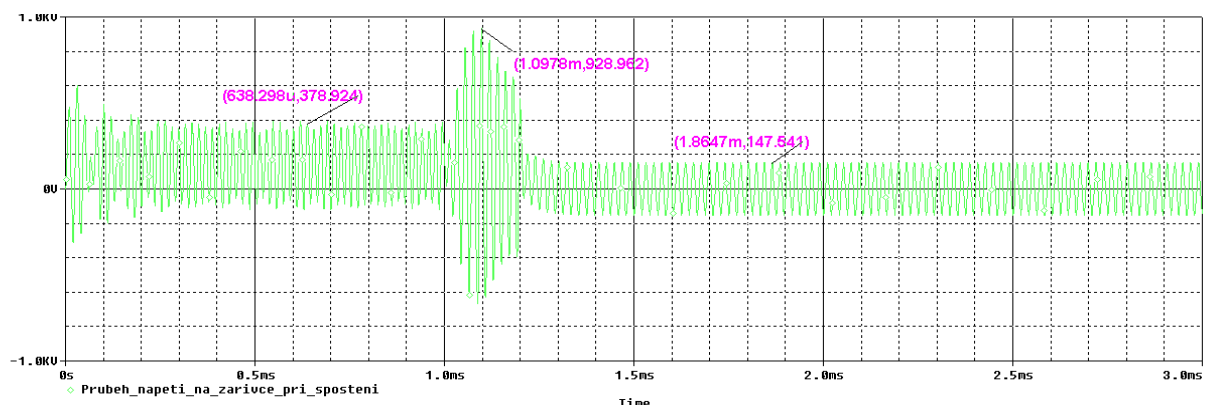
### 6.7.1 Počítačová simulace

Pomocí programu OrCAD Pspice lze nasimulovat průběhy všech stavů zářivky. Pro simulaci je použit náhradní model uvedený v kapitole 4 na obrázku 4. Tento byl upraven a zapojen tak, jak je vidět na obrázku 18. Hodnota odporu zapálené trubice není známa a proto je volena hodnota  $300\ \Omega$  udávaná Ballast Designerem 4. V nezapáleném stavu byla zvolena hodnota zářivky  $250\ M\Omega$ . Jako zdroj signálu je použit generátor obdélníkového signálu.



Obrázek 18: Náhradní schema zapojení modelu zářivky

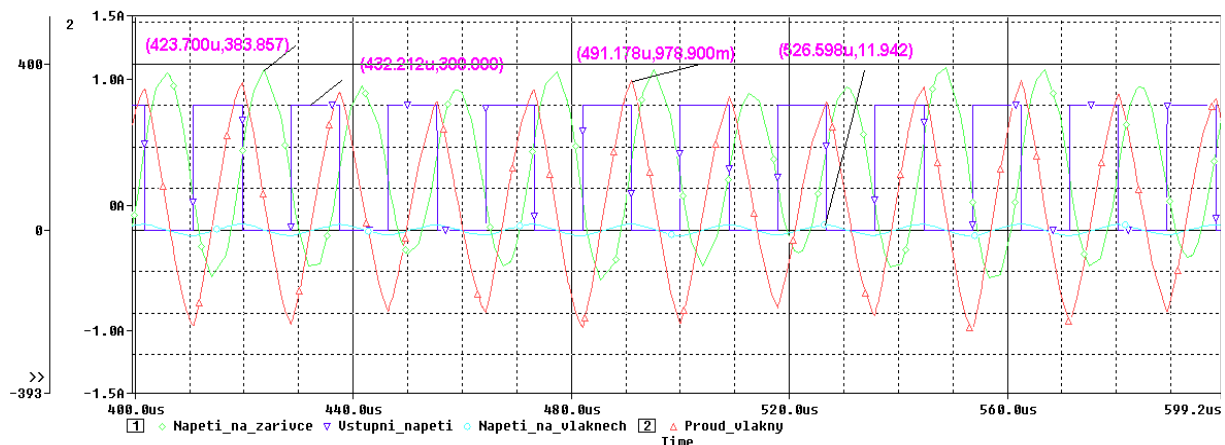
V první fázi je potřeba ohřát plyn v trubici na teplotu v rozmezí  $700\ ^\circ\text{C}$  –  $1000\ ^\circ\text{C}$ . Podle výrobce je přehřívací proud stanoven na  $650\ \text{mA}$ . Zářivka nesvíí a tedy její odpor je nastaven na vysokou hodnotu  $250\ M\Omega$ . Poté následuje snížení frekvence na hodnotu blízké rezonanci. Na zářivce vzroste napětí a dochází k proražení výboje ionizovaným plynem. Odpor i napětí poklesne na provozní podmínky, v simulaci tedy na  $300\ \Omega$  a  $141\ \text{Vpk}$ . Celý průběh spouštění je vidět na obrázku 19, kde lze vidět všechny postupně jdoucí režimy.



Obrázek 19: Průběh napětí při spouštění zářivky

## Žhavení

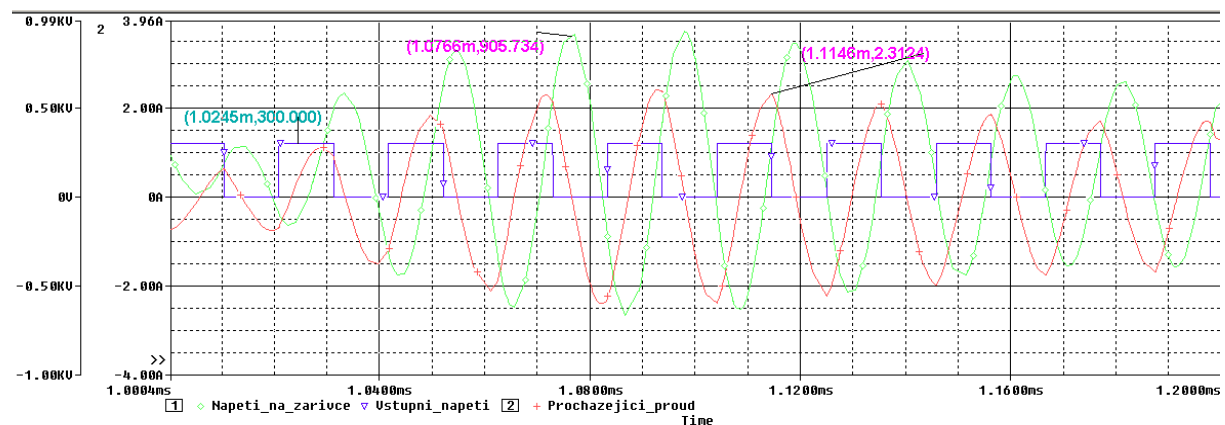
Nejdříve dochází k žhavení. Na obrázku 19 je vidět průběh napětí a proudů na zářivce při tomto režimu. V literatuře [5] je uveden poměr mezi odporem vlákna při pokojové teplotě  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  a žhavicí teplotě na  $4,75 \pm 0,5$ . Při pokojové teplotě je zvolen odpor  $3\ \Omega$ . Teplota zahřátého vlákna je zvolena  $15\ \Omega$ . Při nastavené frekvenci  $56\text{ kHz}$  je procházející proud  $691\text{ mA}$  a napětí na trubici  $384\text{ Vpk}$ . Průběh napětí na vláknech je vidět také na obrázku 19 přičemž úbytek na nich nepřesahuje  $12\text{ Vpk}$ .



Obrázek 20: Průběh napětí a proudů při žhavení

## Zapálení

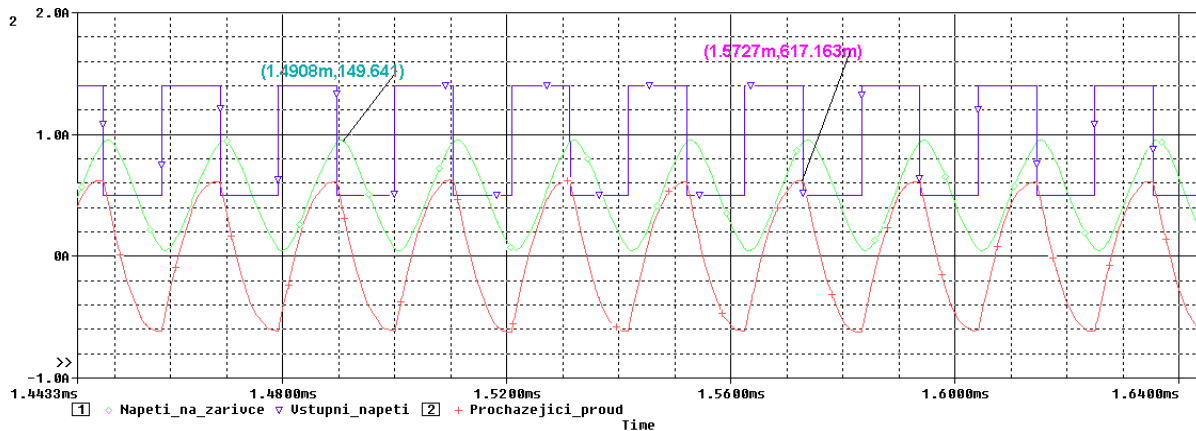
Po uplynutí doby žhavení vláken, dochází ke snížení frekvence na  $46\text{ kHz}$ . Na obrázku 21 lze pozorovat tento průběh zapálení při kterém hodnoty napětí na zářivce vzrostou na  $905\text{ Vpk}$  a procházející proud  $2,3\text{ Apk}$ .



Obrázek 21: Průběh napětí a proudů při zapálení

## Provoz

Po zapálení je nastaven odpor zářivky na  $300 \Omega$ . Na obrázku 22 je vidět znatelné snížení proudu i napětí. Na zářivce je napětí 149 Vpk a prochází jí proud 0,43 A.

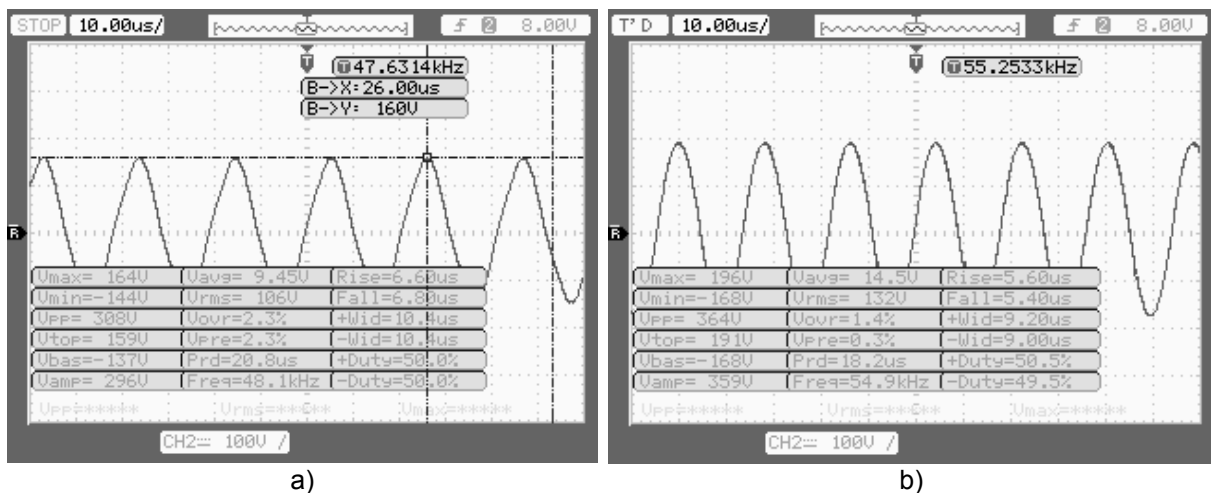


Obrázek 22: Průběh napětí a proudů při provozu zářivky

### 6.7.1 Měření

Měřením bylo možné zkontrolovat a upravit navržené a odsimulované hodnoty. Indukčnost tlumivky byla zvýšena z 1,5 mH na 1,6 mH. Tímto bylo dosaženo menšího zápalného napětí i proudu a tím dalšího zvýšení životnosti. Na obrázku 23 jsou osciloskopem naměřené průběhy rozsvícené zářivky pro maximální a minimální intenzitu osvětlení. Při 48,1 kHz byla naměřena hodnota napětí na zářivce 106 V. Zapalovací/provozní frekvence byla z tohoto důvodu změněna z 46 kHz na 48 kHz. Nejnižší intenzita byla zvolena při frekvenci 55 kHz. Zářivku bylo možné dále stmívat až do frekvence 62 kHz, avšak jas při této frekvenci byl tak malý, že by nepostačoval na jakékoliv osvětlení.

Proudy nemohly být změřeny z důvodu možného překročení maximálního napětí 1000 V přístrojích přístrojů a vzhledem k používané osciloskopické sondě do 300 V nemohly být změřeny ani průběhy při žhavení či zapálení zářivky.

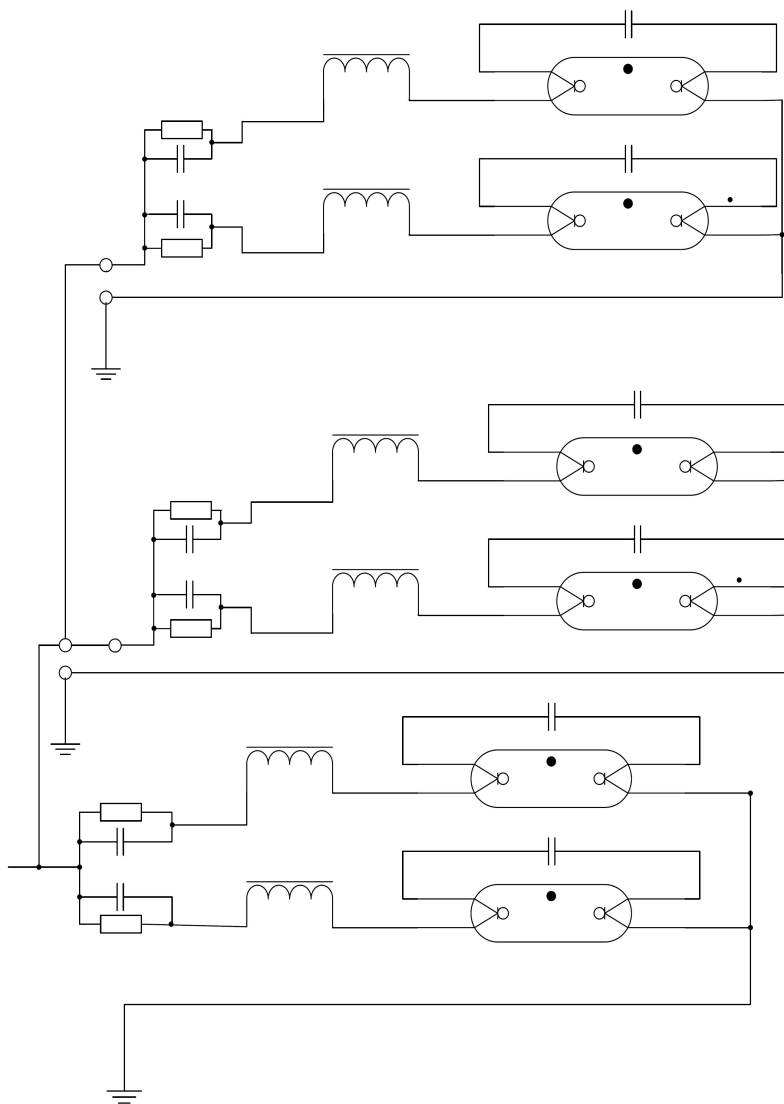


Obrázek 23: Naměřené hodnoty a průběhy napětí na zářivce: a) maximální jas, b) minimální jas



## 6.8 Zapojení bloku zářivek

V této práci je EP navržen pro dvojice zářivek. Na obrázku 24 je vidět paralelní zapojení zářivek po dvojicích.



**Obrázek 24:** Paralelní zapojení zářivek 6 x 40 W

## **6.9 Popis EP**

Elektronický předřadník je primárně určen pro provoz 6 zářivek o výkonu 40 W v provedení T8. Provedení je vyhotoveno pro spouštění dvou trubic a další rozšíření poté přidavnými moduly. V příloze A2 je možné vidět fotku hotového předřadníku s rozšiřujícím modulem a popisem zapojení vývodů.

### **6.9.1 Vstupy / výstupy**

#### **Vstup**

Ovládání EP je možné řídit dvěma vstupy. Prioritně je řízen napětím v rozsahu 0,5 V – 5 V, kdy 5 V odpovídá maximálnímu jasu zářivky. Pokud je napětí menší než 0,5 V, detekuje se stisk tlačítka na druhém vstupu. Krátkým stiskem tohoto tlačítka (do 300 ms) dochází k zapínání/vypínání osvětlení a delším stiskem (nad 300 ms) dochází ke stmívání/rozjasňování.

Samozřejmostí je vstup pro připojení napájecího síťového napětí 230 V.

#### **Výstup**

DPS předřadníku je pro možné zabudování do svítidla navržena pro 2 tlumivky a 2 rezonanční kondenzátory. Má tedy 2 plnohodnotné výstupy pro dvě zářivky a další výstup pro možnost rozšíření, které obsahuje pouze blokovací kondenzátory a samotnou tlumivku s rezonančním kondenzátorem. Nabízí se tedy možnost použití více svítidel, přičemž EP je instalován do jednoho tělesa a poté je rozveden do okolních svítidel.

## 7 Závěr

V této bakalářské práci byl navrhnout elektronický předřadník pro spouštění šesti zářivek o celkovém výkonu 240 W s integrovaným stmíváním řízený analogovým vstupem a tlačítkem.

Prioritně je nastaveno ovládání napětím. Pokud je napětí na vstupu menší než 0,5 V, testuje se stisk tlačítka. Měření napětí na vstupu probíhá nepřetržitě a při detekci napětí vyššího než 0,5 V, dochází ke startu zářivky a následnému nastavení intenzity jasu závislém na přiváděném napětí, přičemž při 5 V je nastavena maximální intenzita. Při ovládání napětím bylo nutné zavést hysterezi kvůli neustálému měnění frekvence. Tato hystereze byla nastavena krokem  $\pm 50$  Hz. Rozlišení převodu napětí na frekvenci je tudíž v nastaveném rozsahu 80 kroků.

Tlačítkem lze měnit intenzitu jasu plynule z maxima po minimum a nazpět. Při krátkém stisku dochází k rozsvěcování/zhasínání zářivek. Při déletrvajícím stisku dochází v době držení tlačítka ke stmívání a dalším dlouhým stiskem opětovně k rozjasňování.

Při měření byla upravena hodnota tlumivky na 1,6 mH a zapalovací/provozní frekvence byla nastavena na 48 kHz. Při této hodnotě napětí na zářivce bylo 104 V. Maximální frekvence, kdy zářivka ještě svítila byla 62 kHz. Jako postačující byla v této práci zvolena maximální frekvence 55 kHz.

Po konzultaci s vedoucím práce byl vyhotoven EP jako řídicí modul uzpůsobený pro dvě zářivky s dalším rozšířením pomocí přídatných modulů. Tato varianta byla volena pro možnou instalaci do svítidel určených pro dvě trubice.

Zapojení je řešeno s mikrokontrolérem ATmega48 a integrovaným obvodem IR2104, který slouží jako budič výstupních výkonových tranzistorů v polomůstkovém zapojení. Oba integrované obvody jsou nízkopříkonové v provedení SMD, což minimalizuje prostor zabraný na DPS. K napájení zařízení je použit miniaturní transformátor, což zajišťuje minimální spotřebu a oddělení řídicích obvodů od síťového napětí. Na síťové napětí jsou připojeny pouze výstupní tranzistory.

Pro řazení zářivek bylo zvoleno paralelní uspořádání především díky možnosti napájení přímo ze sítě 230 V/50Hz bez nutnosti použít zvyšující zdroj napětí. Další výhodou tohoto zapojení je také možnost volby počtu trubec od 1 ks do 6 ks.

Řídicí program je napsán tak, že lze jednoduše změnit frekvence uložené do proměnných *zhav*, *zapal*, *max* a *min*. Všechny potřebné výpočty pro oscilátor i AD převodník jsou obsaženy v kódu programu a pro výpočet potřebných frekvencí, kondenzátoru a tlumivky lze použít pohodlně program Ballast Designer V4 od firmy International Rectifier, který je zdarma ke stažení z jejich webových stránek.

Díky analogovému vstupu je spouštěč vhodný nejen k regulaci jasu vypínačem, ale také k zakomponování do automatizovaného systému osvětlení.

Elektronický předřadník je zhotoven na oboustranné DPS, jejíž návrh je uveden v příloze A2. Pomocí rozšiřujících modulů je možné připojit požadovaných 6 zářivek s celkovým výkonem 240 W.

## Použitá literatura

- [1] *Katalog 2010: SVÍTIDLA* : ELKOVO-Čepelík, 2010 [cit. 2011-11-18]. 219 s. Dostupný z WWW: <[http://www.elkovo-cepelik.cz/download.php?group=stranky3\\_soubory&id=123](http://www.elkovo-cepelik.cz/download.php?group=stranky3_soubory&id=123)>.
- [2] ŠOLCOVÁ, V.; NOVÁK, M.. Analýza startů zářivky s elektromagnetickým předřadníkem. *Electroscope*[online]. Pátek, 22 Červenec 2011, 3, [cit. 2011-11-18]. Dostupný z WWW: <[http://147.228.94.30/images/PDF/Rocnik2011/Cislo3\\_2011/r5c2c1.pdf](http://147.228.94.30/images/PDF/Rocnik2011/Cislo3_2011/r5c2c1.pdf)>. ISSN 1802-4564.
- [3] DVOŘÁČEK, Vladimír. Světelné zdroje-lineární zářivky. *Světlo* [online]. 2008, 2, [cit. 2011-11-18]. s. 56-58. Dostupný z WWW: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37032.pdf>>.
- [4] *Lineární zářivky*: OSRAM, 2006 [cit. 2011-11-18]. Dostupný z WWW: <<http://www.e-light.cz/obrazky/osramlinearnizarivky.pdf>>.
- [5] ŠOLCOVÁ, Veronika; NOVÁK, Miroslav. Standardizace statického odporu a energie potřebná pro předžhavení elektrod zářivky. *Elektrorevue* [online]. 21.03.2011, 2011/12, [cit. 2011-11-18]. Dostupný z WWW: <<http://elektrorevue.cz/cz/download/standardizace-statickeho-odporu-a-energie-potrebna-pro-predzhaveni-elektrod-zarivky/>>. ISSN 1213-1539.
- [6] KOŁAKOWSKI, Marek. *Napájecí systémy světelných zdrojů* [online]. [cit. 2012-05-29]. Dostupné z WWW: <<http://www.posvitime.cz/napajeci-systemy-svetelnych-zdroju>>
- [7] STRÍTECKÝ, Luboš. *Amarokcz* [online]. [cit. 2011-11-18]. Elektronický zářivkový předřadník (ECG). Dostupné z WWW: <<http://amarokcz.wz.cz/HFFT.htm>>.
- [8] MACHÁČEK, Jiří. *Elektrika.cz* [online]. 4.12.2000 [cit. 2011-11-18]. Zářivkové trubice - konstrukce, zapojení. Dostupné z WWW: <<http://elektrika.cz/data/clanky/zarivkove-trubice-konstrukce-zapojeni>>. ISSN 1212-9933.
- [9] *Katalogový list IR21592.*: International Rectifier, 2005 [cit. 2011-11-18]. 26s. Dostupný z WWW: <<http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/ir21592.pdf>>
- [10] *Aplikační list How to design a dimming fluorescent electronic ballast.*: Tom Ribarich, 2006 [cit. 2011-11-18]. 12s. Dostupný z WWW: <<http://www.irf.com/technical-info/whitepaper/howtodesignadimmingfluorescentelectronicballast.pdf>>

- [11] *Aplikační list AN-1019 IR21571: Dual Lamp Ballast: Parallel Configuration.*: T. Ribarich, E. Thompson, A. Mathur, International Rectifier, 2000 [cit. 2012-5-5]. 11s. Dostupný z WWW: <<http://www.irf.com/technical-info/appnotes/an-1019.pdf>>
- [12] *Aplikační list. Ballast Design Software*: Peter Green, 2002 [cit. 2011-11-18]. 6s. Dostupný z WWW: <<http://www.irf.com/technical-info/whitepaper/ballastsoftpcim02.pdf>>
- [13] *Katalogový list 3A4C.*: Semic Trade s.r.o. , 5.4.2010 [cit. 2012-5-5]. 9s. Dostupný z WWW: <[http://www.semic.cz/pdf/\\_3A4C.pdf](http://www.semic.cz/pdf/_3A4C.pdf)>
- [14] *Katalogový list ATmega48.*: Atmel, 2011 [cit. 2011-11-18]. 377s. Dostupný z WWW: <[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2545.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2545.pdf)>
- [15] *Katalogový list IR2104.*: International Rectifier, 2004 [cit. 2012-5-5]. 14s. Dostupný z WWW: <<http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/ir2104.pdf>>
- [16] *Katalogový list IRF730.*: FAIRCHILD SEMICONDUCTOR, 2002 [cit. 2012-5-5]. 8s. Dostupný z WWW: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/IRF730.pdf>>

## Seznam symbolů, veličin a zkratk

$\mu\text{C}$	Mikrokontrolér
A	Ampér
AD	Analog-Digital
$A_e$	efektivní průřez jádra
$A_L$	součinitel indukčnosti
$A_{\min}$	minimální průřez jádra
$A_{pk}$	Špičkový proud
b	bajt
DALI	Digital Addressable Lighting Interface (digitálně adresovatelná sběrnice)
DPS	Deska plošných spojů
DSI	Digital Signal Interface (digitální signálová sběrnice)
EP	Elektronický předřadník
g	gram

H	Henry
IO	Integrovaný obvod
k	kilo
KP	Konvenční předřadník
$L_e$	střední délka magnetické siločáry
m	metr
mm	milimetr
$mm^2$	milimetr čtvereční
$mm^3$	milimetr krychlový
n	nano
PWM	Pulse Width Modulation (pulzně šířková modulace)
SMD	Surface Mount Device (povrchová montáž součástek)
SOIC	Small-outline integrated circuit
TQFP	Thin Quad Flat-pack
V	Volt
$V_e$	efektivní objem jádra
$V_{pk}$	Špičkové napětí

## Seznam Příloh

<b>Seznam Příloh</b> .....	37
<b>A přílohy</b> .....	39
<b>Příloha A.1 Konstrukční výkresy tlumivky a kostry</b> .....	39
Příloha A.1.1 Konstrukční výkres tlumivky.....	39
Příloha A.1.2 Konstrukční výkres kostry.....	40
Příloha A.1.3 Konstrukční výkres jádra.....	40
<b>Příloha A.2 Návrh zařízení</b> .....	44
Příloha A.2.1 Schema zapojení.....	44
Příloha A.2.2 Rozmístění součástek.....	47
Příloha A.2.3 Návrh DPS.....	49
Příloha A.2.4 Šablony pro výrobu DPS v měřítku 1:1.....	50
Příloha A.2.5 Soupis součástek.....	51
<b>Příloha A.3 Program</b> .....	53
<b>Příloha A.4 Fotografie zařízení</b> .....	56

## A přílohy

### Příloha A.1 Konstrukční výkresy tlumivky a kostry

#### Příloha A.1.1 Konstrukční výkres tlumivky

WINDING		START PIN	FINISH PIN	TURNS	WIRE DIAMETER (mm)
MAIN				206	0,3

ELECTRICAL LAYOUT		PHYSICAL LAYOUT	

**INDUCTOR SPECIFICATION**  
TYPE : LRES (CURRENT MODE)

CORE SIZE  GAP LENGTH  mm

BOBBIN

CORE MATERIAL

NOMINAL INDUCTANCE  mH

MAXIMUM CURRENT  Apk

MAXIMUM CORE TEMPERATURE  °C

**TEST** (TEST FREQUENCY = 50kHz)

MAIN WINDING INDUCTANCE  mH  mH

MAIN WINDING RESISTANCE  Ohms

NOTE : Inductor must not saturate at maximum current and maximum core temperature at given test frequency.

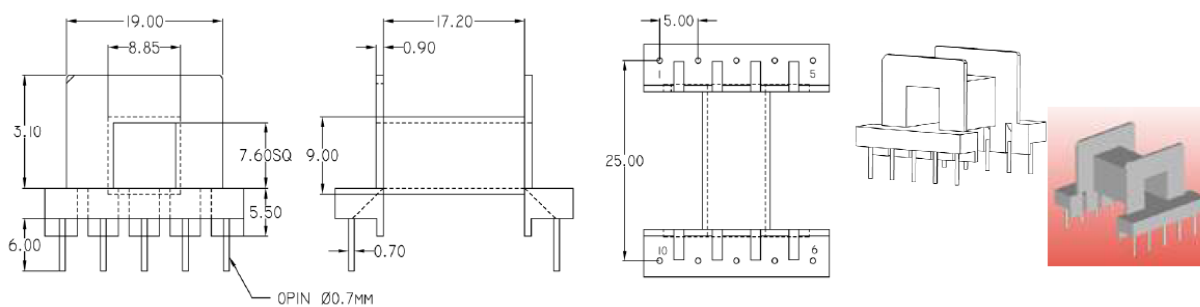
Obrázek 25: Vygenerovaný výkres pro návrh tlumivky programu Ballast Designer V4



## Příloha A.1.2 Konstrukční výkres kostry

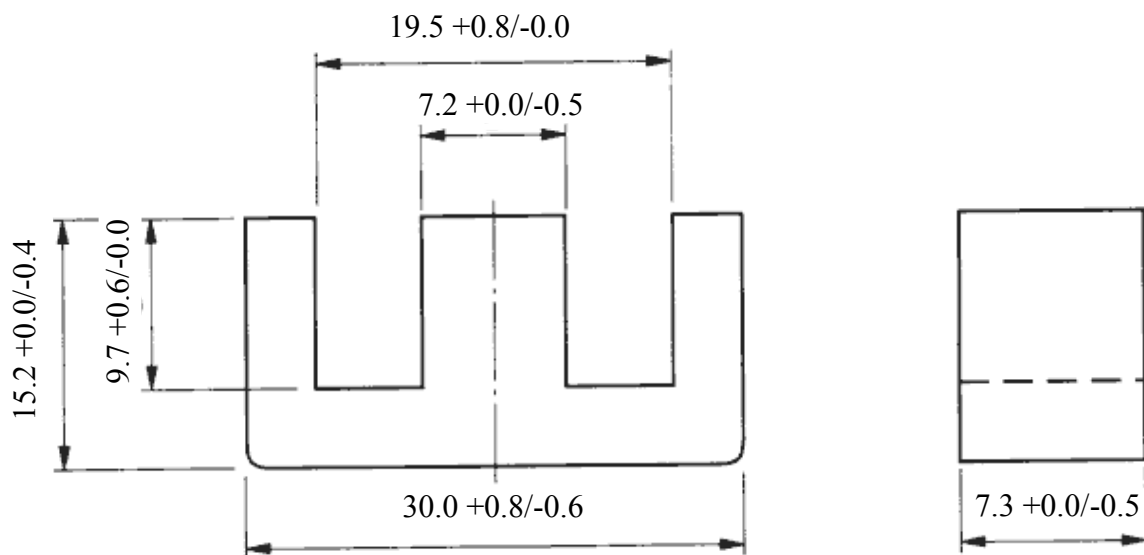
### Lj E3007h 10p 1s CF

materiál: N66-G.F.30%F.R.



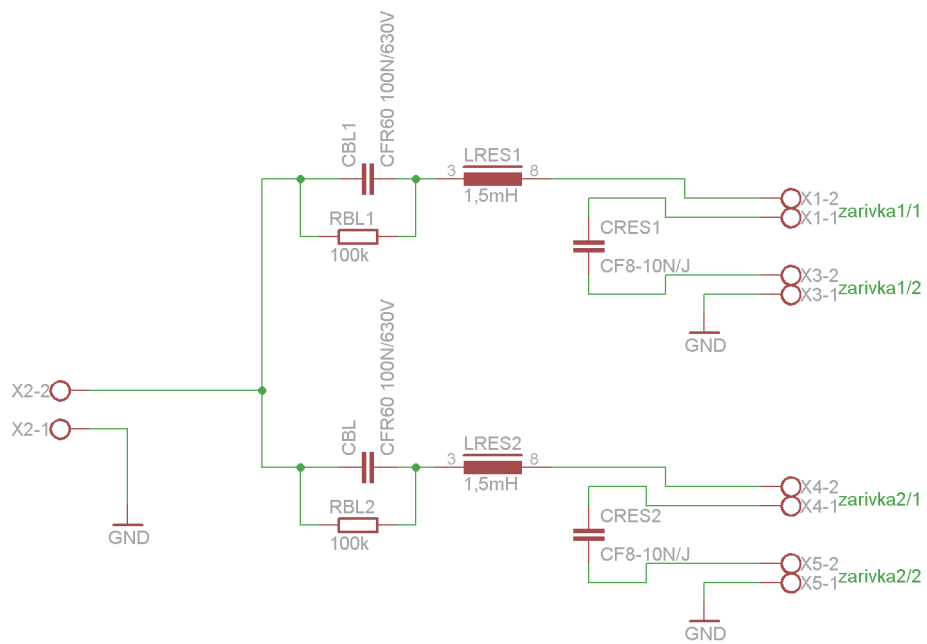
Obrázek 26: Konstrukční výkres kostry Lj E 3007h [13]

## Příloha A.1.3 Konstrukční výkres jádra



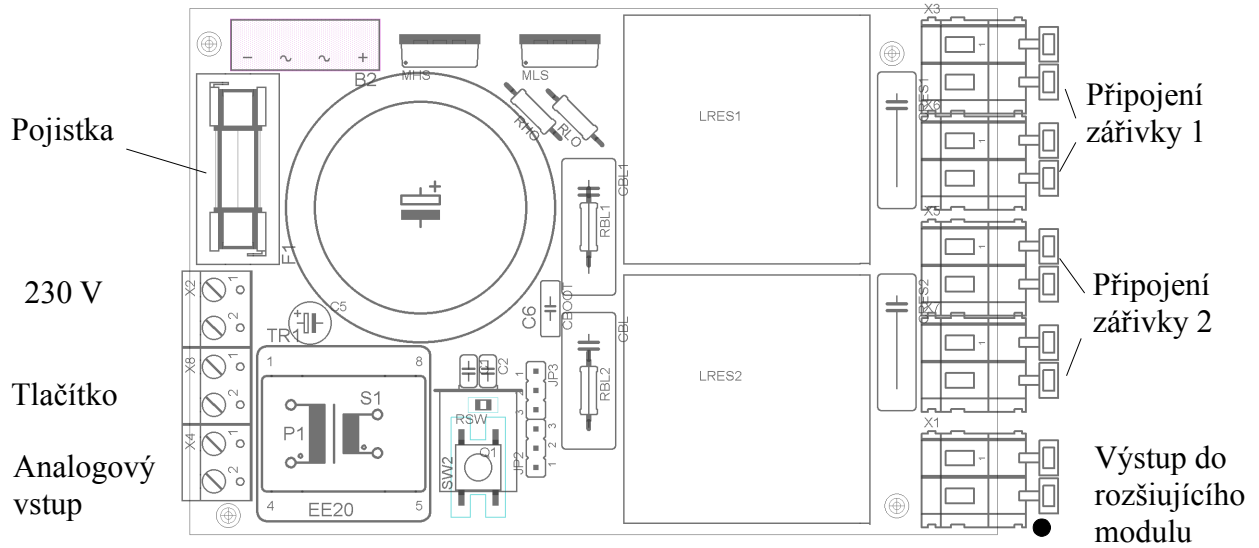
Obrázek 27: Konstrukční výkres jádra E30 – typ Lj3007 [13]



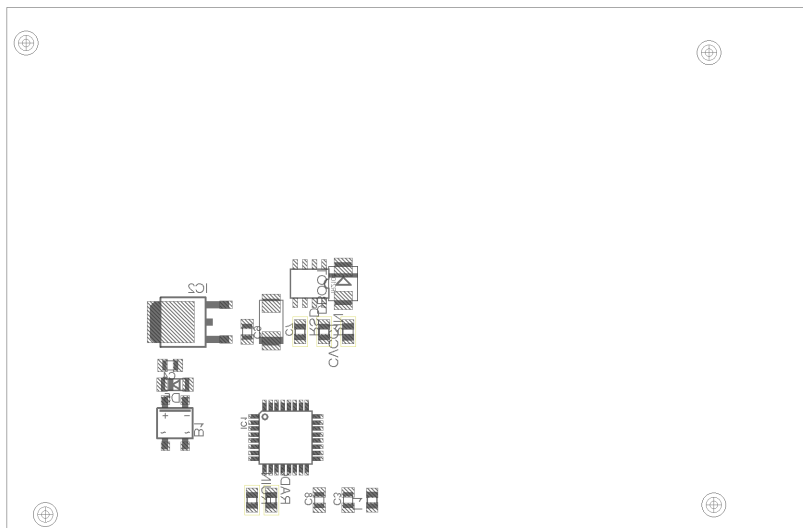


**Obrázek 29:** Schema zapojení rozšiřujícího modulu

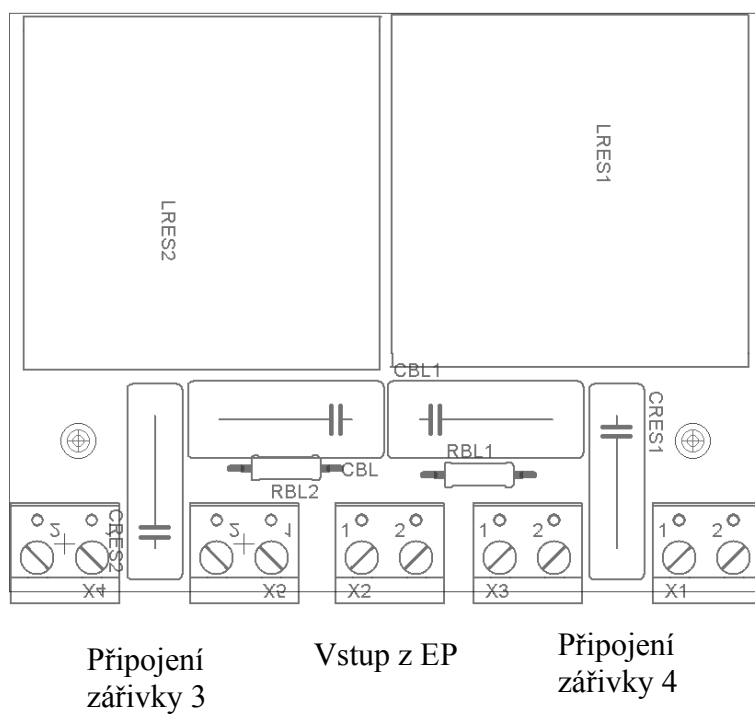
## Příloha A.2.2 Rozmístění součástek



**Obrázek 30:** Rozmístění součástek EP strana TOP

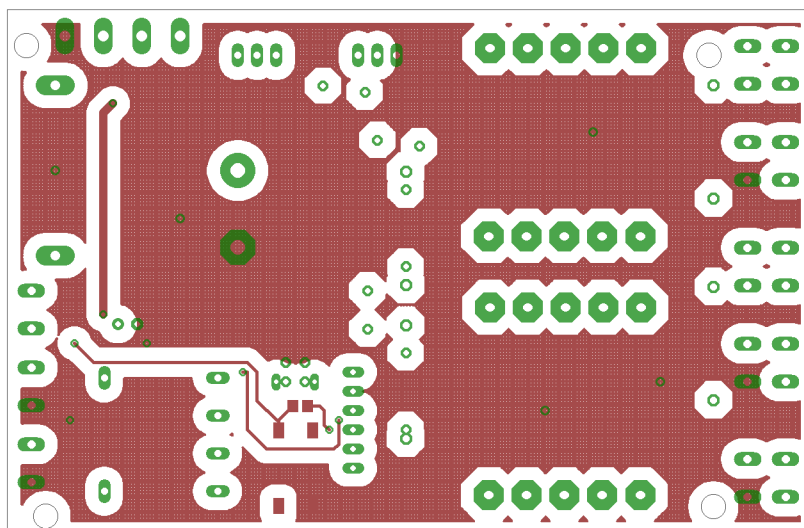


**Obrázek 31:** Rozmístění součástek EP strana BOTTOM

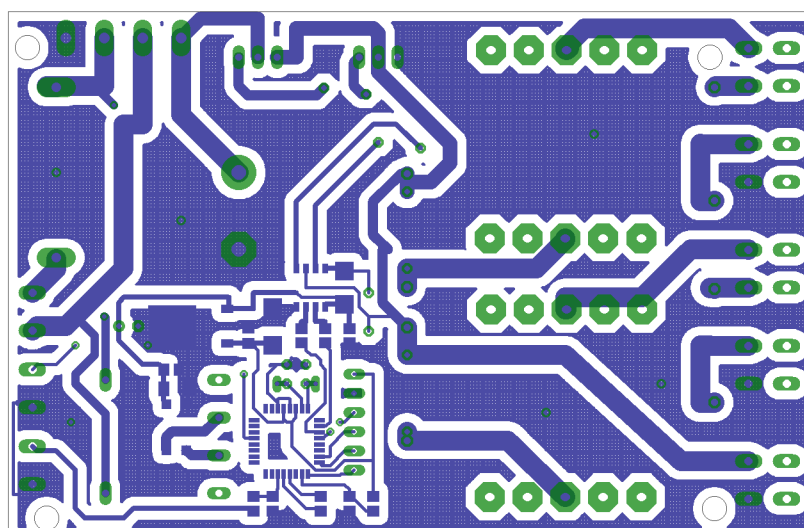


**Obrázek 32:** Rozmístění součástek modulu

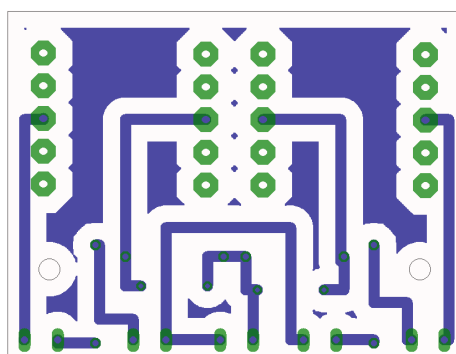
### Příloha A.2.3 Návrh DPS



Obrázek 33: DPS EP ze strany TOP

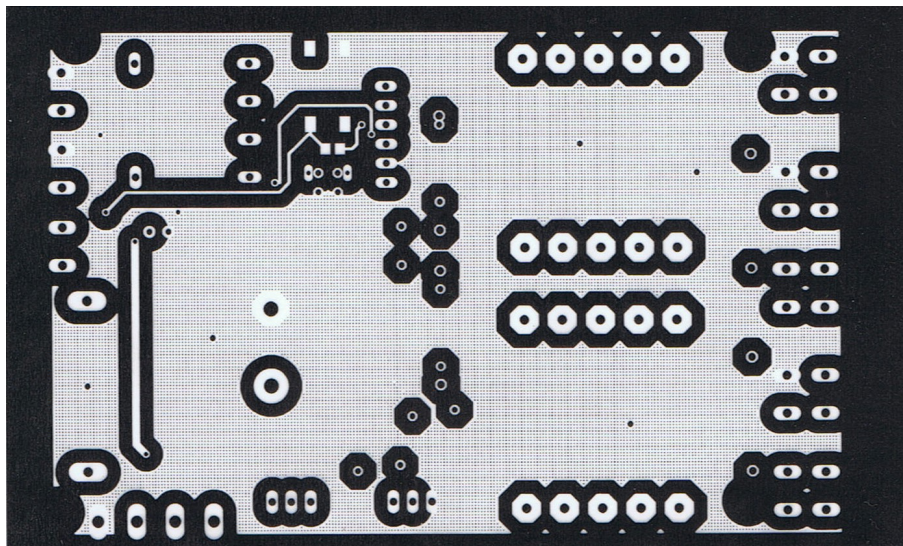


Obrázek 34: DPS EP ze strany BOTTOM

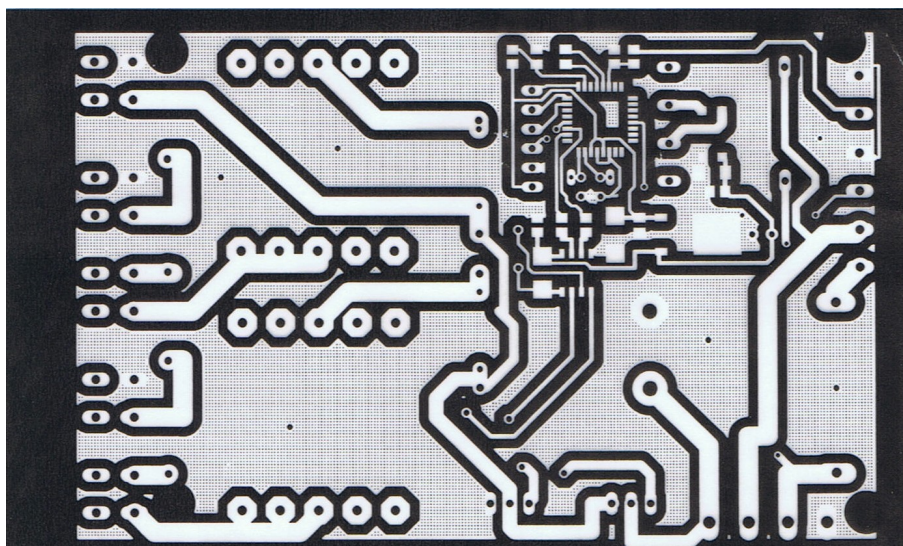


Obrázek 35: DPS modulu ze strany BOTTOM

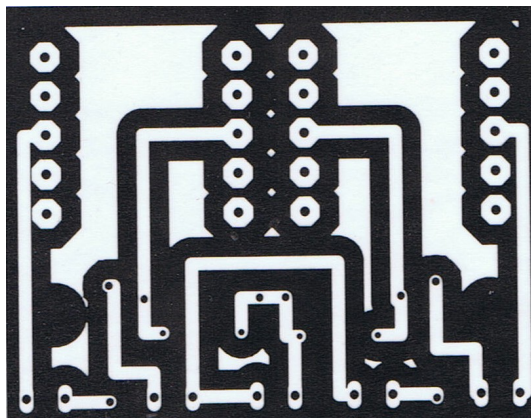
**Příloha A.2.4 Šablony pro výrobu DPS v měřítku 1:1**



**Obrázek 36:** Vyhotovená šablona DPS EP ze strany TOP (strana součástek) 120 mm x 72 mm



**Obrázek 37:** Vyhotovená šablona DPS EP ze strany BOTTOM (strana spojů) 120 mm x 72 mm



**Obrázek 38:** Vyhotovená šablona DPS rozšiřujícího modulu ze strany BOTTOM (strana spojů) 70 mm x 55 mm

## ***Příloha A.2.5 Soupis součástek***

### **Součástky pro modul:**

Partlist

Exported from eagle modul.sch at 29.5.2012 12:39:00

EAGLE Version 5.7.0 Copyright (c) 1988-2010 CadSoft

Part	Value	Device	Package	Library	Sheet
CBL	CFR60 100N/630V	C-EU150-072X183	C150-072X183	rcl	1
CBL1	CFR60 100N/630V	C-EU150-072X183	C150-072X183	rcl	1
CRES1	CF8-10N/J	C-EU150-054X183	C150-054X183	rcl	1
CRES2	CF8-10N/J	C-EU150-054X183	C150-054X183	rcl	1
LRES1	1,5mH	R1705DMOJE	B23	inductor-nkl	1
LRES2	1,5mH	R1705DMOJE	B23	inductor-nkl	1
RBL1	100k	R-EU_0207/10	0207/10	rcl	1
RBL2	100k	R-EU_0207/10	0207/10	rcl	1
X1		W237-102	W237-102	con-wago-500	1
X2		W237-102	W237-102	con-wago-500	1
X3		W237-102	W237-102	con-wago-500	1
X4		W237-102	W237-102	con-wago-500	1
X5		W237-102	W237-102	con-wago-500	1



## Součástky pro EP:

Partlist

Exported from eagle.sch at 2.4.2012 18:26:12

EAGLE Version 5.7.0 Copyright (c) 1988-2010 CadSoft

Part	Value	Device	Package	Library	Sheet
C1	22p	C-EU025-024X044	C025-024X044	rcl	1
C2	22p	C-EU025-024X044	C025-024X044	rcl	1
C3	100n	C-EUC0805K	C0805K	rcl	1
C4	100n	C-EUC0805K	C0805K	rcl	1
C6	220u /400V	CPOL-EUE10-35	EB35D	rcl	1
C7	1n5/500V	C-EU050-050X075	C050-050X075	rcl	1
C8	1n5/500V	C-EU050-050X075	C050-050X075	rcl	1
CBL	CFR60 100N/630V	C-EU150-072X183	C150-072X183	rcl	1
CBL1	CFR60 100N/630V	C-EU150-072X183	C150-072X183	rcl	1
CBOOT	100n	C-EU050-025X075	C050-025X075	rcl	1
CBOOT1		CPOL-EUE2-4	E2-4	rcl	1
CRES1	CF8-10N/J	C-EU150-054X183	C150-054X183	rcl	1
CRES2	CF8-10N/J	C-EU150-054X183	C150-054X183	rcl	1
CVCC1	100n	C-EU050-025X075	C050-025X075	rcl	1
CVCC2		CPOL-EUE2-4	E2-4	rcl	1
D1	1N5400	1N5400	DO201-15	diode	1
D2	1N5400	1N5400	DO201-15	diode	1
D3	1N5400	1N5400	DO201-15	diode	1
D4	1N5400	1N5400	DO201-15	diode	1
D5	BZX55C5V1	BZX55	DO35Z10	diode	1
DBOOT	UF4007	DIODE-DO41-10	DO41-10	diode	1
DVCC	16V-25V	BZX55	DO35Z10	diode	1
F1	FUSESH22, 5A	FUSESH22, 5A	SH22, 5A	fuse	1
IC1	MEGA48/88/168-AU	MEGA48/88/168-AU	TQFP32-08	avr-7	1
IC2	74HC02N	74HC02N	DIL14	74xx-eu	1
JP2		JP2E	JP2	jumper	1
JP3		JP2E	JP2	jumper	1
L1	10u	L-EUL0805	L0805	rcl	1
LRES1		R1705DMOJE	B23	inductor-nkl	1
LRES2		R1705DMOJE	B23	inductor-nkl	1
MHS	IRF740	IRF740	TO220BV	transistor-power	1
MLS	IRF740	IRF740	TO220BV	transistor-power	1
Q1	10MHz	XTAL	Q	special	1
R2	30k /3 W	R-EU_0411/15	0411/15	rcl	1
RHO	20	R-EU_0207/10	0207/10	rcl	1
RLO	20	R-EU_0207/10	0207/10	rcl	1
RSUPPLY	270k	R-EU_0207/10	0207/10	rcl	1
RSW	1k	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
RUIN	1k	R-EU_R0805	R0805	rcl	1
U\$1	IR2110N	IR2110N	DIL14-1	jfw-pwm1	1
X1	WAGO2-255-402-5	WAGO2-255-402-5	255-402-5	con-wago	1
X2	WAGO2-255-402-5	WAGO2-255-402-5	255-402-5	con-wago	1
X3	WAGO2-255-402-5	WAGO2-255-402-5	255-402-5	con-wago	1
X4	WAGO2-255-402-5	WAGO2-255-402-5	255-402-5	con-wago	1
X5	WAGO2-255-402-5	WAGO2-255-402-5	255-402-5	con-wago	1
X6	WAGO2-255-402-5	WAGO2-255-402-5	255-402-5	con-wago	1
X7	WAGO2-255-402-5	WAGO2-255-402-5	255-402-5	con-wago	1
X8	WAGO2-255-402-5	WAGO2-255-402-5	255-402-5	con-wago	1
X9	WAGO2-255-402-5	WAGO2-255-402-5	255-402-5	con-wago	1

## Příloha A.3 Program

```
#include <avr/io.h>
#include <stdio.h>
#include <avr/cpufunc.h> // Special AVR CPU functions _NOP
#include <util/delay.h> // pouziti funkce _delay_ms()
/*****
#define SD0 PORTD |= (1<<PD7); // nastaveni bitu -vypnuti zarivky
#define SD1 PORTD &= ~(1<<PD7); // shozeni bitu -zapnuti zarivky
*****/
int N=1; // nastaveni delicky (neměnit)
long int xtal= 2000000;
//-----nastavení parametrů-----
unsigned int zhav=55000; //zhavici freq *
unsigned int zapal=48000; // zapalovací freq *
unsigned int max= 48000; // 100% beh zarivky *
unsigned int min= 55000; // 2% svitu zarivky *
unsigned int freq=48000; //frekvence *
//-----
int per=100; //perioda
int stav=0; // stav zarivky (on/off) 0=OFF
int stisk1 = 0; // pomocna promena pro stisk
int b=0; // pomocny reg pro stridani zvys/sniz freq (stmivani)
long int a; // ukládání ADC do a
int t=0; // pokud byl pouzit ADC -> t=1
int Hystereze = 0;
long int Prumer = 0;
int Prumer_citani = 0;
int Zmena_freq = 0;
/*****začátek programu*****/
int main (void)
{
    SD1; // zablokovani vystupu IR21XX
    DDRD=0b11110000; //nastaveni portu D -OCA,OCB,SD
    PORTB=(1<<PORTB0); // tlacitko na portu B0
    TCCR0A=(1<<WGM01)|(1<<COM0A0)|(1<<COM0B0); // čítač CTC mode 2
    TCCR0B=1; // nastaveni delicky na 1 = deleno 1;(2=/8)
    ADMUX=0b01000111; //nastaveni ad7-vstup, Uref=Avcc
    ADCSRA=0b11100111; //zapnuti adc,
/*****výpočet a nastavení timerů*****/
void osc(long int freq)
{
    per=((xtal/freq)/(2*N))-1; //vypočet čísla do reg
    while (TCNT0>50) //zamezuje přetečení čítače
        _NOP(); // čeká se na hodnotu menší 50ti
    OCR0A= per; // zapíše do registru vypočtenou hodnotu
}
/*****detekce stisku*****/
int stisk(void)
{
    stisk1 = PINB; //na pinu je vysoka uroven v pripade nestisku
    stisk1 &= 0b00000001; // maskovani->vsechny bity krom PINB na 0
    if (stisk1 == 0)
    {
        return 1; // stisk je přivedením 0 na pin
        //je stisk
    }
    else
        return 0; //není stisk
}
}
```

```

//*****Debounce*****
int Stisk_tlacitka()
{
    unsigned char Vysledek = 0;
    unsigned char reg = 0;
    do
    {
        reg <<= 1;          // bitový posuv doleva
        if(stisk() == 1)    // pokud je detekován stisk/zákmit
            reg |= 1;      // nastaví se nultý bit reg na 1
        else
            reg &= 254;     // jinak nastaví první bit na 0
        _delay_us(70);
    }
    while(((reg != 0) && (reg != 255))); //až jsou v reg samé 1 nebo 0
    if(reg == 0)           //je detekováno jestli 0
        Vysledek = 0;
    if(reg == 255)        // je detekována 1
        Vysledek = 1;
    return Vysledek;
}
//*****stmívání*****
void stmivani(void)
{
    while (Stisk_tlacitka()) //zjištění stisku tlačítka na pinu D0
    {
        _delay_ms(2); // určování prodlevy mezi další změnou frekvence
        switch (b)    // detekce predchoziho děje
        {
            case 0:   if (freq<=min)
                      osc(freq=freq+10); //zvysovani freq(stmivani)
                      break;             // hodnota 10 je optimální
            case 1:   if (freq>=max)
                      osc(freq=freq-10); //snizovani freq(svítání)
                      break;
            default:  b=0;
        }
    }
    if (b==1) // po dokončení stmívání změni hodnotu
        b=0;  // bylo rozsvěcováno, příští stisk=stmívání
    else
        b=1;  // bylo stmíváno->příště bude rožínat
}
//*****start s predehrevem*****
void start(void)
{
    SD0; // zapnutí ir21XX
    stav=1; // nastaví stav zářivky na zapnuto
    freq=zhav;
    osc(freq); // žhavení
    _delay_ms(800); // čas predehrevu (optimálně 0,5-1,5s)!!!!!!
    freq=zapal;
    osc(freq); // zapálení
}
//*****začátek smyčky programu*****
//#####
while(1)
{
    while (t>=1) // pokud byl zapnut AD,vypne zářivku

```

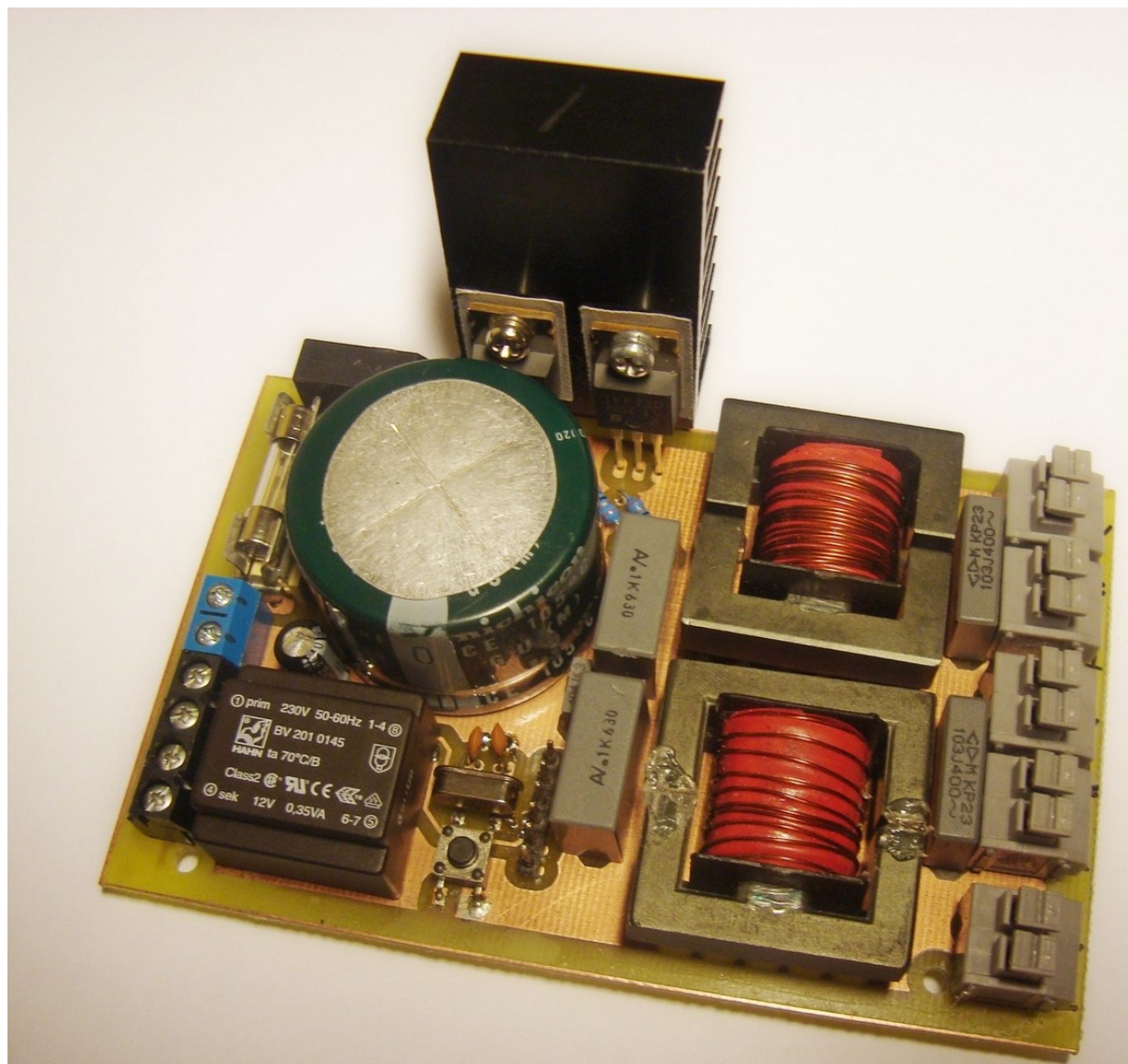
```

        {
            SD1;
            stav=0;
            t=0;
        }
a=ADC;
hystereze=0;
while (a>(110-Hystereze))
{
    Hystereze = 25; // nastavení hystereze - 0,12V
// a=ADC; //a=(min-(((ADC-102)*(min-max)/921));
a= a-102;
a=a*(min-max);
a=a/921;
a=min-a;
Zmena_freq = 0;
Prumer = Prumer + a; //Soucet a;
Prumer_citani++; //Zvýší o 1;
if(Prumer_citani == 100) //Průměrování a;
{
    Prumer = Prumer/100;
    if((Prumer>=max) && (Prumer<=min))
    {
        //zamezení zapsání frekvence mimo rozsah
        if((Prumer>(freq+50)) || (Prumer<(freq-50)))
        {
            //nová frekvence se zapíše při změně>50
            freq = Prumer;
            Zmena_freq = 1;
        }
    }
    Prumer = 0;
    Prumer_citani = 0;
}
t=1;
_delay_ms(5);
if (stav==0) // pokud je zhasnuto, rozsvítí se
{
    stav=1;
    start(); //start zářivky
}
else //pokud je rozsvíceno, zapíše se frekvence
{
    if(Zmena_freq == 1) //ale jen pokud je změna>50
    osc(freq);
}
a=ADC; // zapíše novou hodnotu do ADC
}
while (Stisk_tlacitka()) //zjištění stisku tlačítka na pinu B0 **1**
{
    switch (stav) //zjištění stavu
    {
        case 0: start();//vypnuto->rozsvítí
                break;
        case 1: _delay_ms(300);//detekce dlouhého stisku
                if (Stisk_tlacitka())
                    stmivani();
                else //pokud není dlouhý stisk, vypne EP
                {
                    stav=0;
                }
    }
}

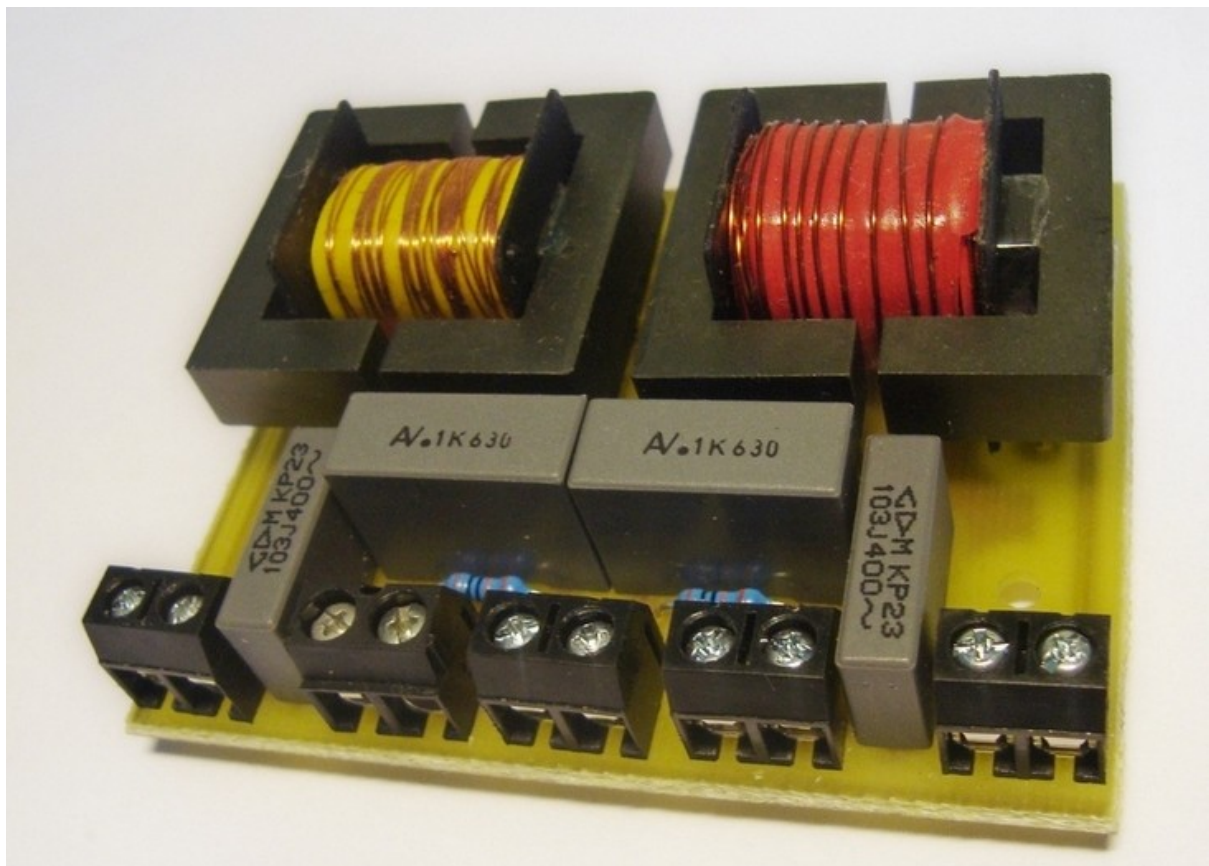
```

```
                SD1;
                }
            break;
        default:stav =0;
    }
}
}
```

## Příloha A.4 Fotografie zařízení



Obrázek 39: Fotografie elektronického předřadníku



Obrázek 40: Fotografie modulu pro 2 zářivky