

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

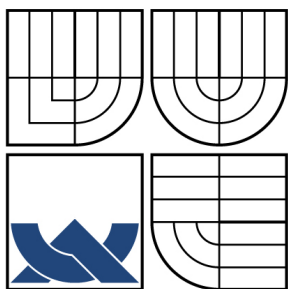
MOŽNOSTI ŘÍZENÍ JASU SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

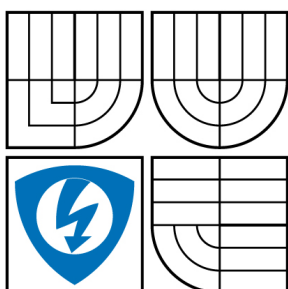
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUKÁŠ DOSTÁL

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY
A ELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC
ENGINEERING

MOŽNOSTI ŘÍZENÍ JASU SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

BRIGHTNESS CONTROL OF LIGHT SOURCES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

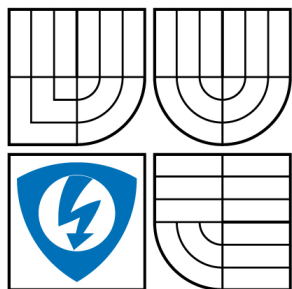
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUKÁŠ DOSTÁL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR HUTÁK, Ph.D.

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a
elektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Dostál Lukáš

ID: 83839

Ročník: 3

Akademický rok: 2007/2008

NÁZEV TÉMATU:

Možnosti řízení jasu světelných zdrojů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Porovnejte parametry všech používaných světelných zdrojů.
2. Navrhněte vhodný regulátor proudu pro moduly LED.
3. Regulátor postavte a ověřte jeho vlastnosti.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 10.10.2007

Termín odevzdání: 6.6.2008

Vedoucí práce: Ing. Petr Huták, Ph.D.

doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom 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.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Lukáš Dostál
Bytem: Klostermannova 1075, 56401, Žamberk
Narozen/a (datum a místo): 13.3.1985, Ústí nad Orlicí

(dále jen "autor")

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 244/53, 60200 Brno 2
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.

(dále jen "nabyvatel")

Článek 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
- ☐ diplomová práce
- ☒ bakalářská práce

jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Možnosti řízení jasu světelných zdrojů
Vedoucí/školicitel VŠKP: Ing. Petr Huták, Ph.D.
Ústav: Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky
Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

- ☒ tištěné formě - počet exemplářů 1
- ☒ elektronické formě - počet exemplářů 1

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....

Nabyvatel

.....

Autor

Abstrakt

Práce se zabývá řízením jasu světelných zdrojů. V první části jsou vymezeny základní pojmy a vysvětleny vzájemné vztahy mezi jednotlivými veličinami světelné techniky. Dále je v práci popsána funkčnost, jednotlivé světelné zdroje a možnosti jejich využití v praxi. V další části je nastíněna problematika stmívání jednotlivých typů zdrojů a historický vývoj. Práce také obsahuje srovnání výkonu jednotlivých světelných zdrojů a možný vývoj v budoucnosti. Práce se také zabývá možnostmi řízení jasu pro moduly LED. Je zde popsán návrh vhodného regulátoru pro moduly LED včetně jejich programového vybavení - mikrokontroléru Atmel AVR. Mikrokontrol Atmel AVR Tiny 13 je programován v jazyce C ve vývojovém prostředí AVR Studio 4 a bude nahrán pomocí vývojového prostředku AVR Dragon.

Abstract

Thesis is focus on brightness control of lighting sources. The first objective of the thesis is to determine basic concepts and explain interrelationships among particular magnitudes of lighting technology. Further is necessary describe functionality, particular light sources and their possibility of use in practise. There is also outline issue of darkfall of particular types of sources and their evolution. The other part of thesis compare energy output of lighting sources and describe their possible future development. Further this thesis deals with options of regulating of brightness for LED moduls. There is also proposal of acceptable amperage regulator LED moduls including its software - microcontrol ATMEL AVG. Microcontrol ATMEL AVG Tiny 13 is programme in C language within computer environment AVR Studio 4 and will be record through the use of AVR Dragon.

Klíčová slova

žárovka; halogenová žárovka; zářivka; výbojka; luminiscenční dioda; LED; řízení jasu; osvětlení; měnič; Atmel; AVR Tiny 13; AVR Dragon; mikrokontrolér

Keywords

lamp; halogen bulb; fluor lamp; gas filled tube; luminiscence diode; LED (light emitting diode); regulating of brightness; lifting; converter; Atmel; AVR Tiny 13; AVR Dragon; microcomputer

Bibliografická citace

DOSTÁL, L. *Možnosti řízení jasu světelných zdrojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 54 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Huták, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Možnosti řízení jasu světelných zdrojů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a 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

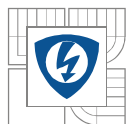
Podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Petr Huták, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

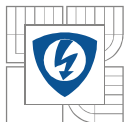
V Brně dne

Podpis autora

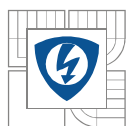


Obsah

1 ÚVOD	15
2 SVĚTLO	16
2.1 SVÍTIVOST	16
2.2 OSVĚTLENOST	17
2.3 TEPLOTA CHROMATIČNOSTI	17
2.4 BARVA	18
3 DRUHY SVĚTELNÝCH ELEKTRICKÝCH ZDROJŮ	19
4 TEPLOTNÍ ZDROJE SVĚTLA	21
4.1 ŽÁROVKA	21
4.2 HALOGENOVÁ ŽÁROVKA	23
5 VÝBOJOVÉ ZDROJE SVĚTLA	25
5.1 NÍZKOTLAKÉ VÝBOJKY	25
5.1.1 ZÁŘIVKY	26
5.1.2 KOMPAKTNÍ ZÁŘIVKA	27
5.1.3 NÍZKOTLAKÉ SODÍKOVÉ VÝBOJKY	29
5.2 VYSOKOTLAKÉ VÝBOJKY	30
5.2.1 VYSOKOTLAKÉ SODÍKOVÉ VÝBOJKY	30
5.2.2 VYSOKOTLAKÁ RTUŤOVÁ VÝBOJKA	31
5.2.3 HALOGENIDOVÉ VÝBOJKY	33
6 LUMINISCENČNÍ SVĚTLA	36
6.1 LED	36
6.1.1 SPECIFICKÉ UŽITÍ	37
7 OSTATNÍ ZDROJE SVĚTLA	40
7.1 INDUKČNÍ VÝBOJKY	40
7.2 SIRNÉ VÝBOJKY	41
7.3 VÝBOJKY S KRÁTKÝM VÝBOJEM	42
7.3.1 XENONOVÉ VÝBOJKY	42
8 POROVNÁNÍ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	43
9 ATTINY13	44
9.1 AVR DRAGON A PROGRAMOVÁNÍ V ISP	45
10 NÁVRH OBVODU	46
10.1 POUŽITÉ SOUČÁSTKY	49
11 REALIZACE PROUDOVÉHO REGULÁTORU	50
11.1 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ MIKROKONTROLÉRU	50
12 ZÁVĚR	51

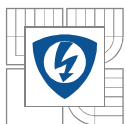


LITERATURA	53
PŘÍLOHY	54



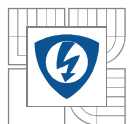
SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Teplota chromatičnosti.....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 2: Model skládání barev</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 3: Základní rozdělení elektrických světelných zdrojů.....</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 4: Žárovka.....</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 5: Halogenový regenerační cyklus.</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 6: Halogenové jednotiskové žárovky a žárovka s dichroickým reflektorem</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 7: Halogenová žárovka dvoustisková</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 8: Schéma zapojení zářivkové trubice</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 9: Kompaktní zářivky – jednotrubicová, třítrubicová.....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 10: Kompaktní zářivka s vestavěným indukčním předřadníkem.....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 11: Elektronické předřadníky</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 12: Nízkotlaká sodíková výbojka</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 13: Vysokotlaká sodíková výbojka.....</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 14: Vysokotlaká rtuťová výbojka</i>	<i>32</i>
<i>Obrázek 15: Směsová výbojka.....</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 16: Halogenidová výbojka</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 17: Hořáky halogenidových výbojek (vpravo s ochranou proti roztržení výbojky v případě prasknutí hořáku).....</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 18: Různé druhy svítivých diod.....</i>	<i>36</i>
<i>Obrázek 19: Vlevo vytvoření bílé LED smícháním zelené, modré a červené.....</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 20: Vpravo vytvoření bílé LED s využitím modré a luminoforu.....</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 21: V-A charakteristika LED</i>	<i>38</i>
<i>Obrázek 22: Bezelektrodová indukční výbojka</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 23: Bezelektrodová zářivka OSRAM ENDURA.....</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 24: Ideové schéma uspořádání sirné výbojky.....</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 25: Pouzdro ATtiny13.....</i>	<i>44</i>
<i>Obrázek 267: Popis vývojového kitu AVR Dragon</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 27: Návrh obvodu proudového regulátoru</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 28: Schéma zapojení zvyšujícího měniče.....</i>	<i>46</i>
<i>Obrázek 29: Funkce filtračního kondenzátoru.....</i>	<i>48</i>
<i>Obrázek 300: Proudový regulátor dvou modulů LED</i>	<i>50</i>



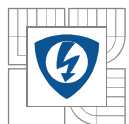
SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1: Přehled barevných teplot různých světelných zdrojů.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabulka 2: Barva světla, viditelné světlo pro lidské oko zvýrazněno barevně.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabulka 3: Historický vývoj žárovky.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabulka 4: Propustné napětí na diodě při zatížení 20mA.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka 5: Polarita vývodu LED.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabulka 6: Srovnání světelných zdrojů.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabulka 7: Soupis součástek.....</i>	<i>49</i>



SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

I	svítivost – hustota světelného toku zdroje v různých směrech
K	Kelvin je jednotka teploty, indukující termodynamickou teplotu
Φ	světelný tok - Zářivý tok hodnocený normálním lidským okem, $\Phi = \int K_{\lambda} P_{\lambda} d\lambda$. Koeficient K se nazývá světelná účinnost záření [lumen]
E	osvětlení - plocha má osvětlení 1 lx, jestliže na 1 m ² plochy dopadne rovnoměrně rozložený světelný tok 1 lm.
S	plocha na které dopadá světelný tok
r	vzdálenost plochy S od zdroje světla
P	zářivý tok – Energie vyzářená za jednotku času [W]
lm	lumen je světelný tok vyzařovaný do prostorového úhlu 1 steradiánu bodovým zdrojem, jehož svítivost je ve všech směrech 1 kandela.jednotka světelné energie
lx	lux - jednotkou osvětlenosti, osvětlení způsobené světelným tokem 1 lm dopadajícím na plochu 1 m ²
cd	Kandela je svítivost monochromatického zdroje a frekvenci 540×10^{12} Hz, jehož zářivost v daném směru činí $\frac{1}{683}$ wattů na steradián
f	frekvence - počet opakování periodického děje za jednotku času
T	perioda - popisující daný děj je periodickou funkcí času
Λ	vlnová délka označuje vzdálenost dvou nejbližších bodů vlnění, které kmitají se stejnou fází
RGB	(Red Green Blue) - barevný model pro aditivní míchání barev je způsob, kdy se jednotlivé složky barev počítají a vytvářejí světlo větší intenzity
OYGB	(Orange Yellow Green Blue) – barevný model pro skladbu bílého světla u luminiscenční diody pomocí luminoforu
RICS	(Reduced Instruction Set Computer) – architektura procesorů s redukovanou instrukční sadou
ALU	(Arithmetic Logic Unit) – Aritmeticko logická jednotka ve které se provádějí aritmetické a logické výpočty procesoru
SRAM	(Static Random Access Memory) – Typ polovodičové paměti je statická a tedy nemusí být pravidelně obnovována
EEPROM	(Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) – Elektricky mazatelná programovatelná paměť určená pro uchování malých dat
AVR	Modifikovaná Harvardská architektura 8bitových RISC jednočipových mikrokontrolérů
ISP	(In System Programming) – Sériové programování mikrokontrolérů



1 ÚVOD

Zdravé životní prostředí podmiňuje řada důležitých činitelů, k nimž patří jak voda, půda a vzduch (s jeho určitou teplotou, vlhkostí i obsahem škodlivých látek), tak také světlo. Světlo totiž nejen zásadně ovlivňuje podmínky zrakového vnímání, ale významnou měrou přispívá i k vytváření celkové duševní pohody lidí. Prostřednictvím svého zraku získává člověk asi 80 až 90% všech informací o prostředí, které ho obklopuje. Proto se lidé snaží využitím vhodných technických prostředků dosáhnout co nejlepších podmínek pro práci zraku.

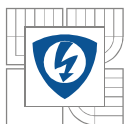
Příjemný psychofyzilogický stav, při němž zrak plní své funkce s maximální účinností a při němž má člověk nejen pocit, že dobře vidí, ale cítí se také psychicky dobře a rovněž prostředí, v němž se nachází, je mu vzhledově příjemné, se označuje pojmem zraková pohoda. Činnost lidí zaměřená k dosažení podmínek zrakové pohody, včetně využití různých technických prostředků, se nazývá osvětlování.

Nesprávné osvětlení zrakového úkolu při pracovních činnostech se projevuje nejen zrakovou, ale i celkovou únavou, kterou organismus signalizuje přetížením. Po určité době se pak obvykle dostavuje pálení očí, bolest hlavy a další obtíže. Důležité jsou však i další vlivy světla na lidský organismus. Většina biologických pochodů v těle člověka pravidelně kolísá přibližně ve 24 hodinovém (tzv. cirkadiánním) cyklu, který se vyznačuje aktivní fází ve dne a klidovou fází v noci a vyvinul se na základě pravidelného střídání světla a tmy v závislosti na otáčení Země kolem Slunce. Řídí se jím např. tělesná teplota, krevní tlak, tepová frekvence, látkový metabolismus, ladění organismu k práci nebo k odpočinku, produkce a uvolňování hormonů řídících funkce organismu a ovlivněny jsou také imunitní a sexuální funkce.

V souvislosti se zvyšujícími se požadavky na kvalitu, efektivnost i množství vykonávané práce i se vzrůstajícími úkoly v oblasti zlepšování pracovního a životního prostředí stále stoupají nároky na úroveň osvětlení a zvětšuje se i rozsah a doba využití prostorů s umělým osvětlením. Technika osvětlování je proto důležitým prostředkem, kterým lidé ve značné míře mohou ovlivnit úroveň svého životního prostředí. Při dodržení zásad správného osvětlení lze totiž v souladu s technickými a ekonomickými možnostmi vytvořit příznivé podmínky pro požadovanou činnost lidí a pro vznik jejich zrakové pohody.

Působením světelného záření vyvolává okolní prostředí v člověku nejen fyziologické, ale i psychologické reakce, které jsou ovlivněny jak množstvím světelné energie, tak také jejím prostorovým a časovým rozdělením, druhem světla a jeho barevnou jakostí. Proto je nedílnou součástí prostředí, které člověka obklopuje, rovněž i prostředí světelné (světelné mikroklima). I v odpočinkových prostorech přispívá dobré osvětlení podstatnou měrou k dokonalejší a rychlejší psychické i fyzické regeneraci organismu člověka.

Tento projekt se v první části zabývá řízením jasu světelných zdrojů se zaměřením na moduly LED. Další část se zabývá návrhem proudového regulátoru pro moduly LED pomocí mikrokontroléru Atmel AVR.



2 SVĚTLO

Světlo je elektromagnetické záření o vlnové délce viditelné okem, tedy v rozmezí od infračerveného po ultrafialové. Základní vlastnosti světla jsou svítivost (amplituda), barva (frekvence) a polarizace (úhel vlnění). Díky dualitě částic a vlnění má světlo vlastnosti jak vlnění tak částice.

2.1 Svítivost

Svítivost udává prostorovou hustotu světelného toku zdroje v různých směrech. Svítivost lze určit pouze pro bodový zdroj, tj. pro zdroj, jehož rozměry jsou zanedbatelné v porovnání se vzdáleností zdroje od kontrolního bodu.

Symbol veličiny: I

Základní jednotka: kandela

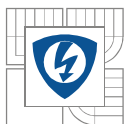
Značka jednotky: cd

Svítivost I ve směru určeném úhlem γ je rovna:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (2.1)$$

Rovnice 1: Svítivost I ve směru úhlu γ

kde $d\Omega$ je prostorový úhel, jehož osa leží ve směru určeném úhlem γ a $d\Phi$ je tok světelného zdroje vyzařující do prostorového úhlu $d\Omega$.



2.2 Osvětlenost

Intenzita osvětlení neboli osvětlenost je fotometrická veličina vyjadřující světelný tok dopadající na určitou plochu. Je tedy podílem světelného toku (v lumenech) a plochy (v m²).

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (2.2)$$

Rovnice 2: Intenzita osvětlení

Symbol veličiny: E

Základní jednotka: lux

Značka jednotky: lx

Jednotka lux (lx) je osvětlení způsobené světelným tokem 1 lumen (lm) dopadající na plochu 1 m². Pro dostatečné osvětlení prostoru nám postačí 100 – 2000 lx. Za slunného počasí (v ČR) jsme schopni ve volném prostoru naměřit hodnoty větší jak 70 000 lx.

2.3 Teplota chromatičnosti

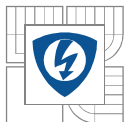
Teplota chromatičnosti (barevná teplota) charakterizuje spektrum bílého světla. Světlo určité barevné teploty má barvu tepelného záření vydávané černým tělesem zahřátým na tuto teplotu měřenou v Kelvinech.



Obrázek 1: Teplota chromatičnosti

Teplota chrom.	Přirovnání	Teplota chrom.	Přirovnání
[K]		[K]	
1200	svíčka	6000	jasné polední světlo
2800	žárovka	6500	standardizované polední světlo
3000	studiové osvětlení	7000	lehce zamračená obloha
5000	zářivka	8000	oblačno, mlhavo
5500	výbojka	10000	silně zamračená obloha

Tabulka 1: Přehled barevných teplot různých světelných zdrojů



2.4 Barva

Barva je vjem, který vytváří viditelné světlo dopadající na sítnici lidského oka. Barevné vidění lidského oka zprostředkují receptory zvané čípky trojího druhu – citlivé na tři základní barvy: červenou, zelenou a modrou. V přírodě existují i živočichové se čtyřmi či jen dvěma čípkami v sítnici.

Barva	Rozsah vlnových délek λ [nm]	Rozsah frekvencí f [THz]
dlouhé infračervené	~ 30 000 - 1 000 000	
střední infračervené	~ 5 000 - 30 000	
blízké infračervené	~ 700 - 5 000	
červená	~ 625 - 800	~ 480 - 375
oranžová	~ 590 - 625	~ 510 - 480
žlutá	~ 565 - 590	~ 530 - 510
zelená	~ 520 - 565	~ 580 - 530
azurová	~ 500 - 520	~ 600 - 580
modrá	~ 430 - 500	~ 700 - 600
fialová	~ 400 - 430	~ 750 - 700
krátkovlnné ultrafialové	~ 400 - 200	
daleké ultrafialové	~ 200 - 10	
extrémní (hluboké) ultrafialové	~ 31 - 1	

Tabulka 2: Barva světla, viditelné světlo pro lidské oko zvýrazněno barevně

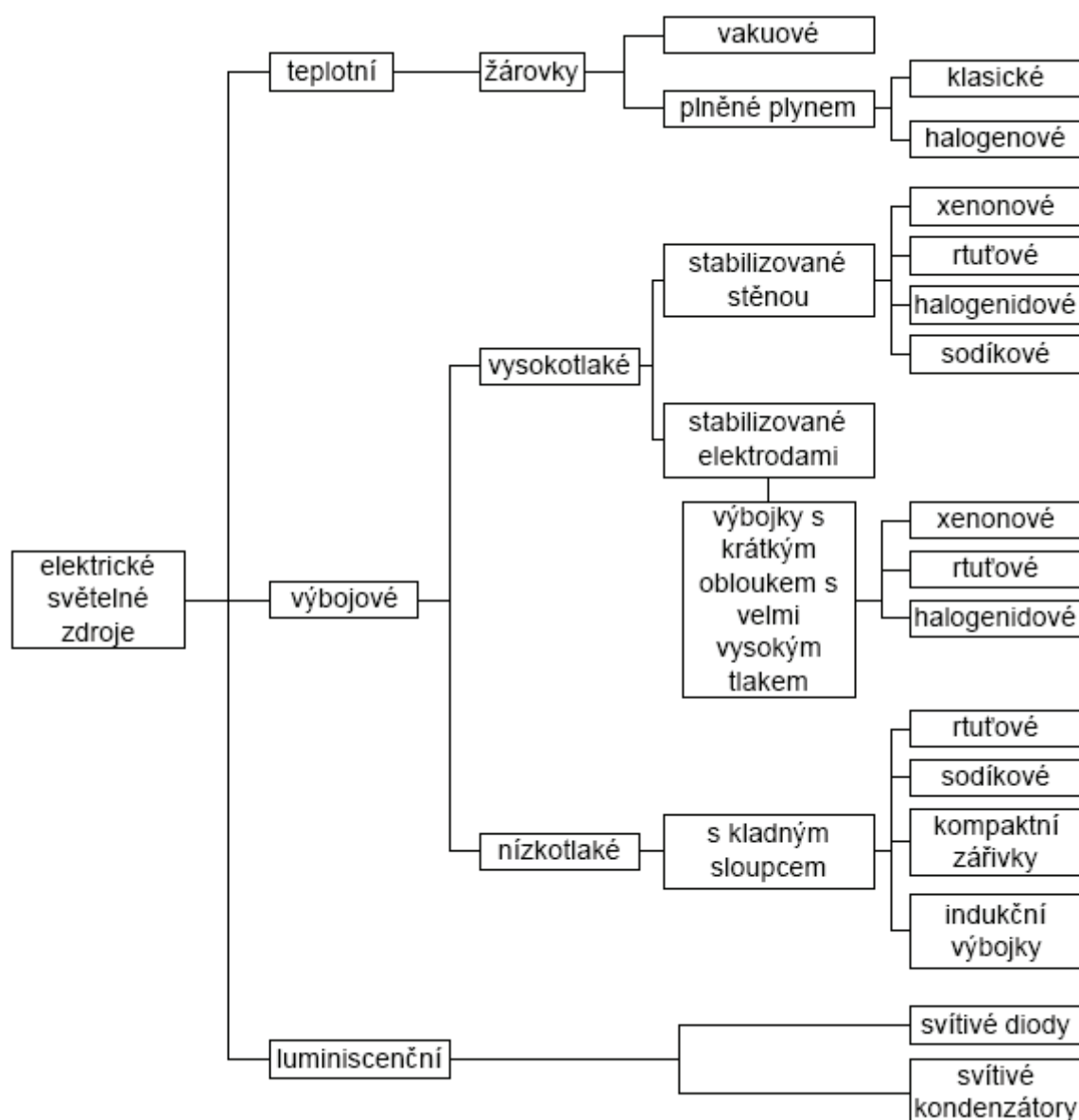
Tabulka uvádí spektrum viditelného světla (monochromatického záření) rozdělené podle barev, odpovídající vlnové délky a frekvence. Za hranicemi na straně červené resp. fialové již lidské oko nevnímá – zde leží infračervené a ultrafialové záření. Další možné barvy či odstíny vznikají skládáním základních barev. Tak např. pozorujeme bílou barvu v případě, že dopadající záření vnímají všechny tři druhy čípků, a černou, pokud záření nevnímají žádné z nich.



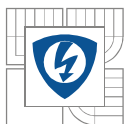
Obrázek 2: Model skládání barev

3 DRUHY SVĚTELNÝCH ELEKTRICKÝCH ZDROJŮ

Podle vzniku světla se elektrické světelné zdroje v zásadě dělí na zdroje teplotní a výbojové, které jsou buď nízkotlaké, nebo vysokotlaké. Podrobnější členění je patrné z **Obr. 2**. Vznik světla je podmíněn vybuzením elementárních částic. V teplotních zdrojích dochází průchodem elektrického proudu k zahřátí vodivé pevné látky (kovu) na teplotu, při které potřebnou budící energii tvoří tepelný pohyb. Tato energie se předává částicím schopným vybuzení, které se tak stávají elementárními zdroji světla. Látka, např. vlákno žárovky, vysílá optické záření, jehož spektrum je spojité.



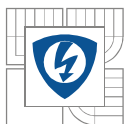
Obrázek 3: Základní rozdělení elektrických světelných zdrojů



Výbojové světelné zdroje (výbojky) jsou založeny na principu elektrického výboje v plynech a parách různých kovů a využívají přeměnu elektrické energie na kinetickou energii elektronů pohybujících se ve výbojovém prostoru. Při srážkách elektronů s atomy plynů a par kovů se jejich energie mění na optické záření. Princip spočívá v tom, že srážka elektronu s atomem je dle zákona o zachování energie kompenzována zvýšením vnitřní energie atomu a snížením kinetické energie elektronu. Excitovaný (nabuzený) atom v tomto nestabilním stavu dlouho nesetrvává a po krátké době se vrací zpět do základního stavu při současném vyzaření příslušného kvanta energie v podobě fotonu. Spektrum záření výbojových zdrojů je čárové, což vyplývá z existence pouze omezeného množství energetických stavů příslušných prvků, které záření vyvolávají. Rozložení spektrálních čar závisí na druhu výboje i na složení plynné náplně.

U některých výbojových zdrojů (např. u zářivek) se využívá sekundární emise viditelného záření prostřednictvím luminiscence pevných látek, proto bývají někdy označovány jako tzv. luminiscenční zdroje.

Luminiscence pevných látek je jev, při němž se z atomů, molekul či krystalů látky v podobě fotonů vyzařuje energie uvolněná při samovolném návratu elektronů do základní polohy z nestabilního vybuzeného stavu, kam se dostaly určitým vnějším vlivem. Je-li zmíněné vybuzení vyvoláno elektrickým polem hovoříme o luminiscenci, na jejímž principu jsou založeny svítící kondenzátory – elektroluminiscenční panely. Je-li vybuzení způsobeno dopadajícím zářením, jde o fotoluminiscenci a je-li způsobeno radioaktivním zářením, mluvíme o radioluminiscenci. Například u zářivek se převážně ultrafialové záření nízkotlakého rtuťového výboje transformuje ve vrstvě luminoforu nanesené na vnitřní stěnu trubice na viditelné záření. Jelikož elektrony se mohou pohybovat jen ve zcela určitých drahách, z nichž každé odpovídá určitá energetická hladina, může mít vyzařený foton rovněž pouze určité hodnoty energie. Dle Planckova zákona je taková energie vyzařena na přesné vlnové délce. Luminiscenční záření proto obsahuje pouze určité spektrální čáry charakteristické pro danou látku.



4 TEPLOTNÍ ZDROJE SVĚTLA

Jedním ze základních principů vzniku světla je teplotní záření pevných látek. Tento princip využívají historicky nejstarší používané zdroje světla – žárovky. Historie žárovky spadá ještě několik desítek let před Edisonův revoluční světelný zdroj. Edison nebyl jediný, kdo funkční žárovku zkonstruoval, ale jako první dokázal uvést tento zdroj světla k životu a vytvořit potřebnou infrastrukturu pro její provoz. Vznikly první městské elektrárny, které vyrobily dostatek elektrické energie pro napájení prvních sériově vyráběných žárovek, a tím byl zahájen dlouhý proces rozvoje elektrotechniky.

4.1 Žárovka

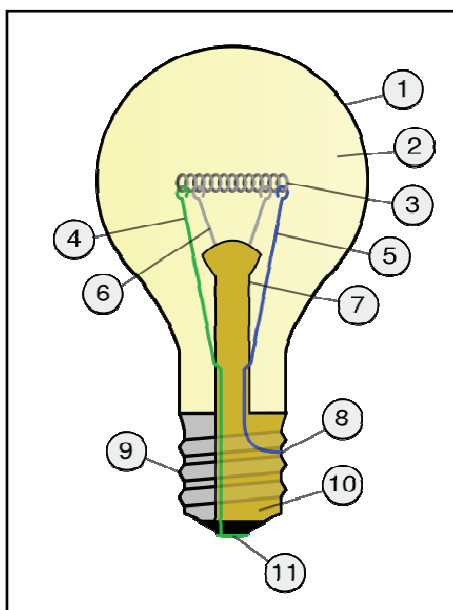
Žárovka je jednoduché zařízení k přeměně elektrické energie na světlo. Funguje na principu zahřívání tenkého vodiče elektrickým proudem, který jím protéká. Při vysoké teplotě vlákno žárovky září především v infračervené oblasti, zčásti i ve viditelném světle. U přežhavaných žárovek (halogenové atd.) najdeme ve spektru i ultrafialové záření, avšak baňka žárovky z obyčejného skla je pro ultrafialové záření prakticky nepropustná.

Typ	Rok	Měrný výkon [lm.W ⁻¹]	Životnost [hod]
Uhlíková, vkuová	1879	2	600
Osmiová, vakuová	1898		
Wolframová vakuová přímé vlákno	1906	6 -8	1000
Wolframová s plynem spirální vlákno	1913	9	1000
Wolframová s plynem dvojitá spirála	1934	12 - 14	1000
Halogenová	1959	20	2000

Tabulka 3: Historický vývoj žárovky

Technologicky výrobu žárovky zvládl Thomas Alva Edison v roce 1879, na trh byly žárovky uvedeny v provedení s bambusovým vláknem a standardní šroubovací patice E27 v roce 1881. Edison ale není vynálezcem žárovky. Jeho předchůdcem byl Heinrich Göbel. První pokusy se žárovkou (principiálně vznik světla žhavením materiálů průchodem elektrického proudu) lze datovat k roku 1805 (Humphry Davy). Jako datum jejího vynalezení je často uváděn rok 1854, kdy Edison dokázal, že prvenství ve využití patří jemu. Původní Edisonovy žárovky měly uhlíkové vlákno (zuhelnatělý bambus), dnes se obvykle využívá wolfram, který lépe odolává vysokým teplotám. Aby vlákno neshořelo, je umístěno v baňce z obyčejného skla, ze které je vyčerpán vzduch. U standardních žárovek do 15 watt je obvykle baňka vakuovaná (vzduchoprázdná), u silnějších žárovek je plněná směsí dusíku a argonu, ale také řidčeji kryptonem, nebo dokonce xenonem.

Tyto náplně umožňují vyšší provozní teploty vlákna a omezují jeho rozprašování. U standardních a velkých žárovek je náplň volena tak, aby se za provozu tlak v baňce přibližně srovnal s tlakem atmosférickým. U vysoko přežhavených žárovek (také halogenových) bývá provozní tlak mnohonásobně vyšší, než atmosférický. To je třeba brát na zřetel a omezit možnost exploze speciálním sklem či sítkou atd. Tam, kde tuto možnost nemáme (optická zařízení, reflektory) musíme počítat s možností rozlétnutí velmi teplých kousků skla. Žárovky bývají také plněny halogenovými sloučeninami, původně čistým jódem, nyní různými organickými sloučeninami bromu (brommetan, bromofosfonitrit, a podobně).



1. Skleněná baňka
2. Náplň: nízkotlaký interní plyn
3. Wolframové vlákno
4. Kontaktní vlákno
5. Kontaktní vlákno
6. Podpůrná vlákna
7. Držák
8. Kontaktní vlákno
9. Závít pro objímku
10. Izolace
11. Elektrický kontakt

Obrázek 4: Žárovka

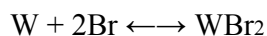
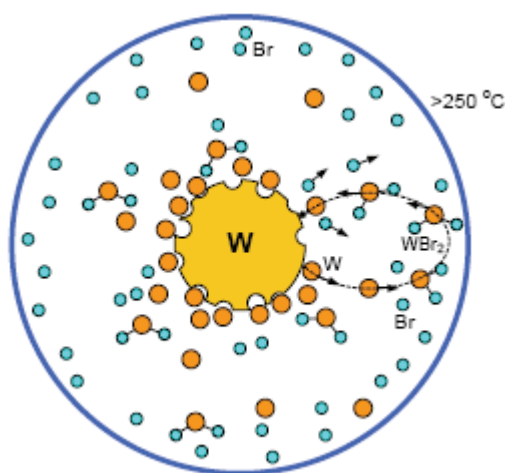
Ze žárovky se později vyvinula elektronka, která byla základem elektronických přístrojů až do vynálezu tranzistoru. Efekt vyzařování elektronů z rozžhaveného vlákna objevil kolem roku 1890 T. A. Edison a tento efekt je po něm pojmenován. Střední doba života standardní žárovky je 1000 hodin.

Mezi hlavní výhody žárovky jako světelného zdroje patří vysoce automatizovaná výroba, vynikající podání barev, možnost přímého napájení z elektrické sítě, absence zdraví škodlivých látek. Mezi nevýhody patří především nízká účinnost (3 – 4%) a měrný výkon (kolem 6 - 16 lm/W), krátký život, velký pokles světelného toku v průběhu života a velká závislost parametrů na napájecím napětí.

Klasické žárovky mají baňku obvykle z měkkého sodno-vápenatého skla. Vnitřní prostor baňky je vyčerpán a je obvykle plněn dusíkem (někdy s příměsí argonu či kryptonu).

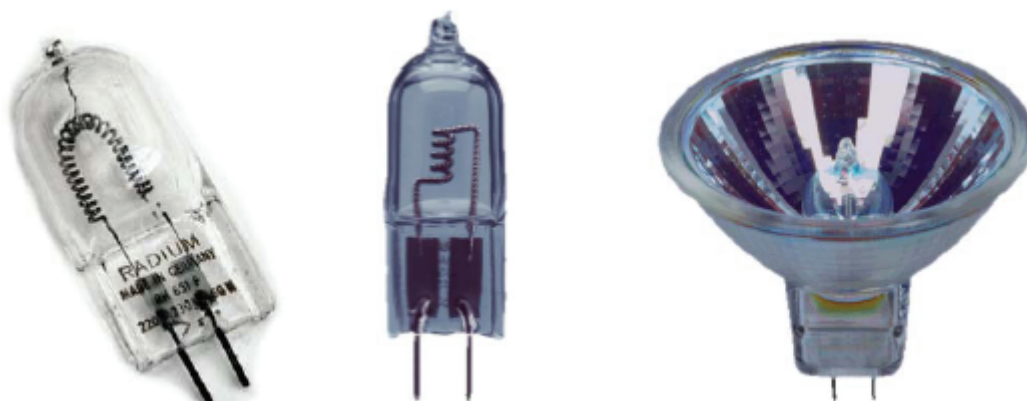
4.2 Halogenová žárovka

Obyčejné žárovky se potýkají se dvěma základními problémy – nízká doba života a nízký měrný výkon. Měrný výkon lze zvýšit zvýšením teploty vlákna. Tím se ale život žárovky ještě více zkracuje díky rychlému odpařování wolframu. Neexistuje způsob, jak odpařování vlákna zabránit, lze jej však částečně omezit. Odpařený wolfram se usazuje na vnitřním povrchu baňky a způsobuje jeho černání. V roce 1959 se objevili první zprávy o žárovkách, u nichž se do plnicího plynu přidával jód s cílem zamezit černání baňky a snížit tak pokles světelného toku během života. Tyto pokusy se objevily již dříve, končily však neúspěchem, neboť reakce halogenů s materiálem uvnitř baňky (především přívaly) způsobily následnou kondenzaci halogenů na chladnějším místě baňky. Teprve nová konstrukce žárovek, která umožnila použití pracovní teploty baňky nad 250 °C a vyloučení všech materiálů, které by mohly reagovat s halogeny znamenalo praktické využití tzv. halogenového regeneračního cyklu.



Obrázek 5: Halogenový regenerační cyklus.

Halogenové prvky, zejména brom a jód, které se aplikují v malých dávkách do plynné náplně žárovek, reagují s wolframem a vzniká halogenová sloučenina, bromid, nebo jodid wolframu. Molekuly halogenidu se pohybují ve směru proti gradientu teploty. V blízkost vlákna za působení vysoké teploty dochází k disociaci molekul halogenidu a k oddělení wolframu a halogenu. Tím se zvyšuje koncentrace par wolframu v blízkosti vlákna a snižuje se proces jeho dalšího odpařování. Uvolněné atomy halogenu putují zpět k baňce, kde se mohou účastnit dalších reakcí.



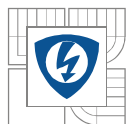
Obrázek 6: Halogenové jednotlivé žárovky a žárovka s dichroickým reflektorem



Obrázek 7: Halogenová žárovka dvoustisková

Aby halogenový regenerační cyklus probíhal, je třeba zajistit dostatečné teploty konstrukčních částí žárovky. Proto se nedoporučuje halogenové žárovky stmívat nebo provozovat na nižším napětí než jmenovitém. Pokud ke stmívání dochází, je vhodné občas provést provoz na plný výkon, kdy se odpařený wolfram usazený na baňce opět zregeneruje. Nicméně optimálního stavu tímto dosaženo není.

U žárovek na malé napětí je potřeba počítat s vyššími odběrovými proudy při stejném výkonu jako u žárovek na nízké napětí. Tyto proudy způsobují vyšší úbytky napětí na přívodních vodičích. Z toho důvodu se volí přívodní vodiče dostatečně tlusté, aby úbytek napětí nepřesáhl 3% jmenovité hodnoty.



5 VÝBOJOVÉ ZDROJE SVĚTLA

Výbojové zdroje světla jsou založeny na principu elektrického výboje v plynech nebo parách pevných látek, většinou kovů. Elektrický výboj je svým charakterem nestabilní a se vzrůstajícím proudem klesá napětí na výboji. To má za následek zvýšení ionizace i proudu a pokles napětí. Z toho důvodu je nutné do obvodu výbojky zařazovat omezující prvek, který zajistí stabilizaci elektrických parametrů do oblasti pracovního bodu.

Další odlišnost od žárovky je charakteristický proces startu výbojky, kdy plného výkonu nedosahuje okamžitě, ale až po určité době, která může činit i několik minut až desítek minut. K zapálení výboje je přitom ve většině případů nutné zvýšené nebo vysoké napětí generované speciálním startovacím obvodem.

5.1 Nízkotlaké výbojky

Nízkotlaké výbojky tvoří díky zastoupení zářivkami (lineárními a kompaktními) velice rozsáhlou skupinu zdrojů, jež se používají jak pro vnitřní, tak pro venkovní osvětlení. V zásadě lze použít dva druhy nízkotlakého výboje – v parách sodíku a v parách rtuti. Nízkotlaký výboj v parách rtuti generuje především záření v UV oblasti, je nutná transformace do viditelné oblasti pomocí luminoforu. Nízkotlaké rtuťové výbojky spojují princip výbojového a luminiscenčního zdroje světla.

Sodíková nízkotlaká výbojka naopak generuje téměř monochromatické záření ve viditelné oblasti a to v blízkosti maxima spektrální citlivosti oka.

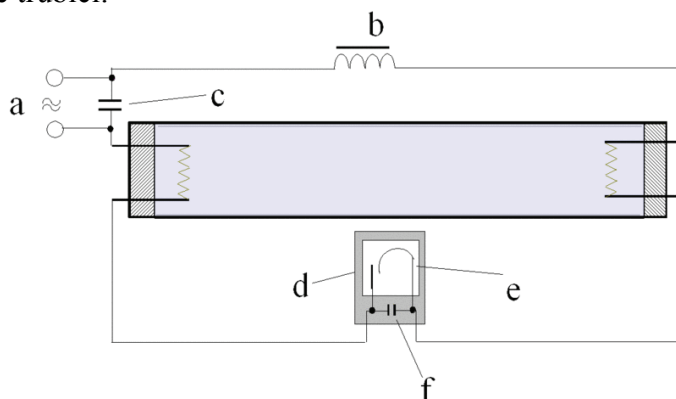
Tlak par v nízkotlakých výbojkách se pohybuje v jednotkách Pa a méně. Parametry výboje výrazně ovlivňuje teplota, která mění parciální tlak par kovů. Tyto výbojky jsou proto poměrně citlivé na změny teploty a při nízkých teplotách se také hůře startují.

5.1.1 Zářivky

Jak již bylo řečeno, zářivka patří do skupiny nízkotlakých výbojek založených na principu výboje v parách rtuti. Skleněná trubice protáhlého tvaru je plněna plynem (nejčastěji Argon) do kterého se přidává malé množství rtuti (okolo 3-5mg). Trubice je na obou koncích zakončena elektrodovou částí. Elektrody z emisní hmoty zásobují výbojový prostor volnými elektrony, které při průletu trubicí narážejí na atomy vypařené rtuti. Srážka elektronu s atomem znamená absorpci kinetické energie elektronu a nabuzení atomu rtuti. Nabuzený atom se vrací do své stabilní polohy s vyzářením kvanta záření na specifických spektrálních čarách, přičemž dominantní jsou čáry 253,7 nm a 185 nm.

Zapojení startéru a tlumivky k zářivkové trubici:

- a. vstup
- b. tlumivka
- c. kompenzační kondenzátor
- d. startér
- e. bimetalová elektroda
- f. odrušovací kondenzátor



Obrázek 8: Schéma zapojení zářivkové trubice

Startér z Obr. 7 pracuje na jednoduchém principu spínání bimetalového kontaktu, který je ohříván teplem doutnavého výboje. Pokud je na kontaktech startéru síťové napětí (před vlastním startem zářivky), pak doutnavý výboj ohřeje kontakty bimetalu a ty se deformací spojí. Za dobu než se ochladí a znovu rozpojí, prochází jimi proud, který jednak ohřívá žhavicí elektrody zářivky a jednak budí magnetický obvod tlumivky. Po rozpojení kontaktů startéru je změna elektrického proudu tlumivkou zároveň změnou jejího buzení, která znamená opačnou změnu magnetického toku jádrem tlumivky (magnetický tok bude rychle klesat). Rychlá změna toku způsobí indukci vysokého napětí na svorkách tlumivky a toto napětí v součtu se síťovým napětím okamžité hodnoty se objeví na opačných koncích zářivky, tedy mezi elektrodami. Pokud je dostatečně velké, dojde k zapálení výboje. Tento děj se může několikrát opakovat, dokud výboj nezačne hořet stabilně. Startovací děj můžeme také stručně vysvětlit jako snahu tlumivky zachovat původní směr a velikost proudu, který najde cestu obvodem výboje zářivky místo původní cesty přes žhavicí elektrody a startér.

Výsledkem výboje je snížení napětí na zářivce pod hranici doutnavého výboje startéru, tj. startér již znovu není schopen sepnout, zářivka svítí až do přerušení vnějšího obvodu vypínačem.

5.1.2 Kompaktní zářivka

Základní nevýhodou lineárních zářivek je jejich rozměrnost a komplikované připojení do obvodu přes dvě patice. Tuto nevýhodu řeší kompaktní provedení zářivek, které jsou konstruovány tak, aby vývody z výbojového prostoru byly provedeny na jedné straně. Tím je zajištěno, že zářivku lze zasunout do jediné patice, což je z hlediska konstrukce svítidla a připojení přívodů jednodušší řešení. Konstrukce je dosaženo stočením výbojové trubice do tvaru U. Pro zvýšení výkonu lze spojit více takových výbojových prostorů do jednoho celku.



Obrázek 9: Kompaktní zářivky – jednotrubicová, třítrubicová

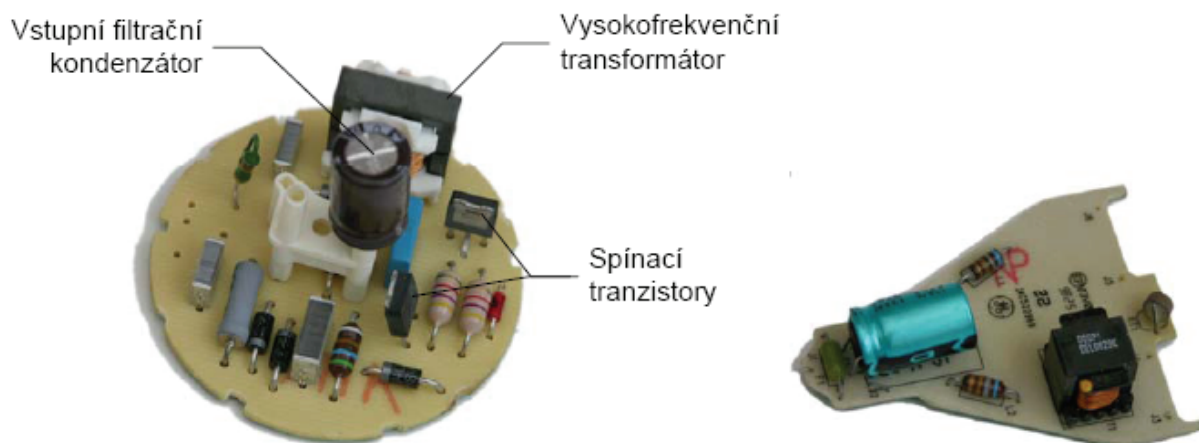
Zářivky v čtyřkolíkovém provedení se připojují stejným způsobem jako zářivky lineární, tedy musí být doplněny startérem a předřadníkem, případně kompenzací. Zjednodušení připojení nabízí konstrukce dvoukolíková, která v sobě integruje zářivku včetně zapalovače (startéru). Zapalovač bývá umístěn v prostoru patice a dva kolíky jsou vnitřně propojeny k tomuto zapalovači. Zbývající dva kolíky jsou vyvedeny ven, jeden kolík je připojen sériově k tlumivce a druhý ke střednímu vodiči.

Další zdokonalení kompaktní zářivky přinesla firma PHILIPS, která do jednoho pouzdra integrovala i indukční tlumivku (**Obr. 9**).



Obrázek 10: Kompaktní zářivka s vestavěným indukčním předřadníkem

Vývoj elektroniky a požadavky na snížení ztrát, velikosti a hmotnosti vedly k vývoji kompaktních zářivek s vestavěným elektronickým předřadníkem. Konstrukce předřadníků jsou na Obr. 10.



Obrázek 11: Elektronické předřadníky

V současné době jsou kompaktní zářivky nabízeny v řadě variací provedení, tvarů a výkonů. Rozlišují se zářivky ekonomického, standardního a profesionálního provedení, které nabízejí různou délku technického života. Kvalitní kompaktní zářivky obsahují elektronické předřadníky s kvalitním PFC (Power Factor Correction) obvodem a s účinnou filtrací vyšších harmonických složek proudu.

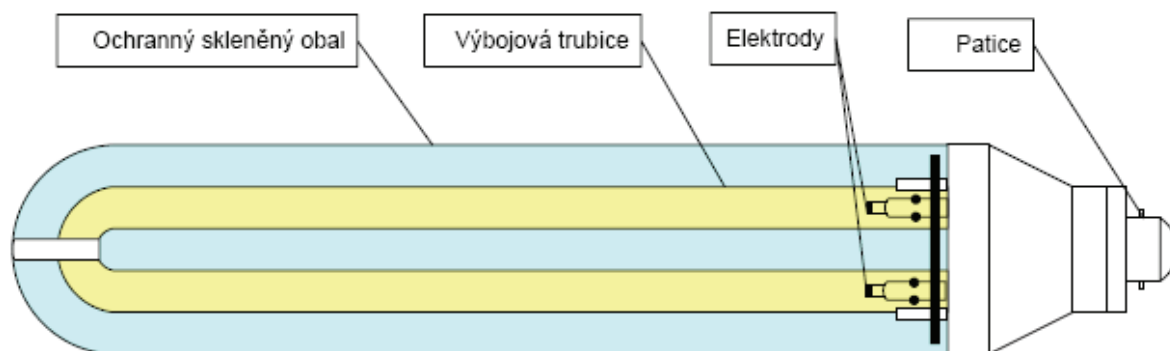
5.1.3 Nízkotlaké sodíkové výbojky

Při tlaku par sodíku $0,5 - 1$ Pa vzniká v elektrickém výboji záření vlnové délky $589,0$ a $589,6$ nm. Tato dvojčára, nazývaná též sodíkový dublet, vytváří téměř monochromatický zdroj světla s velice špatným barevným podáním. Díky absenci ostatních vlnových délek prakticky není možné rozlišovat žádné barvy, index barevného podání je roven 0.

Výbojový prostor je plněn neonem a značným množstvím sodíku, který se začne odpařovat až po určité době provozu vlivem zvýšení teploty uvnitř výbojky. K zapálení je potřeba napětí okolo 450 V a proto se k elektrické síti připojují např. přes rozptylový transformátor.

Barva světla se mění z oranžově červené při startu na jasně žlutou. Náběh do provozního stavu trvá 10 až 15 minut, teplota hořáku dosáhne až 300 °C. Výbojová trubice bývá upravena buď do tvaru U anebo jako lineární s vývody na obou stranách (starší provedení). Pro stabilizaci teplotních poměrů v podélném směru trubice se vkládá do izolační skleněné vakuované baňky.

Nízkotlaké sodíkové výbojky jsou vyráběny v řadách 18 , 35 , 55 , 90 , 135 , 180 W (řada výbojek SOX – Osram) nebo 26 , 36 , 66 , 91 , 131 W (řada výbojek SOX-E). Energeticky patří tyto výbojky k nejúčinnějším zdrojům světla, neboť jejich měrný výkon dosahuje hodnoty až 200 lm.W⁻¹ (výbojka 131 W má světelný tok $25\,000$ lm). To je dáno blízkostí čáry 589 nm k maximu účinnosti optického záření 555 nm. Nicméně díky mohochromatickému charakteru světla se tyto výbojky hodí pouze k navýšení celkového osvětlení či zdůraznění kontrastů. Používají se např. u výpadových silnic a dálnic v ČR spíše ojediněle. V zahraničí jsou rozšířené zejména v zemích Beneluxu a Velké Británii. Jejich další výraznější rozvoj a rozšíření, i přes vysoký měrný výkon, nelze očekávat.



Obrázek 12: Nízkotlaká sodíková výbojka

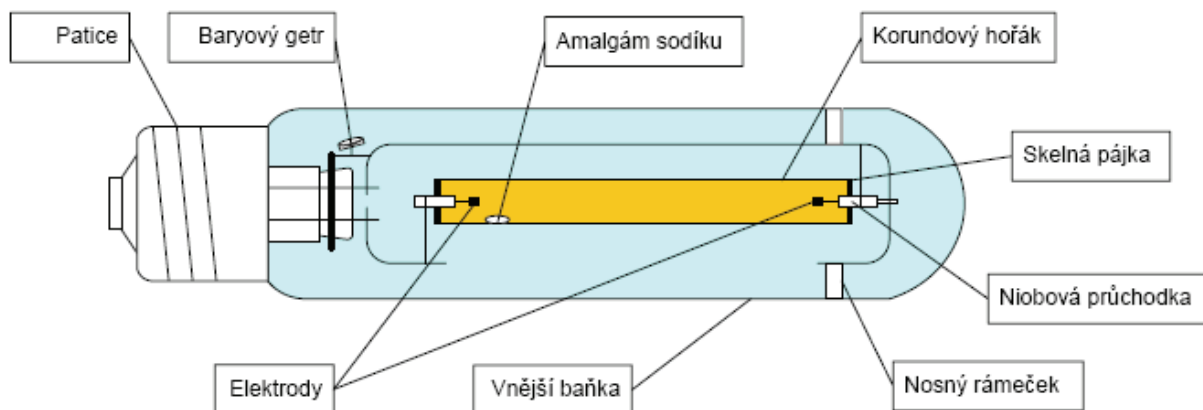
5.2 Vysokotlaké výbojky

Vysokotlaké výbojky se vyznačují zvýšeným tlakem plynů a par ve výbojovém prostoru, který se pohybuje až do řádu 10^5 Pa. U výbojek s extrémním tlakem (výbojky s krátkým obloukem) pak ještě téměř o dva řády více (až 5000 kPa).

5.2.1 Vysokotlaké sodíkové výbojky

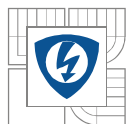
U vysokotlaké NA výbojky je světlo produkováno průchodem elektrického proudu přes sodíkové páry při zvýšeném tlaku. Výbojový prostor (hořák) je konstruován ze speciálního polykrystalického oxidu hlinitého Al_2O_3 (tzv. korund), který je odolný vůči agresivnímu sodíku při vysokých teplotách a má vysoký bod tání. Ačkoliv se jedná o materiál průsvitný, jeho propustnost dosahuje hodnoty kolem 90 %.

Polykrystalický korund nemůže být přímo spojen s kovem, proto se používá speciálních průchodek pro přivedení elektrod do prostoru hořáku. Používají se pájky skelné nebo kovové popřípadě keramické průchodky. Výbojová trubice obsahuje xenon jako startovací plyn a malé množství sodíkortuťového amalgámu, který je částečně vypařen, jakmile dosáhne výbojka provozní teploty. Rtuť působí jako zásobník plynu pro zvýšení tlaku a pracovního napětí výbojky. Hořák je uzavřen do vnější baňky z borosilikátového skla s vyčerpáním prostoru pro ochranu chemického působení na výbojový hořák a ostatní kovové části. Evakuace také pomáhá udržovat teplotu hořáku izolací od okolního prostředí. Baňka se vyrábí v čířém nebo matovaném provedení pro snížení jasu světelného zdroje.



Obrázek 13: Vysokotlaká sodíková výbojka

Díky malému průměru hořáku se nepoužívá startovací elektroda jako u rtuťových výbojek. Místo ní se používá vysokonapěťový vysokofrekvenční puls generovaný zapalovačem. Některé speciální vysokotlaké výbojky používají speciální startovací plynou směs (kombinaci argonu a neonu, která vyžaduje nižší startovací napětí než plyny samotné) a pomocné startovací zařízení uvnitř vnější baňky. Tyto výbojky mohou pracovat bez vnějšího zapalovače na předřadnících určených pro řadu rtuťových vysokotlakých výbojek. Toho se využívá při náhradě zdrojů ve stávajících svítidlech pro dosažení energetických úspor.



5.2.2 Vysokotlaká rtuťová výbojka

Podobně jako u sodíkových výbojek, zvyšování tlaku rtuťových par a zvyšování proudové hustoty posouvá maximum vyzářené energie směrem k větším vlnovým délkám a vzniku spojitého spektra, jehož intenzita s rostoucím tlakem rovněž roste.

Měrný výkon se pohybuje v rozmezí $50 - 60 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$, přičemž spektrum neobsahuje červenou složku světla, což zhoršuje barevné podání. Z toho důvodu se rtuťové výbojky příliš nehodí na osvětlování interiérů. Barevné podání lze zlepšit prakticky třemi způsoby:

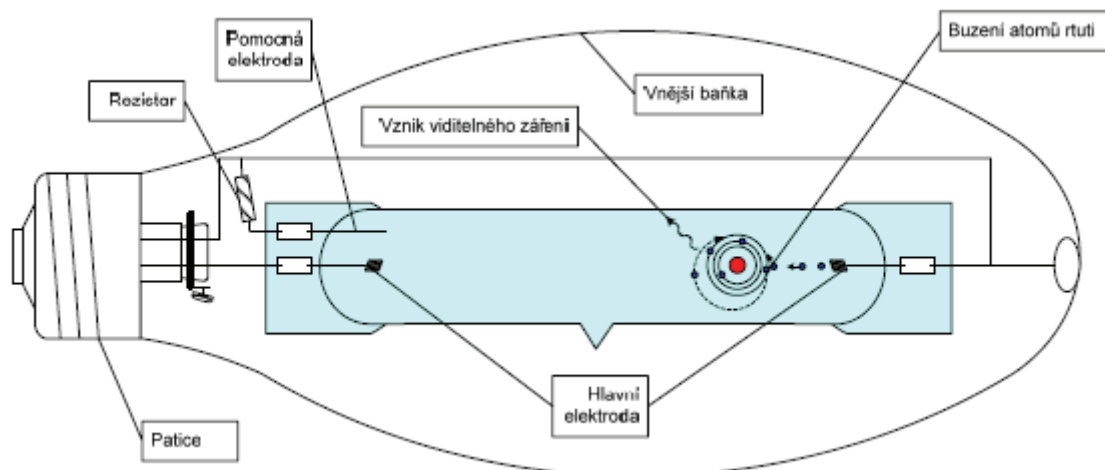
- Transformace ultrafialového záření pomocí luminoforu do oblasti červené barvy (rtuťové výbojky s luminoforem).
- Přidání žhaveného vlákna dovnitř vnější baňky do série s hořákem, čímž vznikne teplotní záření jako u žárovky kombinované s modrozeleným zářením rtuti (směsové výbojky).
- Přidáním vhodných příměsí do rtuťového výboje, které svým zářením doplňují spektrum rtuti o chybějící čáry ve viditelném spektru. Jako nejlepší se jeví kovy jako sodík, thalium, indium, popř. kovy vzácných zemin, které vyzařují velmi husté čárové spektrum v celé viditelné oblasti. Kovy jsou přidávány v podobě příslušných halogenidů (halogenidové výbojky).

Rtuťové výbojky s luminoforem obsahují výbojový prostor z křemenného skla, do něhož jsou zatavením umístěny dvě hlavní wolframové elektrody a obvykle jedna pomocná startovací elektroda umístěná na jednom konci blízko elektrody hlavní. Průchodku tvoří molybdenová fólie. Elektroda je pokryta emisní vrstvou na bázi oxidů barya, stroncia a vápníku s případně dalšími příměsemi zvyšujícími emisní schopnosti elektrody.

Do hořáku je umístěn argon a přesné množství rtuti, které při provozním napětí dosahují tlaku okolo 20 kPa. Argon usnadňuje zapálení výboje a snižuje odpařování emisní hmoty elektrod v počáteční fázi startu, kdy hořákem prochází zvýšený proud převyšující jmenovitou hodnotu až o 50 %. Start probíhá mezi hlavní a startovací elektrodou a tento výboj je stabilizován pomocným rezistorem umístěným ve vnější baňce. Po dostatečné ionizaci vnitřního prostoru se výboj rozvine mezi hlavními elektrodami.

Hořák je umístěn ve vnější baňce z měkkého sodno-vápenatého skla u výbojek s příkonem do 125 W anebo z tvrdého boro-křemičitého skla u výbojek s vyšším příkonem. Baňka je naplněna obvykle směsí argonu a dusíku při tlaku asi 50 kPa. To zajišťuje ochranu nosného systému hořáku a ostatních částí před oxidací. Na vnitřní stěnu je nanášena vrstva luminoforu, která podobně jako u zářivek transformuje část ultrafialového záření na viditelné světlo především v červené oblasti.

Během startu se mění elektrické a světelné parametry a jejich ustálení probíhá po dobu asi 5 minut. Pro potlačení vlivu vnější teploty pracují výbojky v režimu přehřátých par, ve kterém jsou změny teploty doprovázeny menšími změnami tlaku, než v oblasti nasycených par. Z toho důvodu je nutné přesné dávkování rtuti, aby v provozním stavu došlo k úplnému odpaření veškerého množství.



Obrázek 14: Vysokotlaká rtuťová výbojka

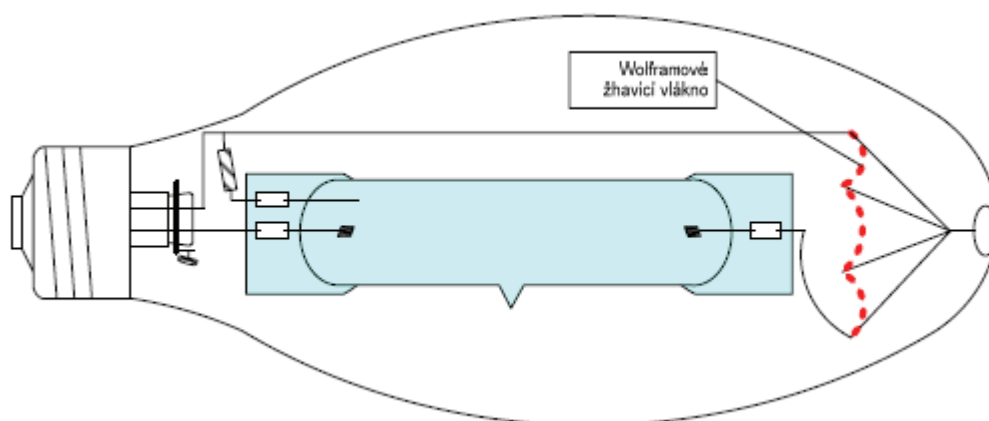
Sortiment současně vyráběných rtuťových výbojek se ustálil na příkonové řadě 50, 80, 125, 250, 400, 700 a 1000 W. Náhradní teplota chromatičnosti obvykle 4000 K s indexem barevného podání 42. Dále se vyrábějí výbojky v provedení "de luxe", které mají sníženou teplotu barvy světla cca 3400 K a index barevného podání 60. Měrný výkon těchto výbojek dosahuje hodnoty okolo 60 lm.W^{-1} .

Výbojky se do elektrického obvodu zařazují s předřadnou tlumivkou, jejíž spotřeba činí podle typu 10 - 45 W podle příkonu výbojky. Životnost výbojek se pohybuje okolo 12 - 15 tis. hodin při poměrně dobré stabilitě světelného toku v průběhu života. Jejich nespornou výhodou je nízká cena a provoz bez zapalovače, proto lze jejich využití i v budoucnu považovat za časté přestože jsou nahrazovány účinnějšími halogenidovými nebo vysokotlakými sodíkovými výbojkami. Uplatnění najdou zejména v osvětlení průmyslových a výrobních zařízení, v uličním osvětlení, osvětlení parků a zahrad, prodejních prostor a supermarketů. Pracovní poloha výbojek je libovolná.

5.2.2.1 Směšové výbojky

Konstrukce směšové výbojky je uvedena na obrázku. Pro doplnění oblasti červené barvy je v sérii s rtuťovým hořákem připojeno wolframové vlákno obdobné vláknu běžné žárovky. Hořák i vlákno jsou umístěny ve společné baňce s patičí s E závitem. Vlákno plní dvě funkce: jednak průchodem elektrického proudu a rozžhavením na vysokou teplotu vzniká teplotní záření stejně jako u žárovky a jednak dochází k potřebnému úbytku napětí nutného pro stabilizaci výboje. Taková výbojka již nepotřebuje vnější stabilizační prvek (předřadník) a lze ji tedy namontovat místo běžné žárovky přímo do elektrické sítě. Tyto výbojky se vyrábějí ve výkonové řadě 160, 250 a 500 W a dosahují měrného výkonu 20 - 30 lm/W, což je více než u klasických žárovek i halogenových žárovek.

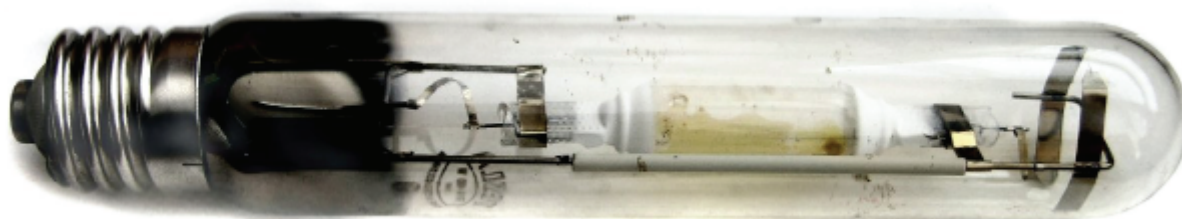
Střední životnost až 16000 hodin díky nižší teplotě vlákna než u běžných žárovek. Tyto výbojky lze použít např. v historických centrech měst, pěších zónách, parcích a zahradách a nebo v interiérech jako náhrada žárovkového osvětlení. Index barevného podání se pohybuje v rozsahu 60 - 70 při náhradní teplotě chromatičnosti 3600 - 4100 K.



Obrázek 15: Směšová výbojka

5.2.3 Halogenidové výbojky

Zlepšení barevných vlastností světla rtuťové výbojky lze dosáhnout přidáním příměsí do výbojového prostoru. Existuje velké množství prvků, které generují záření ve viditelné oblasti. Jejich vhodným výběrem a kombinací lze dosáhnout široké palety výsledného spektra, které představuje účinný zdroj bílého světla pro účely všeobecného osvětlování. Mezi tyto prvky patří kovy jako např. sodík, scandium, litium, thalium, indium, kovy vzácných zemin, dysprosium, holmium, thulium, erbium, ytterbium a další. Problematické je zejména dávkování těchto příměsí do výbojového prostoru neboť v čistém stavu dosahují buď nízkého tlaku par a tím pádem i nízké koncentrace nebo jsou při vyšších teplotách (nad 300 °C) velmi agresivní vůči křemennému sklu hořáku. Ukázalo se, že nejvhodnějším způsobem aplikace je vytvoření halogenidů příslušných kovů (nejčastěji jodidy popř. bromidy), neboť tyto sloučeniny jsou při pracovních teplotách hořáků poměrně stálé, nejsou agresivní vůči křemennému sklu a dosahují obvykle vyššího tlaku par než čisté kovy. Takto upravené výbojky se nazývají halogenidové a vycházejí ze základní konstrukce výbojek rtuťových, i když současné verze výbojek s keramickým hořákem se od původních již značně liší.



Obrázek 16: Halogenidová výbojka

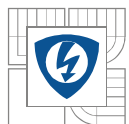


Obrázek 17: Hořáky halogenidových výbojek (vpravo s ochranou proti roztržení výbojky v případě prasknutí hořáku)

Některé odlišnosti v konstrukci výbojky jsou dány použitím halogenů, které jsou např. agresivní vůči oxidům Ba, Ca, Sr na povrchu elektrod. V hořáku je opět směs argonu a rtuti s příslušnou směsí halogenidů. Pro zvýšení teploty hořáku v prostoru za elektrodami se používá vrstva oxidu zirkoničitého (viz. Obr. 16 vlevo). Hořák je umístěn ve vnější baňce, která může být evakuovaná či plněná inertním plynem. Baňka může být čirá anebo u výbojek v provedení „de luxe“ pokrytá zevnitř luminoforem. Zvýšená teplota vnější baňky obvykle vyžaduje materiál z tvrdého skla.

Baňky bývají zakončeny buď běžnou závitovou paticí E27, E40 a nebo kolíkovou paticí. U výbojek dvoustiskových jsou vývody provedeny speciální keramickou paticí.

Výboj se zapaluje vysokým napětím z externího zapalovače. Napětíové pulzy dosahují hodnoty až 4,5 kV. Výboj je zapálen v parách rtuti a inertním plynu. Postupným zvyšováním teploty a tlaku se zvyšuje koncentrace halogenidů. V jádře výboje dochází k jejich štěpení a vybuzení atomů příslušných kovů. Tím vzniká bohaté spektrum záření s dobrým barevným podáním. Vytvořený gradient koncentrace halogenidů a samostatných atomů kovů a halogenů nutí difundovat produkty štěpení ke stěnám baňky, kde se opět slučují při nižších teplotách na halogenidy. Jedná se o uzavřený cyklus, obdobný jako u halogenových žárovek (viz. Obr. 4).



Díky velice přesné výrobě a dávkování směsí patří halogenidové výbojky po technologické a materiálové stránce k nejsložitějším světelným zdrojům vůbec. Tato složitost je však vykoupena řadou pozitivních vlastností:

- široké úpravy spektrálního složení světla
- velký rozsah příkonů (35 – 5000 W)
- dobré až vynikající podání barev při velkém měrném výkonu
- možnost vytvoření rozměrově kompaktních světelných zdrojů s vysokým příkonem na jednotku objemu
- relativně dlouhý život

K nevýhodám patří zejména:

- nutnost použití vnějšího zapalovače
- poměrně velká citlivost parametrů na kolísání napětí sítě
- větší změny spektrálních vlastností v průběhu technického života zdroje
- vliv polohy svícení jak na výkon zdroje, tak i na barevné vlastnosti světla. Některé typy zdrojů mají dokonce výrobcem předepsanou polohu svícení a k tomu optimalizovaný tvar hořáku.

V roce 1994 se objevily první výbojky konstruované s hořákem z materiálu podobného jako u sodíkových vysokotlakých výbojek, tedy z polykrystalického oxidu hlinitého. V současné době jsou tyto výbojky nabízeny dokonce s hořákem kulovitěho tvaru, který oproti klasickému válcovitému tvaru nabízí další přednosti – menší černání hořáku v prostoru za elektrodami, stabilnější výboj v celém objemu hořáku, lepší rozložení výkonu uvnitř výbojového prostoru, delší životnost.

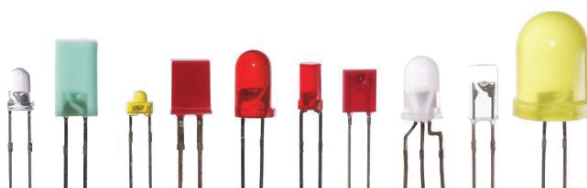
6 LUMINISCENČNÍ SVĚTLA

Přestože mezi luminiscenční zdroje světla bychom mohli zahrnout i zářivky nebo výbojky s luminoforem, budeme se v této kapitole zabývat novými a do budoucna perspektivními zdroji světla – luminiscenčními diodami LED.

6.1 LED

Lighting Emitted Diode – jsou světelné zdroje založené na luminiscenci pevných látek, konkrétně luminiscenci buzené elektricky prostřednictvím dějů probíhajících v polovodičovém přechodu PN.

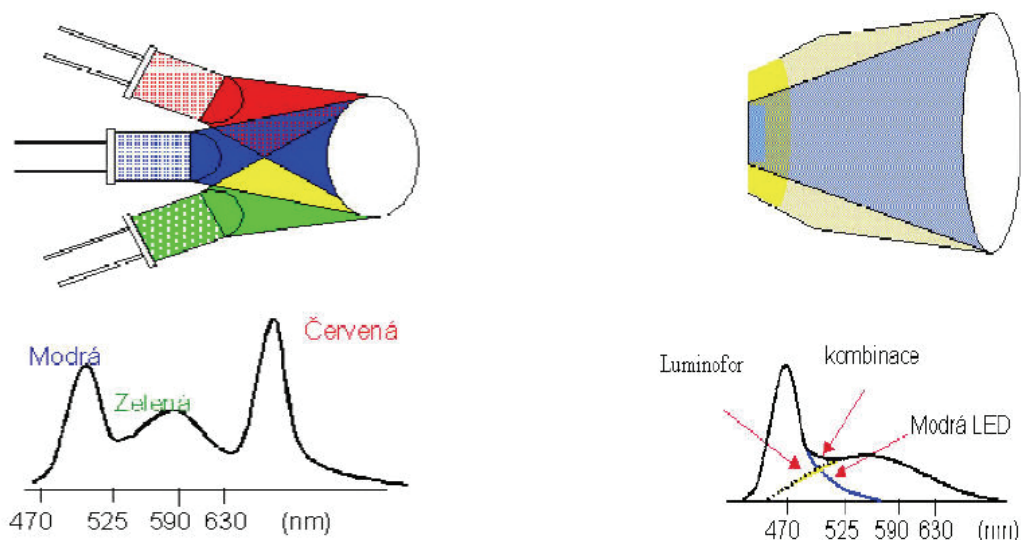
Princip je založen na přímé konverzi elektrické energie na světlo bez použití mezičlánku jako u výbojek. Stejnoseměrný proud prochází dotovanými krystaly přechodu PN a způsobuje, že minoritní nosiče náboje - elektrony - jsou přesouvány do oblasti P přechodu. Fotonová emise vznikne jako výsledek rekombinace párů elektron - díra v P oblasti. Energie elektronu pro překonání zakázaného pásu procházející přes energetický přechod, se nazývá vyzařující rekombinace a produkuje fotony v oblasti světelné a také v oblasti IR jako teplo.



Obrázek 18: Různé druhy svítivých diod

Světlo emitující diodu vyzařující bílé světlo lze získat dvěma způsoby:

1. Aditivním míšením tří základních barev (červené, zelené, modré); tak se tvoří body zobrazovacích panelů. Řízením jasu a podílu složek se ovlivňuje barevný tón.
2. Použije se čip modré LED a ještě uvnitř pouzdra se opatří vrstvou aktivní hmoty (speciální luminofoxy označované jako typ RGB nebo OYGB), která na principu obdobném jako u luminoforu zářivek převede část modrého záření do oblastí jiných vlnových délek (zvl. žluté). Výsledkem míšení modré a žluté je téměř bílý barevný tón vyzařovaného světla.



Obrázek 19: Vlevo vytvoření bílé LED smícháním zelené, modré a červené

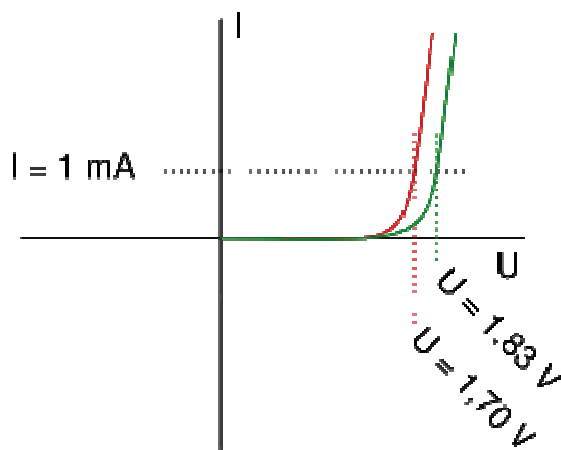
Obrázek 20: Vpravo vytvoření bílé LED s využitím modré a luminoforu

6.1.1 Specifické užití

Se zvětšující se frekvencí emitovaného světla roste napětí, při kterém se proud v propustném směru začíná zvětšovat. Obvykle, pro LED podle standartu v 3 mm nebo 5 mm pouzdrech, jsou naměřené následující hodnoty propustného napětí. To závisí na chemickém složení, teplotě a protékajícím proudu (hodnoty zde uvedené přibližně pro hodnotu 20 mA):

Barva	Úbytek napětí
	[V]
Infračervená	1,6
Červená	1,8 - 2,1
Oranžová	2,2
Žlutá	2,4
Zelená	2,6
Modrá	3,0 - 3,5
Bílá	3,0 - 3,5
Ultrafialová	3,5

Tabulka 4: Propustné napětí na diodě při zatížení 20mA



Obrázek 21: V-A charakteristika LED

Svítivé diody skoro nelze použít k usměrňování - mají malé závěrné napětí i malý propustný proud. Proto na V-A char. není ani zakreslena oblast záporných napětí. Každá svítivá dioda má stanovený maximální proud, který se nesmí překročit (aby se nezničila). Musíme tedy před ní zařadit rezistor, který proud omezí.

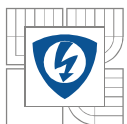
Běžná svítivá dioda má povolený proud $I = 20 \text{ mA}$. Při připojení ke zdroji o napětí U_{zdroj} třeba 5 V je třeba zařadit rezistor o odporu R :

$$R = \frac{U_{\text{zdroj}} - U_{\text{ubytek}}}{I} = \frac{5V - 3V}{20mA} = 100\Omega$$

Rovnice 3: Výpočet předřadného odporu pro LED

Pro ochranění diody před průchodem nebezpečného proudu bude použit odpor o hodnotě 100Ω .

Na rozdíl od žárovek, u kterých nezáleží na polaritě napájecího napětí, jsou schopny pracovat na střídavé napětí, LED zapojené nesprávným způsobem nepracují. Když je napětí na P-N přechodu diody zapojené správně říkáme, že je zapojena v propustném směru a prochází přes diodu velký proud. Zapojíme-li ji opačně než má být je zapojená v závěrném směru a diodou neprochází téměř žádný proud a ani nevyzařuje žádné světlo. Některé LED jsou schopny pracovat se střídavým napětím. Tedy jsou rozsvíceny jen půl periody, ve které jsou polarizovány propustně. Periodicky se tak rozsvěcují a zhasínají s frekvencí střídavého zdroje.



Jediným 100 % přesným způsobem jak zjistit polaritu vývodu LED je podívat se do jejího katalogového listu, ale jsou zde obvykle platné způsoby jejich rozeznání:

znaménko:	+	-
polarita:	kladná	záporná
výstup:	anoda (A)	katoda (K)
vývod:	dlouhý	krátký
pozdro z vnějšku:	zakulacené	ploché
uvnitř pouzdra:	menší	větší
barevně:	červená	černá
označení pouzdra:	nic	proužek
číslo vývodu	1	2
Deska Plošných Spojů	kruhový	čtvercový

Tabulka 5: Polarita vývodu LED

Protože napěťová charakteristika LED je vzhledem k proudové charakteristice prakticky stejná jako u jakékoliv jiné diody (proud vzhledem k napětí roste přibližně exponenciálně), malá změna napětí vyvolá velkou změnu proudu. Jsou zde určité technologické rozdíly, které mohou způsobit, že ze dvou diod stejného typu může napěťový zdroj jednu rozsvítit a druhou zničit (u jedné budou maximální hodnoty proudu na hraně použitelnosti a u druhé budou překročeny).

Většina LED má taky nízké průrazné napětí, takže mohou být zničeny přiložením závěrného napětí i o výši jen několika voltů. Protože někteří výrobci nedodržují standardy označení uvedené výše, tak by mělo být v katalogovém listu vždy pokud možno vyhledáno, jak je to u daného konkrétního typu diody. Nebo můžeme polaritu zjistit zkouškou, kdy diodu zkusíme připojit ke zdroji nízkého napětí v sérii s ochranným rezistorem.

Pokud máme dostatečně velké napětí, můžeme propojit několik LED do série pouze s jedním omezujícím rezistorem. Paralelní zapojení je obvykle problém. LED musí být stejného typu, aby měli co nejpodobnější propustné napětí. I potom rozdíly ve výrobním procesu mohou způsobit, že zapojení nebude fungovat dle představ.

Dvoubarevné LED zařízení obsahují dvě paralelně zapojené, opačně polarizované, diody, každá jiné barvy (typicky červená a zelená), umožňující zobrazit dvě barvy, nebo rozsah škály barev, změnou poměru dob, po kterou jsou jednotlivé diody rozsvíceny. Jiné zas obsahují sadu diod rozdílných barev uspořádaných do skupin zapojených se společnou anodou nebo katodou. Zde můžeme dosáhnout širší škály různých barev bez toho, že bychom museli měnit polaritu napájení.

LED obvykle stále svítí, když skrze ně prochází proud, jsou ale dostupné i blikající LED. Ty mají stejný technologický základ, navíc obsahují klopný obvod, který způsobí, že LED bliká (typicky s periodou jedna sekunda). Nejběžněji jsou k dostání v červené, žluté nebo zelené barvě. Většina jich svítí pouze jednou barvou, ale jsou k dostání i vícebarevné.

7 OSTATNÍ ZDROJE SVĚTLA

Kromě zdrojů pro všeobecné osvětlování, které se dnes běžně používají, existuje celá řada zdrojů, které jsou specifické svými vlastnostmi, použitím a konstrukcí. Bezelektrodové zdroje pracují na principu vysokofrekvenčně buzeného výboje s transformací UV záření na viditelné stejně jako zářivky. Tyto zdroje mají za sebou více než 10-ti letou historii, ale k jejich masivnímu rozšíření brání především stále vysoká cena.

7.1 Indukční výbojky

Mezi další zatím málo rozšířené světelné zdroje patří tzv. indukční výbojky, jejichž princip vychází z podobných základů jako u nízkotlakých rtuťových výbojek - zářivek. Rozdíl je prakticky pouze v mechanismu buzení atomů rtuti uvnitř výbojového prostoru. Pomocí silného vysokofrekvenčního pole dochází k vybuzení atomu rtuti na dostatečnou úroveň, která stačí k tomu, aby nastal zářivý přechod z UV oblasti na vlnové délce 257 a 185 nm. S pomocí vrstvy luminoforu naneseného na vnitřní straně baňky se toto záření transformuje na viditelné světlo.



Obrázek 22: Bezelektrodová indukční výbojka

Vlivem bezelektrodové konstrukce je prakticky vyloučeno poškození vnitřní části výbojového prostoru, což znamená dosažení několikanásobně delší životnosti než u zářivek s elektrodami. Životnost je dána především elektronickými částmi vysokofrekvenčního zdroje a výrobce ji udává až 60 000 hodin. Účinnost přeměny elektrické energie se pohybuje okolo $70 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ při indexu barevného podání větším než 80. Aktuální cena u 55W indukční výbojky je kolem 2000 Kč.

Dalším typem bezelektrodové výbojky jsou zdroje z produkce firmy OSRAM označované obchodním názvem ENDURA, které využívají buzení výboje pomocí toroidních cívek umístěných vně skleněné trubice, která je tvarována do uzavřeného kruhového závitu opět bez elektrod. Tyto zdroje při příkonu až 150 W dosahují světelného toku až 12000 lm. Vysoká životnost je předurčuje pro použití ve špatně dostupných prostorech, kde výrazně snižují náklady na výměnu světelného zdroje. Cena této zářivky se pohybuje kolem 10000 Kč.



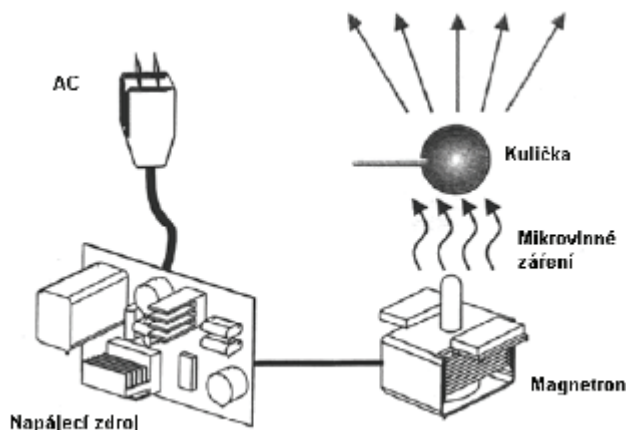
Obrázek 23: Bezelektrodová zářivka OSRAM ENDURA

7.2 Sirné výbojky

Dalším představitelem bezelektrodového zdroje jsou tzv. sirné výbojky, které jsou založeny na záření generovaného vybuzenými parami síry. Tento zdroj byl vyvinut firmou Fusion Lighting USA v roce 1994. Uvnitř baňky z křemenného skla o velikosti golfového míčku je náplň netoxické síry a netečného argonu. Baňka je umístěna na skleněné tyčince v silném mikrovlnném poli buzeném pomocí vysokofrekvenčního generátoru - magnetronu o frekvenci asi 2.45GHz. Pro stabilizaci a homogenizaci výboje je skleněná baňka unášena rotací vysokými otáčkami (3400 min^{-1}) pomocí ochlazovaného motorku. Mikrovlnná energie budí směs plynu a síry a vytváří tak jasné zářící plazma. Vyzářené světlo má bohaté spektrum, které je podobné světlu dennímu.

První prototypy výbojek byly konstruovány s příkonem 5.9 kW a odpovídající měrný výkon dosahoval hodnoty 80 lumen/watt. Náhradní teplota chromatičnosti asi 6000K s indexem barevného podání 79. Náběh výbojky trvá několik desítek sekund i za nízkých teplot. Výhodou je stálost parametrů během celé doby života. Životnost ovlivňují především elektrické části vysokofrekvenčního generátoru (15-20 tisíc hodin), vlastní bezelektrodový prostor se opotřebovává minimálně s životností až 60 tisíc hodin. Generované světlo je velice intenzivní a musí být rozváděno vhodnou optickou soustavou. Hodí se především pro spojení s vláknovými nebo dutými světlovody.

Nová verze Light Drive 1000 má příkon 1425 W se světelným tokem 135000 lm. Současná technologie poskytuje měrné výkony až 120 lm.W^{-1} včetně ztrát budiče.



Obrázek 24: Ideové schéma uspořádání sirné výbojky

7.3 Výbojky s krátkým výbojem

Tyto výbojky někdy také nazývané kompaktní výbojky poskytují světlo vysoce intenzivní bodové. Jejich primární využití je pro světlometové projektory, zobrazovací systémy a optické přístroje (spektrofotometry, záznamové přístroje) a jako simulátory slunečního záření.

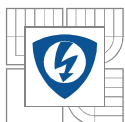
Jedná se o výbojky s velmi vysokým tlakem, kde je oblouk stabilizován elektrodami, jejichž vzdálenost je podstatně kratší než velikost obalu. Vzdálenost elektrod se pohybuje od 0,3 do 12 mm. Jejich oblouk má nejvyšší jas a výkon ze všech kontinuálně pracujících zdrojů a mohou být považovány za skutečné bodové zdroje.

Konstruuji se opticky z čirého křemenného skla kulového nebo eliptického tvaru s dvěma protilehlými přívody. Řada výbojek s krátkým obloukem je navržena pro práci se stejnosměrným napájením, což zajišťuje lepší stabilizaci oblouku a podstatně delší život než u výbojek na střídavý proud. Pro aplikace vyžadující bezozónový provoz jsou zdroje uzavřeny v baňce ze skla, která nepropouští vlnové délky kratší než 210 nm.

7.3.1 Xenonové výbojky

Xenonové výbojky s krátkým obloukem jsou plněny xenonem pod tlakem několika atmosfér. Při startu dosahují prakticky okamžitě asi 80 % výstupního výkonu. Náhradní teplota chromatičnosti je asi 5000 K. Spektrum výboje je spojitě od UV přes viditelné až po infračervené záření. Xenonové výbojky produkují intenzivní záření v oblasti čar blízko 800 - 1000 nm a určité slabší čáry v krátkovlnné viditelné oblasti.

Vyrábějí se ve výkonové řadě od 5 do 32000 W a mohou být provozovány ve vertikální nebo horizontální poloze. Výbojky s výkonem nad 10 kW obvykle vyžadují vodní chlazení elektrod. Měrný výkon dosahuje přibližně 30 lm.W^{-1} pro 1000 W výbojku, 45 lm.W^{-1} pro 5000 W a přes 50 lm.W^{-1} pro 20 kW a výše.



8 POROVNÁNÍ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ

Pro snadnější přehled jsou získané poznatky sepsány v tabulce:

Měrný výkon světelných zdrojů					
Zdroj	typ	příkon [W]	měrný výkon [lm/W]	Ra - index barevného podání [-] max. hodnota "100"	Teplota chromatičnosti [K]
Žárovka	klasická	15 - 200	6 - 16	100	2 800
Žárovka - halogenová	na síťové napětí	60 - 2000	13 - 25	100	2 800 - 3 000
	na nízké napětí (12V)	5 - 75	11 - 19	90 - 100	2 800 - 3 000
	lineární ø 16 mm	14 - 35	96 - 106	60 - 90	2 700 - 6 500
	lineární ø 26 mm	10 - 58	33 - 83	60 - 90	2 700 - 6 500
Zářivka	lineární ø 38 mm	20 - 65	57 - 68	60 - 90	2 700 - 6 500
	Kompaktní	5 - 55	50 - 87	60 - 90	3 000 - 5 000
	Halogenidové	35 - 5000	67 - 103	65 - 90	3 000 - 6 000
	Indukční	55 - 85	65 - 80	80	4 000
Výbojka	Nízkotlaké sodíkové	17,5 - 180	100 - 203	0	5500
	Sírné výbojky	5 900	80 - 94 (120)	79	6000
	Směsové výbojky	100 - 500	20 - 30	60 - 72	3600 - 4100
	Vysokotlaké rtuťové	50 - 1000	36 - 60	20	4000
	Vysokotlaké sodíkové	35 - 1000	70 - 150	20	5500
	Xenonové výbojky	5 - 32 000	30 - 50	> 90	5600 - 6000
LED	---	cca 0,04 - 0,150**	20-150***	> 90	3800 - 7500

* Tato životnost je měřena při zapojení s indukčním předřadníkem. Při zapojení s elektronickým předřadníkem je doba životnosti kolem 13 000 - 15 000.

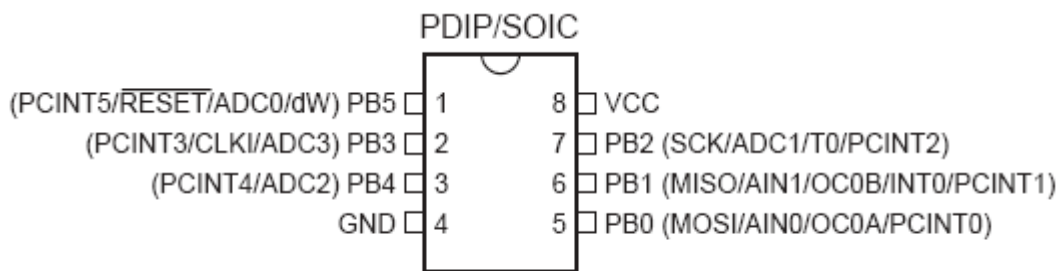
** Záleží na vlnové délce diody nejvíce u infračervené a nejméně u ultrafialové viz tabulka úbytku napětí

*** Teoretické vypočítané maximum je 220 lm/W

Tabulka 6: Srovnání světelných zdrojů

9 ATTINY13

Vhodný mikrokontrolér pro regulaci proudu u modulů LED je zvolen ATtiny13 od společnosti ATMEL. Jeho vybavení periferií je pro regulaci proudu dostatečné a rozměrové hodnoty mikrokontroléru jsou minimální.



Obrázek 25: Pouzdro ATtiny13

Základní vlastnosti ATtiny13:

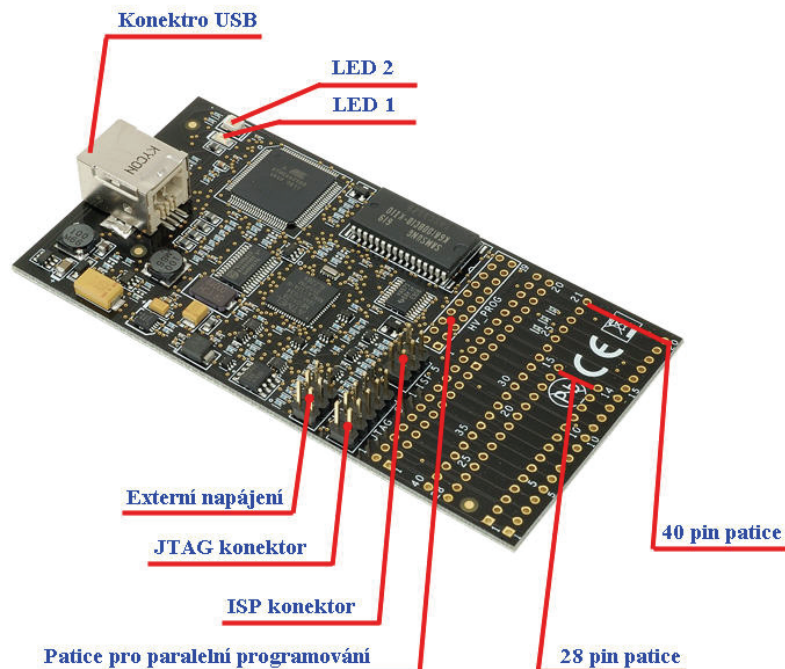
- 8-bitová architektura RISC
- 10-bitový převodník A/D
- 120 instrukcí ATtiny
- 32 operačních 8-bitových registrů přímo propojeno k aritmetice logické jednotky (ALU)
- integrovaný krystal
- frekvenční rozsah je 0 – 20 MHz
- operační paměť SRAM 64B
- integrovaná paměť EEPROM 64B, 100.000 cyklů zápis/vymazání
- programová paměť flash 1KB, 10.000 cyklů zápis/vymazání
- nízká spotřeba:
 - zapnutý stav 1 MHz, 1.8 V: 240μA
 - režim spánku 1,8V < 0.1μA
- programový software AVR Studio zdarma

9.1 AVR Dragon a programování v ISP

Kit AVR Dragon podporuje všechny programovací módy mikrokontrolérů AVR. Je v něm zabudována kompletní podpora emulace programu pro zařízení s 32kB, nebo méně flash paměti.

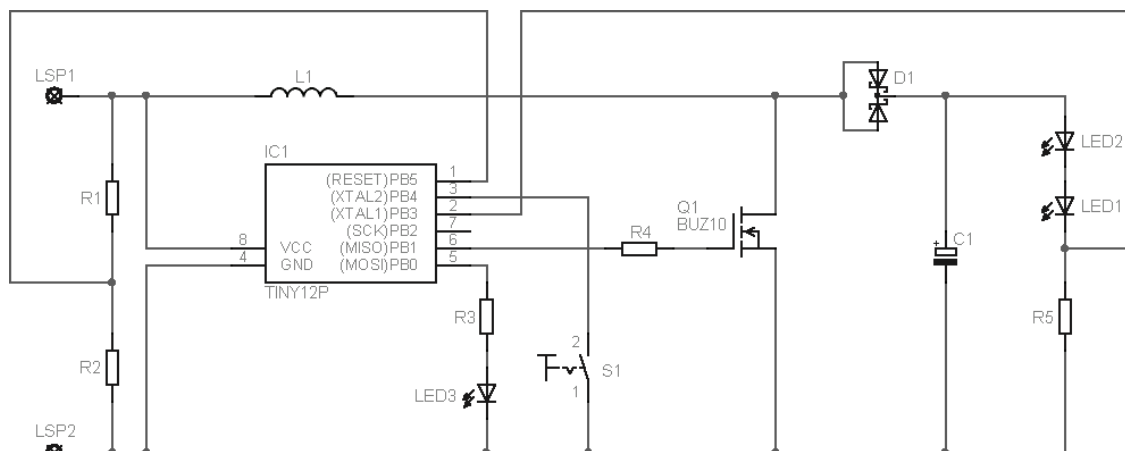
Základní vlastnosti AVR Dragon

- Podporované programovací a ladící rozhraní.
- Programování v aplikaci ISP, signálové rozhraní bez napájecího napětí.
- Programování v aplikaci JTAG, signálové rozhraní IEEE® 1149.1.
- Sériové programování vyšším napětím.
- Paralelní programování.
- JTAG ladění programu pro paměť flash do 32kB.
- DebugWIRE – jednovodičové AVR ladící rozhraní.
- Komunikace s PC a napájení prostřednictvím rozhraní USB.
- Možnost externího napájení.



Obrázek 267: Popis vývojového kitu AVR Dragon

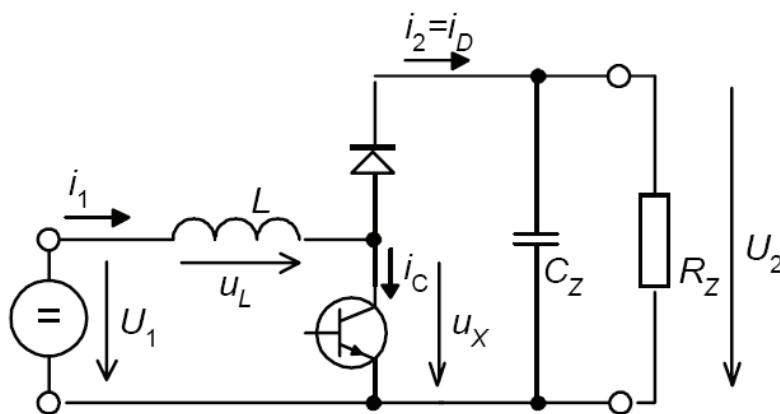
10 NÁVRH OBVODU



Obrázek 27: Návrh obvodu proudového regulátoru

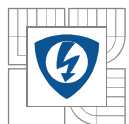
Obvod je řešen jako zvyšující neinvertující měnič, je napájen z 3.6V baterie a jeho pracovní kmitočet je 200kHz.

Úkolem měničů DC/DC je převedení jednoho stejnosměrného napětí na jiné stejnosměrné napětí. Nové napětí přitom může být vyšší, nižší, invertované nebo izolované od vstupního stejnosměrného napětí. Pro naše účely bude potřeba zvyšující měnič.



Obrázek 28: Schéma zapojení zvyšujícího měniče

Nejprve se kondenzátor při rozepnutém tranzistoru nabije na napětí U_1 . Při sepnutí tranzistoru roste proud tekoucí cívku. Po určité době, aby se cívka nepřesýtila, se tranzistor rozeptne. Na cívce se indukuje napětí, které se přičítá ke vstupnímu napětí U_1 . Proud tekoucí cívku potom musí téct přes diodu, nabíjí kondenzátor a teče do zátěže. Proud cívku postupně klesá, kondenzátor se vybíjí do zátěže. Až napětí klesne pod předem nastavenou hodnotu, řídicí logika opět sepne tranzistor a celý cyklus se opakuje.



Střída znamená poměr časů, ve kterých je tranzistor sepnut a rozepnut. Z napětí U_2 si vypočteme střidu pro náš navrhovaný regulátor:

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{T}{t_2} = U_1 \cdot \frac{1}{1-s} \Rightarrow s = 1 - \frac{U_1}{U_2} \quad (10.1)$$

V době t_1 (kdy je sepnut tranzistor T) se proud $i_1(t)$ zvýší o ΔI . V době t_2 se o stejnou hodnotu sníží. Velikost zvlnění proudu ΔI určíme pomocí doby t_1 kdy je na tlumivce L napětí U_1 .

$$U_1 = L \cdot \frac{\Delta I}{t_1} \Rightarrow \Delta I = \frac{\Delta U_1 \cdot s \cdot T}{L} \quad (10.2)$$

Navrhovaný obvod je napájen z 3.6V baterie. Na výstupu je třeba napájet 2 moduly LED o napětí 7V a proudové zatížení modulů LED bude max. 40mA. Ze vztahu (10.1) vypočteme střidu navrhovaného regulátoru.

$$s = 1 - \frac{U_1}{U_2} = 1 - \frac{3,6}{7} = 0,486 [-] \quad (10.3)$$

Hodnotu zvlnění si zvolíme $\Delta I = 0,3A$ a vypočteme si hodnotu cívky, na která se indukuje napětí, které se přičítá ke vstupnímu napětí U_1 . Hodnotu indukčnosti vypočteme z upraveného vztahu (10.2).

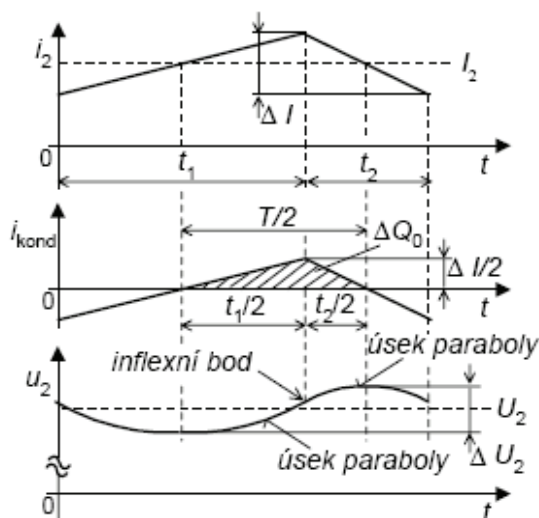
$$\Delta I = \frac{U_1 \cdot s \cdot T}{L} \Rightarrow L = \frac{U_1 \cdot s}{\Delta I \cdot f} \quad (10.4)$$

Dosaďme do vztahu (10.4) zadané hodnoty a vypočtenou střidu z rovnice (10.3) a vypočteme hodnotu indukčnosti.

$$L = \frac{U_1 \cdot s}{\Delta I \cdot f} = \frac{3,6 \cdot 0,486}{0,3 \cdot 200k} = 29,6 \cdot 10^{-6} = 29,16 [\mu H] \quad (10.5)$$

Z normované řady si vybereme tlumivku FED 25,0 μ H.

Filtrační kondenzátor stabilizuje výstupní napětí měniče.



Obrázek 29: Funkce filtračního kondenzátoru

Pro výpočet potřebného elektrického náboje platí vztah:

$$\Delta Q = \frac{\Delta I}{2} \cdot \frac{t_1 + t_2}{4} = \frac{\Delta I}{8} \cdot T \quad (10.6)$$

Velikost zvlněného napětí je odvozena z (obr. 29) platí tedy vztah:

$$\Delta U_2 = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{\Delta I}{8 \cdot C} \cdot T \quad (10.7)$$

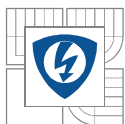
Výpočet potřebné kapacity pro rovnoměrnější průběh elektrického proudu při zvolení zvlnění napětí a proudu je odvozen ze vztahu (10.7).

$$C = \frac{\Delta I \cdot T}{\Delta U_2 \cdot 8} = \frac{\Delta I}{\Delta U_2 \cdot 8 \cdot f} \quad (10.8)$$

Pro navržení filtračního kondenzátoru regulátoru dosadíme zvlněné napětí $\Delta U = 4,5 \text{ mV}$.

$$C = \frac{\Delta I}{\Delta U_2 \cdot 8 \cdot f} = \frac{0,3}{4,5 \text{ m} \cdot 8 \cdot 200 \text{ k}} = 41,6 \cdot 10^{-6} = 41,6 \text{ } [\mu\text{F}] \quad (10.9)$$

Z normované řady si vybereme elektrolytický kondenzátor RAD 47/35 RM2,5.



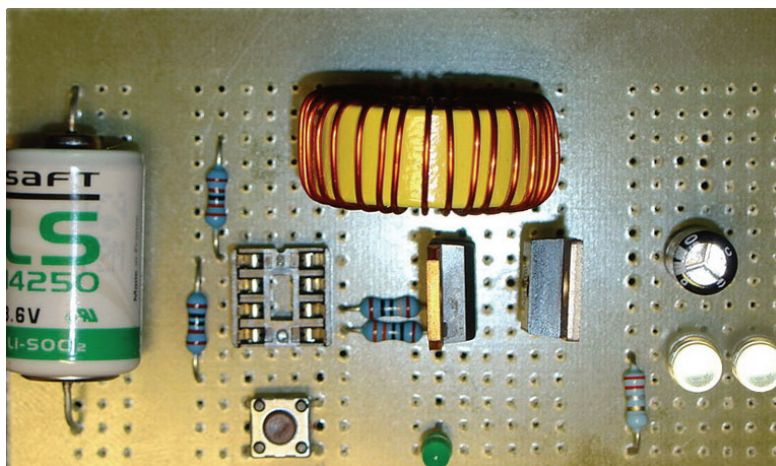
10.1 Použité součástky

Součástka	Hodnota	Poznámka
R1	3,3K	RM0207
R2	1K	RM0207
R3	330R	RM0207
R4	180R	RM0207
R5	0,22R	RM0207
C1	47u	RAD 47/35 RM2,5
D1	1N5818	30V/1,0A
LED1	5mm	superjasná bílá
LED2	5mm	superjasná bílá
LED3	3mm	zelená
IC1	AT TINY 13	mikrokontrolér
T1	BC639	NPN 80V/ 1A
S1	B 6811	12V/0,05A
L1	25u	FED 25,0μH
LSP	3,6V	lithium

Tabulka 7: Soupis součástek

11 REALIZACE PROUDOVÉHO REGULÁTORU

Dle návržení je zkonstruován proudový regulátor na plošný spoj.



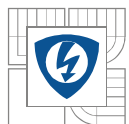
Obrázek 300: Proudový regulátor dvou modulů LED

11.1 Programové vybavení mikrokontroléru

Naprogramování mikrokontroléru je realizováno v programovacím jazyku C ve vývojovém prostředí AVR Studio 4, kde byl program i odsimulován.

Po spuštění inicializace je nastaven čítač/časovač a vybrán mód PWM podle vstupních hodnot měniče. Současně se nastaví vstupní a výstupní piny a nakonfiguruje AD převodník. V čekací smyčce se počká na ukončení převodu výstupní hodnoty pro porovnání a následné přenastavení módu PWM. Po ukončení čekací smyčky je zkontrolováno tlačítko pro změnu jasu. Je-li tlačítko stisknuto, zvýší se střída a změní se mód PWM. Zároveň je hlídán dvojstisk, který přepne obvod do stavu blikání modulu LED. Při dlouhém stisku ($t > 2s$) je mikrokontrolér přepnut do stavu „sleep mode“ moduly LED nesvití a mikrokontrolér vyčkává na další stisknutí tlačítka pro znovu spuštění. Tlačítko je kontrolováno s periodou 100ms. Při řízení jasu na modulech LED svítí kontrolní dioda LED3, při vyhodnocení slabé baterie ($U_1 < 2V$) je řízení jasu zastaveno a kontrolní dioda je rozblikána.

Program byl odsimulován jak v AVR studiu 4, tak i na nepájivém poli. Bohužel při posledních operacích přestal programátor komunikovat a již se nám ho nepovedlo oživit. Adekvátní náhrada nebyla nalezena, neboť druhý programátor AVR Dragon přestal komunikovat již dříve.



12 ZÁVĚR

V České republice se spotřeba elektrické energie na osvětlení pohybuje kolem 11% a v době energetické špičky to může být až 20%. Racionalizace v této oblasti může přinést značné úspory při zachování normovaných požadavků na hladiny osvětlení a dodržení hygienických předpisů.

Práce porovnává vlastnosti světelných zdrojů a realizuje možnost řízení jasu luminiscenční diody (LED) proudovým regulátorem. Pro přehlednější porovnání jsou tyto poznatky shrnuty do porovnávací tabulky.

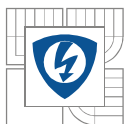
Dnešní tendencí je úspora nákladů, což se vhodným řízením světla projeví velice pozitivně. Klasické žárovky se svojí malou účinností (4%), měrným výkonem 6 – 16 lm/W a střední dobou životnosti 1000 hodin jsou stále nejrozšířenějším světelným zdrojem díky malé pořizovací ceně a jednoduché výrobě. Pozvolný pokles v použití běžných žárovek je způsoben ukončením jejich výroby v zemích, které tyto žárovky vyrábějí.

Jejich současnými nástupci jsou výbojové zdroje světla, založené na principu elektrického výboje v plynech nebo parách pevných látek. Tyto světelné zdroje mají charakteristický proces startu a k jejich plnému výkonu je zapotřebí i několik minut při zvýšeném napětí, které je generováno speciálními startovacími obvody. Výbojové zdroje světla se dělí do několika skupin, kdy je zohledněn jak tlak v baňkách tak i použitý plyn nebo páry.

Dá se předpokládat, že v blízkých letech bude sveden boj o následující směr, kterým se světelná technika bude zabírat. Horkými kandidáty jsou luminiscenční světla v zastoupení luminiscenčními diodami (LED) a bezelektrodoými zdroji pracujícími na principu vysokofrekvenčně buzeného výboje s transformací UV záření v podání indukční a sítě výbojky. Jistou výhodou zde má luminiscenční dioda, u které se již podařilo snížit výrobní náklady na jednotky až o desítky korun, dané počtem prodaných kusů a plně automatizovanou výrobou. V tomto ohledu ztrácí bezkontaktní výbojky, u kterých je výrobní proces velice nákladný a technicky náročný, čímž zaostávají za svým konkurentem. I když jejich cena dosahuje i několik tisíc korun, své uplatnění nacházejí v těžce přístupných místech, kde je výměna poškozeného kusu značně ztížena či nebezpečná.

Na vlastní podobu svítidel bude mít výrazný vliv vývoj v oblasti materiálů. V současné době je stále více dílů svítidel a v řadě případů i celá svítidla vyráběna z hliníku nebo plastických hmot. Jedním z hlavních důvodů je relativně snadná výroba i poměrně složitých tvarů.

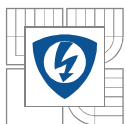
V oblasti předřadných přístrojů se předpokládá široké nasazení elektronických předřadníků. Zatímco u vnitřních svítidel se používání elektronických předřadníků u zářivkových svítidel, a postupně i u výbojových svítidel, stává standardem, u venkovních svítidel je použití elektronických předřadníků zatím jen ojedinělé. Přesto se již začínají objevovat i první stmívatelné elektronické předřadníky pro sodíkové výbojky o výkonech 70 a 150 W. Dalším trendem v oblasti předřadníků je používání tzv. adaptabilních předřadníků. Ty umožňují jednak připojení zátěže v určitém výkonovém rozsahu (15 – 80 W), a připojení k napájecí síti s určitých napěťovým a frekvenčním (50 – 60 Hz) rozsahem. Novinkou je elektronický stmívatelný předřadník, který umožňuje připojení jak digitálního, tak analogového řídicího signálu. Další inovací pro oblast výbojových zdrojů budou elektronické předřadníky umožňující připojení různých typů světelných zdrojů (sodíkové výbojky, halogenidové výbojky). Pokud jde o vliv vývoje v oblasti předřadných přístrojů na vlastní svítidla, pak bude hlavně ve snížení hmotnosti svítidel a ve zmenšení rozměrů.



U venkovního, respektive veřejného osvětlení může systém napájení a ovládání velmi výrazně ovlivnit podobu venkovních svítidel i celé osvětlovací soustavy. První systémy venkovního osvětlení ve městech měly zdroje energie (olej) umístěny ve svítidlech, které bylo třeba pravidelně doplňovat. Svítidla bylo třeba také individuálně rozsvěcet a zhasínat. Se zavedením plynového a následně elektrického osvětlení bylo napájení a ovládání jednotlivých svítidel zajištěno centrálně. Nevýhodou centrálního napájení je závislost jednotlivých prvků systému na centrálním zdroji. Centrální ovládání je naopak výhodné. Optimálním řešením u budoucích osvětlovacích soustav veřejného osvětlení by bylo oddělení systému napájení a systému ovládání. Individuální napájení jednotlivých svítidel by odstranilo závislost na centrálním napájení. Toto individuální napájení by mohly zajišťovat fotovoltaické články ve spojení s akumulátorovými články. V současné době se již také objevují svítidla s větrnými turbínami, které pracují ve spojení s akumulátorovými články. Na druhé straně centrální dálkové ovládání by umožnilo začlenit do celého systému ovládání řadu snímacích prvků a čidel (hustota dopravy, hladina osvětlenosti a jasu, pohyb osob). Získané informace, by pak umožňovaly analyzovat aktuální podmínky a nastavit světelně technické parametry soustavy, dle okamžité potřeby.

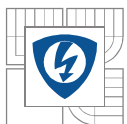
Způsobů, jak řídit jas luminiscenční diody (LED) je vícero. První možností je regulace napětí. Při paralelním zapojení více luminiscenčních diod je však vysoká pravděpodobnost, že i když jsou všechny diody stejného typu, každá má jiné dovolené propustné napětí. Při jeho překročení dojde ke zničení této diody. Další alternativou je proudová regulace, u které tyto problémy nenastávají.

V praktické části jsem se zabýval návrhem proudového regulátoru luminiscenční diody (LED). Regulátor obsluhuje dva moduly LED spojené do série, ale je napájen jen z 3.6V baterie, proto bylo potřeba do obvodu přidat zvyšující měnič s PWM modulací. Hlavní část regulátoru tvoří mikrokontrolér ATtiny 13, který pomocí PWM řídí jas luminiscenční diody (LED).



LITERATURA

- [1] *Encyklopedie Wikipedia* [online]. [2007] [cit. 2007-12-11]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org>>.
- [2] *Encyklopedie Navajo* [online]. [2006] [cit. 2007-10-12]. Dostupný z WWW: <www.navajo.cz>.
- [3] *Odborne časopisy : Světlo* [online]. [2004] [cit. 2007-11-13]. Dostupný z WWW: <www.odbornecasopisy.cz>.
- [4] *ABB-epj : výrobce stmívačů* [online]. [2006] [cit. 2007-11-13]. Dostupný z WWW: <www.abb-epj.cz>.
- [5] *Electrosun : materiál veřejného osvětlení* [online]. [2005] [cit. 2007-11-12]. Dostupný z WWW: <www.electrosun.cz>.
- [6] *Elektronikacz : odborná schémata zapojení* [online]. [2006] [cit. 2007-12-10]. Dostupný z WWW: <www.elektronikacz.borec.cz>.
- [7] *Elektrika : odborný portál o elektro tématech* [online]. [1998] [cit. 2007-10-15]. Dostupný z WWW: <www.elektrika.cz>.
- [8] *Energetik : problematika energetiky* [online]. [2003] [cit. 2007-11-25]. Dostupný z WWW: <www.energetik.cz>.
- [9] *A-LIGHT s.r.o. : prodejce svítidel* [online]. [2003] [cit. 2007-11-30]. Dostupný z WWW: <www.svetlo-svitidla-osvetleni.cz>.
- [10] *Seoulsemicon : výrobce LED* [online]. [2005] [cit. 2007-12-01]. Dostupný z WWW: <www.seoulsemicon.com>.
- [11] *Philips : Katalog - světelné zdroje* [online]. 2004. Koninklijke Philips Electronics N.V. : Philips, 2004-2008 , 5.6.2008 [cit. 2008-05-28]. Dostupný z WWW: <www.prismaecat.lighting.philips.com>.
- [12] ING. BAXANT, Petr, Ph.D. *Světelná technika* [s.l.], [209-?]. 82 s. VUT.
- [13] HABEL, J. A KOL. *Světelná technika a osvětlování*. FCC Public, Praha 1995, 448 stran, ISBN 80-901985-0-3
- [14] HORŇÁK, P. *Umelé osvetlovanie*. ALFA, Bratislava 1976, 184 stran
- [15] PLCH, J. *Světelná technika v praxi*. IN-EL, Praha 1999, 210 stran, ISBN 80-86230-09-0
- [16] Miškařík, St.: *Moderní světelné zdroje*, SNTL Praha
- [17] Baxant, P., Sokanský, K.: *Realizace expertního systému pro osvětlování prostorů s vyšší zrakovou náročností, projekt GAČR 102/03/1162*, Brno, Ostrava 2003-2005, Průvodní dokumentace projektu



PŘÍLOHY

1. CD