

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY
A TELEKOMUNIKACÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Návrh a konstrukce dálkového ovládání osvětlení
v domácnosti**

**vedoucí práce: Ing. Matouš Bartl
autor: David Meisel**

2011

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David MEISEL**
Osobní číslo: **E10B0604P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**
Název tématu: **Návrh a konstrukce dálkového ovládání osvětlení v domácnosti**
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište možnosti řízení výkonu světelných spotřebičů v domácnosti.
2. Popište vhodné možnosti dálkového přenosu dat vhodné pro cílovou aplikaci.
3. Navrhněte a zkonstruujte jednotku dálkového ovladače a regulátoru výkonu osvětlení.
4. Výrobek otestujte v praxi a zjistěte jeho základní vlastnosti, zejména dosah a spolehlivost.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Matouš Bartl

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Konzultant bakalářské práce:

Ing. Matouš Bartl

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: 18. října 2010

Termín odevzdání bakalářské práce: 3. června 2011

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan



Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev

vedoucí katedry

V Plzni dne 18. října 2010

Anotace

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na problematiku světelných zdrojů používaných v domácnostech. V první části práce jsou rozebrány jednotlivé typy světelných zdrojů, jejich parametry a možnosti regulace intenzity osvětlení. Druhá část práce je věnována problematice dálkového přenosu dat. Další část práce pojednává o konkrétním návrhu řešení a realizaci regulátoru intenzity osvětlení, který je řízený pomocí mikrokontroléru a umožňuje ovládání intenzity světla pomocí dálkového ovládání, jež je součástí tohoto návrhu. Na závěr práce jsou uvedeny výsledky provedeného měření spolehlivosti a dosahu navrhnutého řešení regulátoru.

Klíčová slova

Světelný zdroj, předřadník, fázová regulace, stmívač, dálkové ovládání, mikroprocesor, triak

Abstract

The present thesis is focused on light sources used in households. In the first part of the thesis are discussed the different types of light sources, their characteristics and possibilities of regulating the intensity of illumination. The second part is devoted to the issue of remote data transmission. Another part of the work deals with a specific solution design and implementation of the controller of light intensity, which is controlled by a microcontroller and allows control of light intensity using the remote control, which is part of this proposal. At the conclusion of the work are presented the results of the measurements of reliability and range of proposed solutions to the controller.

Key words

Light source, control gear, phase control, dimmer, remote control, microprocessor, triac,

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 23.8.2011

.....

David Meisel

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Matouši Bartlovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Děkuji také Ing. Jiřímu Čengerymu, Ph.D a jeho spolupracovníkům za realizaci mnou navržených desek plošných spojů.

Na závěr bych rád poděkoval své rodině za bezmeznou podporu po celou dobu studia.

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	11
1 ÚVOD.....	12
2 SVĚTELNÉ ZDROJE A JEJICH PARAMETRY	14
2.1 ŽÁROVKY.....	15
2.1.1 Klasické žárovky	15
2.1.2 Halogenové žárovky.....	16
2.2 VÝBOJOVÉ SVĚTELNÉ ZDROJE	18
2.2.1 Lineární zářivky	18
2.2.2 Kompaktní zářivky.....	21
2.3 LED DIODY	21
2.4 PŘEDŘADNÉ ODVODY SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	23
3 REGULACE OSVĚTLENÍ.....	25
3.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY REGULACE.....	25
3.2 MOŽNOSTI REGULACE SVĚTELNÝCH ZDROJŮ.....	27
3.2.1 Žárovky a halogenové žárovky na síťové napětí	29
3.2.2 Halogenové žárovky na nízké napětí 12V a 24V	29
3.2.3 Lineární a kompaktní zářivky	30
3.2.4 LED diody.....	33
4 MOŽNOSTI BEZDRÁTOVÉHO PŘENOSU DAT	33
4.1 INFRAČERVENÉ DÁLKOVÉ OVLÁDÁNÍ.....	34
4.1.1 Popis komunikačních protokolů	35
4.2 RADIOFREKVENČNÍ PŘENOS DAT.....	38
4.3 PŘEHLED STANDARDŮ BEZDRÁTOVÉHO PŘENOSU.....	39
5 REALIZACE STMÍVAČE	48
5.1 NÁVRH HARDWARE	49
5.1.1 Jednotka regulace	49
5.1.1.1 Napájení	50
5.1.1.2 Detekce průchodu nulou.....	50
5.1.1.3 IR přijímač	51
5.1.1.4 Výkonová část	52
5.1.1.5 Řídící část	53
5.1.1.6 Procesor ATMEL AT89S8253	54
5.1.1.7 Triak	57
5.1.2 Dálkový ovladač	60
5.1.2.1 Napájení	60
5.1.2.2 IR vysílač.....	62
5.1.2.3 Uživatelské rozhraní.....	63
5.2 NÁVRH SOFTWARE	64
5.2.1 Programátorský model AT89S8253.....	64
5.2.2 Jednotka regulace	68
5.2.3 Dálkový ovladač	70
5.2.4 Popis ovládání	72
5.3 TECHNICKÉ PARAMETRY.....	72
6 MĚŘENÍ VLASTNOSTÍ	73
6.1 MĚŘENÍ DOSAHU	73
6.2 MĚŘENÍ SPOLEHLIVOSTI.....	74
7 ZÁVĚR	75
POUŽITÁ LITERATURA	1
PŘÍLOHY	5

Seznam použitých zkratk

<i>lm</i>	Lumen – jednotka světelného toku
<i>W</i>	Watt – jednotka výkonu
<i>lm/W</i>	Lumen na watt - jednotka měrného výkonu
hod	Hodina – jednotka času
°C	Stupeň Celsia – jednotka teploty
m	Metr – jednotka délky
<i>A</i>	Ampér – jednotka elektrického proudu
<i>V</i>	Volt – jednotka elektrického napětí
<i>DSI</i>	Digitální sériové rozhraní
<i>DALI</i>	Digitální adresovatelné světelné rozhraní
<i>DPS</i>	Deska plošného spoje
<i>IR</i>	Infračervené
<i>RF</i>	Radiofrekvenční
<i>log 0</i>	Označení nízké logické úrovně
<i>log 1</i>	Označení vysoké logické úrovně
<i>IEEE</i>	Institute of Electrical and Electronics Engineers

1 Úvod

Světelné zdroje jsou taková zařízení, která přeměňují dodanou energii na světelné záření v oblasti viditelného spektra. Předmět, který vyzařuje viditelné záření a vysílá ho do okolí, se nazývá prvotní zdroj světla. Jako druhotný světelný zdroj se označuje předmět, který světelné paprsky na něj dopadající propouští nebo odráží. Světelné zdroje lze rozdělit na přírodní (Slunce, blesk...) a umělé (svíčka, žárovka, výbojka...). Pro účely osvětlování mají největší význam zdroje napájené elektrickou energií, tedy elektrické světelné zdroje.

Z historie osvětlování je zřejmé, že již dávno existovala snaha o regulaci množství světla, odpovídající různým lidským činnostem. Na počátku rozvoje technologií výroby polovodičových součástek byla regulace intenzity osvětlení nejenom nákladnou, ale i výjimečně používanou technikou. Regulace byla používána pro žárovkové světelné zdroje a byla prováděna plynulou změnou napájecího napětí, kterou obstarávaly regulační autotransformátory nebo v sérii zapojené proměnné odporů (reostaty). Tato technika byla finančně a prostorově náročná, nehledě na ztráty v odporech. Z těchto důvodů se tato technologie využívala pro účely osvětlování jen výjimečně. V 60. letech 20. století se staly běžnými tyristory a o něco málo později triaky. Tyto rozměrově malé polovodičové spínací prvky se stále se snižujícími ztrátami umožnily využití jednoduchého principu fázového řízení k regulaci osvětlení. Tento způsob stmívání je energeticky i cenově dostupný a lze ho použít prakticky v každé elektroinstalaci, včetně instalací bytových a domovních.

V dnešní době je realizace jednoduchých stmívačů již běžnou záležitostí. Snahou výrobců je vylepšovat a zdokonalovat uživatelskou část ovládání stmívače. Setkáváme se tak s různými druhy a způsoby ovládání, například pomocí mikropínačů, dotykových spínačů, infraovladačů a dalších. Toto ovládání je nejběžněji řízeno pomocí jednoduchých mikropočítačů.

Předmětem této bakalářské práce je realizovat stmívač osvětlení řízený mikrokontrolérem. Z hlediska uživatelských funkcí by měl být ovládaný pomocí dálkového ovladače, který je součástí návrhu.

Tuto práci lze rozdělit do několika částí, první pojednává o světelných zdrojích, jejich fyzikální podstatě, vlastnostech a především způsobech řízení intenzity vyzařovaného světla. Následující část práce je věnována popisu ovládání osvětlení pomocí dálkových ovladačů, které využívají pro bezdrátový přenos dat jak infračervené záření, tak i radiové vlny. V další části práce je proveden kompletní návrh celkového zapojení stmívače a dálkového ovládání s podrobným popisem jednotlivých částí. Poslední část práce pojednává o provedených

měřeních, která jsou zaměřena zejména na měření dosahu a spolehlivosti bezdrátového přenosu dat mezi dálkovým ovladačem a vlastním stmívačem.

Práce je zpracovaná jak v tištěné, tak i elektronické podobě. Obě tyto formy jsou obsahově identické, přičemž k elektronické podobě je přiložen kompletní výpis programu, soubory nutné pro výrobu desek plošných spojů a několik datových listů nejdůležitějších použitých součástí.

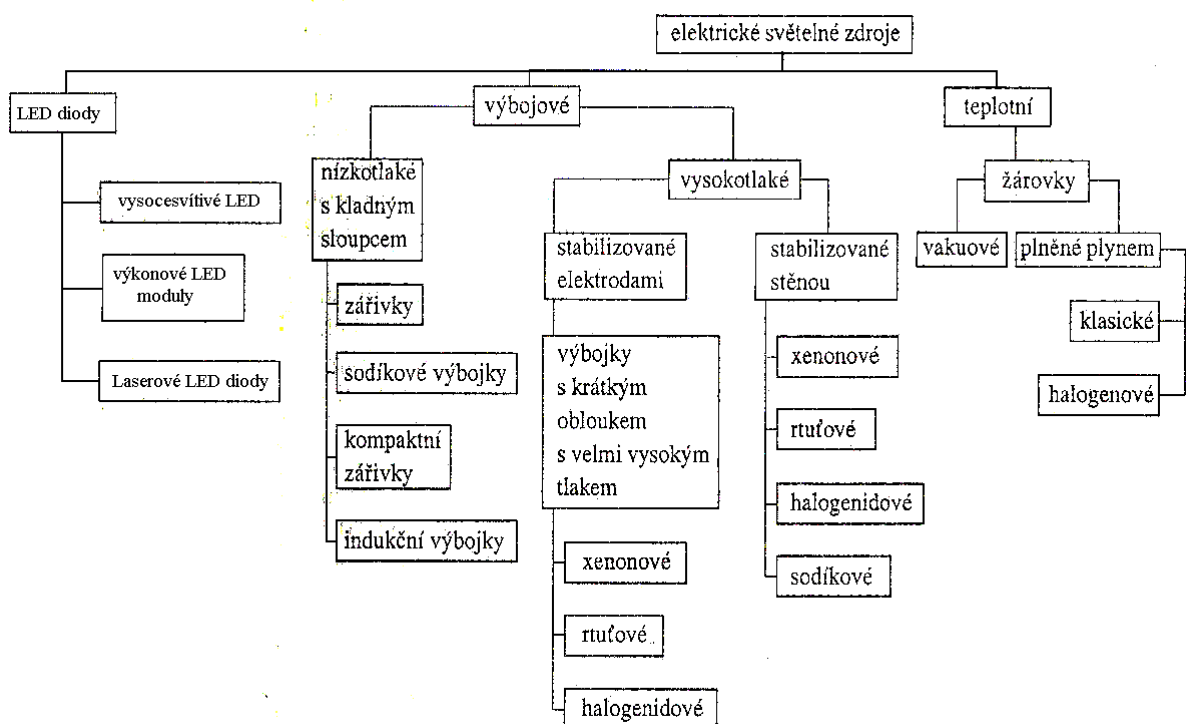
2 Světelné zdroje a jejich parametry

Zařízení, která vysílají optické, zpravidla viditelné záření, se nazývají světelné zdroje. Tyto zdroje mohou být buď přírodní (slunce, blesk..) nebo umělé (svíčka, žárovka..). Umělý světelný zdroj je zařízení určené k přeměně některého druhu energie na světlo. Pro účely osvětlování se používají zdroje napájené elektrickou energií, tedy elektrické světelné zdroje [1].

Podle vzniku světla se elektrické světelné zdroje dělí na:

- 1) teplotní zdroje (např. žárovky)
- 2) výbojové zdroje a) nízkotlaké (např. zářivky, nízkotlaké sodíkové výbojky)
b) vysokotlaké (např. vysokotlaké rtuťové výbojky)
- 3) LED diody

Schematické rozdělení světelných zdrojů ilustruje obrázek 2.1.



Obrázek 2.1 Základní členění elektrických světelných zdrojů[3]

Pro vznik světla je nutné vybuzení nebo ioniozace elementárních částic. U teplotních zdrojů se k vybuzení částic využívá vodivé pevné látky (kovu), která se zahřeje průchodem elektrického proudu na teplotu, která je nutná pro vytvoření energie potřebné pro vznik

tepelného pohybu. Částice, které přijmou tuto energii, se vybudí a stávají se tak elementárními zdroji světla. Látka tak vysílá optické záření, jehož spektrum je spojitě.

U výbojových světelných zdrojů se k vybuzení elementárních částic využívá elektrických výbojů v plynech a parách různých kovů, při nichž dochází k přeměně elektrické energie na kinetickou energii elektronů pohybujících se mezi elektrodami. Při srážkách elektronů s atomy plynů a kovových par se jejich energie mění na optické záření. Spektrum záření výbojových světelných zdrojů je čárové, přičemž rozložení spektrálních čar závisí na druhu výboje a na složení plynné náplně. U řady výbojových zdrojů se využívá luminiscence pevných látek, a proto bývají tyto zdroje označovány jako luminiscenční zdroje.

Luminiscence pevných látek je jev, při němž se z atomů, molekul či krystalů látky vyzařuje energie ve formě fotonů. Tato vyzařovaná energie se uvolňuje při samovolném přechodu elektronů z vybuzeného stavu do základní polohy. Je-li zmíněné vybuzení vyvoláno elektrickým polem, hovoří se o elektroluminiscenci. Pokud je vybuzení způsobeno dopadajícím zářením jedná se o fotoluminiscenci. Vzhledem k tomu, že se elektrony mohou pohybovat jen v určitých drahách, z nichž každé přísluší daná energetická hladina, může mít vyzařený foton také jen určité hodnoty energie. Luminiscenční záření proto obsahuje jen záření některých vlnových délek, tedy spektrum luminiscenčního záření je čárové [1].

2.1 Žárovky

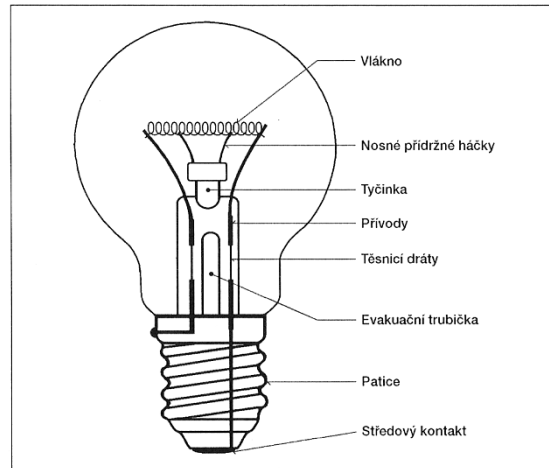
Žárovky jsou nejznámější, nejstarší a nejrozšířenější umělý zdroj světla. Představují klasický teplotní zdroj světla, který pracuje na principu inkandescence tj. vyzařování světla vyvolané tepelným buzením.

2.1.1 Klasické žárovky

Princip technologie spočívá v tom, že do vnitřku skleněné baňky je uloženo vlákno, které je protékáno elektrickým proudem, jenž způsobuje ohřev vlákna a tím i optické záření.

Konstrukční provedení je naznačeno na obrázku 2.2. Baňka a ostatní skleněné části jsou vyráběny z měkkého, převážně olovnatého skla. Baňky jsou buď vyčerpány na vysoké vakuum, nebo plněné inertním plynem z důvodu ochrany vlákna před kontaktem s kyslíkem a jeho hořením. Vyčerpání vzduchu i plnění plynem se provádí pomocí čerpací trubičky. Vlákno se vyrábí nejčastěji z wolframu, který je tvrdý a těžko tavitelný. Dnešní žárovky mají vlákno stočené ve tvaru šroubovice, což způsobuje vyšší účinnost a redukuje tepelné ztráty. Wolframové vlákno je zavěšeno na držácích, jež jsou vyrobeny z molybdenového drátku a plní funkci pojistky. Těsnící drátky zajišťují vakuově těsný a elektricky vodivý průchod

sklem. Po vyčerpání baňky a zatavení čerpací trubičky se přitmelí patice, která je normalizovaná, vyráběná z hliníku či mosazi. Konec jednoho přívodního drátku se připájí do místa na plechovém plášti a druhý konec se připájí ke spodku patice, jenž je izolován vitriem[2].



Obrázek 2.2 Schematické znázornění konstrukce žárovky[3]

Klasické žárovky patří do skupiny světelných zdrojů s nejnižší hodnotou měrného výkonu – pouhých 8 až 18 lm/W. Na světlo se tak přemění jen 3 – 5% spotřebované energie, zbytek je většinou ztrátové teplo. Spínací proud je více než 10x větší než proud provozní. Střední doba života je jen 800 – 1000 hod. Výhody žárovek jsou především nízká pořizovací cena, velká škála vyráběných výkonů, rozměrů, tvarů a barev, okamžitý start bez blikání, jednoduchý provoz, snadná regulace intenzity, vynikající podání barev a řada dalších.

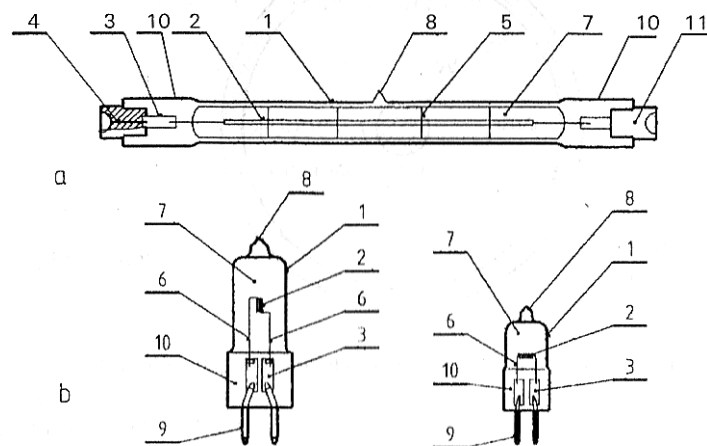
Navzdory jejich velké oblibě a rozšíření, jsou tyto světelné zdroje postupně nahrazovány modernějšími a z hlediska účinnosti přeměny energie dokonalejšími zdroji světla. Prodej a výroba žárovek vyšších výkonů, v současnosti vyšších než 75 W, jsou směrnicí Evropské Unie, zejména z ekonomických a ekologických aspektů, zakázány. Tato skutečnost vede k potupnému stahování klasických žárovek z prodeje.

2.1.2 Halogenové žárovky

Halogenové žárovky jsou další vývojový stupeň teplotních zdrojů. Ve standardní žárovce se wolfram z vlákna vypařuje a pokrývá povrch baňky, čímž se snižuje světelný tok ze žárovky. Vlákno se stává tenčím, až se přeruší. U halogenových žárovek je baňka plněna příměsí halogenů. Díky jejich přítomnosti a konstrukčnímu uspořádání probíhá v baňce vratná chemická reakce mezi odpařeným wolframem z vlákna a halogenem. Tato reakce se nazývá halogenový regenerační cyklus. Molekuly vypařeného wolframu se při povrchu baňky slučují na halogenid wolframu a vlivem tepelného pole difunduje zpět k vláknu. V blízkosti vlákna, v

místě dosažení disociační teploty se molekula halogenidu wolframu štěpí na halogen a wolfram. Tento jev se nazývá disociace a projevuje se tak, že halogen se vrací zpět ke stěně baňky a wolfram se usazuje na vlákno žárovky. Díky tomu se rychlost odpařování wolframu z vlákna snižuje a tím se prodlužuje doba života žárovek. Halogenový regenerační cyklus je zajištěn při teplotě baňky vyšší než 2500°C a při vodorovné poloze baňky. Při dodržení správné polohy žárovky je wolfram vázán a baňka takové žárovky nečerná, což má za následek stálou intenzitu světla.

Konstrukční uspořádání halogenové žárovky je na obrázku 2.3. Halogenové žárovky mohou být dvoupatkové obrázek 2.3 a) nebo jednopaticové obrázek 2.3 b). Dvoupatková žárovka má baňku (1) ve tvaru válce a uvnitř je umístěno vlákno (2) zachycené na několika místech podpěrkami (5). Na obou koncích jsou vyvedeny přívody (4) a baňka je zakončena keramickými patičkami (11). U jednopaticové žárovky jsou přívody jen na jednom konci, vyvedené jako kolíky (9) v místě stisku (3).



Obrázek 2.3 Konstrukce halogenové žárovky [1]

Jednopaticové žárovky mají kompaktnější vlákno a proto mohou být použity jako bodové zdroje. Rozšířeny jsou halogenové žárovky pro automobily, fotografické účely i pro osvětlování letištních přistávacích ploch, kde je zapotřebí velmi vysokých výkonů. Existuje mnoho typů halogenových žárovek pro všeobecné osvětlování, jež jsou vyráběny v širokém sortimentu výkonů jak pro síťové napětí, nejčastěji v lineární dvoupatkové podobě, tak i pro nízké napětí, jednopaticové s patičí E27.

U halogenových žárovek by se mělo zabránovat znečištění povrchu baňky, neboť při vysokých teplotách mohou mastné látky na povrchu porušit strukturu křemenné baňky. Pro zlepšení parametrů halogenových žárovek se napařuje na vnitřní povrch baňky tenká kovová vrstva, jenž má za úkol odrazet tepelné záření zpět k vláknu. Tím je potřeba méně energie

k nažhavení vlákna na provozní teplotu. Důsledkem je zvýšení měrného výkonu až o 40%. Tato metoda se nazývá IRC technologie.

Halogenové žárovky poskytují příjemné svěží, bílé světlo a běžně dosahují měrných výkonů 22 lm/W. Doba života je u těchto zdrojů světla 2000 hod.

2.2 Výbojové světelné zdroje

Výbojové světelné zdroje jsou založeny na procesech probíhajících v prostředí, jenž obsahuje vhodné plyny nebo páry, a kterým prochází elektrický proud. Výbojové světelné zdroje lze klasifikovat podle různých hledisek, nejčastěji se používá dělení:

- Podle typu výboje
- Podle místa vzniku záření
- Podle tlaku pracovní náplně

Tlak pracovní náplně značně ovlivňuje konstrukci, technické a provozní parametry a tedy i oblast použití světelného zdroje. Proto klasifikace podle tlaku patří k nejpoužívanějším.

Hlavními představiteli výbojových světelných zdrojů jsou:

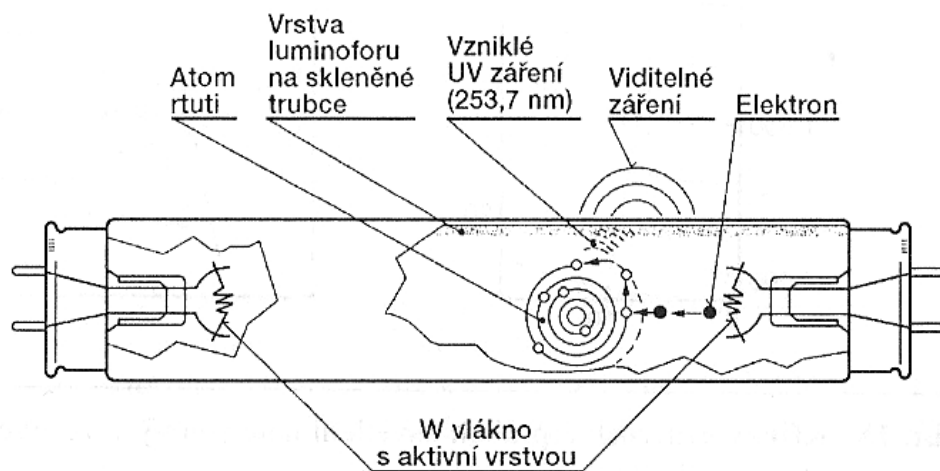
- a) Nízkotlaké výbojové zdroje
 - Zářivky – lineární, kompaktní
 - Indukční výbojky
 - Nízkotlaké sodíkové výbojky
- b) Vysokotlaké výbojové zdroje
 - Vysokotlaké rtuťové výbojky
 - Směsové výbojky
 - Halogenidové výbojky
 - Vysokotlaké sodíkové výbojky

Pro osvětlování bytových prostor se z této kategorie světelných zdrojů využívají především lineární a kompaktní zářivky. Proto se v dalším textu nezabývám problematikou ostatních zde uvedených výbojových zdrojů světla.

2.2.1 Lineární zářivky

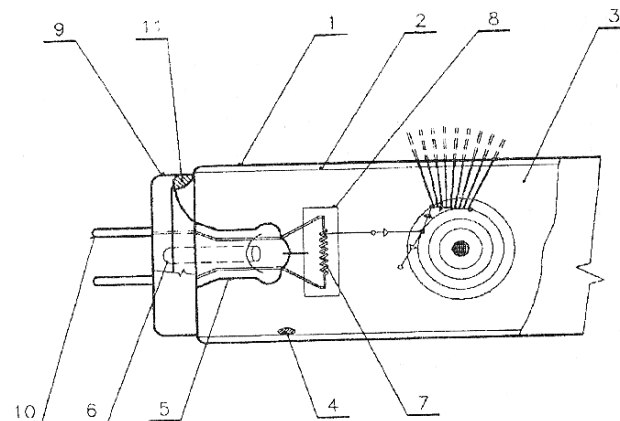
Zářivky jsou nízkotlaké rtuťové (Hg) výbojky se žhavenými elektrodami. Výboj probíhá v trubici naplněné parami rtuti a inertním plynem (obvykle argon), který snižuje zápalné napětí výboje. Při výboji se vyzařují jen asi 2% z přivedené energie v oblasti

viditelného záření a více než 60% v oblasti ultrafialového záření. Toto neviditelné záření se transformuje ve viditelné světlo pomocí luminoforu, viz obrázek 2.4, který je nanesen na vnitřní stěně skleněné trubice. Volbou luminoforu lze ovlivnit spektrální složení vyzařovaného světla a účinnost zářivky. Pokrok v oblasti luminoforů a elektroniky způsobil, že zářivky patří k velmi účinným a tedy i hospodárným zdrojům světla. Dosahují měrných výkonů převyšujících 100 lm/W při indexu podání barev převyšujícím hodnotu $R_a = 80$. Doba života je ovlivněna počtem zapnutí, proto zářivky není vhodné používat tam, kde dochází k častému vypínání a zapínání. Běžně se doba života pohybuje okolo 12 000 hodin.



Obrázek 2.4 Principiální schéma vzniku viditelného záření u zářivek [3]

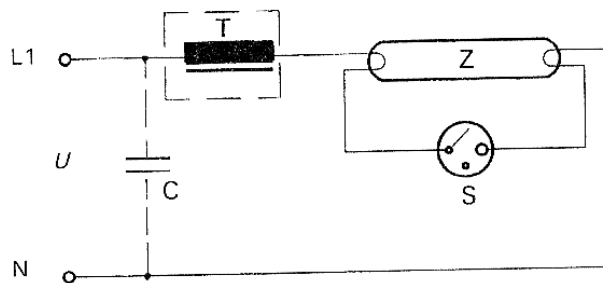
Konstrukční provedení lineární zářivky je znázorněno na obrázku 2.5. Trubice (1) a ostatní skleněné polotovary jsou vyrobeny z měkkého skla. Na vnitřní straně trubice je v jedné nebo více vrstvách nanesen luminofor (2), který, jak již bylo řečeno, transformuje ultrafialové záření na viditelné světlo. Zářivka je na obou koncích opatřena wolframovými elektrodami (7), nosným systémem (5) a normalizovanou kolíčkovou patičí (9) [1].



Obrázek 2.5 Konstrukce lineární zářivky [1]

Výboj u těchto světelných zdrojů je elektricky nestabilní, neboť počet nosičů náboje (protékající proud) narůstá exponenciálně. Proto je nutné omezit energii dodávanou výboji zdroje na požadovanou hodnotu. K tomuto účelu se používají sériově zapojené předřadné obvody nazývané předřadníky. Nejčastěji se pro tyto účely používá tlumivka, jednak pro její spolehlivost a nízkou cenu, ale i pro schopnost indukovat napětí potřebné pro zapálení výboje v trubici. Více o těchto obvodech pojednává kapitola 2.4.

Základní zapojení zářivky na síťovou frekvenci jsou znázorněny na obrázku 2.6. Jedná se o předřadník indukční, který obsahuje tlumivku (T), zapalovač (S) a kompenzační kondenzátor (C). V současné době se tento typ předřadníků nahrazují dokonalejšími elektronickými předřadníky, především z důvodu nižších energetických ztrát.



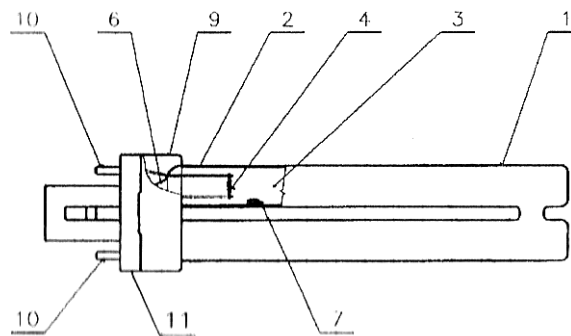
Obrázek 2.6 Klasické zapojení zářivky [2]

Napájecí napětí nepostačuje při studených elektrodách k zapálení výboje, proto je nutné elektrody nejprve nažhavit. Pro tyto účely se používá doutnavkový zapalovač (startér). Startér se skládá ze dvou elektrod umístěných blízko sebe, přičemž jedna je pevná a druhá je z bimetalu, uzavřených ve skleněné baňce naplněné inertním plynem. Po připojení napětí vznikne mezi elektrodami doutnavý výboj a tím dojde k zahřátí a tím i k prohnutí elektrody z bimetalu, což zapříčiní spojení obou elektrod. V tomto okamžiku prochází elektrodami zářivky maximální proud, který nažhává elektrody na teplotu (kolem 800°C) potřebnou k emisi záření. Plyn v okolí elektrod se ionizuje, ale zároveň se ochlazuje elektrody ve startéru a bimetal rozpojí obvod. Tím vznikne na tlumivce vlivem magnetické indukce napěťový impulz (cca 500V), který se sčítá s napětím napájecím. Výsledné součtové napětí se objeví na elektrodách zářivky a dojde tím k zapálení výboje ionizovaného plynu. Následně se ionizuje celý obsah trubice a začne probíhat výboj. Nyní se napětí rozdělí na úbytky na zářivce a tlumivce. Zapalovací napětí startéru je vyšší než provozní napětí zářivky, tudíž nedojde k opětovnému zapálení. Pouze v případě, že by nedošlo k zapálení výboje v zářivce, by se celý děj opakoval [4].

2.2.2 Kompaktní zářivky

Snahou ve vývoji výbojových světelných zdrojů bylo odstranit nevýhodu lineárních zářivek a vytvořit zdroj menších rozměrů, který by se svými parametry blížil žárovkám a zároveň by měl podstatně větší účinnost. Tyto kritéria splňují kompaktní zářivky, jejichž světelný tok se pohybuje v rozmezí 450 až 3200 lm při měrném výkonu 50 až 80 lm/W, přičemž doba života je až 10 krát delší než u klasické žárovky. Velkou výhodou lze také spatřit v jejich hospodárnosti spotřeby elektrické energie, která je až o 80% nižší oproti klasickým žárovkám.

Fyzikální princip činnosti je obdobný jako u zářivek lineárních. Konstrukční zvláštnosti ilustruje obrázek 2.7. Hlavní rozdíl oproti lineárním zářivkám je ve složení výbojové dráhy do soustavy několika paralelně umístěných a vzájemně propojených trubic (1). Kompaktní zářivky jsou opatřeny pouze jednou patičí (9), ve které je u některých typů zabudován elektronický předřadník.



Obrázek 2.7 Konstrukce kompaktní zářivky [2]

V poslední době výrobci vynakládali velké úsilí na hledání optimálního tvaru a rozložení výbojových trubic, tak aby byl minimalizován tzv. jev blízkosti. Jde o enormní jev, při kterém malá vzdálenost výbojových trubic vede ke zvýšení provozní teploty vrstev luminoforů a tím ke snižování účinnosti transformace záření tudíž i měrného výkonu [3].

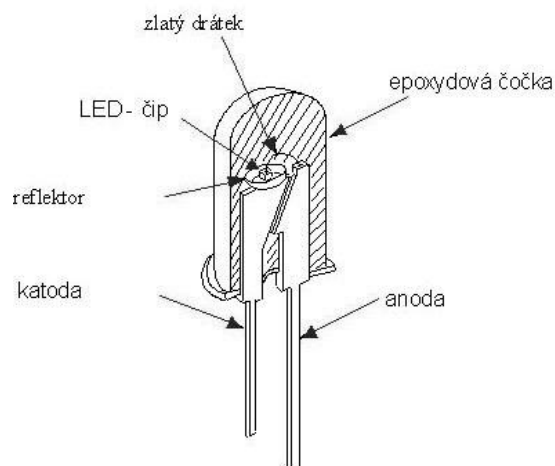
2.3 LED diody

V posledních letech se jako světelné zdroje stále více prosazují luminiscenční diody LED (Light Emitting Diode), které mají široké spektrum uplatnění. Jsou zároveň nejrychleji se vyvíjející světelné zdroje současnosti.

Konstrukční řešení LED diody je uvedeno na obrázku 2.8. Jedná se o polovodičovou součástku generující světelné záření v úzkém rozsahu vlnových délek (lze považovat za

monochromatické), která využívá jevu elektroluminiscence. Při průchodu proudu přechodem P-N, který je polarizovaný v propustném směru, elektrony rekombinují s dírami (spojení elektronu s iontem), přičemž uvolňují určité kvantum energie ve formě fotonu. Tato energie přibližně odpovídá šířce zakázaného pásu, vlnová délka vyzařovaného světla tedy závisí na jeho šířce.

Pro účely osvětlování jsou zapotřebí diody emitující světlo bílé barvy. Toho lze docílit dvěma způsoby. První možnost je kombinace světla ze tří základních složek: červené, zelené a modré (RGB systém podání barev). Pokud jsou tyto zdroje dostatečně blízko, složky se promíchají a výsledné světlo se jeví jako bílé. Druhý způsob, jak dosáhnou bílé barvy, je použití LED modré barvy v kombinaci s luminoforem, který převádí světlo modré barvy na záření jiných vlnových délek (zejména žluté). Tohoto způsobu využívá většina současných zdrojů světla bílé barvy [5].



Obrázek 2.8 Konstrukce LED diody [2]

Teoretické maximum měrného výkonu LED diod je 220 lm/W. Nejvýznamnější výrobci udávají dosahovanou hodnotu až 100 lm/W při indexu podání barev $R_a=90$ i více. Doba života se u barevné LED pohybuje okolo 100 000 hodin, u bílé LED se hodnota pohybuje okolo 50 000 hodin, přičemž v průběhu této doby intenzita světla klesá.

K hlavním přednostem světelných zdrojů s LED diodami patří minimální spotřeba elektrické energie, velmi malé rozměry, poměrně dobrá účinnost, malé napájecí napětí, malá závislost parametrů na teplotě okolí, možnost dosáhnout velké směrovosti použitím vhodné čočky a další.

2.4 Předřadné odvody světelných zdrojů

Výbojové světelné zdroje potřebují pro svoji činnost předřadné obvody. U klasických žárovek a LED diod plní předřadný obvod funkci regulátoru.

Halogenové žárovky na malé napětí

U Halogenových žárovek na malé napětí předřadné obvody převádějí jmenovité napětí sítě na 12V nebo 24V. Jedná se v podstatě o dva druhy předřadníků, a sice o elektronické předřadníky nebo indukční transformátory.

Indukční transformátory jsou zpravidla navinuty na toroidním jádru složeném z transformátorových plechů. Vyrábějí se ve výkonech od 50 do 1000 VA i ve stmívatelném provedení. Účinnost transformátoru se pohybuje od 0,7 do 0,85. Nevýhodou těchto transformátorů je větší hmotnost a oteplení při provozu.

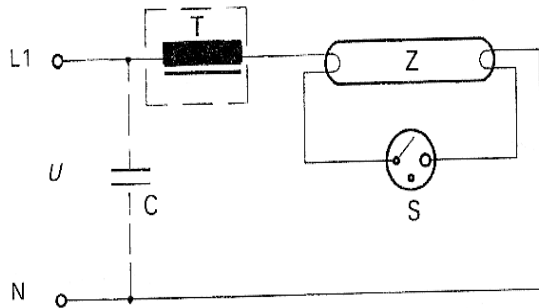
Elektronické předřadníky pracují na principu spínaných zdrojů. Síťové napětí se nejdříve usměrní a následně se opět rozstředí na frekvenci kolem 50 kHz. Na feritovém transformátoru se toto střídavé napětí transformuje na pracovní napětí, zpravidla 12V. Přístroj je vybaven na primární straně filtrací proti vyšším harmonickým kmitočtům. Přístroje jsou běžně dostupné v regulovatelné verzi [2].

Lineární zářivky

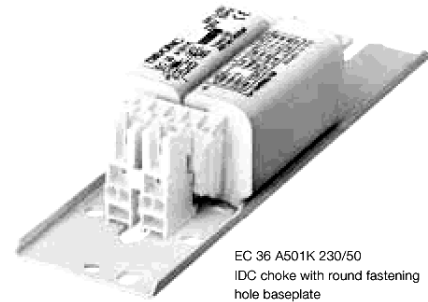
Výbojové světelné zdroje, v našem případě lineární a kompaktní zářivky, potřebují předřadné obvody ke své funkci. Tyto obvody omezují pracovní proud výbojky na požadovanou hodnotu. Předřadníky pro tento druh světelných zdrojů lze dle pracovní frekvence rozdělit na dvě základní skupiny:

- Frekvence 50 Hz – jde obvykle o indukční předřadník
- Vysoká frekvence – jde o elektronický předřadník

Po dlouhou dobu se nejčastěji používaly předřadníky indukční. Stabilizace proudu pomocí činného odporu je nevhodná, proto je při střídavém napájecí napětí vhodnější ke stabilizaci tlumivka. Schéma zapojení výbojky s indukčním předřadníkem je na obrázku 2.9. Při stabilizaci výboje tlumivkou je zapotřebí vzniklý fázový posuv mezi napětím a proudem kompenzovat kondenzátory. Účinnost obvodu bez kompenzace se pohybuje kolem cca 0,5. Stabilizace tlumivkou je výhodná i s ohledem na opakující se zapalování v každé půlperiodě střídavého proudu. Zapalování je totiž usnadněno jednak deformací napěťové křivky a jednak i fázovým posuvem napětí. Předřadná zařízení musí být přizpůsobena příslušnému světelnému zdroji (jeho příkonu), provoznímu napětí a kmitočtu.

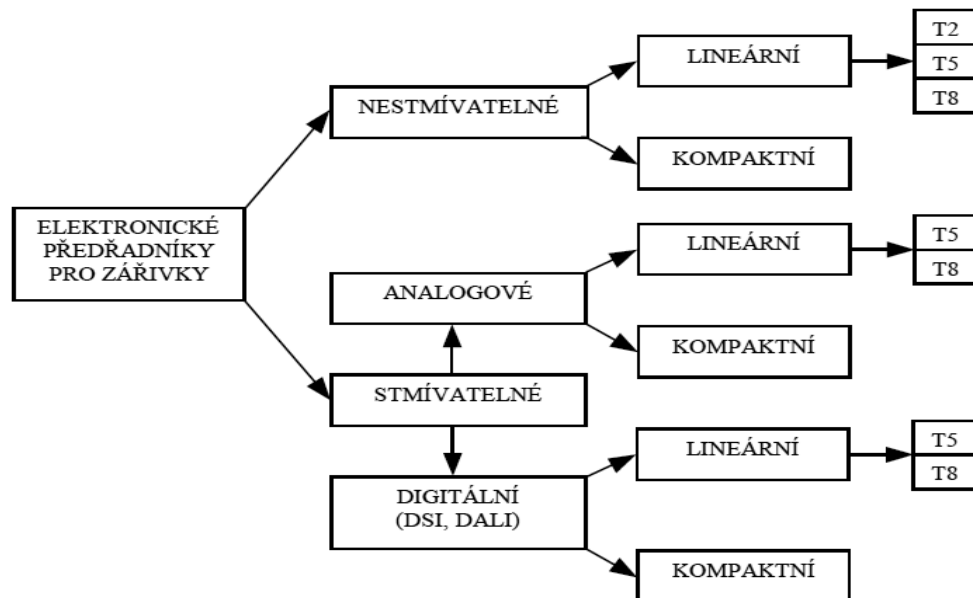


Obrázek 2.9 Klasické zapojení zářivky s tlumivkou, zapalovačem a kompenzačním kondenzátorem [2]

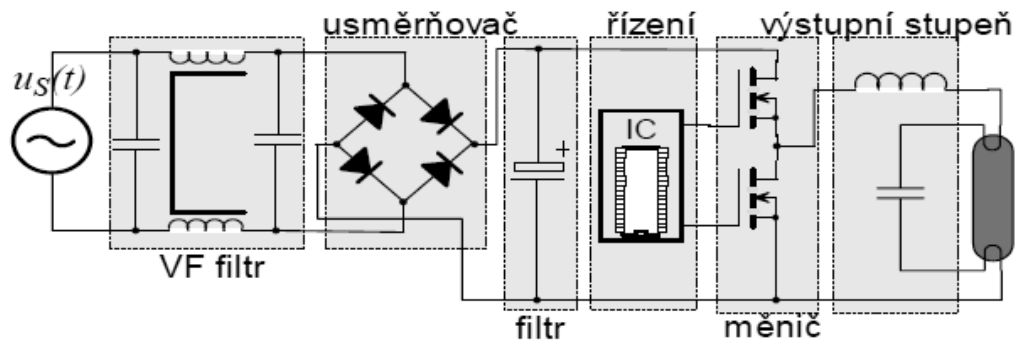


Obrázek 2.10 Příklad indukčního předřadníku pro lineární zářivku [2]

Nové možnosti se objevily v souvislosti s objevením výhod provozu zářivek při vysoké frekvenci, kdy je možné výrazně zmenšit hmotnost a rozměry tlumivek a současně se zvětší účinnost předřadníku a měrný výkon zdroje. S rozvojem elektroniky a polovodičových součástek se objevily vhodné měniče frekvence, jež se staly základem předřadníků elektronických, které nahrazují ve svítidle standardní tlumivku, napěťový zapalovač a kompenzační kondenzátor. Elektronický předřadník musí zajišťovat, mimo stabilizaci proudu, i další funkce, jako například vytvoření potřebného zápalného napětí, nažhavení elektrod před zapálením výboje atd. Z obrázku 2.11 je patrné základní rozdělení elektronických předřadníků na nestmívatelné a stmívatelné. Na obrázku 2.12 jsou znázorněny typické pracovní bloky elektronického předřadníku.



Obrázek 2.11 Rozdělení elektronických předřadníků pro zářivky [2]



Obrázek 2.12 Blokové schéma elektronického předřadníku [2]

U tohoto typu předřadníku je síťové napětí nejprve usměrněno diodovým můstkem a následně vyhlazeno filtrem (elektrolytickým kondenzátorem). Měnič zde slouží k rozstředění vstupní elektrické energie. Vysokofrekvenční proud je následně dodáván do světelného zdroje.

Uvedené zapojení přináší nové možnosti především ve zvýšení měrného výkonu svítidla a snížení ztrátového výkonu (úspora elektrické energie o 25 a 35%). Vysoké frekvence vyzařované předřadníkem mohou interferovat se signály ve sdělovacích vedeních, a proto je nutné, aby byl předřadník vybaven dostatečně účinným filtrem, který tyto vysoké frekvence potlačuje.

Kompaktní zářivky

U kompaktních zářivek jsou předřadníky integrované do světelného zdroje. Používají se již zmiňované elektronické předřadníky, z čehož plyne, že kompaktní zářivky mají vyšší pořizovací náklady a zpětně ovlivňují napájecí soustavu harmonickým zkreslením.

LED diody

Předřadné odvody pro LED diody slouží k napájení luminiscenčních diod stejnosměrným konstantním proudem. Obsahují ochrany proti zkratu, přetížení, přepětí a teplotě. Vyrábějí se také v regulovatelném provedení.

3 Regulace osvětlení

3.1 Úvod do problematiky regulace

Z historie osvětlování je zřejmé, že již dávno existovala snaha regulovat množství světla s ohledem na vykonávanou lidskou činnost. Klasickým případem regulovaného osvětlení bylo použití petrolejové lampy, kde docházelo k regulaci intenzity světla pomocí délky hořícího

knotu. S nástupem elektrických svítidel se objevilo více možností jak efektivně regulovat osvětlení, nejprve z důvodu přizpůsobení jasů určité situaci a v posledních desetiletích především z ekonomického hlediska. Až s rozvojem polovodičové techniky docházelo k širšímu uplatnění pokročilých technik regulace, kdy nové polovodičové výkonové prvky velmi malých rozměrů umožňují konstruovat malé, cenově dostupné regulátory.

Výsledkem regulace osvětlení je zlepšení kvality osvětlení, příjemnější pobytu a práce, snížení příkonu svítidel a hospodárnější využití elektrické energie.

S vývojem elektronických technologií se ustupuje od klasického ovládní osvětlení. K řízení osvětlení se stále častěji využívá různých inteligentních řídicích systémů, které kromě řízení a ovládní osvětlovací soustavy umožňují ovládní veškerých technologií v budově, jako jsou vytápění, klimatizace, bezpečnostní systémy a další [2].

Regulaci světelné soustavy lze provádět:

- Klasickými spínači - Jedná se o nejužívanější a také nejjednodušší způsob řízení a regulace. Spočívá v rozdělení světelné soustavy na několik okruhů a následném spínání jednotlivých okruhů, čímž lze dosáhnout vypnutí části soustavy nebo určitého počtu zdrojů (žárovek, zářivek...) ve svítidlech. Tato koncepce řízení předpokládá vyšší pořizovací cenu svítidel (dvou a vícezdrojová), avšak velmi malé investiční náklady regulátorů. Rozsah stmívání je obvykle 100% a 50%.
- Stmívači - existují různé druhy stmívačů v závislosti na typu použitého světelného zdroje a příp. předřadného obvodu. Tyto stmívače lze řídit ručně (pomocí tlačítek), řídicím systémem nebo dálkovým ovládním. Při stmívání se snižuje měrný výkon a účinnost světelných zdrojů. Tímto způsobem řízení lze dosáhnout plynulé regulace světelné soustavy, vždy z určitého rozsahu změn světelného toku viz tabulka 3.1.

Tabulka 3.1 Rozsah regulace světelných zdrojů

Druh svítidla	Rozsah regulace [%]
Klasické žárovky	0-100
Halogenové žárovky	0-100
Zářivka s klasickým předřadníkem	50-100
Zářivka s elektronickým předřadníkem	1-100
Halogenidová výbojka	70-100

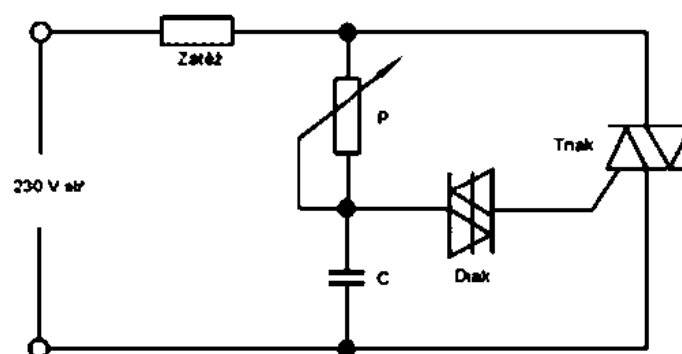
3.2 Možnosti regulace světelných zdrojů

V počátku rozvoje výroby výkonových polovodičových součástek byla regulace intenzity osvětlení nejenže nákladnou, ale také jen výjimečně používanou technikou.

Regulace byla používána pro žárovkové světelné zdroje, zpravidla plynulou změnou napětí, kterou zajišťovali regulační autotransformátory nebo v sérii zapojené proměnné odporníky (reostaty). Takováto technika byla nejen investičně ale i prostorově velmi náročná, proto byla využívána jen ve filmové a divadelní sféře.

Nástup malých polovodičových spínacích prvků, nejprve tyristor a zanedlouho triak, se stále se snižujícími ztrátami umožnil využití jednoduchého principu fázového řízení, viz obrázek 3.1, k energeticky úspornému a cenově dostupnému řešení stmívání prakticky v každé elektroinstalaci. Jednoduchost tohoto základního zapojení vedla k hojným amatérským realizacím, což mělo za následek rušení televizních a rozhlasových stanic až do vzdálenosti několika desítek metrů, neboť při fázovém řízení jsou generovány vyšší harmonické ve velmi širokém frekvenčním spektru, z něhož složky na vyšší frekvenci mají za následek právě zmiňované rušení a složky na nižších frekvencích se podílí na deformaci průběhu síťového napětí. Z tohoto důvodu mají regulátory pracující na tomto principu zvýšené nároky na odrušení a evropské normy omezují použití fázové regulace jen na předem vymezené případy.

Zabezpečit skutečně vyhovující odrušení je velice problematické. Má-li být jakýkoliv elektronický elektroinstalační přístroj schválen pro použití podle platných evropských norem, musí vyhovět nejen zkouškám elektrické bezpečnosti, ale i zkouškám ověřujícím elektromagnetickou kompatibilitu, tedy jeho bezpečnost z hlediska generování rušivých signálů a současně i odolnosti vůči rušení [6].



Obrázek 3.1 Principiální schéma fázového řízení [6]

Pro změnu svítivosti světelného toku je třeba dosáhnout změny efektivní hodnoty jím procházejícího proudu. Toho lze dosáhnout v zásadě třemi způsoby:

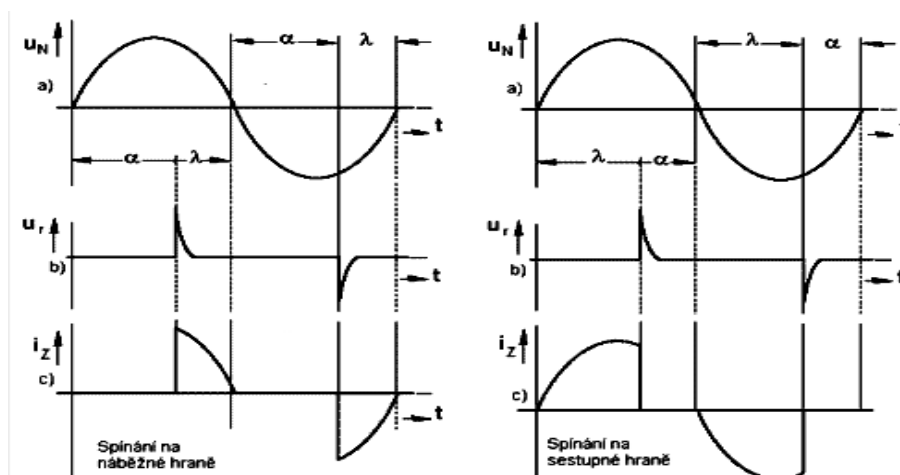
- Změnou amplitudy harmonického proudu
- Střídavým propouštěním a zadržováním vždy několika půlvln
- Změnou tvaru (deformací) střídavého proudu

Změny amplitudy lze dosáhnout například již zmíněnými způsoby tj. použitím regulačních transformátorů nebo sériových reostatů.

Regulací, založenou na střídavém propouštění a zadržování vždy několika po sobě jdoucích půlvln, při proměnném poměru jejich počtu, lze regulovat příkon spotřebičů, u nichž takovýto střídavý chod nezpůsobí praktické problémy, např. elektrotepelné spotřebiče, které mají vysokou tepelnou setrvačnost. Pro řízení osvětlení není tento způsob použitelný, neboť by docházelo k osvětlování různě dlouhými světelnými záblesky.

Z tohoto důvodu se rozšířilo, i přes nepříjemné vedlejší účinky, již zmíněné fázové řízení. Deformace harmonického průběhu napájecího napětí lze dosáhnout fázovým řízením buďto na náběžné nebo sestupné hraně, což je znázorněno na obrázku 3.2.

V obou případech je na vstupu stmívače harmonické napětí obrázek 3.2 a). V závislosti na potřebném výstupním napětí generuje řídicí obvod spínací impulzy obrázek 3.2 b) tak, aby jedna část půlvlny byla zadržena (úhel α , resp. λ) a proud procházel zátěží jen po dobu otevření (úhel λ , resp. α) viz obrázek 3.2 c). V obou případech se úhel otevření α (resp. λ) může měnit od 0° do 180° v každé půlvlně. Při spínání na náběžné hraně se polovodičový spínací prvek otevírá v každé půlvlně spínacím impulsem a vypíná při průchodu nulou, zatímco při spínání na sestupné hraně se spínač otevírá v okamžiku průchodu napětí nulou a vypíná se v každé půlperiodě vypínacím impulsem.



Obrázek 3.2 Principy fázového řízení [6]

Spínání na náběžné hraně je běžným způsobem fázového řízení, které se používá pro stmívání žárovek na 230V, nebo u primárních vinutí transformátorů pro žárovky malého napětí. U induktivních zátěží ani jiného způsobu řízení nelze využít.

Při volbě stmívače je tedy nutné znát charakter zátěže, pro který je stmívač určen. Ve společném zatěžovacím obvodu totiž nelze směšovat elektronické a klasické transformátory. První elektronické stmívače byly určeny jen pro regulaci světelného toku klasických a halogenových žárovek na síťové napětí.

Každý stmívač obsahuje výkonový spínací prvek (triak), který ovšem není ani nemůže být bezeztrátový. Při průchodu proudu na něm vzniká úbytek napětí, u běžných stmívačů se jmenovitým výkonem okolo 500W se výkonová ztráta triaku pohybuje kolem 2W. Z celkového energetického hlediska je tato hodnota zanedbatelná, ale z hlediska samotného přístroje znamená vývin tepla, které je nutné odvést. Při montáži stmívače do elektroinstalační krabice, není nutné uvažovat opatření pro zlepšení odvodu tepla od pouzdra součástky. V případě použití rozváděčových konstrukcí stmívačů je prověření tepelných poměrů zcela nezbytné [6].

3.2.1 Žárovky a halogenové žárovky na síťové napětí

Tyto světelné zdroje jsou velmi vhodné pro regulaci osvětlení, neboť se regulují (stmívají) nejsnadněji, jedná se totiž o čistě odporovou zátěž. Mění se teplota žhaveného wolframového vlákna. Rozsah regulace těchto světelných zdrojů je 0% až 100% světelného toku.

Regulování světelného toku lze provést změnou efektivní hodnoty napětí, ke které dochází buď změnou amplitudy napětí – amplitudová regulace, nebo při zachování amplitudy napětí změnou úhlu otevření spínacího prvku (triaku) – fázová regulace. Elektronické regulátory pracující na principu fázového řízení jsou velmi jednoduché. Tvoří je fázově řízený výkonový polovodičový spínací prvek, nejčastěji triak, spínaný na náběžné hraně.

Je nutné rozlišovat regulátory pro standardní žárovky na síťové napětí a halogenové žárovky na síťové napětí. Halogenová žárovka má při startu menší odpor vlákna než běžné žárovky, a proto je nutné použít regulátor určený pro tento druh světelných zdrojů.

3.2.2 Halogenové žárovky na nízké napětí 12V a 24V

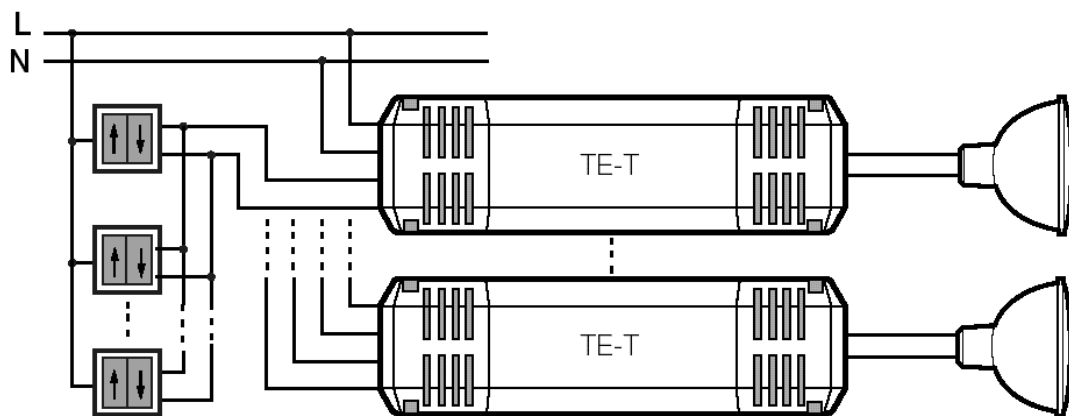
Halogenové žárovky na nízké napětí se v posledních deseti letech těší velké oblibě. Proto je instaluje do svých produktů velké množství výrobců svítidel.

Kromě původního využití např. v projektorech se tyto světelné zdroje prosadily ve dvou základních podobách:

- Reflektorová halogenová žárovka (zpravidla s dichroickým integrovaným reflektorem)
- Halogenová žárovka v základní řadě 5 až 150W

Tyto světelné zdroje jsou vhodné pro regulaci, v některých případech je regulace dokonce nutná. Principy regulace jsou shodné jako u předchozích světelných zdrojů. Zde je ovšem nutné počítat s vyšší hodnotou výkonu vlastního regulátoru oproti hodnotě výkonu všech žárovek (+20% při použití transformátorů a +5% při použití elektronického transformátoru) [7].

Výkon se reguluje na primární straně transformátoru, jak ilustruje obrázek 3.3. Používají se regulátory určené pro stmívání zdrojů napájených indukčními nebo elektronickými transformátory viz kapitola 2.4 předřadné obvody světelných zdrojů.



Obrázek 3.3 Regulace halogenových žárovek s elektronickým stmívatelným transformátorem [2]

3.2.3 Lineární a kompaktní zářivky

Při rostoucích cenách elektrické energie jde o nejvýhodnější osvětlovací systémy z hlediska spotřeby, životnosti i jejich ceny. Pokrok v technologii výroby zajišťuje širokou nabídku těchto světelných zdrojů.

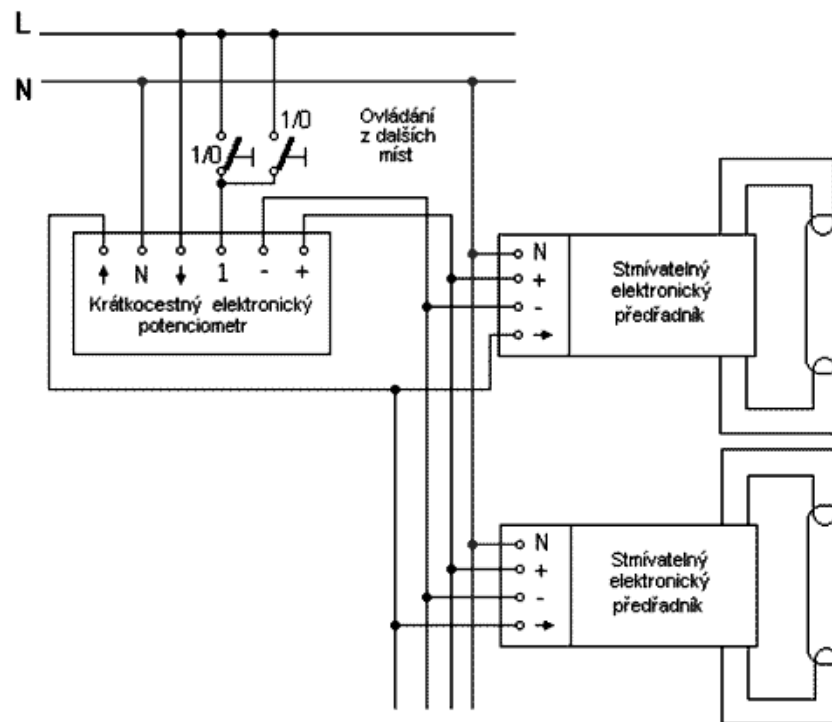
U lineárních zářivek s konvenčním nebo elektronickým nestmívatelným předřadníkem lze regulaci světelného toku soustavy provádět pouze přepínáním okruhů, nejčastěji v rozsahu 0%, 50% a 100%.

Poněkud problematičtější je plynulá regulace zářivkového osvětlení. Starší koncepce

stmívačů umožňovala stmívání běžných zářivek při paralelním zapojení ztrátové zátěže tvořené odporem nebo žárovkou. Takový způsob regulace intenzity osvětlení je ale neekonomický, proto byl nahrazen technicky dokonalejším a poněkud nákladnějším způsobem.

Zářivková svítidla musí být vybavena elektronickým stmívatelným předřadníkem. S jeho pomocí lze dosáhnout změny parametrů (frekvence, napětí) na výboji, a tím plynule regulovat světelný tok zdroje v rozsahu 1% až 100%. U elektronických předřadníků rozlišujeme v podstatě dva druhy ovládní stmívání a to analogové a digitální.

Analogově řízené elektronické předřadníky jsou vybaveny vstupem 10V DC a jsou ovládní úrovní řídicího napětí na tomto vstupu. Elektronický regulátor není potom stmívačem, ale spíše elektronickým potenciometrem, na jehož řídicím výstupu je plynule proměnné řídicí napětí 0 až 10V. Jeho druhý výstup slouží pro spínání zátěže. Jak ilustruje obrázek 2.4, elektronický stmívatelný předřadník zabudovaný ve svítidle, namísto klasického předřadníku, je propojen s regulačním elektronickým potenciometrem třemi vodiči, další dva vodiče jsou potřebné pro jeho napájení. U analogového systému dochází k úbytkům napětí na vedení, což může vést k nesplnění podmínky nastavení všech elektrických předřadníků soustavy na stejnou úroveň.



Obrázek 3.4 Analogové řízení soustavy zářivkového osvětlení [8]

V posledních letech se stále častěji využívá digitální řízení elektronických předřadníků. Pro tyto účely se používá starší rozhraní DSI nebo novější DALI. Výhodou tohoto způsobu řízení oproti analogovému je větší odolnost proti rušení a proti přepólování řídicího napětí. Řízení probíhá opět po vedení, v tomto případě po sběrnici, pomocí digitálního telegramu. Digitálním ovládním je zajištěno nastavení všech stmívatelných předřadníků na stejnou úroveň. Problematika digitálních způsobů řízení je velice rozsáhlá, proto jsou zde uvedeny pouze základní informace o těchto systémech řízení.

Zářivkové stmívače jsou schopny spínat a stmívat celé soustavy zářivkových svítidel, z nichž každé musí být vybaveno vlastním stmívatelným elektronickým předřadníkem.

Stále oblíbenější jsou dnes tzv. kompaktní zářivky. Lze je rozdělit na dvě skupiny. Do první skupiny patří ty, které mají integrovaný elektronický předřadník. Ačkoli jsou někdy označovány jako „stmívatelné předřadníky“, je ověřeno, že při použití regulátoru pracujícího na principu změny efektivní hodnoty napájecího napětí, lze měnit velikost světelného toku pouze v rozmezí 30% až 100%. Tento způsob regulace nelze považovat za zcela ekonomicky výhodný, neboť může být ovlivněna bezporuchová činnost elektronických prvků předřadníku a následná škoda je vyšší než dosažená úspora elektrické energie [7]. Z tohoto důvodu nejsou běžně určeny ke stmívání. Také je třeba uvažovat s tím, že kompaktní zářivky potřebují určitou dobu i na to, aby se dostaly do správného provozního stavu. Tato doba je asi 2 – 5 minut.

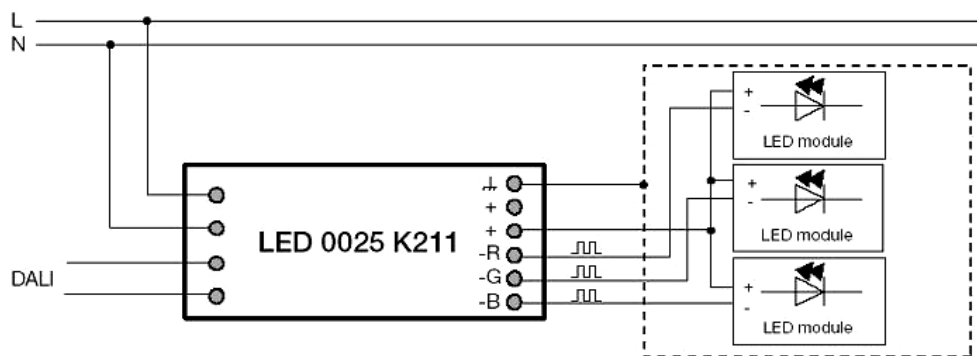
Všechny ostatní případy patří do druhé skupiny včetně použití lineárních zářivek napojených na externí elektronické předřadníky, které jsou převážně označovány PC-A (Power Control-Automatic). Tyto předřadníky lze regulovat buďto stejnosměrným napětím 0 až 10V, nebo pomocí střídavého napětí 0 až 230V. Nejnovější generací elektronických předřadníků jsou digitálně regulovatelné předřadníky, které bývají doplněny možností řízení úrovně osvětlení i podle intenzity denního světla.

Oba tyto případy regulace světelného toku však potřebují doplnění rozvodů o další signální vodiče. Pro stmívání je třeba, aby tyto zdroje měly vyvedeny oba vývody katod. Výrobci totiž nabízejí uvedené zářivky s integrovaným startérem, které není běžně možné použít ve stmívaných systémech.

3.2.4 LED diody

Vzhledem k tomu, že tento druh světelných zdrojů se z pohledu regulace jeví jako odporová zátěž, lze regulaci světelného toku provést změnou efektivní hodnoty napětí všemi již probranými způsoby. Nejčastěji se intenzita osvětlení reguluje elektronickým předřadníkem určeným pro světelné zdroje s LED diodami.

Ovládání regulace lze provádět tlačítky, potenciometry a pomocí digitálních standardů, které jsou k těmto účelům používány stále častěji. Příklad ovládání pomocí standardu DALI ilustruje obrázek 2.5.



Obrázek 3.5 Ukázka regulace tří LED modulů pomocí DALI standardu [2]

4 Možnosti bezdrátového přenosu dat

Činnost veškerých elektrospotřebičů je třeba určitým způsobem řídit. Vedle přímého manuálního ovládání se stále častěji používá ovládání dálkové. Přitom elektrickými spotřebiči nejsou jen televizory či různá audiovizuální zařízení, u nichž se dálkové ovládání stalo téměř samozřejmostí, ale také pevně instalovaná zařízení (svítidla, žaluzie, apod.).

Bezdrátový systém ovládání se obecně skládá nejméně ze dvou prvků – z vysílače a přijímače, které nejsou vzájemně propojeny vodiči. Nejčastější typ vysílače je vybaven jedním nebo několika tlačítky, jejichž stiskem jsou zadávány ovládací povely, na které reaguje spotřebič pomocí přijímače, k jehož výstupu je vodič připojen. Reakce spotřebiče na ovládací povel je dána nastavením přijímače, které může být buď neměnné, nebo volitelné uživatelem. V případě použití vysílače s více tlačítky lze volit ovládání vybraného přijímače a k němu připojeného zařízení v jedno- nebo dvoutlačítkovém módu. V prvním případě se dostupné funkce vyvolávají postupně - opakovaným stiskem tlačítka, v případě druhém jsou funkce rozděleny mezi dvojici tlačítek.

Z hlediska fyzikální povahy ovládacího signálu se v současné době v domovních instalacích používají pouze dva druhy dálkového ovládání – rádiové a infračervené[9].

4.1 Infračervené dálkové ovládání

Tento způsob dálkového ovládání využívá osvědčený princip známý zejména z oblasti spotřební audiovizuální techniky.

Jako výstupní prvek (světelný zdroj) se u vysílačů používají elektroluminiscenční diody infra-LED, které emitující paprsek záření o vlnové délce v oblasti infračerveného záření (IR – infra red) okolo 870 nm nebo 950 nm. Jelikož při přenosu informace způsobem kdy $\log 1 =$ „IR-LED svítí“ a $\log 0 =$ „IR-LED nesvítí“ by bylo obtížné zajistit bezchybný přenos datového rámce z důvodu vysokého rušení, neboť zdrojem IR záření je i slunce nebo i obyčejná žárovka, se využívá modulace¹. Pro modulaci platí, že pokud je modulační signál v $\log 1$ je IR-LED buzena obdélníkovým signálem s danou střídou a frekvencí, typicky mezi 30-56 KHz. Tento stav se nazývá značka (angl. mark). Po dobu trvání $\log 0$ není dioda aktivní, nastala mezera (angl. space). Dobu trvání značky a mezery, stejně tak jako jejich význam specifikuje použitý protokol [10], více o těchto protokolech pojednává následující podkapitola. Pokud neprobíhá přenos datového rámce, setrvá vysílač ve stavu $\log 0$, tedy klidovém stavu.

Přijímač IR signálu se obvykle skládá ze samotného fotodetektoru, za nímž následují další elektronické obvody, které signál dále zpracovávají a upravují. Přijímač signálu je pevně nastaven na použitý nosný kmitočet. Tím, že ostatní kmitočty nepropouští, účinně zamezuje rušení, které vzniká dopadem okolního světla na fotodetektor. Světelné záření propouštěné vlnové délky se v přijímači převádí na elektrický signál, který se dále zpracovává a vyhodnotí. Pokud je přijatý datový rámec vyhodnocen jako platný povel, vykoná se odpovídající funkce zařízení.

Pro šíření IR signálů platí podobné podmínky jako pro šíření viditelného světla, což znamená, že pokud má IR signál dorazit od vysílače k přijímači, nesmí se v jeho cestě nacházet neprůhledná překážka. Díky široké vysílací i přijímací charakteristice a vysoké citlivosti přijímačů není nutné „mířit“ na přijímač, lze dokonce využívat i odrazů od stěn, lesklých povrchů apod.

¹ Termín modulace označuje proces, při kterém se nosný signál slučuje se signálem modulačním ve výsledný modulovaný signál

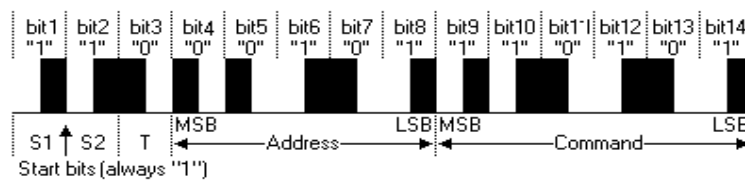
4.1.1 Popis komunikačních protokolů

Komunikačních protokolů, do jisté míry standardizovaných, používaných v dálkových ovladačích spotřební elektroniky je hned několik. V této podkapitole jsou popsány nejčastěji používané protokoly.

Philips RC5

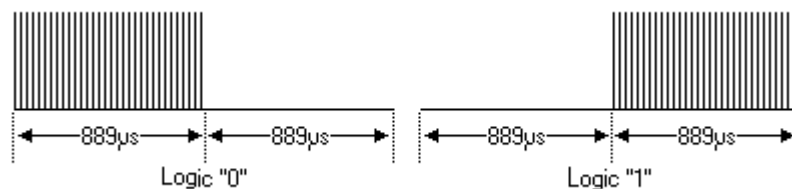
Tento protokol patří mezi neznámější. Původně byl vyvinutý firmou Philips.

Datový rámeček protokolu, obrázek 4.1, se skládá celkem ze 14 bitů, jež jsou vysílány v následujícím pořadí: 2 start-bity, Toggle bit, 5 bitů adresy zařízení, 6 bitů dat (příkaz). Oba start-bity jsou vždy úrovně log1 a mají kromě indikace začátku komunikace význam pro automatické doladování zisku a citlivosti přijímače. Toggle bit funguje jako zabezpečující mechanismus. Jeho hodnota se při každém novém stisku tlačítka mění na opačnou, a tím lze na přijímací straně rozlišit trvalý stisk tlačítka a jednotlivá stisknutí.



Obrázek 4.1 Rámeček protokolu RC5 [10]

Protokol RC5 pracuje na nosné frekvenci 36 kHz a pro odesílání dat se používá kódování Manchester, též někdy označované jako bi-phase modulace. Bi-phase znamená, že v definovaném čase se úroveň změní sestupně, nebo vzestupně. Tím je definována úroveň log1 nebo log0. Bitový interval má konstantní délku rovnou 64 periodám nosného kmitočtu, tedy $64/38\text{kHz} = 1778 \text{ us}$, přičemž doba značky či mezery je složena z 32 period nosného signálu, viz obrázek 4.2. Čas změny značky v mezeru nebo opačně je rozhodný okamžik pro určení logické úrovně. Z uvedeného vyplývá, že odeslání všech 14-ti bitových intervalů potrvá $14 \times 1778 \text{ us} = 25 \text{ ms}$ [10].



Obrázek 4.2 Kódování Manchester [10]

Pokud bude tlačítko dálkového ovladače stále drženo, bude bitový rámeček opakovaně vyslán s periodou, pokud ji počítáme jako čas mezi začátky obou rámečků, odpovídající

odeslání 64 bitů, tedy 113,7ms, a to z důvodu oddělení jednotlivých vysílaných rámců. Za dobu jedné sekundy je tedy možné přenést necelých 9 povelů z dálkového ovladače.

RC5X

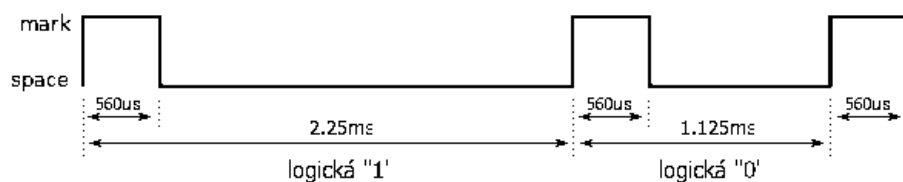
Jedná se o rozšířený protokol RC5. Název vychází z anglického Extended RC5.

Šestibitová hodnota příkazu se časem ukázala jako nedostačující, což vedlo k přidání dalšího bitu, a tím ke zvýšení počtu možných příkazů na 128. Tento přidaný sedmý bit nahrazuje druhý start-bit. Jeho hodnota je negována, což zaručuje zpětnou kompatibilitu s původní verzí RC5, neboť pro příkazy 0-63 bude tento negovaný sedmý bit v log1, a proto jej zařízení používající standard RC5 vyhodnotí jako obyčejný start-bit.

NEC

Tento protokol byl vytvořen společností NEC Electronics a je používán ve spotřební elektronice většiny japonských výrobců. Mezi jeho přednosti patří možnost kontroly dat na přítomnost chyb a adresovatelnost až cca 65000 zařízení.

Protokol pracuje na nosném kmitočtu 38 kHz a pro kódování bitů se používá pulzně poziční modulace, jejíž princip ilustruje obrázek 4.3. Pulzy jsou u této modulace vždy stejně dlouhé, a to 560us. Hodnota bitu je definována dobou mezi začátky těchto dvou pulzů. Pro hodnotu log1 tato doba činí 2,25 ms a pro log0 je přesně poloviční, tedy 1,125 ms.



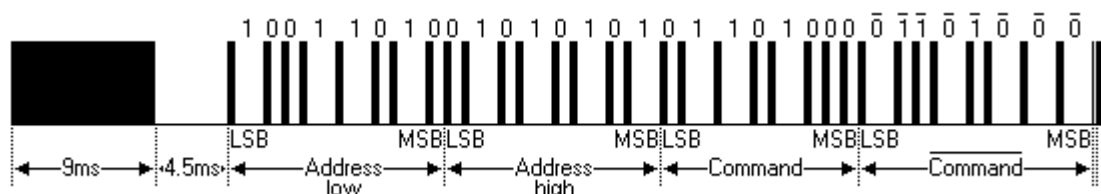
Obrázek 4.3 Pulzně poziční modulace [10]

Strukturu datového rámce zobrazuje obrázek 4.4. Rámec lze rozdělit na tři hlavní části:

Hlavička, angl. Leader code

Část pro adresu zařízení nebo kód výrobce, custom code

Datová část obsahující ovládací příkaz



Obrázek 4.4 Datový rámec protokolu NEC [10]

Hlavička protokolu začíná vždy značkou dlouhou 9 ms. Následuje mezera, jejíž délka rozhoduje o typu rámce, neboť novější verze protokolu umožňuje vyslání jednoho celého rámce a poté, pokud je tlačítko stále stisknuté, se vysílá pouze krátká informace o opakování předchozího rámce. Tato vlastnost snižuje spotřebu elektrické energie až o jednu třetinu a lze s její pomocí rozpoznat trvalý nebo opakovaný stisk tlačítka [10]. Pokud je doba zmíněné mezery rovna 2,25 ms, jedná se o opakovací kód a kromě 560 us dlouhé značky ukončující tuto mezeru se další data nevyšlou. Délka mezery 4,5 ms naopak signalizuje, že hlavička bude následována zbývajících 32 bity rámce. Doba opětovného vyslání rámce nebo opakovacího kódu je u tohoto protokolu stanovena na 108 ms.

Blok adresy se skládá z 16 bitů kódovaných uvedenou modulací. Jako první se vysílá nejméně významný bit (LSB) V původní verzi protokolu obsahoval nižší byte (dolní nibble) adresu cílového zařízení a ve vyšším byla uložena její invertovaná podoba, které je využívána při kontrole přítomnosti chyb při příjmu. Novější specifikace umožňuje adresu rozšířit na celých 16 bitů. Přijde se tak o možnost kontroly správnosti, výrazně se však vzroste počet možných adres.

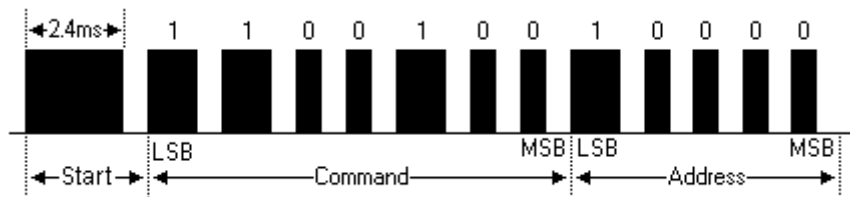
Podobně jako blok adresy, i blok příkazu obsahuje 16 bitů a jako první se vysílá bit LSB. Zde ale zůstala zachována redundance v podobě negované informace v horním bytu (nibble), čehož se využívá při příjmu k ověření validity dat. Počet příkazů tedy dosahuje maximálně 255 možných variant.

Sony SIRC

Mezi poslední rozšířené komunikační protokoly patří SIRC (Serial Infra-Red Control) od japonské firmy Sony.

Přenášená data jsou kódována pulzně šířkovou modulací a následně vysílána na nosné frekvenci 40 kHz. Hodnota bitů se při této modulaci rozlišuje délkou trvání značky. Značka o délce 1,2 ms představuje log1, log0 trvá poloviční dobu, tedy 600 us. Značky od sebe odděluje mezera o konstantní délce 600 us.

Začátek rámce tvoří úvodní 2,4 ms dlouhá značka následovaná 600 us dlouhou mezerou viz obrázek 4.5. Poté se vysílají vlastní data, přičemž jednotlivé části jsou vysílány od LSB. Rámec je periodicky vysílán, dokud je drženo tlačítko. Doba opakovaného vyslání je 45 ms od začátku rámce



Obrázek 4.5 12-ti bitový rámec protokolu SIRC [10]

Postupným vývojem vznikly 3 varianty tohoto protokolu, lišící se pouze počtem bitů:

- 12-ti bitová verze odesílá 7 bitů příkazu, a poté 5 bitů adresy zařízení.
- 15-ti bitová verze pouze rozšiřuje adresu na 8 bitů.
- 20-ti bitový protokol vychází z 12-ti bitového, za adresovou část připojuje osmibitová rozšiřující (extended) data.

4.2 Radiofrekvenční přenos dat

Bezdrátové radiové komunikace se v poslední době těší stále větší oblibě a to jak v oblasti spotřební elektroniky, či datových sítí, tak i v oblasti elektroinstalací a průmyslové automatizace, kde zvyšující se cena materiálu potřebného pro výrobu vodičů a drahá pracovní síla stále více prodražují kabelové propojování zařízení. V prostředí domovní a bytové automatizace umožňuje bezdrátové připojení libovolně a snadno měnit strukturu instalace bez nutnosti nákladných stavebních úprav, jako je tomu u klasického řešení elektroinstalace, neboť mezi ovládacím prvkem (vysílačem) a výkonovým prvkem (přijímačem) není fyzické propojení.

Vysokofrekvenční rádiové vlny (RF) se šíří všesměrově a pronikají i nekovovými překážkami s menším či větším útlumem závislým na parametrech materiálu, jež tvoří překážku. Mezi vysílačem a přijímačem tedy nemusí být přímá optická viditelnost [9].

Jestliže je v jednom místě instalováno několik vysílačů a přijímačů, je třeba zajistit, aby se jejich činnost neovlivňovala, resp. aby na povel od daného vysílače reagoval pouze určený přijímač. Z tohoto důvodu je obvykle každému vysílači při výrobě přidělen unikátní kód, který se při vysílání stává součástí vysílaného povelu, jenž je modulován na nosnou frekvenci RF signálu. Přijímač, který tento signál zachytí, zkontroluje, zda má tento kód vysílače povolen. Pokud je kód vysílače uložen v paměti přijímače, vykoná se požadovaná funkce, jinak je povel ignorován [11]. Předpokladem správné funkce tedy je naprogramování přijímačů, při němž se definuje, jaká činnost se má při přijetí daného povelu vykonat a na jaké kódy vysílačů má přijímač reagovat.

Takovéto kódování zajišťuje, že nemůže docházet k nežádoucímu ovládní jiných než žádaných přijímačů, a zároveň umožňuje ovládní jednoho přijímače několika vysílači, nebo naopak jeden vysílač může ovládat několik přijímačů.

Z hlediska dosahu signálu lze bezdrátové komunikace a sítě rozdělit, podobně jako jiné komunikační sítě, na sítě místního významu (WPAN – Wireless Personal Area Network, dosah jednotky až stovky metrů), sítě lokálního dosahu (WLAN – Wireless Local Area Network, dosah stovky metrů až jednotky kilometrů) a sítě globálního dosahu (WMAN – Wireless Metropolitan Area Network, pokrývají rozsáhlá území).

Hlavní výhodou bezdrátových komunikací je jejich mimořádná flexibilita, která vyplývá přímo z podstaty bezdrátové komunikace, tedy neexistence kabelových rozvodů. Mezi problematické oblasti při jejich využití patří napájení (omezená životnost akumulátorů, popř. nutnost instalovat napájecí kabel), spolehlivost (rádiové rušení) a dosah signálu.

4.3 Přehled standardů bezdrátového přenosu

Pojem "bezdrátová radiová komunikace (RF)" dnes zahrnuje velké množství různých standardů, které poskytují různou schopnost síťové komunikace, složitost, dosah, šířku pásma, spolehlivost, zabezpečení přenosu dat proti nechtěnému rušení nebo neoprávněnému přečtení a v neposlední řadě také cenu. Vhodnou metodu pro přenos dat je třeba vybírat s ohledem na uvedené parametry.

Pro bezdrátový přenos lze využít různá frekvenční pásma, přičemž maximální vysílaný výkon je často omezen příslušnou legislativou. Nejčastěji se používá pásmo 2,4 GHz (často označované jako ISM – Industrial, Scientific, Medical) se jmenovitou frekvencí 2,4 GHz. V tomto pásmu jsou provozovány standardy IEEE 802.11 b/g, komerčně označované jako Wi-Fi (Wireless Fidelity) a IEEE 802.15.1 známý pod obchodním jménem Bluetooth. Pásmo 900 MHz, které má sice menší přenosovou rychlost než pásmo 2,4 GHz, ale jehož vlny mají při zachování konstantní přenosové rychlosti větší dosah a snázeji pronikají překážkami, je k dispozici jen v některých státech a využívají jej především proprietární protokoly. Poslední používané pásmo 5 GHz nabízí značné výhody, především větší přenosovou kapacitu a lepší odolnost proti šumu. V tomto pásmu je definován standard 802.11a, jehož provozování není na území Evropy povoleno. Proto byl, pro možnost využívání komunikace v tomto pásmu na území Evropy, vytvořen standard 802.11h.

Jelikož jsou uvedená pásma nelicencovaná², nelze zaručit, že při použití těchto technologií bude v dané lokalitě „prostor“ pro další zařízení, resp. že bezdrátová komunikace bude stabilní. Ačkoli moderní postupy pro omezení vlivu rušení, jakými jsou Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) pro IEEE 802.11 b/g nebo Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) pro Bluetooth, využívají rozprostřeného spektra, může další nárůst počtu zařízení, která pracují v těchto nelicencovaných frekvenčních pásmech, způsobit, že již tyto pásma nebude možné rozumně využít pro aplikace, které vyžadují spolehlivý přenos dat. Proto je důležité hospodárně využívat přidělené frekvenční pásmo.

Tři současné hlavní metody bezdrátového přenosu jsou porovnány v tabulce 4.1. Všechny se navzájem spíše doplňují, než by si konkurovaly, neboť jsou určeny pro odlišné oblasti použití a mají různé silné stránky.

Tabulka 4.1 Hlavní parametry tří nejdůležitějších standardů [12]

Standard IEEE (obchodní název)	802.15.1 (Bluetooth)	802.11b (Wi-Fi)	802.15.4 (ZigBee)
Hlavní použití	náhrada kabelu	web, e-mail, video	sledování a řízení
Šíře pásma (kb/s)	1 000 až 3 000	11 000	20 až 250
Dosah (m)	20 (třída 2), 100+ (třída 1)	100+	20 až 70, 100+ (s vnějším zesilovačem)
Maximální počet uzlů	7	32	2 ⁶⁴
Výdrž baterie (dny)	1 až 7	0,5 až 5	100 až 1 000+
Spotřeba při vysílání (mA)	45 (třída 2), <150 (třída 1)	300	30
Použitelnost pro úlohy s malým činitelem využití	špatná (pomalu navazuje spojení)		dobrá
Způsob rozmítání spektra	FHSS	DSSS	
Potřebná paměť (kB)	50+	70+	40
Hlavní přednosti	cena, pohodlí	rychlost, flexibilita	spotřeba, cena

² Nelicencovaná pásma - pro činnost zařízení v tomto pásmu je vydáno tzv. generální povolení Českého telekomunikačního úřadu. Není tedy třeba, při splnění daných podmínek, povolovat provoz každého zařízení samostatně [13].

IEEE 802.15.1 - Bluetooth

Jak již bylo řečeno, standard Bluetooth specifikuje komunikaci pomocí rádiového spoje v nelicencovaném pásmu ISM, které je rozloženo na frekvenci 2400 až 2483,5 MHz, kde standard definuje 79 frekvenčních pozic se šířkou pásma 1 MHz. Bluetooth je nejznámějším zástupcem třídy WPAN (Wireless Personal Area Network). Standard je koncipován tak, aby umožňoval realizovat spojení jak mezi dvěma jednotlivými zařízeními (point-to-point), tak i mezi jedním a několika dalšími zařízeními (point-to-multipoint). Dosah standardního řešení je od 10 po 100 metrů, přičemž komunikační rychlost je až 721 kb/s. Díky rozprostírání spektra metodou FHSS, mohou zařízení komunikovat i v oblastech s vysokými úrovněmi elektromagnetického rušení. Tato metoda zároveň umožňuje provozování velkého počtu systému paralelně, aniž by docházelo k jejich vzájemnému rušení a ovlivňování. Těto vlastnosti se využívá v případech, kdy je třeba vytvořit mnoho nezávislých lokálních bezdrátových pojitků.

Standard Bluetooth je primárně určen pro domácí a kancelářské aplikace. V oblasti automatizace a průmyslu se využívá především v aplikacích, kde je vhodné nahradit kabely a konektory bezdrátovým přenosem např. z důvodu vysokých nároků na čistotu [14].

Komunikace pomocí standardu Bluetooth je z hlediska uvedení do provozu a údržby jednoduchá a cenově výhodná, avšak relativně nízký dosah je omezujícím kritériem pro nasazení tohoto standardu pouze na lokální komunikační systémy.

Do budoucna lze očekávat výskyt proprietárních řešení, která budou využívat standard Bluetooth pouze jako fyzickou vrstvu pro zajištění komunikace.

IEEE 802.11x [15]

Standard 802.11 zahrnuje několik druhů modulací pro posílání rádiového signálu, přičemž všechny používají stejný protokol. Nejpoužívanější modulace jsou definované v dodatcích k původnímu standardu s písmeny *a*, *b*, *g*, jež jsou uvedeny v tabulce 4.2. Stručná charakteristika jednotlivých standardů je uvedena v tabulce 4.3. Standardy 802.11b a 802.11g, jak již bylo řečeno, používají pásmo ISM 2,4 GHz, proto mohou zařízení interferovat s dalšími zařízeními používajícími stejné pásmo. Oproti tomu standardy 802.11a a 802.11h používají pásmo ISM 5 GHz. Zařízení, která pracují v tomto pásmu, tedy nejsou ovlivněna zařízeními pracujícími v pásmu 2,4 GHz.

Standard IEEE 802.11b/g definuje celkem třináct kanálů (platí pro Evropu) v pásmu 2400 až 2483,5 MHz. Jednotlivé kanály zabírají pásmo široké 22 MHz, z čehož plyne, že v pásmu širokém pouze 83 MHz lze, bez překrývání pásem pro přenos dat, provozovat v jednom teritoriu pouze tři systémy dle tohoto standardu.

Tabulka 4.2 Přehled standardů IEEE802.11[16]

Standard	Rok vydání	Pásmo [GHz]	Maximální rychlost [Mbit/s]	Fyzická vrstva
původní IEEE 802.11	1997	2,4	2	DSSS a FHSS
IEEE 802.11a	1999	5	54	OFDM
IEEE 802.11b	1999	2,4	11	DSSS
IEEE 802.11g	2003	2,4	54	OFDM
IEEE 802.11n	2009	2,4 nebo 5	600	MIMO OFDM
IEEE 802.11y	2008	3,7	54	
IEEE 802.11ac	2013	2,4 a zároveň 5	1000	MU-MIMO OFDM

Tabulka 4.3 Přehled standardů 802.11 [15]

Standard	Definice
IEEE 802.11a	Standard definuje fyzickou vrstvu, která pracuje v pásmu 5 GHz, používá metodu modulace OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) a podporuje přenosové rychlosti od 6 do 54 Mb/s.
IEEE 802.11b	Standard definuje fyzickou vrstvu, která v pásmu 2,4 GHz pracuje s metodami modulace FHSS a DSSS. Podporuje přenosové rychlosti 1 Mb/s, 2 Mb/s, 5,5 Mb/s a 11 Mb/s.
IEEE 802.11c	Standard definuje vlastnosti a funkce nutné pro správnou funkci bezdrátových mostů (bridge). Tento standard využívají přístupové body (access points).
IEEE 802.11d	Standard se zabývá globální harmonizací WLAN podle IEEE 802.11, neboť pravidla pro využívání jednotlivých frekvenčních pásem se stát od státu různí.
IEEE 802.11e	Připravovaný standard upravuje přístupovou vrstvu (MAC) tak, aby bylo možné vnést do WLAN prvky QoS (Quality of Services), což zlepší možnosti přenosu zvuku a obrazu.
IEEE 802.11f	Připravovaný standard umožní uživatelům přecházet mezi jednotlivými přístupovými uzly (roaming), podobně jako to umožňuje síť pro mobilní telefony. Původní standard IEEE 802.11 nezajišťuje bezproblémový přechod od jednoho přístupového uzlu k jinému bez ztráty spojení.
IEEE 802.11g	Standard zavádí do pásma 2,4 GHz modulační metodu OFDM, která svými parametry překonává FHSS i DSSS a umožňuje dosáhnout přenosové rychlosti až 54 Mb/s. Standard 802.11g umožňuje připojit zařízení pracující podle IEEE 802.11b, avšak výskyt těchto zařízení v síti značně snižuje její propustnost, neboť tato zařízení je nutné ovládat signály RTS a CTS, aby v síti nedocházelo ke kolizím mezi zařízeními používajícími FHSS nebo DSSS a zařízeními používajícími OFDM.
IEEE 802.11h	Připravovaný standard má za cíl vyhovět evropským požadavkům tak, aby bylo možné v Evropě používat WLAN i v pásmu 5 GHz. Pásmo 5 GHz je v Evropě využíváno pro spojení se satelity a pro síť HIPERLAN. Připravovaný standard by měl zabránit možným interferencím dynamickou volbou kanálu a řízením vysílacího výkonu.
IEEE 802.11i	Připravovaný standard si klade za cíl definovat rozšíření vrstvy MAC o důkladné zabezpečení. Původní IEEE 802.11 definuje pouze relativně slabé šifrování založené na statických klíčích (Wired Equivalent Privacy, WEP). IEEE 802.11i by měl výrazně zvýšit bezpečnost dat přenášených prostřednictvím WLAN.

Dosah zařízení používajících standard IEEE 802.11 b/g je typicky uvnitř budov 100m a ve volném prostoru 200m, avšak při použití směrových antén s vysokým ziskem není problém realizovat spojení až na několik km. Přenosová rychlost dosahuje hodnoty až 54 Mb/s v závislosti na použité specifikaci, lokálních podmínkách a na vzdálenosti mezi stanicemi.

Primárně je tento standard určen pro vytváření sítí WLAN, ať už typu infrastruktury, která pokrývá určitou oblast, nebo jako bezdrátová pojítka dvou a více LAN (point-to-point i point-to-multipoint). V oblasti průmyslu se nejčastěji využívá pro připojení bezdrátových terminálů, připojení velínů a technologií atd.

Obecně by se standard IEEE 802.11b/g měl používat především pro sítě velké složitosti s mnoha přístroji, kdy se současně vyžaduje jak velký výkon, tak i vysoký stupeň mobility.

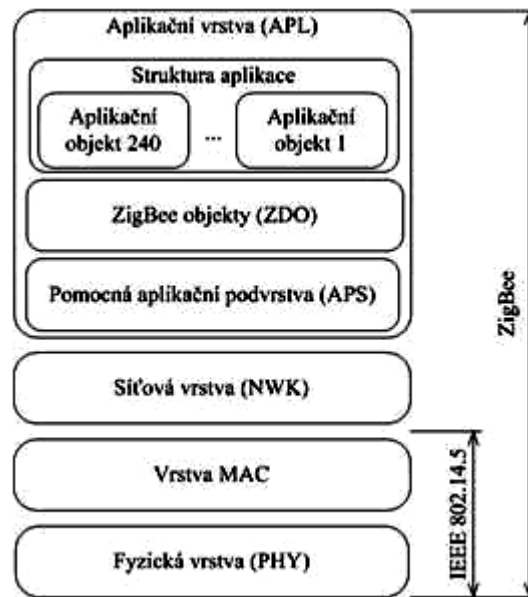
ZigBee

ZigBee je schválen jako mezinárodní standard označovaný jako IEEE 802.15.4 určený pro bezdrátové sítě s malým dosahem WPAN (Wireless Personal Area Network).

Na vývoji standardu ZigBee se podílí více jak stošedesát nadnárodních firem a korporací sdružených do ZigBee Alliance, kde jsou zastoupeny i významné světové automatizační firmy (např.: Omron, Danfos, ABB, Siemens). Proto standard ZigBee vyhovuje svými vlastnostmi potřebám automatizace mnohem více než zmiňovaný standard Bluetooth. Vzájemnou spolupráci všech sdružených firem se podařilo realizovat spolehlivé, nízkonákladové a nízkopříkonové bezdrátově propojené řídicí a kontrolní moduly [17].

ZigBee je jednoduchý standard pro bezdrátovou komunikaci, který umožňuje vzájemnou komunikaci až 256 zařízení se zabezpečeným přenosem, nízkou spotřebou při dosahu desítek metrů v závislosti na lokálních podmínkách šíření signálu a typu použité antény. Díky nízkým nárokům na hardware a nízké spotřebě najde uplatnění v oblasti řízení a automatizace budov, spotřební elektroniky a průmyslové automatizaci.

Stejně jako každý jiný komunikační standard, lze i ZigBee popsat modelem OSI, viz obrázek 4.6. Standard IEEE 802.15.4 definuje dvě nejnižší vrstvy – fyzickou (PHY) a MAC (linkovou) vrstvu, neboť má nejnižší bitovou chybovost u zařízení s velkým šumem. Nad těmito vrstvami definuje ZigBee Alliance síťovou (NWK) a aplikační (APL) vrstvu, jež se dále skládá z pomocné aplikační podvrstvy (APS), Objektů ZigBee (ZDO) a aplikačních objektů definovaných výrobcem.



Obrázek 4.6 OSI model ZigBee [17]

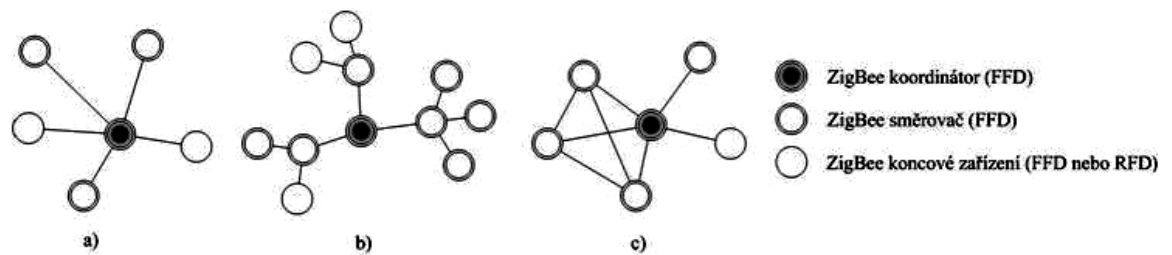
Jelikož je fyzická vrstva, která má za úkol vysílání a příjem datových jednotek, definována standardem 802.15.4, probíhá komunikace na jednom ze tří předělených radiových pásem:

- pásmo ISM 2.4 GHz, 16 kanálů, přenosová rychlost 250kb/s, definováno celosvětově
- pásmo 915 MHz, 10 kanálů, přenosová rychlost 40kb/s, definováno pro USA, Austrálii
- pásmo 868 MHz, 1 kanál, přenosová rychlost 20kb/s, definováno pro Evropu

Datový signál se pro přenos moduluje metodou O-QPSK a vzduchem se přenáší prostřednictvím DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), což je podobná metoda jako u technologie Wi-Fi. Pro přístup na kanál se využívá metody CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance and optional time slotting).

Standard IEEE 802.15.4 využívá pro adresaci jednotlivých zařízení v síti binární adresovací kódy, které mohou být buď dlouhé (64 bitů) či zkrácené (16 bitů). Každou sestavenou síť dále jednoznačně určuje 16-ti bitový identifikátor PAN ID (Personal Area Network ID), který slouží k rozlišení sítí, jež jsou provozovány v jednom prostoru podle tohoto standardu. Každá síť s unikátním PAN ID je řízena koordinátorem (centrální stanicí).

Z hlediska síťové topologie standard ZigBee podporuje tři typy sítí, viz obrázek 4.7 : hvězda (star), její upravou lze získat topologii typu strom (tree) a speciální kombinace obou předchozích je topologie síť (mesh).



Obrázek 4.7 Topologie sítě ZigBee typu a) hvězda b) strom c) síť (mesh) [17]

V sítích ZigBee existují dva různé typy zařízení tvořící uzel. První z nich je plně funkční zařízení (FFD- Full Function Device), které může vykonávat funkci koordinátora, směrovače, nebo koncového zařízení. Tato zařízení implementují kompletní protokolový rámec a zajišťují veškeré služby, jež stanovuje specifikace ZigBee. Druhým typem je zařízení s redukovanou funkcí (RFD – Reduced Function Device). Tato zařízení mají implementovány pouze nejnужnější protokolové knihovny, z důvodu maximálního omezení hardwarových nároků a spotřeby energie. Zařízení typu RFD pak mohou komunikovat jen s příslušným koordinátorem, nebo zařízením typu FFD. Mohou tedy pracovat pouze jako koncová zařízení. Každá síť je řízena koordinátorem, jenž je v každé síti pouze jeden, a jehož funkcí je uchovávat informace o síti, a na základě nich stanovovat optimální přenosové cesty mezi jednotlivými uzly sítě. V topologii sítě typu hvězda všechna zařízení, označená jako koncová, komunikují výhradně prostřednictvím koordinátora. Ve zbylých dvou topologiích koordinátor spouští komunikaci a stanovuje parametry sítě. Síť lze rozšířit použitím ZigBee směrovačů, přičemž se pro přenos dat a řídicích zpráv používá hierarchické směrování, čímž lze vytvořit rozlehlou síť umožňující i přenosy peer-to-peer mezi jednotlivými zařízeními.

Často je standard ZigBee zmiňován jako alternativa ke známějšímu a rozšířenějšímu standardu Bluetooth, který také pracuje v nelicencovaném ISM pásmu 2,4 GHz, a jež je také představitelem sítí WPAN. Z tohoto důvodu zde uvádím rozdíly mezi těmito dvěma standardy. Porovnání základních parametrů technologie Bluetooth a ZigBee je uvedeno v tabulce 4.4

Technologie Bluetooth pracuje se sítěmi typu piconet, která umožňuje propojení řídicí stanice až se sedmi aktivními podřízenými zařízeními. Síť může obsahovat i více zařízení ovšem neaktivních nebo tzv. „parked“. Přenosová rychlost pro verzi 1.2 je 1Mb/s a pro verzi 2.0 je 3Mb/s. Pro přenos je použita modulace QPSK s technologií FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum)[17].

Standard ZigBee definuje i síť typu strom, pomocí které lze zvětšit funkční dosah jedné sítě. Zařízení v síti mohou komunikovat i bez účasti koordinátora. Pro přenos je použita technologie DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum).

Tabulka 4.4 Porovnání standardů ZigBee a Bluetooth [18]

Vlastnost	ZigBee	Bluetooth
nominální dosah (bez zesilovače)	30 m	10 m
maximální přenosová rychlost	250 kb/s	700 kb/s
maximální počet zařízení v jednom segmentu (piconet)	255	8
maximální počet zařízení v síti	4 000	není omezeno
komplexnost protokolu (velikost firmwaru), přibližně	30 kB	250 kB
vyhledání nového zařízení	typicky 30 ms	do 3 s

Hlavní výhodou ZigBee oproti standardu Bluetooth je bezesporu malá spotřeba zařízení ZigBee, neboť trvale aktivní musí být u sítě typu hvězda pouze centrální řídicí uzel sítě (koordinátor), u kterého se nepředpokládá bateriové napájení. Ostatní zařízení v síti mohou být dlouhou dobu přepnuta do režimu nízké spotřeby.

Hlavní, spíše zdánlivou, nevýhodou ZigBee oproti Bluetooth jsou malé přenosové rychlosti. Ovšem ZigBee je optimalizováno pro statické sítě v konfiguraci master-slave, určené pro občasný přenos menšího množství dat, zatímco Bluetooth je optimalizován pro malé sítě určené pro komunikaci peer-to-peer, vytvořené ad hoc, které zprostředkovávají relativně rychlý přenos většího množství dat.

Vzhledem ke komplexnosti protokolu Bluetooth moduly Bluetooth obvykle obsahují výkonný 32bitový procesor ARM. Naproti tomu protokol ZigBee je navržen tak, aby bylo možné využít i osmibitové procesory, např. i8051 nebo Motorola HCS08.

ZigBee není zamýšleno jako konkurent standardu Bluetooth, naopak je vyvíjeno jako jeho doplněk a to především k pokrytí aplikací, pro které není Bluetooth vhodné. Bluetooth používá vyšší přenosové rychlosti s velkými datovými rámci, proto je jeho typickou aplikací přenos hlasu, hudby nebo souborů. ZigBee je navrženo pro použití v zařízení s akumulátorovým napájením, pro něž je rozhodujícím parametrem spotřeba energie. Proto jsou zařízení ZigBee typicky používané pro občasný přenosy malého množství dat z čidel, vstupních a výstupních zařízení, dálkových ovládaní apod. S využitím tohoto standardu se počítá hlavně v oblasti automatizace a řízení budov.

Kromě výše uvedených protokolů: WLAN, Bluetooth a ZigBee, se na trhu objevil další:

EnOcean.

Jedná se o plně bezdrátový systém s distribuovanou inteligencí, který pracuje v licencovaném pásmu na frekvenci 868,3 MHz s dosahem 30m v budovách a až 300m ve volném prostoru[19]. Rádiové telegramy jsou velmi krátké a vysílač je několikrát opakuje s určitým časovým odstupem v rámci několika milisekund. Přijímač je tak schopen spolehlivě přijmout pro něj určený telegram i v případě, že v jeho dosahu pracuje několik dalších vysílačů. Díky 32 bitové adrese lze v síti EnOcean rozlišit až čtyři miliardy účastníků.

Systém lze díky extrémně malé spotřebě napájet z alternativních zdrojů energie, nebo je dokonce možné potřebnou energii odebírat z okolního prostředí, z čehož plyne, že zařízení pro svou činnost nepotřebují akumulátor. Zařízení s protokolem EnOcean jsou schopna získat energii např. z rozdílu teploty mezi ohřátým povrchem zařízení a okolím, nebo z mechanické energie chvění či rotačního pohybu zařízení. Elektromechanické spínače mohou využívat část energie potřebné k sepnutí nebo rozepnutí jejich kontaktů (založeno na deformaci piezoelektrického krystalu). Vzhledem k faktu, že vysílače nepotřebují ke svému provozu baterie ani kabelový přívod, lze je umístit v podstatě kamkoli.

Tato metoda přenosu dat se může uplatnit především v průmyslové automatizaci pro komunikaci se senzory a aktory, neboť většina nabízených zařízení je bezbateriová a bezúdržbová a lze je použít v místech, která jsou pro kabelové systémy nepřístupná (např. pneumatiky automobilů). EnOcean je podobně jako ZigBee komunikace použitelná i pro bezdrátové spínače a snímače v automatizaci budov.

Mimo uvedená standardizovaná řešení existuje **skupina proprietárních komunikačních řešení**, která předcházela standardizační proces a v současné době koexistují se schválenými standardy. Postupem času jsou tato proprietární komunikační řešení nahrazována řešeními založenými na otevřených standardech, neboť velkou nevýhodou proprietárních řešení je vzájemná nekompatibilita, což výrazně limituje jejich masivní použití v řadě aplikací, především použití v průmyslových aplikacích. Toto omezení eliminují zavedené standardizované technologie, u kterých je do značné míry zaručena kompatibilita a schopnost vzájemné koexistence.

Tato různá proprietární řešení využívají pro komunikaci licencovaná i nelicencovaná frekvenční pásma a jejich přenosové rychlosti se liší podle charakteristik výrobce.

Nejčastěji se tyto systémy vyskytují v automatizaci malých budov, neboť pořizovací cena pro koncového uživatele bývá mnohem příznivější oproti řešením postaveným na otevřeném standardu.

Jako příklad proprietárního řešení lze uvést systém **XComfort** od společnosti Moeller Elektrotechnika s.r.o. Jedná se o plně distribuovaný bezdrátový systém určený především pro řízení automatizace domů a menších budov. Pro přenos povelů využívá radiový signál v licencovaném pásmu o frekvenci 868,3 MHz (typická pro automatizaci budov). Dosah jednotlivých modulů je omezen na 100m ve volném prostoru a 30m uvnitř budovy [19]. V případě že není přímé spojení mezi dvěma moduly, lze dosah signálu prodloužit, neboť systém XComfort je vybaven patentovanou technologií tzv. routingem, jež je založena na předávání povelů mezi jednotlivými moduly, dokud není nalezen správný příjemce. Při komunikaci je vyhledáno nejkvalitnější spojení a vybrána optimální komunikační cesta. Vysoká spolehlivost přenosu povelů je zajištěna komunikací oběma směry tzn. aktor čeká na potvrzení povelu od senzoru, jinak se vyslání příkazu automaticky opakuje.

Jako je u podobných uzavřených systémů obvyklé, lze systém jednoduše nastavit pomocí PC, kde se jednoduše vytvoří grafické schéma zapojení celého systému.

Rozsah použitelnosti je díky zmiňované technologii ratingu téměř neomezený. Tento systém pokrývá všechny základní požadavky na řízení budov a domácnosti (osvětlení, vytápění apod.). Proto je vhodný pro instalaci v domech, rekonstrukce v panelových domech nebo jako flexibilní řešení kancelářských prostor.

5 Realizace stmívače

V rámci této práce jsem navrhnul čtyř-kanálový regulátor osvětlení (stmívač) a dálkový ovladač. Pro vzájemnou komunikaci mezi těmito dvěma jednotkami jsem použil bezdrátový přenos pomocí infračerveného záření.

Obě jednotky jsou řízeny pomocí jednočipového mikrokontroléru, jež jsem zvolil osmibitový mikroprocesor ATMEL s jádrem 8051, neboť tato platforma je mi dobře známá a mám již nějaké zkušenosti s vývojem aplikací na této platformě. Mimo to vlastním vývojové prostředky pro návrh software a přenos mikroprogramu do procesoru.

Realizace stmívače se dá rozdělit na dvě základní části: návrh hardware a návrh programového vybavení.

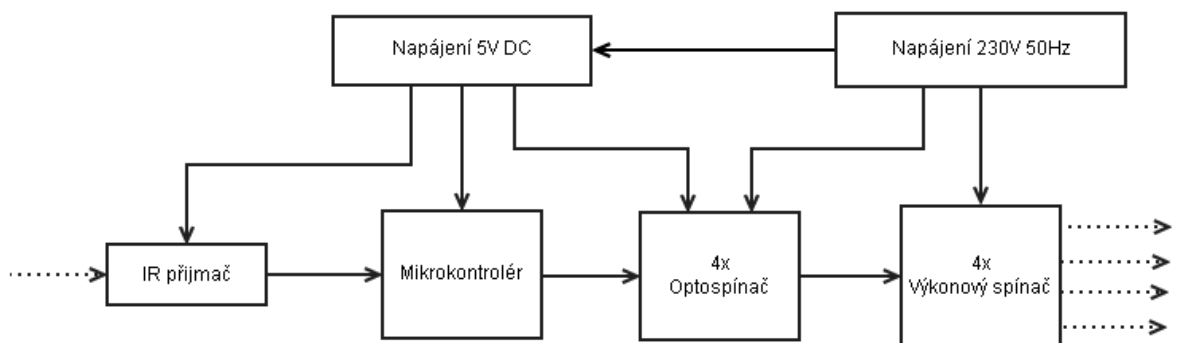
5.1 Návrh hardware

V této kapitole je popsán hardware obou částí stmívače, přičemž jsou podrobně rozebrány jednotlivé části obou zapojení, které jsou uvedeny v přílohách I.A a I.B.

Pro návrh schématu a plošného spoje jsem použil návrhový systém FORMICA 4.3, ze kterého jsem generoval veškeré výstupní soubory potřebné pro výrobu a osazení DPS, jež jsou uvedeny v přílohách I.B a II.B. Při návrhu jsem respektoval veškerá pravidla spojená se správným návrhem [20], především kritéria pro rozvod napájení a blokování číslicových obvodů. Také bylo nutné uvažovat správné umístění řídicí a výkonové části tak, aby nedocházelo k vzájemnému ovlivňování. Konstrukční třídu přesnosti jsem zvolil TP3, z čehož vyplývají parametry objektů na plošném spoji, především izolační vzdálenost, minimální šířka spoje a minimální rozměr pájecí plošky. Z důvodu dosažení kompaktních rozměrů jsem použil součástky technologie SMT s běžnou tolerancí.

5.1.1 Jednotka regulace

Mnou navržená koncepce regulátoru (stmívače) využívá principu fázového řízení triaku uvedeného v kapitole 3.2. Stmívač je primárně určen k regulaci intenzity osvětlení světelných zdrojů, jež mají charakter čistě odporové zátěže, což jsou klasické a halogenové žárovky nebo moduly LED diod. V případě vybavení regulátoru vhodným softwarem (možnost změny spínací hrany triaku) a zapojení několika dodatečných součástí (ve schématu zapojení značeny jako doplňkové), by jej bylo možné použít i pro regulaci výkonu zátěže s induktivním charakterem. Principiální funkci stmívače znázorňuje blokové schéma uvedené na obrázku 5.1.



Obrázek 5.1 Blokové schéma regulátoru

Jak je z blokového schématu patrné, stmívač funguje jako regulátor výkonu čtyř výkonových okruhů. Řízení stmívače zajišťuje mikrokontrolér a ovládán je pomocí dálkového ovladače, který pro přenos povelů používá IR záření.

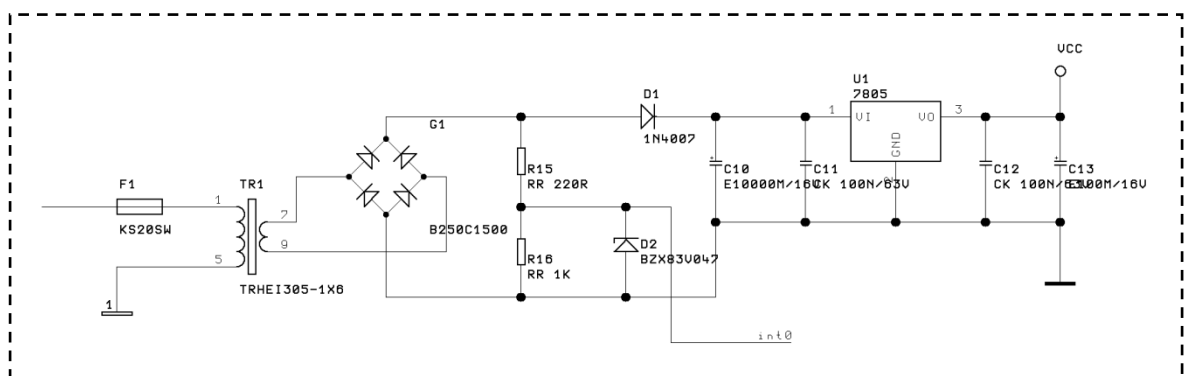
5.1.1.1 Napájení

Stmívač je plánováno používat v klasické elektroinstalaci osvětlení, kde je stále k dispozici elektrická napájecí síť. Výpadky napájení není nutné řešit, neboť při výpadku elektrické sítě „není co regulovat“.

Jak je patrné ze schématu zapojení, příloha I.A, stmívač je napájen síťovým napětím 230V 50Hz, které je jednak použito pro napájení čtyř okruhů výkonových spínačů (triaků), a také pro napájení řídicí části.

Napájecí zdroj řídicí části ilustruje obrázek 5.2. Je konstruován jako galvanicky izolovaný od rozvodné sítě pomocí transformátoru, jenž je na primární straně jištěn proti zkratu pojistkou. Napětí z transformátoru, jehož hodnota je 7Vef, je dvoucestně usměrněno, pomocí kondenzátoru C10 vyhlazeno a následně stabilizováno na hodnotu 5V DC.

Pro usměrnění jsem zvolil dvoucestný usměrňovač v můstkovém zapojení a pro stabilizaci napětí jsem použil lineární stabilizátor napětí 78L05 v katalogovém zapojení [23]. Dimenzování filtračních a kompenzačních kondenzátorů je provedeno pro hodnotu impulzního odběru 1A, při povoleném maximálním zvlnění 2%.

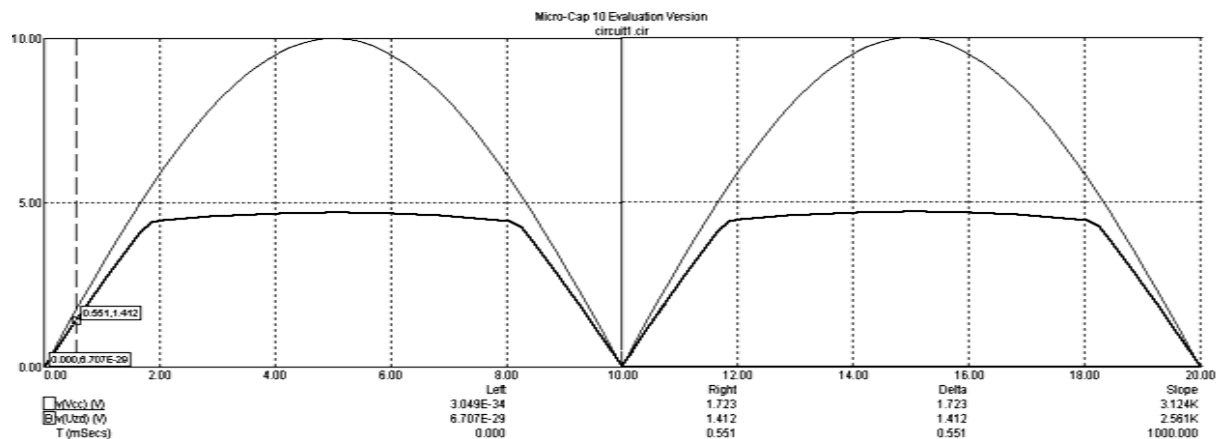


Obrázek 5.2 Napájení řídicí části stmívače

5.1.1.2 Detekce průchodu nulou

Pro zajištění vhodného spínání triaků je nutné správně indikovat průchod síťového napětí nulou. K tomuto účelu s výhodou využívám průběhu napětí za dvoucestným usměrňovačem, který po úpravě přivádím jako signál na vstup vnějšího přerušení procesoru.

Vzhledem k hodnotě transformovaného napětí, 7V_{ef}, je nutné toto napětí, před přivedením ke vstupu procesoru vhodně upravit, viz. Obrázek 5.2. Pro omezení maximální hodnoty signálu využívám Zenerovu diodu D2, jež má hodnotu Zenerova napětí 4,7V. Napěťový dělič z rezistorů R15 a R16 slouží pro nastavení strmosti náběžné/doběžné hrany výsledného signálu tedy i rychlosti průchodu přes rozhodovací úroveň, jež má u obvodů CMOS hodnotu $\frac{1}{2} U_{cc}$, tedy 2,5V. Tímto nastavením děliče je ovlivněno zpoždění detekovaného průchodu nulou oproti skutečnému průchodu síťového napětí nulou. Toto zpoždění dosahuje hodnoty přibližně 0.5 ms, což je hodnota přijatelná vzhledem k prodlevě reakce mikrokontroléru a vyvolání obslužné rutiny přerušení. Případnou nepřesnost lze softwarově kompenzovat. Průběh signálu přiváděného na vstup procesoru s vyznačeným zpožděním je vyobrazen na obrázku 5.3, přičemž se nejedná o skutečně naměřený průběh napětí, nýbrž o simulaci v programu Micro-Cap 10 [24].



Obrázek 5.3 Průběh signálu detekce průchodu nulou

Tento snímací meziobvod musí být oddělen diodou D1 od filtračního kondenzátoru C10, neboť jeho vlivem by byl průběh napětí za transformátorem vyhlazen a tedy nepoužitelný pro účel detekce.

5.1.1.3 IR přijímač

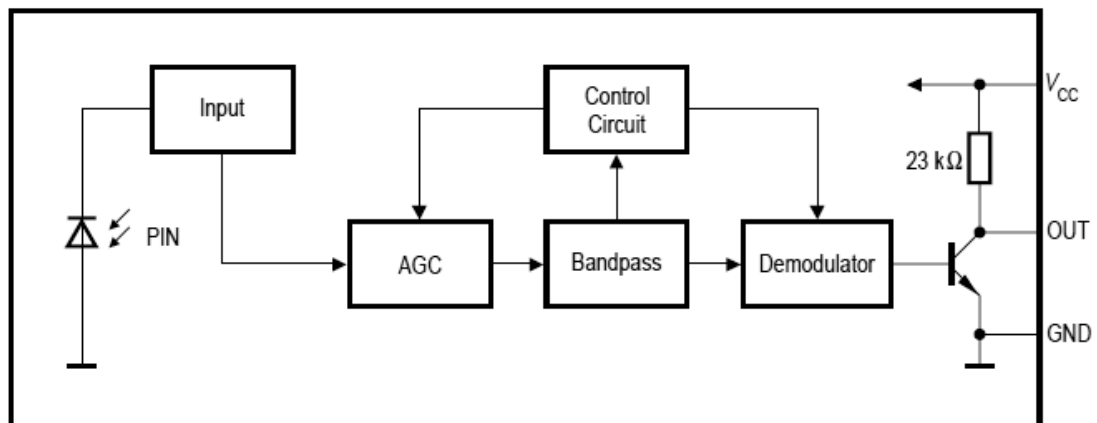
Před zpracováním signálu z IR ovladače je nutné nejprve tento signál přijmout a dekódovat. K tomuto účelu je k dispozici celá řada součástek od různých výrobců.

Pro mou práci jsem zvolil přijímač SFH5110, jehož blokové schéma je na obrázku 5.4. Jedná se o součástku pro příjem a dekódování povelů IR záření. V jednom pouzdře je integrována funkce přijímací PIN diody, zesilovače, frekvenčního filtru a demodulátoru.

Přijímané IR záření je PIN diodou převedeno na elektrický signál, který je zesílen a následně vstupuje do frekvenčního filtru, typu pásmová propust' s úzkou propustnou

charakteristikou, který je pevně naladěný na daný kmitočet. Zde se ze signálu odstraní neúčinné složky (zejména denní světlo) a zamezí se tak jejich dalšímu průchodu, tzn. složky na jiných frekvencích, než je stanovená, pevně naladěná frekvence filtru neprojdou filtrem dále. Na konci řetězce je zařazen demodulátor, kde se, již upravený, signál demoduluje. Na výstup tohoto přijímače se dostává signál v podobě datového toku shodného s protokolem RS232, ovšem v invertované podobě. Této vlastnosti lze s výhodou využít při dalším zpracování signálu.

Z důvodu minimalizace příjmu nežádoucího signálu a chybovosti je celý obvod zalit do plastového pouzdra, jež je průhledné pouze pro světlo vlnových délek v oblasti IR záření.

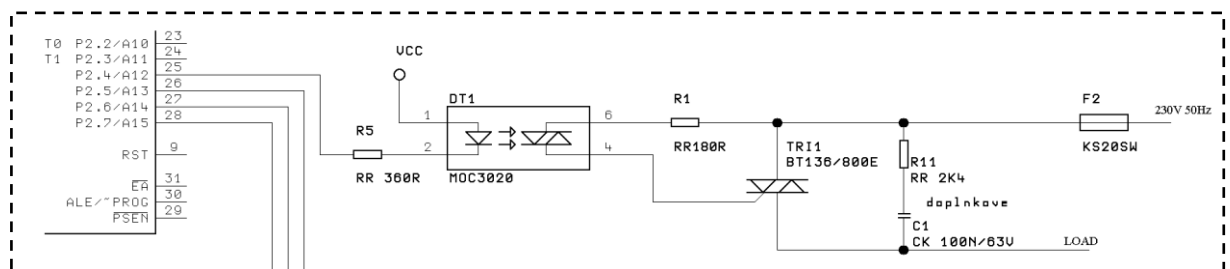


Obrázek 5.4 Blokové schéma přijímače SFH5110 [25]

V mé koncepci stmívače je obvod SFH5110 zapojen dle doporučení výrobce [25], kde je doporučeno zařadit na přívod napájení jednoduchý RC filtr pro omezení případného rušení a také omezit proud z výstupu přijímače.

5.1.1.4 Výkonová část

Zapojení jedné sekce výkonové části ilustruje obrázek 5.5. Ta je od části řídicí elektricky oddělena pomocí optotriaku MOC3020 [30], který je použit v katalogovém zapojení [31] ke spínání výkonového triaku BT136/600E [32], více o tomto obvodu v kapitole 5.1.1.7.



Obrázek 5.5 Schéma zapojení jedné sekce výkonové části

Vstupní proud optotriaku je omezen rezistorem R5 na hodnotu 10 mA neboť napětí U_{cc} má hodnotu 5V DC a napětí v propustném směru na diodě optotriaku dosahuje hodnoty 1,4. Rezistor R1 slouží k omezení proudového impulsu do řídicí elektrody výkonového triaku, přičemž hodnota rezistoru R1 je volena s ohledem na hodnotu přídržného proudu I_h i proudu vratného I_r . Triak je dimenzován na napětí 600V při trvalém proudu 6A, což jsou hodnoty pro běžná svítidla s rezervou dostačující. Součástky R11 a C1 jsou přípravou pro spínání zátěže induktivního charakteru. V případě spínání odporové zátěže se tyto součástky nezapojí, proto jsou ve schématu označeny jako „doplnkové“. Všechny sekce výkonové části jsou jištěny proti zkratu společnou pojistkou F2, a pro jejich napájení je využito síťové napětí 230V 50Hz. Výstupy jednotlivých sekcí jsou vyvedeny na svorkovnici K2, kam se připojí jednotlivé světelné zdroje.

5.1.1.5 Řídicí část

Jak je patrné ze schématu zapojení, viz příloha I. A jádrem regulátoru je procesor ATMEL AT89S8253. Podrobnější informace o tomto obvodu uvádím v části 5.1.1.6.

Procesor zabezpečuje především spínání čtyř výkonových sekcí popsanych výše. K zajištění přiměřeně přesného fázového řízení těchto výkonových okruhů je nutné indikovat průchod spínaného síťového napětí nulou. K tomuto účelu jsem použil zmíněný detektor průchodu nulou, jehož výstupní signál je přiveden na vstup mikrokontroléru P3.2, který je vstupem vnějšího přerušení a umožňuje vyvolat obslužnou rutinu přerušení při změně logické úrovně. Vlastní spínání jednotlivých výkonových sekcí se provádí, nezávisle na sobě, proudovým impulzem do řídicí elektrody triaku, potažmo napěťovým impulzem na vstupní diodě optotriaku. Délku tohoto impulsu jsem zvolil 100us, což odpovídá údajům uvádějící výrobce [32]. Z hlediska funkcionality a do jisté míry i bezpečnosti se ukázalo výhodné připojit řídicí části výkonových sekcí k mikroprocesoru tak, aby po resetu mikrokontroléru byly v neaktivní úrovni, tedy v log1.

Kromě uvedené činnosti, spínání výkonových prvků, mikroprocesor zajišťuje i zpracování dat z optického přijímače a tvarovače signálu SFH5110, jehož výstupní signál je připojen na pin P3.0, což je vstup Rx sériového rozhraní UART, jehož obslužná rutina zajišťuje patřičné zpracování přijímaných dat.

Při návrhu hardware stmívače jsem pamatoval i na vývoj software, a proto jsem vyvedl vodiče potřebné pro rozhraní ISP (In system programming)[27], které umožňuje programování přímo v aplikaci. Není tedy nutné vyjmát mikroprocesor z obvodu a vkládat jej do patice programátoru při každém programování. Programátor se pomocí rozhraní ISP pouze

propojí s vyvíjenou aplikací, které toto rozhraní obsahuje.

Konektor pro rozhraní ISP je zapojen dle [33]. Zapojení a význam jednotlivých vodičů ilustruje tabulka 5.1. Zdvojení vodičů pro napájení je provedeno z důvodu minimalizace indukčnosti vedení. Mezi vývod CLK (P1.7) a GND je vhodné připojit kondenzátor o hodnotě alespoň 22pF pro potlačení zákmitů vedení [33].

Tabulka 5.1 Rozložení a význam vývodů rozhraní ISP

Číslo pinu	Označení	Význam
1	MOSI (P1.5)	Master Out-Slave In Sériový vstup dat do mikroprocesoru
2		nezapojen
3	CLK (P1.7)	Serial Clock Sériové hodiny - synchronizace komunikace
4	RST	Reset - nulování mikroprocesoru
5,6	Vcc	Napájení +5V
7,8,10	Gnd	Napájení Gnd
9	MISO (P1.6)	Master In-Slave Out Sériový výstup dat z mikroprocesoru

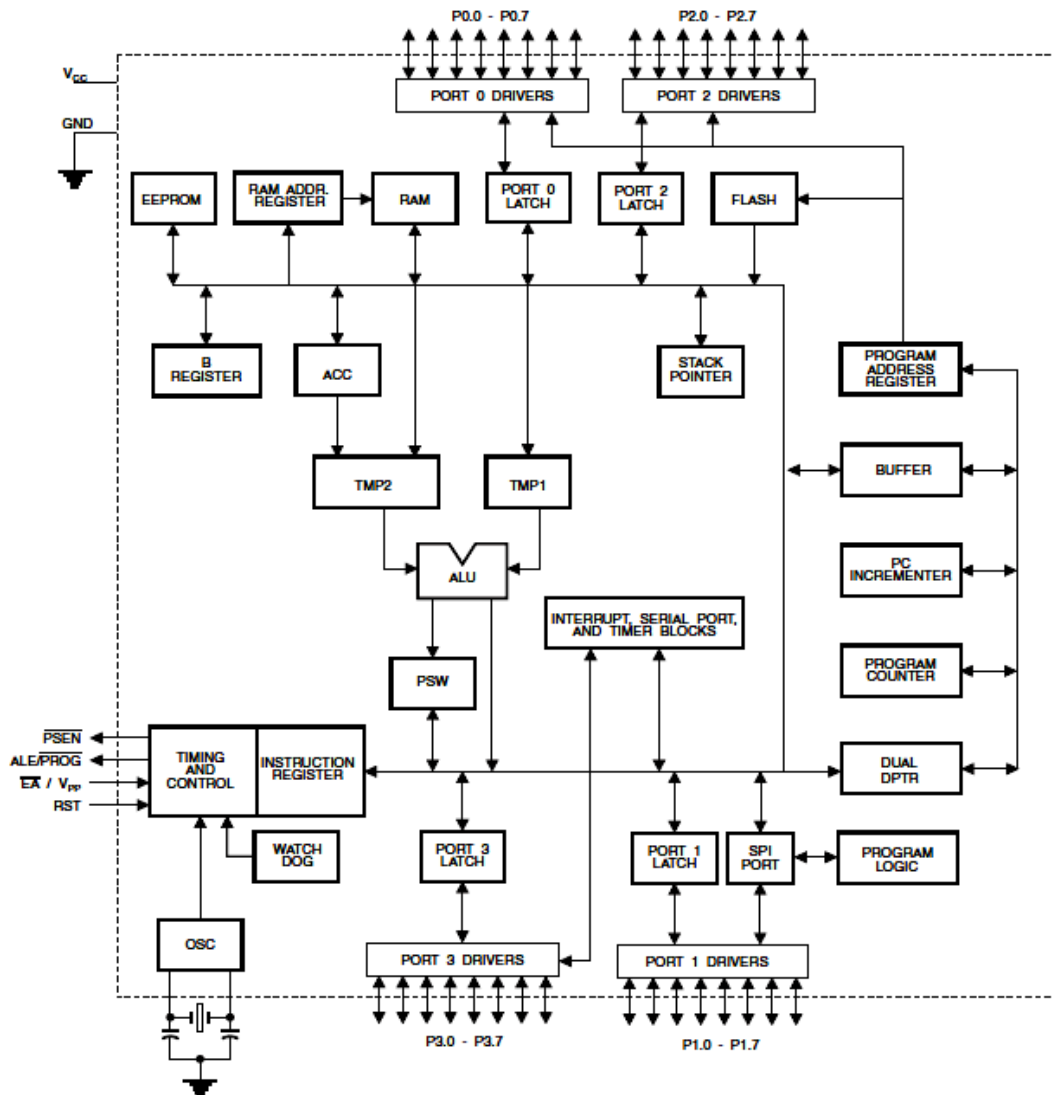
Pro budoucí rozšíření stmívače je vyveden port P0, přičemž jsou ke všem pinům tohoto portu připojeny externí pull-up rezistory, aby bylo možné tento port využívat jako vstupní.

Posledním připojeným hardware jsou dvě LED diody, které se využívají pro indikaci příjmu povelu od dálkového ovladače a libovolného dalšího stavu stmívače.

5.1.1.6 Procesor ATMEL AT89S8253

Mikrokontrolér AT89S8253 vychází z procesoru Intel 8051 a je s ním plně kompatibilní, jak z hlediska instrukční sady, tak i z hlediska rozložení vývodů. Jedná se o nízkopříkonový CMOS, 8bitový mikrokontrolér s 12KB programové paměti, jejíž obsah lze nahrávat pomocí ISP rozhraní. Dále disponuje 2KB EEPROM datové paměti. Tento mikrokontrolér je vyroben s použitím nonvolativní paměťové technologie firmy Atmel, která dovoluje obvod programovat jak v klasických paralelních programátorech, tak i sériově přes rozhraní ISP.

Tento procesor, jehož vnitřní bloková struktura je vyobrazena na obrázku 5.5, vyžaduje pro svou činnost připojení vnějšího piezoelektrického krystalu a napájecího napětí [27].

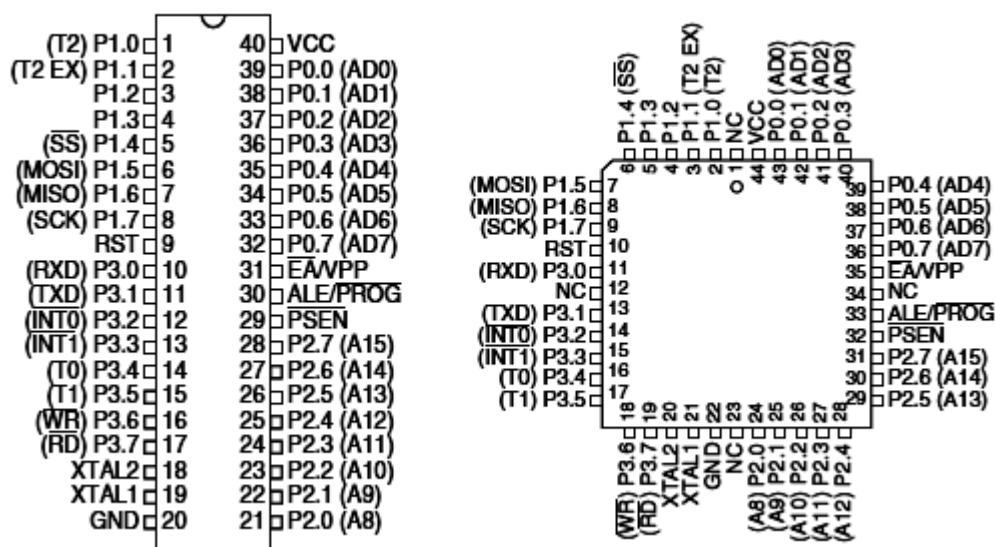


Obrázek 5.6 Vnitřní bloková struktura procesoru [27]

Mezi další základní vlastnosti tohoto obvodu patří:

- Hodinový kmitočet v rozsahu 0 až 24 MHz
- 32 vstupně/ výstupních linek k libovolnému použití
- 3 zabudované 16-ti bitové čítače/časovače
- Rozšířený sériový kanál (UART) s plným duplexem
- Rozšířené sériové rozhraní SPI, možnost čtení i zápisu
- 2 režimy sníženého příkonu (Idle a Power-down)
- Možnost práce v režimu 2x vyššího kmitočtu
- Programovatelný watchdog

Mikrokontrolér AT89S8253 je vyráběn v pouzdrech: DIP 40, PLCC 44 a PQFP/ TQFP 44. Rozložení vývodů pro pouzdro DIP 40 a PLCC 44 ukazuje obrázek 5.6.



Obrázek 5.7 Rozložení vývodů AT89S8253 a) pouzdro DIP 40 b) pouzdro PLCC 44

Popis vývodů:

Vývody **Ucc** a **GND** slouží k přivedení napájecího napětí v rozmezí 2,7 až 5,5 V.

Porty 0 až 4 procesoru fungují jako univerzální 8bitové vstupně/výstupní porty vybavené kromě portu 0 vnitřními zvyšovacími (Pull-up) odpory. Pokud je na určitý bit portu zapsána log 1, chová se jako vstup s vnitřním zvyšovacím odporem. Pokud jej použijeme jako výstup, může budit až 4 vstupy standardních TTL obvodů. Některé vývody portů 0 až 4 mají kromě standardní vstupně/výstupní i alternativní funkci [28]

Porty P0 a P2 jsou mimo standardní I/O funkce používány pro práci s vnější datovou pamětí. Některé vývody portu P1 a všechny vývody portu P3 poskytují přidavné funkce, viz tabulky 5.2 a 5.3.

Tabulka 5.2 Alternativní funkce vývodu portu P1[29]

Vývod	Alternativní funkce	Popis
P1.0	T2	vnější hodinový vstup resp. výstup čítače/časovače 2
P1.1	T2EX	spouštěcí vstup čítače/časovače 2 nebo vstup vnějšího přerušení
P1.4	SS	(Slave Select) výběr podřízeného obvodu SPI
P1.5	MOSI	(Master Out/Slave In) výstup řídicího obvodu, vstup řízeného obvodu SPI, pouze pro sériový download
P1.6	MISO	(Master In/Slave Out) vstup řídicího obvodu, výstup řízeného obvodu SPI, pouze pro sériový download
P1.7	SCK	(Serial Clock) hodinový signál SPI, pouze pro sériový download

Tabulka 5.3 Alternativní funkce vývodů portu P3[29]

Vývod	Alternativní funkce	Popis
P3.0	RxD	vstup sériového kanálu
P3.1	TxD	výstup sériového kanálu
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$	vstup vnějšího přerušení 0
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$	vstup vnějšího přerušení 1
P3.4	T0	vnější vstup čítače/časovače 0
P3.5	T1	vnější vstup čítače/časovače 1
P3.6	$\overline{\text{WR}}$	strobovací signál pro zápis do vnější datové paměti
P3.7	$\overline{\text{RD}}$	strobovací signál pro čtení z vnější datové paměti

RST je nulovací vstup. Připojením log 1 na tento vstup alespoň na dobu dvou strojních cyklů, dojde k resetu mikrokontroléru. Nulovací vstup se používá i v rozhraní SPI.

ALE/ PROG má dvě funkce:

Při normální funkci se označuje jako ALE (Adress Latch Enable). Tento signál má konstantní kmitočet, odvozený jako 1/6 hodinového signálu, a lze jej požit pro externí časování nebo jako pomocný zdroj hodinového signálu. Především se ale používá při práci s externí pamětí, kdy určuje, zda je na portu P0 přítomna adresa nebo data. Pokud je to nutné lze ALE deaktivovat v SFR registru AUXR. Při paralelní programování se tento vývod označuje jako PROG a používá se pro potvrzení adresy a dat při programování jedné buňky.

PSEN (Program Strobe Enable) je používán jako strobovací signál při čtení z vnější paměti programu.

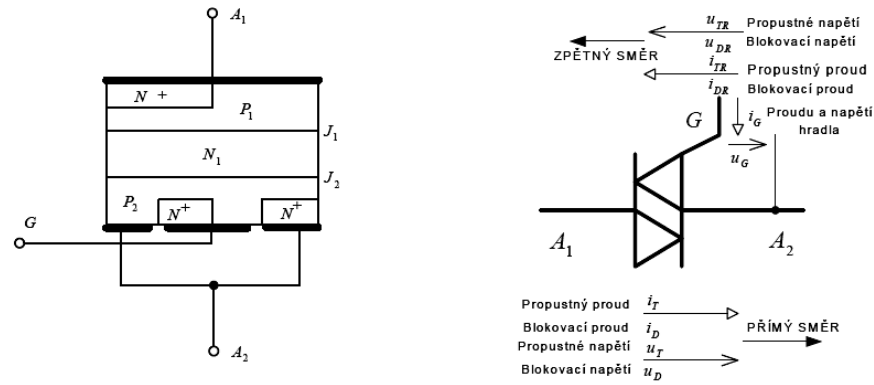
EA/Upp má dvě funkce:

Při normální práci se označuje jako EA (Externa Access enable). Je-li EA = 0, provádí mikrokontrolér program z vnější paměti programu. Pokud má ale program běžet z vnitřní FLASH, musí být EA = 1. Při paralelním programování se tento vývod označuje jako Upp a slouží k přivedení programovacího napětí 12V.

XTAL1, XTAL2 jsou použity pro připojení krystalu nebo vnějšího zdroje synchronizace.

5.1.1.7 Triak

Triak patří mezi moderní výkonové polovodičové součástky určené ke spínání střídavého napětí. Jeho struktura, vyobrazená na obrázku 5.8.a), obsahuje pět vrstev polovodičů ve složení NPNPN. Triak lze funkčně zaměnit s dvojicí antiparalelně zapojených tyristorů. Tomu také odpovídá schematická značka zobrazená na obrázku 5.8 b). Kromě řídicí elektrody G má triak dvě anody: A1 a A2, přičemž A1 je ve struktuře blíže řídicí elektrodě.



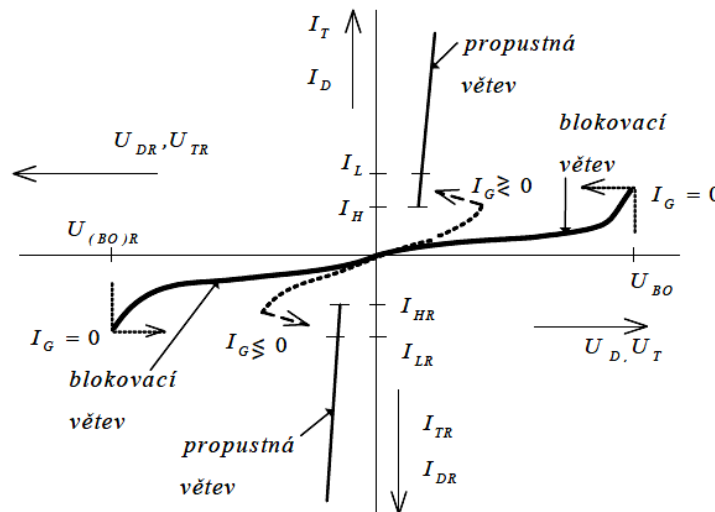
Obrázek 5.8 Polovodičová struktura a) a schematická značka b) triaku [35]

Vzájemná kombinace polarity řídicího a anodového napětí dává čtyři možnosti spínání triaku dle tabulky 5.4. Přitom řídicí elektroda má ve struktuře takové uspořádání, že lze triak spínat proudem jak kladné tak i záporné polarity, a to při obou polaritách napětí na elektrodách A1, A2 [34].

Tabulka 5.4 Možnosti spínání triaku [35]

1.	$U_D > 0$	$U_G > 0$	$I_G > 0$	Vhodný způsob zapínání
2.		$U_G < 0$	$I_G < 0$	Vhodný způsob zapínání
3.	$U_{DR} > 0$	$U_G > 0$	$I_G > 0$	Nevhodný způsob zapínání
4.		$U_G < 0$	$I_G < 0$	Vhodný způsob zapínání

Přesnější informace o chování triaku nám nabídnou výstupní V-A charakteristiky vyobrazené na obrázku 5.9. Tyto charakteristiky tvoří soustavu symetrických křivek, jejichž parametrem je proud řídicí elektrodou I_{GT} . Z obrázku je patrné, že tyto charakteristiky jsou souměrné podle obou os, z čehož plyne, že triak je součástkou symetrickou.



Obrázek 5.9 Výstupní V-A charakteristiky [35]

Charakteristiky lze rozdělit na tři části a to oblast blokovací, oblast s diferenciálním odporem a propustnou oblast, viz obrázek 5.9. Blokovací oblast charakteristiky začíná u nulového napětí U_D a končí u průrazného napětí U_{B0} . Tvar blokovací charakteristiky určuje velikost zapínacího proudu řídicí elektrody I_G , který se udává v efektivní hodnotě střídavého proudu. V této části charakteristiky představuje triak vysoký odpor a propouštěný proud je velmi malý. Přes oblast diferenciálního odporu přechází charakteristika do propustné oblasti. V této části charakteristiky představuje triak malý odpor, a proto musí být procházející proud omezen zátěží. V této oblasti je důležitý vratný proud I_L , který musí téci mezi hlavními elektrodami A_1 a A_2 , aby při odpojení řídicí elektrody zůstal triak sepnutý. Přídržný proud I_H udává hodnotu, pod kterou nesmí klesnout proud triakem, aby se udržel v sepnutém stavu.

K sepnutí triaku může dojít několika způsoby:

- překročením průrazného napětí, což je jev většinou nežádoucí, protože může dojít k poškození triaků s vysokým závěrným napětím.
- proudovým pulsem řídicí elektrodou, to je nejčastěji používaný způsob spínání.
- sepnutí kapacitním proudem, při určité kritické strmosti narůstání napětí na triaku může kapacitní proud dosáhnout takové hodnoty, že způsobí sepnutí. Tento způsob spínání je sice rychlejší, než impulzy do řídicí elektrody, ale v praxi se mu snažíme spíše zabránit.

Na spínací dobu triaků mají vliv stejné veličiny jako u tyristorů, uplatňuje se amplituda spínacího pulzu, velikost blokovacího napětí, strmost pulzů.

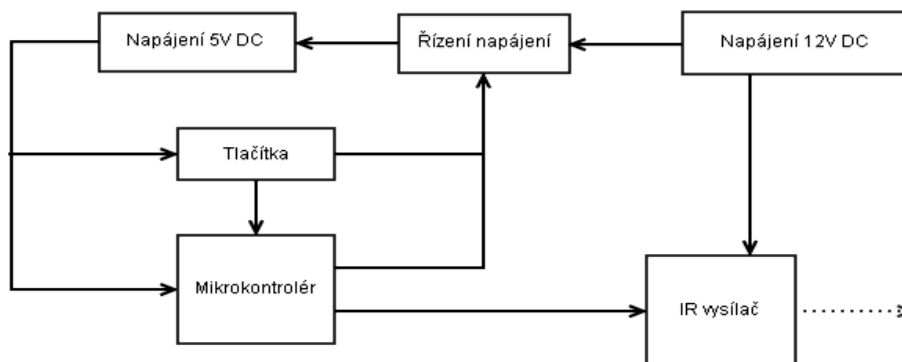
Při vypínání je nutné odčerpat volné nosiče z jednotlivých vrstev. Toto se většinou dosahuje přiložením napětím opačné polarity, než mělo napětí, které vyvolalo průchod propustného proudu (triak pracuje v obvodu střídavého proudu).

Z dosavadního je zřejmé, že triak slouží v obvodech střídavého proudu, protože je schopen vést proud oběma směry. Nejčastěji se používá k řízení výkonu spotřebičů, zapojených v elektrorozvodné síti. Přitom vyhovuje jak pro jednofázový tak i pro tří fázový proud.

Bohužel má triak i nepříznivou vlastnost. Prostřednictvím řídicí elektrody se dostává fázové napětí k řídicímu obvodu. Z tohoto důvodu je nutné vhodným způsobem galvanicky oddělit tuto část řídicího obvodu s nejbližšími součástkami, od zbylé části obvodu.

5.1.2 Dálkový ovladač

Dálkový ovladač v podstatě zajišťuje funkci uživatelského rozhraní, pomocí nějž je ovládána funkce stmívače. Ovládání se provádí pomocí příkazů, které jsou z dálkového ovladače vysílány pomocí IR záření. Na obrázku 5.10 je ilustrováno blokové schéma přijímače s vyznačením rozdělení napájení, z něhož je patrná funkčnost dálkového ovladače. Pro jeho řízení je použit stejný typ mikrokontroléru, jež je popsán v kapitole 5.1.1.6.



Obrázek 5.10 Blokové schéma dálkového ovladače

5.1.2.1 Napájení

Jelikož dálkové ovladače mají zvýšené požadavky na mobilitu, zvolil jsem jako zdroj napájení baterii formátu 6F22 s nominální hodnotou napětí 12V a kapacitou 1,2Ah. Toto řešení jsem zvolil s ohledem na minimalizaci rozměrů dálkového ovladače a na dostatečnou kapacitu baterie, neboť při vysílání IR záření dosahuje impulzní proud hodnoty až 1A.

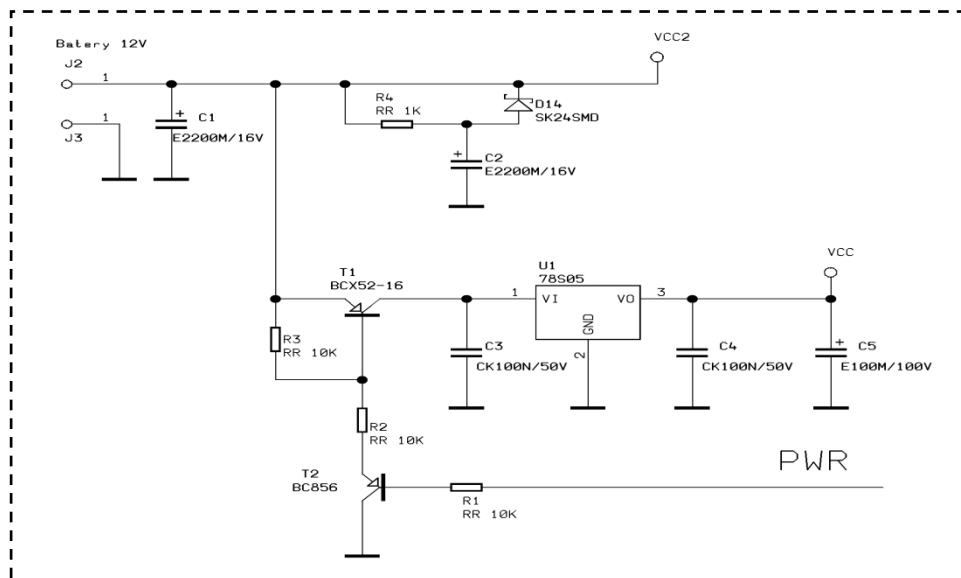
Na obrázku 5.11 je znázorněno napájení dálkového ovladače. Bezprostředně za zdroj napájení (baterie) jsem zapojil filtrační kondenzátor s hodnoty kapacity 2,2 mF, jež plní především funkci kondezátoru kompenzačního. Následně se napájení dělí na dvě části:

- část pro IR vysílač, kde je hodnota napětí 12V
- část pro řídicí a ovládací prvky, kde má napětí hodnotu 5V

Napájení pro část IR vysílače má hodnotu 12V, neboť, jak je ze schématu zapojení dálkového ovladače viz příloha I.B patrné, pro vysílání IR signálu využívám tři v sérii zapojené IR LED, jejichž napětí v propustném směru dosahuje v součtu hodnoty $3 \times 1,4V$ [37]. Této hodnoty by nebylo možné, v případě použití napájecího napětí 5V, dosáhnout, neboť špičkový odebíraný proud dosahuje hodnoty 1A. Tato vysoká hodnota proudu zapříčiní pokles napájecího napětí zdroje až o 60%, neboť jako zdroj je použita baterie, jež má charakter měkkého zdroje proudu. Z důvodu minimalizace poklesu napětí zdroje jsem do části

napájení pro IR vysílač umístil další kompenzační kondenzátor s hodnoty kapacity 2,2 mF, jež by měl sloužit jako „zabobník“ náboje pro pokrytí proudových špiček. Tento kondenzátor se v době, kdy se nevysílá, nabíjí přes rezistor R4, pomocí nějž je omezen nabíjecí proud. Při poklesu napětí, který nastane na začátku vysílání, o hodnotu 0,5V je vybitý přes Shottkyho diodu D14, která má hodnotu prahového napětí U_D právě 0,5V a zotavovací dobu t_{tr} v řádu us [38], což umožňuje velmi rychlé spínání IR LED. Pokud by byl k dispozici dostatečně tvrdý napájecí zdroj, nebylo by nutné R4 a D14 použít.

Pro napájení řídicí a ovládací části jsem použil společný zdroj napájení – 12V baterie. Toto napětí je stabilizováno pomocí lineárního stabilizátoru 78L05 v katalogovém zapojení [23] na hodnotu 5V. Následně je připojen skupinový kompenzační kondenzátor C5 a několik lokálních blokovacích kondenzátorů.



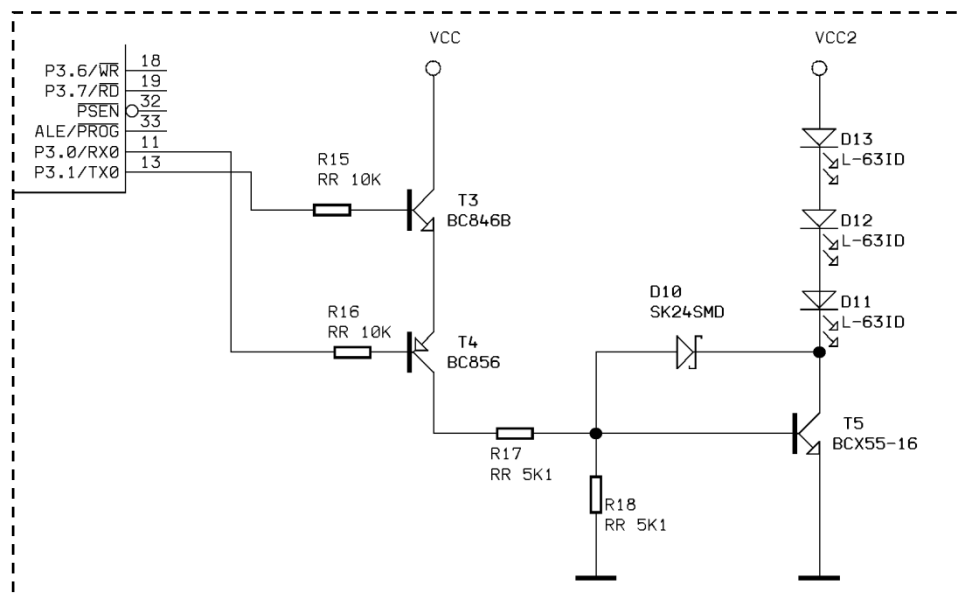
Obrázek 5.11 Napájení dálkového ovladače

S přihlédnutím na využívání dálkového ovladače, jehož funkce je v podstatě pouze odeslat požadovaný povel, a s ohledem na maximální výdrž baterie realizoval jsem tuto část napájení tak, aby napájení této části bylo dostupné pouze po tu dobu, kdy je povel dálkovým ovladačem vysílán. Tuto funkcionalitu jsem vyřešil vložením tranzistoru T1 na přívod stabilizátoru napětí U1, jež má maximální proudové zatížení $I_c = 1A$ [39], což je hodnota s rezervou postačující. Maximální přípustná hodnota napětí báze-emitor U_{BE} je u tranzistoru T1 stanovena na 5V [39]. Proto jsem použil odporový dělič z rezistorů R2 a R3, který tuto hodnotu vymezuje. Sepnutí/ rozeptnutí tranzistoru T1 se ovládá tranzistoru T2, jehož hodnota napětí U_{BE} se odvíjí od hodnoty napětí na řídicím vodiči označeném PWR. Tento řídicí vodič je připojen k pinu mikrokontroléru P2.4, který je nakonfigurován jako výstupní, a také ke všem čtyřem ovládacím tlačítkům, viz kapitola 5.1.2.3 uživatelské rozhraní. Tímto zapojením

řídícího vodiče PWR je zajištěno sepnutí napájení řídicí části vždy při požadavku na vyslání ovládacího povelu. Jakmile dojde k sepnutí napájení, zajišťuje úroveň napětí na vodiči PWR mikroprocesor, jehož činností dojde k opětovnému vypnutí napájení.

5.1.2.2 IR vysílač

Další částí dálkového ovladače je vysílač IR záření. V mé koncepci jsem nepoužil komerčně nabízené IR vysílače, především s ohledem na mnou použité kódování vysílaného IR signálu. Na obrázku 5.12 je znázorněno schéma zapojení pro vysílání IR signálu.



Obrázek 5.12 Schéma zapojení IR vysílače

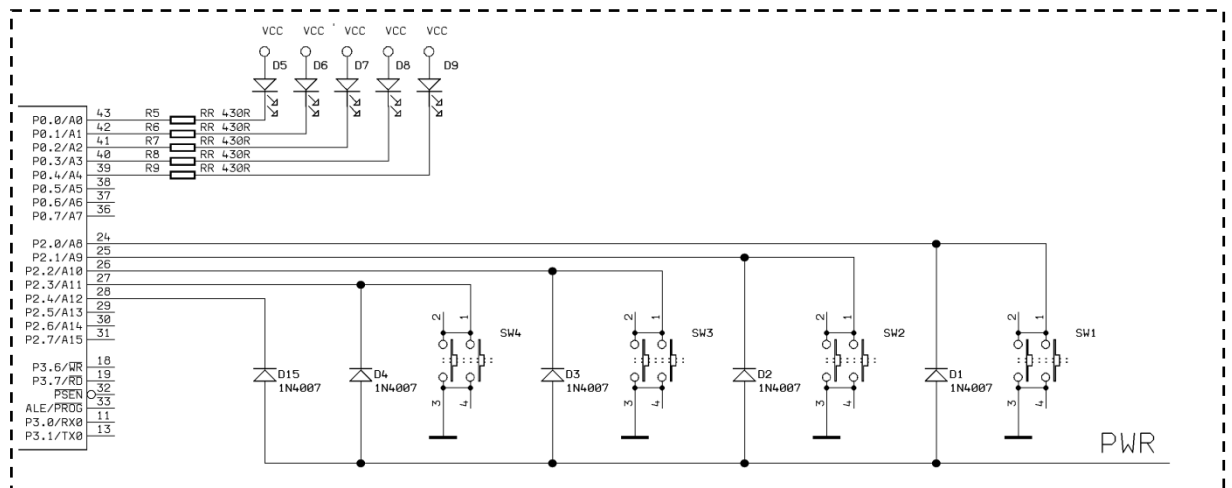
Samotné vysílání IR signálu zajišťuje trojice sériově zapojených IR LED D11, D12 a D13, které jsou spínány tranzistorem T5, jeho maximální proud báze je omezen rezistorem R17. Rezistor R18 slouží jako tzv. „vyprazdňovací“ odpor. Ten je zapojen mezi emitorem a bází tranzistoru T5 a slouží k rychlému odčerpání nosičů náboje z PN přechodu báze-emitor. Tím je zajištěna schopnost velmi rychlého spínání tranzistoru T5. Proud I_c tranzistoru T5 by měl být omezen rezistorem o hodnotě 78Ω na maximální hodnotu 1A [40], avšak s přihlédnutím na použitý zdroj napájení (baterie), který není schopen takto vysoký proud dodat, není nutné do obvodu kolektoru rezistor zařadit. Vzhledem k rozdílným potenciálům napětí použitých pro napájení IR LED a zbylé části obvodu (VCC a VCC2), je nutné použít diodu D10, jež je zapojena mezi bází a kolektor tranzistoru T5, k tomu, aby nedošlo k proniknutí vyššího potenciálu na bázi tranzistoru T5, což by vedlo k jeho zničení.

Před samotným vysláním IR signálu je třeba provést jeho modulaci. Na nosný kmitočet 38kHz generovaný tranzistorem T4, jež je spínán pinem mikrokontroléru P3.0, se moduluje datový tok přiváděný přes tranzistor T3, který je ovládán pinem mikrokontroléru P3.1.

Generování nosného kmitočtu i vytváření datového toku je v režii mikrokontroléru, tudíž není nutné k tomuto účelu používat žádné další obvody.

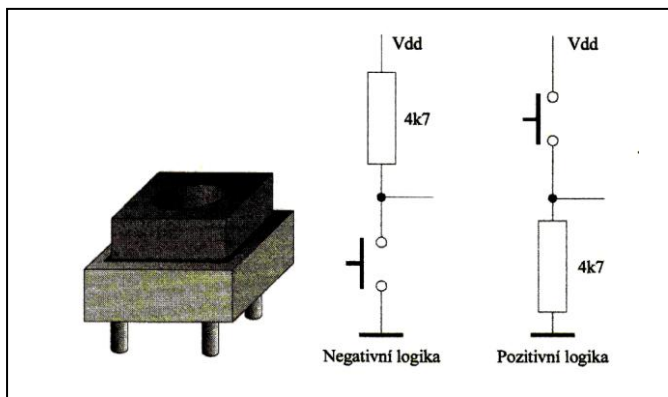
5.1.2.3 Uživatelské rozhraní

Poslední částí dálkového ovladače je rozhraní pro ovládání a jeho signalizaci uživateli. Za tímto účelem jsem vybavil dálkový ovladač čtveřicí mikrotláčitek, jejichž zapojení ilustruje obrázek 5.13, a několika signálními LED diodami pro indikaci ovládaného kanálu a aktivity vysílání povelu z ovladače.

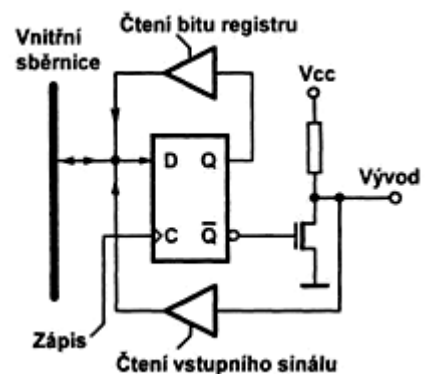


Obrázek 5.13 Schéma zapojení mikrotláčitek

Při připojování mikrotláčitek přímo na vstup mikrokontroléru, jsem se musel rozhodnout, zda budu používat pozitivní či negativní logiku zapojení [41] viz obrázek 5.14. Vzhledem k vnitřnímu zapojení I/O portu mikrokontroléru, obrázek 5.15, se ukázalo jako výhodnější, zapojit tlačítka v negativní logice, neboť není nutné připojovat zvyšovací (pull-up) rezistory, které již obsahuje I/O port mikrokontroléru, a také rezistory omezující vstupní proud jednotlivých bitů portu mikroprocesoru, je omezen též portem mikrokontroléru.

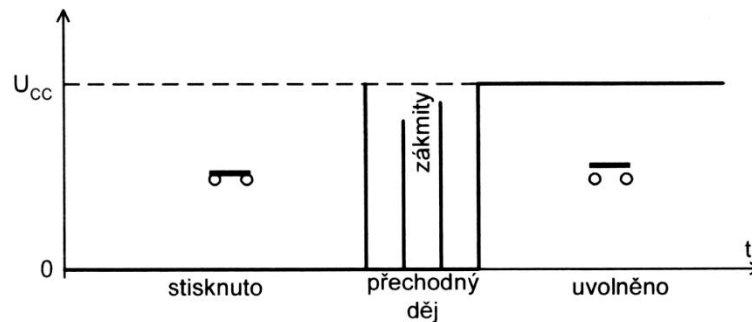


Obrázek 5.14 Přímé připojení tlačítek ke vstupu mikrokontroléru [41]



Obrázek 5.15 Vnitřní zapojení jednoho bitu portu P2 mikrokontroléru [28]

Tento způsob zapojení tlačítek je sice velice jednoduchý, ale má své úskalí v podobě neošetření zákmitů, jež vznikají při sepnutí kontaktů spínače, viz obrázek 5.16. Navzdory uvedenému nedostatku jsem se rozhodl tento způsob použít, neboť lze zákmity tlačítek ošetřit softwarově.



Obrázek 5.16 Průběh signálu při sepnutí a rozeptnutí tlačítka [42]

LED diody D5 – D8, připojené k portu P0 mikroprocesoru, signalizují uživateli číslo ovládaného kanálu a LED dioda D9 indikuje vysílání povelu pomocí IR vysílače. Proud v propustném směru všech LED diod je nastaven rezistory R5 – R9 na hodnotu 10 mA. Diody jsou zapojeny v režimu, kdy aktivní (spínací) úroveň je log0 na výstupu jednotlivých bitů portu P0.

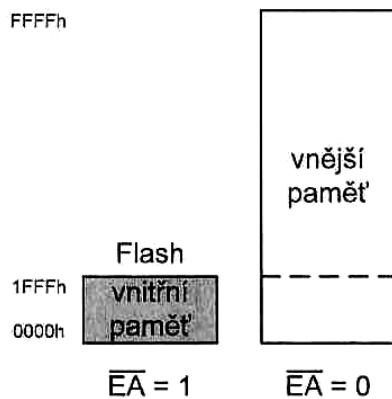
5.2 Návrh software

Pro realizaci programového vybavení regulátoru jsem zvolil vývojové prostředí Keil uVision IDE 4 verze 9.03 [43]. Pro přenos programu do procesoru používám programátor PROG51- ISP a nástroj WinPROG verze 6.01 [33]. Pro osvětlení vývoje software pro mikroprocesor AT89S8253 uvádím podkapitolu 5.2.1.

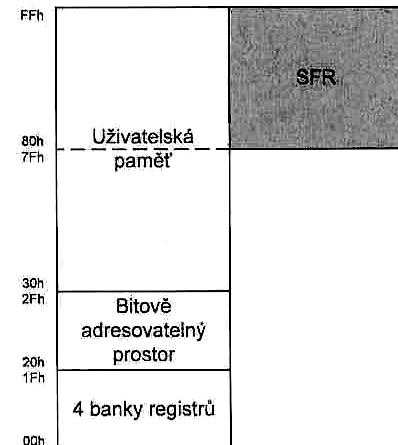
5.2.1 Programátorský model AT89S8253

Procesory řady 8051 používají harvardskou architekturu, která se vyznačuje odděleným paměťovým prostorem pro data a program. Paměťový prostor můžeme dále dělit na vnitřní, umístěný na čipu a vnější, který lze vytvořit pomocí dalších součástek. Použití vnitřního nebo vnějšího programového prostoru se řídí podle signálu EA, viz obrázek 5.17. Adresa 0000H je startovací adresa, kde musí být umístěna první instrukce programu. Některé vybrané adresy mají specifický význam, viz tabulka 5.5.

Překrývání vnitřního a vnějšího datového adresového prostoru je odstraněno tím, že přístup do každého prostoru je realizován pomocí rozdílných instrukcí.



Obrázek 5.17 Vnitřní a vnější paměťový prostor [29]



Obrázek 5.18 Rozdělení vnitřní datové paměti [29]

Na obrázku 5.18 je rozdělení vnitřní datové paměti včetně umístění speciálních registrů. Vnitřní datová paměť začíná blokem 4 bank registrů, volba banky se provádí pomocí bitů RS0 a RS1 registru PSW. Následuje bitově adresovatelný prostor o velikosti 16B. Další částí paměti je oblast, kterou lze libovolně využívat. Poslední částí je blok registrů speciální funkce (SFR). V prostoru vyhrazeném pro SFR, nejsou všechny adresy využité, neboť buňky s těmito adresami ani neexistují. Některé SFR, jejichž adresa je dělitelná osmi, jsou bitově adresovatelné.

Tabulka 5.5 Adresy se specifickou funkcí [29]

Adresa	Zdroj přerušení
0003h	vnější přerušení 0 (vstup $\overline{INT0}$)
000Bh	čítač/časovač 0
0013h	vnější přerušení 1 (vstup $\overline{INT1}$)
001Bh	čítač časovač 1
0023h	sériový kanál
002Bh	čítač/časovač 2 nebo vnější přerušení 2 (vstup T2EX)

Pro efektivní použití mikrokontrolérů v aplikacích je velice důležitá jejich schopnost reagovat na vnější událost. Tato reakce se nazývá přerušení. Mikrokontrolér AT89S8253 rozeznává celkem 8 zdrojů přerušení, viz obrázek 10.19. Jak je patrné z tabulky 5.5, většina obslužných rutin přerušení má svou zvláštní adresu v paměti programu.

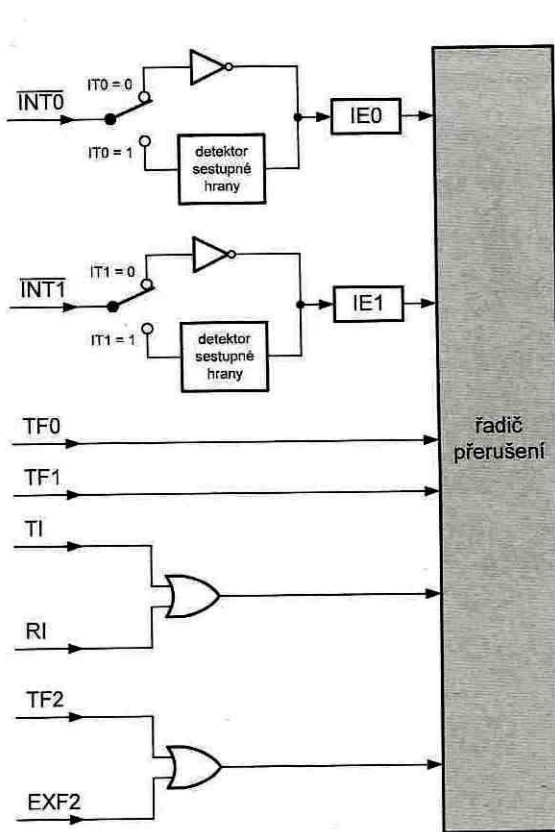
Pro práci s přerušením jsou primárně určeny registry IE a IP. Pro usnadnění práce s těmito registry, jsou oba bitově adresovatelné.

Registr IE – registr povolení přerušení

Povolení přerušení je řízeno pomocí registru IE (Interrupt Enable), viz obrázek 10.20.

Registr IP – registr priority přerušení

Pro větší variabilitu a pro případ že jsou aktivní dvě přerušení současně, lze každému přerušení přiřadit jednu ze dvou úrovní priority. K tomuto účelu slouží registr IP (Interrupt Priority), obrázek 5.21.



Obrázek 5.19 Zdroje přerušení [29]

7	6	5	4	3	2	1	0
EA	-	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0

- EA – povolení všech přerušení:
EA = 0 přerušovací systém je zablokován,
EA = 1 přerušovací systém je uvolněn
příjem jednotlivých přerušení je řízen bity ET2 až EX0
- ET2 – povolení přerušení od čítače/časovače 2 nebo T2EX
- ES – povolení přerušení od sériového kanálu
- ET1 – povolení přerušení od čítače/časovače 1
- EX1 – povolení přerušení od INT1
- ET0 – povolení přerušení od čítače/časovače 0
- EX0 – povolení přerušení od INT0

Obrázek 5.20 Registr IE [29]

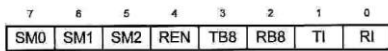
7	6	5	4	3	2	1	0
-	-	PT2	PS	PT1	PX1	PT0	PX0

- PT2 – priorita přerušení od čítače/časovače 2 nebo T2EX
- PS – priorita přerušení od sériového kanálu
- PT1 – priorita přerušení od čítače/časovače 1
- PX1 – priorita přerušení od INT1
- PT0 – priorita přerušení od čítače/časovače 0
- PX0 – priorita přerušení od INT0

Obrázek 5.21 Registr IP [29]

Pro konfiguraci zdrojů přerušení se používají registry **SCON**, který řídí sériový kanál, **TCON**, jež řídí čítače/časovače 0/1 a vnější vstupy přerušení 0/1 a registr **T2CON**, který souvisí s čítačem/časovačem 2. Význam jednotlivých bitů těchto registrů ilustrují obrázky 5.22 až 5.24. Všechny tyto registry jsou také bitově adresovatelné.

Pro práci s čítači je neméně důležitý registr **TMOD**, v kterém se nastavuje režim čítače/časovače. Popis jednotlivých bitů registru **TMOD** ilustruje obrázek 5.25 a princip činnosti v jednotlivých režimech obrázek 5.26.

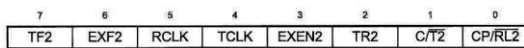


SM0, SM1 – režim sériového kanálu:

mód	SM0	SM1	režim	přenosová rychlost
0	0	0	8bitový posuvný registr	OSC/12
1	0	1	8bitový asynchronní přenos	čítač/časovač 1 nebo 2
2	1	0	9bitový asynchronní přenos	OSC/64 nebo OSC/32
3	1	1	9bitový asynchronní přenos	čítač/časovač 1 nebo 2

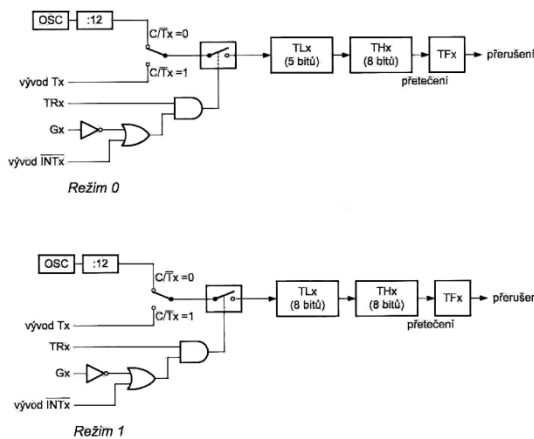
SM2 – povolení tzv. víceprocesorové komunikace
 REN – povolení příjmu
 TB8 – vyslaný 9. bit (v režimech 2,3)
 RB8 – přijatý 9. bit (v režimech 2,3)
 TI – indikace vyprázdnění vysílacího registru,
 RI – indikace naplnění přijímacího registru,

Obrázek 5.22 Registr SCON [42]

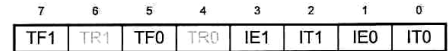


TF2 – indikace přetečení čítače/časovače 2
 EXF2 – vnější příznak čítače/časovače 2. Tento příznak je nastaven, pokud je vyvolán záchyt nebo reload sestupnou hranou T2EX (P1.1) při EXEN2 = 1.
 RCLK – povolení hodin přijímače
 TCLK – povolení hodin vysílače
 EXEN2 – povolení aktivace vstupem T2EX (P1.1)
 TR2 – spouštěcí bit čítače/časovače 2. Je-li TR2 = 1, je čítač/časovač 2 spuštěn. Je-li TR2 = 0, čítač/časovač 2 stojí.
 C/T2 – volba funkce: je-li C/T2 = 0, jedná se o časovač
 je-li C/T2 = 1, jedná se o čítač (reaguje na sestupnou hranu)
 CP/RL2 – výběr režimu input capture nebo auto-reload:
 CP/RL2 = 1 – input capture (setupná hrana T2EX při EXEN2 = 1 zachytí stav čítače/časovače 2 do registrů RCAP2L, RCAP2H)
 CP/RL2 = 0 – auto-reload (setupná hrana T2EX při EXEN2 = 1 provede reload z registrů RCAP2L, RCAP2H)
 Je-li RCLK = 1 nebo TCLK = 1, je tento bit ignorován a čítač/časovač 2 pracuje v auto-reload režimu (reload proběhne po přetečení)

Obrázek 5.24 Registr T2CON [42]

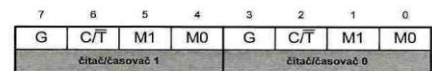


Obrázek 5.26 Režimy činnosti čítače/časovače 0/1



TF1 – indikace přetečení čítače/časovače 1; při přetečení je automaticky nastaven, po vstupu do obsluhy přerušení je automaticky vynulován
 TF0 – indikace přetečení čítače/časovače 0; při přetečení je automaticky nastaven, po vstupu do obsluhy přerušení je automaticky vynulován
 IE1 – indikace aktivace INT1
 IE0 – indikace aktivace INT0
 IT1 – volba způsobu aktivace INT1:
 IT1 = 0 citlivé na log. 0,
 IT1 = 1 citlivé na sestupnou hranu
 IT0 – volba způsobu aktivace INT0:
 IT1 = 0 citlivé na log. 0,
 IT1 = 1 citlivé na sestupnou hranu

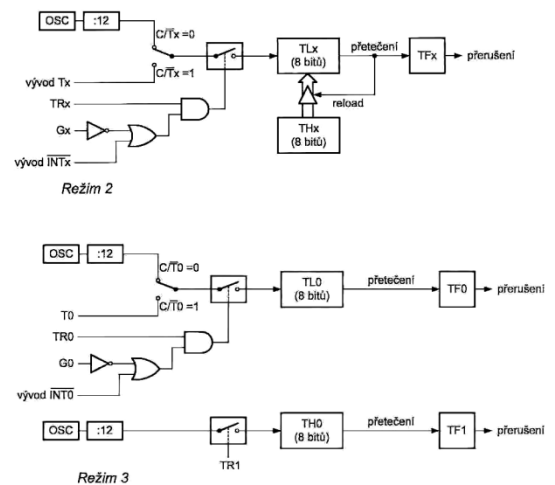
Obrázek 5.23 Registr TCON [29]



G – hradlování čítače/časovače:
 G = 0 je řízen pouze bitem TRx (TCON),
 G = 1 je řízen bitem TRx (TCON) a vstupem INTx,
 C/T – volba zdroje hodinového signálu:
 C/T = 0 hodiny z vnitřního zdroje (časovač),
 C/T = 1 hodiny z vnějšího zdroje (čítač)
 M1, M0 – režim čítače/časovače:

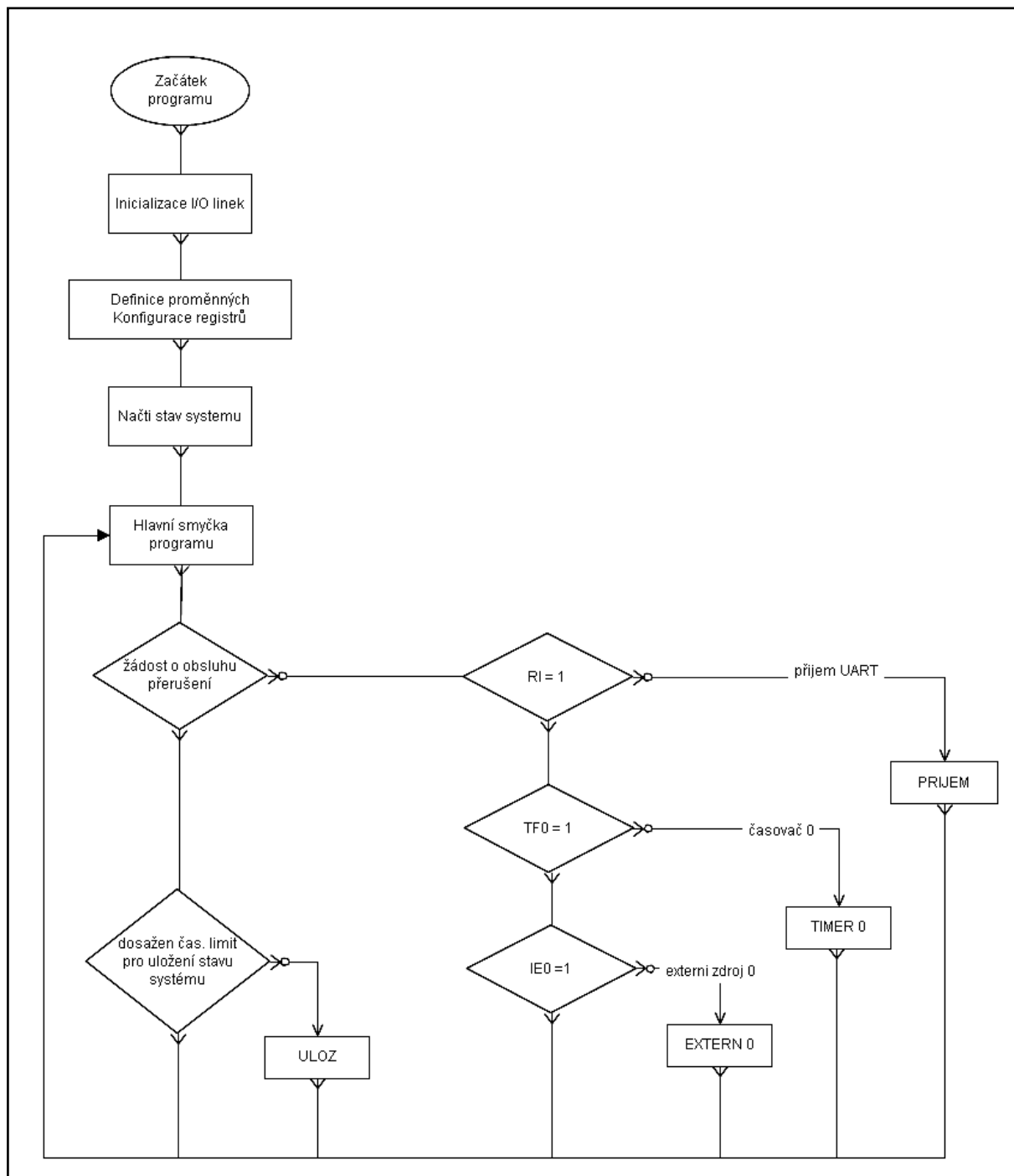
mód	M1	M0	režim
0	0	0	13bitový čítač
1	0	1	16bitový čítač
2	1	0	8bitový čítač s funkcí RELOAD
3	1	1	pracuje-li čítač/časovač 0 v režimu 3, lze čítač/časovač 1 použít pouze v aplikaci, která nepracuje s přerušením (například generátor přenosové rychlosti pro sériový kanál), TL0 řízen bity čítače/časovače 0, TH0 řízen bity čítače/časovače 1

Obrázek 5.25 Registr TMOD



5.2.2 Jednotka regulace

Na obrázku 5.19 je vyobrazen vývojový diagram programu jednotky regulace, z něhož plyne průběh programu.

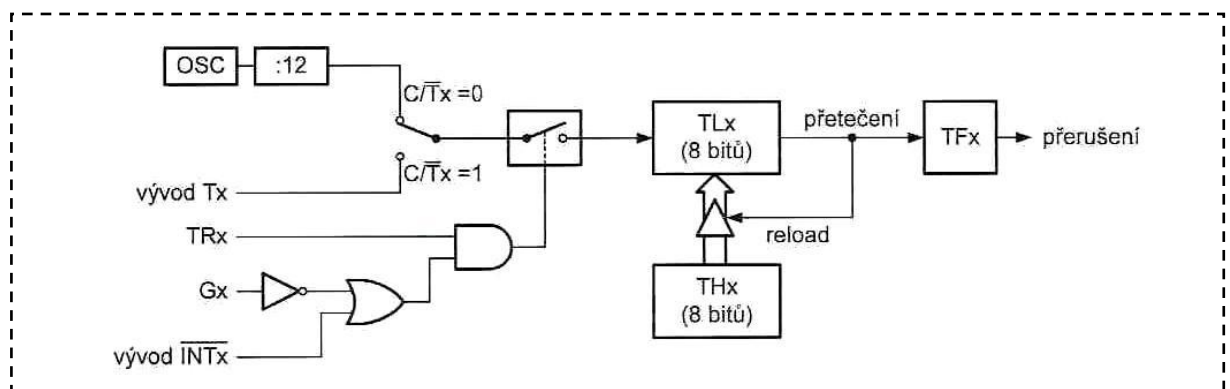


Obrázek 5.27 Vývojový diagram software jednotky regulace

Nejprve se provede deklarace a inicializace použitých vstupně/výstupních linek. Následuje deklarace použitých proměnných a konfigurace potřebných registrů. Jako poslední krok úvodní části se provede načtení stavu systému. Tuto rutinu jsem implementoval z

toho důvodu, aby při výpadku nebo odpojení napájecí sítě a jejím opětovném připojení byl regulátor spuštěn v poslední známé konfiguraci, neboť stav systému je ukládán do vestavěné paměti dat EEPROM. Poté již program setrvává v hlavní programové smyčce, kde čeká na žádost přerušení, a pravidelně, po uplynutí nastaveného časového intervalu, ukládá stav systému do vestavěné EEPROM na předem definované adresy.

Žádost o přerušení může mít několik příčin. Nejčastěji vyvolávaná obslužná rutina přerušení, obsluhovaná každých 10ms, je způsobena vstupem EX0. Jedná se o zdroj vnějšího přerušení 0, který indikuje průchod spínaného síťového napětí nulou. Jako aktivní hranu jsem zvolil hranu sestupnou, tzn. změna z log1 do log0. V této rutině je spouštěn čítač/časovač T0, který jsem nakonfiguroval do režimu 2, což je 8-bitový režim s přednastavením, jehož funkci znázorňuje obrázek 5.28. Tento režim se mi jevil jako nejvýhodnější, neboť má ze všech dostupných režimů nejmenší nároky na softwarovou obsluhu. Hodnotu přetečení čítače jsem zvolil na 100us, což je doba odpovídající délce spínacího impulsu pro jednu výkonovou sekci.



Obrázek 5.28 Princip činnosti čítače/časovače v režimu 2

Zdrojem druhého nejčastěji vyvolávaného přerušení je přetečení čítače/časovače 0. V této obslužné rutině se vykonává spínání jednotlivých výkonových okruhů (Chanel1- Chanel4) dle nastavených parametrů systému. Ke spínání je generován impuls, o délce 100 us a aktivní úrovni log0, na daném vývodu mikrokontroléru.

Posledním zdrojem přerušení je sestupná hrana IR přijímače, která vyvolá obslužná rutina sériového kanálu, kde dochází k příjmu a zpracování datového toku (povelu) z dálkového ovladače a následnému nastavení parametrů systému. Při dekódování povelu nesmím opomenout skutečnost, že přijatá data jsou bitově negována. Sériový kanál pracuje v módu 2, kdy se vysílá/přijímá 9 bitů dat a rychlost asynchronního přenosu je nastavena na 1/32 hodinového kmitočtu.

Struktura přijímaného/vysílaného povelu je znázorněna na obrázku 5.20 Pro číslo ovládaného kanálu jsem vyčlenil bity 0 až 2, zbylých 6 bytů obsahuje informaci o hodnotě

jasu právě ovládaného kanálu. Bohužel už v kódovém slově nezbylo místo pro budoucí rozšíření povelu o další funkce, nebo pro zabezpečení kódu proti možným chybám. Toto omezení lze odstranit v rozdělení kódového slova na dvě části, které by byly vysílány v sekvenci po sobě. Pomocí mnou zvoleného kódování povelu je při každém vysílání povelu z dálkového ovladače vyslána kompletní informace o stavu ovládaného kanálu. Nevýhodou tohoto typu kódování je jeho malá odolnost vůči rušení při vysílání /příjmu IR signálu.

Funkce	JAS						ID-KANÁLU		
Číslo bitu	8	7	6	5	4	3	2	1	0

Obrázek 5.29 Struktura vysílaného/přijímaného povelu

5.2.3 Dálkový ovladač

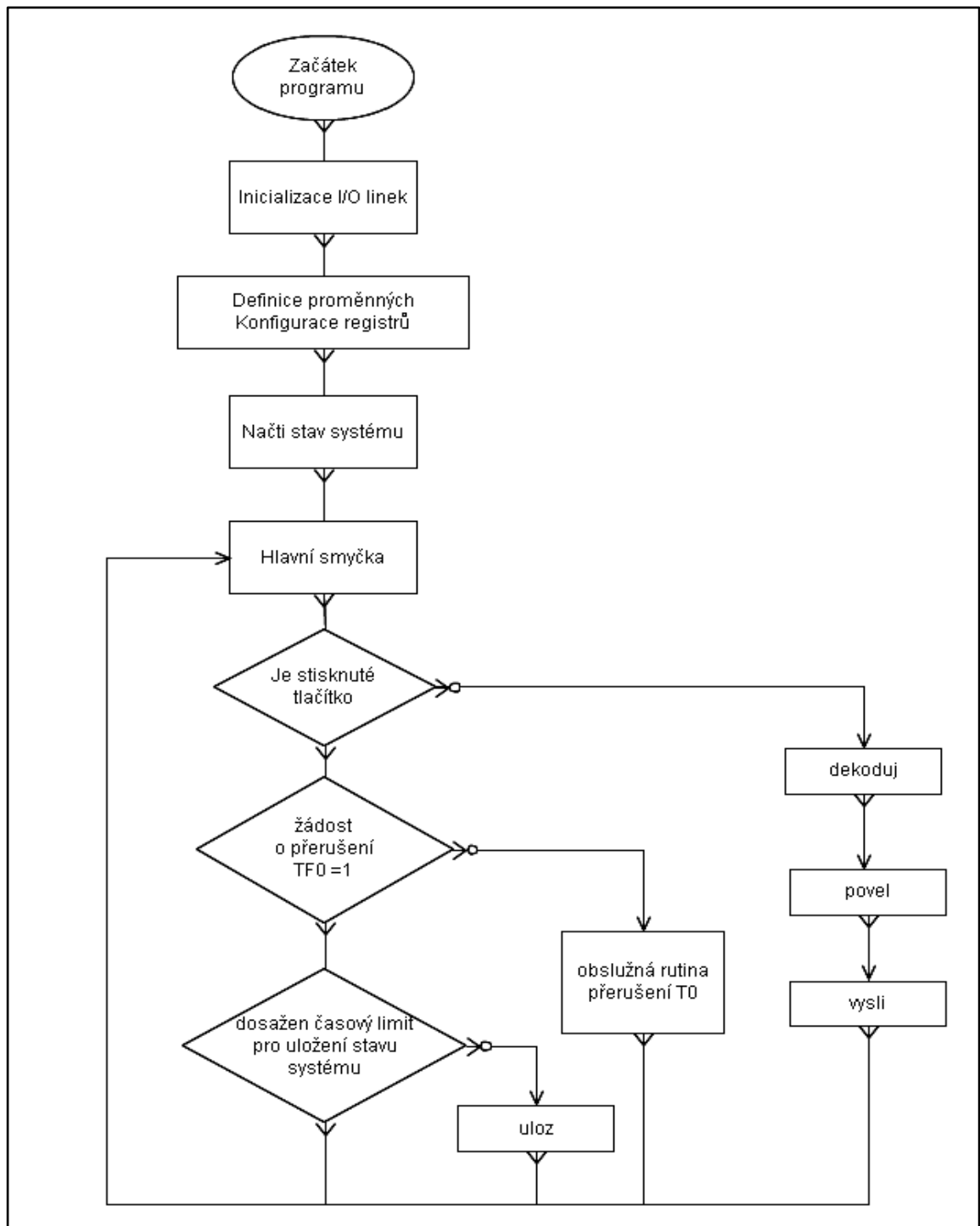
Vývojový diagram na obrázku 5.30 znázorňuje průběh programu dálkového ovladače. Z obrázku je patrné, že úvodní část programu se principiálně shoduje se software jednotky regulace, neboť v této části probíhá inicializace I/O linek, definice proměnných a konfigurace registrů. Stejně tak se, po provedení výše uvedených činností, načte stav systému z vnitřní datové paměti EEPROM.

Poté již program setrvává v nekonečné hlavní programové smyčce, kde neustále testuje stav tlačítek pomocí funkce *tlačítka*, která, v případě že je některé ze čtveřice tlačítek stisknuté, ve své návratové hodnotě vrací kód stisknutého tlačítka. Následně se zavolá podprogram *dekoduj*, který slouží pro identifikaci stisknutého tlačítka, a na jejím základě zajišťuje nastavení parametrů regulátoru. Dále volaná funkce *povel* vytvoří z nastavených parametrů regulátoru kódovaný povel, který je následně vyslán, pomocí podprogramu *vysli*, přes IR vysílač.

Další činností, jež mikrokontrolér zajišťuje v hlavní programové smyčce, je pravidelné ukládání stavu všech ovládaných kanálů do vnitřní datové paměti EEPROM, po předem stanoveném časovém limitu. Za tímto účelem jsem vytvořil funkci *uloz*, jejíž parametry jsou adresa, na kterou mají být data uložena, a vlastní data, jež představuje informace o aktuálním nastaveném jasu daného kanálu. Ukládání dat je ošetřeno proti chybám, v případě neúspěšného uložení některého parametru systému je celý proces ukládání opakován. Tím je zajištěna validita uložených dat.

Nezávisle na uvedených činnostech obsluhuje mikrokontrolér přerušení vyvolávané čítačem/časovačem 0, jehož obslužná rutina slouží ke generování nosného kmitočtu pro IR vysílač, a proto je tato žádost o přerušení volána každých 13us, neboť frekvence nosného kmitočtu je $f = 38 \text{ kHz}$, z něhož plyne doba periody dle vztahu: $T = 1/f = 26,3 \text{ us}$. Změna

úrovně generovaného signálu musí být vždy v polovině periody, přibližně tedy každých 13 us. Čítač/časovač 0 je konfigurován v režimu 2, jehož činnost v tomto režimu ilustruje obrázek 5.28, a je spouštěn a znovu zastavován ve funkci *vyšli*, která má za úkol vyslání ovládacího povelu pomocí IR vysílače, neboť generování nosného kmitočtu je potřebné pouze v době vysílání IR signálu.



Obrázek 5.30 Blokové schéma programu dálkového ovladače

5.2.4 Popis ovládání

Stmívač je ovládán pouze pomocí dálkového ovladače, která je vybaven čtyřmi tlačítky, jež mají následující funkce:

- SW1: snížit jas
- SW2: zvýšit jas
- SW3: zapnout/vypnout ovládaný kanál
- SW4: změna kanálu

Rozmístění tlačítek je patrné z přílohy II.B. Tlačítka SW1 a SW2 jsem umístil, vzhledem k jejich funkci, vedle sebe ve vertikální rovině. Tlačítka SW3 a SW4 jsem umístil vedle sebe v rovině horizontální.

K indikaci ovládaného kanálu jsem použil čtveřici LED diod. Počet svítících diod signalizuje číslo právě ovládaného kanálu.

Ovládání spočívá ve zvolení čísla právě ovládaného kanálu, a následné úpravě parametrů. Ovládání každého kanálu umožňuje plynulou regulaci intenzity osvětlení, a to jak při jejím zvyšování tak i při snižování. Tlačítko zapnuto/vypnuto znamená nastavit maximální možný/ nulový jas ovládaného kanálu.

5.3 Technické parametry

- Napájecí napětí:* 230V AC, 50 Hz
- Spínaný výkon:* 4x 40-450 W pro klasické žárovky na 230V
4x 40-250 W pro halogenové žárovky na 230V
- Spínací prvek:* triak – fázové řízení
- Jištění:* F 2,5/250V pro výkonovou část
F 50mA/250V pro řídicí část
- Průřez vodičů:* 1,5 – 2,5 mm²
- Stupeň krytí:* IP 20 (dle ČSN EN 60529)
- Provozní teplota:* -10 °C až +50°C
- Provozní kmitočet:* 38 KHz
- Dosah:* cca 10m - přímá viditelnost
cca 2m - překážka

6 Měření vlastností

Abych ověřil funkci navržené koncepce a zjistil jakých výsledků se mi podařilo dosáhnout, musel jsem provést několik měření. Při měřeních jsem se zaměřil především na spolehlivost a dosah ovládání pomocí IR signálu. Při všech prováděných měřeních byla splněna nutná podmínka vyplývající z principiální funkce IR komunikace, a sice přímá viditelnost mezi přijímačem a vysílačem.

6.1 Měření dosahu

Měření dosahu jsem rozdělil do dvou fází, a sice měření na volném prostranství, kde se nevyskytovaly žádné překážky, a měření v místě používání.³ Přijímač jsem umístil 1m nad zem a vysílač jsem udržoval také přibližně 1m nad zemí. Následně jsem s vysílačem odstupoval v přímé linii od přijímače na vyznačené vzdálenosti.

Měření na volném prostranství

Při tomto měření jsem zvolil několik vzdáleností vysílače od přijímače, viz tabulka 6.1. Mnou změřený maximální dosah byl 20m, což je hodnota přibližná. Pro účely použití stmívače je maximální dosah dostačující, neboť se nepředpokládá ovládání osvětlení na vzdálenost delší než 10m.

Tabulka 6.1 Měření na volném prostranství

Vzdálenost [m]	2	5	10	20	50	80
Dosah	OK	OK	OK	OK	--	--

Měření v místě používání

Účelem tohoto měření nebylo zjistit maximální možný dosah, neboť toto měření bylo provedeno na volném prostranství, nýbrž prověřit možnosti přenosu, především zjistit, zda je možné ovládat stmívač i z jiné místnosti než je umístěn ovladač a podobně.

Pro měření jsem stanovil několik vzdáleností vysílače od přijímače a dvě umístění přijímače (v téže místnosti a v jiné místnosti), viz tabulka 6.2. Z výsledků měření je patrné, že stmívač lze ovládat na krátkou vzdálenost i z jiné místnosti než je umístěn přijímač. Tato možnost ovšem závisí na podmínkách, v jakých je stmívač provozován.

³ Termínem „místo používání“ jsem označil prostředí běžného bytu, kde se vyskytují překážky pro šíření IR signálu, především zdivo z blíže neurčeného materiálu

Tabulka 6.2 Měření v místě používání

Vzdálenost [m]	1	2	3	5	7
V témže prostoru	OK	OK	OK	OK	OK
V jiném prostoru	OK	OK	OK	--	--

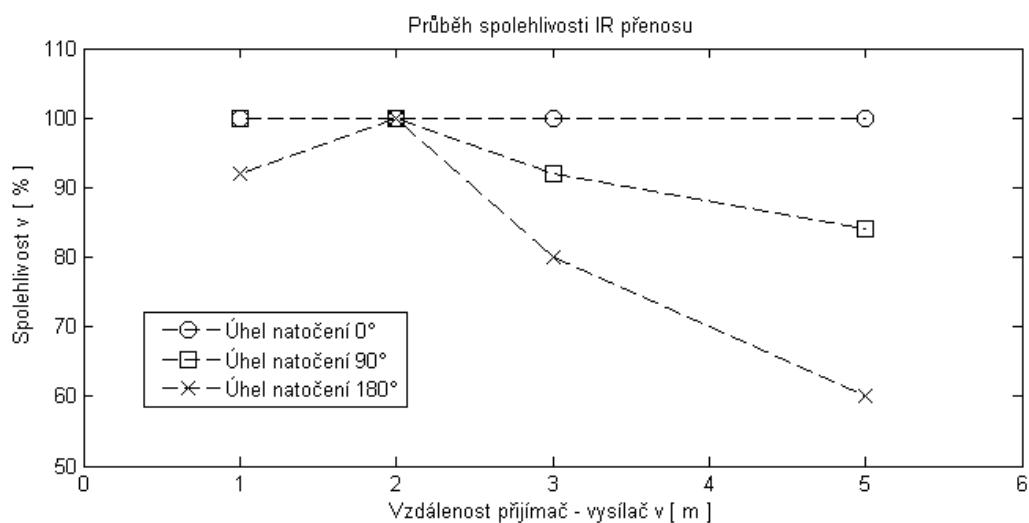
6.2 Měření spolehlivosti

Toto měření jsem prováděl v místě používání regulátoru. Pro měření jsem stanovil počet vyslaných povelů na 25. Následně jsem vyhodnocoval počet správně a špatně přijatých povelů. Měření jsem prováděl stejným postupem jako měření dosahu, s tím rozdílem, že jsem uvažoval tři různé úhly natočení vysílače vůči přijímači. Data z měření obsahuje tabulka 6.3 a na jejich základě jsem zkonstruoval graf 6.1, který ilustruje procentuální vyjádření počtu správně přijatých povelů.

Tabulka 6.3

Vzdálenost [m]	1	2	3	5	Počet správně/špatně přijatých povelů
Úhel natočení 0°	25 0	25 0	25 0	25 0	
Úhel natočení 90°	25 0	25 0	23 2	21 4	
Úhel natočení 180°	23 2	25 0	20 5	15 10	

Z toho měření vyplívá, že dálkový ovladač pracuje spolehlivě do vzdálenosti 3m od vysílače, při libovolném úhlu natočení. Při vzdálenosti vyšší, je nutné směřovat vysílaný IR signál přímo na přijímač.



Obrázek 6.1 Procentuelní vyjádření spolehlivosti ovládání

7 Závěr

Cílem této práce bylo jednak rozebrat nutnou teorii týkající se jednotlivých druhů světelných zdrojů, možností jejich řízení a regulace jejich světelného toku, a také navrhnout vhodnou koncepci stmívače osvětlení pro použití v domácnosti a zkonstruovat prototyp tohoto navrženého zařízení.

Všechny stanovené cíle se mi podařilo splnit. Systém se skládá z jednotky regulátoru, který umožňuje řídit spínání až čtyř okruhů a dálkového ovladače, jež poskytuje dostatečnou spolehlivost ovládání a postačující dosah s ohledem na jeho použití. Bezdrátový přenos, mezi těmito dvěma částmi systému, jsem realizoval pomocí vhodně kódovaného IR signálu. Na straně přijímače jsem kladl nároky především na bezpečnost, neboť jednotka regulátoru je napájena ze síťového napětí 230V 50Hz, které se objevuje na některých součástkách. Z tohoto důvodu jsem považoval za nutné jednak elektricky oddělit řídicí část od části výkonové pomocí optoelektronické vazby, a také systém navrhnout tak, aby nemohlo dojít k samočinnému sepnutí některého z řízených okruhů.

Při návrhu software dálkového ovladače jsem dospěl k názoru, že zvolený řídicí mikrokontrolér ATMEL 80S8253 není pro tuto aplikaci příliš vhodný, neboť neobsahuje integrovaný generátor PWM signálu, který lze s výhodou využít pro generování nosné frekvence pro vysílání IR signálu a jeho vstupy neumožňují přímé připojení zobrazovacích LED diod. Naproti tomu zvolený mikrokontrolér obsahuje vnitřní paměť dat EEPROM, a proto není nutné použít externí paměť EEPROM pro ukládání stavu systému v případě výpadku napájení.

Navržený systém pracoval bezchybně a během testování nenastaly žádné komplikace. Možnosti vylepšení stávajícího systému jsou nasnadě – v případě dalšího vývoje směřujícího například ke komerčnímu použití by prvním krokem měla být možnost ovládání více přijímačů jedním dálkovým ovladačem a následně snaha o snížení spotřeby energie celého systému.

Tato práce mi umožnila prakticky využít a dále prohloubit znalosti elektroniky získané během studia.

Použitá literatura

- [1] HABEL, Jiří, et al. *Světelná technika a osvětlování*. Praha : FFC Public, 1995. Světelné zdroje, s. 29-58.
- [2] SOKANSKÝ, Karel. *Inteligentní řízení osvětlovacích soustav vnitřního osvětlení* [online]. Česká společnost pro osvětlování, 2003 [cit. 2011-06-21]. Dostupné z WWW: <<http://mpo-efekt.cz/dokument/3102.pdf>>.
- [3] PLCH, Jiří, et al. *Světelná technika v praxi*. Praha : IN-EL, 1999. Světelné zdroje, s. 29-58.
- [4] DVOŘÁČEK, Vladimír. SVĚTELNÉ ZDROJE: lineární zářivky. *Elektroinstalatér* [online]. 2009, 1, [cit. 2011-06-21]. Dostupný z WWW: <<http://elektrika.cz/data/clanky/svetelne-zdroje-linearni-zarivky>>.
- [5] PASEKA, Petr; PELIKÁNOVÁ, Irena. LED ve veřejném osvětlení. *Světlo* [online]. 2009, 6, [cit. 2011-06-21]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=40228>.
- [6] KUNC, Josef. Stmívání (1.). In *Stmívání* [online]. Elektrika.cz, 9.2.2004 [cit. 2011-06-21]. Dostupné z WWW: <http://elektrika.cz/data/clanky/stm1_040209>.
- [7] PLCH, Jiří. Osvětlování a regulace osvětlení. In *Osvětlování a regulace* [online]. Elektrika.cz 27.9.2003 [cit. 2011-06-21]. Dostupné z WWW: <<http://elektrika.cz/data/clanky/clanek.2005-03-30.0265467649/>>.
- [8] KUNC, Josef. Stmívání (2.). In *Stmívání* [online]. Elektrika.cz, 24.2.2004 [cit. 2011-06-21]. Dostupné z WWW: <<http://elektrika.cz/data/clanky/stpk040221>>.
- [9] ZAJÍČEK, Dušan. Bezdrátové dálkové ovládání. *Elektro* [online]. 2007, 5, [cit. 2011-07-07]. Dostupný z WWW: <<http://www.odbornecasopisy.cz/download/elektro/2007/el050736.pdf>>.
- [10] RŮŽEK, Michal. *FITkit VUT Brno* [online]. 2006 - 2009 [cit. 2011-07-07]. FITkit - Přijímač/vysílač dálkového ovládání. Dostupné z WWW: <http://merlin.fit.vutbr.cz/FITkit/docs/navody/ext_ir.html>.

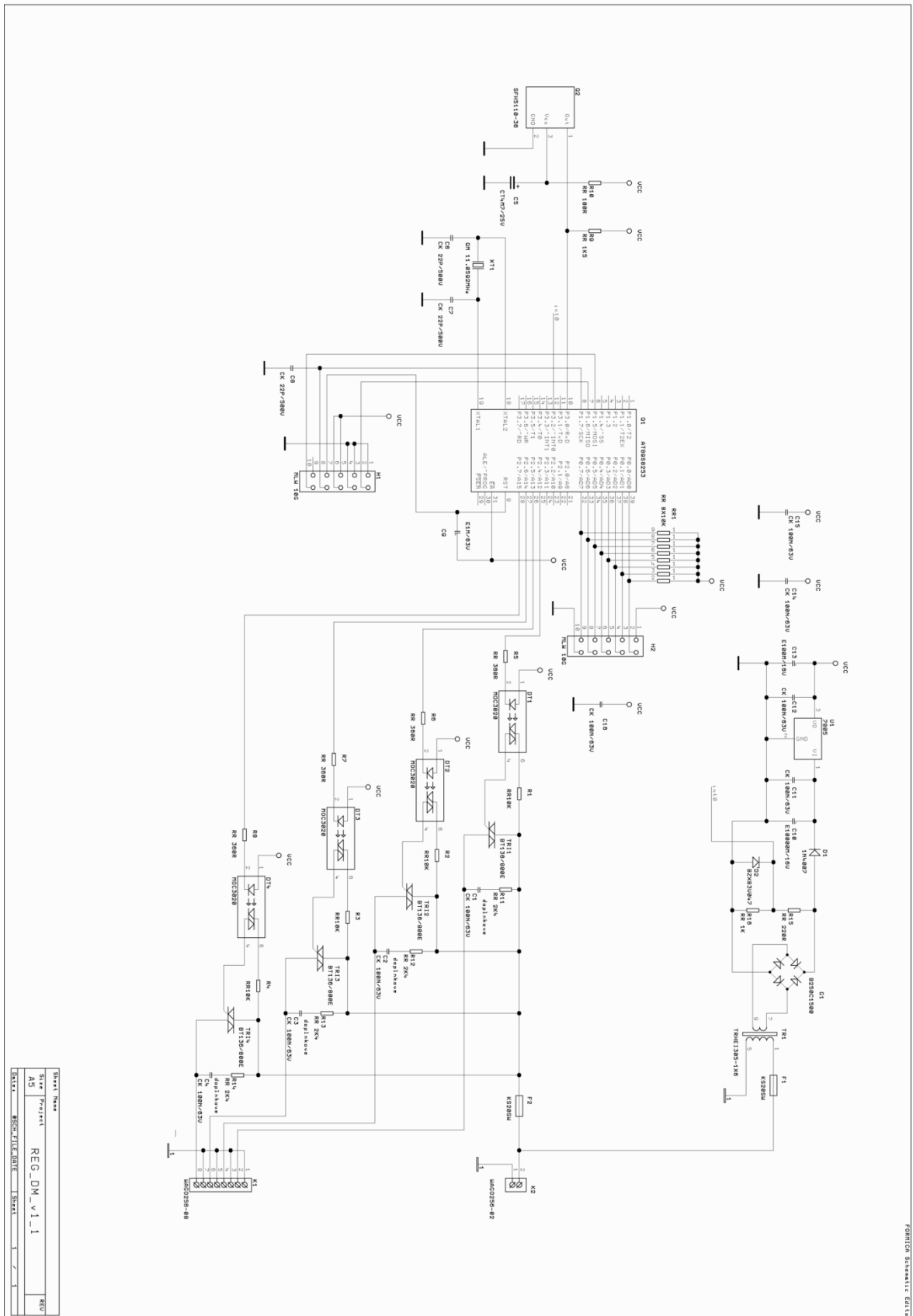
- [11] ZAJÍČEK, Dašan. *Elektrika.cz* [online]. 2.3.2011 [cit. 2011-07-26]. ABB: Radiofrekvenční ovládní pro komerční budovy. Dostupné z WWW: <<http://elektrika.cz/data/clanky/abb-radiofrekvencni-ovladani-pro-komercni-budovy>>.
- [12] SUCHÝ, Karel. Bezdrátové řízení v průmyslu – stav a perspektiva. *Automa* [online]. 2005, 12, [cit. 2011-07-27]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=30815>.
- [13] ČTÚ. *Český telekomunikační úřad* [online]. 2008 [cit. 2011-07-27]. Využívání vymezených rádiových kmitočtů. Dostupné z WWW: <<http://www.ctu.cz/ctu-informuje/jak-postupovat/radiove-kmitocty/vyuzivani-vymezenych-radiovych-kmitoctu.html>>.
- [14] BRADÁČ, Zdeňek; FIEDLER, Petr ; KAČMÁŘ, Milan. Bezdrátové komunikace v automatizační praxi II: standard Bluetooth . *Automa* [online]. 2003, 7, [cit. 2011-07-27]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28874>.
- [15] BRADÁČ, Zdeňek; FIEDLER, Petr ; KAČMÁŘ, Milan. Bezdrátové komunikace v automatizační praxi III: standard IEEE 802.11. *Automa* [online]. 2003, 10, [cit. 2011-07-27]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28963>.
- [16] IEEE 802.11#IEEE 802.11h. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 27. 6. 2011 [cit. 2011-07-27]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11#IEEE_802.11h>.
- [17] *Access server* [online]. 18. 04. 2006 [cit. 2011-07-28]. Standard nízkorychlostní bezdrátové komunikace ZigBee. Dostupné z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2006032001>>. ISSN 1214-9675.
- [18] BRADÁČ, Zdeňek; FIEDLER, Petr; KAČMÁŘ, Milan. Bezdrátové komunikace v automatizační praxi VII: další standardy . *Automa* [online]. 2004, 7, [cit. 2011-07-28]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32437>.
- [19] NÝVLT, Ondřej. Přehled protokolů a systémů pro řízení inteligentních budov. *Automatizace* [online]. 2010, 53, 3-4, [cit. 2011-07-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.automatizace.cz/article.php?a=2782>>.

- [20] ZÁHLAVA, Vít. *Návrh a konstrukce desek plošných spojů: Principy a pravidla praktického návrhu*. Praha : BEN - technická literatura, 2010. 81 s.
- [21] GM Electronic, spol. s r.o. , <http://www.gme.cz/cz/>
- [22] GES-ELECTRONICS, a.s. , <http://www.ges.cz/cz/>
- [23] *DatasheetCatalog.com* [online]. 2011 [cit. 2011-07-20]. Datasheet L7800Series. Dostupné z WWW: <http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/L/7/8/0/L7800-SERIES.shtml>.
- [24] Spectrum Software. *Spectrum Software : Micro-Cap 10* [online]. 2011 [cit. 2011-08-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.spectrum-soft.com/index.shtm>>.
- [25] *DatasheetCatalog.com* [online]. 2011 [cit. 2011-07-20]. Datasheet SFH5110. Dostupné z WWW: <http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/S/F/H/5/SFH5110-38.shtml>.
- [26] PINKER, Jiří. *Mikroprocesory a mikropočítače*. Praha : BEN - technická literatura, 2004. 156 s.
- [27] *DatasheetCatalog.com* [online]. 2011 [cit. 2011-06-25]. Datasheet AT89S8253. Dostupné z WWW: <http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/A/T/8/9/AT89S8253.shtml>.
- [28] SKALICKÝ, Petr. *Procesory řady 8051*. 2. rozšířené vydání. Praha : BEN - technická literatura, 1998. 143 s.
- [29] MATOUŠEK, David. *C pro mikrokontroléry ATMEL AT89S52*. Praha : BEN - technická literatura, 2007. 239 s.
- [30] *DatasheetCatalog.com* [online]. 2011 [cit. 2011-07-20]. Datasheet MOC3021. Dostupné z WWW: <http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/M/O/C/3/MOC3020.shtml>.
- [31] *Fairchildsemi.com* [online]. 2006 [cit. 2011-07-21]. Application Note AN-3003. Dostupné z WWW: <<http://www.fairchildsemi.com/an/AN/AN-3003.pdf>>.

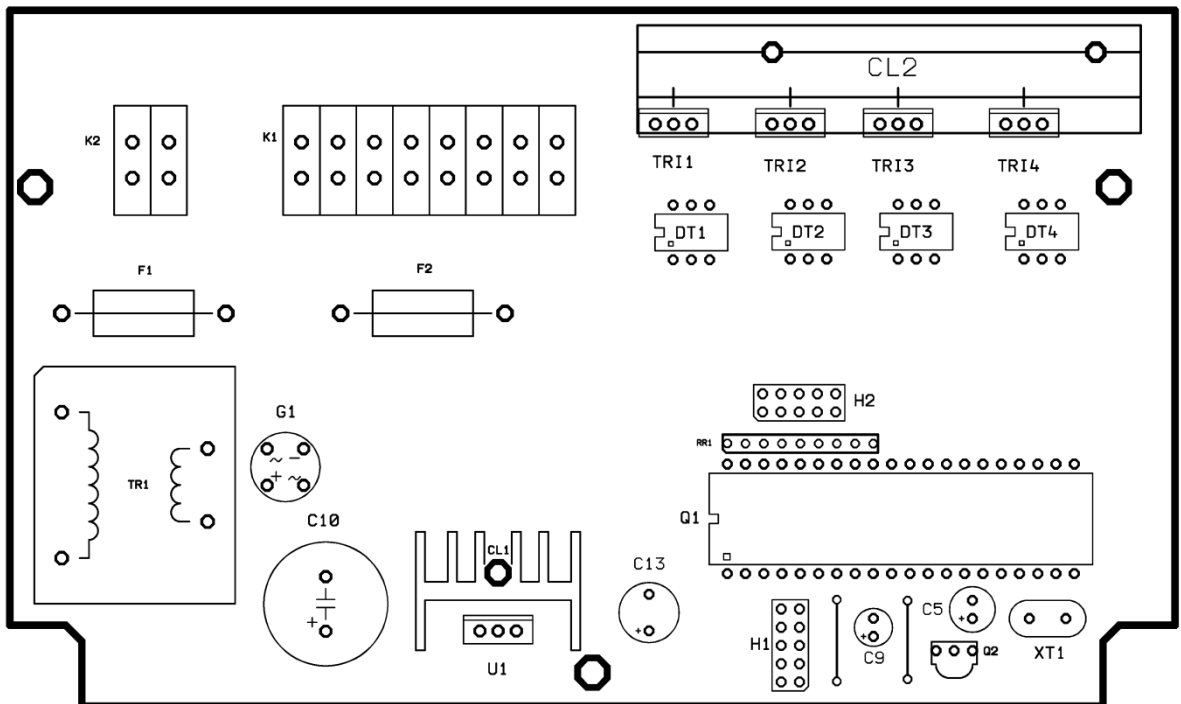
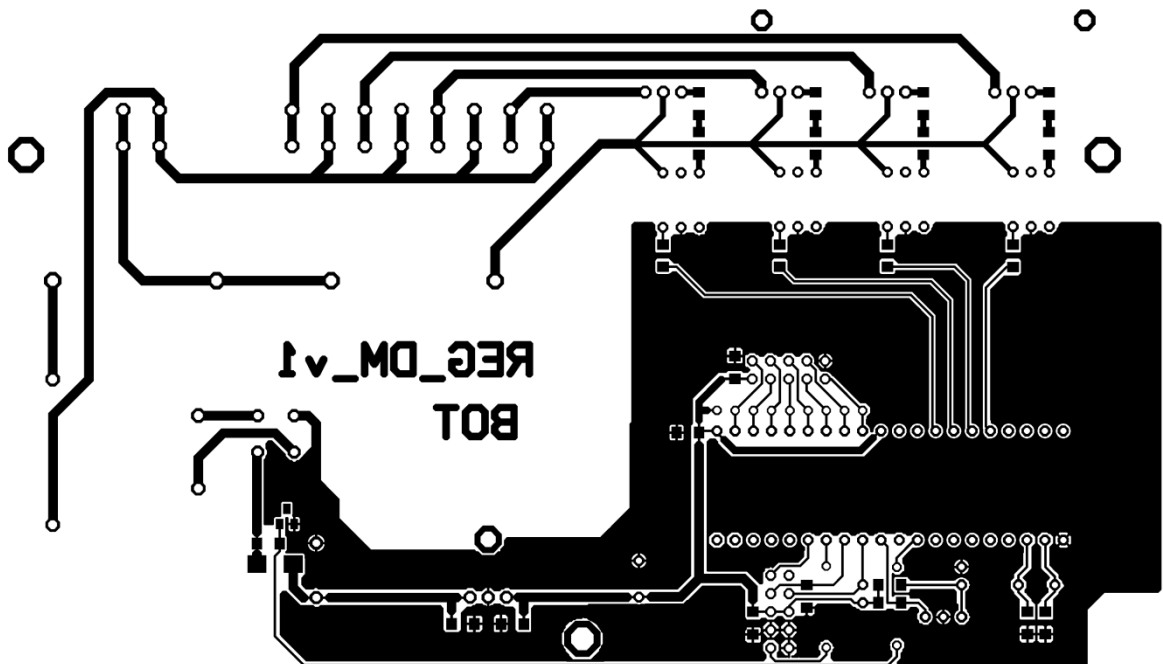
- [32] *DatasheetCatalog.com* [online]. 2011 [cit. 2011-07-20]. Datasheet BT136/600E. Dostupné z WWW: <http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/B/T/1/3/BT136-600E.shtml>.
- [33] HAVLÁT, Ladislav. *Integrovaná vývojová prostředí WinIDE51 a WinAVR* [online]. 2007 [cit. 2011-06-24]. Dostupné z WWW: <<http://winide51.wz.cz/>>.
- [34] Vícevrstvé polovodiče. In *Vícevrstvé polovodiče - TRIAK* [online]. 2005 [cit. 2011-06-25]. Dostupné z WWW: <http://www.edunet.souepl.cz/EZO/vv_tri.htm>.
- [35] CHLEBIŠ, Petr. *Výkonová elektronika I* [online]. Ostrava : Ediční středisko VŠB – TUO, 2007 [cit. 2011-06-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FEI/VE1/Polovodicove%20soucastky.pdf>>. ISBN 978-80-248-1485-8.
- [36] Gliffy, Inc. *Gliffy Online* [online]. 2011 [cit. 2011-07-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.gliffy.com/>>.
- [37] *DatasheetCatalog.com* [online]. 2011 [cit. 2011-07-10]. Datasheet LD274. Dostupné z WWW: <http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/L/D/2/7/LD274.shtml>.
- [38] *DatasheetCatalog.com* [online]. 2011 [cit. 2011-07-10]. Datasheet SK24A. Dostupné z WWW: <http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/S/K/2/4/SK24A.shtml>.
- [39] *DatasheetCatalog.com* [online]. 2011 [cit. 2011-07-10]. Datasheet BCx52-16. Dostupné z WWW: <http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/B/C/X/5/BCX52-16.shtml>.
- [40] *DatasheetCatalog.com* [online]. 2011 [cit. 2011-07-12]. Datasheet BCx55-16. Dostupné z WWW: <http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/B/C/X/5/BCX55-16.shtml>.
- [41] HRBÁČEK, Jiří. *Komunikace mikrokontroléru s okolím - 1.díl*. Praha : BEN - technická literatura, 1999. 159 s. ISBN 80-86056-42-2.
- [42] MATOUŠEK, David; BRTNÍK, Bohumil. *Programování mikrokontrolérů s jádrem 8051 v jazyce C*. Praha : BEN - technická literatura, 2010. 151 s. ISBN 978-80-7300-264-0.
- [43] *Keil Tools by ARM* [online]. 2011 [cit. 2011-06-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.keil.com/c51/>>.

Přílohy

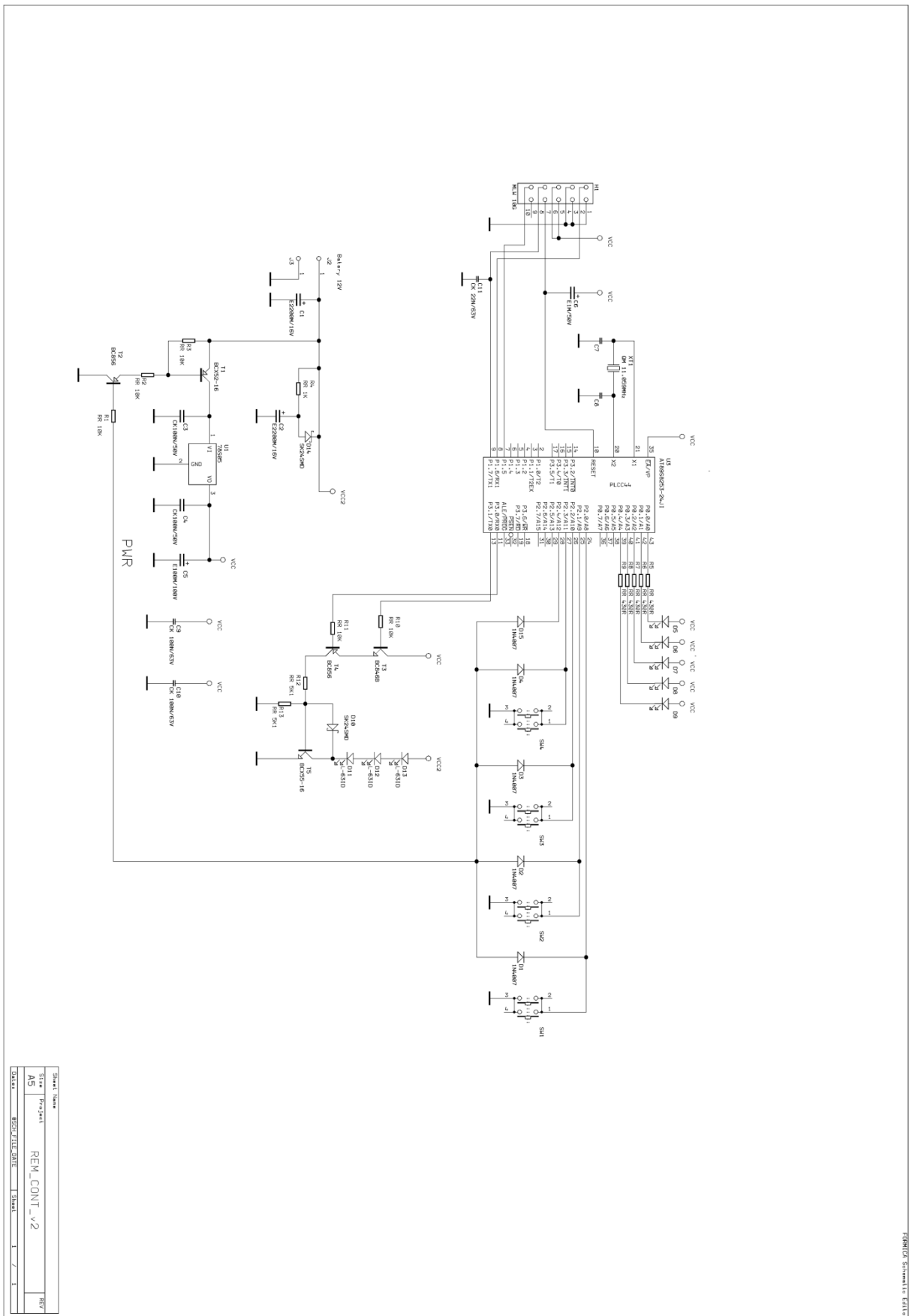
Příloha I.A Schéma zapojení - Regulace



Příloha II.A DPS a osazení DPS - Regule



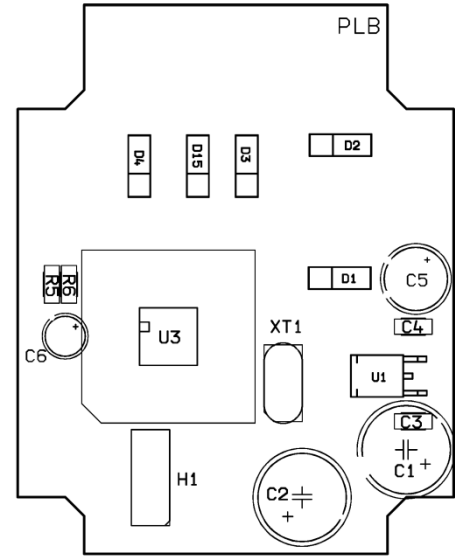
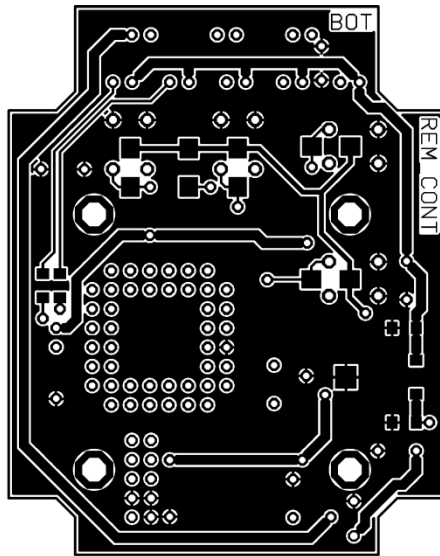
Příloha I.B Schéma zapojení - Ovladač



Sheet Name	REM_CONT_v2
Sheet	1
Project	AS
Revision	1
Date	17.11.2011

Příloha II.B DPS a osazení DPS - Ovladač

Strana A:



Strana B:

