

Pokročilý decentralizovaný systém domácího LED osvětlení

Advanced decentralised controller of home LED light

Bc. Jiří Zatloukal

Diplomová práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří ZATLOUKAL**

Osobní číslo: **A09433**

Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**

Studijní obor: **Počítačové a komunikační systémy**

Téma práce: **Pokročilý decentralizovaný systém domácího LED osvětlení**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte literární reserši na téma řízení výkonu a stmívačů.**
- 2. Popište technologii polovodičových diod, zejména LED.**
- 3. Rozpracujte možnosti dálkového řízení stmívačů.**
- 4. Vytvořte schéma a navrhňte konstrukci ovládání a stmívače.**
- 5. Stmívač prakticky realizujte.**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **MAŤÁTKO, Jan.** Elektronika. 5. vyd., V [nakl.] Idea servis 3., rozš. vyd. Praha: Idea servis, 2002, 327 s. ISBN 80-859-7042-2.
2. **Andrea Ronešová: Převodníky. RONEŠOVÁ, Andrea.** Převodníky f/U [online]. 2003-2009 [cit. 2012-01-17]. Dostupné z: http://home.zcu.cz/ronesova/index.php?menuitem=aes_mfu.
3. **VAŇKO, Adam.** Svítidla a aplikace s Power LED zdroji. Brno, 2010. Diplomová práce. VUT.
4. **Electronic Projects | Electronic Circuits [online].** 2008-2012 [cit. 2012-01-17]. Dostupné z: <http://electroschematics.com/>
5. **ZUBER, Zlán.** Měníče pro svítidla s LED diodami: Inverters for lighting units with LEDs. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. Diplomová práce. VUT.
6. **PUNČOCHÁŘ, J.,** Operační zesilovače v elektronice, Praha: BEN - Technická literatura, 1999, 495 s., ISBN 80-86056-37-6
7. **STENGL, Jens-Peer.** Výkonové tranzistory MOSFET. Praha: BEN, 1999. ISBN 80-86056-54-6.
8. **HUDEC, Lubomír a Ivan BURGER.** Elektronické prvky. Bratislava: Alfa, 1989. ISBN 80-05-00120-07.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Pospíšilík

Ústav počítačových a komunikačních systémů

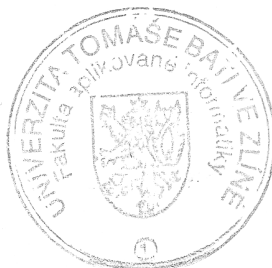
Datum zadání diplomové práce:

24. února 2012

Termín odevzdání diplomové práce:

28. května 2012

Ve Zlíně dne 24. února 2012



L.S.

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

děkan

prof. Ing. Karel Vlček, CSc.

ředitel ústavu

ABSTRAKT

Cílem této práce je osvěžit, případně objasnit, znalosti o základních polovodičových součástkách a konvenčních způsobech regulace výkonu a zamyslet se a vypracovat metody stmívání u moderního osvětlení, jejich dálkové řízení. Finálem této práce je prakticky realizovaný stmívač.

Klíčová slova:

LED osvětlení, regulace výkonu, polovodiče, diody, konstrukce polovodičů, dálkové řízení stmívače.

ABSTRACT

Target of this work is to refresh knowledge of semi-conductors and basic semi-conductors devices. Also there is a chapter which is dealing with power regulations which we can use in our common life and dimmering of modern lighting and it's remote controlling. Final of this work is practically realized dimmer for LED lighting.

Keywords:

LED lighting, power regulation, semi-conductors, diodes construction of diodes, dimmer remote controlling.

Poděkování, motto

Chtěl bych poděkovat všem, kteří mi projevili podporu, zejména své rodině, přátelům, také vedoucímu své práce, panu Ing. Pospíšilíkovi.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....

podpis diplomanta

OBSAH

1 Řízení výkonu.....	12
1.1 ŘÍZENÍ POMOCÍ REZISTORŮ.....	12
1.1.1 ŘÍZENÍ POMOCÍ JEDNOHO REZISTORU.....	12
1.1.2 ŘÍZENÍ POMOCÍ DVOU REZISTORŮ.....	13
1.2 ŘÍZENÍ VÝKONU POMOCÍ TRANSFORMÁTORŮ.....	15
1.2.1 POMOCÍ TRANSFORMÁTORŮ S VÍCE VEDENÍMI	15
1.2.2 POMOCÍ TRANSFORMÁTORU S DĚLENÝM SEKUNDÁREM.....	16
1.2.3 ŘÍZENÍ POMOCÍ AUTOTRANSFORMÁTORU.....	16
1.3 ŘÍZENÍ POMOCÍ FREKVENČNÍHO MĚNIČE.....	17
1.4 ŘÍZENÍ POMOCÍ POLOVODIČOVÝCH SOUČÁSTEK.....	18
1.4.1 REGULACE VÝKONU TYRISTOREM ŘÍZENÝM ZDROJEM IMPULSŮ.....	18
1.4.2 ŘÍZENÍ VÝKONU TYRISTOREM ŘÍZENÝM RC ČLENEM.....	19
1.4.3 REGULACE VÝKONU TYRISTOREM V ZAPOJENÍ S GRETZOVÝM MŮSTKEM.....	20
1.4.4 REGULACE VÝKONU TRIAKEM ŘÍZENÝM ZDROJEM IMPULSŮ.....	21
1.4.5 REGULACE VÝKONU TRIAKEM ŘÍZENÝM RC OBVODEM.....	21
1.5 PWM – PULSNĚ ŠÍŘKOVÁ MODULACE.....	22
2 Polovodičová technika.....	25
2.1 ZÁKLADNÍ TERMINOLOGIE, DRUHY VODIVOSTI.....	25
2.1.1 PÁSOVÝ MODEL ATOMU.....	25
2.1.2 VLASTNÍ A NEVLASTNÍ VODIVOST POLOVODIČŮ.....	26
2.1.2.1 Vlastní vodivost polovodičů.....	26
2.1.2.2 Nevlastní vodivost polovodičů.....	27
2.1.3 PŘECHOD PN.....	27
2.1.3.1 Výroba přechodu PN.....	28
2.1.3.1.1 Slévání – legování.....	28
2.1.3.1.2 Epitaxní narůstání.....	29
2.1.3.1.3 Difúze.....	29
2.1.3.1.4 Iontová implantace.....	30
2.1.3.2 PN přechod s přiloženým vnějším napětím.....	30
2.1.4 PŘECHOD POLOVODIČ – KOV	31
2.1.4.1 Přechod polovodič-kov s usměrňovacími účinky.....	32
2.1.4.2 Neusměrňující přechod polovodič-kov.....	32
2.2 POLOVODIČOVÉ DIODY.....	33
2.2.1 DRUHY POLOVODIČOVÝCH DIOD.....	33
2.2.1.1 Diody pro síťové usměrňovače.....	33
2.2.1.2 Diody pro malé vf proudy.....	35

2.2.1.3 Diody pro stabilizaci napětí.....	37
2.2.1.4 Kapacitní diody - varikapy.....	39
2.2.1.5 Schottkyho dioda.....	40
2.2.1.6 Fotodioda.....	41
2.2.1.7 LED.....	42
2.2.1.7.1 Základní informace, technologie.....	42
2.2.1.7.2 Materiály, barvy a výkony LED.....	43
2.2.1.7.3 Základní zapojení LED v obvodu.....	45
2.2.1.7.4 Provedení LED, žárovky a zářivky z LED.....	46
2.2.1.8 Ostatní polovodičové diody.....	48
3 Možnosti dálkového řízení stmívačů.....	50
3.1 DRÁTOVÉ DÁLKOVÉ OVLÁDÁNÍ.....	50
3.1.1 JEDNODUCHÉ DÁLKOVÉ OVLÁDÁNÍ.....	50
3.1.2 POKROČILÉ DÁLKOVÉ DRÁTOVÉ OVLÁDÁNÍ.....	52
3.1.3 DRÁTOVÉ OVLÁDÁNÍ ŘÍZENÉ MIKROPROCESOREM.....	53
3.1.4 DÁLKOVÉ OVLÁDÁNÍ REALIZOVANÉ VE VEDENÍ.....	54
3.1.5 BEZDRÁTOVÉ DÁLKOVÉ OVLÁDÁNÍ S INFRAČERVENOU DIOU.....	55
3.1.6 DÁLKOVÉ OVLÁDÁNÍ RF.....	56
3.1.7 DÁLKOVÉ OVLÁDÁNÍ ŘÍZENÉ GSM SIGNÁLEM.....	57
4 Stmívač a jeho ovládání.....	60
4.1 NÁVRH OBVODU STMÍVAČE.....	60
4.2 VÝBĚR KOMPONENT REGULÁTORU.....	60
4.2.1 PŘEVODNÍK FREKVENCE NA NAPĚTÍ A POSTUP VÝROBY DPS.....	61
4.2.2 LADITELNÝ OSCILÁTOR.....	65
4.2.3 REGULÁTOR.....	67
4.2.4 POUŽITÁ LED.....	70
4.2.5 DRUHÁ VERZE REGULÁTORU.....	72
4.2.6 OVLÁDÁNÍ NA DÁLKU.....	75
ZÁVĚR.....	77
ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	78
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	79
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	82
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	83
SEZNAM TABULEK.....	86

ÚVOD

V této práci chci rozebrat možnosti a konstrukce běžných regulátorů výkonu a polovodičových diod. Dále bych zde rád rozpracoval možnosti dálkového řízení regulátorů bez nutnosti k nim vstávat a pokud možno, mělo by být řízení možné pro několik světelných zdrojů z jednoho místa. Také se chci pokusit navrhnout a prakticky zrealizovat stmívač LED osvětlení tak, aby bylo možno ovládat světla ve kterékoliv místnosti.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ŘÍZENÍ VÝKONU

V této kapitole se podíváme na možnosti řízení výkonu elektrických spotřebičů pomocí nejrůznějších řídicích obvodů – od těch primitivních používaných zejména pro testovací účely různých elektronických zařízení, přes metody dnes využívané v běžných aplikacích a problémech, po metody, které se na své masové využití připravují, do provozů se nasazují, ale ještě nejsou natolik rozšířené.

1.1 Řízení pomocí rezistorů

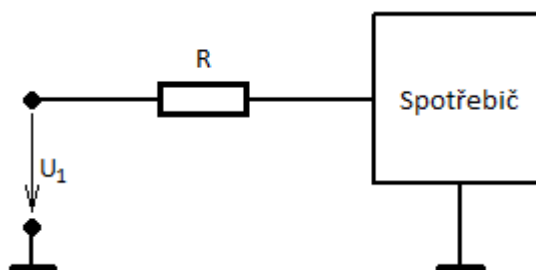
Zde si probereme možnosti jak ovládat výkon pomocí jedné z nejjednodušších elektronických součástek – pomocí rezistorů, případně reostatů, či potenciometrů.

Nejedná se o řízení, které by bylo nějak zvlášť sofistikované, nicméně při měření v laboratořích má své nezastupitelné místo zejména pro svou snadnou pochopitelnost, snadnou realizaci a jednoduché a přehledné měření.

1.1.1 Řízení pomocí jednoho rezistoru

Toto řešení je spíše na úvod do problematiky, řídíme zde velikost proudu tekoucího do zátěže.

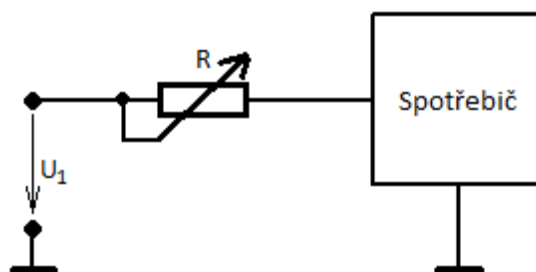
Varianta s pevným rezistorem je dodnes nejpoužívanější nastavování proudu tekoucího obvodem, zejména pro signalizaci různých stavů nebo pro svícení LED. U této varianty se nejedná ani tak o řízení, ale spíše o omezení, chcete-li nastavení, proudu protékajícího do zátěže (spotřebiče).



Obr 1: Regulace výkonu pevným rezistorem

Velikost odporu R vypočítáme takto:

$R = \frac{U_1}{I_{sp}} - R_{sp}$; $[\Omega; V, A, \Omega]$, kde R je náš hledaný odpor, U_1 je napětí zdroje, I_{sp} žádaný proud protékající spotřebičem a R_{sp} je odpor spotřebiče. Pokud nemáme spotřebič s konstantní odporovou zátěží, nebo se jeho odpor mění v závislosti na napětí a proudu, tak tento vztah upravíme takto: $R = \frac{U_1}{I_{sp}} - \frac{U_{sp}}{I_{sp}}$ $[\Omega; V, A, V, A]$. Oproti předešlému vztahu je zde nahrazen odpor spotřebiče R_{sp} napětím a proudem, jejichž velikosti jsou žádané. Toto napětí a tento proud vyčteme z volt-ampérové charakteristiky daného spotřebiče – zvolíme si pracovní bod na povolené části křivky V-A charakteristiky.



Obr 2: Regulace výkonu proměnným rezistorem

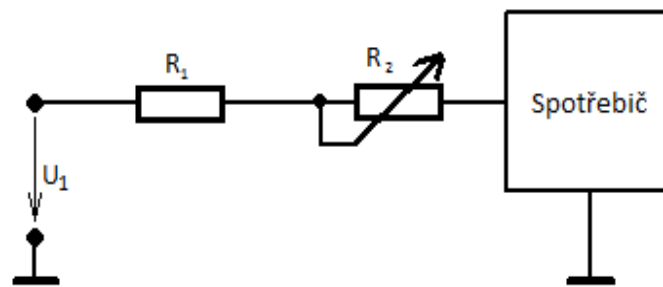
Varianta s proměnným rezistorem je používána pro jednoduché nastavování proudu, pokud chceme v jistých mezích řídit výkon spotřebiče. Nevýhodou je regulace do plného napětí/proudu, které nám zdroj dodává, což se může negativně projevit na spotřebiči, pokud nemáme zdroj stabilizovaný tak, aby plné napětí (plný proud) neublížilo spotřebiči.

1.1.2 Řízení pomocí dvou rezistorů

V prvním případě se jedná o kombinaci obou předešlých metod. Vhodně zvoleným pevným rezistorem nastavíme velikost procházejícího proudu tak, aby tekla maximální proud, jaký dokáže spotřebič využít bez toho, aby došlo k jeho přetížení nebo poškození.

Reostatem už poté jenom ztlumujeme velikost proudu – např. snižujeme otáčky motorku nebo jas LED.

Výsledné zapojení obvodu potom vypadá takto:



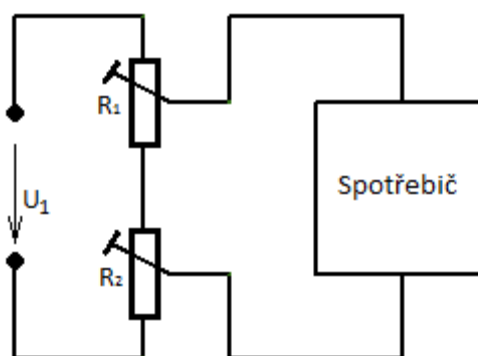
Obr 3: Regulace výkonu pevným a proměnným
rezistorem

R_1 je v tomto případě rezistor pevný, který spočítáme podobně jako v kapitole 1.1.1, tedy

$$R_1 = \frac{U_1}{I_{max}} - R_{sp}, \text{ respektive } R_1 = \frac{U_1}{I_{max}} - \frac{U_{sp}}{I_{max}},$$

jediným rozdílem je to, že počítáme s maximální povoleným proudem spotřebiče. Velikost proměnného rezistoru můžeme spočítat opět z těchto vzorců, pouze s tím rozdílem, že tam dosadíme minimální proud spotřebičem, a pak spočítáme výslednou hodnotu tak, že od sebe odečteme nově vyšlou hodnotu a hodnotu rezistoru R_1 , tedy $R_2 = R - R_1$. Takto nastavíme poměrně přesně hodnoty napětí a proudu pro spotřebiče, které se ve své volt-ampérové charakteristice pohybují plynule bez skoků.

Další variantou je řízení dvěma rezistory, které se používá hlavně pro laboratorní úlohy. Zde už hodnoty rezistorů přesně nepočítáme, ale zvolíme jeden s větším odporem pro hrubou regulaci a jeden s menším odporem pro přesnější regulaci. Např. pro napájecí napětí $U=24V$ lze použít hodnoty 105Ω a 44Ω . V tomto zapojení většinou do série se spotřebičem, v tomto případě měřeným obvodem, zařazujeme ampérmetr, a případně proudové svorky wattmetru, a paralelně ke spotřebiči je připojen voltmetr, případně napěťové svorky wattmetru.



Obr 4: Regulace výkonu dvěma proměnnými
rezistory

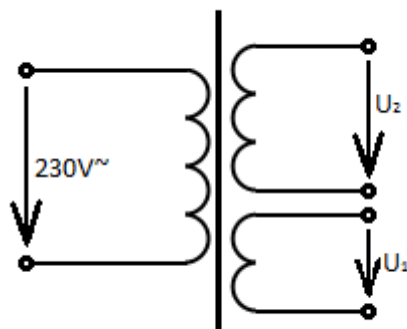
1.2 Řízení výkonu pomocí transformátorů

Přesnější stabilizace, která snese i nekonstantní proudové zatížení při jedné hodnotě napětí. Dodnes se jedná o nejčastější metodu snížení napětí na požadovanou úroveň. Po tomto snížení už dále pracujeme s napětím, většinou menším, které dále třeba usměrnujeme a filtrujeme.

1.2.1 Pomocí transformátorů s více vedeními

Použijeme-li transformátor s více sekundárními vinutími, tak na každém vinutí můžeme dosáhnout jiného napětí i jiného proudového zatížení, čehož můžeme využít například v případě, že při napětí do jisté míry máme menší odběr, než při vyšším napětím – vinutí pro menší napětí může tedy být tenčím drátem. Pokud ale chceme vedení takto přepínat, tak musíme použít dvoupólové přepínače.

Další výhodou více sekundárních vedení je to, že můžeme zapojit různé obvody, neboť tyto vedení nejsou galvanicky spojené a nepřijdou tak spolu do styku – můžeme napájet různé obvody z jednoho transformátoru – mají pouze svoje zdroje, ale transformátor je pouze jeden.

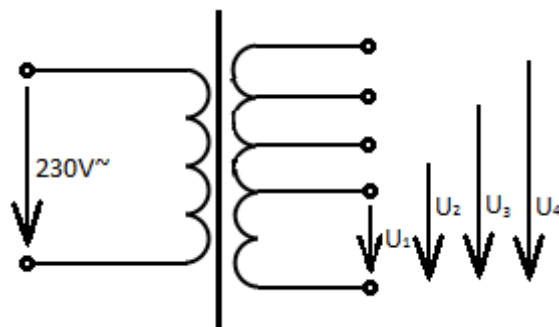


Obr 5: Transformátor s více sekundárními vinutími

1.2.2 Pomocí transformátoru s děleným sekundárem

Při použití transformátoru s děleným vedením je výhodou, že nám stačí pouze jednoduché přepínače pro přepínání odboček vedení – jeden vývod totiž využíváme stále.

Lze použít jak pro střídavé spotřebiče, tak pro spotřebiče stejnosměrné – tam je nutné mít dostatečně dimenzovaný filtrační kondenzátor ve zdroji. Nevýhodou je pouze skokové řízení změny výkonu – nemůžeme regulovat spojitě.

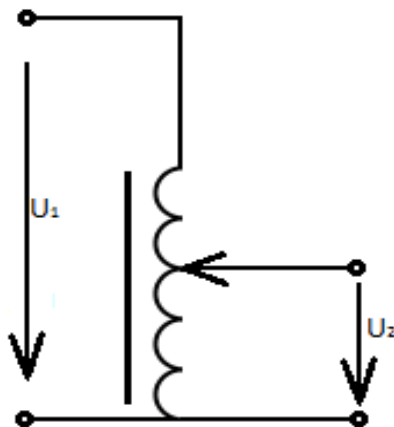


Obr 6: Transformátor s děleným sekundárním vinutím

1.2.3 Řízení pomocí autotransformátoru

Autotransformátor má obrovskou výhodu ve spojitě regulaci napětí – konstrukčně je proveden jako cívka na jádře a nahoře po vinutí jezdí jezdec, který určuje ze kterého místa se odebírá napětí a proud. Takže velikost výstupního napětí je dána polohou jezdece.

S touto výhodou souvisí i jedna velmi nepříjemná vlastnost autotransformátoru – výstupní napětí není galvanicky odděleno od fáze v síti, takže nelze tento způsob použít pro nějaké bezpečné regulování. Výhodou bývají různé svorky vstupního napětí, takže můžeme spolehlivě připojit autotransformátor na 110 i 230V.



Obr 7: Autotransformátor

1.3 Řízení pomocí frekvenčního měniče

V praxi lze využít frekvenční měnič pouze pro řízení točivých strojů na střídavé napětí, jejichž otáčky se řídí kmitočtem sítě.

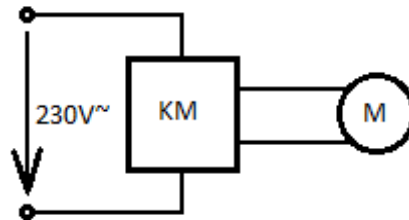
Oproti řízení změnou napětí je zde obrovská výhoda v tom, že daný stroj může jet v nižších otáčkách na plný výkon, což u řízení pomocí velikosti napětí nešlo, a také můžeme dosáhnout vyšších otáček, což by bylo pouhou změnou velikosti napětí nemyslitelné.

Druhou stranou mince je ovšem chlazení a konstrukční omezení motoru. Je sice velmi hezké, že dokážeme používat motor, který má mít např. 1450 otáček (v tomto případě čtyřpólový asynchronní motor s kotvou nakrátko) tak, aby běžel v plném výkonu při 500 otáčkách, ale nesmíme zapomínat, že se nám ten motor nezvládne uchladiť. Je totiž dimenzován na uchlazení výkonu v zátěži při svých otáčkách. Z toho vyplývá nutnost chladiť motor přidaným chlazením a směřovat ho tak, aby bylo dostatečně účinné.

Pokud naopak chceme z tohoto motoru dostat větší otáčky, i to je možné, ale zde musíme pamatovat na konstrukční omezení motoru, aby motor toto zacházení vydržel.

Schéma zapojení je velmi jednoduché, zcela se obejdeme bez vnějších součástí. Zapojení je pak vidět na následujícím obrázku, kde KM je kmitočtový měnič a M je motor nebo jiný

točivý stroj. Schema je pro jednoduchost znázorněno pro jednofázový kmitočtový měnič, ale princip funguje stejně i u třífázových soustav, pouze tam máme o dva vodiče více.



*Obr 8: Zapojení motoru s
kmitočtovým měničem*

Tyto měniče bývají konstruovány jako zařízení, která mají přívodní šňůru a jejich výstup tvoří zásuvka, aby byly maximálně snadno ovladatelné a bezpečné.

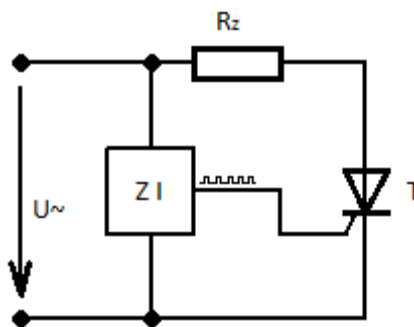
1.4 Řízení pomocí polovodičových součástek

Tato kapitola bude asi z pohledu běžného uživatele nejzajímavější. Zde totiž budeme mluvit o regulaci výkonu pro běžné domácí spotřebiče – ať už o regulaci otáček vrtačky, nebo třeba o regulaci svitu žárovky, což je vděčné téma a stmívače jsou běžně aplikovány a běžně prodávány, byť nám Evropská unie bere žárovky.

1.4.1 Regulace výkonu tyristorem řízeným zdrojem impulsů

Řízení doby otevření nebo zavření tyristoru bývá ve většině případů impulsní, a to buď zdrojem impulsů nebo RC členem.

Pokud řídíme tyristor zdrojem impulsů, dostaneme velmi jednoduché a spolehlivé zapojení, viz následující schema.

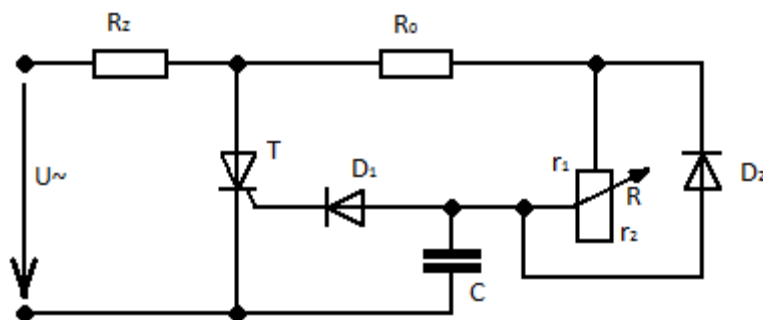


Obr 9: Řízení výkonu tyristorem
a zdrojem impulsů

Nevýhody tohoto zapojení jsou zřejmé – potřebujeme laditelný zdroj vhodných impulsů, který připojíme na tyristor, a vzhledem k volt-ampérové charakteristice tyristoru je zřejmé, že můžeme regulovat pouze od 0% do 50% (respektive 49%) výkonu spotřebiče, poněvadž tyristor je v záporné půlčlenně napětí uzavřený podobně, jako například obyčejná polovodičová dioda.

1.4.2 Řízení výkonu tyristorem řízeným RC členem

Schema zapojení vychází z předchozího zapojení, ale je zde nahrazen zdroj impulsů RC členem a několika dalšími součástkami.



Obr 10: Řízení výkonu tyristorem řízeným RC členem

Popis funkce obvodu by šel zapsat takto:

Při kladné půlčlenně se kondenzátor nabitý na záporné napětí vzhledem k řídicí elektrodě tyristoru vybíjí přes odpory r_1 , R_0 , a R_z a v záporné se začne nabíjet na kladné napětí vůči řídicí elektrodě. Jakmile dosáhne hodnoty větší, než je prahové napětí diody D_1 , projde

řídící elektrodou proudový impuls z kondenzátoru C přes D_1 . Tyristor sepne a obvodem protéká proud přes zátěž do okamžiku, než se změní polarita.

Při změně polarity se kondenzátor C rychle nabije přes diodu D_2 a celý děj se opakuje.

Stejně jako u minulého zapojení je i zde maximální výkon roven polovině výkonu zátěže, opět to souvisí s propustností tyristoru v závěrném směru.

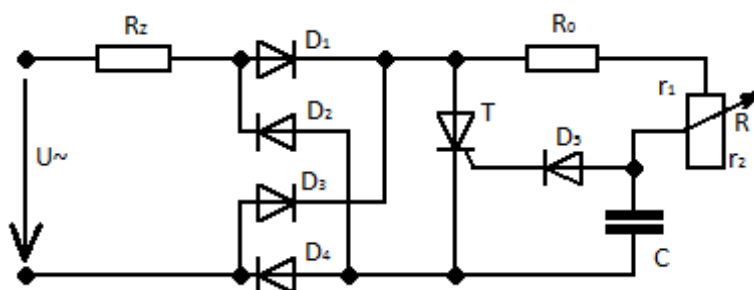
Časová konstanta nabíjení obvodu je $T_n = C \cdot (R_z + R_0 + r_1)$

1.4.3 Regulace výkonu tyristorem v zapojení s Gretzovým můstkem

Předchozí zapojení je rozšířeno o Gretzův můstek, tedy o dvoucestné usměrnění. Tím pádem je v každé půlplně kladné napětí na anodě tyristoru a kondenzátor C se nabíjí taktéž v každé půlplně na kladné napětí => tyristor v každé půlplně spíná.

Tím, že zátěž zapojíme před usměrňovač zajistíme to, že zátěží tečou obě půlplny střídavého proudu. Tímto zapojením odstraníme nepříjemnou vlastnost tyristoru a výkon zátěže můžeme regulovat od 0 do maxima (respektive nějakých 98%).

Schema zapojení potom vypadá takto:



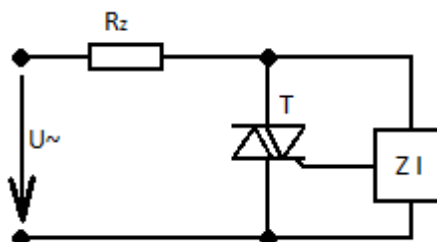
Obr 11: Řízení výkonu tyristorem řízeným RC členem,
zapojení s Gretzovým můstkem

Výsledná časová konstanta tohoto obvodu se vypočítá stejně, jako u předcházejícího zapojení.

1.4.4 Regulace výkonu triakem řízeným zdrojem impulsů

Triakem může regulovat výkon zátěže i ve střídavých obvodech. Řízení probíhá buďto zdrojem impulsů nebo RC obvodem. U triaku nezáleží na polaritě řídicích impulsů, ale na velikosti řídicího proudu.

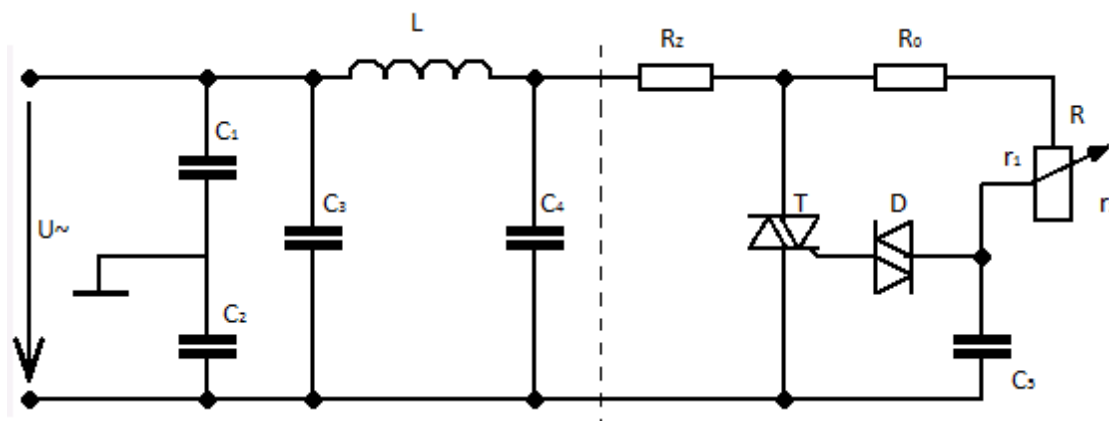
Použijeme-li pro řízení zdroj impulsů, vypadá zapojení jako na následujícím schématu:



Obr 12: Řízení výkonu triakem
řízeným zdrojem impulsů

1.4.5 Regulace výkonu triakem řízeným RC obvodem

Jedná se o poslední schema v této kategorii, proto je rozšířeno o tzv. filtrační obvod zdroje, který tvoří π článek tvořený z kondenzátorů a cívky. Tento předřazený obvod slouží k filtrování rušení, které by se nám mohlo vracet do sítě, takže bychom třeba nemohli poslouchat rádio, nebo sledovat televizi. Jednotlivé části jsou v následujícím schématu od sebe odděleny čárkovanou čarou. V levé části schématu je tedy onen filtrační obvod a vpravo je vlastní regulátor.



Obr 13: Řízení výkonu triakem řízeným RC členem; schema včetně odrušovacího filtru

Výkon řízený triakem je regulovaný prakticky od nulového výkonu po cca 98% nominálního výkonu spotřebiče.

Protože nezávisí spínaný proud na polaritě, ale pouze na velikosti řídicího proudu, tak můžeme regulovat obě dvě půlvlny. Velikost výkonu je dána časovou konstantou τ , tzn. polohou jezdece potenciometru. Diak slouží k potlačení tyristorového jevu. Je zařazen do obvodu proto, aby při sepnutí prošel řídicí elektrodou proudový impuls optimální velikosti.

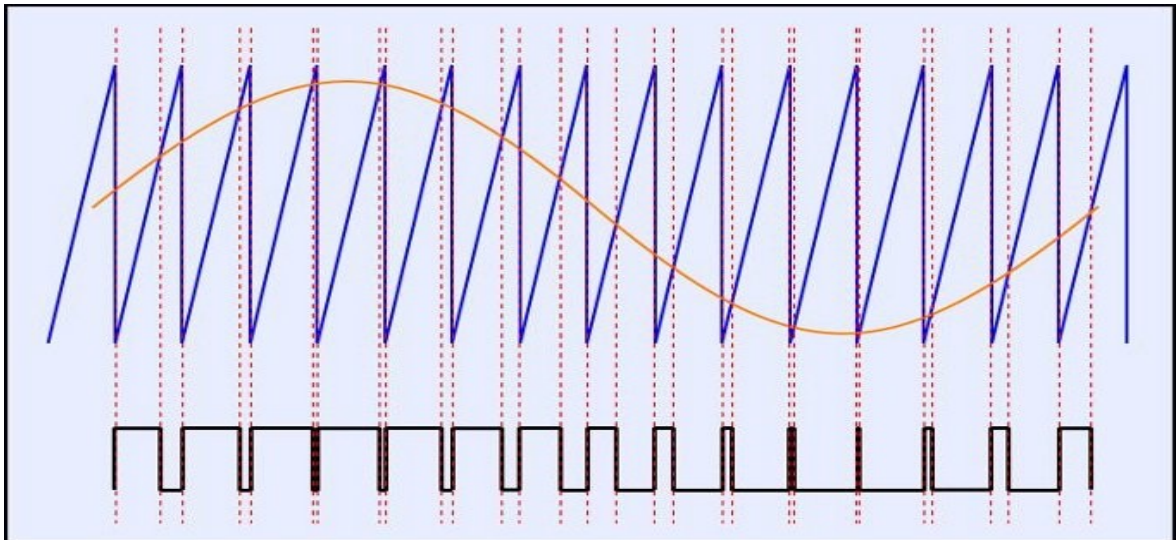
1.5 PWM – pulsně šířková modulace

Nejedná se o úplně běžnou regulaci výkonu, nicméně pro regulaci LED, nebo obecně pro regulaci v oblasti malého napětí.

Jedná se o diskrétní modulaci, tedy modulaci, která převádí analogový signál na posloupnost nul a jedniček. Jak nám napovídá název pulsně šířková modulace, tak řízení probíhá tak, že máme impulsy u kterých řídíme jejich šířku – jinými slovy měníme střihu signálu.

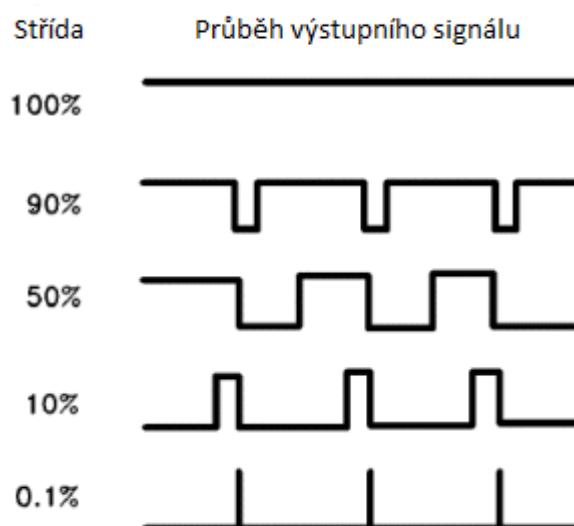
Proč právě PWM? Výhodou je použití spínacího tranzistoru. Neboť je-li tranzistor plně otevřený a protéká přes něho proud, tak je na něm jenom minimální napětí (tzv. saturační). Naopak, máme-li zavřený tranzistor, tak je na něm maximální napětí, ale neprotéká prakticky žádný proud. Tím nám ubude poměrně dost ztrát, které by se projevíly, kdybychom používali tranzistor pro spojitě řízení výkonu.

Na následujícím obrázku je uvedena PWM modulace pro čistou sinusoidu:



Obr 14: PWM modulace sinusoidy[14]

Z obrázku je patrné, že „nosnou“ u této modulace je pilový průběh napětí (používá se i trojúhelníkový průběh), který musí mít podstatně menší periodu, tedy větší frekvenci, než signál modulační. V praxi pak PWM probíhá tak, že když má modulační signál menší amplitudu než nosná, tak je na výstupu log. 1. V případě, že amplituda nosné je větší, tak máme na výstupu log. 0. Z tohoto je zřejmé, že použijeme-li jako modulační signál pro PWM proměnné stejnosměrné napětí, tak dosáhneme periodického signálu se střídou od 0% do 100%, tedy prakticky ideální regulátor. Na následujícím obrázku si ukážeme, co myslím tímto tvrzením.



Obr 15: Výstupní signál pro různou střídu[15]

Na obrázku je popsána střída, ta ale v tomto případě tvoří výkon. Tedy je-li střída 50%, potom je i výkon 50%.

Praktické použití PWM je velmi časté. Používá se u většiny DC/DC měničů, u střídačů a i ve frekvenčních měničích.

Zajímavou kapitolou je použití PWM v elektroakustice. Jedná se o zesilovače třídy D. Oproti zesilovačům v třídě AB má větší účinnost a podstatně větší účinnost oproti zesilovačům třídy A. V třídě D je účinnost tak velká, že i zesilovače s výkonem několika desítek wattů pracují s minimálními chladiči. V poměrně nedávné době ještě platilo, že tyto zesilovače byly akusticky horší, dneska už dosahují zkreslení v řádu desetin procenta.

Na výstupu je zařazena dolní propust a MOSFET tranzistory. Případným zájemcům o tuto problematiku bych doporučil webový článek [16]

2 POLOVODIČOVÁ TECHNIKA

V této kapitole se podíváme na to, co vlastně je polovodič, jaké jsou typy a jaké polovodičové součástky známe.

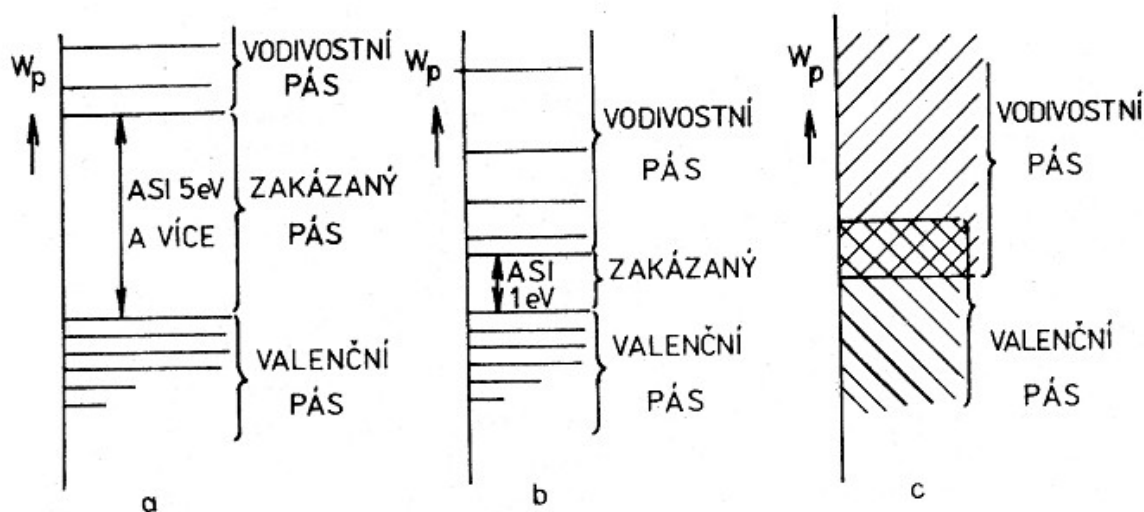
2.1 Základní terminologie, druhy vodivosti

Zde se podíváme na to, co jsou polovodiče, jak je dělíme, a které materiály můžeme používat.

2.1.1 Pásový model atomu

Zjednodušeně si můžeme představit vodivost atomu (respektive krystalu) v pásovém modelu, kde máme pás vodivostní, pás valenční a mezi nimi je tzv. zakázaný pás.

Uveďme si nyní obrázek pásového modelu krystalu:



Obr 16: Pásový model atomu. a) izolant; b) polovodič; c) vodič[1]

V části a je vyobrazen model izolantu (nevodiče), písmenkem b je označen polovodič a písmenko c nám znázorňuje vodič.

Pokud je vzdálenost valenčního a vodivostního pásu větší než 5eV, tak můžeme hovořit o izolantu, neboť elektrony nezískají takovou energii, aby byly schopné tento pás překonat.

Při vzdálenosti přibližně 1eV se jedná o polovodiče (u křemíku přibližně 1,12eV, u germania 0,72 a u galium-arseniku 1,4eV)[1]. Elektrony atomu se snaží držet poměrně blízko jádra – v místě s nejmenší energií. Pokud přijmeme zvenčí energii dost velkou na to, aby se elektron dostal mimo valenční dráhy a překonal zakázaný pás, tak je k jádru poután už jen slabě a může se uvolnit a cestovat prostorem krystalové mřížky. Tímto dojde k přenosu náboje, tedy k vedení elektrického proudu[1].

U vodičů (nejčastěji kovů) se zakázané pásmo nevyskytuje, a jak je vidět z pásového modelu krystalu, valenční a vodivostní pás se totiž překrývá. Z toho je zřejmé, že atom nepotřebuje žádnou velkou vnější energii k tomu, aby dokázal vést elektrický proud, tedy že je vodivý při jakýchkoliv podmínkách.

V následující kapitole se podíváme na polovodiče. Nejprve na vlastní a nevlastní vodivost.

2.1.2 Vlastní a nevlastní vodivost polovodičů

Základní polovodičové prvky mají ve valenční sféře čtyři elektrony – tedy prvky ve čtvrtém sloupci periodické tabulky prvků. Jedná se o uhlík, křemík, germanium, cín a olovo. Spolu se stoupající atomovou hmotností klesá velikost zakázaného pásma (u uhlíku se jedná až o 5eV; u křemíku 1,12eV; u germania 0,72eV, u cínu 0,3eV a olovo má 0,1eV).

2.1.2.1 Vlastní vodivost polovodičů

Pokud jsou atomy čisté a tvoří krystalickou mřížku, tak říkáme, že tvoří tzv. monokrystal.

V tomto stavu a bez přítomnosti vnějších energií, jsou polovodičové krystaly prakticky nevodivé, neboť atomy si ve vazbě „vypůjčí“ elektrony od sousedních atomů, tedy jsou všechny elektrony využity a atomy navenek působí nevodivě.

K tomu, aby elektrony dokázaly překonat zakázaný pás, tj. aby se dostaly z valenčního pásma do pásma vodivostního je potřeba přítomnost vnějších energií. Musíme přivést tak velké množství energie, aby mohlo dojít k rozbití některých vazeb. Takto uvolněný elektron pak může volně pohybovat krystalovou mřížkou a nést náboj. Po tomto elektronu tam zůstane tzv. díra, která má kladný náboj stejně veliký, jako je náboj elektronu. Do této díry jsou tedy přitahovány ostatní pohybující se elektrony. Při nasycení se tato díra zase zaplní, ale aby k tomu mohlo dojít, musí být volný elektron, který vzniknul výše popsaným dějem, který probíhá neustále na mnoha místech současně.

V materiálu nedochází jen k pohybu elektronů, ale i k pohybu děr. Ty jsou ale pomalejší, mají jen asi pětinovou až čtvrtinovou pohyblivost oproti elektronům.

2.1.2.2 Nevlastní vodivost polovodičů

Jak už bylo řečeno, tak monokrystal polovodiče je v případě, že na něj nepůsobí žádné vnější energie, nevodivý.

U nevlastní vodivosti dochází v podstatě k znečištění čistého monokrystalu tím, že nahradíme některé atomy polovodiče atomy jinými.

Nejedná se o nějaké masivní nahrazování, v praxi postačí jeden atom jiného prvku asi na milion atomů čistého polovodiče. Do polovodiče přidáváme třímocné a pětímocné atomy.

Pokud použijeme atomy třímocné – a nejčastěji se používá bor, hliník, galium a indium – tak dojde k tomu, že není možné vytvoření nasycené kovalentní vazby. Tím nám v této vazbě vznikne díra, tedy vedení proudu pohybem pozitivních (kladných) částí, hovoříme také o tzv. děrové vodivosti. Tímto způsobem nám vznikne **polovodič typu P**.

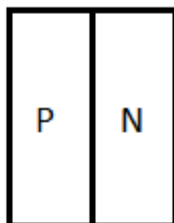
Nahradíme-li atom polovodiče atomem pětímocným – v praxi se používají atomy fosforu, arsenu nebo antimonu – tak dojde k tomu, že při uzavření kovalentní vazby nám jeden elektron „přebývá“, neboť není nijak vázán krystalovou mřížkou, jelikož atomy polovodičů jsou nasycené a elektron nepřitahují. Vedení v tomto typu polovodiče zprostředkovávají volné elektrony – záporné částice. Hovoříme tedy o elektronové vodivosti – vznikne nám **polovodič typu N**.

Tyto příměsi mají obrovský význam. Už velmi malou příměsí dokážeme zvýšit vodivost polovodiče více než desetkrát. Ovšem při vzniku díry nebo volného elektronu dochází i k vytvoření opačného typu vodivosti, tedy i v polovodiči s majoritní vodivostí typu P najdeme volné elektrony a naopak v polovodiči typu N najdeme volné díry. Ale nejedná se o žádné velké množství, opravdu se jedná jen o stopové množství, které se projevuje tzv. závěrným proudem, což si ukážeme v příští kapitole na volt-ampérové charakteristice diody.

2.1.3 Přechod PN

V minulé kapitole jsme si vysvětlili, co je polovodič typu P a co je polovodič typu N. Nyní si ukážeme, co udělá jejich spojení.

Nesmíme si myslet, že pokud k sobě přiložíme polovodič typu P a typu N, tak že nám vznikne přechod PN. Toto je poněkud utopická představa, ale zjednodušené náčrty této představě nahrávají, neboť se polovodičový přechod často znázorňuje tak, jak je uvedené na následujícím obrázku:



*Obr 17:
Zjednodušený PN
přechod*

Toto označení je zavádějící, nicméně pro běžné použití se uvádí, neboť je poměrně snadno pochopitelné.

2.1.3.1 Výroba přechodu PN

Pro vytvoření PN přechodu potřebujeme monokrystal polovodiče (tedy pravidelný polovodičový krystal bez poruch a nerovnoměrností). Takovýto monokrystal „znečistíme“ příměsí třímocného nebo pětímocného prvku tak, abychom vytvořili polovodič s nevlastní vodivostí typu P nebo typu N.

Takto upravený monokrystal se nejprve rozřeže na velmi tenké destičky (o tloušťce několik desetin milimetru), které se následně zbrúsí vyleští. Na takto připravených destičkách pak lze vytvořit PN přechod několika různými metodami, jako je slévání, epitaxní narůstání, difuze nebo iontová implantace.

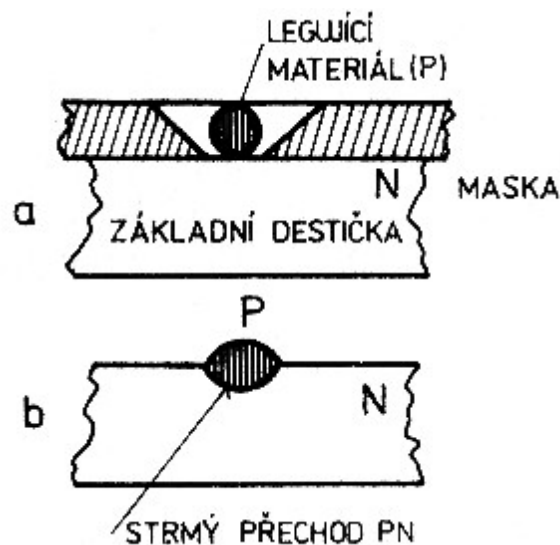
2.1.3.1.1 Slévání – legování

Při tomto postupu přiložíme na základní materiál tzv. masku s otvorem v místě, kde má být vytvořen přechod. Do otvoru v masce se vloží dostatek materiálu, způsobujícího opačnou vodivost než má základní materiál. Takto připravený materiál se zahřeje na velkou teplotu,

aby se se roztavil legující materiál a zároveň došlo i k natavení základní destičky v místě styku s taveninou.

Pozvolným chlazením se dosáhne toho, že vznikne krystalická mřížka plynule navazující na krystalickou mřížku původního materiálu.

Vzniklý PN přechod nazýváme strmý, nebo úzký, protože změna vodivosti z P na N je prudká. Tento postup je znázorněn na následujícím obrázku:



Obr 18: Výroba PN přechodu sléváním [1]

2.1.3.1.2 Epitaxní narůstání

V tomto případě je potřeba odstranit okysličenou vrstvu z povrchu základního materiálu v místech, kde má vzniknout vrstva s opačným typem vodivosti než má původní materiál. Tato destička se umístí do trubice vyrobené z křemenného skla. Do této trubice se pak vhání plynné křemičité sloučeniny s halogeny (např. chlorem) – tzv. silany a vodík. V dalším postupu se toto pak nahřívá na vhodnou teplotu, při které probíhá chemická reakce popsaná následující rovnicí: $SiCl_4 + 2H_2 = Si + 4HCl$. Na místech, které byly obnaženy dochází k nárůstu křemíku. Tento křemík by byl čistý, takže do trubice přivádíme příměs (tří nebo pětimocný prvek), která umožní vytvoření opačného typu vodivosti v této nové vrstvě. Kyselinu chlorovodíkovou vznikající při tomto procesu, jako vedlejší prvek, odsáváme.

2.1.3.1.3 Difúze

Tak, jako v předchozí metodě, tak i zde je nutné materiál dokonale očistit a zbavit veškerých kyslíčků v místě, kde má vzniknout nový PN přechod. Tento materiál opět umístíme do trubice, do které se vhání páry prvku způsobujícího opačnou vodivost. Tyto páry se tam musí vhnět s tak velkou kinetickou energií, aby dokázaly proniknout pod povrch základního materiálu a zůstanou v jeho krystalické mřížce. Difúze se provádí tak dlouho, dokud není v určité tloušťce dostatečná příměsí a tím vzniklá vodivost opačného typu.

Z tohoto postupu je zřejmé, že těsně pod povrchem bude koncentrace příměsí největší a směrem dále do materiálu se snižuje. Hovoříme tedy o širokém nebo též pozvolném přechodu, ke změně vodivosti totiž dochází v poměrně širokém pásu.

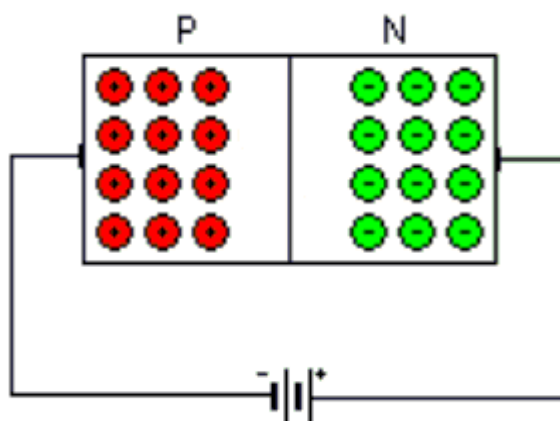
2.1.3.1.4 Iontová implantace

Metoda velmi podobná difúzi, také využívá kinetickou energii dotujících částic. Ve vakuu se na polovodič nechají dopadat ionty urychlené silným elektrickým polem. Energie těchto iontů musí být 0,3MeV. Tyto ionty pronikají do potřebné hloubky základního materiálu. U tohoto postupu dosahujeme přesnějšího řízení hloubky dopadu, než u difúzní výroby, u níž jsou rychlost pohybu i směr dotujících částic nahodilé.

2.1.3.2 PN přechod s přiloženým vnějším napětím

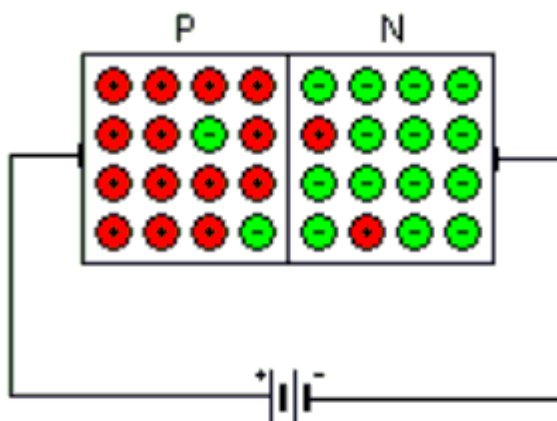
Nyní již víme, co je to PN přechod, a jak dosáhneme jeho vzniku. Teď si ještě ukážeme, jak se takový přechod chová, pokud k němu přiložíme napětí a chceme, aby jím procházel proud.

Přiložíme-li napětí tak, že na stranu s pozitivní vodivostí bude připojena k zápornému pólu zdroje a strana s negativní vodivostí bude připojena ke kladnému vývodu zdroje, hovoříme o tom, že je přechod PN polarizovaný ve zpětném směru. Jak je vidět z následujícího obrázku, tak jsou majoritní nosiče náboje přitahovány ke krajům přechodu a nemají tak dost energie k překonání tzv. vyprázdněné oblasti. V tomto případně je přechod uzavřen. Kdybychom změřili průchod proudu přes uzavřený, tak bychom se dostali na hodnotu velmi blízkou nule, v praxi se pohybující v řádu jednotek μA . To, že výsledný proud není nulový je způsobeno minoritními nosiči.



Obr 19: PN přechod polarizovaný v závěrném směru [4]

Pokud ale napětí přiložíme naopak (tedy tak, že k polovodiči typu P připojíme kladné napětí a k polovodiči typu N záporné), tak dojde k tomu, že vyprázdňená oblast zanikne a nosiče nábojů se budou pohybovat volně. Neděje se tak plynule od počátku, ale až do tzv. prahového napětí je přechod uzavřen. Pokud toto napětí překročíme, tak se otevře a vede elektrický proud. Toto prahové napětí je přibližně 0,2V u germaniových diod a přibližně 0,56V u diod křemíkových. Pokud se použije sloučenina arsenik galia, tak tam můžeme vhodnými příměsi dosáhnout prahového napětí od několika desetin voltu až po 1,3V.



Obr 20: PN přechod polarizovaný v propustném směru[4]

2.1.4 Přechod polovodič – kov

Toto spojení může mít podobné usměrňovací účinky jako klasický PN přechod nebo může mít čistě odporový charakter.

2.1.4.1 Přechod polovodič-kov s usměrňovacími účinky

Přechod polovodič kov se chová podobně jako běžný PN přechod. Říká se mu tzv. Schottkyho přechod (pojmenován podle slavného fyzika Waltera Hermanna Schottkyho (1886 – 1976) objevitele tohoto jevu).

Podobně jako při konstrukci PN přechodu ani zde nestačí pouhé přiložené polovodiče a kovu. Ke konstrukci takového přechodu potřebujeme základní polovodičovou destičku s vodivostí typu N nebo s vodivostí typu P, ale je nutné, aby tam byla poměrně malá koncentrace příměsí. A také musí být povrch polovodiče neponičený a čistý. Přechod může vzniknout například vakuovým napařením hliníku, molybdenu, titanu, platiny nebo paladia na povrch křemíkové destičky[1].

Schottkyho pravidlo nám říká, že volné nosiče nábojů se pohybují snadněji z polovodiče do kovu než obráceně.

Velkou výhodou přechodu polovodič-kov je jeho rychlost. K otevření nebo uzavření diody dochází ve velmi krátkém okamžiku (oproti klasickému polovodičovému PN přechodu), takže se toto spojení používá zejména v rychlých spínacích součástkách. Tento přechod má také velmi malý odpor, což ho spolu s jeho rychlostí předurčuje k využití ve vysokofrekvenční technice (až do řádu stovek gigahertzů).

2.1.4.2 Neusměrňující přechod polovodič-kov

Jedná se o spojení, které nemá žádné usměrňovací vlastnosti a má pouze odporový charakter.

Toto spojení se nám na první pohled může zdát až zbytečné, ale jedná se o spojení, které nalezneme na prakticky každé polovodičové součástce. Využívá se totiž pro připojení drátových vývodů (nebo pájecích plošek v SMT). Bez takového přechodu bychom nebyli schopni zapojit sebelepší polovodičovou součástku do žádného obvodu.

Provádí se tak, že máme část polovodiče s větší příměsí, hovoříme o vysoké koncentraci příměsí a výsledné polovodiče označujeme P^+ (při velké koncentraci děr) a nebo N^+ (při velké koncentraci volných elektronů). Někdy se také hovoří o degradovaném polovodičovém materiálu. Pokud takovýto polovodič spojíme s kovem, tak výsledný přechod nemá usměrňující účinky a chová se pouze jako odpor.

Nejvhodnějšími kovy pro realizaci takového přechodu je hliník, titan, sloučeniny paladia a platiny s křemíkem a nebo nikl.

2.2 Polovodičové diody

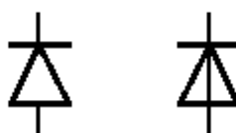
Základem polovodičové diody je přechod (většinou PN v některých aplikacích i přechod polovodič-kov). Ve většině případů slouží k usměrňování střídavých signálů, často také jako ochrana proti přepólování spotřebiče (buď napětí s přehozenou polaritou nepropustí, nebo zkratuje zdroj, bez pojistky nemusí být bezpečné, ale používá se).

2.2.1 Druhy polovodičových diod

Zde si popíšeme základní druhy běžných polovodičových diod, se kterými se můžeme v běžné praxi setkat.

2.2.1.1 Diody pro síťové usměrňovače

Tyto diody jsou převážně vyráběny z křemíku a většinou difúzní technologií. Nejčastěji slouží pro usměrňování technických kmitočtů (tj. kmitočtů běžně používaných v síti a v provozech). Povolený průchozí proud je v řádu jednotek a desítek ampér, povolené napětí je v řádu desítek až tisíců voltů. Schematická značka je vyobrazena na následujícím obrázku (starší značka je vlevo, novější vpravo).

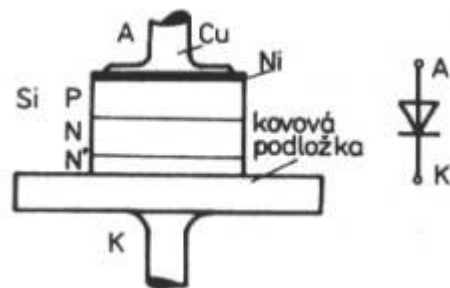


Obr 21: Dioda, schematická značka

Diody pro slabší proudy se vyrábějí ve válcových plastových pouzdrech (např.: DO15 nebo DO41), které, vzhledem ke svému ztrátovému výkonu, nejsou nijak kriticky namáhány a nemusí se chladit.

Diody pro větší proudy s větším ztrátovým výkonem se vyrábějí v trochu jiných pouzdrech (např.: DO4 nebo DO5), které umožňují montáž diody na chladič. Na následujícím obrázku si ukážeme, jak vypadá takový řez usměrňovací diodou v tomto pouzdru. Stejně bude vypadat řez diodou ve všech pouzdrech, i v moderních pouzdrech DO220, které jsou

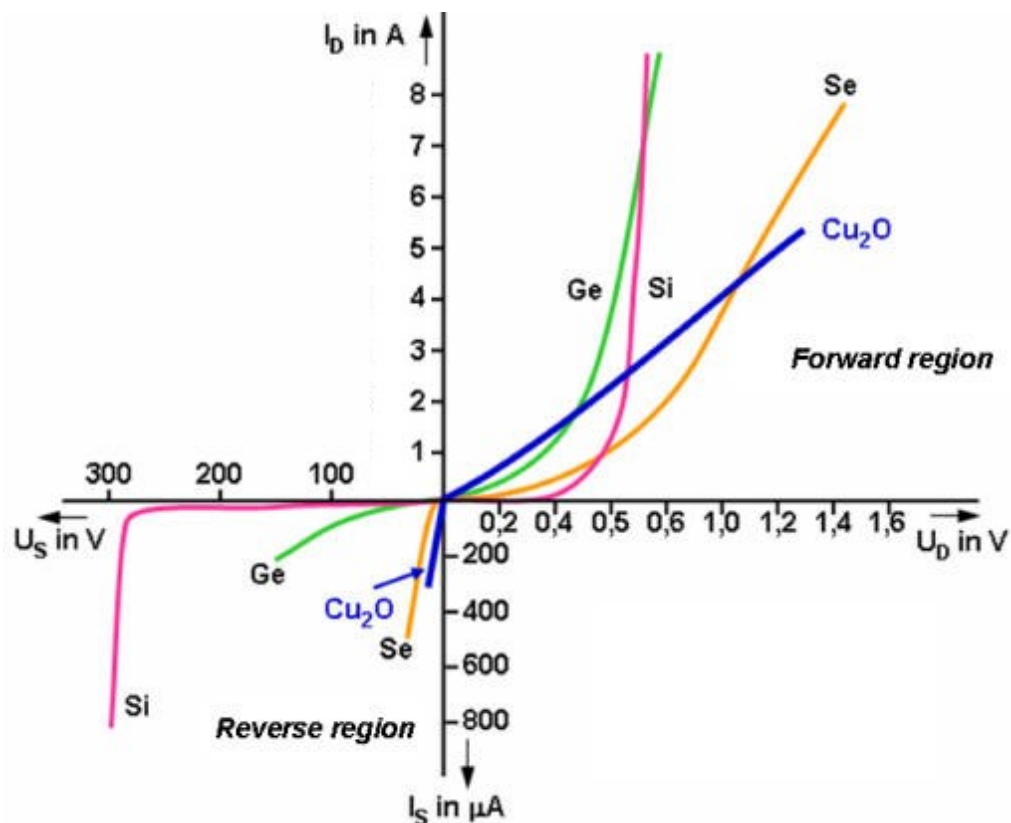
uzpůsobeny pro montáž na vertikální chladič, ale v tomto případě uvidíme rozšířenou kovovou podložku umožňující montáž na chladič.



Obr 22: Konstrukce usměrňovací diody [1]

Z obrázku je zřejmé, že je podložka, určená pro montáž na chladič, vodivě spojená s elektrodou. Pokud nám tato podložka pro chlazení nedostačuje a použijeme chladič, tak je nutné buďto použít několik menších chladičů, nebo u jednoho většího použít izolační slídové podložky a plastové průchodky.

Na následujícím schematu jsou zobrazeny průběhy volt ampérové charakteristiky pro usměrňovací diodu z různých materiálů.



Obr 23: V-A charakteristika usměrňovací diody[3]

Na této charakteristice jsou znázorněny čtyři materiály. Dva tam jsou spíše z historických důvodů a ke srovnání, neboť Cu₂O – oxid měďný (někdy zvaný cuproxid) a Se – selen se již nepoužívají pro nevýhodné vlastnosti. Je zde vidět dřívější otevírání germaniové diody a pozdější, ale strmější otevírání diody křemíkové. V prvním kvadrantu je propustný směr, ve třetím závěrný směr. I v závěrném směru je křemík pro tyto účely lepší, neboť vede minoritními nosiči v jednotkách mikroampérů až do doby, kdy dojde k průrazu přechodu – potom dojde k tzv. destruktivnímu průrazu diody.

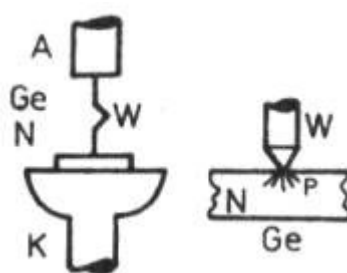
2.2.1.2 Diody pro malé vf proudy

Používají se buď plošné diody, nebo diody hrotové. Jejich schematická značka je stejná, jako u běžných usměrňovacích diod.

Plošné diody se používají do jednotek MHz. Základem takovéto diody je krystal o ploše 1x1 mm připájený na kovovou destičku zvyšující mechanickou pevnost diody a také pomáhající s chlazením diody. Dioda je neprodyšně uzavřená ve skleněném nebo kovovém pouzdru, vývody procházejí skleněnými průchodkami. Maximální proud procházející

diodou je pouze v desítkách miliampér, dovolené napětí ve zpětném směru je většinou do 200V.

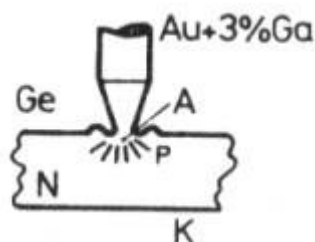
Hrotové diody jsou postavené na germaniovém krystalu o velikosti 1x1mm s nevládní vodivostí typu N. K tomuto krystalu pouze přiložíme wolframový drátek, který je k polovodiči jemně přitlačován. Takto připraveným materiálem projde proudový impuls o velikosti 1A. Při tomto impulsu dojde k tak silnému zahřátí, že některé atomy wolframu přejdou do polovodičové destičky a tím vznikne v místě dotyku polovodič typu P.



Obr 24: Postup výroby
hrotové diody[1]

Oproti plošným diodám mají tyto diody menší kapacitu přechodu, dají se tedy použít až do frekvence 1GHz, závěrné napětí je však maximálně 20V a proud v propustném směru je maximálně 25mA.

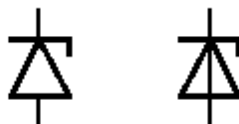
Dále se ještě hrotové diody vyrábí v provedení se zlatým hrotem, kdy přitláčený drátek tvoří zlato s příměsí tří procent galia. Při formování se vytvoří silně dotovaná oblast. Mají podobné vlastnosti jako germaniové hrotové diody, ale mají menší odpor v propustném směru a menší závěrný proud. Jsou dokonce o něco rychlejší.



Obr 25: Hrotová dioda se
zlatým hrotem[1]

2.2.1.3 Diody pro stabilizaci napětí

Tyto diody slouží pro stabilizaci stejnosměrných napětí, případně jako omezovač velikosti napětí. Jejich schematická značka je uvedena na následujícím obrázku (vlevo je starší značka, vpravo novější).



Obr 26: Zenerova (lavinová) dioda, schematická značka

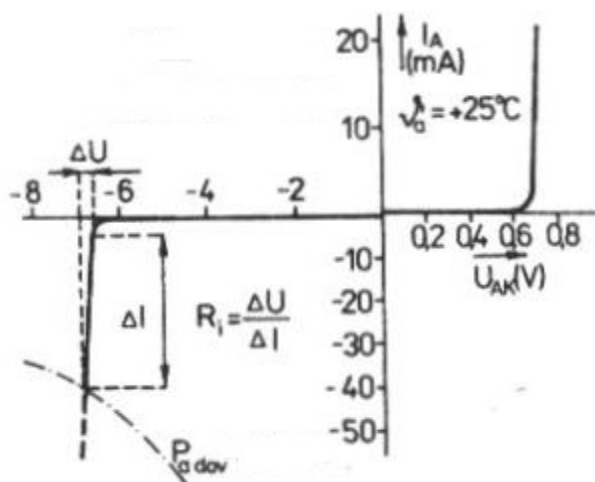
Tyto diody se zapojují do obvodu v závěrném směru a mají velmi tenký PN přechod. Při působení dostatečně velkého napětí v závěrném směru dojde ve vyprázdněné oblasti k tak velké intenzitě elektrostatického pole, že dojde k vytrhování elektronů z krystalické vazby. Velmi vzroste počet minoritních nábojů, což se projeví růstem proudu při minimální změně napětí. U této diody dochází k nedestruktivnímu průrazu v závěrném směru.

Tento jev je pojmenován podle Clarence Zenera, objevitele tohoto jevu. Maximální Zenerovo napětí je přibližně 6V.

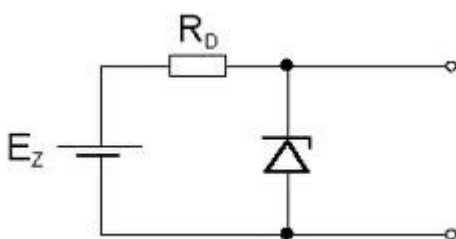
Při větší šířce přechodu dojde k tomu, že vytržený elektron narazí ve vyprázdněné oblasti na jiný a uvolní ho z vazby. Tímto způsobem letí prostorem a uvolňují elektrony, které uvolní další. Nastane tzv. lavinová ionizace v oblasti přechodu, která se projevuje obdobně, jako zenerův jev.

V praxi se většinou nerozlišuje, jestli jde o diodu zenerovu nebo o diodu lavinovou, označují se stejně, neboť jejich vlastnosti jsou prakticky totožné a liší se pouze velikostí stabilizovaného napětí.

Na následujících obrázcích si ukážeme volt-ampérovou charakteristiku takovéto diody a uvedeme si základní zapojení této diody.



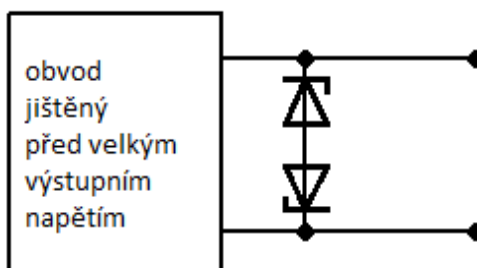
Obr 27: V-A charakteristika Zenerovy diody[1]



Obr 28: Základní zapojení zenerovy diody [2]

Předřadný odpor diody R_D volíme tak, že si spočítáme rozdíl vstupního a výstupního napětí a tento rozdíl poté vydělíme proudem, který bude obvodem procházet. Tedy

$$R_D = \frac{(U_1 - U_2)}{I}$$

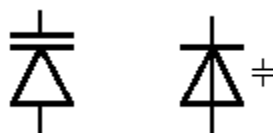


Obr 29: Zapojení pro omezení výstupního napětí

Tento omezovač se používá v zapojeních, kde pracujeme s malým napětím a potřebujeme omezit jeho velikost na výstupu. Výsledné napětí je ořezáno na velikost zenerova napětí diody plus 0,6V, což je napětí na diodě v propustném směru.

2.2.1.4 Kapacitní diody - varikapy

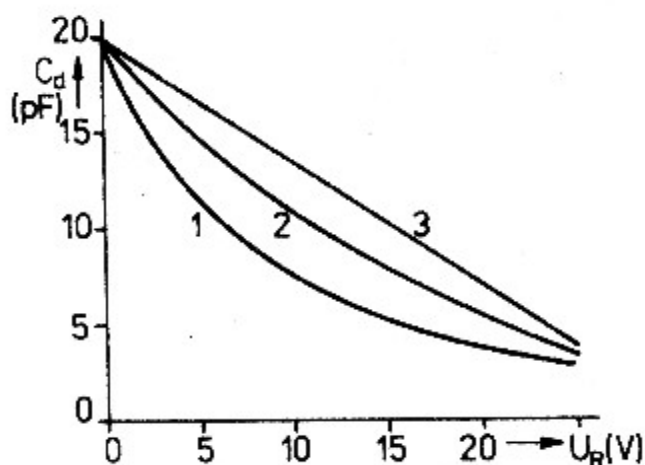
Pokud přivedeme na PN přechod napětí tak, aby byl přechod polarizovaný opačně, vzniká nám vyprázdňené pásmo – tedy pásmo, které je nevodivé. V závislosti na přiloženém napětí se nám toho pásmo rozšiřuje a zužuje. Tohoto jevu využívá kapacitní dioda. Polarizujeme-li ji stejnosměrným napětím, získáme tím tedy kondenzátor o určité kapacitě. Tyto diody se používají jako ladící v rezonančních obvodech vř přijímačů. Přijímaný vysokofrekvenční signál má totiž tak malou amplitudu, že je zanedbatelná, a nijak se nám neprojeví do ladících vlastností varikapu.



Obr 30: Varikap -
používané schematické
značky

Velmi nám záleží na tom, jaká technologie výroby je použita. V následujícím obrázku je znázorněná závislost kapacity na přiloženém napětí. Můžeme použít přechod strmý, i pozvolný a při vhodné koncentraci a rozdělení příměsí můžeme získat i lineární průběh.

Změna kapacity je možná přibližně v poměru 1:7. Maximální kapacita se pohybuje v jednotkách až několika desítkách pF.



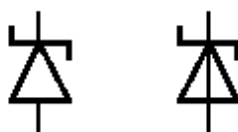
Obr 31: Průběh kapacity diody v závislosti na napětí

[1]

Jak je z předchozího obrázku vidět, při zvyšujícím se napětí klesá kapacita diody. Je to dáno tím, že jsou volné nosiče přitahovány blíže k elektrodě a vyprázdněná oblast je větší. Číslo 1 na obrázku nám ukazuje průběh kapacity u strmého přechodu, číslo 2 u pozvolného přechodu a číslo 3 dokládá, že vhodnou koncentrací a vhodným rozprostřením příměsi dokážeme vyrobit diodu s lineární závislostí.

2.2.1.5 Schottkyho dioda

Schematická značka Schottkyho diody je zobrazena na následujícím obrázku:



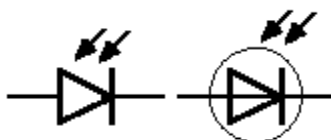
Obr 32: Schematická
značka Schottkyho
diody

Jak bylo řečeno v kapitole pojednávající o přechodu polovodič-kov, Schottkyho pravidlo popisuje tento přechod. V míst styku kovu s polovodičem dochází k velmi rychlému odsátí volných nábojů kovem [1]. Z tohoto důvodu jsou volné nosiče náboje vždy odsáty kovem velice rychle. Proto můžeme tyto diody používat až do řádu desítek GHz.

Povolené závěrné napětí u Schottkyho diod bylo maximálně 30V a povolený propustný proud byl v řádu stovek miliampér, nicméně vývojem a postupem času dnes dokážeme vyrobit Schottkyho diody až do 100V, které snesou velmi vysoký proud (až kolem 20A) .

2.2.1.6 Fotodioda

Konstrukce fotodiody je podobná obyčejné diodě s plošným přechodem, ovšem tato dioda je konstrukčně provedená tak, aby mohlo na přechod dopadat světelné záření. Její schematická značka je uvedena na následujícím obrázku.



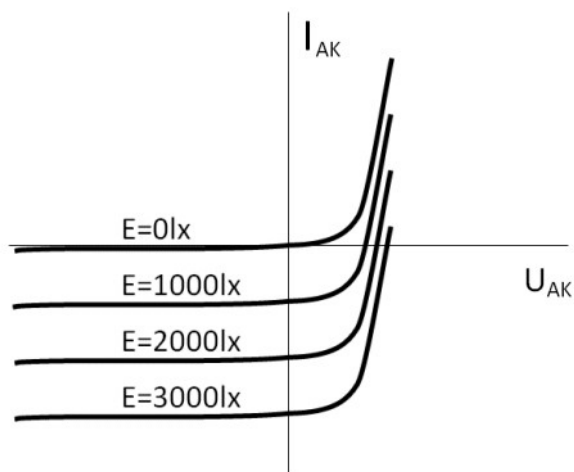
Obr 33: Schematické
značky fotodiody

Pokud není dioda osvětlena, tak se chová stejně, jako běžné polovodičová dioda.

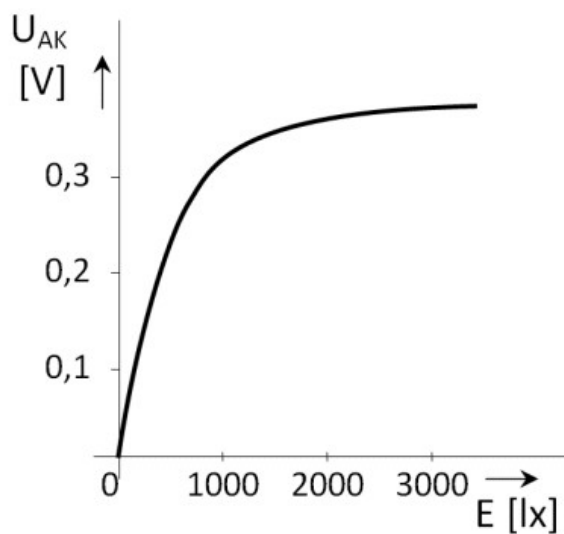
Při osvětlení dochází k vedení proudu v závěrném směru, proud roste téměř lineárně v závislosti na intenzitě dopadajícího osvětlení. Hovoříme o tzv. odporovém režimu diody. Pokud tedy tuto diodu zapojíme do obvodu v závěrném směru, omezujeme jí procházející proud v závislosti na dopadajícím osvětlení. Dalo by se říct, že funguje podobně jako fotorezistor, ovšem pouze pro stejnosměrná napětí. Na rozdíl od fotorezistoru má fotodioda téměř lineární závislost odporu na osvětlení, ale velikost odporu se nemění tak prudce.

V propustném směru se dioda chová normálně, vliv osvětlení má malý vliv na průběh V-A charakteristiky.

Zajímavá část volt-ampérové charakteristiky fotodiody je ve čtvrtém kvadrantu. Tato část říká, že dioda se mění z pasivního prvku na aktivní, tedy že funguje jako zdroj elektrické energie. V tomto případě hovoříme o tzv. hradlovém režimu fotodiody.



Obr 34: V-A charakteristika fotodiody [5]



Obr 35: Závislost hradlového napětí na osvětlení[5]

2.2.1.7 LED

2.2.1.7.1 Základní informace, technologie

LED (light emitting diode) je zdroj nekoherentního záření. Princip luminiscenční diody je založen na rekombinaci, tzn. rekombinuje-li elektron s dírou, odevzdává energii zhruba rovnou šířce zakázaného pásu. Injekcí majoritních nosičů do polovodiče opačné vodivosti

při přiložení napětí na PN přechod v propustném směru se zvýší pravděpodobnost rekombinace, a často k ní také dochází. Při rekombinaci každého páru elektron-díra se uvolní určité kvantum energie, které se může buď vyzářit mimo krystal, nebo být absorbováno v mříži. To se projeví zvýšenou teplotou krystalu.

Vhodnými materiály jsou polovodiče s tzv. přímým přechodem (nevzniká fonon) a větší šířkou zakázaného pásu. Používané kombinace materiálů jsou GaAsP GaP, GaAlAs (červená), InGaP, SiC (zelená a modrá).[6]

Tyto diody se pro usměrňování nehodí, neboť snesou pouze velmi malý proud v propustném směru (u běžných LED se tento proud pohybuje maximálně do 20mA) a maximální povolené závěrné napětí na nich je asi pět voltů.

Schematická značka LED je velmi podobná fotodiodě, akorát špičky označující tok světla jsou z opačného směru:



Obr 36: LED, tři používané schematické značky

2.2.1.7.2 Materiály, barvy a výkony LED

Obecně lze říct, že úbytek napětí na diodě je nepřímo úměrný délce vlnového záření, je to patrné i z následující tabulky, která je uvedena pro běžné diody s malým výkonem, při proudu $I_D=20\text{mA}$.

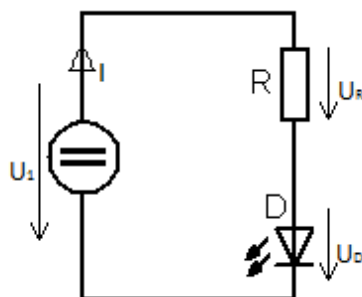
Barva	vlnová délka (nm)	Napětí (V)	Látka
Infračervená	$\lambda > 760$	$\Delta V < 1.9$	GaAs AlGaAs
Červená	$610 < \lambda < 760$	$1.63 < \Delta V < 2.03$	AlGaAs GaAsP AlGaInP GaP
Oranžová	$590 < \lambda < 610$	$2.03 < \Delta V < 2.10$	GaAsP AlGaInP GaP
Žlutá	$570 < \lambda < 590$	$2.10 < \Delta V < 2.18$	GaAsP AlGaInP GaP
Zelená	$500 < \lambda < 570$	$1.9 < \Delta V < 4.0$	InGaN/GaN GaP AlGaInP AlGaP
Modrá	$450 < \lambda < 500$	$2.48 < \Delta V < 3.7$	ZnSe InGaN SiC Si
Fialová	$400 < \lambda < 450$	$2.76 < \Delta V < 4.0$	InGaN Červená/modrá + fialový luminofor
Ultrafialová	$\lambda < 400$	$3.1 < \Delta V < 4.4$	Diamant (Vlnová délka: 235 nm) Nitrát Borý (Vlnová délka: 215 nm) AlN (Vlnová délka: 210 nm) AlGaInN AlGaInN - (Vlnová délka: pod 210 nm)
Bílá	Celé spektrum	$\Delta V = 3.5$	Modrá/ultrafialová + žlutý luminofor

Tabulka 1: Barva, vlnová délka, úbytek napětí a materiály LED[7]

Tato tabulka, a stejně tak i zmínka o napětí a odběru, se týká běžných LED, které jsou používány jako nejrůznější indikátory, světla na kolech, koncová světla automobilů nebo vlaků. Zcela jinou kapitolou jsou tzv. výkonové LED, které ke svému provozu ji většinou potřebují montáž minimálně na hliníkový profil, v některých případech i přímo na chladič. Vezměme si například diodu označenou jako W724C0. Z katalogu a datového listu můžeme vyčíst, že proud diodou v propustném směru dosahuje až 2,8A a napětí na diodě je přibližně 3,5V. U této diody dosáhneme světelné intenzity 900Lm[8] – pro srovnání u klasické 60W žárovky je svítivost přibližně 650Lm (udávám přibližnou hodnotu, neboť různé zdroje uvádějí 600 – 670Lm).

2.2.1.7.3 Základní zapojení LED v obvodu

Pro napájení běžných LED stačí velmi triviální zapojení s jedním rezistorem, který musíme spočítat tak, aby došlo k rozsvícení diody, ale tak aby procházející proud dioda dlouhodobě vydržela. U LED totiž nemusí dojít ke spálení hned, ale určité přetížení chvíli vydrží. Toto zapojení je na následujícím obrázku.



Obr 37: Základní zapojení

LED

Velikost tohoto předřadného odporu vypočítáme takto: $R_1 = \frac{U_1 - U_D}{I}$; [Ω ; V ; A], kde R_1 je výsledná velikost odporu, U_1 je napětí zdroje, U_D je napětí na diodě a I je proud diodou a výslednou hodnotu odporu zvolíme nejbližší směrem nahoru ve vyráběných řadách. Samozřejmě nesmíme zapomenout na výkonovou ztrátu na rezistoru. Vyjde-li nám úbytek napětí na rezistoru 10V, při proudu 20mA, tak výsledný výkon je $P = U \cdot I = 10 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 0,2 \text{ W}$, což je hodnota velmi malá, neboť nejmenší subminiaturní rezistory mají povolený ztrátový výkon 0,25W.

Pokud nevíme, jaké napětí je na diodě při odběru požadovaného proudu (např. oněch zmiňovaných 20mA), tak můžeme použít zapojení uvedené v kapitole 1.1.1 s tím, že zvolíme rezistor tak, aby maximální proud obvodem byl oněch 20mA.

Pokud ale máme již větší napětí a jednu diodu, tak ji můžeme ve výpočtu ignorovat. Neboť máme-li napětí zdroje 20V a chceme jeho provoz indikovat diodou, tak můžeme napětí na

diodě ve výpočtu vynechat. Výpočet bude tedy vypadat takto: $R = \frac{U_1}{I} = \frac{20}{20 \cdot 10^{-3}} = 1 \text{ k} \Omega$,

pokud bychom tam uvažovali úbytek na diodě např. 2,3V, tak bychom se dostali k hodnotě

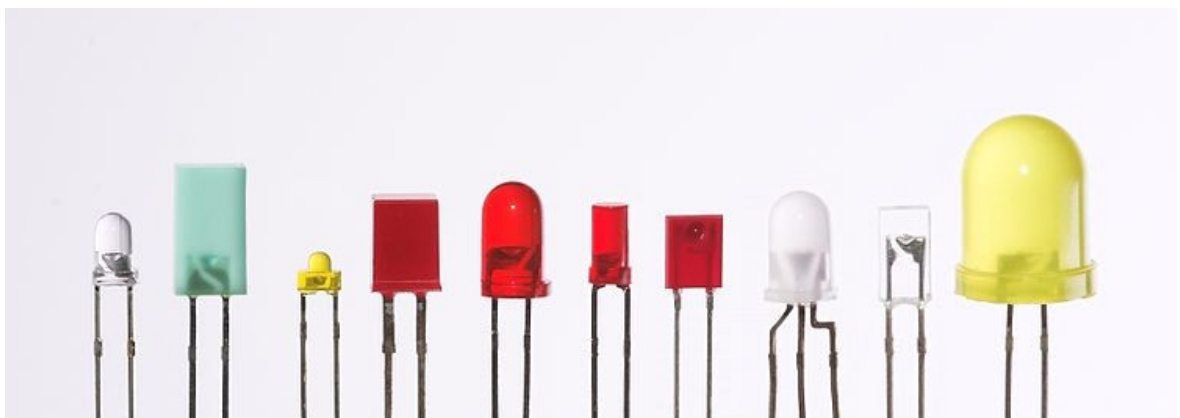
$R = \frac{20 - 2,3}{20 \cdot 10^{-3}} = 885 \Omega$. V případě rezistorů řady E12 bychom stejně museli zvolit hodnotu

1k Ω , u řady E24 už by šla zvolit hodnota 910 Ω , u řady E48 už máme na výběr více hodnot, ale pro indikaci provozu je prakticky jedno, jestli diodou protéká proud 18 nebo 20mA, neboť větší chybu než 2mA jsme tímto zaokrouhlením neudělali.

Pokud potřebujeme použít více LED pro větší intenzitu osvětlení, nebo pro větší plochu, aby bylo světlo snáze zpozorovatelné, můžeme, v závislosti na velikosti napájecího napětí, úspěšně použít sériové zapojení LED, případně sériovoparalelní v závislosti na počtu LED, napětí na nich, odebíraného proudu.

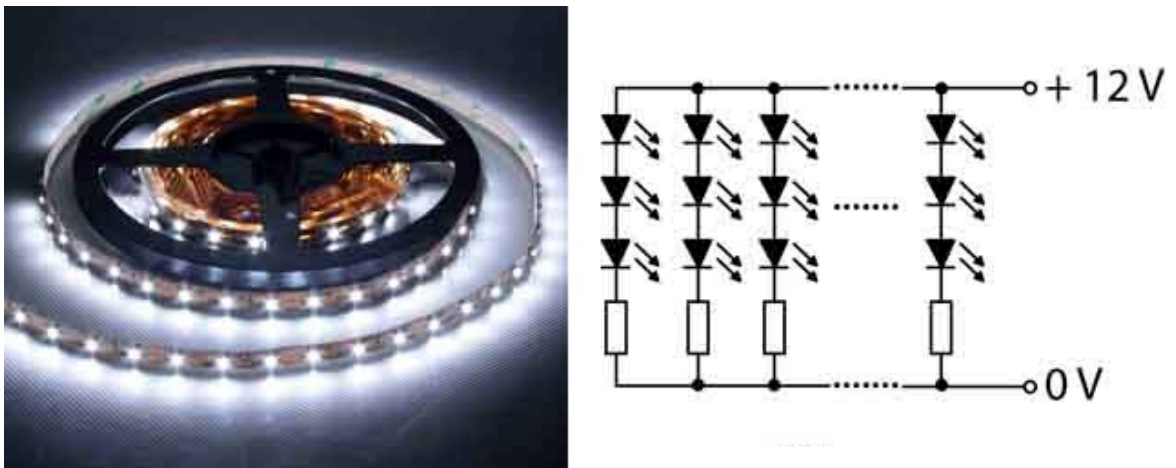
2.2.1.7.4 Provedení LED, žárovky a zářivky z LED

Na následujících obrázcích si uvedeme tvary a provedení běžných LED, LED pásků a ukážeme si příklad zářivky z LED, žárovek a vysokosvitivých výkonných LED. Na prvním obrázku jsou uvedeny běžné LED, nejčastější provedení jsou kulaté diody o průměru 3 nebo 5mm, které se dělají buď v čířém pouzdře nebo v difúzním pouzdře stejné barvy, jakou má svít. Dioda s třemi kontakty je provedena tak, že má společnou jednu elektrodu, většinou katodu a dvě anody. Podle toho, jak tuto diodu zapojíme, takovou barvou světla bude svítit.



Obr 38: Provedení běžných LED [9]

Následující obrázek nám ukazuje LED pásek a jeho zapojení. Výhodou tohoto typu osvětlení je možnost snadného rozdělení pásek vždy po třech diodách



Obr 39: LED pásek - fyzikální provedení a zapojení [10]

LED žárovky se vyrábějí ve velkém spektru provedení – sufitky pro autopřemysl, bajonetové žárovky, žárovky se závitem E10 a E27, pro nejrůznější napětí, od 4,5 po 230V.



Obr 40: Různé provedení LED žárovek [11]

Dokonce se vyrábějí i LED zářivky, nejčastěji ve velikosti T8 (tj. trubice o průměru 26mm) a T5 (tj. trubice o průměru 16mm). Dnes již jdou sehnat LED zářivky typu DZ (ohnutá zářivka s jenom dvěma piny). Jejich zapojení je velmi jednoduché, vyřadíme z obvodu cívku se startérem a trubici zapojíme tím způsobem, že do jedné patice přivedeme fázi, do druhé pracovní nulu.

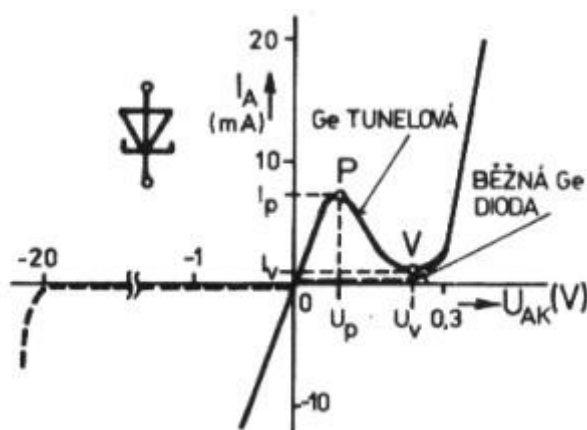


Obr 41: Různá provedení LED zářivek[12][13]

2.2.1.8 Ostatní polovodičové diody

Zde bych chtěl už jen zmínit další polovodičové diody, ale již se jim nechci věnovat podrobněji, neboť se jedná o diody specializované, s velmi řídkým výskytem, se kterými běžný člověk moc často do styku nepříjde. Jedná se o diodu tunelovou a tzv. PIN diodu.

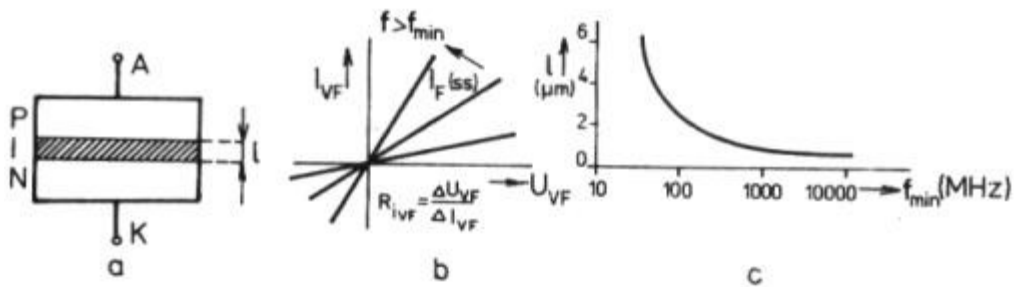
Tunelová dioda má velmi zvláštní V-A charakteristiku, v závěrné části se chová jako rezistor, v propustné se otevírá ihned, ale jen do jisté doby, potom zase proud diodou klesá a až dále opět narůstá. Její charakteristika i schematická značka je uvedena na následujícím obrázku.



Obr 42: V-A charakteristika tunelové diody,
porovnaná s běžnou diodou[1]

PIN dioda je jiná, než klasické diody, má tři vrstvy. Vrstvu s nevlastní vodivostí typu P, která tvoří anodu diody, je oddělena od vrstvy s vodivostí typu N, tvořící katodu, tenkou

vrstvou velmi čistého křemíku. Tato mezivrstva, tlustá několik mikrometrů není dotována žádnou příměsí. Má pouze vlastní (intrinziční) vodivost – odtud písmeno I v názvu[1]. Při vysokých frekvencích se dioda začíná chovat jako lineární rezistor. Používají se při velmi vysokých frekvencích, ve stovkách a tisících megahertzích. Jejich volt-ampérová charakteristika je na následujícím obrázku.



Obr 43: V-A charakteristika PIN diody [1]

3 MOŽNOSTI DÁLKOVÉHO ŘÍZENÍ STMÍVAČŮ

V této části práce bych se rád zaměřil na možnosti dálkového řízení stmívačů. Tuto kategorii bych si dovolil rozdělit do několika podkategorií, podle realizace a podle ovládání.

3.1 Drátové dálkové ovládání

Nejedná se o dálkové ovládání v pravém slova smyslu, neboť jsme pořád připojeni k přístroji, který ovládáme.

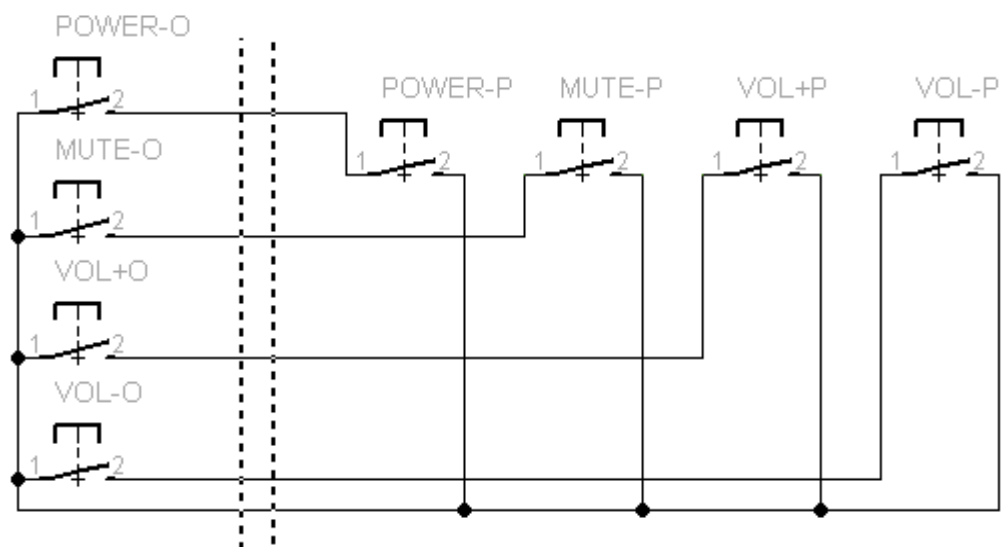
3.1.1 Jednoduché dálkové ovládání

Dálkové ovládání tohoto typu je do ovládaného obvodu připojeno kabeláží. Výhody tohoto zapojení jsou v jednoduchosti, nemusíme řešit přenosovou cestu, neboť máme dálkové ovládání přímo spojeno s ovládaným přístrojem. V praxi se může vyskytovat několik provedení tohoto zapojení.

Nejjednodušší drátové dálkové ovládání je v případě, že máme na ovladači jen několik ovládacích prvků. Potom můžeme ovládacím vodičem vést několik lanek, které budou napojené na mikrospínače v dálkovém ovládání, a na druhé straně, v přístroji, budou zapojeny na stejná místa jako tlačítkové ovládání přímo na přístroji. Tímto způsobem se ale narazíme na několik omezení, neboť můžeme ovládat skutečně jenom několik tlačítek, jinak by totiž byl přípojný kablík široký, neohebný, náchylný na lámání, a působil moc hamatným dojmem.

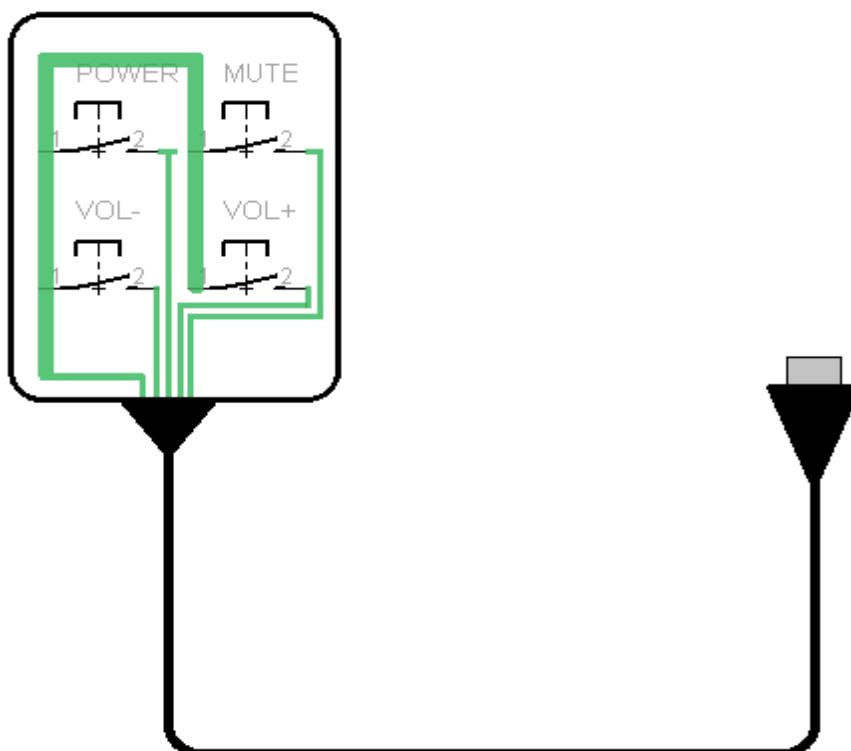
Ale u některých aplikací lze tohoto postupu využít velmi dobře. Například u takové počítačové reprosoustavy nám na takovémto ovládání stačí dvě až čtyři tlačítka. Pro hlasitost nahoru, hlasitost dolů, vypnutí a funkce ztlumení – MUTE.

Velmi zjednodušené schema je znázorněno na následujícím obrázku – toto zapojení počítá se společným jedním vodičem, nejčastěji zemí, vzhledem ke které jsou tlačítka spínány. V jiném případě bychom vedli místo pěti vodičů vodičů osm. Na levé straně je znázorněné vedení ovladače, které by ovšem bylo v praxi realizováno na DPS z cuprexitu. Mezi čárkovanými čarami je vedení z ovladače do přístroje, v pravé je znázorněný přístroj, ve kterém jsou vodiče přivedeny paralelně k vlastním spínačům.



Obr 44: Zjednodušené schema ovladače.

Na dalším obrázku je uvedena jednoduchá konstrukce tohoto ovladače se znázorněným plošným spojem a se svedenými cestami do propojovacího vedení.



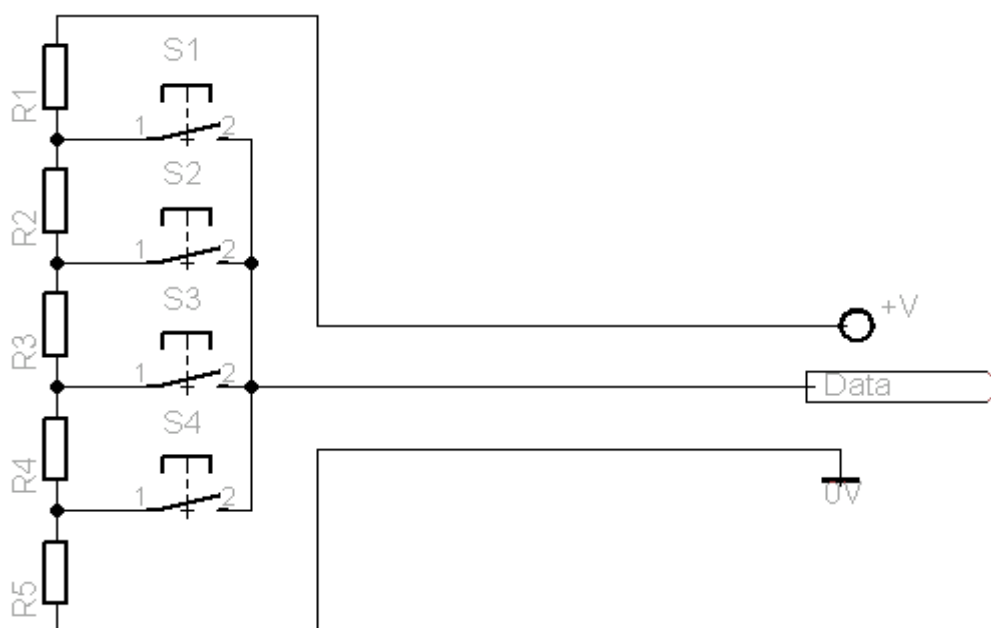
Obr 45: Dálkový drátový ovladač, možnost zapojení

Popsal jsem zde možnost jednoduchého drátového dálkového ovladače, na modelu reprosoustav, kdy regulujeme hlasitost a můžeme produkci buďto ztlumit nebo vypnout. Ovšem pouze v případě elektronického potenciometru (tedy ovládání hlasitosti přes tlačítka). Tímto popisem jsem se odchýlil od zadání práce – tedy regulace osvětlení, nicméně se jedná o prakticky stejný případ pro použití i v našem problému, neboť místo toho, aby byly tlačítka popsány VOL+ a VOL-, tak mohou být popsány INT+ a INT- a můžou přidávat a ubírat na intenzitě osvětlení. Stačí nám v použitém regulátoru nahradit běžný regulační potenciometr potenciometrem elektronickým, ovládaným tlačítky. Pro případné vypnutí, nebo i zapnutí není problém přidat do obvodu relé, které budeme ovládat tlačítky v tomto drátovém ovladači.

Co se týká napájení LED, tak velmi výhodně lze použít PWM modulace. Zde je obrovskou výhodou to, že se nemusíme bát práce s elektronickým potenciometrem při síťovém napětí, tedy napětí u něhož dosahuje špičková hodnota až 325V, ale můžeme pracovat s napětím pouhých 5V.

3.1.2 Pokročilé dálkové drátové ovládání

Nabízí se více možností, jak takovéto ovládání vytvořit. Jedna z nich je použití odporového děliče a poté použití A/D převodníku v přístroji, abychom věděli, které tlačítko bylo zmáčkuté, a poté jsme se softwarově rozhodli, jakou akci chceme provést.



Obr 46: Zapojení drátového ovladače s odporovým děličem

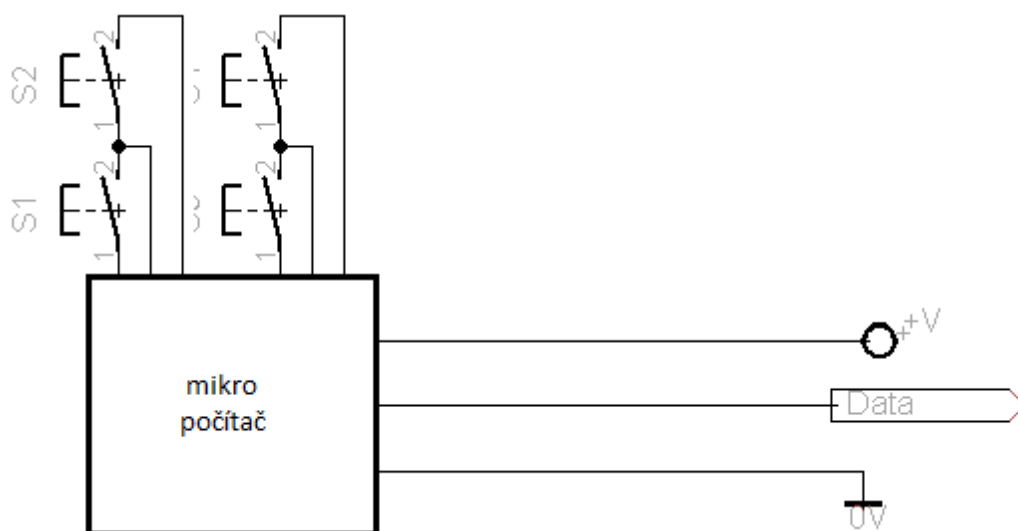
Jak je ze schematu patrné, tak nám pro toto zapojení stačí třívodičové propojení – v praxi můžeme použít např. stíněnou dvoulinku nebo kroucený třívodičový kabel. Hodnoty rezistorů můžeme zvolit stejné, získáme tím rovnoměrný odporový dělič. Použijeme-li pro napájení tohoto ovladače hodnotu 5V a hodnotu rezistoru jen 100Ω, tak odběr bude

$$I = \frac{U}{\sum R} = \frac{5}{5 \cdot 100} = 0,01 \text{ A} = 10 \text{ mA} , \text{ což je poměrně malý proud, se kterým můžeme bez}$$

problémů pracovat. Jelikož se jedná o lineární dělič, tak na výstupu bude napětí buď 1; 2; 3 a nebo 4V. V tomto zapojení není záměrně použito plné nebo nulové napětí, kvůli možné detekci poruchy, případně zkratu ve vedení. Vzhledem k minimálním proudům tekoucím v zapojení můžeme úspěšně využít SMD rezistory a povrchovou montáž.

3.1.3 Drátové ovládání řízené mikroprocesorem

Zde nám opět stačí zapojení se třemi vodiči, napájení, zem a data. Zde uvedu již jen blokové zapojení, neboť v rámci řízení je i v ovladači potřeba použít mikroprocesor.



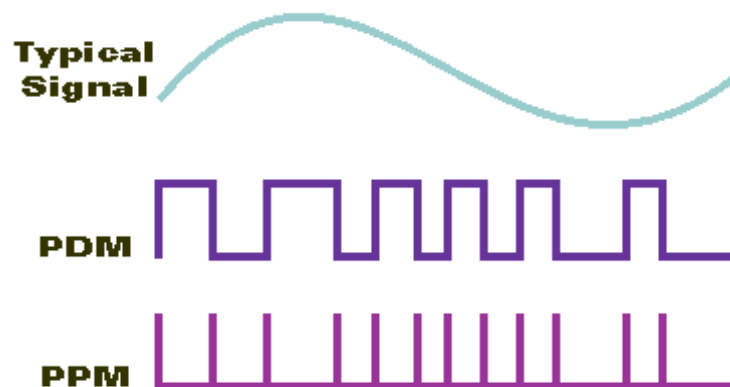
Obr 47: Drátové ovládání s mikropočítačem

Ve schematu je uvedena součást mikropočítač. Nejedná se o klasický modul mikropočítače, který známe z laboratoří, a který se běžně programuje, jedná se opravdu o velmi malý mikroprocesor s několika vnějšími součástkami.

Tím, že přenášíme data jenom jedním vodičem (a vyhodnocujeme je proti zemi), tak je od sebe potřebujeme odlišit. Toho můžeme dosáhnout několika způsoby. Jedna z krajních

metod je použití D/A převodníku a opětovné vysílání signálů různé napěťové úrovně přímo, nebo využít některou z digitálních modulací. Máme k dispozici několik typů digitální modulace a je jen na nás, kterou použijeme. Pro jednoduchost přenosu a realizace je dobré zvolit modulaci, jejíž výstup má konstantní amplitudu, abychom si vystačili se sekvencemi jedniček a nul. Například použití takové PAM modulace, u níž se mění amplituda impulsů v závislosti na amplitudě vstupní spojité složky by byla komplikovaná. Například již zmiňovaná PWM, která se projevuje změnou střídy signálu. Nebo například PPM, tedy pulsně fázová (polohová) modulace, u které vysíláme pouze impulsy v závislosti na tom, jak se nám mění modulační signál.

Modulation



Obr 48: Porovnání PWM (PDM) a PPM modulace [17]

Jinou možností je vyslat několik impulsů v předem daných sekvencích. Na přijímané straně pak rozlišíme o kterou sekvenci se jednalo a provedeme akci podle toho.

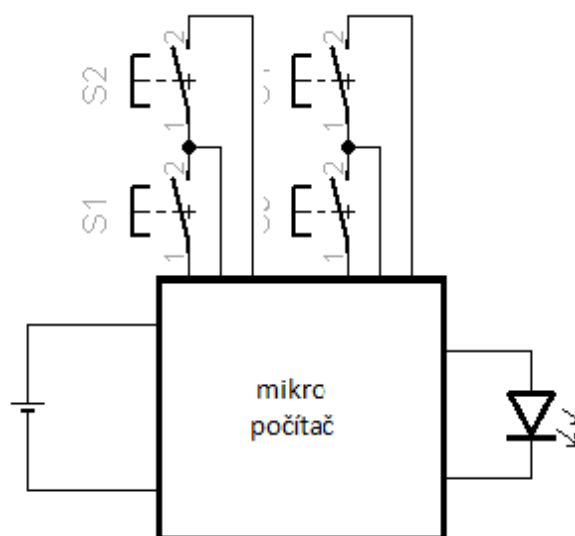
3.1.4 Dálkové ovládání realizované ve vedení

Jednou z možností je superponovat napětí o amplitudě např. 1V, s velkým kmitočtem. Ovládat intenzitu osvětlení můžeme změnou frekvence. Na straně přístroje můžeme tuto přidanou střídavou složku extrahovat a pomocí tzv. nábojové pumpy, tedy převodníku z frekvence na napětí. Pokud už budeme mít tento převodník, tak můžeme změnou napětí řídit PWM. Potom už je výsledná regulace jednoduchá.

Další možností je využití již existujícího a odzkoušeného protokolu LONWorks, který nám umožňuje přenos jakéhokoliv signálu po již existujícím vedení, například po nízkonapěťovém rozvodu 230V.

3.1.5 Bezdrátové dálkové ovládání s infračervenou diodou

Opět se jedná o zapojení s mikroprocesorem, blokové zapojení je velmi podobné, jako drátové dálkové ovládání v kapitole 3.1.3.



Obr 49: Blokové schema dálkového IR ovládání

Jak je z předcházejícího schematu vidět, je zapojení opravdu velmi podobné, ovšem s tím rozdílem, že zde máme vlastní napájení, realizované nejčastěji mikrotužkovými bateriemi nebo knoflíkovou baterií. Pro vysílání impulsů používáme infračervené LED, které nejčastěji vyzařují na vlnové délce 880-950nm[11]. Na straně přijímače pak máme fotodiodu, respektive fototranzistor pracující na stejné vlnové délce, případně speciální přijímač/dekodér infračerveného záření.

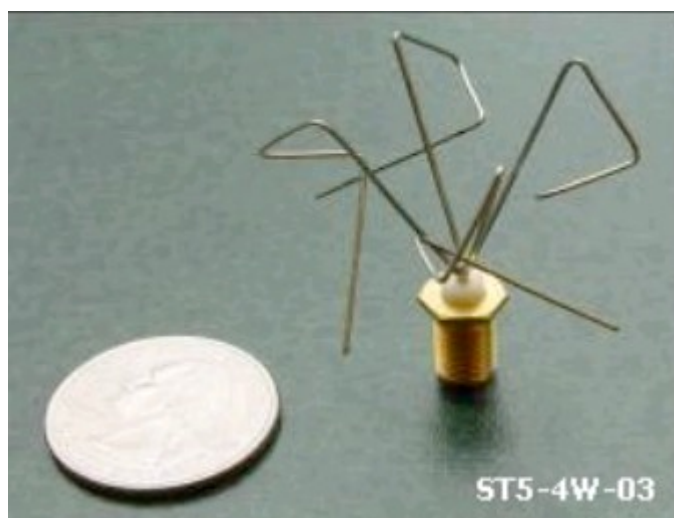
Na stejném principu přenosu pracuje i protokol IrDA, tedy přenos dat v infračerveném spektru, což je mezi veřejností známé u přenosu dat mezi mobilními telefony, nebo mezi telefonem a počítačem bez nutnosti použít metalické datové kabely, zejména z doby před Bluetooth. Takovýto přenos dat byl známý svou pomalostí, nicméně to bylo dáno použitými přijímači v telefonech. Dneska dosahuje přenos dat rychlosti až 100Mb/s, tedy

až 12.5MB/s a v dohledné době se očekává vylepšení této technologie, které přinese přenosové rychlosti 1Gb/s a hovoří se až o rychlosti 10Gb/s[18].

Nevýhodou dálkového ovládání, nebo obecně přenosu dat, je nutnost, aby na sebe přístroje „přímo viděly“, tedy aby vysílací element byl v přímém optickém kontaktu s přijímačem. Maximální dovolená odchylka od osového středu přijímače je 30°. Poté již nemusíme být schopni vysílaný signál přijmout. U ovládání je to jev nepříjemný, nicméně při operacích s přenosem dat je to výhoda, neboť se značně komplikuje možnost odposlouchávání přenášených dat.

3.1.6 Dálkové ovládání RF

Ovládač pracující na rádiových frekvencích již potřebuje používat některou s vhodných modulací. Blokové schema tohoto ovladače by bylo velmi podobné schématu v kapitole 3.1.5, pouze infračervená LED by byla nahrazena vysílací anténou a anténa by se nacházela i v ovládaném přístroji. V přístroji můžeme použít klasickou anténu, ale ve vysílači, tedy v dálkovém ovládání, musíme použít buďto miniaturní anténu, nebo ji musíme vyleptat do desky plošného spoje. Při požadavku na co nejmenší a přitom velmi dobrou anténu je možnost využít evolučních algoritmů, s úspěchem lze použít SOMA nebo DE[19]. Na následujícím obrázku je vyobrazena anténa používaná NASA a vyvinuta evoluční technikou.



Obr 50: Miniaturní anténa navržená evolučními algoritmy pro NASA[19]

Když evoluční algoritmy dokáží miniaturizovat anténu na rozměr podobný minci, při zachování všech důležitých komunikačních parametrů, tak by určitě, při správném nastavení, zvládly vytvořit obrazec antény na DPS.

V praxi se používají frekvence 434 a 868MHz, s dosahem od deseti metrů až do několika stovek metrů, ovšem moduly s velkým dosahem používají většinou externí antény, a právě to by mohly pomoci vyřešit evoluční algoritmy a jejich návrhy antén.

3.1.7 Dálkové ovládání řízené GSM signálem

Ovládání pomocí GSM signálu se už netýká ovládání v rámci běžné domácnosti, to už se týká ovládání na opravdu velkou vzdálenost.

Většinou se jedná o drahé přístroje, které v sobě již obsahují GSM modul. Někdy se jedná o „jednoučelové“ přístroje – například termostat s GSM modulem, nebo spínací zásuvky s GSM modulem, či čidlo alarmu dávající vědět o narušení... Tyto moduly se většinou nastaví, když jsou připojené k počítači – nastavitelnými akcemi jsou tvary SMS, odezvy na SMS a reakce při prozvoňování – tedy zdarma. Tohoto typu ovládání pravděpodobně nevyužijeme na ovládání regulátoru osvětlení, jedná se spíše o ovládání termostatů nebo jiných přístrojů, které využíváme např. při návratu do nemovitosti – sepne se topení a přijdeme do vytopeného objektu a na prozvoňování si pustíme venkovní osvětlení.

Další možností jsou plně programovatelné GSM moduly pro využití především v řídicích systémech, pro podávání hlášení, nebo pro libovolné ovládání dle napsaného software.

Pro obyčejné domácí použití jsou sehnatelné jednoduché moduly i stavebnice, které nemají vestavěný GSM modul, ale využívají externí mobilní telefon a reagují na vyzvánění tohoto telefonu, respektive na elektromagnetické pole, které pomocí cívky indukuje napětí, podle kterého se provede nastavená akce.

Je na výběr z několika možností chování - 1) relé drží po dobu vyzvánění. Po ukončení rozepne. 2) relé můžete zapínat a vypínat dle potřeby 3) relé sepne a odpadne po nastavené době.[20] Jedná se o jednoduchý a funkční modul, nicméně má spoustu nevýhod – nelze nastavit telefonní číslo, které se může „dovolat“ - jedině v nastavení telefonu, ale přesto může projít k telefonu dostatečně silné elektromagnetické pole.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 STMÍVAČ A JEHO OVLÁDÁNÍ

Tato část už je praktická a opouštíme rovinu teoretických znalostí a zaměříme se spíše na návrh a praktickou realizaci stmívače osvětlení. Jak ze zadání vyplývá, tak cílem řízení jsou LED – tedy svítidla pro moderní osvětlení. Jak jsme si již řekli, tak LED diody pracují se stejnosměrným napětím, a důležitější než řídit a kontrolovat napětí na diodě je řízení procházejícího proudu. Pokud se jedná o výkonové diody, tak jejich maximální proud najdeme vždy v jejich datasheetu (česky bychom řekli technický list). Pokud použijeme při řízení říditelný proudový zdroj, tak můžeme nastavit maximální proud a poté regulovat bez obav. Samozřejmě musíme výkonovou diodu umístit na odpovídající chladič, jinak bude mít dioda i s dobře spočítaným procházejícím proudem velmi krátkou životnost.

V případě, že použijeme zdroj s řízenou velikostí napětí, tak musíme pro maximální úroveň napětí použít odpovídající rezistor, který nám omezí proud procházející diodou a srazí napětí na diodě, viz. schema na obr.37. Pokud nemáme řízený zdroj, ale přesto chceme řídit osvětlení LED, tak musíme použít řízení proměnným rezistorem, nebo nespojitě řízení s více rezistory a přepínačem.

Další výhodnou metodou je použít zdroj s pevným napětím, ale osadit ho modulem PWM. Potom lze jednoduše nastavit velikost maximálního výstupního proudu buď rezistorem, nebo sériovou kombinací více LED s menším rezistorem.

4.1 Návrh obvodu stmívače

Protože jsem se rozhodl nepoužít pro řízení osvětlení řešení s mikroprocesorem, ale řízení pomocí několika modulů složených z diskretních součástek.

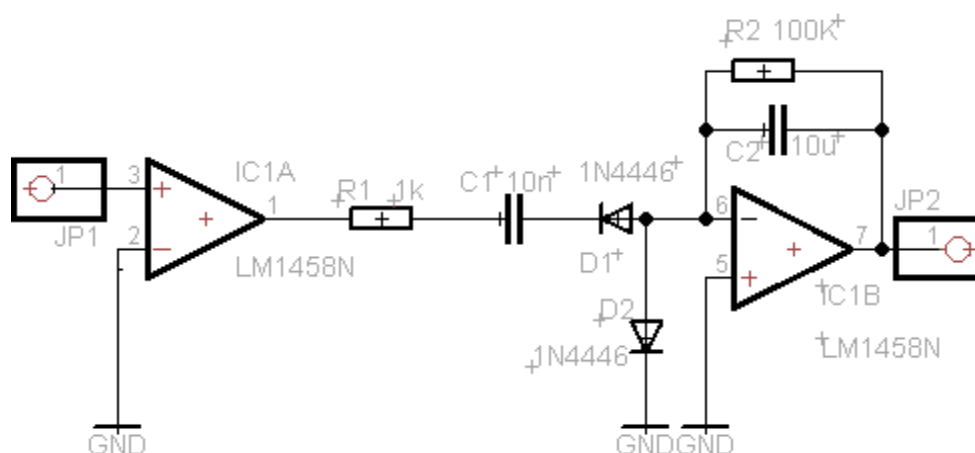
Dálkové řízení si představuji drátové, řízení bude probíhat tak, že budeme snímat kmitočet střídavého signálu s malou amplitudou, který poté vyhodnotíme v převodníku frekvence na napětí, a tímto napětím pak můžeme řídit PWM regulátor.

4.2 Výběr komponent regulátoru

V této kapitole rozeberu jednotlivé komponenty a popíšu, co mě vedlo k jejich výběru a také uvedu něco k jejich realizaci.

4.2.1 Převodník frekvence na napětí a postup výroby DPS

Jak již bylo řečeno, ovládání má fungovat na principu převodníku z frekvence na napětí. Jako první jsem zvolil tzv. nábojovou pumpu realizovanou pomocí dvojice operačních zesilovačů LM1458, a několika vnějších součástek, tak, jak je uvedeno na následujícím schematu.

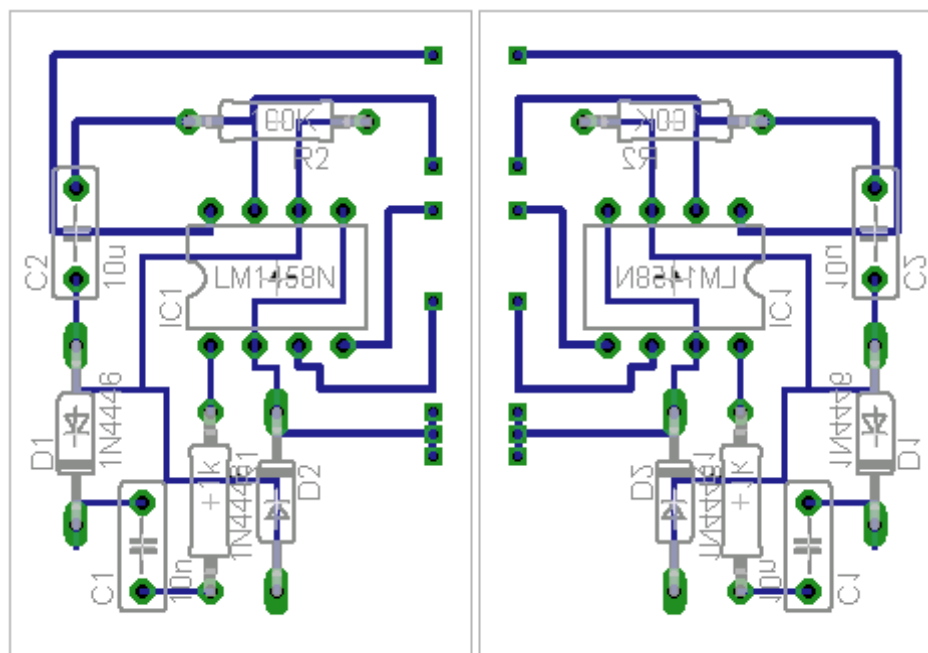


Obr 51: Schema nábojové pumpy[21]

Tento obvod funguje takto: První operační zesilovač je zapojen jako komparátor bez hystereze, a tedy slouží jako tvarovač signálu – udělá nám obdélníkový signál ze vstupního střídavého signálu.

Pokud máme na výstupu prvního OZ kladné napětí, tak se nám nabíjí kondenzátor C_1 , a to až do velikosti napětí U_{SAT} . Když máme na výstupu záporné napětí, tak obvodem začne procházet proud a kondenzátor se nám přebije na opačnou polaritu. Každou půlperiodu se nabije kondenzátor C_1 a v druhé polovině se přebije do kondenzátoru C_2 , který je pomalu vybíjen rezistorem R_2 . Pokud máme obvod v ustáleném stavu, tak se náboje na obou kondenzátorech rovnají, a z tohoto lze potom určit velikost výstupního napětí U_2 .

Schema uvedené v [2] jsem si překreslil do programu EAGLE (Easily Applicable Graphical Layout Editor) a vytvořil zde i návrh DPS.



Obr 52: Osazovací výkres a cesty na DPS

Na předcházejícím dvouobrázku je vidět na levé půlce výsledný osazovací výkres a na pravé půlce jeho zrcadlová kopie pro přenesení na cuprextit.

Finální výroba DPS se nám potom dělí na dvě možnosti:

První možností je výroba desky klasicky – na vyčištěnou desku cuprextitu ručně přeneseme cesty, k tomu používáme speciální kreslicí roztoky, nebo kvalitní lihový fix, a poté vyleptáme desku leptacím roztokem, nejčastěji se používá FeCl_3 (chlorid železitý), dále se používá i HCl (kyselina chlorovodíková) a nebo HNO_3 (což je kyselina dusičná), která je ale pro běžného smrtelníka velmi obtížně sehnatelná pro svou nebezpečnost.

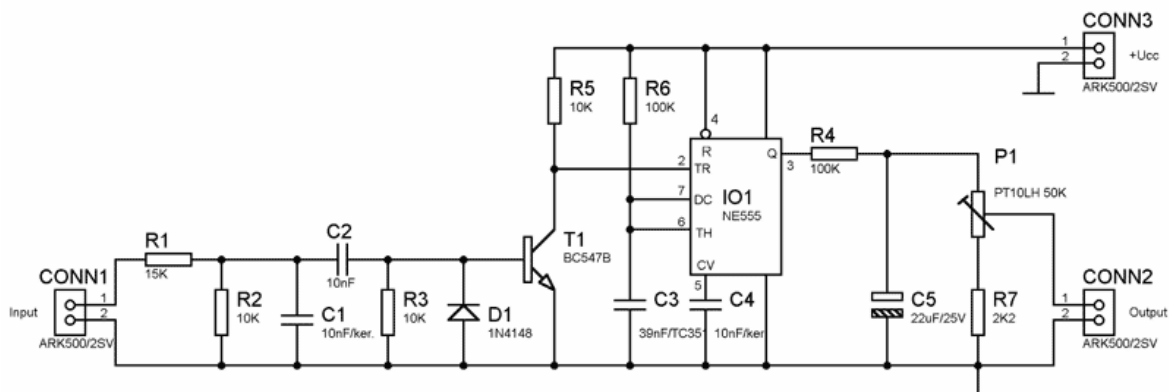
Druhou možností je vytisknout obrazec na fólii a přiložit a přitisknout na fotocitlivou desku (není moc vhodné použít jako přitlačný materiál skleněnou desku, neboť ta UV záření částečně pohlcuje, výhodnější je použití plexiskla). Poté musíme desku nasvítit zdrojem ultrafialového záření typu UV-A. K tomuto účelu lze využít různé UV lampy – zářivky, horské slunce... U tohoto zdroje osvětlení je potřeba dávat pozor na zrak. Bezpečnější a modernější způsob pro osvětlování je použití ultrafialových LED, které, vzhledem k jejich poměrně bodovému záření, umístíme do „matice“. Takovýto modul osvětlení můžeme realizovat i v bezkontaktním pokusném poli a napájet malým napětím – jedná se tedy o světelný zdroj bezpečnější pro zrak.

Máme-li již takto osvícenou desku, musíme ji vyvolat. Toto se provádí v roztoku NaOH, tedy hydroxidu sodného, při koncentraci 10g/l[22]. Poté již můžeme desku vyleptat v běžném leptacím roztoku, které používáme i pro klasickou metodu výroby DPS.

V obou případech poté očistíme DPS od kresby – lihem, acetonem, poté mechanicky vyčistíme – v praxi postačí přegumování tvrdou gumou. Desku poté natřeme pájecím lakem, který můžeme připravit rozpuštěním kalafuny v lihu, acetonu nebo ředidle. Vrstva tohoto laku ochrání DPS od možné oxidace a zároveň si tím velmi usnadníme pájení.

V této práci jsem se rozhodl pro výrobu plošných spojů klasickou metodou, neboť chci případným čtenářům a bastlířům ukázat, že i touto jednoduchou metodou lze udělat různá zapojení, a že pro běžnou práci není potřeba mít vybavení pro fotocitlivou výrobu.

Tento obvod se nakonec ukázal být špatnou volbou, neboť nesplňoval mé požadavky na velikost a změnu výstupního napětí, proto jsem zvažoval další možnosti, jak převést frekvenci na napětí. Jednou z možností bylo využití mého oblíbeného časovače NE555, který, mimo jiné, umožňuje i tento převod:

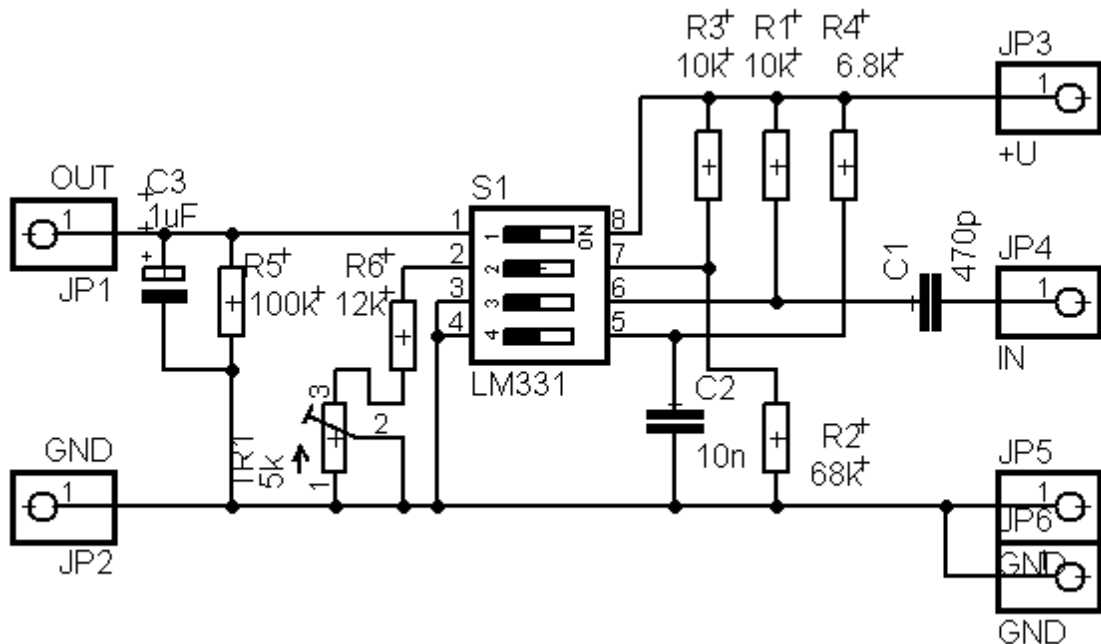


Obr 53: NE555 jako převodník $f \rightarrow U$ [23]

Ovšem vzhledem k tomu, že tento převodník má poměrně malé výstupní napětí jsem se rozhodl toto schema nepoužít a vydat se cestou integrovaného obvodu LM331, jehož základní funkcí je převod napětí na frekvenci, ale s modifikovaným zapojením zvládne i převod opačný, tedy převod z frekvence na napětí.[24]

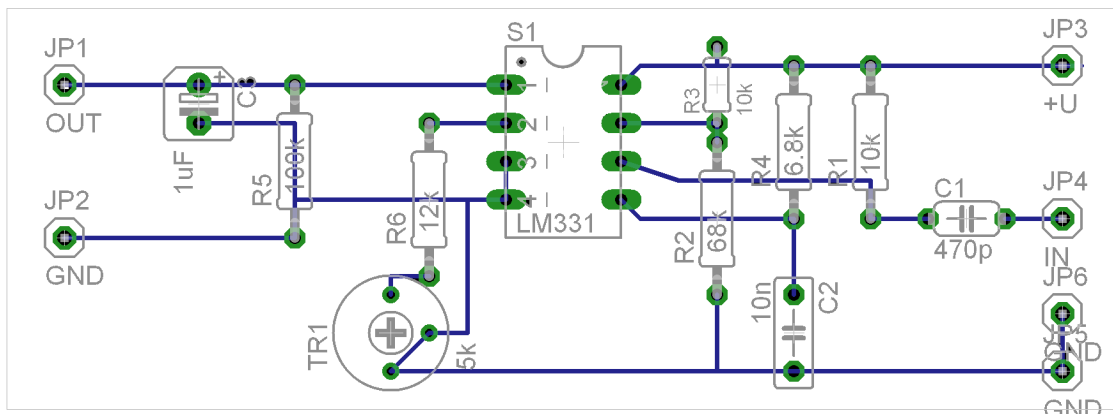
Na následujícím obrázku je schema tohoto převodníku přenesené do programu EAGLE (pozn.: Vzhledem k tomu, že má verze sw EAGLE nezná IO LM331, rozhodl jsem se jej

ve schématu nahradit čtyřnásobným přepínačem umístěným v pouzdře DIL, který má stejné fyzické rozměry jako zmíněná LM331).



Obr 54: Převodník $f \rightarrow U$ [24], schema překreslené do sw EAGLE

V tomto programu jsem vytvořil i rozložení součástek na DPS.



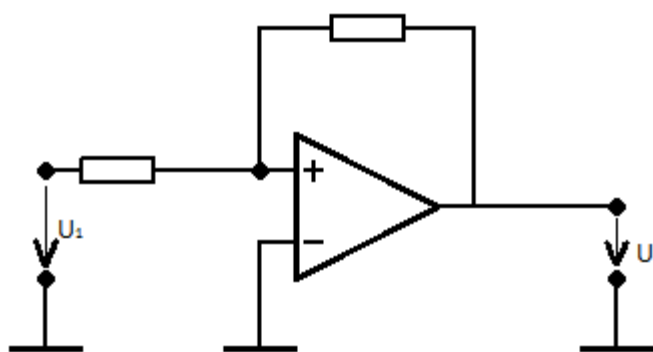
Obr 55: DPS LM331

Jak se ukázalo při testovacím provozu zapojení, toto zapojení má lineární závislost výstupního napětí na vstupní frekvenci. Při napájecím napětí $U=15V$ dosahovalo výstupní napětí velikost 10V při frekvenci 20kHz. Trimrem TR1 lze velikost výstupního napětí regulovat, pokud má výstup sloužit jenom jako referenční hodnota, tak lze dát na výstup odporový dělič pro snížení napětí na patřičnou velikost, což není nejlepší řešení. Lepším řešením je změna velikosti použitých součástek podle vzorce

$U_{OUT} = f_{in} \cdot 2,09 U \cdot \frac{R_5}{(R_6 + TR_1)} \cdot (R_4 \cdot C_2)$. Drobnou nevýhodou tohoto integrovaného obvodu

oproti převodníkům LM2907, případně LM2917 je to, že nám vyhodnocuje pouze obdélníkový signál, s čímž musíme počítat při realizaci, a případně doplnit zapojení o vhodný tvarovač signálu, který nám ze sinusového průběhu udělá průběh obdélníkový. K tomu nám může posloužit Schmittův klopný obvod – speciální komparátor s hysterezí, který nám ze sinusového (nebo i jiného) průběhu udělá obdélníkový.

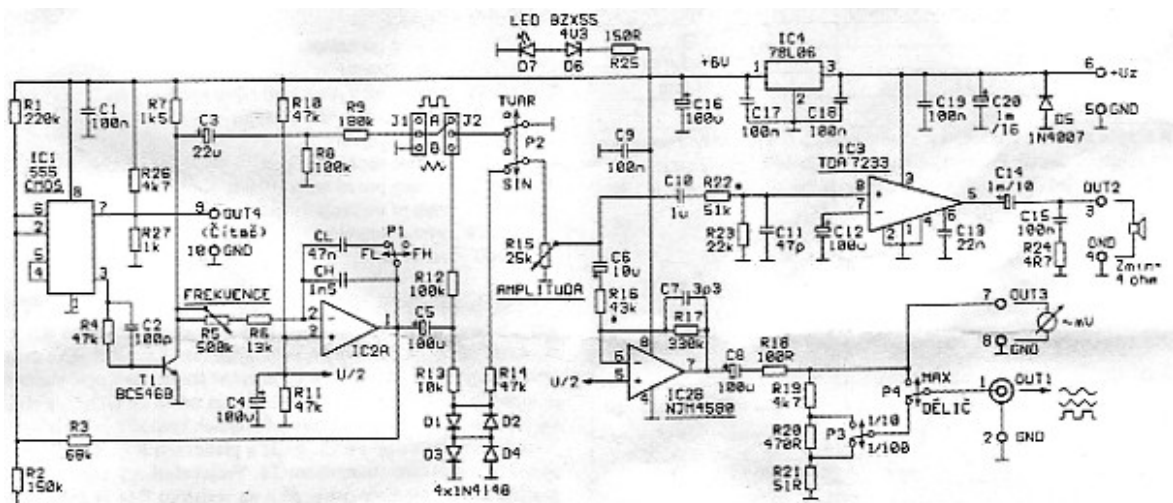
Nejjednodušší zapojení Schmittova klopného obvodu s operačním zesilovačem je na následujícím obrázku:



Obr 56: Schmittův klopný obvod s OZ

4.2.2 Laditelný oscilátor

Pro své pokusy jsem si vybral a sestrojil oscilátor GPZ5533, neboť má možnost přepínání tvaru výstupního signálu mezi průběhem sinusovým, trojúhelníkovým nebo obdélníkovým. Schema tohoto oscilátoru je na následujícím obrázku:



Obr 57: Schema oscilátoru GPZ5533

Jádrem tohoto oscilátoru je časovač 555 a polovinou operačního zesilovače NJM4580, který je zapojený jako integrátor. Kmitočet nastavujeme ve dvou rozsazích. Přepínačem P1 se nastavuje využívaná část spektra. V poloze FL nastavujeme kmitočet cca od 18Hz do 600Hz, v poloze FH od cca 560Hz do 18kHz. Krajní hodnoty jsou závislé na přesnosti kondenzátorů CL a CH. Změnou velikosti těchto kondenzátorů můžeme snadno změnit výstupní hodnoty frekvence. Z kolektoru tranzistoru T1 odebíráme obdélníkový signál. Trojúhelníkový signál z výstupu IC2A je přiveden na diodový tvarovač a na R14 je k dispozici sinusový signál s poměrně malým zkreslením. Je-li přepínač P2 v poloze sin, tak na výstupu máme sinusovku, která má amplitudu nastavitelnou pomocí přepínačů P3 a P4. Je-li P4 v poloze max, tak na výstupu dostaneme sinusový signál o maximálním napětí $U_{ef}=1V$. Přepneme-li P4 do polohy dělič, tak podle nastavení P4 získáme signál s desetkrát nebo stokrát menší amplitudou.

Je-li ale přepínač P2 v poloze tvar, tak výstupní signál je buď obdélníkového nebo trojúhelníkového průběhu – toto nastavení záleží na poloze jumperů J1 a J2. K dispozici máme dva vysokoimpedanční výstupy – OUT1 vystupuje za děličem realizovaným rezistory a přepínači P3 a P4, výstp OUT3 pro připojení voltmetru je připojen trvale na maximální úroveň výstupu.

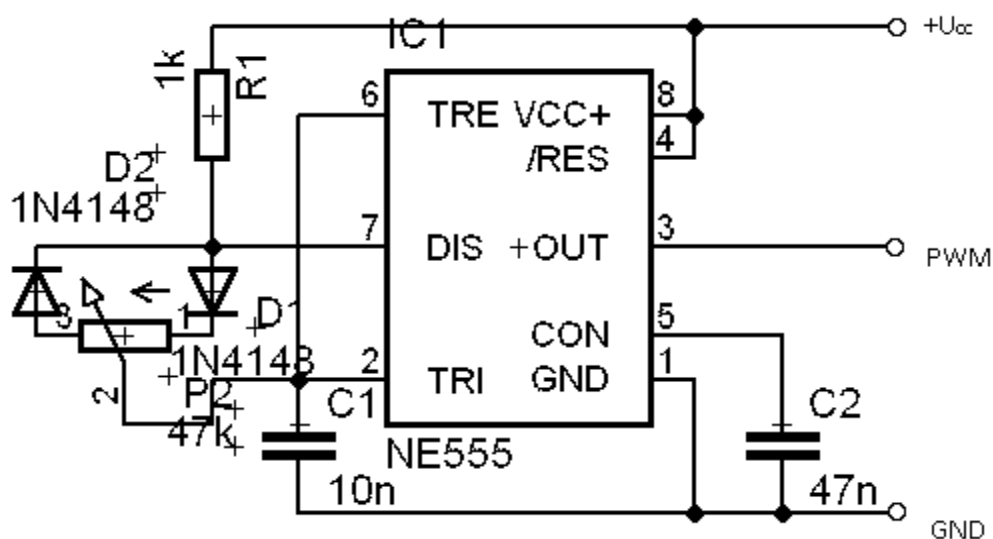
Výstup OUT2 je zapojen až za nízkofrekvenční zesilovač TDA7233 o výkonu až 1W. Tento výstup je nízkimpedanční, zatížitelný minimální impedancí 4Ω. Tento výstup můžeme použít pro testování reproduktorů a reprobeden.

Tento oscilátor je pro naše účely možná zbytečně složitý a komplikovaný, když by pro naše účely stačil jednoduchý oscilátor z časovače NE555 nebo logických hradel NAND, nicméně již zmíněnou výhodou je možnost různě tvarovaného výstupního signálu, a také rozsah signálu, který pokrývá celé slyšitelné spektrum, tedy jej můžeme úspěšně využít také pro testování a měření zesilovačů a zkoušení reprosoustav.

4.2.3 Regulátor

V této části se podíváme na výběr samotného regulovatelného zdroje, který nám napájí LED. Nejprve jsem uvažoval o regulovatelném proudovém zdroji, nicméně tyto zdroje se nakonec neukázaly být dobrou variantou, neboť řízení proudu vyžaduje použití poměrně silného výkonového tranzistoru, který musíme umístit na dostatečně velký chladič. Z těchto důvodů jsem se rozhodl použít pro regulaci PWM, neboť, jak jsme si již uvedli v kapitole 1.5, tak její obrovskou výhodou jsou minimální nároky na regulátor, neboť výstup regulátoru je buď zcela otevřený nebo zcela zavřený a výsledné tepelné ztráty jsou minimální, neboť při plně otevřeném výstupu dosáhnou hodnoty $P_{ZTR} = U_{SAT} \cdot I [W; V, A]$, přičemž saturační napětí bývá cca 0,8V, tedy i při odběru 1A je ztrátový výkon 0,8W, což nám uchladí i malý chladič určený pro pouzdro tranzistoru.

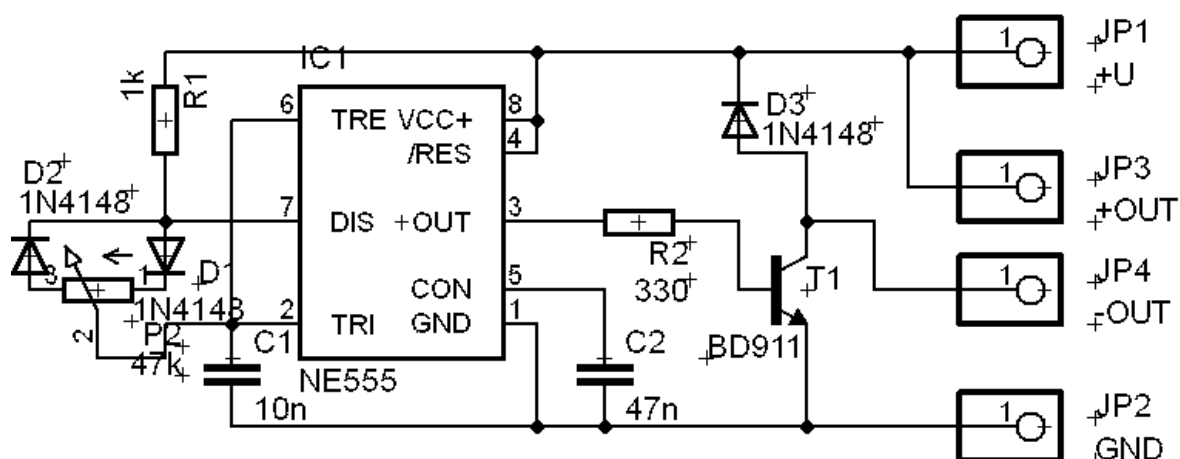
Volba padla na již zmiňovaný integrovaný obvod NE555 – universální časovač se spoustou využití.



Obr 58: Zapojení PWM s NE555

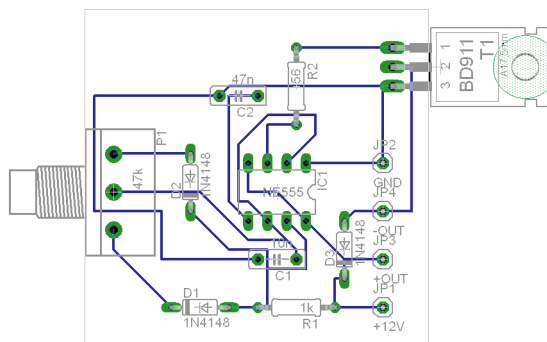
Vzhledem k tomu, že časovač NE555 má maximální výstupní proud 200mA, tak je potřeba výstup tohoto regulátoru doplnit spínacím prvkem. Vzhledem k velmi vysokému kmitočtu,

který je na výstupu časovače je prakticky nemožné dát na výstup relé, který by vzhledem ke své konstrukci nebylo schopné spínat a rozpínat. Proto je na výstup 3 připojen přes rezistor výkonový tranzistor BD911, který slouží jako spínač. Doplněné schema je na následujícím obrázku:



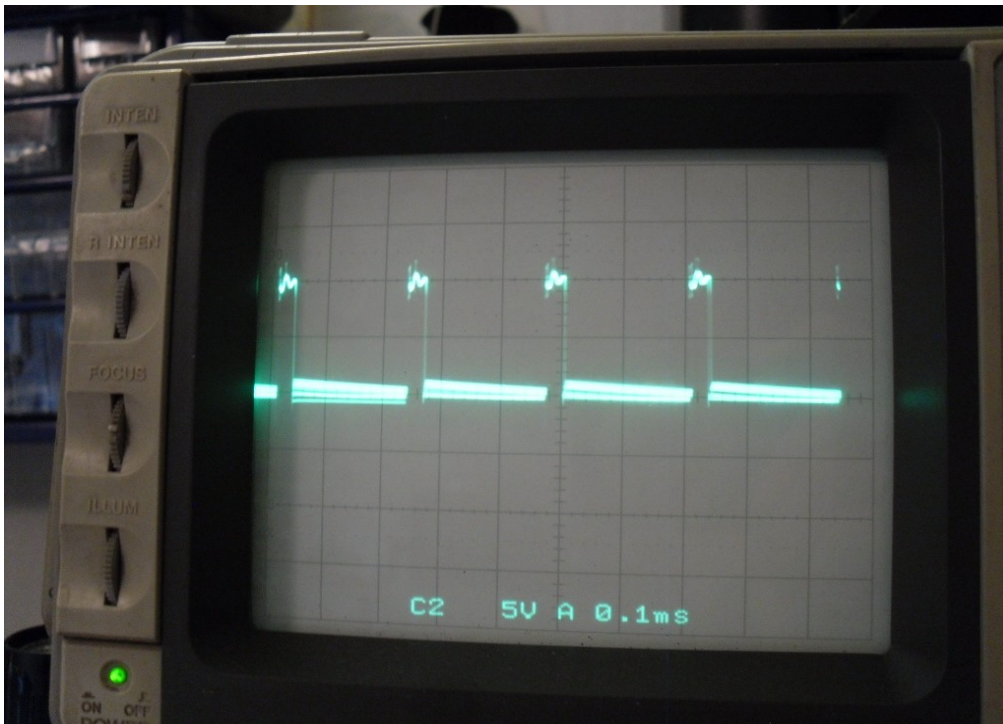
Obr 59: PWM regulátor s NE555 a výkonovým tranzistorem

Pro řízení opravdu velkých výkonů je výhodnější použít tranzistor MOS-FET, nicméně pro naše běžné účely a řízení do 90W (což je limit pro tranzistor BD911) bohatě stačí bipolární tranzistor. Výhodou je zvolení tranzistoru v moderním pouzdře TO220, které zabírá i s namontovaným chladičem minimum místa na DPS. Při použití tranzistoru NPN je společné kladné napájení a do zátěže spínáme zem GND. Pokud je nám toto řešení nesympatické, například protože používáme společnou zem, máme možnost použít tranzistor PNP, který zapojíme bázi stejně, jako jako NPN. Emitorem připojíme k napájecímu napětí, paralelně zapojíme rezistor 47k Ω a mezi kolektor a zem zapojíme spotřebič (ať už modul osvětlení, ventilátor, motor nebo jakýkoliv jiný spotřebič).



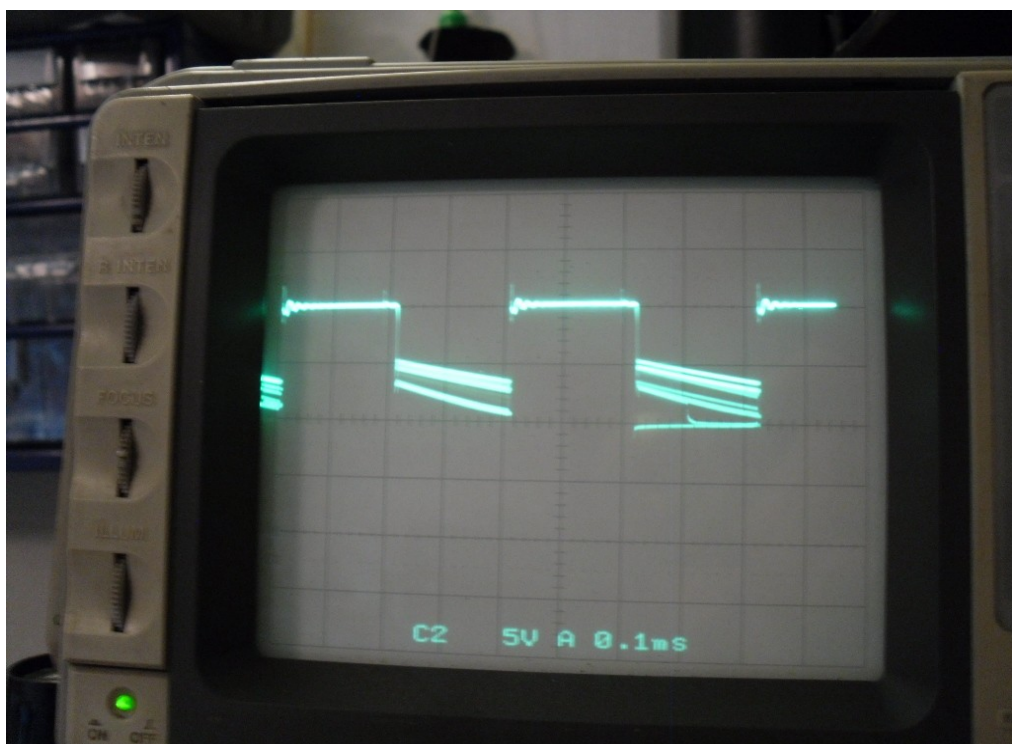
Obr 60: Rozvržení součástek na DPS

Na dvou následujících obrázcích je vyfocen průběh regulace při minimální úrovni a při maximální úrovni regulátoru.

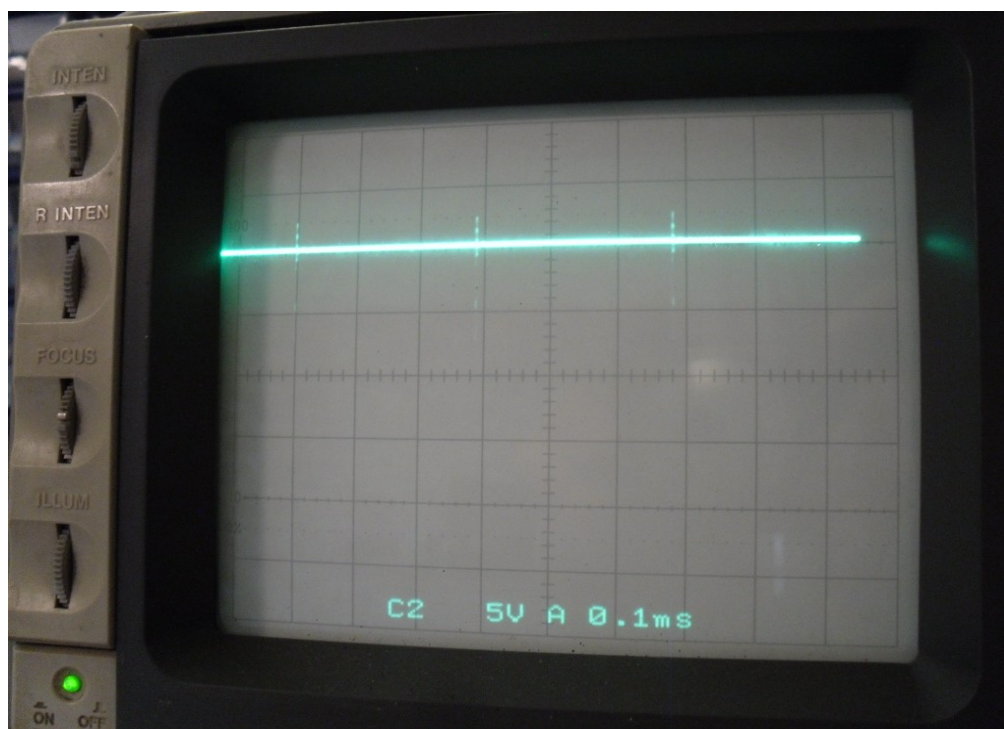


Obr 61:

Minimální úroveň regulace



Obr 62: Regulace na úroveň 50%



Obr 63: Regulace na úroveň 100%

Jak je z grafů, respektive z průběhu napětí na osciloskopu zřejmé, tak tímto zapojením dokážeme regulovat od přibližně od 10% až do 100%. Regulace pro úroveň 50% je zkreslená, je to způsobeno jednak jistým šumem a také ne úplně nejlepší stabilizací napájecího zdroje, na němž se projevuje jisté zvlnění při zatížení.

4.2.4 Použitá LED

Jako modul osvětlení jsem použil výkonovou LED o výkonu $P=3W$, která je namontována na hliníkovém chladiči pro odvod tepla.



Obr 64: Výkonová LED na Alu chladiči

Jedná se o LED L-LXHL-LW3C, jejíž parametry jsou uvedeny v následující tabulce:

Pouzdro	Hexagon 20mm
Barva světla	bílá
Výkon	3W
Vyzařovací úhel	160°
Světelný tok	65lm
Napětí na přechodu	3-4,5V
Maximální proud	700mA
Teplota světla	5500K

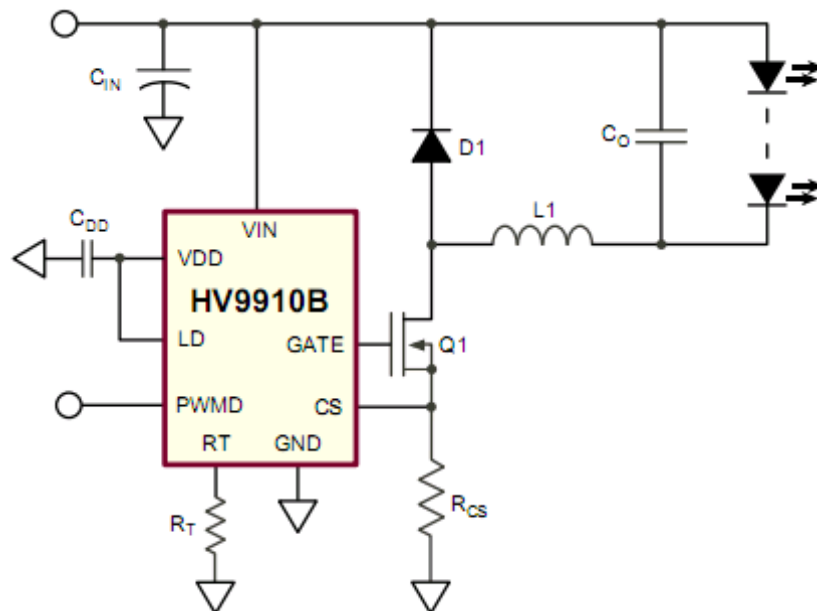
Tabulka 2: Parametry L-LXHL-LW3C

Tato dioda byla zapojena přes ochranný rezistor na výstup PWM regulátoru. Tyto tepelné ztráty můžeme eliminovat nahrazením regulačního potenciometru za sériovou kombinaci rezistoru a potenciometru tak, aby maximální úroveň výstupu odpovídala maximálnímu povolenému proudu diodou.

Pro praktické měření se ovšem ukázala být lepší sériová kombinace čtyř diod 1N5408 (usměrňovací dioda s proudem $I_{MAX}=3A$, při maximálním úbytku napětí na přechodu $U=1,2V$), v zapojení s ampérmetrem, neboť měřit přímo s LED je velmi nepříjemné pro oči.

4.2.5 Druhá verze regulátoru

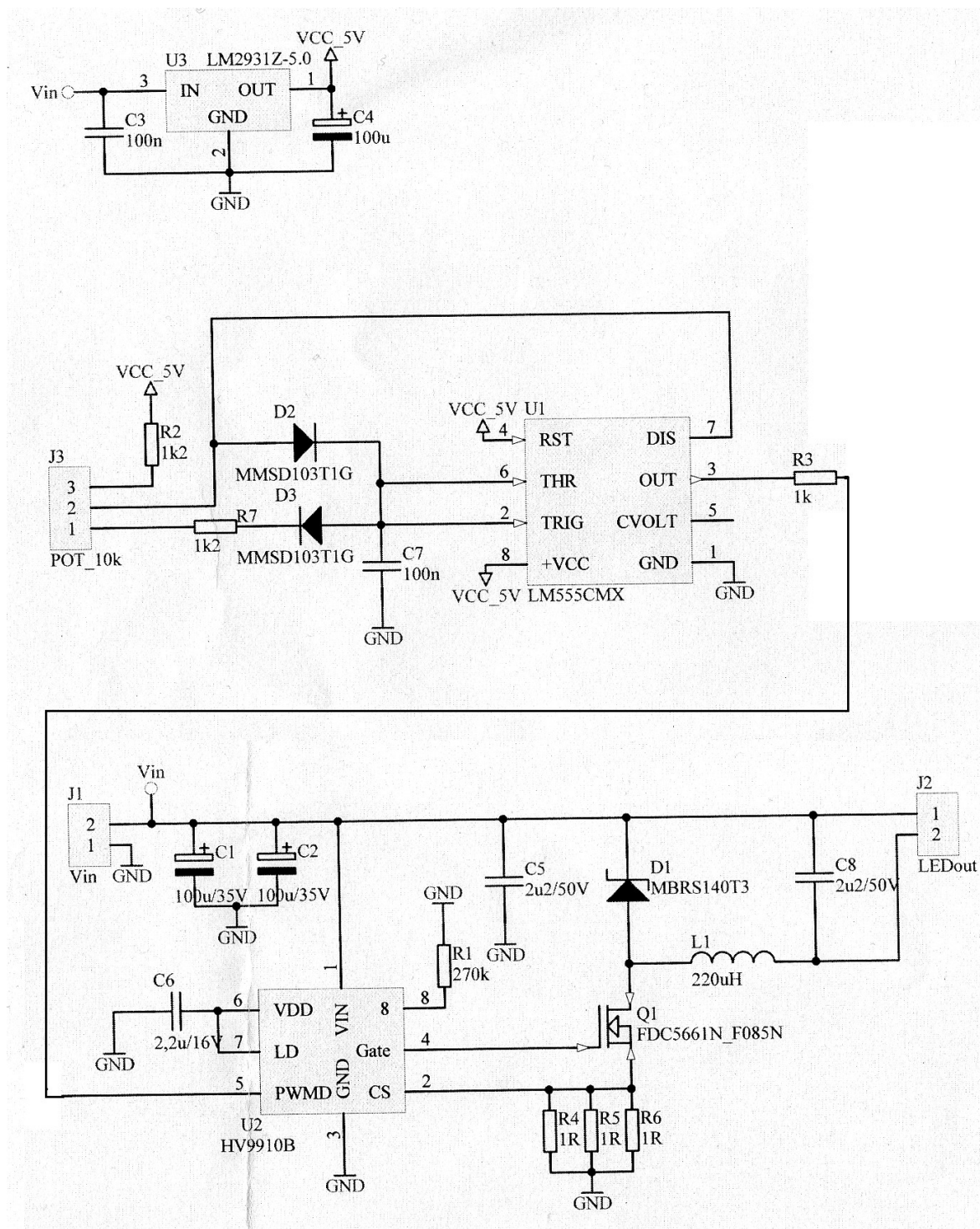
Po konzultaci s Ing. Janem Rýcem jsem se rozhodl vyzkoušet relativně nový, u nás ještě poměrně nerozšířený obvod HV9910B. Jeho typické zapojení je na následujícím obrázku:



Obr 65: Základní zapojení HV9910B [25]

Tento obvod je přímo určený k ovládní LED, jsou zde dvě možnosti, jak svít diody ovládat. Jedna možnost je lineární stmívání v závislosti na přivedeném napětí na pin LD (linear diming). Druhou možností pro řízení je přivedení obdélníkového signálu na vstup PWMD. K tomuto účelu je opět využít časovač NE555.

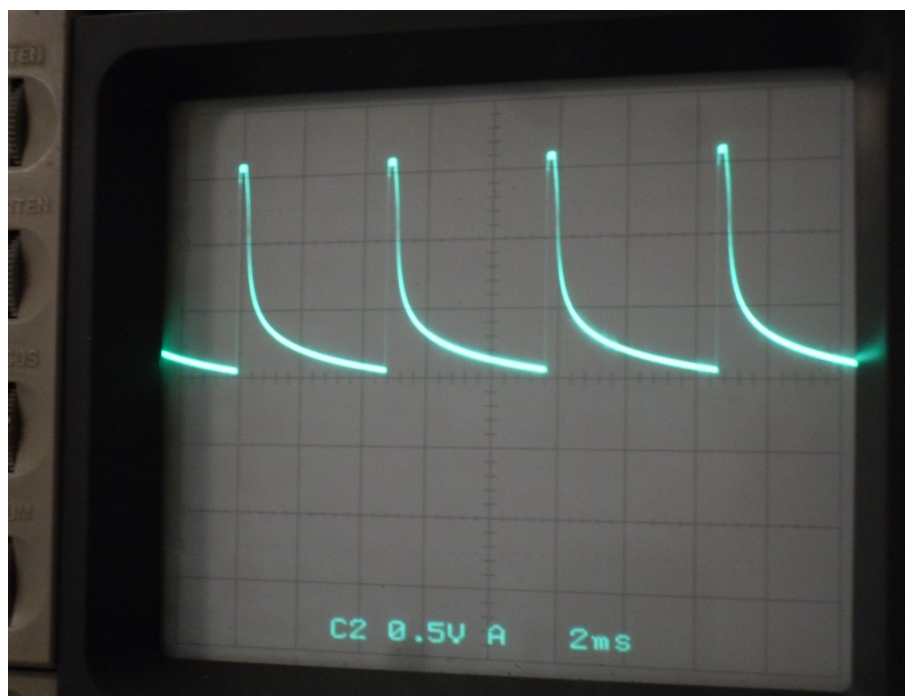
Výhodou integrovaného obvodu HV9910B je velký rozsah napájecího napětí – Je použitelný od 8 do 450V[25]. Výhodou je možnost přímého buzení tranzistoru bez jakéhokoliv rezistoru na výstupu – tím nám značně ubývá ztrátové teplo. V tomto zapojení je použit i napájecí zdroj pro časovač 555, který je postavený na obvodu LM2931Z-5.0, který vytváří stabilizované napětí o velikosti $U=5V$, a pro zapojení mu stačí pouze dva kondenzátory. Nyní si uvedeme schema zapojení s konkrétními součástkami:



Obr 66: Kompletní schéma regulátoru

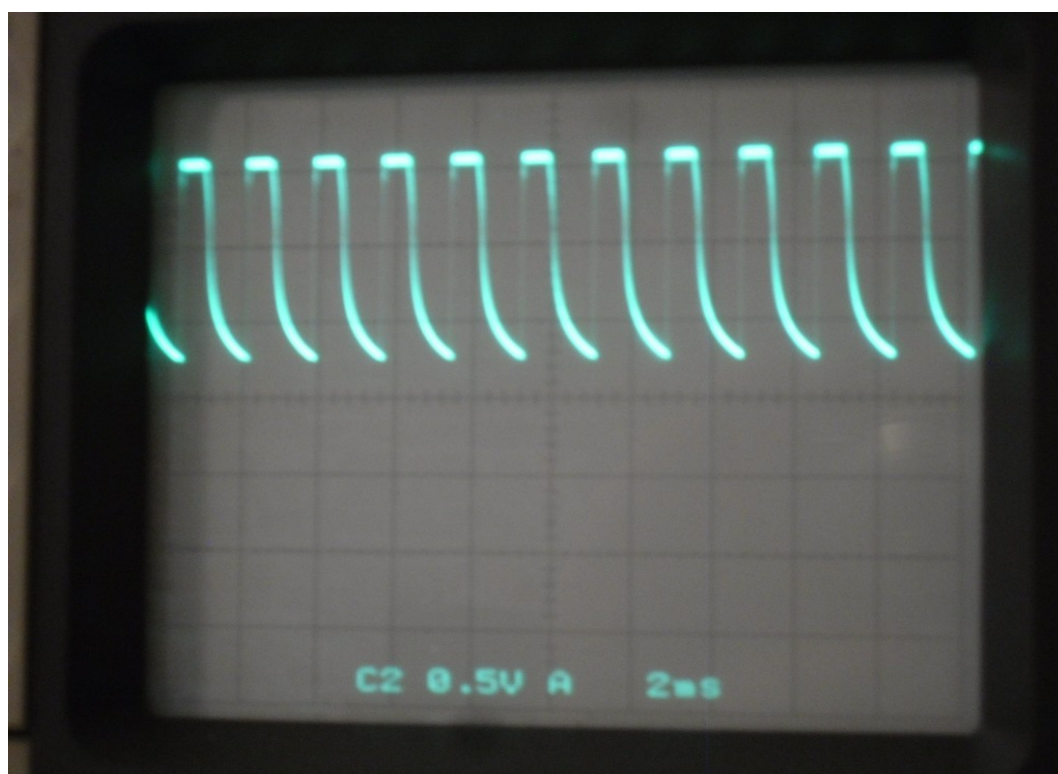
Zapojením se součástkami těchto hodnot získáme regulátor, k němuž můžeme LED připojit přímo, bez nějakého výkonového přizpůsobování, neboť na výstupu dosahujeme proudu I od přibližně 20mA až po 500mA (nyní samozřejmě hovoříme o efektivní hodnotě proudu), při kterých již dosáhneme silné úrovně osvětlení. Získáme rovněž i hezčí průběh napětí na

zátěži, bez zakmitávání a zcela přesný, průběhy na zátěži jsou uvedeny na následujících obrázcích:

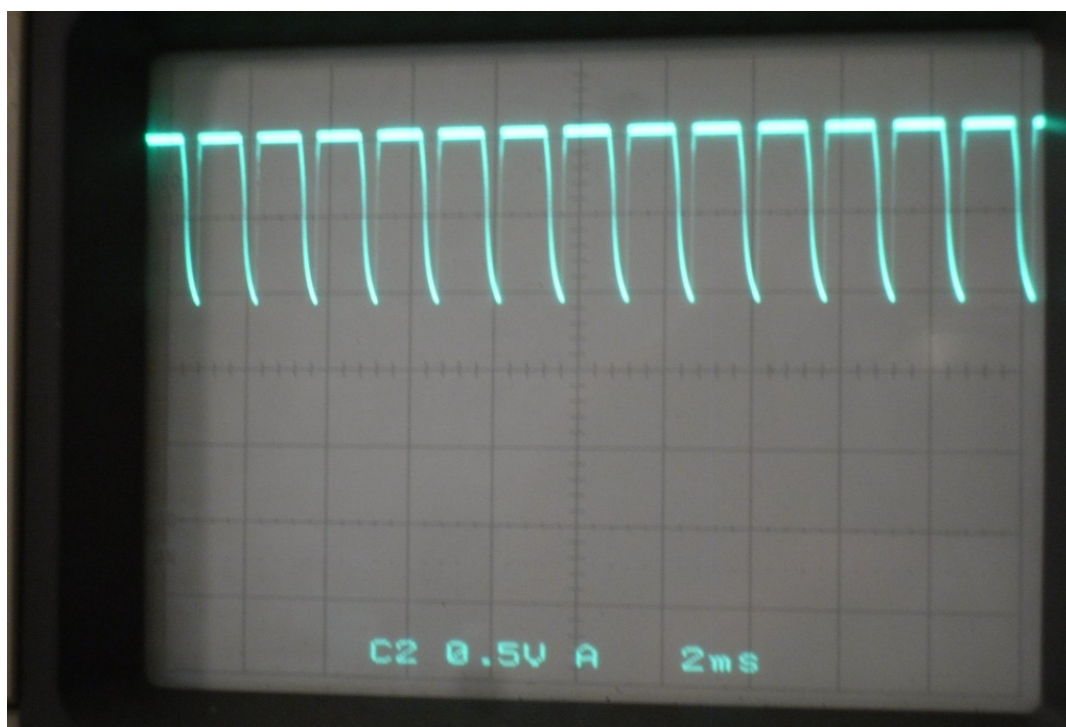


Obr 67:

Průběh napětí na LED při $I_{EF}=20mA$



Obr 68: Průběh napětí na LED při $I_{EF}=250mA$



Obr 69: Průběh napětí na LED při maximálním proudu $I_{EF}=500mA$

Vzhledem k obtížnějšímu shánění HV9910B v našich podmínkách jsem, jsem zvolil výrobu DPS fotocestou a osazení SMD, neboť v tomto provedení se nám jej podařilo sehnat. DPS byla tedy kusově osazena a zapájena na pájecí vlně ve firmě, kde pracuje kamarád Jan Rýc, za což mu chci poděkovat i zde.

4.2.6 Ovládání na dálku

Prvotní nápad byl s ovládáním pomocí střídavého napětí superponovaného do napájecího napětí, ovšem vzhledem k tomu, že jsem se rozhodl jít cestou bez mikrokontroléru, tak jsem se dostal do stavu, kdy nejsem schopný regulovat více obvodů z více míst.

Teoreticky by toto šlo obejít podobně, jako se řeší tzv. frekvenční multiplex v oblasti telekomunikační techniky – tedy přidat více signálů s různou frekvencí a odpovídajícími pásmovými propustmi na přijímací straně, ale tak, aby se pásma v žádném případě nepřekrývala, a aby mezi nimi byla mezera. Z těchto důvodů jsem opustil i tuto myšlenku a rozhodl jsem se řídicí modul rozdělit na dva díly.

První část bude napevno zabudovaná a připojená k LED od ní povede vedení k modulu s časovačem 555, který můžeme klidně napájet z 9V baterie, nebo pomocí libovolného

adaptéru. Pro přenos informace po vedení prostřednictvím napětí je limitní maximální dosah 100m. Tedy pro použití v běžné domácnosti nás toto nijak neomezuje. Vyvedeme-li vývody na více místech pokoje, můžeme potom ovládat intenzitu osvětlení, připojením modulu, z libovolného místa. Ovšem po odpojení se světlo opět zhasne, což je nevýhoda.

Nicméně oproti běžným světlům ovládaným z jednoho místa je výhodou to, že si můžu světlo v místnosti rozsvěcet a naopak ztlumovat právě v místě, kde se nacházím (pokud tam ovšem bude vyvedena ovládací zásuvka).

ZÁVĚR

Cílem teoretické části této práce bylo seznámit čtenáře s možností ovládní výkonu u běžných elektrospotřebičů. Což mohou být motory, žárovky, nebo třeba různé nářadí. Věřím, že jsem různé možnosti popsal poměrně dobře a pomohl jsem čtenáři k pochopení této problematiky.

Ve druhé části jsem se zaměřil na polovodiče, jejich vodivosti a techniku výroby. Také zde jsou popsány vlastnosti polovodičových diod a jejich základní parametry. Více jsem se zde zaměřil na LED, tedy světlo emitující diody.

V praktické části jsou popsány moduly na ovládní osvětlení, které jsou použité pro ovládní osvětlení. Bohužel se mi nepovedlo splnit zadání zcela přesně, nicméně věřím, že případným zájemcům o tuto problematiku bude tato práce ku pomoci.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

Target of this work was to introduce readers with the possibilities of power controlling of common appliances. It could be motors, or light bulbs or electrical tools. I believe that I have described different ways of controlling of power quite well and I hope, that it can help to understand this problematics.

The second part of this work is intent on semiconductors, on it's conductivity and technology. Also there are described their properties, especially at light emitting diodes.

In practical part of this work are described modulus which can be used for dimming LED. I am sorry to say, that the target was not accomplished as well as it should be, but I still believe, that this work could be useful for people who are interested in this problematic.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MAŤÁTKO, Jan. *Elektronika*. 5. vyd., V [nakl.] Idea servis 3., rozš. vyd. Praha: Idea servis, 2002, 327 s. ISBN 80-859-7042-2.
- [2] UNIVERZITA KARLOVA - MATEMATICKO FYZIKÁLNÍ FAKULTA. Stabilizační diody. [online]. [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: http://lucy.troja.mff.cuni.cz/~tichy/elektronika/kap2/2_2_3.html
- [3] Root.cz: Polovodičová technologie používaná u mainframů druhé a třetí generace. [online]. [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/polovodicova-technologie-pouzivana-u-mainframu-druhe-a-treti-generace/>
- [4] Danko Jaroslav: Technická realizácia. [online]. [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://jerryenko.szm.com/web/2.3.2.1..html>
- [5] Součástky řízené neelektrickými veličinami. [online]. [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.spsemoh.cz/vyuka/zel/neelektricke.htm>
- [6] MGR. MICHAL LUKÁŠ, Infineon Technologies Trutnov. Světlo: Laserové diody. [online]. 2005 [cit. 2012-05-07]. Dostupné online z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=35057
- [7] Světlopedia: Světlo a vše s ním spojené. [online]. 2011, s. 97 [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: www.ekosvetlo.cz/userfiles/dokumenty/svetlopedia.pdf
- [8] *W724C0: Datasheet* [online]. 2011, 15 s. [cit. 7.5.2012]. Dostupné z: <http://www.alldatasheet.com/>
- [9] Facts about Light Emitting Diodes. ANDREW CARTER, Eng. *EEWeb* [online]. 2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: http://www.eeweb.com/blog/andrew_carter/facts-about-light-emitting-diodes-led
- [10] Víte, co jsou LED stripy?. *FK Technics* [online]. 2010 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: http://www.fkt.cz/cz/clanky/teorie-a-praxe/art_136/vite-co-jsou-led-stripy-v-trocha-teorie.aspx
- [11] Optoelektronika. KRČMÁŘ, Zdeněk, Ing., EZK. *EZK eshop* [online]. 2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://www.ezk.cz/e-shop/select.php?skupina=354>

- [12] LED zářivky. *LED studio* [online]. 2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://www.led-studio.cz/led-studio/eshop/1-1-LED-zarovky-230V>
- [13] LED zářivky. *FK Technics* [online]. 2012 [cit. 2012-05-08]. Dostupné z: <http://shop.fkt.cz/led-zarivka-t8-120cm-bila-20w2105lm-cira190240-v-led-t8-20ww-clear+dp128736/>
- [14] PWM Modulation. *PCB Heaven* [online]. 2009 [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: http://pcbheaven.com/wikipages/PWM_Modulation/
- [15] Pulsně šířková modulace. *DH Servis* [online]. [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: <http://www.dhservis.cz/psm.htm>
- [16] Audio zesilovače pracující ve třídě D. *Elektronika na webu Martina Olejára* [online]. 2011 [cit. 2012-05-09]. Dostupné z: <http://www.elweb.cz/clanky.php?clanek=109>
- [17] Telemetry Tutorial - Modulation. *L3 - Telemetry West* [online]. [cit. 2012-05-10]. Dostupné z: http://www2.1-3com.com/tw/telemetry_tutorial/modulation.html
- [18] INFRARED DATA ASSOCIATION. *IRDA.org* [online]. 2011 [cit. 2012-05-11]. Dostupné z: www.irda.org
- [19] Zelinka, Oplatková, Šeda, Ošmera, Včelař. *Evoluční výpočetní techniky: principy a aplikace*. 1. české vyd. Praha: BEN, 2009, 534 s. ISBN 978-80-7300-218-3
- [20] Univerzální dálkové ovládání GSM. *Flajzar* [online]. 2011 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: <http://www.flajzar.cz/ostatni/univerzalni-dalkove-ovladani-gsm.htm>
- [21] RONEŠOVÁ, Andrea, Ing. Převodníky f/U, NE555. [online]. 2009 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://home.zcu.cz/~ronesova/index.php?menuitem=aes_mfu
- [22] Výroba plošných spojů fotocestou. *MLAB* [online]. 2011 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: http://www.mlab.cz/Articles/HowTo/How_to_make_PCB/DOC/HTML/How_to_make_PCB.cs.html
- [23] Autotester. *HW.cz* [online]. 2006 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/konstrukce/autotester-digitalni-otackomer-0-7000-otmin.html>

-
- [24] NATIONAL SEMICONDUCTORS. *Datasheet LM331: Precision Voltage-to-Frequency Converter* [online]. 17 s. [cit. 20.5.2012]. Dostupné z: <http://www.datasheetcatalog.com>
- [25] SUPERTEX, *Datasheet HV9910B - Universal High Brightness LED Driver* [online] 8 s [cit 20. 5. 2012] Dostupné z <http://www.alldatasheet.com/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

LED	Light Emmiting Diode – svítivá dioda
PWM	Pulse Wide Modulation – pulsně šířková modulace
PDM	Pulsně délková modulace (počeštěný název pro PWM)
DC	Direct Current – stejnosměrný proud
SMT	Surface Mounted Technology – technologie povrchové montáže
SMD	Surface Mounted Device – povrchově montovaná součástka
V-A	Volt-Ampérová
DPS	Deska Plošných spojů
IrDA	Infrared Data Association
SOMA	Self Organization Migration Algoritm – samoorganizující se migrační algoritmus
DE	Diferenciální evoluce
RF	Radio-frekvenční

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr 1: Regulace výkonu pevným rezistorem.....	12
Obr 2: Regulace výkonu proměnným rezistorem.....	13
Obr 3: Regulace výkonu pevným a proměnným rezistorem.....	14
Obr 4: Regulace výkonu dvěma proměnnými rezistory.....	15
Obr 5: Transformátor s více sekundárními vinutími.....	16
Obr 6: Transformátor s děleným sekundárním vinutím.....	16
Obr 7: Autotransformátor.....	17
Obr 8: Zapojení motoru s kmitočtovým měničem.....	18
Obr 9: Řízení výkonu tyristorem a zdrojem impulsů.....	19
Obr 10: Řízení výkonu tyristorem řízeným RC členem.....	19
Obr 11: Řízení výkonu tyristorem řízeným RC členem, zapojení s Gretzovým můstkem. .	20
Obr 12: Řízení výkonu triakem řízeným zdrojem impulsů.....	21
Obr 13: Řízení výkonu triakem řízeným RC členem; schema včetně odrušovacího filtru. .	21
Obr 14: PWM modulace sinusoidy[14].....	23
Obr 15: Výstupní signál pro různou střihu[15].....	23
Obr 16: Pásový model atomu. a) izolant; b) polovodič; c) vodič[1].....	25
Obr 17: Zjednodušený PN přechod.....	28
Obr 18: Výroba PN přechodu sléváním [1].....	29
Obr 19: PN přechod polarizovaný v závěrném směru [4].....	31
Obr 20: PN přechod polarizovaný v propustném směru[4].....	31
Obr 21: Dioda, schematická značka.....	33
Obr 22: Konstrukce usměrňovací diody [1].....	34
Obr 23: V-A charakteristika usměrňovací diody[3].....	35
Obr 24: Postup výroby hrotové diody[1].....	36
Obr 25: Hrotová dioda se zlatým hrotem[1].....	36
Obr 26: Zenerova (lavinová) dioda, schematická značka.....	37
Obr 27: V-A charakteristika Zenerovy diody[1].....	38
Obr 28: Základní zapojení zenerovy diody [2].....	38
Obr 29: Zapojení pro omezení výstupního napětí.....	38
Obr 30: Varikap - používané schematické značky.....	39
Obr 31: Průběh kapacity diody v závislosti na napětí [1].....	40
Obr 32: Schematická značka Shottkyho diody.....	40
Obr 33: Schematické značky fotodiody.....	41

Obr 34: V-A charakteristika fotodiody [5].....	42
Obr 35: Závislost hradlového napětí na osvětlení[5].....	42
Obr 36: LED, tři používané schematické značky.....	43
Obr 37: Základní zapojení LED.....	45
Obr 38: Provedení běžných LED [9].....	46
Obr 39: LED pásek - fyzikální provedení a zapojení [10].....	47
Obr 40: Různé provedení LED žárovek [11].....	47
Obr 41: Různá provedení LED zářivek[12][13].....	48
Obr 42: V-A charakteristika tunelové diody, porovnaná s běžnou diodou[1].....	48
Obr 43: V-A charakteristika PIN diody [1].....	49
Obr 44: Zjednodušené schema ovladače.	51
Obr 45: Dálkový drátový ovladač, možnost zapojení.....	51
Obr 46: Zapojení drátového ovladače s odporovým děličem.....	52
Obr 47: Drátové ovládání s mikropočítačem.....	53
Obr 48: Porovnání PWM (PDM) a PPM modulace [17].....	54
Obr 49: Blokové schema dálkového IR ovládání.....	55
Obr 50: Miniaturní anténa navržená evolučními algoritmy pro NASA[19].....	57
Obr 51: Schema nábojové pumpy[21].....	61
Obr 52: Osazovací výkres a cesty na DPS.....	62
Obr 53: NE555 jako převodník $f \rightarrow U$ [23].....	63
Obr 54: Převodník $f \rightarrow U$ [24], schema překreslené do sw EAGLE.....	64
Obr 55: DPS LM331.....	64
Obr 56: Schmittův klopný obvod s OZ.....	65
Obr 57: Schema oscilátoru GPZ5533.....	66
Obr 58: Zapojení PWM s NE555.....	67
Obr 59: PWM regulátor s NE555 a výkonovým tranzistorem.....	68
Obr 60: Rozvržení součástek na DPS.....	68
Obr 61: Minimální úroveň regulace.....	69
Obr 62: Regulace na úroveň 50%.....	69
Obr 63: Regulace na úroveň 100%	70
Obr 64: Výkonová LED na Alu chladiči.....	71
Obr 65: Základní zapojení HV9910B [25].....	72
Obr 66: Kompletní schema regulátoru.....	73
Obr 67: Průběh napětí na LED při IEF=20mA.....	74

Obr 68: Průběh napětí na LED při $I_{EF}=250\text{mA}$	74
Obr 69: Průběh napětí na LED při maximálním proudu $I_{EF}=500\text{mA}$	75

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Barva, vlnová délka, úbytek napětí a materiály LED[7].....	44
Tabulka 2: Parametry L-LXHL-LW3C.....	71