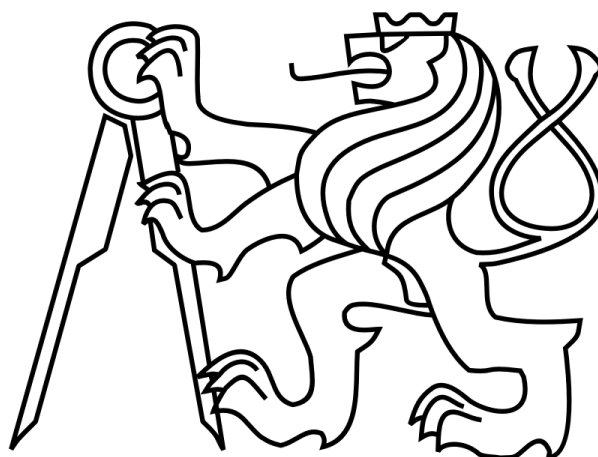


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra mikroelektroniky



Diplomová práce

Osvětlovací zdroj s řízením jasu HB LED

Magisterský obor: Elektronika

Autor: Bc. Marek Polák

Vedoucí práce: Prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.

2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. P O L Á K Marek**

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika
Obor: Elektronika

Název tématu: **Osvětlovací zdroj s řízením jasu HB LED**

Pokyny pro vypracování:

1. Proveďte rozbor možností řešení řízení jasu supersvítivých LED (HB LED) napájených ze stejnosměrného zdroje 12 V.
2. Navrhněte osvětlovací zdroj s HB LED (uvažujte HB LED s vyšším výkonem), řízením jasu a dálkovým ovládním vypnutí a řízení jasu pro napájení z 12 V zdroje. Pro řízení jasu využijte vhodný typ řídicího mikrokontroléru s implementovaným řídicím software. Dálkové ovládní řešte s využitím standardů IR nebo bluetooth. Realizujte vzorek navrženého osvětlovacího zdroje. Při návrhu použijte pasivní chlazení HB LED.
3. Zjistěte a vyhodnoťte dosažené parametry, porovnejte s parametry dosažitelnými v komerční sféře.
4. Proveďte jednoduchý ekonomický rozbor návrhu a s úvahou pro komerční výrobu navrženého regulačního systému.

Seznam odborné literatury:

- [1] Vobecký, J., Záhlava, V.: Elektronika, součástky a obvody, principy a příklady. Praha Grada, 2006
- [2] <http://home.zcu.cz/~dudacek/Pot/mikrokontrolery.pdf>
- [3] Polák, M., Řízení jasu supersvítivých LED, Bc práce, ČVUT FEL Praha 2012.

Vedoucí: **Prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.**

Platnost zadání: 31. 8. 2014

L.S.

Prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.
vedoucí katedry

Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 21. 2. 2013

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci „Osvětlovací zdroj s řízením jasu HB LED“ zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a používal jsem pouze literaturu uvedenou na konci práce. Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním.

V Praze dne 12. 05. 2014.

.....
Bc. Marek Polák

Poděkování

Na začátku této práce bych chtěl poděkovat hlavně své rodině za podporu a za toleranci vůči mým špatným náladám ve chvílích, kdy práce na této diplomové práci nešla zrovna podle předpokládání. Dále děkuji vedoucímu mé práce, který si na mě vždy našel chvíli a umožnil mi vypracovat takovou práci, jejíž výsledkem je reálné zapojení.

Anotace

Diplomová práce se zabývá možnostmi řízení jasu supersvítivých LED. V práci se nachází popis a vysvětlení funkce spínaných stabilizátorů napětí, mikrokontrolérů a jejich periferií, možností dálkového ovládání. Dálkové řízení je vyřešeno pomocí mikrokontroléru od firmy Microchip a ethernetového modulu Nano SocketLan. V práci je popsán obslužný program mikrokontroléru i kód webových stránek uložených v ethernetovém modulu. Dále je zde vysvětlena komunikace a nastavení modulu Nano SocketLan. Výkonový blok laboratorního vzorku pro řízení jasu je řešen jako zvyšující spínaný zdroj s řídicím obvodem LM3429 od firmy Texas Instruments. Součástí diplomové práce je kompletní schéma celého laboratorního vzorku, jeho tištěný spoj a obslužný program.

Abstract

This dissertation deals with the possibilities of brightness control of superluminous LEDs. The paper includes description and explanation of the function of switch voltage stabilizers, microcontrollers and their peripheries and possibilities of a remote control. The remote control is realized by means of a microcontroller from the Microchip and an ethernet module Nano SocketLan. There is a description of a servicing program of the microcontroller as well as the code of the websites stored in the ethernet module. There is also an explanation of the communication and adjustment of the Nano SocketLan module. The power module for the brightness control is designed as a boost switched supply with a control circuit LM3429 from the Texas Instruments. An integral part of this dissertation is a complete diagram of the device, its printed circuit and servicing program.

Obsah

| | |
|---|----|
| Seznam obrázků | 8 |
| Seznam použitých zkratk | 10 |
| Seznam použitých symbolů | 10 |
| 1. Úvod | 11 |
| 2. HB LED [1] | 12 |
| 2.1 Volba HB LED | 13 |
| 2.2 Stabilizace napětí nebo proudu? | 17 |
| 2.3 Nastavení jasu LED | 17 |
| 3. Pulzně šířková modulace [1] | 18 |
| 3.1 Princip..... | 18 |
| 3.2 Frekvence PWM | 19 |
| 4. Stabilizátory s impulzní (spínanou) regulací | 20 |
| 4.1 Zvyšující jednočinný spínaný stabilizátor (step-up, boost) [8] | 21 |
| 4.2 Snižující jednočinný spínaný stabilizátor (step-down, buck) [8] | 23 |
| 5. Dálkové ovládání | 24 |
| 6. Mikrokontroléry (μ C) [1] | 25 |
| 6.1 Periferie Mikrokontroléru..... | 25 |
| 6.2 Porty mikrokontroléru | 27 |
| 7. Rotační kodér s mechanickým kontaktem [1] | 28 |
| 8. Návrh a konstrukce laboratorního vzorku | 30 |
| 8.1 Napájení řídicího bloku | 31 |
| 8.2 Řídicí obvod | 32 |
| 8.3 Ethernetový modul | 33 |
| 8.3 Řízení jasu | 33 |
| 8.4 Návrh tištěného spoje pro řídicí blok | 36 |
| 8.5 Návrh tištěného spoje pro výkonový blok..... | 37 |
| 9. Nastavení a ovládání ethernetového modulu [22] | 38 |

| | | |
|------|---|----|
| 9.1 | Jednotlivá nastavení modulu | 38 |
| 9.2 | Nahrání webových stránek do ethernetového modulu | 39 |
| 9.3 | Bezpečnost..... | 41 |
| 9.4 | Webové rozhraní | 42 |
| 9.5 | Zobrazení a nastavení výkonu | 43 |
| 9.6 | Sepnutí a rozeptnutí relé | 43 |
| 9.7 | A/D převodník | 44 |
| 10. | Software pro řízení činnosti zařízení | 46 |
| 10.1 | Nastavení periférií a samotného mikrokontroléru | 46 |
| 10.2 | Obsluha přerušení | 47 |
| 10.3 | Komunikace SPI s EEPROM | 48 |
| 10.4 | Komunikace SPI s ethernetovým modulem Nano SocketLan..... | 50 |
| 10.5 | Hlavní smyčka programu | 54 |
| 11. | Dosažené výsledky | 56 |
| | V této kapitole budou uvedeny dosažené výsledky naměřené na zhotoveném laboratorním vzorku. Dále bude tento laboratorní vzorek porovnán s produkty dostupnými na trhu. | 56 |
| 11.1 | Měření řídicího bloku | 56 |
| 11.2 | Měření výkonového bloku..... | 59 |
| 11.3 | Porovnání s produkty dostupnými na trhu..... | 61 |
| 12. | Ekonomický rozbor | 62 |
| 13. | Závěr | 64 |
| | Seznam použité literatury | 66 |
| | Přílohy Chyba! Záložka není definována. | |

Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obrázek 1 Modul HB LED..... | 12 |
| Obrázek 2 Voltampérová charakteristika HB LED CL-L330-C26N-C [2]..... | 13 |
| Obrázek 3 Voltampérová charakteristika HB LED ACULED® E001741 [3]..... | 14 |
| Obrázek 4 Závislost relativního světelného toku na teplotě [2] | 15 |
| Obrázek 5 Vnitřní zapojení HB LED CL-L330-C26N-C | 16 |
| Obrázek 6 Časový průběh napětí PWM [4]..... | 19 |
| Obrázek 7 Blokové zapojení spínaných stabilizátorů..... | 20 |
| Obrázek 8 Typické zapojení zvyšujícího spínaného stabilizátoru..... | 21 |
| Obrázek 9 Typické zapojení snižujícího spínaného stabilizátoru | 23 |
| Obrázek 10 Průběh spínání [1]..... | 28 |
| Obrázek 11 Typické zapojení rotačního kodéru..... | 29 |
| Obrázek 12 Blokové zapojení navrženého laboratorního vzorku..... | 30 |
| Obrázek 13 Okno programu iChipConfig Utility..... | 39 |
| Obrázek 14 Internetové rozhraní konfiguračního serveru | 40 |
| Obrázek 15 Požadavek modulu o heslo umožňující změnu parametru..... | 42 |
| Obrázek 16 Požadavek modulu o heslo pro přístup ke konfiguračnímu serveru | 42 |
| Obrázek 17 Zobrazení dodávaného výkonu do HB LED a možnost jeho nastavení..... | 43 |
| Obrázek 18 Zobrazení stavu relé s možností jejich přepnutí..... | 43 |
| Obrázek 19 Zobrazení výsledku A/D převodu s možností jej zapnout/vypnout | 45 |
| Obrázek 20 Tlačítko pro zobrazení aktuálního stavu laboratorního vzorku..... | 45 |
| Obrázek 21 Obsluha přerušení | 47 |
| Obrázek 22 V levém sloupci je zobrazen diagram rozkladu odesílaného bytu (adresy) a v pravém je zobrazeno postupné skládání přijatého bytu (EEPROMreceived) | 49 |
| Obrázek 23 Vyčtení parametru „vykon“ z ethernetového modulu..... | 51 |
| Obrázek 24 Zápis parametru „vykon“ do ethernetového modulu | 53 |
| Obrázek 25 Hlavní smyčka řídicího programu..... | 55 |
| Obrázek 26 Závislost výstupního napětí na vstupním napětí při různých zatěžovacích proudech | 56 |
| Obrázek 27 Závislost účinnosti zdroje na vstupním napětí při různých zatěžovacích proudech | 57 |
| Obrázek 28 Závislost výstupního napětí na zatěžovacím proudu při různých vstupních napětích..... | 58 |
| Obrázek 29 Závislost účinnosti zdroje na zatěžovacím proudu při různých vstupních napětích..... | 58 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 30 Účinnost zdroje v závislosti na střídě PWM..... | 59 |
| Obrázek 31 Závislost dodávaného výkonu na střídě PWM | 59 |
| Obrázek 32 Závislost výstupního proudu na vstupním napětí | 60 |
| Obrázek 33 Účinnost zdroje v závislosti na vstupním napětí..... | 60 |

Seznam použitých zkratk

LED – Light Emitting Diode (světlo emitující dioda)

HB LED – High Brightness Light Emitting Diode (vysoce svítivá světlo emitující dioda)

HP LED – High Power Light Emitting Diode (vysoce výkonná světlo emitující dioda)

PWM – Pulse Width Modulation (pulzně šířková modulace)

μC – microcontroller (mikrokontrolér)

A/D převodník – Analogově/Digitální převodník

28-Pin SPDIP, TO-220, SOT-23, 5-lead TO-263, TQFP, 14HTSSOP – typy pouzder integrovaných obvodů

EEPROM – Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (elektricky mazatelná nevolatilní (uchová informaci i po odpojení napájení) paměť typu ROM)

MOSFET – Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (polem řízený tranzistor)

EMI – elektromagnetická interference

LAN – Local Area Network (Lokální síť, Místní síť)

IP adresa – jednoznačná identifikace zařízení v počítačové síti

DHCP – Dynamic Host Configuration Protocol

CR – ASCII znak (Carriage Return, 0x0D)

Seznam použitých symbolů

$I, \Delta I$ [A] – proud, změna proudu

$U, \Delta U$ [V] – napětí, změna napětí

$y_{min}, y_{max}, \bar{y}$ – minimální, maximální, střední hodnota průběhu

N_1, N_2 [-] – počet závitů primárního, sekundárního vnutí transformátoru

P [W] – výkon

T [s] – perioda

T_A, T_P [s] – aktivní a pasivní část periody spínaného stabilizátoru

I_F, I_{FM} [A] – propustný proud diodou, mezní proud diodou

U_F [V] – propustné napětí na diodě

U_{REF+}, U_{REF-} [V] – kladné, záporné referenční napětí

f [Hz] – frekvence

p [-] – činitel zvlnění

C [F] – kapacita

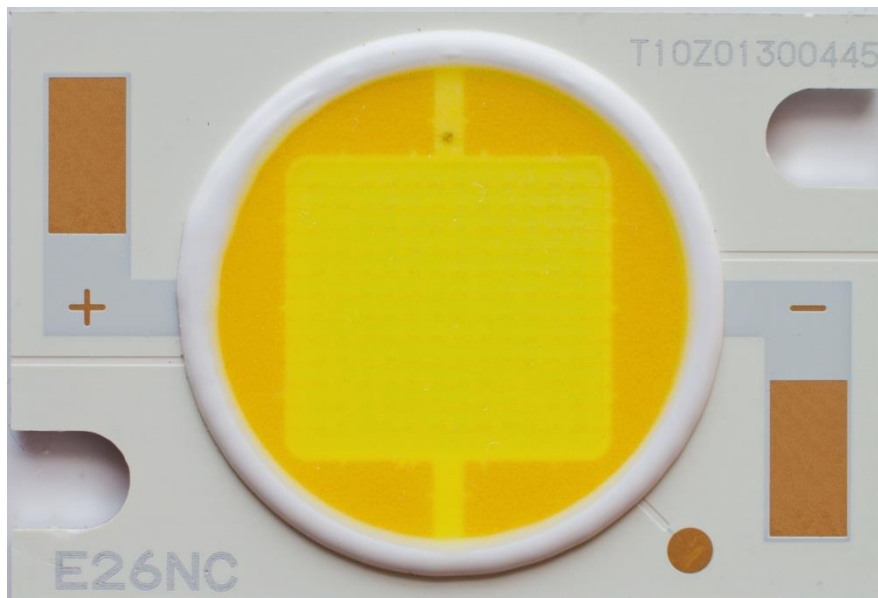
1. Úvod

LED se v dnešní době pomalu začínají prosazovat v osvětlení interiérů domů, ulic měst, výrobních hal nebo kanceláří. Jejich výhodou oproti úsporným žárovkám nebo výbojkám je spektrum světla, které je téměř spojité a ne nepodobné spektru klasických, v Evropské unii dnes již zakázaných, žárovek. To znamená, že v LED se snoubí úspornost a jakási přirozenost pro oko člověka. Jedinou nevýhodou je cena HB LED na trhu, která je zatím velice vysoká, ale dá se předpokládat, že s expanzí trhu s LED a s růstem množství produktů využívajících právě LED k osvětlení by jejich cena mohla klesnout. Proto se vyplatí řízením jasu HB LED zabývat. V této práci bude vyřešeno řízení jasu pomocí řídicího mikrokontroléru. Ze zadání plyne, že tento mikrokontrolér bude muset být ovládatelný na dálku a že celé zapojení musí být napájené ze zdroje 12 V. V práci bude kladen důraz na efektivnost celého zapojení. Výsledkem této práce bude realizovaný funkční laboratorní vzorek, jenž bude umožňovat řídit dodávaný výkon do HB LED pomocí dálkového ovládání.

V prvních 6 kapitolách této diplomové práce jsou shrnuty důležité informace, které jsou nutné k pochopení a vyhotovení dálkově říditelného osvětlovacího zdroje s HB LED. To znamená, že je zde ukázáno, jakými způsoby lze řídit jas HB LED. Dále je zde vysvětlen princip PWM modulace a funkce zvyšujících a snižujících spínaných stabilizátorů. Poslední 2 kapitoly rešerše jsou věnovány obecnému vysvětlení principu mikrokontrolérů, také jsou zde nastíněny možnosti dálkového ovládání a nakonec je zde popsán rotační kódér s mechanickými kontakty. V následující části práce bude již vysvětleno, jakým způsobem bylo postupováno při návrhu samotného laboratorního vzorku. Nejprve je zde vysvětleno blokové zapojení celého laboratorního vzorku. Poté je vzorek rozdělen na dva funkční bloky, výkonový a řídicí. U každého z těchto bloků je popsán postup volby nejdůležitějších součástí a poté návrh tištěného spoje. V tomto bodě je již kompletně hotový výkonový blok, avšak řídicí blok ke své funkci potřebuje obslužné programy, které jsou podrobně popsány v následujících 2 kapitolách. V poslední části práce, to znamená v posledních 3 kapitolách, jsou již uvedeny hodnoty naměřené na laboratorním vzorku, je zde vypracován ekonomický rozbor a porovnán laboratorní vzorek s produkty dostupnými na trhu.

2. HB LED [1]

HB LED, též v jiných literaturách nazývané HP LED, jsou vysoce svítivé (výkonné) LED. V tomto textu bude dále použito pojmenování HB LED. Tyto HB LED pracují s proudy v řádu stovek mA až jednotek A, což je velký rozdíl ve srovnání s proudy v řádech desítek mA na běžných LED. HB LED jsou schopny vyzařovat přes 1000 lm. Jelikož je u HB LED přehřátí destruktivní, musí být tyto diody dobře chlazeny. Většinou jsou prodávány jako malé moduly, ve kterých už je zabudován chladič nebo chladičí ploška, která se přes teplovodivou pastu na chladič přidělá. Pokud by tomu tak nebylo, HB LED by se zničila během několika vteřin po zapnutí. Jedna HB LED může nahradit žárovku v kapesní svítilně anebo se HB LED sestavují do polí, ve kterých se používají jako výkonné LED lampy (obrázek 1).



Obrázek 1 Modul HB LED

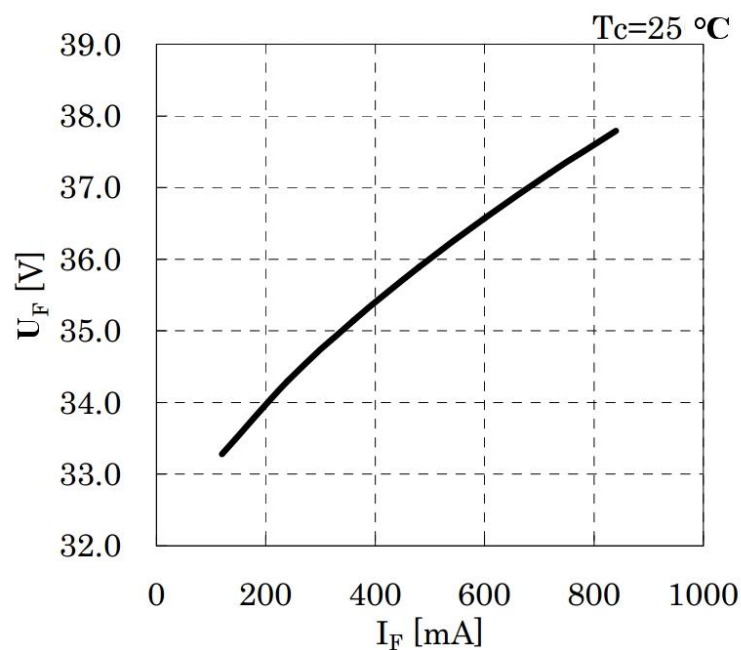
2.1 Volba HB LED

Na trhu se nachází nejrůznější typy HB LED. Liší se výkonem, efektivitou, typem pouzdra a různými hodnotami napájecího napětí, případně proudu. Po dobré zkušenosti z bakalářské práce byla zvolena totožná HB LED. Nejdůležitější parametry pro návrh obvodového řešení řízení jejího jasu jsou uvedeny níže:

Mezní proud HB LED: $I_{FM} = 840 \text{ mA}$

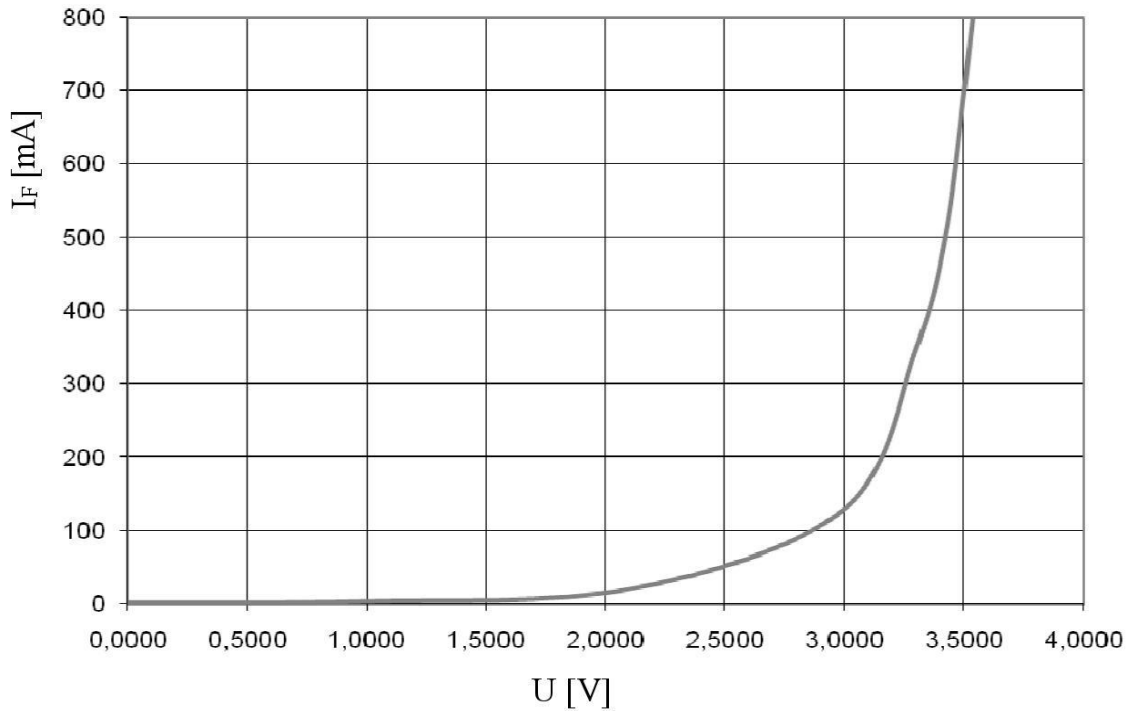
Typický proud HB LED: $I_F = 720 \text{ mA}$

Napětí na diodě při proudu I_F je v rozmezí od 34,8 V do 42 V, typicky ale $U_F = 37,2 \text{ V}$.



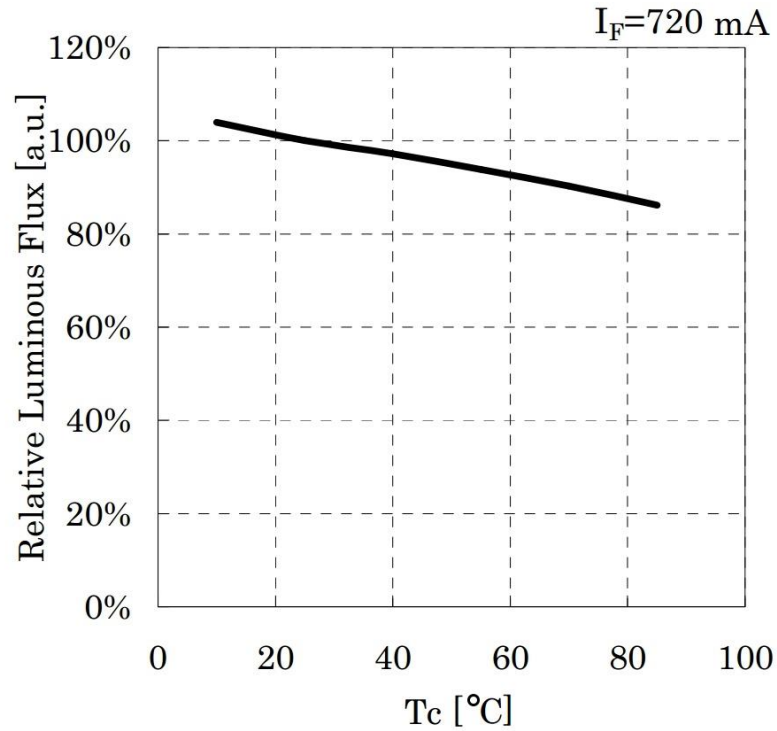
Obrázek 2 Voltampérová charakteristika HB LED CL-L330-C26N-C [2]

Jak je vidět na voltampérové charakteristice (obrázek 2), tato HB LED má téměř lineární závislost napětí na proudu v pracovní oblasti a tato závislost se zdá méně strmá, než tomu je u konkurenčních HB LED. Pro ilustraci je přiložena voltampérovou charakteristiku jiné HB LED (obrázek 3).



Obrázek 3 Voltampérová charakteristika HB LED ACULED® E001741 [3]

Na první pohled se zdá, že tato závislost je v okolí pracovního bodu výrazně strmější, avšak po jednoduché úvaze dojdeme k závěru, že vůči napájecímu napětí jsou obě charakteristiky stejně strmé. Při změně napájecího napětí o 1/5 v okolí pracovního bodu HB LED od firmy Aculed se proud procházející diodou změní o 550 mA. Podobnou úvahu lze provést u HB LED použité v této práci, kdy při změně napájecího napětí o 1/5 v okolí pracovního bodu se proud tekoucí skrz HB LED změní o více jak 600 mA.

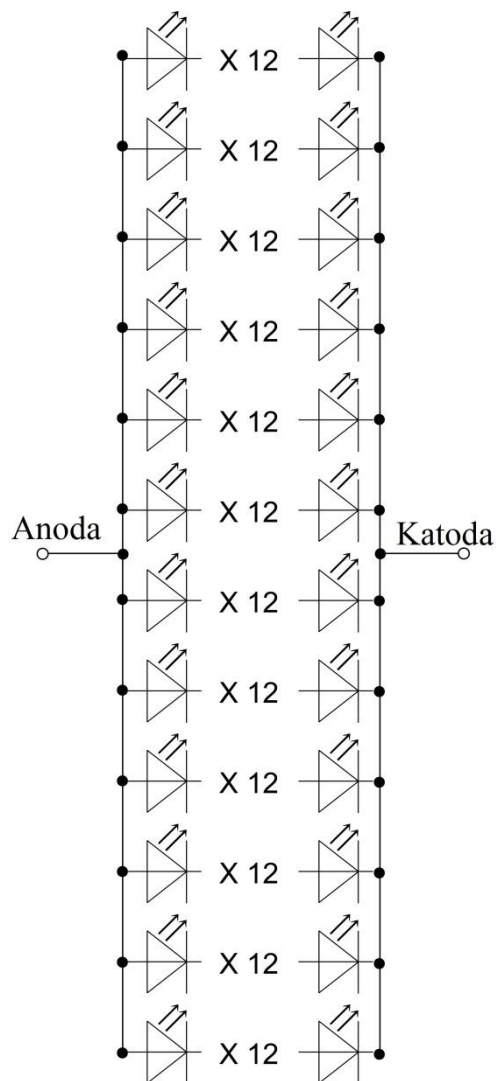


Obrázek 4 Závislost relativního světelného toku na teplotě [2]

Teplotní závislost relativního světelného toku na teplotě (obrázek 4) je pro zapojení velice důležitá, protože je z ní jednoznačně vidět, že HB LED musí být dobře chlazena. Nejlepší z hlediska účinnosti samotné HB LED by bylo, kdyby pracovala maximálně při 40 °C, aby byl relativní světelný tok vyšší než 95 %.

HB LED

Na obrázku 5 je uvedeno vnitřní zapojení HB LED. HB LED obsahuje sério-paralelní zapojení 144 LED, 12 paralelních větví a v každé větvi 12 LED v sérii. Právě sériové zapojení 12 LED zapříčiňuje vyšší napájecí napětí této HB LED.



Obrázek 5 Vnitřní zapojení HB LED CL-L330-C26N-C

2.2 Stabilizace napětí nebo proudu?

Při změně napájecího napětí na HB LED o 5 % (1,86 V), se proud tekoucí HB LED změní téměř o 300 mA (odečteno z voltampérové charakteristiky).

$$\Delta I = \frac{0,300}{0,720} \times 100 = 41,67 \% \quad (1)$$

Z výpočtu je zřejmé, že při změně napájecího napětí na HB LED o 5 % se proud tekoucí HB LED změní o 41,67 %. Tato změna proudu se znatelně projeví na jasu HB LED. Změna napětí o 5 % na napěťovém zdroji je přitom poměrně malá. Stabilizátory by sice měly pracovat s vysokou přesností okolo 0,01 %, ale tato hodnota je značně idealizovaná, protože stabilizátory napětí mají určitou tepelnou závislost, každý odpor v zapojení má tepelnou závislost a také se projeví jejich nepřesnost.

Druhou možností jak napájet HB LED je proudovým zdrojem. Kdyby se proud ze zdroje měnil také o 5 %, jako tomu bylo v předchozím případě s napětím, bude dle rovnice (2) kolísat o 36 mA. Tato změna proudu by pravděpodobně nebyla znatelná na jasu HB LED při jejím maximálním výkonu.

$$\Delta I = \frac{0,720}{100} \times 5 = 36 \text{ mA} \quad (2)$$

Z uvedeného plyne, že pro napájení HB LED je vhodnější použít proudový zdroj.

2.3 Nastavení jasu LED

Z principu funkce LED se nastavení jasu provádí pomocí změny proudu protékající diodou I_F , napětí na LED by mělo být téměř konstantní. Výkon dodávaný do LED lze měnit spojitě pomocí řízeného proudového zdroje anebo lze využít pulzně šířkovou modulaci. V dnešní době se používá k řízení jasu LED převážně PWM, protože jsou na jejím spínači minimální výkonové ztráty.

3. Pulzně šířková modulace [1]

Pulzně šířková modulace je běžně používaná modulace pro řízení výkonu elektrických zařízení. Hodnota dodávaného výkonu je řízena přepínáním pomyslného přepínače mezi stavy „zapnuto“ a „vypnuto“. Čím delší je doba, kdy je spínač ve stavu „zapnuto“ oproti „vypnuto“, tím vyšší je výkon dodávaný do zátěže.

Termín střída popisuje podíl doby, ve které je spínač ve stavu „zapnuto“ oproti času, kdy je spínač ve stavu „vypnuto“. Pro názornost je zde uveden příklad. Pokud je střída 25:75, potom je výkon dodáván do zátěže po dobu $\frac{1}{4}$ periody a tudíž je do zátěže dodána $\frac{1}{4}$ výkonu.

Hlavní výhodou PWM je velice nízká ztráta výkonu na přepínacím zařízení. Když je spínač vypnutý, neteče obvodem prakticky žádný proud, a když je zapnutý, tak je na spínači velice malý úbytek napětí. Výkonová ztráta, která je součinem napětí na přepínači a proudu obvodem tekoucím, je tedy v obou případech velice nízká.

PWM se dá velice snadno digitálně ovládat a to díky její povaze, která má v podstatě pouze dva stavy zapnuto/vypnuto, což je velice blízké log1/log0 na digitálních zařízeních.

3.1 Princip

PWM používá obdélníkové pulzní vlny, jejichž šířka je nastavitelná, díky čemuž je možné nastavovat výkon dodávaný do zátěže. Pokud je vzat v úvahu pulzní průběh $f(t)$ s nízkou hodnotou y_{min} , vysokou hodnotou y_{max} a cyklus D (obrázek 6), je střední hodnota dána vztahem:

$$\bar{y} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (3)$$

Z obrázku 6, to znamená z grafu funkce $f(t)$ je vidět, že hodnota y_{max} nastává v časech od $0+T$ do $T+D.T$ a hodnota y_{min} nastává v čase od $D.T$ do T . Když je známa tato skutečnost, lze z integrálu vypočítat střední hodnotu:

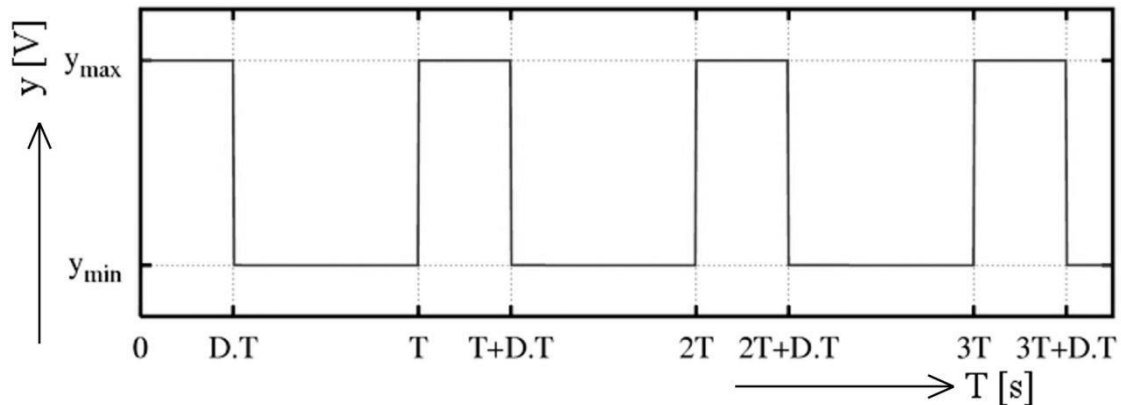
$$\bar{y} = \frac{1}{T} \left(\int_0^{DT} y_{max} dt + \int_{DT}^T y_{min} dt \right) \quad (4)$$

$$\bar{y} = \frac{D \times T \times y_{max} + T \times (1 - D) \times y_{min}}{T} = D \times y_{max} + (1 - D) \times y_{min} \quad (5)$$

Výsledný výraz lze ve velkém množství případů zjednodušit tak, že za y_{min} je dosazena 0. Poté již střední hodnota vyjde:

$$\bar{y} = D \times y_{max} \quad (6)$$

Z toho je zřejmé, že střední hodnota signálu je přímo úměrná velikosti D.



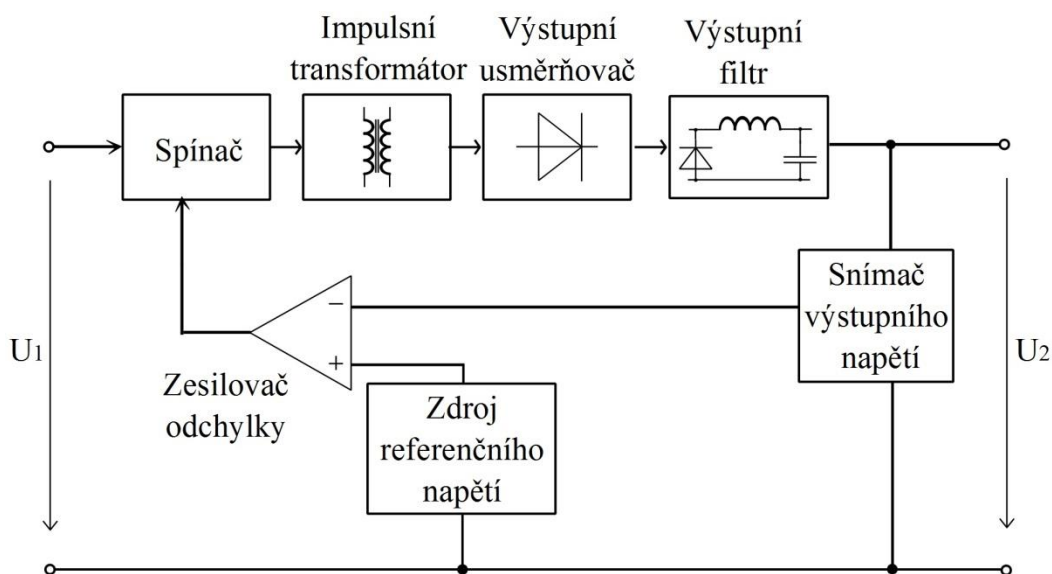
Obrázek 6 Časový průběh napětí PWM [4]

3.2 Frekvence PWM

Minimální počet sepnutí ve stmívači osvětlení musí proběhnout alespoň 100x za sekundu, tedy musí mít frekvenci 100 Hz, aby lidské oko nezaznamenalo blikání LED. Tato hodnota vychází ze zkušenosti s běžnou domácí zářivkou, jež bliká dvojnásobnou frekvencí, než je frekvence sítě, která je 50 Hz. Tuto frekvenci již lidské oko nevidí, respektive ji nevnímá, ale jsou lidé, kterým toto blikání vadí a mohou z něj mít záchvaty nebo trpět nevolností. Proto pro účely osvětlení interiéru bude nastavena frekvence co nejvyšší, kterou není lidské oko schopno zaregistrovat a mozek nezaznamená blikání ani podvědomě, tedy nehrozí žádné zdravotní komplikace. Také musí být frekvence spínání vysoká, aby se toto osvětlení mohlo používat v provozech výrobních hal, kde nesmí docházet ke stroboskopickému efektu, tj. efektu, kdy se lidskému oku například zdá, že hřídel motoru stojí, i když se ve skutečnosti otáčí. K tomuto efektu by došlo, kdyby byla frekvence blikání a otáčení motoru stejná, nebo by byla frekvence otáčení hřídele motoru násobkem frekvence blikání a dále by musely být spínací pulzy dostatečně krátké. Frekvence PWM by měla být násobkem 7 a to z důvodu rušení se staršími zobrazovacími zařízeními, která pracují na frekvenci 50 nebo 60 Hz.

4. Stabilizátory s impulsní (spínanou) regulací

V těchto stabilizátorech dochází ke stabilizaci spínáním regulačního členu. Na rozdíl od spojitě regulace zde musí mít filtrační člen akumulární charakter (obrázek 7). Stabilizátor pracuje v pracovním cyklu s periodou T , jež se skládá ze dvou dob, aktivní T_A a pasivní T_B . Při aktivní době T_A je spínač sepnut a energie se akumuluje do filtračního členu. Při pasivní době T_B je spínač rozepnutý a do zátěže je dodávána energie z filtračního členu [7].

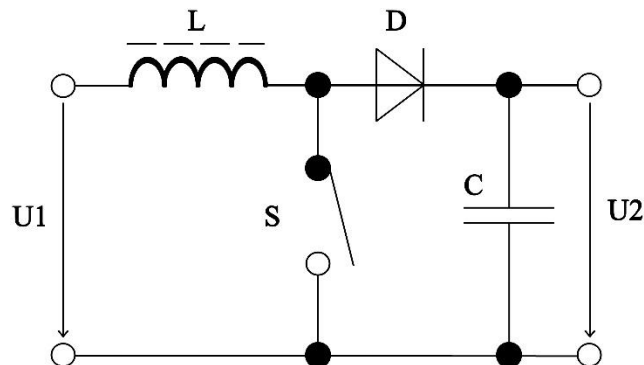


Obrázek 7 Blokové zapojení spínaných stabilizátorů

Tyto stabilizátory se oproti lineárním stabilizátorům vyznačují vyšší účinností, která se může blížit až k 100 %, tomu odpovídá nižší zahřívání a tedy i menší nároky na chlazení, to znamená menší levnější chladič a také menší nároky na velikost celého zařízení. Na druhou stranu spínané stabilizátory vyžadují vyšší znalosti při jejich návrhu, protože pracují na vysokých frekvencích a mohlo by zde docházet k silnému EMI rušení. Proto je nutné, aby při návrhu bylo dodrženo několik návrhových pravidel, která zaručí menší vyzařování EMI a ochrání samotný spínaný stabilizátor před naindukováním napětí na jeho napěťových vstupech.

4.1 Zvyšující jednočinný spínaný stabilizátor (step-up, boost) [8]

Jak už z názvu vyplývá, jedná se o spínaný stabilizátor, který má výstupní napětí vyšší než vstupní. Typické zapojení je vyobrazeno na obrázku 8.



Obrázek 8 Typické zapojení zvyšujícího spínaného stabilizátoru

U tohoto typu spínaného stabilizátoru po sepnutí spínače teče proud skrz cívku a tento spínač. Proud postupně narůstá až do okamžiku, kdy spínač rozeplíná. V tom okamžiku se cívka snaží udržet směr a velikost proudu jí tekoucí a vzniká na ní indukované napětí.

$$U_{ind} = -L \times \frac{dI_{in}}{dt} \quad (7)$$

Toto napětí se sčítá s napětím zdroje a vytváří tak vyšší výstupní napětí, než jaké je napětí vstupní. Pro sepnutý spínač platí vztahy (8) a (9). T_A zde představuje dobu, po kterou je spínač sepnutý.

$$U_L = U_1 \quad (8)$$

$$\Delta I_{LA} = \frac{U_1 \times T_A}{L} \quad (9)$$

Pro rozeplutý spínač platí vztahy (10) a (11). T_B zde představuje dobu, po kterou je spínač rozeplutý.

$$U_L = U_2 - U_1 \quad (10)$$

$$\Delta I_{LB} = \frac{(U_2 - U_1) \times T_B}{L} \quad (11)$$

Změny proudů se rovnají, takže můžeme oba výsledné vztahy dát do rovnosti a vyjádřit z nich závislost výstupního napětí na době T_A a T_B .

$$\Delta I_{LA} = \Delta I_{LB} \quad (12)$$

$$\frac{U_1 \times T_A}{L} = \frac{(U_2 - U_1) \times T_B}{L} \quad (13)$$

$$U_1 \times T_A = U_2 \times T_B - U_1 \times T_B \quad (14)$$

$$U_1 \times T_A + U_1 \times T_B = U_2 \times T_B \quad (15)$$

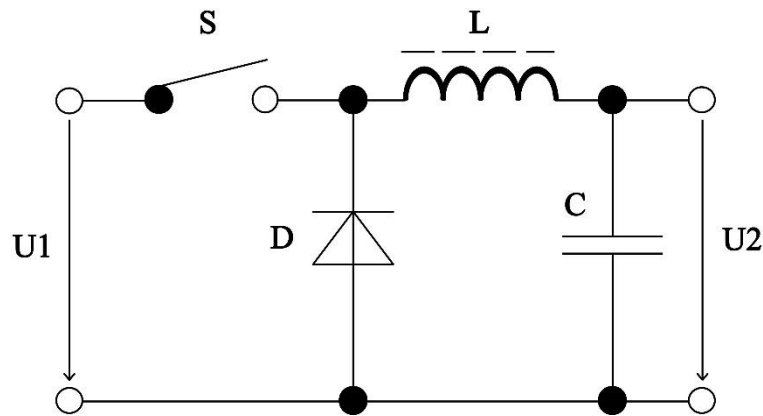
$$U_1 \times (T_A + T_B) = U_2 \times T_B \quad (16)$$

$$U_2 = U_1 \times \frac{(T_A + T_B)}{T_B} \quad (17)$$

Z výsledného vzorce vidíme, že výstupní napětí závisí na poměru součtu časů T_A a T_B vůči času T_B . Avšak tento poměr nelze využívat do extrémů. V případě velice dlouhého T_A ku T_B sice roste proud protékající cívkou, ale současně klesá výstupní napětí, protože dochází k vybíjení výstupního kondenzátoru. Naopak s rostoucí dobou T_B je výstupní kondenzátor déle dobíjen, ale pouze v případě, že součet vstupního a naindukovaného napětí je větší než součet napětí výstupního a propustného napětí na diodě. Z výše uvedeného plyne, že tento zdroj nemůže pracovat v režimu, kdy by bylo výstupní napětí nižší než napětí vstupní.

4.2 Snižující jednočinný spínaný stabilizátor (step-down, buck) [8]

Tento stabilizátor má výstupní napětí nižší, než jaké je jeho napětí vstupní. Ukázkové zapojení tohoto typu stabilizátoru je na obrázku 9.



Obrázek 9 Typické zapojení snižujícího spínaného stabilizátoru

Při sepnutém spínači teče skrze něj a cívku proud do zátěže.

$$U_L = U_1 - U_2 \quad (18)$$

$$\Delta I_{LA} = \frac{(U_1 - U_2) \times T_A}{L} \quad (19)$$

Po rozeznutí spínače se cívka brání změně proudu a naindukuje se na ní napětí opačné polaroty, které je dodáváno do zátěže. Proudová smyčka je uzavřena přes Schottkyho diodu, jejíž propustné napětí v těchto rovnicích neuvažujeme.

$$U_L = U_2 \quad (20)$$

$$\Delta I_{LB} = \frac{U_2 \times T_B}{L} \quad (21)$$

Obě změny proudu musí být rovny, takže opět můžeme za změny proudů dosadit výsledky předchozích rovnic a vyjádřit si závislost výstupního napětí na T_A a T_B .

$$\Delta I_{LA} = \Delta I_{LB} \quad (22)$$

$$\frac{(U_1 - U_2) \times T_A}{L} = \frac{U_2 \times T_B}{L} \quad (23)$$

$$U_1 \times T_A = U_2 \times T_B + U_2 \times T_A \quad (24)$$

$$U_1 \times T_A = U_2 \times (T_B + T_A) \quad (25)$$

$$U_2 = U_1 \times \frac{T_A}{(T_A + T_B)} \quad (26)$$

Jak je vidět, výstupní napětí závisí na poměru doby T_A a součtu obou těchto dob T_A a T_B . Čím delší je doba T_B v poměru ku době T_A , tím nižší je výstupní napětí.

5. Dálkové ovládání

V zadání je řečeno, že laboratorní vzorek musí být dálkově ovladatelný. Dálkové ovládání pomocí IrDA je v dnešní době již překonaným řešením, v určitých oblastech má své výhody a opodstatnitelné využití, ale k této diplomové práci se příliš nehodí [5]. Druhou možnost ovládání laboratorního vzorku na dálku poskytuje Bluetooth. Technologie Bluetooth je stále velmi populární, avšak stavba dálkového ovládání by byla poměrně komplikovaná a drahá, výhodou Bluetooth oproti IrDA by však bylo, že by se dala naprogramovat aplikace pro dnešní „chytré“ telefony, které by díky této aplikaci a vestavěnému Bluetooth modulu mohly laboratorní vzorek na dálku ovládat. Toto ovládání by mělo ale omezený dosah, řádově 10 m, což je pro ovládání například světel v domě plně dostačující, avšak uživatel se v domě musí nacházet. Další nevýhodou je, že dnešní „chytré“ telefony pracují na různých operačních systémech a bylo by zapotřebí naprogramovat více ovládacích aplikací. Také ovládání přes stolní počítač by bylo nákladné, protože většina stolních PC neobsahuje vestavěný Bluetooth modul a musel by se za tímto účelem dokupovat. Proto po konzultaci s vedoucím práce bylo rozhodnuto, že bude dálkové ovládání řešeno přes internet. Řešení řízení skrz internet je v dnešní době velice populární a odvětví zabývající se jím zažívá každým rokem velký růst. Řešení řízení skrze internet s sebou přináší mnoho výhod. Jednou z největších je, že stačí naprogramovat pouze jedny webové stránky, ke kterým se dá následně přistupovat ze všech platforem, ať už je to mobilní telefon, tablet nebo počítač, stačí pouze, aby byl daný přístroj připojen k internetu nebo alespoň k routeru, na kterém je připojený řídicí laboratorní vzorek. Další velkou výhodou je možnost ovládání jednotlivých zařízení v domácnosti opravdu dálkově, například z práce nebo z dovolené. Uživatel se tak může na dálku podívat, zda nezapomněl rozsvícená světla nebo si může na dálku zapnout topení.

6. Mikrokontroléry (μC) [1]

Mikrokontroléry, také označované jako jednočipové mikropočítače, mají program i data uložená ve vlastní paměti, integrované v jednom pouzdře zároveň s ostatními perifériemi mikrokontroléru. Mikrokontroléry se vyrábějí v mnoha podobách a vybaveních. Liší se šířkou sběrnice, mají od 8 do 32 bitů. Dále se liší v množství periférií, typech pouzder, velikosti paměti, rychlosti oscilátoru a mnoha dalších parametrech. Na dnešním trhu je mnoho výrobců mikrokontrolérů, např. Microchip, Analog Devices, Freescale, Microelectronics, Texas Instruments a další.

6.1 Periferie Mikrokontroléru

Periferie mikrokontrolérů jsou velice důležité, protože umožňují obsluhovat, vyhodnocovat, komunikovat nebo pracovat s daty způsobem, který samotné výpočetní jádro mikrokontroléru neumí, ale jsou stále ve stejném pouzdře, takže návrhář nemusí při návrhu používat externí čipy, například pro A/D převod. Níže jsou vyzdvíženy některé periferie, které budou v této práci použity.

Paměti Mikrokontroléru

Mikrokontroléry se dělí do dvou skupin, mikrokontroléry s architekturou paměti „Von Neumann“ a „Harvardská“.

Von Neumann - paměť pro data a program je společná. Díky tomu můžeme během běhu programu měnit samotné chování programu, protože se můžeme dívat na instrukce jako na data a pracovat tak s nimi.

Harvardská - Harvardská architektura má paměťový prostor pro data a program oddělený, což dovoluje používat pro paměť programu například paměti typu ROM a umožňuje v podstatě zdvojnásobení obsahu paměti oproti architektuře „Von Neumann“ při stejné velikosti adresové sběrnice.

Dále některé mikrokontroléry obsahují paměť EEPROM, což je paměť typu nonvolatile (neprechavá). To znamená, že tato paměť udrží svůj obsah i po odpojení mikrokontroléru od napájení.

10-bitový A/D převodník

A/D převodník je využíván k převodu analogového signálu, například napětí na napěťovém děliči, na signál digitální, se kterým již může mikrokontrolér pracovat. A/D převodníky integrované v mikrokontrolérech od firmy Microchip jsou typem A/D převodníku s postupnou aproximací. Rozsah převodníku je dán referenčními vstupy mikrokontroléru U_{REF+} a U_{REF-} . Tento rozsah nesmí překročit rozsah napájecího napětí mikrokontroléru, které se dá též použít jako napětí referenční a tudíž pak reference nezabírají 2 piny na pouzdře, které se následně mohou použít jinak. Výpočet rozsahu A/D převodníku:

$$Rozsah = U_{REF+} - U_{REF-} \quad (27)$$

Dále je u každého A/D převodníku důležité rozlišení. PIC24FJ256GB206 má k dispozici A/D převodník s rozlišením 10 bitů. Z rovnice (28) lze vypočítat citlivost A/D převodníku.

$$Citlivost = \frac{Rozsah}{Rozlišení} \quad (28)$$

Jako referenční napětí bude využito napájecí napětí řídicího laboratorního vzorku, které je 3,3 V.

$$Rozsah = U_{REF+} - U_{REF-} = 3,3 - 0 = 3,3 \text{ V} \quad (29)$$

$$Citlivost = \frac{Rozsah}{Rozlišení} = \frac{3,3}{2^{10}} = \frac{3,3}{1024} \cong 3,2 \text{ mV} \quad (30)$$

Dále je u A/D převodníku důležité správně nastavit časy převodu a časy dobíjení vzorkovacího kondenzátoru. Doba převodu jednoho bitu je definována jako T_{AD} . Pro A/D převod je zapotřebí $12 T_{AD}$, v našem případě je $T_{AD} = 375 \text{ ns}$. Doba určená k nabíjení vzorkovacího kondenzátoru je nastavena na $31 \times T_{AD}$, to znamená $11,6 \mu\text{s}$. Celý převod tedy mikrokontroléru zabere okolo $12 \mu\text{s}$ [9].

PWM

Mikrokontroléry mají integrovaný obvod přímo pro generování PWM signálu. Při běhu PWM lze programově měnit střihu signálu, který má definovanou frekvenci. Pracovní část signálu odpovídá napájecí napětí mikrokontroléru a po zbytek periody je pin uzemněn. Důležitým parametrem PWM je frekvence, která byla během měření nastavena tak, aby celý obvod správně fungoval. Frekvenci PWM lze vypočítat z rovnic (31) a (32).

$$T_{pwm} = [(PR2) + 1] \times 2 \times T_{osc} \times \text{předdělička} = 256 \mu s \quad (31)$$

$$f_{PWM} = \frac{1}{256 \times 10^{-6}} \cong 3906 \text{ Hz} \quad (32)$$

V rovnicích je již ukázán výpočet pro frekvenci, která bude použita ve finálním laboratorním vzorku. Frekvence je tedy nastavena na 3906 Hz. Rozlišení PWM se nyní spočítá z rovnice (33).

$$\text{Rozlišení [bit]} = \frac{\log_{10} \left(\frac{F_{CY}}{f_{pwm} \times \text{předdělička}} \right)}{\log_{10}(2)} \cong 10 \text{ [bit]} \quad (33)$$

Z výpočtu vidíme, že rozlišení PWM by mělo být 10 bitů, to znamená, že výkon řízený pomocí PWM lze teoreticky rozdělit na 1026 hodnot, 2^{10} je 1024 stavů samotné PWM a k této hodnotě se musí přičíst stav zcela vypnuto a zcela zapnuto [9].

6.2 Porty mikrokontroléru

Porty u vyšších řad mikrokontrolérů jsou již téměř zcela přemapovatelné, to znamená, že pouze napájecí piny, piny pro programování mikrokontroléru a některé další piny, které musí být například tolerantní k 5 V logice, jsou pevně spjaty s daným pinem na pouzdře. Velké množství dalších pinů je možné nastavit na konkrétní pin pouzdra, což je výhoda při navrhování tištěného spoje, protože návrhář může přizpůsobit zapojení požadavkům rozložení jednotlivých ovládacích prvků, konektorů a externích periférií. Základní typy portů mikrokontroléru jsou:

Digitální I/O port

Tento port umožňuje komunikovat s okolím v logických hodnotách. Na pinech mikrokontroléru, které jsou označené v katalogovém listu jako „digital I/O“, mohou nastat dva stavy. Buď jsou uzemněné, to v případě, že je na nich log0 anebo je na nich napájecí napětí, to v případě log1. Tento port se využívá například pro komunikaci s displejem, může sloužit k rozsvícení informačních LED a mnoha dalším účelům.

Analogový vstup

Tomuto portu jsou přiděleny piny mikrokontroléru označené v katalogovém listu jako „Analog input“. Tento port slouží jako vstup při používání A/D převodníku.

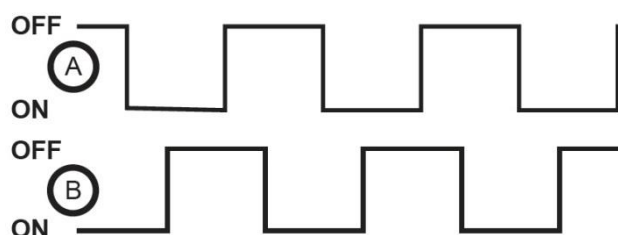
Externí zdroje přerušení

Tyto piny jsou v katalogovém listu označené jako „External interrupt“. Na tyto piny přivádíme externí zdroje přerušení, nejčastěji tlačítka, rotační kodér a další ovládací prvky, na které musí mikrokontrolér reagovat okamžitým odklonem od standardního běhu programu.

7. Rotační kodér s mechanickým kontaktem [1]

Jde o soustavu dvou spínačů, které při otáčení kolečkem v dané posloupnosti spínají. Na obrázku 10 je zobrazen průběh spínání.

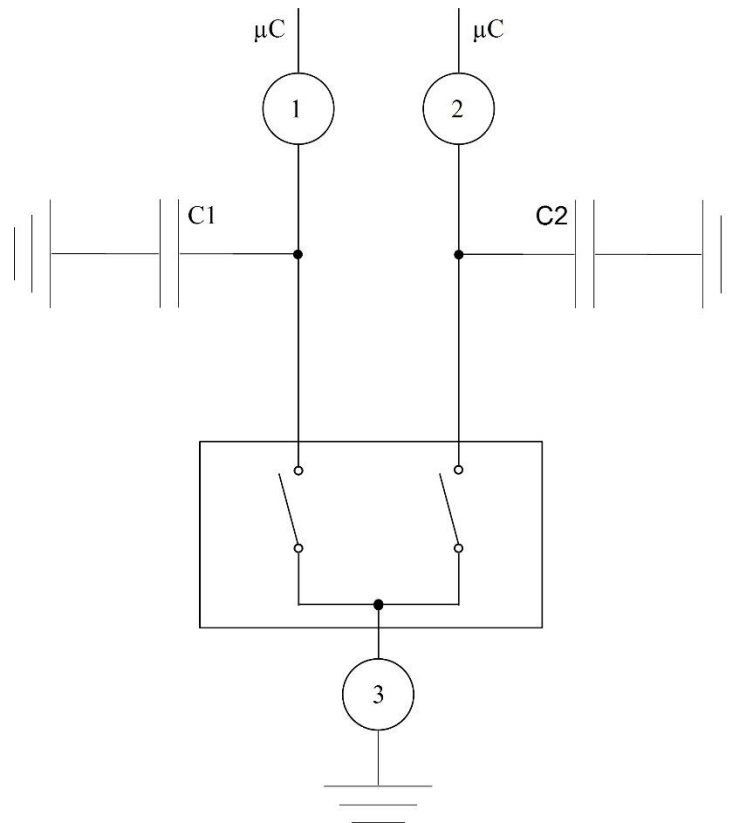
Výstupní průběh



Obrázek 10 Průběh spínání [1]

Mezi nejdůležitější parametry kodéru patří maximální proud tekoucí kontakty, který je v případě rotačního kodéru použitého v této diplomové práci 10 mA. Pokud by tento proud byl dlouhodobě překračován, rotačnímu kodéru by prudce klesla životnost. Dále je důležitý počet kroků na jedno otočení rotačního kodéru o 360°, toto číslo určuje přesnost kodéru. Pro použití v řízení jasu je optimální kodér s počtem kroků mezi 10 a 50, tato hodnota byla zvolena tak, aby kodér bez problému stíhal vykonat obsluhu přerušení mezi jednotlivými pulzy. Nevýhodou takového kodéru je nižší přesnost, která však v případě řízení jasu není prioritní. Dále je u mechanických rotačních kodérů nutné potlačit zákmity, což lze řešit buď programově anebo pomocí kondenzátorů zapojených paralelně ke kontaktům, jak je naznačeno na obrázku (11).

Rotační kodér

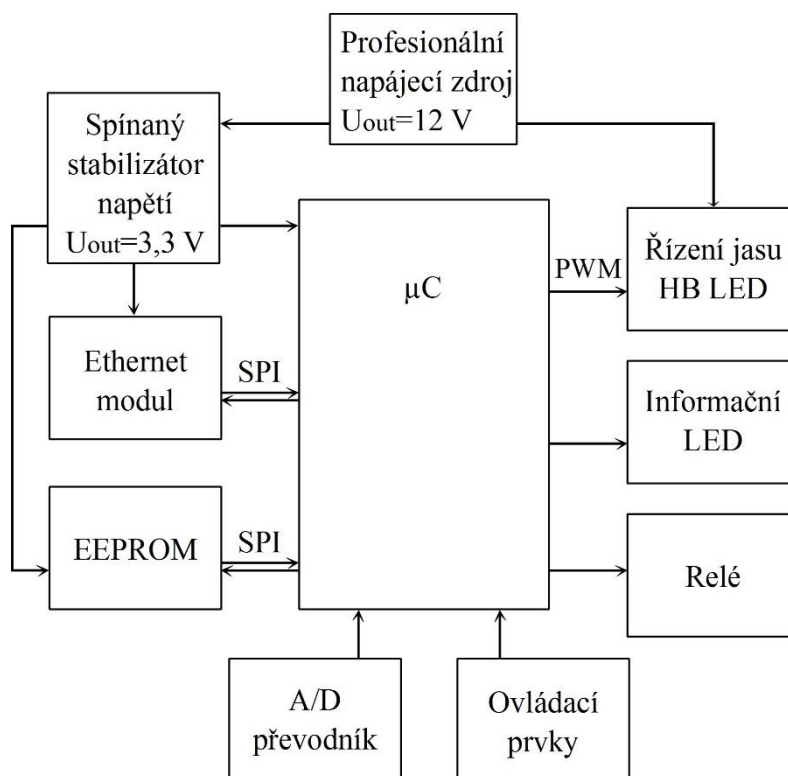


Obrázek 11 Typické zapojení rotačního kodéru

V zapojení na obrázku 11 je kapacita kondenzátorů C1 a C2 100 nF, tato kapacita byla stanovena experimentálně a nyní zapojení funguje velice dobře. Na obrázku 11 jsou dále pomocí zkratky „ μC “ označeny dva piny mikrokontroléru, které jsou programově nastaveny jako digitální vstupy se zapnutými integrovanými pull-up rezistory, které trvale drží tyto vstupy v logické 1 a zároveň omezují proud tekoucí konektory kodéru [9].

8. Návrh a konstrukce laboratorního vzorku

Celý laboratorní vzorek bude napájen ze zdroje 12 V. Toto napětí je určeno v zadání práce a bylo zvoleno s přihlédnutím k bezpečnosti celého zapojení, kdy nebylo vhodné, aby v rámci výroby laboratorního vzorku pro diplomovou práci bylo pracováno s napětím sítě. Celý laboratorní vzorek bude rozdělen do dvou bloků. První blok bude řídicí, zde se bude nacházet řídicí obvod, který bude umožňovat jak lokální, tak dálkové ovládání, bude poskytovat pomocí stavových LED uživateli informace o stavu zařízení a také se zde bude nacházet spínaný stabilizátor napětí, který bude vytvářet potřebné napájecí napětí pro řídicí blok. Druhým blokem bude blok výkonový, pomocí něhož bude napájena HB LED a bude řízen její jas. Komunikace mezi těmito moduly bude jednosměrná z řídicího bloku do výkonového a bude realizována pomocí PWM. Oba bloky budou napájeny z profesionálního zdroje napětí. Dále byly přidány některé další funkce, které nebyly součástí zadání, ale nebylo složité je přidat a funkčnost laboratorního vzorku značně vylepší. Jedná se o vstup A/D převodníku a 2 výkonové relé. Kompletní blokové zapojení laboratorního vzorku se nachází na obrázku 12.



Obrázek 12 Blokové zapojení navrženého laboratorního vzorku

8.1 Napájení řídicího bloku

V požadavcích na napájení řídicího bloku byly rozhodující tyto parametry stabilizátoru napětí.

Účinnost stabilizátoru napětí

Účinnost stabilizátoru napětí je velice důležitá, protože zařízení je navrhováno tak, aby pracovalo 24 hodin denně, 365 dní v roce. V případě lineárního stabilizátoru, kdy i při neoptimalnějším vstupním napětí musí být rozdíl vstupního a výstupního napětí necelý 1 V a při odběru laboratorního vzorku 1 A, to znamená výkonovou ztrátu 1 W, což je nepřipustné a proto byl zvolen stabilizátor spínaný.

Rozsah vstupních napětí

Vstupní napětí je dle zadání 12 V. Toto vstupní napětí se v současné době používá například pro napájení LED pásků pro osvětlení interiérů, avšak většina mobilních telefonů, tabletů, elektronických čteček knih a MP3 přehrávačů je dnes nabíjena z 5 V zdrojů. Toto napětí je v USB portu, proto bylo rozhodnuto, že by měl být laboratorní vzorek schopný pracovat i při vstupním napětí 5 V.

Výstupní napětí a proud

Výstupní napětí stabilizátoru musí být 3,3 V. Toto napětí využívá jak ethernetový modul, tak většina moderních mikrokontrolérů. Výstupní proud zdroje bude maximálně 1 A. Do této hodnoty byl započítán odběr mikrokontroléru, ethernetového modulu, dvou relé a zobrazovacího zařízení, ať už v podobě několika informačních LED nebo malého LCD displeje.

Volba spínaného stabilizátoru

Na trhu se nachází velké množství integrovaných obvodů pro stavbu spínaných stabilizátorů. Zvolen byl modul od firmy Texas Instruments. Tato firma poskytuje na svých stránkách výkonný program, který dokáže porovnat veškeré nabízené integrované obvody od daného výrobce a některé z těchto obvodů i optimalizovat pro konkrétní aplikace. Většina nabízených modulů umí pracovat v potřebném rozsahu vstupního napětí. Hlavním omezujícím kritériem pro zvolení integrovaného obvodu spínaného zdroje byla výsledná velikost osazeného modulu včetně potřebných součástek a jeho účinnost. Nejlépe vyšel z porovnání modul TPS54426. Jeho teoretická účinnost je až 96 %. Vstupní napětí může být v rozmezí 4,5 – 18 V.

8.2 Řídicí obvod

Mikrokontrolérů se na trhu nachází opravdu velké množství. Po dobrých zkušenostech s mikrokontroléry od firmy Microchip bylo rozhodnuto, že bude použit mikrokontrolér právě od této firmy. Kvůli nutnosti komunikovat s ethernetovým modulem a provádět některé náročnější výpočty bude voleno z mikrokontrolérů s 16 bitovými instrukcemi. Ostatní parametry, podle kterých byl mikrokontrolér volen, jsou uvedeny v následujícím seznamu.

1. Možnost nastavit 2 nezávislé SPI komunikace (1. pro komunikaci s EEPROM a 2. pro komunikaci s ethernetovým modulem). Optimální by bylo, kdyby mikrokontrolér obsahoval 3 SPI moduly, aby při případném rozšíření laboratorního vzorku o displej bylo možné jeden SPI modul využít ke komunikaci s ním.
2. Více PWM generátorů. Pro tuto práci by stačil pouze 1 generátor PWM signálu. Dá se však předpokládat, že by laboratorní vzorek nesloužil k řízení pouze jednoho světla, ale byl by použit například pro obsluhu všech světel v celém domě a tudíž byl zvolen mikrokontrolér s více PWM generátory.
3. Větší paměť pro program. Mikrokontrolér bude naprogramován pomocí jazyka C, což zvyšuje nároky na kompilátor a také právě na programovou paměť mikrokontroléru. Kompilátor bude využit od firmy Microchip MPLAB X. Je volně stažitelný, přehledný a pro účely této práce plně dostačuje. Jediná jeho nevýhoda je, že ve volně šiřitelné licenci nemá tak dobrou optimalizaci kódu a zde právě vzniká požadavek na větší paměť mikroprocesoru. Rychlost mikrokontroléru v této aplikaci není prvořadá, tudíž ne zcela optimalizovaný kód nijak nevadí.
4. Napájení 3,3 V. Ethernetový modul, který bude v této práci použit, pracuje s tímto napájecím napětím taktéž a z důvodu úspory místa a ceny součástek je efektivnější, když budou oba prvky pracovat se stejným napájecím napětím. Také je to výhodné kvůli vzájemné komunikaci mikrokontroléru a ethernetového modulu, kdy se nemusí řešit převodníky logických úrovní.

Po prostudování katalogu výrobce mikrokontrolérů byl zvolen PIC24FJ256GB206. Jedná se o 16bitový mikrokontrolér v pouzdře typu TQFP s 64 vývody. Tento mikrokontrolér splňuje veškeré výše jmenované požadavky plus přidává několik dalších funkcí, které zjednoduší návrh tištěného spoje. Jedná se například o integrované pull-up a pull-down odpory a také možnost mapování periférií na různé piny, což umožní rozmístění prvků na tištěném spoji s důrazem na dobrou ergonomii ovládání a také to sníží výrobní složitost desky [9].

8.3 Ethernetový modul

Na trhu se v dnešní době nachází rozsáhlá nabídka ethernetových modulů s různým zaměřením. Velké množství modulů je zaměřeno na použití v automatizační technice a jedná se o už hotové boxy s dálkově spínanými vývody, vysokou cenou a velkými rozměry. Po prozkoumání trhu bylo rozhodnuto, že pro řízení laboratorního vzorku bude použit modul Nano SocketLAN.

Nano SocketLAN

Tento modul byl s výhodou zvolen kvůli jeho parametrům a možnostem jeho využití. Byl vybrán z důvodu snadnosti obsluhy, přiměřené náročnosti na nastavení, rozšířenosti ve světě, velikosti a rozumné ceně. Hlavní výhody modulu Nano SocketLan jsou napájecí napětí 3,3 V, vlastní paměť pro internetové stránky (možnost fungování jako web server), více komunikačních protokolů (SPI nebo UART), možnost pracovat s různými webovými protokoly, velice malé rozměry 35,0 x 24,88 x 17,4 mm a také snadné připojení pomocí kolíkové lišty s roztečí 2 mm.

8.3 Řízení jasu

Na trhu s integrovanými obvody se během posledních několika let začaly ve velké míře rozšiřovat integrované obvody určeny přímo pro napájení supersvitivých LED s již integrovanou možností řízení jejich jasu. Většinou je tato funkce realizována pomocí napěťového vstupu, kdy teoreticky stačí zapojit potenciometr mezi napájení, zem a tento vstup. Další často integrovanou možností řízení jasu je možnost řízení pomocí PWM. Jelikož k řízení jasu LED a pro komunikaci s dalšími periferiemi je použit mikrokontrolér, bylo zvoleno řízení pomocí PWM. Je to z důvodu snazšího naprogramování celého laboratorního vzorku a také jeho výrobní ceny. V opačném případě, kdy by bylo pomocí mikrokontroléru řízeno napětí na napěťovém vstupu výkonového obvodu, by musel být použit v zapojení digitální potenciometr, což by cenu laboratorního vzorku zbytečně navyšovalo.

Dostupné obvody na trhu

Analog Devices [11]

Tato firma v současné době nedodává žádný driver pro HB LED. Sice dodává drivery pro LED lišty, které mají jistou podobnost s použitou HB LED, protože je v ní taktéž použito sériové řazení LED. Avšak LED obsažené v modulu použitým v této práci jsou integrované a je zde zároveň několik paralelních větví, což zvyšuje požadovaný napájecí proud nad možnosti veškerých obvodů od firmy Analog Devices. Kdyby bylo potřeba řídit méně výkonné HB LED nebo jejich řetězce, pak by tato firma dokázala poskytnout adekvátní obvod.

Freescale [12]

Zde je situace obdobná jako v případě firmy Analog Devices. Tato firma dodává pouze dva LED drivery a oba jsou určeny především pro řízení podsvícení u displejů.

Infineon [13]

Tato firma má ve svém portfoliu několik LED driverů, které by dokázaly napájet HB LED zvolenou pro tuto diplomovou práci, avšak všechny tyto LED drivery dokážou fungovat pouze jako BUCK zdroje, to znamená zdroje, které mají výstupní napětí nižší než vstupní, což v této práci nelze využít, protože je nutné z 12 V napájet HB LED o jmenovitém napětí 37,2 V.

NXP [14]

Tato firma nenabízí žádný použitelný LED driver. Ovšem má velice dobře řešené LED drivery napájené ze sítě, které umí dodávat takový výkon, který by stačil i pro HB LED použitou v této práci, a tento výkon dokáží dodávat s vysokou účinností. Dále se na jejich webových stránkách dá dohledat, že vyvíjí LED drivery pro použití v automobilech. Tento driver, i když by nebyl určený přímo pro takovou aplikaci, by šel pravděpodobně v této práci použít, protože v automobilu se pracuje nejčastěji s napětími okolo 12 V a dá se předpokládat, že zde bude napětí nutno zvýšit pro výkonnější LED.

Renesas [15]

Tato firma nabízí pouze moduly pro napájení z 24 V a opět funkční pouze jako snižující zdroje.

Cirrus Logic [16]

Firma Cirrus Logic se zaměřila především na integrované obvody, které se používají při napájení LED ze sítě. Těchto obvodů nabízí velké množství a tyto obvody jsou navrženy pro vysokou účinnost a co nejkompaktnější zapojení.

ST [17]

Firma ST se zaměřuje na drivery určené především pro LED k podsvícení displejů nebo pro různé systémy využívající maticové zapojení LED.

Maxim Integrated [18]

Tato firma poskytuje velké množství LED driverů s velmi specifickými parametry, avšak nenabízí žádný driver, který by dokázal pracovat jako zvyšující zdroj.

Texas Instruments [19]

Texas Instruments má rozhodně nejširší nabídku LED driverů. Alespoň co se týče typu DC/DC. Drivery typu DC/DC nabízí jak pro velké množství konkrétních využití, tak pro použití univerzální. Je možné volit z různých pouzder, účinností výsledných zapojení a v neposlední řadě taktéž velikostí výsledného zapojení. Dále tato firma nabízí propracovaný software, který uživateli poskytne pro přesně zadané podmínky několik konkrétních zapojení, kde se pak zákazník může rozhodnout, zda zvolí menší zapojení s nižší účinností nebo naopak větší zapojení s vyšší účinností. Také je zde rovnou vidět počet součástek a jejich odhadovaná cena. V tomto softwaru je uloženo i několik modelů HB LED včetně té, která byla zvolena pro tuto práci, takže zde stačilo zadat vstupní napětí, vybrat požadovanou HB LED a následně jen vybrat z množství zapojení, které software navrhl.

Volba konkrétního obvodu

Po důkladném prostudování kompletní nabídky posledního jmenovaného výrobce jsem zvolil pro napájení a řízení jasu HB LED integrovaný obvod LM3429-Q1. Podle návrhového softwaru výrobce by v daném zapojení měl driver dosahovat účinnosti až 94 %. Velikost celého zapojení nebyla zcela prvořadá v řešení této práce, důležitější bylo, aby bylo pouzdro, ve kterém je tento driver dodáván, zapájitelné v domácích podmínkách, což pouzdro 14HTSSOP splňuje.

8.4 Návrh tištěného spoje pro řídicí blok

Schéma zapojení a také navržený tištěný spoj se nachází v příloze této práce. Při návrhu spínaného stabilizátoru pro řídicí část bylo nutné dodržet návrhová pravidla spínaných stabilizátorů. Tento spínaný stabilizátor pracuje v režimu BUCK. Dále byl při návrhu brán ohled na ergonomii celého laboratorního vzorku. Ovládací prvky (kodér, tlačítka) byla umístěna k sobě na spodní stranu desky. Vedle nich byly rozmístěny informační LED, které mají uživatele informovat o stavu laboratorního vzorku. Jsou zde LED, které ukazují zda jsou relé sepnuta nebo rozepnuta. Dále se zde nachází LED signalizující zapnutí A/D převodníku. Další LED je využita k informování uživatele o akcích probíhajících v mikrokontroléru, LED bliká při komunikaci mikrokontroléru s EEPROM a ethernetovým modulem. Ovládání celého laboratorního vzorku je řešeno tak, že po stisku horního tlačítka se sepne horní relé, po opětovném stisku tlačítka se relé opět rozepne. Stejná funkce je u spodního tlačítka. Dále je zde kodér, který při otáčení po směru hodinových ručiček zvyšuje dodávaný výkon do LED, při otáčení proti směru hodinových ručiček snižuje dodávaný výkon do LED a při jeho stisku se zapne nebo vypne A/D převodník. Jednotlivé vývody relé jsou vyvedeny na levé straně desky pomocí šroubovací svorkovnice. Tato relé byla dimenzována tak, aby dokázala spínat i napětí sítě a proud až do 10 A, což by mělo stačit na dálkové zapínání a vypínání běžných spotřebičů. V levé části desky se dále nachází konektor pro připojení profesionálního zdroje napětí 12 V, dále šroubovací svorkovnice s vyvedeným napětím 12 V a 3,3 V. Na horní straně desky je umístěn vstup USB, který po propojení propojek na desce může sloužit jako napájení pro řídicí část obvodu. Dále lze pomocí tohoto konektoru programovat ethernetový modul. V pravém horním rohu desky je umístěn ethernetový modul s konektorem RJ-45 pro připojení k internetu. V pravém dolním rohu laboratorního vzorku se nachází šroubovací svorkovnice s vyvedeným PWM signálem a vstupem pro A/D převodník [20].

8.5 Návrh tištěného spoje pro výkonový blok

Kompletní zapojení výkonové části a navržený tištěný spoj je přiložený v příloze této práce. Zde bude pouze vyzdviženo několik důležitých parametrů, které musí být v takovémto zapojení dodrženy, aby bylo minimalizováno vyzařování rušivé elektromagnetické energie a také zvýšena odolnost samotného zařízení proti rušení. Největším zdrojem EMI v tomto zapojení je spínaný proud, proto je důležité udržet smyčku, ve které tento proud prochází co nejmenší, to znamená smyčku obsahující výstupní kondenzátor, schottkyho diodu, spínací tranzistor a odpor kontrolující maximální proud procházející tranzistorem [21]. Dále je důležité, aby spoj mezi cívkou, tranzistorem a schottkyho diodou byl co nejmenší, nejlepší je tento spoj navrhnout jako jednolitý malý kus mědi, do kterého jsou zapojeny všechny tři součástky. Při dodržení obou výše zmíněných pravidel by mělo dojít k minimalizaci vyzařování EMI. Druhým důležitým návrhovým pravidlem, které musí být dodrženo při návrhu tištěného spoje s LM3429-Q1, je minimalizace délky spojů vedoucích k pinům RCT, COMP, CSH, IS, HSP a HSN. Všechny tyto piny jsou vysokoimpedanční vstupy a velice snadno se tedy může stát, že se na přívodním vodiči naindukuje rušivé napětí. Ke snížení naindukovaného napětí na těchto spojích také napomáhá, že je celý tištěný spoj oboustranný a všude, kde nejsou vedeny žádné spoje, je rozlita uzemněná měď, která by měla zabránit právě naindukování napětí mezi jednotlivými spoji a také z okolních zařízení.

9. Nastavení a ovládání ethernetového modulu [22]

Nastavení modulu lze provést několika způsoby, v této práci byly využity pouze 2 z nich. Prvním z nich je využití propojení modulu s počítačem pomocí USB. Toto zapojení dovoluje s výhodou využít program „iChipConfig Utility“, jenž je dodávaný výrobcem tohoto modulu. Tento program je intuitivní a umožňuje snadno vše nastavit dle požadavků, bez nutnosti programování SPI komunikace s jednotlivými AT+i příkazy. AT+i příkazy slouží k ovládání a nastavování ethernetového modulu, v podstatě se jedná o AT příkazy upravené výrobcem modulu. Těchto příkazů je více než 200 a mnoho z těchto příkazů má další, doplňkové příkazy. Jedinou vážnější nevýhodou programu „iChipConfig Utility“ je, že dle výrobce funguje pouze na Windows XP a Windows 7 (32-bit). Proto byl program využíván pouze ze začátku programování modulu. Později již bylo potřeba měnit nebo vyčítat pouze pár parametrů a nastavení, které již nebylo tak komplikované provádět skrz SPI komunikaci s mikrokontrolérem.

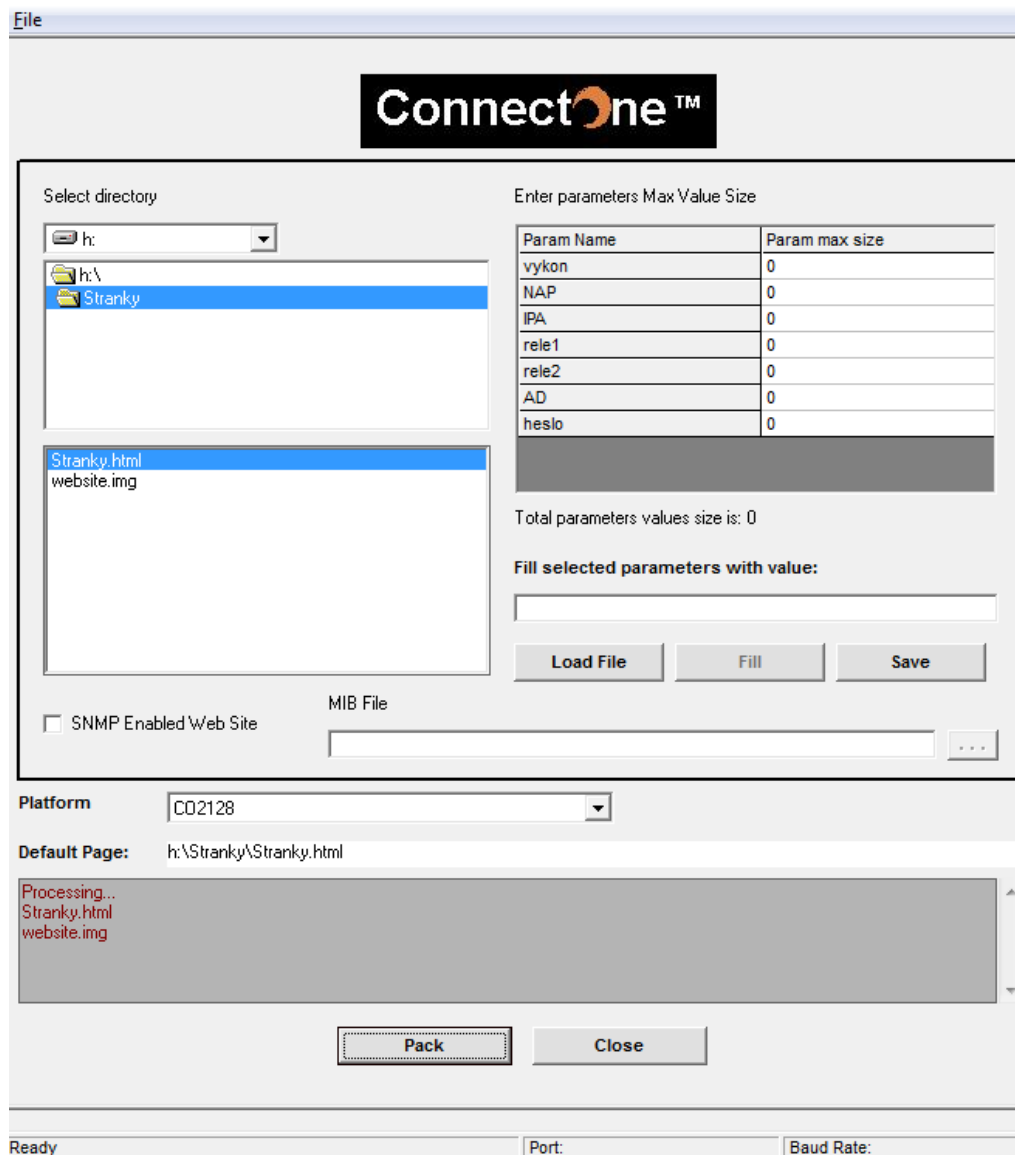
9.1 Jednotlivá nastavení modulu

Při prvním nastavování ethernetového modulu byla využita funkce programu iChipConfig Utility Communication Platform Wizard. Skrz tuto funkci bylo provedeno první nastavení ethernetového modulu. Podrobnější nastavování bylo později prováděno přímo skrz jednotlivé AT+i příkazy. Pomocí Communication Platform Wizard byla nastavena komunikace přes LAN, získávání IP adresy bylo nastaveno pomocí DHCP. Dále bylo nastaveno pomocí AT+i příkazu AT+iWWW=3, že na web server mohou přistupovat až 3 uživatelé naráz. Tato nastavení postačují pro to, aby se samotný ethernetový modul po zapnutí napájení automaticky připojil k síti.

9.2 Nahrání webových stránek do ethernetového modulu

Nahrání webových stránek do ethernetového modulu je rozděleno do několika kroků.

1. Pomocí programu iChipConfig Utility požadovanou stránku zabalíme.



Obrázek 13 Okno programu iChipConfig Utility

2. Po zabalení se objeví všechny přidáné parametry v pravém horním okně. Nyní nastavíme jejich maximální velikost (obrázek 13).
3. Stránky uložíme.

4. Pomocí konfiguračního serveru, ke kterému se dostaneme skrz webový prohlížeč zadáním IP adresy modulu a slova iChip (<http://10.0.0.139/iChip>), vybereme vytvořený image soubor.

Connect One™
Connecting your Device to the Internet™

- > ISP Parameters
- > Modem Parameters
- > LAN
- > 802.11b/g Parameters
- > 802.11b/g Status
- > IP Address
- > Server Profiles
- > Email Format
- > Extended Addressee List
- > URL to Retrieve
- > Operational Parameters
- > Time Server Parameters
- > Remote Firmware Update
- > Serial Net Parameters
- > IP Registration
- > User Fields
- > IO NET
- > IO NET LOG
- > SSL3
- > Port Forwarding
- > Dynamic DNS
- > Files Upload

>>> Files Upload

iChip Web Server Status Message:!/OK

Website to upload

website.img

rpf file to upload

Soubor nevybrán

Modem Table upload

Soubor nevybrán

Firmware imz file to upload

Warning: After starting the upload do not stop the process until seeing the 'upload complete' screen

Soubor nevybrán

Obrázek 14 Internetové rozhraní konfiguračního serveru

5. Klikneme na tlačítko Submit (obrázek 14). Nyní jsou již požadované webové stránky dostupné na IP adrese modulu (10.0.0.139).

9.3 Bezpečnost

Modul lze opatřit heslem, které je požadováno při každé změně parametru pomocí webového rozhraní. Toto heslo se nastavuje příkazem AT+iWPWD=1234, nyní je heslo vyžadované při změně parametru skrze webový prohlížeč nastaveno na 1234. Toto zabezpečení je dostačující v případě, když by se jednalo pouze o stránky, kde bude pouze jeden uživatelsky měnitelný parametr, z takovéto webové stránky by případný hacker nebo zloděj nic podstatného nevyčetl. Avšak ze stránek, kde jsou například uvedeny názvy jednotlivých místností v domě, by již zloděj mohl mít užitek, kdyby je viděl, a také by pro uživatele jistě nebylo příjemné, že by se kdokoli mohl podívat, co právě u sebe doma používá a kolik má například místností. Bohužel, ethernetový modul nenabízí žádnou možnost, jak opatřit webové stránky přístupovým heslem. Toto bylo vyřešeno níže uvedeným příkazem v jazyce JavaScript [23]:

```
if
(document.cookie.replace(/(?::(?:^|.*;\s*)RizeniJasuLED\s*\=\s*([
^;]*)\.*$)|^.*$/, "$1") !== "1234") {
  location.href="http://~IPA~/?heslo=1";
  document.cookie = "RizeniJasuLED=1234; expires=Fri, 31 Dec
9999 23:59:59 GMT; path=/";
}
```

Zde se kontroluje při načtení stránky, zda existuje soubor cookie „RizeniJasuLED“ a zda se jeho hodnota rovná „1234“. Hodnota „1234“ může být nahrazena jakýmkoliv řetězcem znaků, který slouží jako heslo, aby případnému hackerovi nestačilo vytvořit pouze soubor cookie s názvem „RizeniJasuLED“, ale musel by zároveň znát toto heslo, které by nastavil jako hodnotu souboru cookie. V případě, že se hodnota souboru cookie „1234“ nerovná, provede se příkaz, ve kterém se stránka přesměruje na stránku <http://~IPA~/?heslo=1>. Toto je příkaz pro ethernetový modul, aby se hodnota parametru ~heslo~ nastavila na hodnotu „1“. Když se stránky pokouší změnit hodnotu tohoto parametru, modul si vyžádá od uživatele přístupové heslo, které bylo nastaveno pomocí příkazu AT+iWPWD=1234 na 1234 (obrázek 15).

| Passwords | |
|--|----------------------|
| Password required to change device parameter values. | |
| WEB password (AT+iWpwd): | <input type="text"/> |

Obrázek 15 Požadavek modulu o heslo umožňující změnu parametru

Dalším důležitým bodem zabezpečení je, aby se uživatel nedostal do konfiguračního serveru, který se nachází na adrese `http://10.0.0.139/iChip`. Zde by mohl měnit nastavení samotného modulu a tím by mohl porušit jeho správnou funkci. Proto bylo pomocí příkazu `AT+iRPG=1234` nastaveno heslo, které je vyžadováno při změně parametrů nacházejících se právě na konfiguračním serveru. Poslední možností, jak lze ještě zvýšit zabezpečení, je zadáním příkazu `AT+iSDM=4`. Tak bude heslo zadané příkazem `AT+iRPG` vyžadováno ještě před samotným zobrazením konfiguračního serveru (obrázek 16).

| Passwords | |
|---|----------------------|
| Password required to change parameter values. | |
| Password (AT+iRPG) : | <input type="text"/> |

Obrázek 16 Požadavek modulu o heslo pro přístup ke konfiguračnímu serveru

9.4 Webové rozhraní

Pro dálkové ovládání dodávaného výkonu do LED, spínání a rozeptání relé a také pro zapnutí a vypnutí A/D převodníku byly navrženy jednoduché stránky, které obsahují pouze základní ovládací prvky, jenž lze snadno aplikovat ve větších projektech. Stránky tedy neobsahují žádnou grafiku, ani jiné doplňky, jsou v nich použity pouze jednotlivé funkce, které byly navrženy tak, aby byly co nejefektivnější. S výhodou je v nich využita funkce `Nano SocketLan` ethernetového modulu, který nahrazuje každý parametr ve stránce uzavřený mezi `~Parametr~` jeho aktuální hodnotou.

9.5 Zobrazení a nastavení výkonu

Pro zobrazení výkonu je použito standardního textu v HTML kódu, do kterého byl na místo, kde je požadováno, aby byl výkon zobrazen, vložen parametr `~vykon~`. Toto stačí pro to, aby se po načtení stránky na požadovaném místě zobrazila hodnota parametru výkon. Výkon se na webových stránkách zobrazuje v %. Tato hodnota je přepočítávána v mikrokontroléru PIC24FJ256GB206 ze střidy PWM.

Aktuální hodnota výkonu v % se také na webové stránce zobrazuje ve formuláři pro zadávání textu. V případě, že chce uživatel tuto hodnotu změnit, stačí pouze vepsat do formuláře požadovanou hodnotu a stisknout klávesu enter. Požadovaný výkon v % se zapíše do parametru `~vykon~`, který je následně vyčten mikrokontrolérem, přepočítán a zadán jako střída PWM (obrázek 17).

Nastavený výkon LED je nyní 92 %.

Výkon

Obrázek 17 Zobrazení dodávaného výkonu do HB LED a možnost jeho nastavení

9.6 Sepnutí a rozeptnutí relé

Parametry pro relé jsou Relé1 a Relé2. Tyto parametry nabývají pouze hodnot 0 a 1. Hodnota 0 signalizuje, že je relé vypnuto, hodnota 1 naopak signalizuje, že je relé sepnuto. Protože je uživatelsky nepřívětivé zadávat do formuláře 0 nebo 1 pro změnu stavu relé, byla navržena jednoduchá funkce v programovacím jazyce HTML. Nejprve je ve stránce umístěn tento formulář s dvěma zaškrťávacími políčky opatřenými popisky „zapnuto“ a „vypnuto“ (obrázek 18). Toto umožní uživateli snadno rozeznat stav relé a velmi jednoduše tento stav změnit [24].

Relé1:

```
<label for="rele0">Vypnuto</label>
<input type="radio" name="rele1" id="rele0" value="0"
onchange="document.formular.submit()">
<label for="rele1">Zapnuto</label>
<input type="radio" name="rele1" id="rele1" value="1"
onchange="document.formular.submit()"><br>
```

Relé1: Vypnuto Zapnuto

Relé2: Vypnuto Zapnuto

Obrázek 18 Zobrazení stavu relé s možností jejich přepnutí

Avšak formulář neumožňuje, aby se po prvním načtení stránky správně zaškrtno políčko daného stavu relé. Standardně by po načtení stránky byla obě políčka nezaškrtnuta a uživatel by tak nevěděl, zda je relé zapnuto nebo vypnuto. K vyřešení tohoto problému slouží program v jazyce JavaScript [25]. Nejprve je zde vytvořena proměnná `rele1`, do které se zapíše hodnota aktuálního stavu parametru `~rele1~`.

```
var rele1 = "~rele1~";
```

Po té již lze s touto proměnou pracovat v programu, když pomocí podmínky IF je provedeno vyhodnocení, zda se proměnná `~rele1~` rovná jedné. Pokud se proměnná rovná jedné, provede se příkaz, který ve stránce vyhledá zaškrtačací políčko Zapnuto dle jeho ID a udá jeho hodnotu jako `true`, políčko se zaškrtno. V případě, že se `~rele1~` rovná čemukoli jinému než jedné, zaškrtno se políčko Vypnuto.

```
if (rele1 == "1") {
    document.getElementById('rele1').checked = true;
} else {
    document.getElementById('rele0').checked = true;
}
```

Tento program je použit pro spínání a vyhodnocování obou relé.

9.7 A/D převodník

Pro zapnutí a vypnutí A/D převodníku v mikrokontroléru je využit stejný typ vstupního formuláře, jako pro relé, jen je zde využit jiný parametr. K zobrazení výstupu A/D převodu je použita tabulka (obrázek 19). Samotný výsledek A/D převodu se přenáší jako hodnota parametru `~NAP~`.

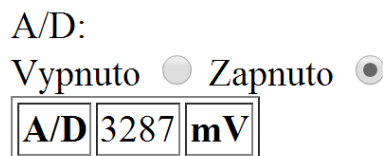
```
A/D: <br>
<label for="A/D">Vypnuto</label>

<input type="radio" name="AD" id="AD0" value="0"
onchange="document.formular.submit()" >

<label for="A/D">Zapnuto</label>

<input type="radio" name="AD" id="AD1" value="1"
onchange="document.formular.submit()" ><br>

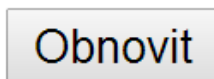
<table border=1>
<tr><th>A/D</th><td id="tab-NAP">~NAP~</td><th> mV</th>
</table>
```



Obrázek 19 Zobrazení výsledku A/D převodu s možností jej zapnout/vypnout

Nejdůležitějším nastavením, které je ovlivněno tím, zda je A/D převodník zapnutý nebo vypnutý, je doba pro automatické obnovení stránky. Standardně bylo v kódu nastaveno, aby se stránka aktualizovala každých 60 s. To znamená, že pokud je webová stránka otevřená v prohlížeči a na laboratorním vzorku je například ručně sepnuto relé, tato změna se na webových stránkách projeví nejpozději za 60 s. Tento čas byl určen s přihlédnutím k tomu, že obnovení stránek zatěžuje počítač, ale zároveň je nutné, aby měl uživatel aktuální informace o tom, v jakém stavu se laboratorní vzorek nachází. V případě, že by uživatel potřeboval znát zcela aktuální stav laboratorního vzorku, stačí pouze stisknout tlačítko na webových stránkách s popisem „Obnovit“ (obrázek 20), stránka se aktualizuje a vyčtou se veškeré parametry z ethernetového modulu.

```
<input type=button onClick="location.href='http://~IPA~'"
value='Obnovit'>
```



Obrázek 20 Tlačítko pro zobrazení aktuálního stavu laboratorního vzorku

Avšak při použití A/D převodníku 60 s starý výsledek A/D převodu není aktuální a pravidelné mačkání tlačítka „Obnovit“ je uživatelsky nepřívětivé. Proto se při zapnutí A/D převodníku čas obnovení stránky změní na 0,5 s. To znamená, že se stránky obnovují každých 0,5 s. Oba časy pro automatickou obnovu stránek lze velice snadno změnit změnou jedné proměnné v programu stránek.

```
if (AD == "1") {
    document.getElementById('AD1').checked = true;
    setTimeout("location.href='http://~IPA~'", 500);
} else {
    document.getElementById('AD0').checked = true;
    setTimeout("location.href='http://~IPA~'", 60000);
}
```

10. Software pro řízení činnosti zařízení

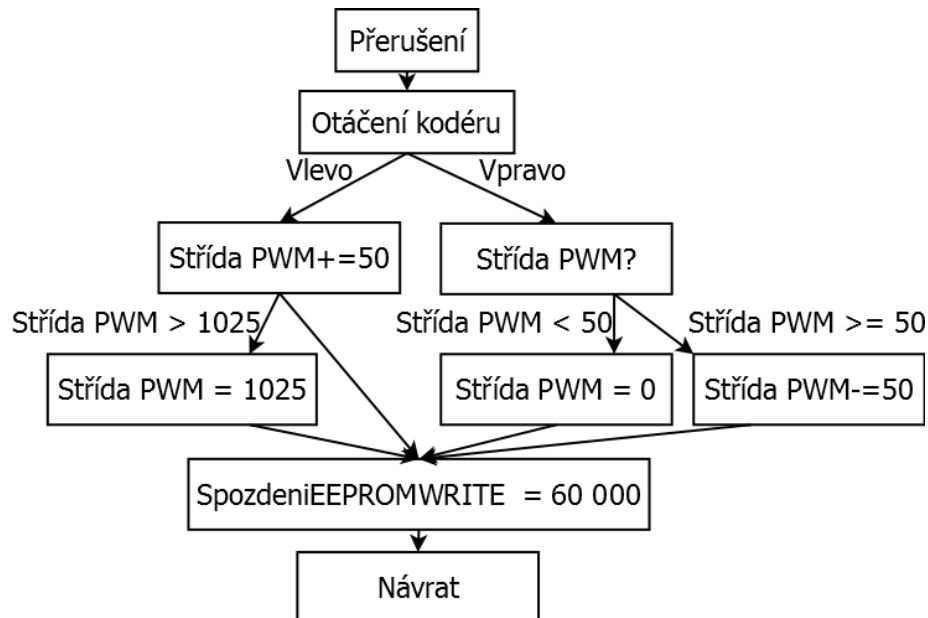
Obsluhu celého zařízení zajišťuje mikrokontrolér od firmy Microchip PIC24FJ256GB206. Tento mikrokontrolér byl naprogramován pomocí programovacího jazyka C v prostředí, které poskytuje výrobce mikrokontroléru a jmenuje se MPLAB X. V následující kapitole bude popsán celý program po jednotlivých částech.

10.1 Nastavení periférií a samotného mikrokontroléru

Nejprve jsou v programu nastaveny konfigurační bity. Tyto bity určují, zda je použit vnější nebo vnitřní oscilátor, zda se používá předdělička pro tento oscilátor, zda je vypnutý Watchdog a dále se jimi povolují nebo naopak zakazují další funkce, které však pro tuto práci nejsou významné. Nyní se již v programu přesuneme na začátek cyklu, který běží po připojení napájení k mikrokontroléru. Zde se nachází nastavení veškerých portů. Tato nastavení určují, zda jsou porty, respektive jejich jednotlivé piny, vstupní nebo výstupní, analogové nebo digitální. Dále se v této části programu, která proběhne pouze jednou, nachází nastavení periférií, které jsou používány v laboratorním vzorku a také povolení a nastavení přerušení. Hardwarové periferie, které jsou v laboratorním vzorku používány: generátor PWM signálu, s ním související Timer2 a dále A/D převodník.

10.2 Obsluha přerušení

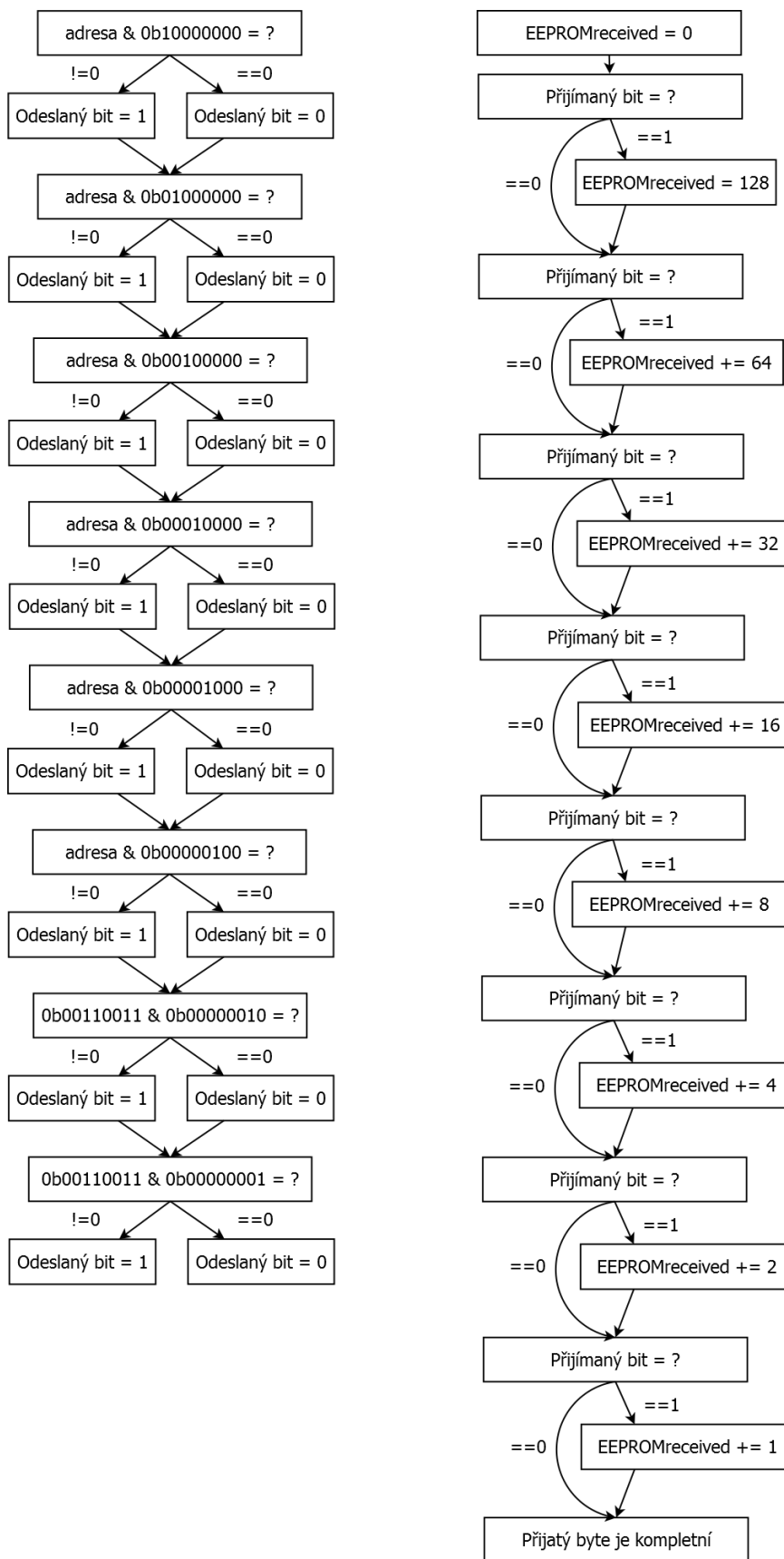
Přerušení je využito pouze u jednoho kontaktu rotačního kodéru. Při jeho změně se zjistí, v jakém stavu se nachází druhý kontakt kodéru a podle toho se určí směr jeho otáčení. Poté, co je vyhodnocen směr otáčení kodéru, se buď zvýší anebo sníží střída PWM. PWM má při použité frekvenci rozlišení 1026 hodnot. Kodér má rozlišení 15 pulzů na otočku. Pro jeden pulz kodéru bylo nastaveno snížení nebo zvýšení střídy o 50. To znamená, že při tomto nastavení stačí necelé dvě otočky pro změnu jasu z 0 % na 100 %. Toto nastavení vychází z testování, kdy změna o méně než 50 byla již zbytečně malá a v případě nastavení z 0 % na 100 % uživatelsky nepřívětivá. Při změně o 50 lze jas nastavit do 22 úrovní, což se při testování laboratorního vzorku zdálo zcela dostačující. V případě, že by uživatel potřeboval nastavit jas přesněji, může to učinit skrz webové rozhraní laboratorního vzorku. Vývojový diagram programu přerušení je zobrazen na obrázku 21.



Obrázek 21 Obsluha přerušení

10.3 Komunikace SPI s EEPROM

Pro řešení komunikace skrz SPI jsou dvě možnosti: první je komunikace přes integrovanou periférii mikrokontroléru, druhá je pomocí vlastního kódu. V této práci byla využita druhá možnost z důvodu maximalizace efektivity komunikace, kdy nebylo uvažováno využití komunikace s přerušením. Samotná komunikace s EEPROM má velmi jednoduchou strukturu. Nejdříve je odeslán do EEPROM byte, který ji informuje, zda se z ní bude číst nebo do ní zapisovat. Následně se posílají 3 byty, které určí adresu, ze které se bude číst nebo se do ní zapisovat. Poslední byte je již datový. Komunikace se ukončí pouze přepnutím pinu CS do logické jedničky. Rozklad bytu na jednotlivé bity byl prováděn s ohledem na efektivity programu v assembleru pomocí logické funkce AND a příslušného bytu. Například pokud je odeslán nejvyšší bit z datového bytu, je datový byte porovnán pomocí logické funkce AND s `0b10000000` a v případě, že je výsledek větší než 0, je odesílaná hodnota rovna 1, v opačném případě by byla odesílaná hodnota 0 (obrázek 22). Při přijímání bytu je postup následující. V případě, že se nejvyšší bit přijímaného bytu rovná 1, potom je do proměnné `EEPROMreceived` uložena hodnota 128. Následuje druhý nejvyšší bit, v případě, že se rovná 1, je k proměnné `EEPROMreceived` přičteno 64, pokud je tento bit roven nule, neděje se nic a přejde se k dalšímu bitu, kde se přičítá opět polovina předchozí hodnoty, tedy 32. Takto se postupně přijme celý byte (obrázek 22). Možností, jak toto rozkládání a skládání bytu na jednotlivé bity řešit, je mnoho. Některé možnosti jsou efektivnější než jiné, ale to v této práci nemá velký vliv, protože mikrokontrolér stejně probíhá mezi jednotlivými přijímanými nebo vysílanými bity zpoždovací smyčkou, kde nevykonává žádný užitečný program a jen čeká na EEPROM. Čas této zpoždovací smyčky byl nastaven nejnižší možný s ohledem k době nutné k rozkladu bytu na bity, to znamená, že i když přepočítání není plně optimalizováno, celková výsledná doba přenosu je stejná.



Obrázek 22 V levém sloupci je zobrazen diagram rozkladu odesílaného bytu (adresy) a v pravém je zobrazeno postupně skládání přijatého bytu (EEPROMreceived)

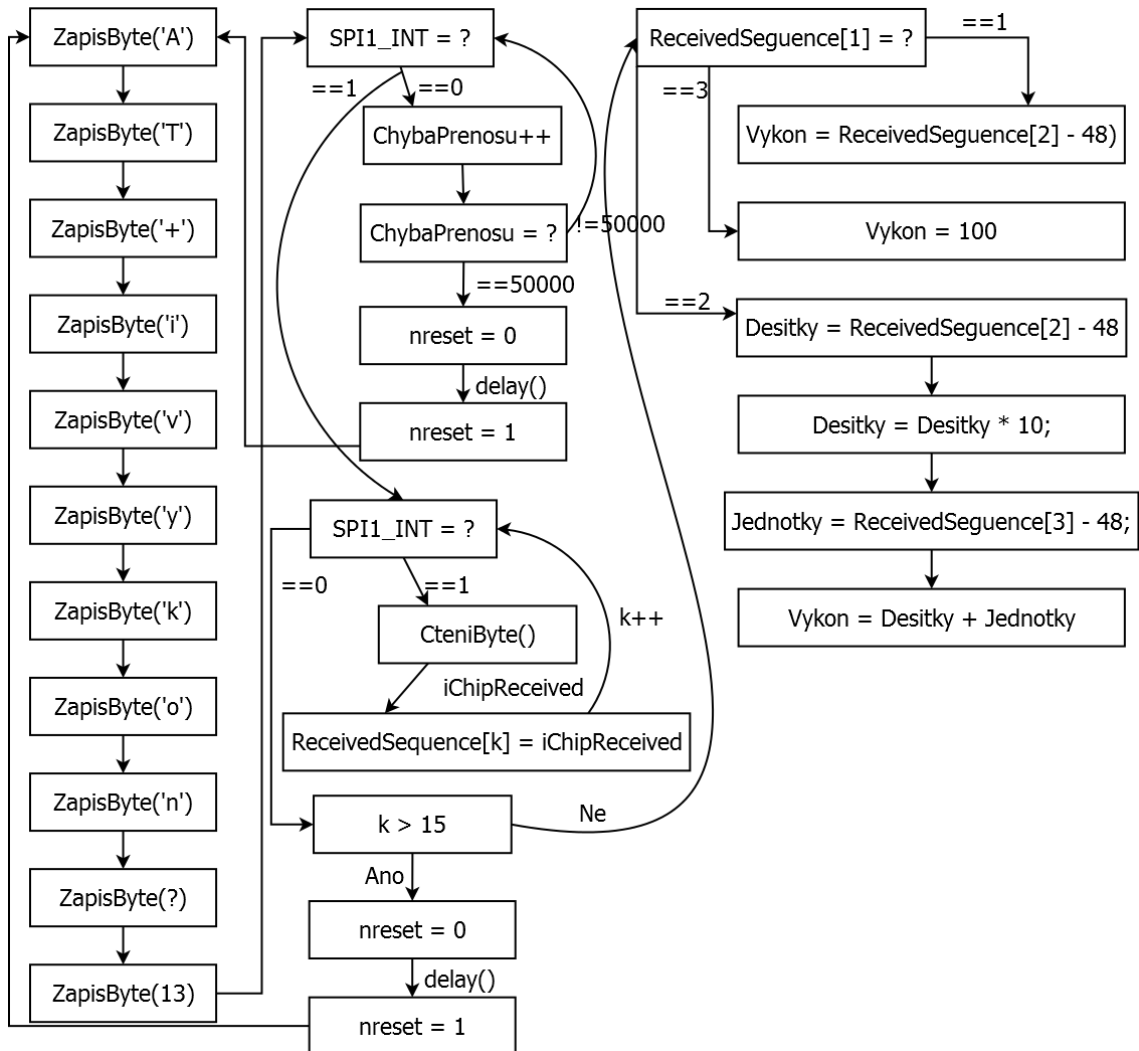
10.4 Komunikace SPI s ethernetovým modulem Nano SocketLan

Tato komunikace byla stejně jako komunikace s EEPROM naprogramována softwarově a nebyla využita hardwarová periférie mikrokontroléru. Základ komunikace, tedy odesílání jednotlivých bytů, je shodný s komunikací s EEPROM. Pouze zpoždovací smyčky byly upraveny tak, aby byla komunikace nejrychlejší možná. Co však bylo u komunikace s ethernetovým modulem důležité nastavit, byl komunikační protokol, který je sice popsán v katalogovém listě modulu, ale je zde i několik nepřesností, které velmi zkomplikovaly první pokusy o komunikaci s modulem. Výsledný program je řešený tak, že každý AT+i příkaz má naprogramovanou vlastní obsluhu, ať už pro vyčítání nebo zapisování jeho hodnoty. Dále v textu jsou uvedeny dva příklady, jak se zapisuje a jak se vyčítá daná hodnota parametru. Pro ukázkou byl zvolen parametr „vykon“.

Vyčtení parametru

Pro vyčtení hodnoty parametru „vykon“ je nejprve po SPI kanálu vyslán řetězec ASCII znaků „AT+ivykon?“ (bez uvozovek) a ukončujícího znaku komunikace, jehož hodnota v decimální soustavě odpovídá 13. Následně program čeká, až se na výstupním pinu ethernetového modulu SPI1_INT objeví 1. Toto čekání je časově omezeno a pokud by modul neodpověděl v daném čase, je pomocí uvedení vstupního pinu nreset do logické 0 ethernetový modul restartován a celá operace odesílání řetězce znaků se provádí znovu. V okamžiku, kdy se na pinu SPI1_INT objeví logická 1, znamená to, že je ethernetový modul připraven vrátit po SPI hodnotu daného parametru. V tu chvíli začne mikrokontrolér vyčítat jednotlivé byty odpovědi a ukládat je do pole ReceivedSequence. Toto provádí tak dlouho, dokud je pin SPI1_INT v logické 1. Následně se vyhodnocuje odpověď. V případě, že je odpověď delší než 15 znaků, znamená to, že při komunikaci došlo k chybě a celá komunikace se opakuje znovu. V případě, že je odpověď kratší než 15 znaků, vyhodnocuje se její druhý znak, tedy ReceivedSequence[1], který číselnou hodnotou reprezentuje délku přijaté zprávy, respektive počet ASCII znaků, které aktuální hodnota parametru obsahuje. V případě, že je hodnota parametru výkon dlouhá pouze jeden ASCII znak, vezme se třetí přijatý znak, tedy ReceivedSequence[2], který obsahuje hodnotu parametru vyjádřenou pomocí ASCII znaku. Pro přepočítání na číselnou hodnotu, se kterou se dále pracuje v programu mikrokontroléru, stačí od hodnoty přijatého ASCII znaku odečíst 48. V případě, že je délka přijaté zprávy 2, tedy ReceivedSequence[1]=2, znamená to, že hodnota parametru výkon je reprezentována dvěma ASCII znaky. Nyní se vezme třetí přijatý znak, odečte se od něj 48 a výsledek této operace je vynásoben 10. Poté se vezme čtvrtý přijatý znak, odečte se od něj 48 a následně jsou výsledky obou předchozích matematických operací sečteny. Tím je získána číselná

hodnota parametru výkon. V posledním případě je hodnota parametru výkon vyjádřena pomocí 3 ASCII znaků. V tomto případě není potřeba nic přepočítávat a rovnou je nastavena číselná hodnota parametru výkon na 100. Stavový diagram programu obsluhujícího vyčtení parametru z ethernetového modulu se nachází na obrázku 23.



Obrázek 23 Vyčtení parametru „vykon“ z ethernetového modulu

Zápis parametru

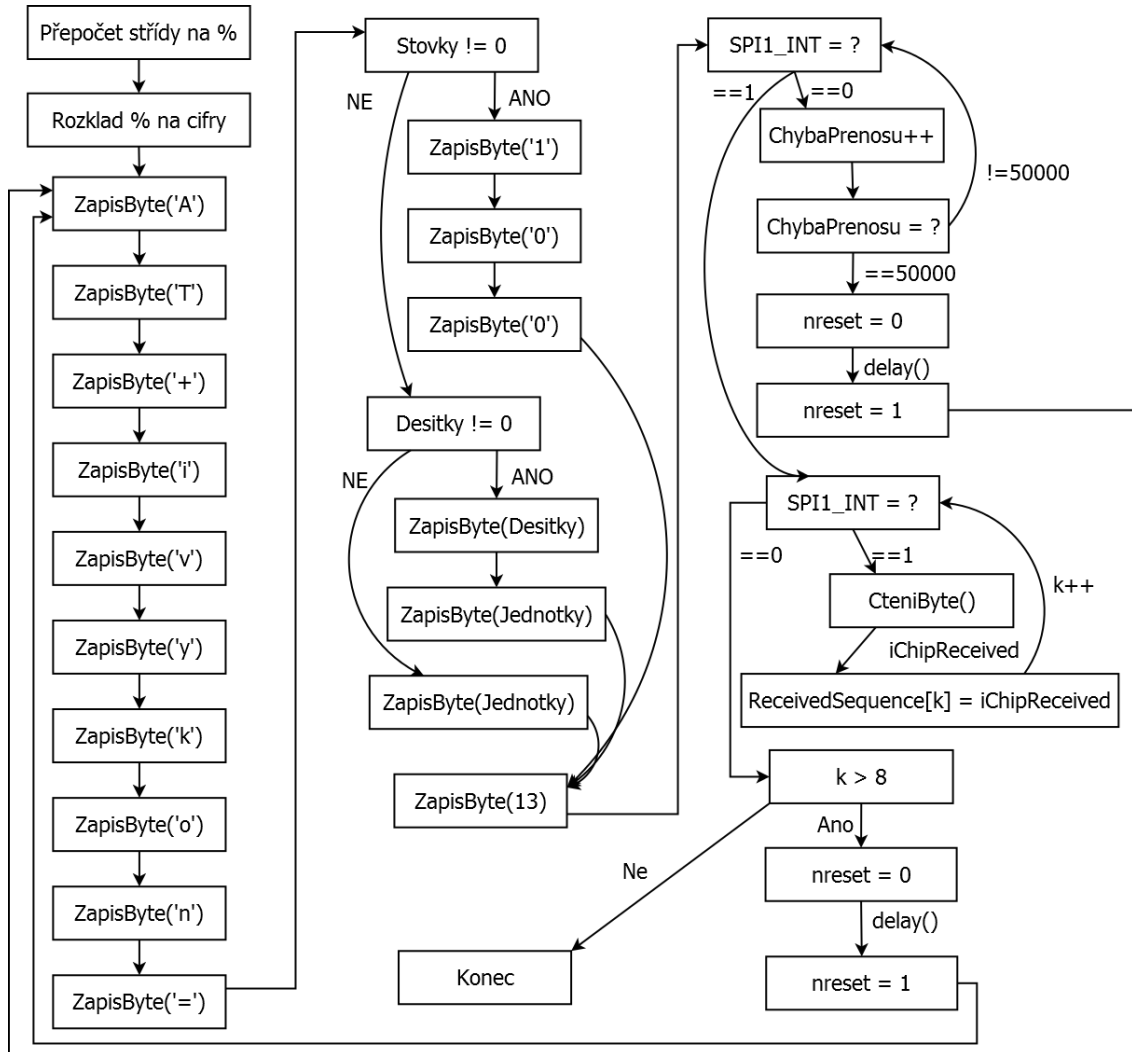
Pro zápis hodnoty parametru výkon je nejprve přepočítána hodnota proměnné `pwmduty` reprezentující střidu PWM generující mikrokontrolérem na procenta. Tato hodnota může nabývat hodnot od 0 do 1025.

$$\text{Výkon [\%]} = \frac{(\text{pwmduty} \times 20)}{205} \quad (34)$$

Tímto výpočtem by byl získán výkon dodaný do LED v procentech, avšak výkonová část laboratorního vzorku funguje s opačnou logikou PWM, to znamená, že při zvyšující se střídě PWM klesá výkon dodávaný do LED. Tudíž ještě výše vypočtenou hodnotu odečteme od 100. Nyní máme v proměnné `Výkon` uložen výkon dodávaný do zátěže v procentech. Nyní je nutné rozložit tuto proměnnou na ASCII znaky. Zde jsou v programu vytvořeny 3 podmínky. V případě, že se proměnná `Výkon` rovná 100, pak jsou bez počítání do příslušných proměnných uloženy ASCII znaky odpovídající 100. Tedy do proměnné `Stovky` 49 a do proměnných `Desítky` a `Jednotky` 48. V dalším případě, když je proměnná `Výkon` menší než 10, stačí pouze k její hodnotě přičíst 48 a tuto hodnotu uložit do proměnné `Jednotky`. V posledním případě proměnná `Výkon` nevyhovovala ani jedné z předchozích podmínek, v tuto chvíli se tedy proměnná `Výkon` vydělí deseti a výsledek tohoto výpočtu se uloží do proměnné `Desítky`. Nyní se od proměnné `Výkon` odečte desetinásobek proměnné `desítky`, čímž jsou získány jednotky, které jsou následně uloženy do proměnné `Jednotky`. Nyní je k proměnným `Jednotky` a `Desítky` přičteno 48, tím získáme příslušné ASCII znaky daných hodnot. V tomto okamžiku je tedy hodnota výkonu dodávaného do zátěže přepočítána a rozložena na příslušné ASCII znaky a může začít samotný zápis hodnoty do ethernetového modulu. Po SPI komunikaci je vyslán řetězec ASCII znaků „AT+ivýkon=“ (bez uvozovek) a následně se pomocí podmínek vyhodnotí, zda se mají odesílat všechny 3 proměnné, tedy `Stovky`, `Desítky` i `Jednotky` nebo jen některé z nich. V případě, že se proměnná `Stovky` nerovná 0, potom to znamená, že je výkon dodávaný do zátěže roven 100 % a tedy se musí odeslat všechny 3 znaky. V případě, že první podmínka neplatí, program zjišťuje, zda se proměnná `Desítky` nerovná 0. Pokud se 0 nerovná, odesílají se proměnné `Desítky` a `Jednotky`. Jestliže ani jedna z přechozích podmínek neplatí, poté se odešle pouze proměnná `Jednotky` a ukončovací znak komunikace `CR`. Následně se čeká na reakci ethernetového modulu, zde probíhá stejná posloupnost příkazů jako při vyčítání parametru. Nejdříve je čekáno na logickou 1 na pinu `SPI1_INT`, následně je přijata odpověď ethernetového modulu, který buď potvrdí, že přijal hodnotu nebo může nahlásit chybu. V případě nahlášení chyby je modul mikrokontrolérem restartován a celá procedura odesílání hodnoty parametru proběhne znovu.

Vývojový diagram programu obsluhujícího zápis parametru „vykon“ je znázorněn na obrázku 24.

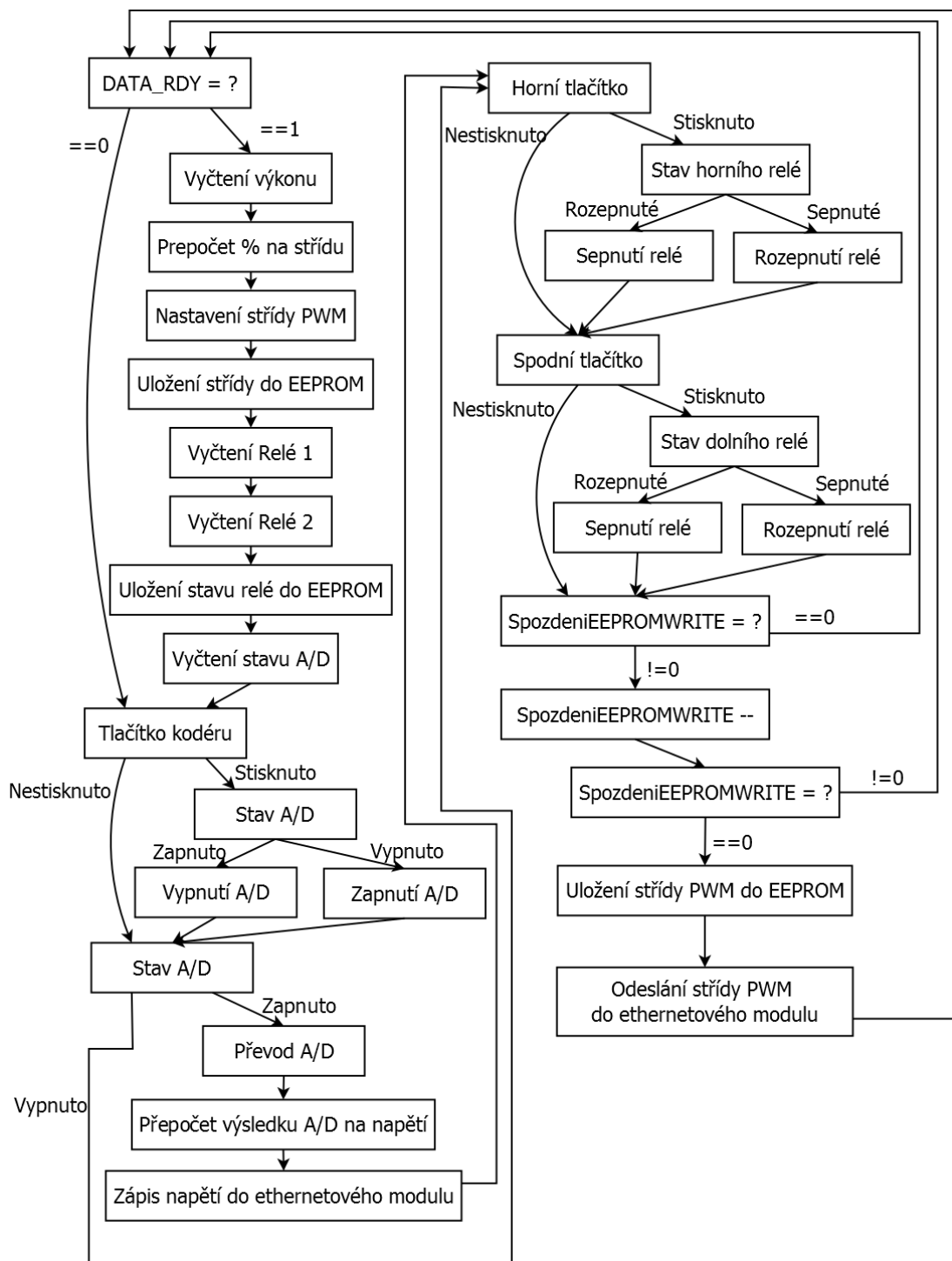
Tímto způsobem probíhá zápis a vyčítání všech parametrů, jen u ostatních parametrů je není nutné přepočítávání na procenta, jedná se již pouze o parametry, které spínají relé nebo zapínají A/D převodník, takže nabývají pouze 2 hodnot a to 0 (vypnuto) a 1 (zapnuto).



Obrázek 24 Zápis parametru „vykon“ do ethernetového modulu

10.5 Hlavní smyčka programu

Tato smyčka se neustále opakuje. Nejprve je ověřena logická hodnota pinu DATA_RDY ethernetového modulu. V případě, že je pin v logické 1, znamená to, že byl některý z parametrů změněn skrz webové rozhraní a je nutné všechny parametry, které lze skrz webové rozhraní změnit, z modulu vyčíst, následně přepočítat, uložit do EEPROM a také příslušně nastavit laboratorní vzorek. Dalším krokem je kontrola stisku jednotlivých tlačítek. Nejprve je kontrolováno tlačítko kodéru. V případě, že je vyhodnoceno jako stisknuté, zjistí se, zda je A/D převodník zapnutý či vypnutý a přepne se do druhého stavu, následně jsou provedena veškerá potřebná nastavení a v případě, že byl A/D převodník stiskem kodéru zapnut, se do proměnné ADA uloží hodnota 1. V opačném případě se do proměnné ADA uloží hodnota 0. Následně je v hlavní smyčce programu vyhodnocováno, zda je proměnná ADA rovna 1. Pokud je rovna 1, provede se A/D převod, výsledek je přepočítán a odeslán do ethernetového modulu k zobrazení. Dále je v hlavní smyčce vyhodnocen postupně stav horního a dolního tlačítka. V případě, že je jedno z nich stisknuté, program vyhodnotí aktuální stav relé a přepne jej do druhé pozice, zároveň odešle informaci o změně ethernetovému modulu a výsledný stav relé uloží jako hodnotu 0 nebo 1 na příslušnou adresu do EEPROM. Posledním krokem v hlavní smyčce je vyhodnocení, zda došlo k přerušení. Toto je vyřešeno tak, že při přerušení dojde k uložení hodnoty 60000 do proměnné SpozdeniEEPROMWRITE a pokud je v hlavní smyčce zjištěno, že hodnota proměnné SpozdeniEEPROMWRITE není rovna 0, dojde k jejímu snížení o 1. Pokud výsledek tohoto snížení není 0, program opět vykoná celou hlavní smyčku, avšak pokud je výsledek 0, dojde k zápisu aktuální hodnoty střídavy PWM na příslušnou adresu do EEPROM a dále jejímu přepočítání a zápisu do ethernetového modulu. Celá tato procedura je realizována z důvodu zpoždění po otočení rotačním kodérem. Kdyby se provedl zápis po každém pootočení kodéru, docházelo by k přerušování komunikace mezi mikrokontrolérem a EEPROM případně ethernetovým modulem a doházelo by k chybám v komunikaci a celý mikrokontrolér by tím byl zpomalován. Takto dojde k odeslání a uložení aktuální hodnoty střídavy přibližně 1 sekundu poté, co bylo kodérem otočeno a je tedy částečně předejito tomuto přerušování komunikace. Vývojový diagram hlavní smyčky programu je na obrázku 25.



Obrázek 25 Hlavní smyčka řídicího programu

11. Dosažené výsledky

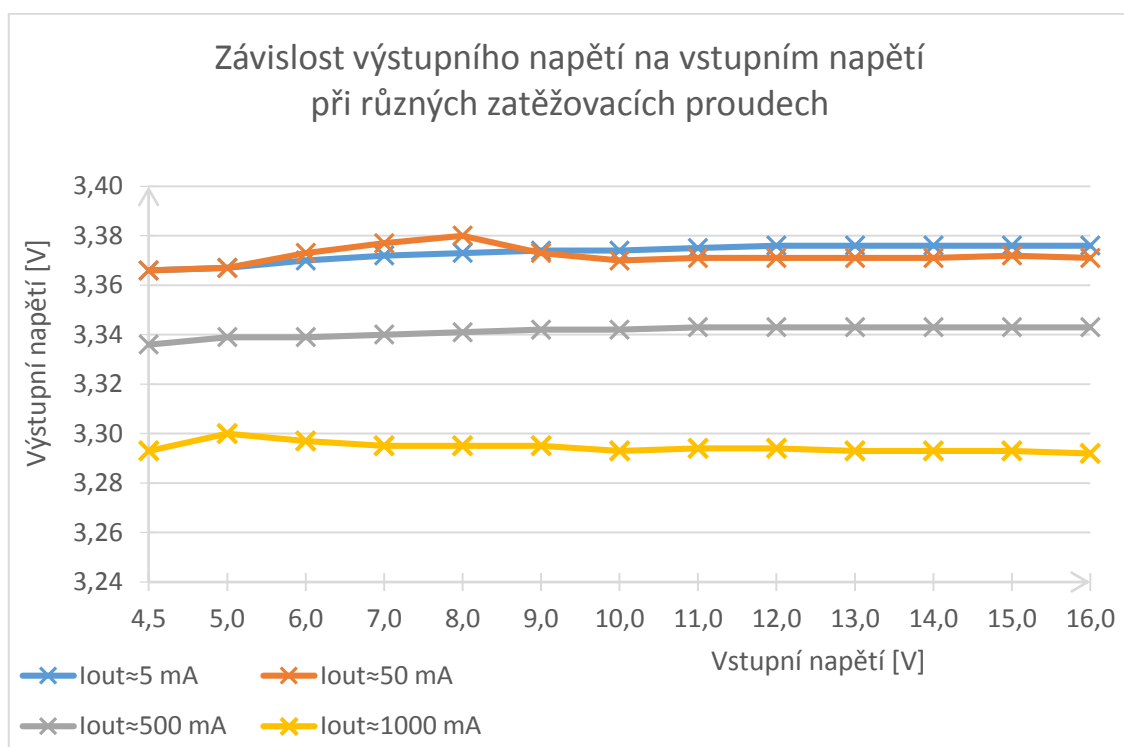
V této kapitole budou uvedeny dosažené výsledky naměřené na zhotoveném laboratorním vzorku. Dále bude tento laboratorní vzorek porovnán s produkty dostupnými na trhu.

11.1 Měření řídicího bloku

Po osazení a oživení řídicího bloku bylo provedeno měření charakteristik spínaného stabilizátoru. Během měření byly pomocí odstranění propojky na desce odpojeny veškeré řídicí obvody, aby nehrozilo jejich poškození v případě nepředpovídaného chování stabilizátoru.

Změřené charakteristiky spínaného stabilizátoru

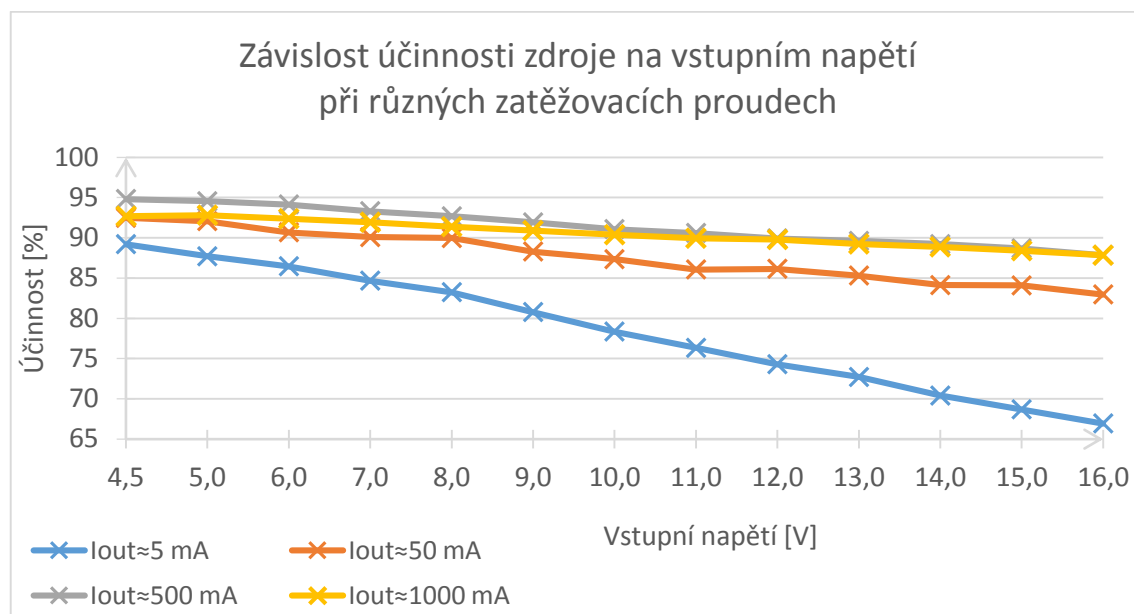
Na obrázku 26 vidíme závislost výstupního napětí na vstupním napětí při různých zatěžovacích proudech. Měření bylo ukončeno při vstupním napětí 16 V i přesto, že by integrovaný obvod měl dokázat pracovat při vstupním napětí až 18 V. Bylo to z důvodu, že kondenzátory na vstupu stabilizátoru jsou dle výrobce určeny pro napětí maximálně 16 V.



Obrázek 26 Závislost výstupního napětí na vstupním napětí při různých zatěžovacích proudech

Dosažené výsledky

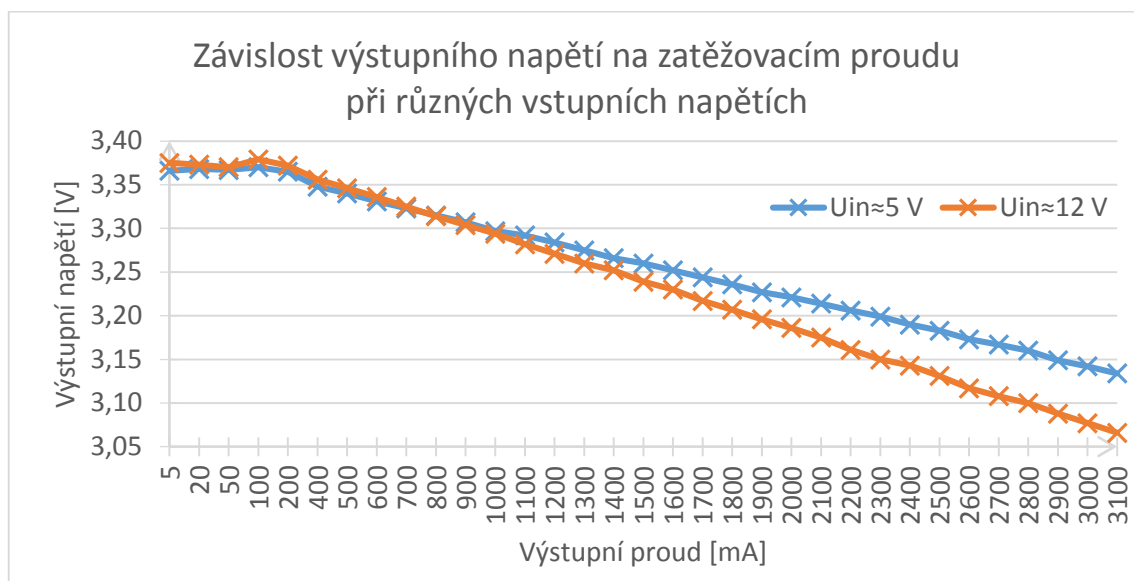
Na obrázku 27 vidíme závislost účinnosti zdroje na vstupním napětí při různých zatěžovacích proudech. Jak je zřejmé, zdroj dosahuje nejvyšší účinnosti při zatížení okolo 500 mA při napájecím napětí 4,5 – 5 V.



Obrázek 27 Závislost účinnosti zdroje na vstupním napětí při různých zatěžovacích proudech

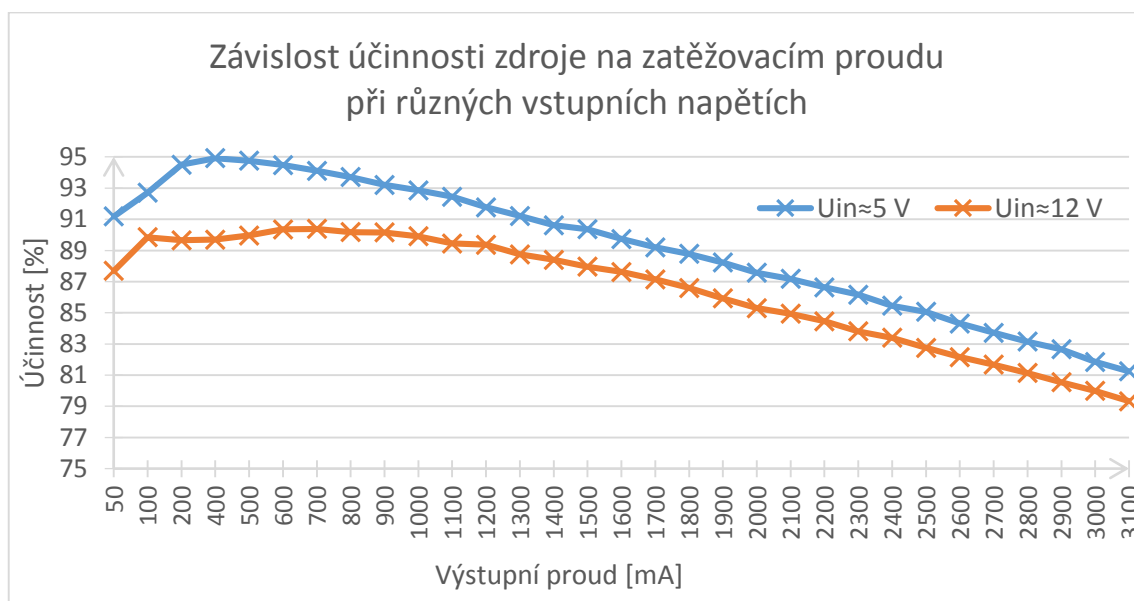
Na obrázku 28 vidíme závislost výstupního napětí na zatěžovacím proudu při dvou různých vstupních napětích. Tato napětí byla pro měření zvolena záměrně, 12 V reprezentuje v této práci použitý koupěný externí spínaný zdroj CELLEVIA POWER AC/DC-CL-DT12/5 s výstupním napětím právě 12 V. Druhé napětí, 5 V, bylo zvoleno z důvodu největšího rozšíření v domácí elektronice, je to napětí nacházející se v USB portu počítače. Co se týče výstupního napětí, ethernetový modul Nano SocketLAN vyžaduje napájecí napětí 3,3 V s maximálně 10 % odchylkou. Mikrokontrolér je ještě benevolentnější a dokáže pracovat při napájecím napětí v rozsahu 2,2 – 3,6 V. To znamená, že i při odběru 3 A by měla řídicí část fungovat správně, protože zdroj má při tomto zatížení výstupní napětí 3,066 V. Měření při tomto zatěžovacím proudu bylo ukončeno z důvodu, že se celý zdroj již znatelně zahříval a nebylo cílem měření měřit do extrémů, při kterých by mohlo dojít k destrukci integrovaného obvodu nebo jiné součástky zdroje.

Dosažené výsledky



Obrázek 28 Závislost výstupního napětí na zatěžovacím proudu při různých vstupních napětích

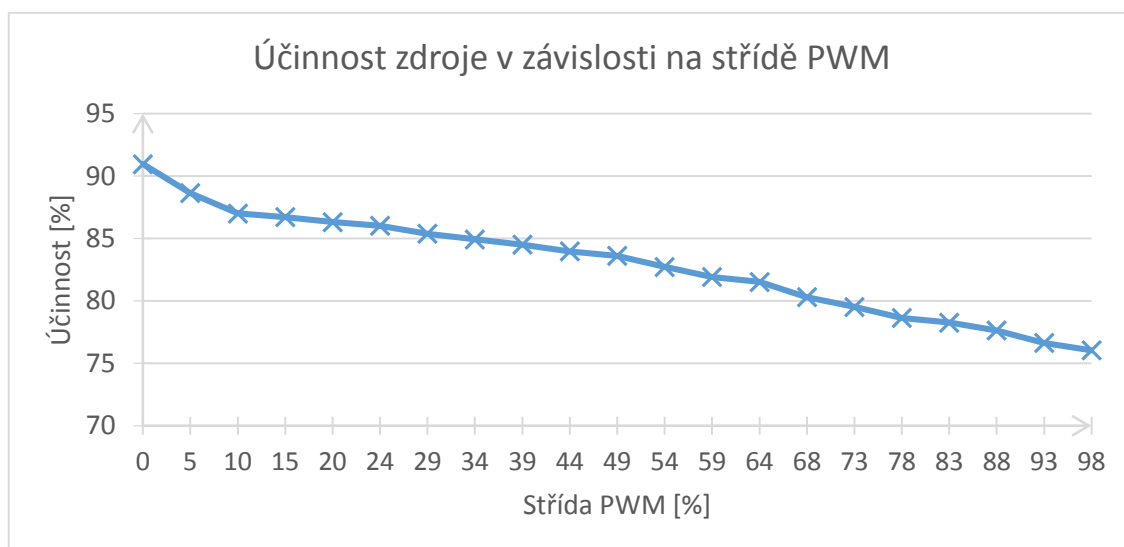
Na obrázku 29 je vynesena závislost účinnosti zdroje v závislosti na zatěžovacím proudu opět pro dvě napájecí napětí.



Obrázek 29 Závislost účinnosti zdroje na zatěžovacím proudu při různých vstupních napětích

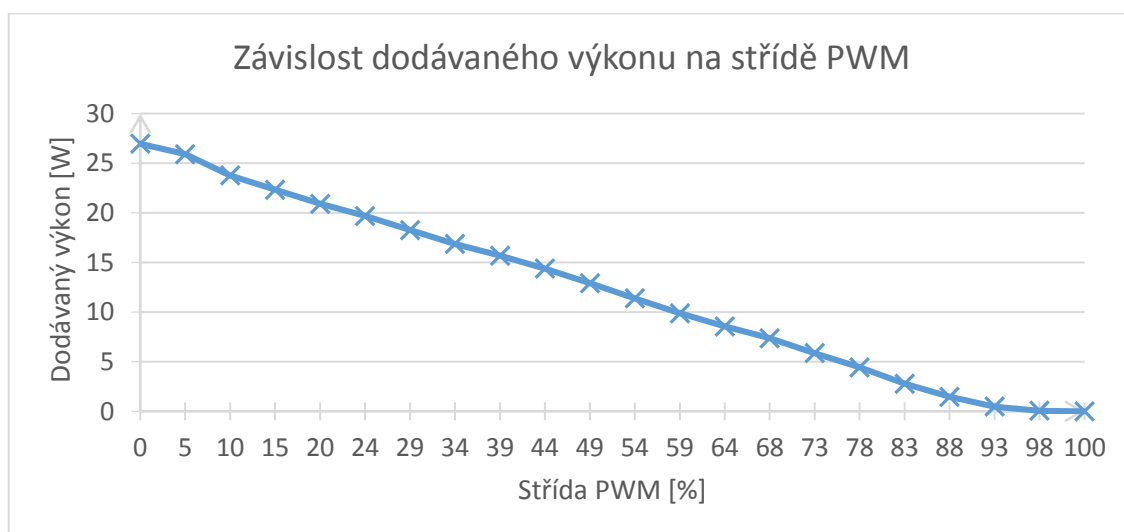
11.2 Měření výkonového bloku

Na obrázku 30 je vynesena závislost účinnosti spínaného LED driveru pro různé střídy řídicího signálu PWM. PWM v laboratorním vzorku pracuje v režimu, kdy vyšší střída PWM znamená nižší dodávaný výkon do LED. Nyní je při pohledu na obrázek 30 zřejmé, že při maximálním možném dodávaném výkonu do LED je účinnost driveru nejvyšší. Účinnost dle grafu s dodávaným výkonem klesá, avšak spotřeba celého driveru taktéž, maximální spotřeba driveru je při střídě 10 3,5 W. Tato hodnota je s přihlédnutím k faktu, že driver řídí výstupní výkon okolo 25 W, velmi dobrá.



Obrázek 30 Účinnost zdroje v závislosti na střídě PWM

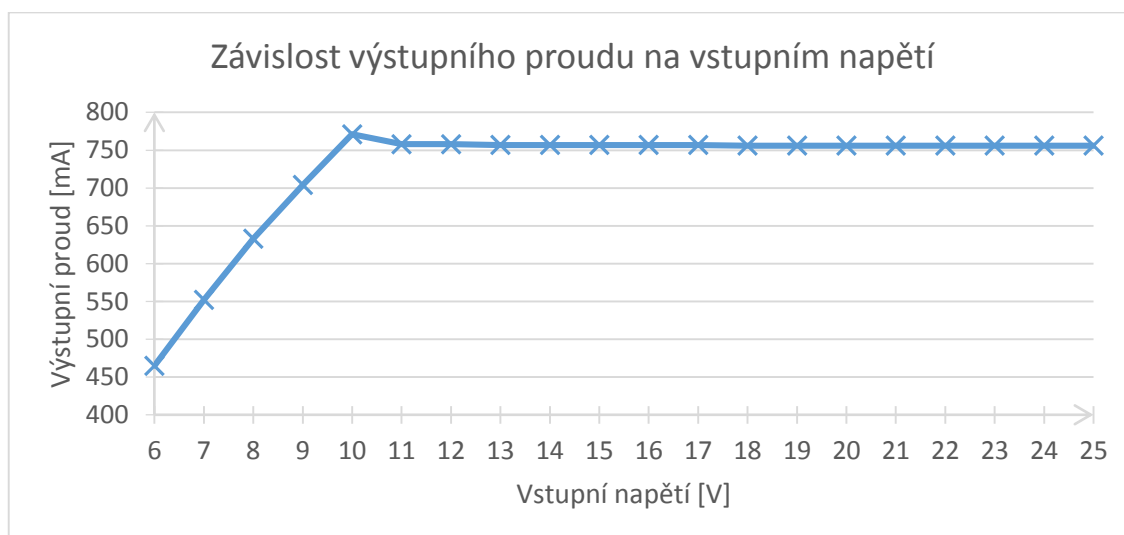
Z obrázku 31 je vidět, že dodávaný výkon do LED je téměř lineárně závislý na změně střídy PWM.



Obrázek 31 Závislost dodávaného výkonu na střídě PWM

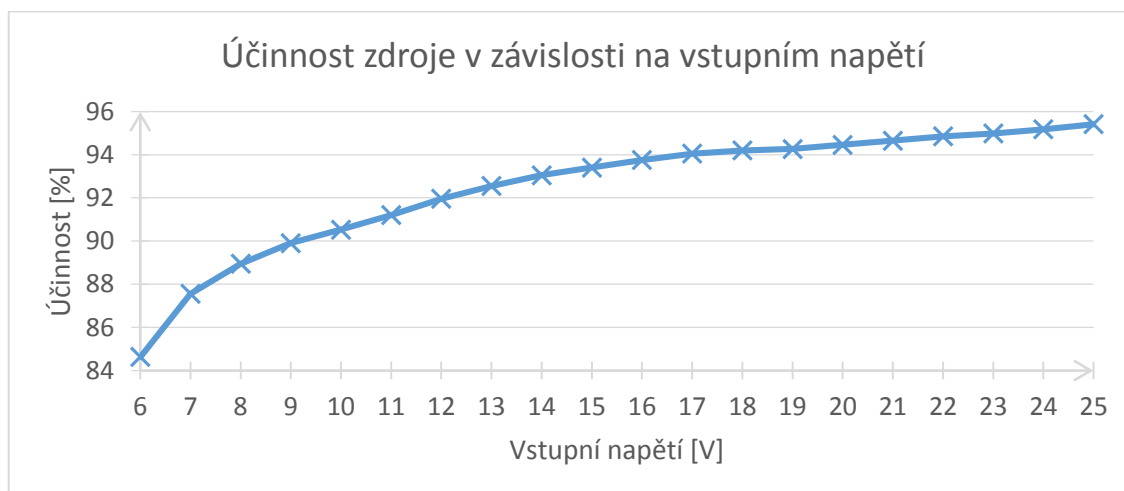
Dosažené výsledky

Na obrázku 32 je vynesena závislost výstupního proudu LED driveru při různém napájecím napětí. Tato závislost ukazuje, že LED driver správně pracuje od 10 V, s nižším vstupním napětím nedokázal výstupní napětí dostatečně zvýšit a tedy ani proud do LED nedokázal dodávat maximální. Od 10 V již pracuje LED driver velice dobře a jak je vidět, pracovní proud LED drží s vysokou přesností. To znamená, že by nemělo hrozit, že by uživatel zaznamenal kolísání jasu LED například při osvětlení místnosti ani při výkyvech napájecího napětí.



Obrázek 32 Závislost výstupního proudu na vstupním napětí

Z grafu závislosti účinnosti zdroje na vstupním napětí (obrázek 33) lze vyčíst, že účinnost LED driveru roste se vstupním napětím, to znamená, že by bylo vhodnější tento LED driver napájet ze zdroje vyššího napětí než je 12 V. Na druhou stranu je účinnost LED driveru při napájení z 12 V okolo 92 %, což je velice dobrá hodnota.



Obrázek 33 Účinnost zdroje v závislosti na vstupním napětí

11.3 Porovnání s produkty dostupnými na trhu

Začneme porovnáním řídicího modulu s běžně prodávanými obvody. Na internetu lze nalézt několik obvodů, které jsou podobné tomu, který byl vytvořen v této práci. Asi nejpodobnější produkt se jmenuje Power Lan [26], který stojí 932 Kč. Tento produkt má o něco složitější obsluhu, nenachází se na něm mechanické ovládací prvky a musí být napájen z vyššího napájecího napětí, minimálně 8 V, což znamená, že jej nemůže uživatel napájet z USB portu. Na druhou stranu je Power Lan levnější a co se týče funkcí velice podobný laboratornímu vzorku vytvořenému v této práci. Laboratorní vzorek vyrobený v této práci zdraňuje kupovaný ethernetový modul, který se v komerčním produktu nevyskytuje, v něm je použit mikrokontrolér, který ethernetový modul obsahuje jako integrovanou periférii. Toto řešení je levnější, ale pro uživatele je zde komplikovanější cokoliv změnit. V případě laboratorního vzorku vyhotoveného v této práci lze použitý ethernetový modul přeprogramovat dálkově, lze do něj vzdáleně nahrát nové webové stránky a mnoho nastavení lze uživatelsky změnit.

Druhý modul vytvořený v této práci je modul výkonový. Tento modul dokáže z 12 V pohánět HB LED pracující při napětí 37,2 V, umožňuje nastavení jasu LED a je velmi účinný. Takovýto modul je zcela ojedinělý a má velice specifické použití a na internetu nebyl nalezen žádný podobný. Pro řízení jasu HB LED dnes na trhu není žádný přípravek, který by uměl zvyšovat 12 V napájecí napětí na vyšší. Pro napájení HB LED se dnes používají převážně síťové zdroje, které však nebylo vhodné stavět v diplomové práci kvůli bezpečnosti. Tento laboratorní vzorek má tak výhodu, že jej může obsluhovat i méně zkušený technik, protože se zde pracuje s bezpečným napájecím napětím 12 V. Toto napájecí napětí navíc dnes používá většina výrobců LED lišt a LED osvětlení pro domácnosti, kdy výrobci dodávají speciální spínané zdroje 12 V napětí. Zde je největší výhoda modulu postaveného v této práci. Běžný uživatel takto výkonnou HB LED nemá možnost doma použít, protože se na trhu nenachází žádný zdroj umožňující její napájení a řízení. Tuto díru na trhu vyplňuje výkonový modul postavený v této práci. Tento modul může být prodáván i samostatně bez řídicí jednotky, kdy bude fungovat na plný výkon anebo mu stačí jakýkoliv zdroj PWM pro řízení jasu. To znamená, že by měl modul potenciální šanci se na trhu uchytit.

12. Ekonomický rozbor

Pro možnost uvedení tohoto laboratorního vzorku na trh je důležité zjištění jeho konkurenceschopnosti, která závisí na konkurenceschopnosti ceny laboratorního vzorku, jeho uživatelském komfortu a množství konkurence na trhu. Při výpočtu ceny laboratorního vzorku bude uvažováno s cenou součástek při odběrech okolo 100 kusů, ceny pro velkoobchod jsou sice řádově nižší, ale tyto ceny bohužel nelze zjistit z žádného ceníku. Dále se bude předpokládat, že celou výrobu zajistí externí firmy, výrobu tištěného spoje obstará firma PragoBoard [27], osazení spoje součástkami a zabalení výsledného produktu zajistí firma Torola [28]. Pro výpočet ceny návrhu bylo počítáno s prací vývojáře po dobu jednoho měsíce a v této ceně je započtena i cena nutných certifikací pro prodej na českém trhu. Cena návrhu by však nešla určit bez předpokládaných prodejů. Bude předpokládáno, že by se laboratorní vzorek prodával, protože na českém trhu se takovýto produkt zatím nenachází, ale na druhou stranu se jedná o poměrně drahý produkt a nemohou být předvídaný prodeje v řádech desetitisíců kusů. Realisticky by byl úspěch, kdyby se prodalo okolo 200 kusů ročně a tyto prodeje by vydržely po dva roky. Následně by bylo nutné udělat revizi produktu, využít opět modernější mikrokontrolér, ještě účinnější stabilizátory a HB LED.

| Cena | Kč/kus |
|--|------------|
| Návrhu | 400 |
| Součástek | 3430 |
| Výroby tištěného spoje | 849 |
| Osazení desky, kompletace, zabalení a expedice | 1200 |
| <hr/> Kompletní cena výroby | <hr/> 5879 |

Tato cena zahrnuje pouze cenu výroby a balení laboratorního vzorku pro firmy. V případě, že by se tento laboratorní vzorek měl prodávat k osvětlení domácností, musely by se k ceně výroby připočíst náklady na propagaci, grafický návrh obalu a také designové pouzdro konečného produktu. Bude předpokládáno, že takto výkonné moduly pro řízení jasu HB LED by byly spíše využívány pro osvětlení výrobních hal, kanceláří nebo pro jiné technicky zaměřené účely, kdy převažuje funkčnost nad designem, takže výše vypočtené náklady již nebude nutné navyšovat o propagaci nebo designový návrh. Jediné, co v ceně zatím není započteno, je zisk. Zisk je požadován alespoň 40 % z výrobní ceny, tedy celková prodejní cena produktu by byla 8499 Kč. Tato cena je za kompletní produkt s profesionálním napájecím zdrojem, řídicím modulem, LED driverem a HB LED. Cena by šla snížit v případě

větších zakázek, například u osvětlení výrobních hal, kdy by šlo použít pouze jeden řídicí modul, výkonnější profesionální napájecí zdroj a potom mít pouze boxy obsahující LED driver a HB LED. Toto by výslednou cenu snížilo, ale jednou z nejdražších součástí na celém zapojení zůstává HB LED, která cenu každého dalšího světla udržuje na poměrně vysoké úrovni a to okolo 4000 Kč prodejní ceny. I přes takto vysokou cenu se však modul vyplatí, úspora elektrické energie, kterou s sebou modul přináší, je opravdu velká, pohybuje se okolo 80 % oproti konvenčním zdrojům osvětlení (halogenové žárovky [29]) a jeho životnost je delší až 10x. To znamená při použití například ve výrobní hale, kde se předpokládá osvětlení 24/7, kdy je odběr klasické halogenové zářivky s odpovídajícím výkonem 140 W.

$$Náklady_{LED} = Pořizovací\ cena + životnost \times spotřeba \times cena\ Wh \quad (35)$$

$$Náklady_{LED} = 8499 + 30000 \times 30 \times 0,0045 = 12549\ Kč \quad (36)$$

$$Náklady_{halogen} = Poř.cena \times \frac{životnost_{LED}}{životnost_{halogen}} + živ._{LED} \times spotřeba \times cena\ Wh \quad (37)$$

$$Náklady_{halogen} = 200 \times \frac{30000}{2000} + 30000 \times 140 \times 0,0045 = 21900\ Kč \quad (38)$$

Po výpočtu vyjde, že se nám i přes výrazně vyšší pořizovací cenu HB LED modulu náklady na něj vrátí a za dobu jeho životnosti dokonce oproti klasickým halogenovým zářivkám ušetříme více než 9000 Kč. Jak vidíme, ušetřená suma je už při použití jednoho světla poměrně velká, ale při použití například pro osvětlení haly je zapotřebí mnoha takovýchto světel a s každým dalším světlem se tato úspora násobí. Z této úvahy můžeme předpokládat, že by se modul na trhu uchytil a dosáhl by alespoň předpovídaných prodejů [30].

13. Závěr

V této práci byl navržen laboratorní vzorek pro dálkové řízení jasu supersvítivé LED. Laboratorní vzorek byl realizován ve dvou samostatných blocích. Jeden blok je řídicí a druhý výkonový. Řídicí blok je osazen mikrokontrolérem od firmy Microchip. Tento mikrokontrolér zajišťuje ovládání celého řídicího bloku a byl naprogramován pomocí programu v jazyce C. Dálkové ovládání je vyřešeno pomocí ethernetového modulu Nano SocketLan, jenž komunikuje s mikrokontrolérem prostřednictvím SPI komunikace. Modul je možné napájet z různých napájecích napětí, protože obsahuje spínaný stabilizátor, který je schopen pracovat v rozsahu vstupních napětí 4,5 V až 18 V. To přináší laboratornímu vzorku výhodu v tom, že může být napájen buď ze zdroje 12 V, který se běžně dodává pro napájení například LED pásků, nebo může být napájen z 5 V, což je napětí nacházející se v USB portu, jenž je v dnešní době velice rozšířený. Díky osazení laboratorního vzorku ethernetovým modulem je možné nastavovat jas HB LED na dálku z různých platform. Použitý ethernetový modul na laboratorním vzorku pracuje jako webserver, tudíž se uživatel může připojit z počítače, mobilního telefonu nebo tabletu a jas si nastavit, aniž bylo nutné psát různé aplikace pro každou platformu zvlášť. Stránky běžící na webserveru obsahují pouze bloky kódu ovládající jednotlivé funkce laboratorního vzorku. Tyto bloky kódu jsou odladěny tak, aby správně fungovaly a bylo je snadné zakomponovat do komplexnějších stránek. Dále jsou stránky chráněny heslem, díky čemuž je zajištěno, že nebudou žádná nastavení měněna neautorizovanou osobou. Laboratorní vzorek se samozřejmě dá taktéž ovládat pomocí tlačítek a rotačního kodéru umístěného přímo na něm. Na laboratorním vzorku se dále nachází relé, která umožňují dálkově zapínat jiné spotřebiče a A/D převodník, jenž může sloužit například jako voltmetr. Celý laboratorní vzorek je energeticky úsporný, protože spínaný stabilizátor byl navržen s důrazem na vysokou účinnost.

Druhým modulem laboratorního vzorku je modul výkonový. Tento modul musel být dle zadání napájen ze zdroje 12 V. Protože byla použita HB LED, která má pracovní napětí 37,2 V, musel být modul pro napájení a řízení HB LED spínaný a muselo se jednat o zvyšující zdroj proudu. Řídicí obvod pro tento zdroj byl zvolen po důkladném prostudování nabídky velkého množství katalogů různých výrobců od firmy Texas Instrument. Byla to jediná firma, která vyrábí řídicí obvod pro takovýto typ zdroje. Tento řídicí obvod umožňuje regulaci výstupního výkonu pomocí PWM signálu nebo napětíového vstupu. Použita byla PWM modulace, protože je energeticky efektivnější a pomocí mikroprocesoru se snadno řídí. Zdroj byl navržen taktéž s důrazem na co nejvyšší účinnost, která se dle měření pohybuje okolo 90 %.

Závěr

Všechny body zadání byly v práci splněny. Bylo dosaženo velice dobrých výsledků v oblasti efektivity, možnostech ovládnání a také bylo v rámci vypracování diplomové práce laboratornímu vzorku přidáno několik funkcí, které zvýšily jeho potenciální prodejní cenu.

Seznam použité literatury

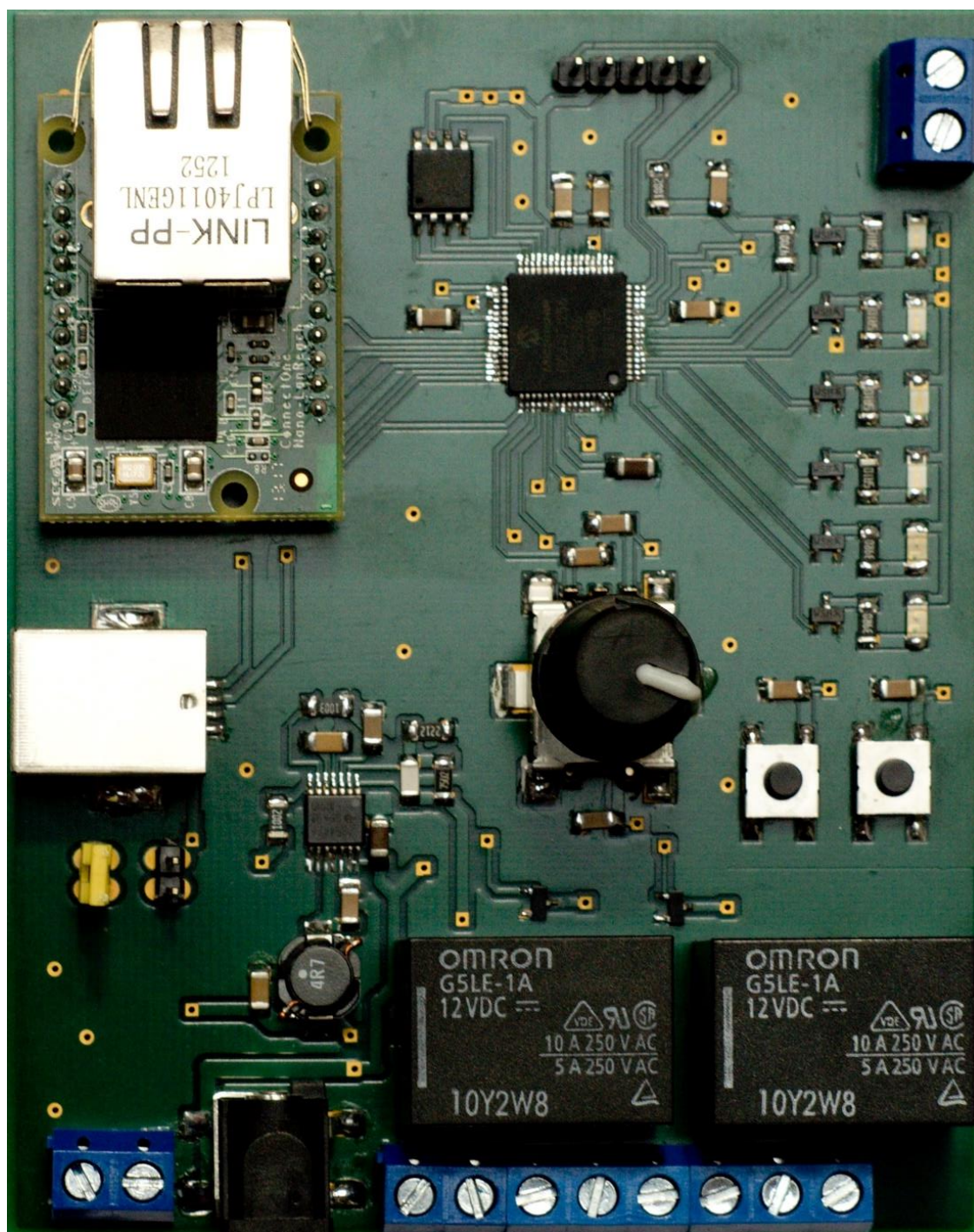
- [1] Polák, M., Řízení jasu supersvítivých LED, Bc práce, ČVUT FEL Praha 2012.
- [2] Katalogový list LED CL-L330-C26N-C. Citizen electronic.
- [3] Katalogový list ACULED® VHL™ White E001741. PerkinElmer
- [4] URL:<http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation> 25. 12. 2010
- [5] URL:<<http://www.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/irda-kompletni-popis.html>> 24. 4. 2014
- [6] URL:<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>> 24. 4. 2014
- [7] Husák, M.: *Návrh napájecích zdrojů pro elektroniku – přednášky*. Praha, ČVUT, 2006
- [8] Krejčířík A.: *Přednášky předmětu A0M34NNZ*
- [9] Katalogový list PIC24FJ256GB206. Microchip.
- [10] Katalogový list Rotační kodér EC11J1524604. Alps.
- [11] URL:<<http://www.analog.com/en/index.html>> 24. 4. 2014
- [12] URL:< <http://www.freescale.com/>> 24. 4. 2014
- [13] URL:< <https://www.infineon.com/>> 24. 4. 2014
- [14] URL:< <http://www.nxp.com/>> 24. 4. 2014
- [15] URL:< <http://am.renesas.com/>> 24. 4. 2014
- [16] URL:< <http://www.cirrus.com/en/>> 24. 4. 2014
- [17] URL:< <http://www.st.com/web/en/home.html>> 24. 4. 2014
- [18] URL:< <http://www.maximintegrated.com/>> 24. 4. 2014
- [19] URL:< <http://www.ti.com/>> 24. 4. 2014
- [20] Katalogový list Nano SocketLan. Connect one.
- [21] Katalogový list LM3429. Texas Instruments.
- [22] AT+i programovací manuál. Connect One.

Seznam použité literatury

- [23] URL:< http://www.w3schools.com/js/js_cookies.asp > 1. 12. 2013
- [24] URL:< <http://www.jakpsatweb.cz/>> 2. 1. 2014
- [25] URL:< http://www.w3schools.com/js/js_cookies.asp > 2. 1. 2014
- [26] URL:< <http://www.i4wifi.cz/Baterie-a-nabijeni/LAN-ovladac-s-rele.html>> 2. 4. 2014
- [27] URL:< http://www.pragoboard.cz/pool_servis > 2. 4. 2014
- [28] URL:< <http://www.torolafren.cz/> > 2. 4. 2014
- [29] URL:< <http://www.zemeturo.cz/clanek/cim-svitit-zarovky-halogeny-zarivky> > 2. 4. 2014
- [30] URL:< <http://www.cenyenergie.cz/kwh/>> 2. 4. 2014

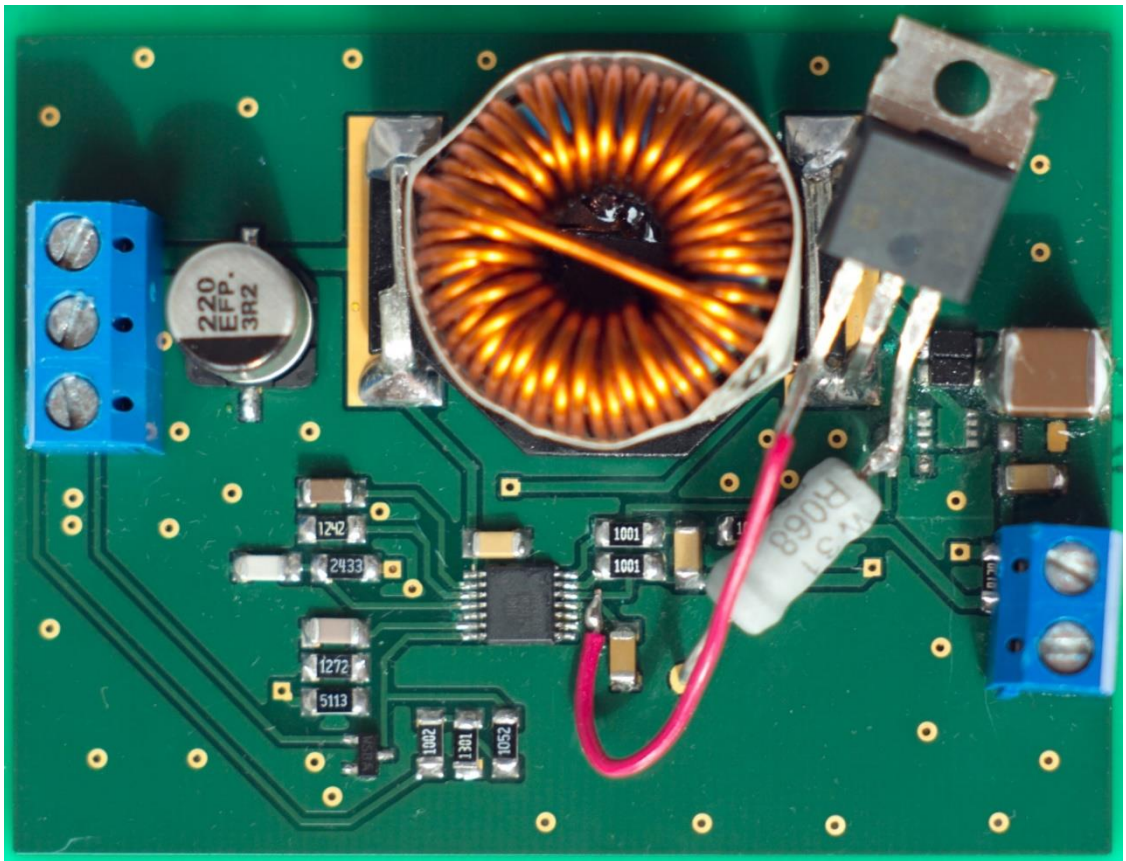
Přílohy

| | |
|---|------|
| Příloha I. – Fotografie řídicího modulu | II |
| Příloha II. – Fotografie výkonového modulu | III |
| Příloha III. – Fotografie HB LED modulu na chladiči | IV |
| Příloha IV. – Schéma řídicího bloku | V |
| Příloha V. – Schéma výkonového bloku | V |
| Příloha VI. – Data pro výrobu tištěného spoje řídicího bloku horní strana | VII |
| Příloha VII. – Data pro výrobu tištěného spoje řídicího bloku spodní strana | VII |
| Příloha VIII. – Data pro výrobu tištěného spoje výkonového bloku horní strana | VIII |
| Příloha IX. – Data pro výrobu tištěného spoje výkonového bloku spodní strana | VIII |
| Příloha X. – Obsah příloženého CD | IX |

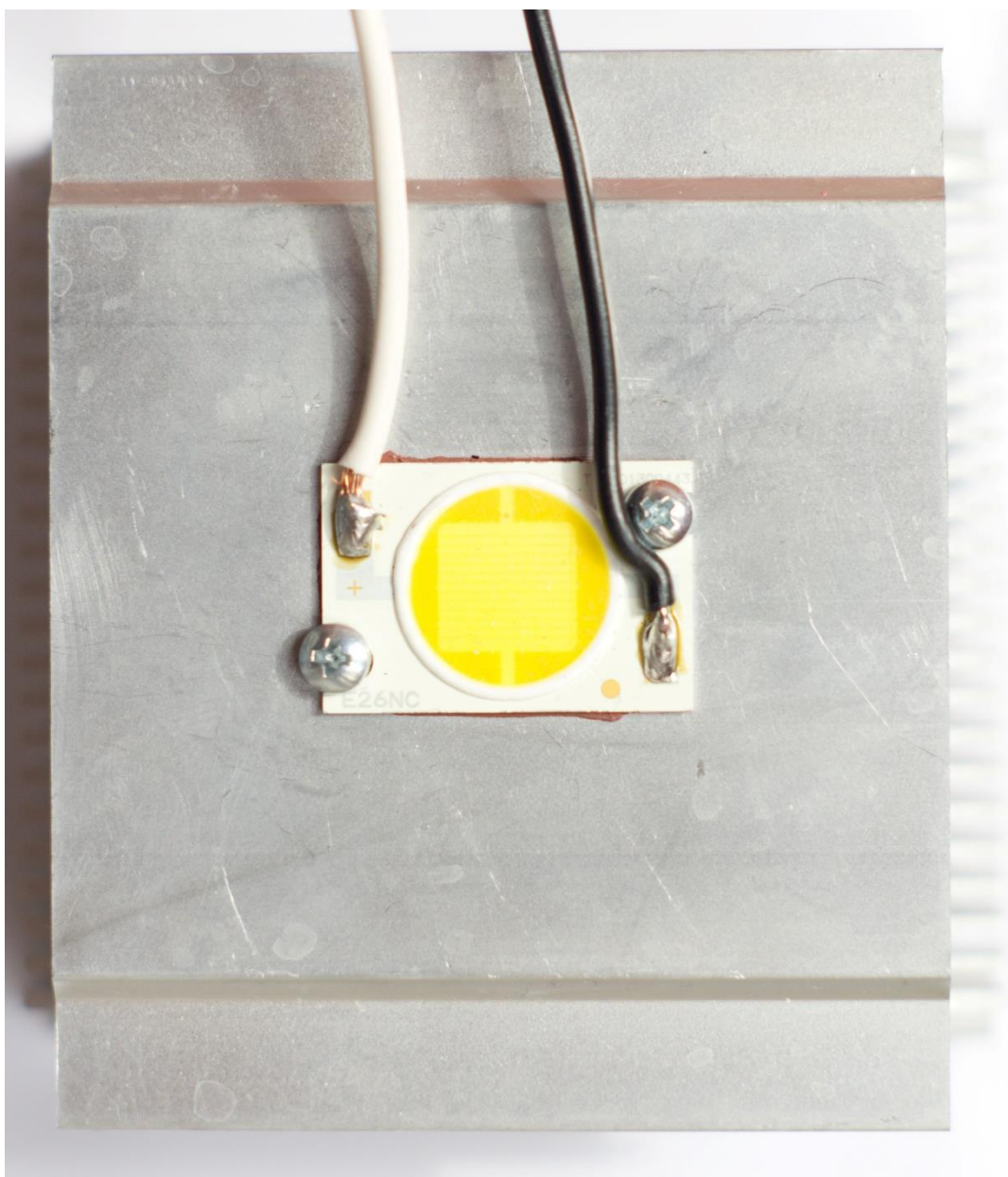


Příloha I. – Fotografie řídicího modulu

Příloha II. – Fotografie výkonového modulu

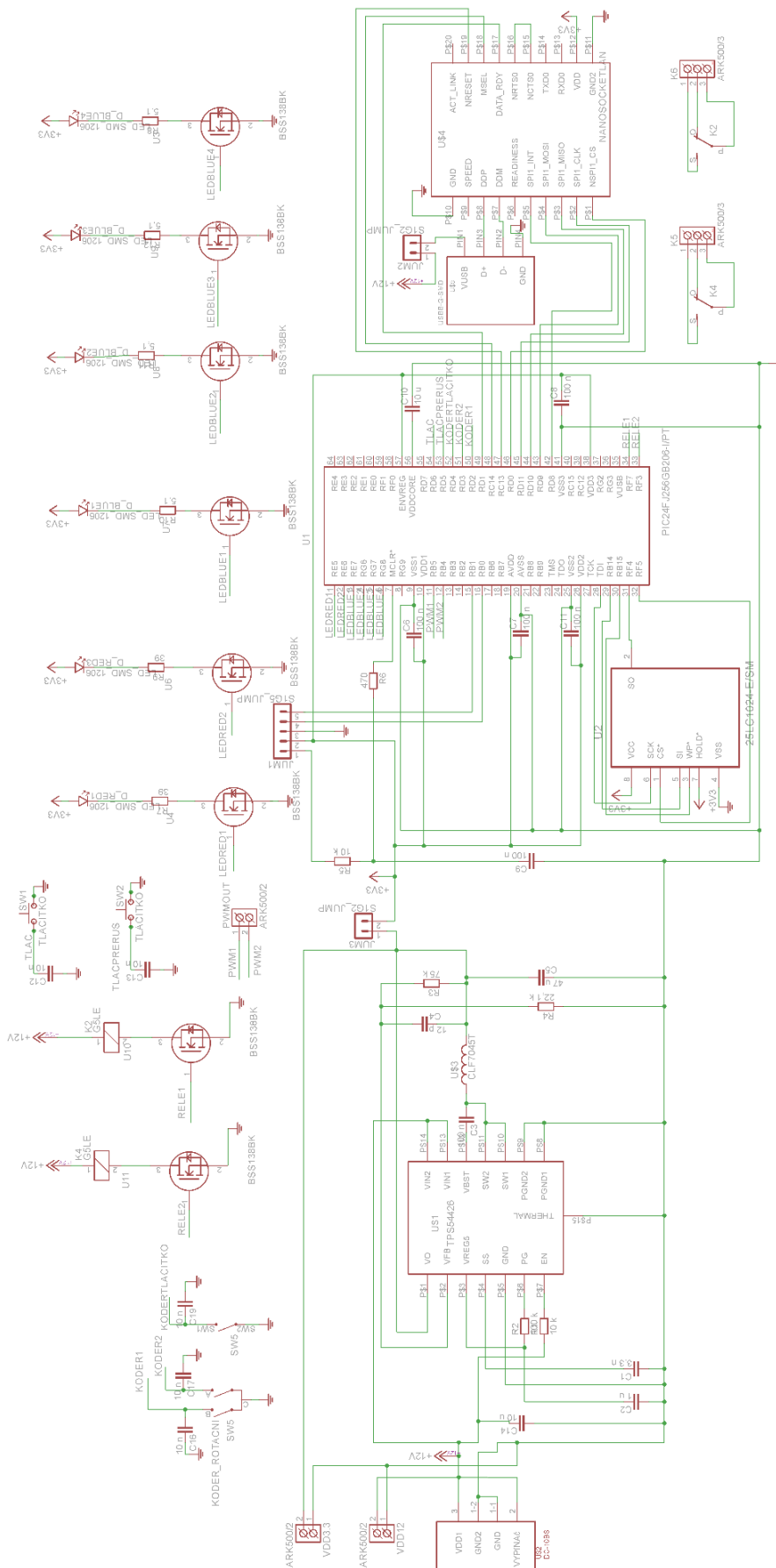


Příloha III. – Fotografie HB LED modulu na chladiči

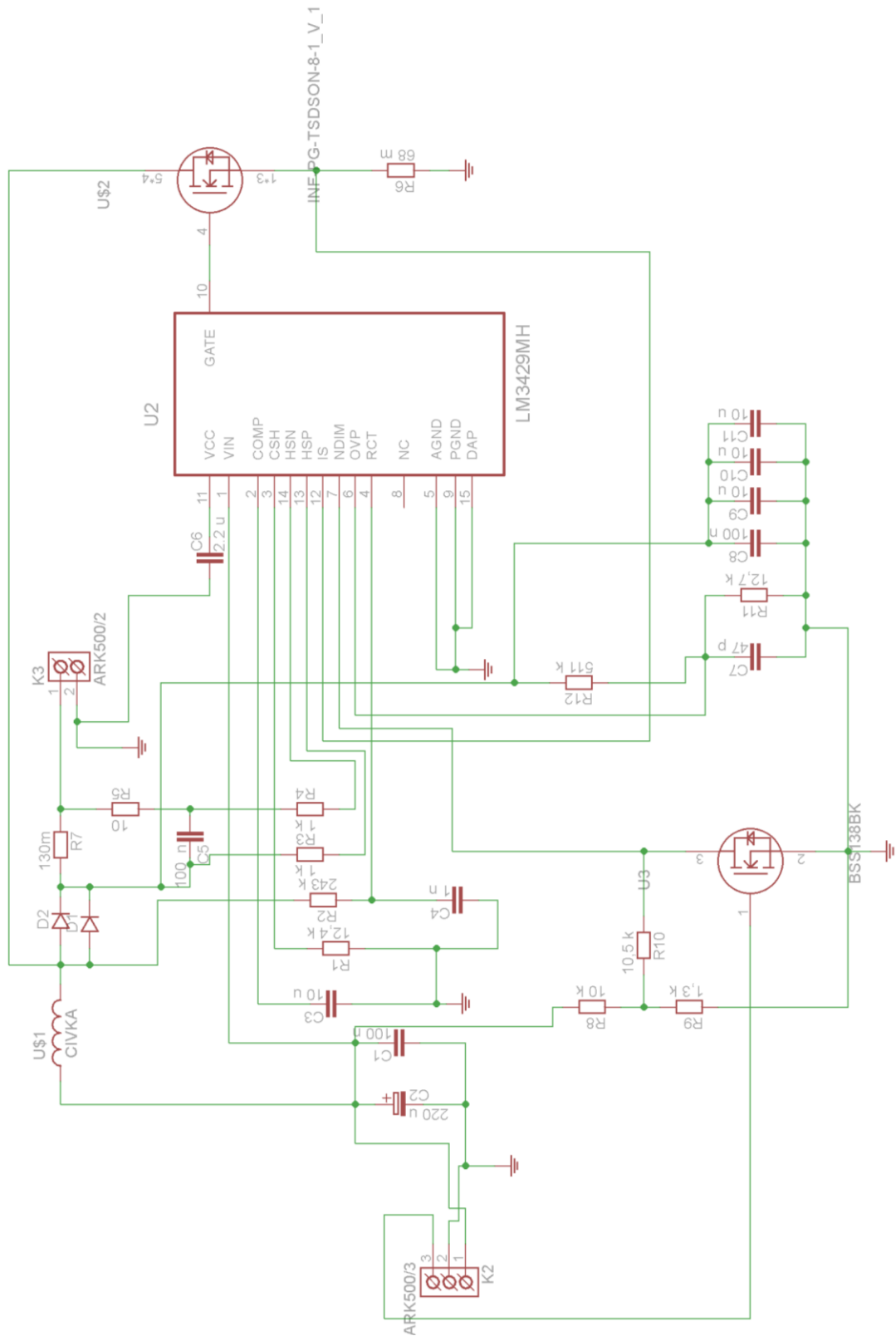


Přílohy

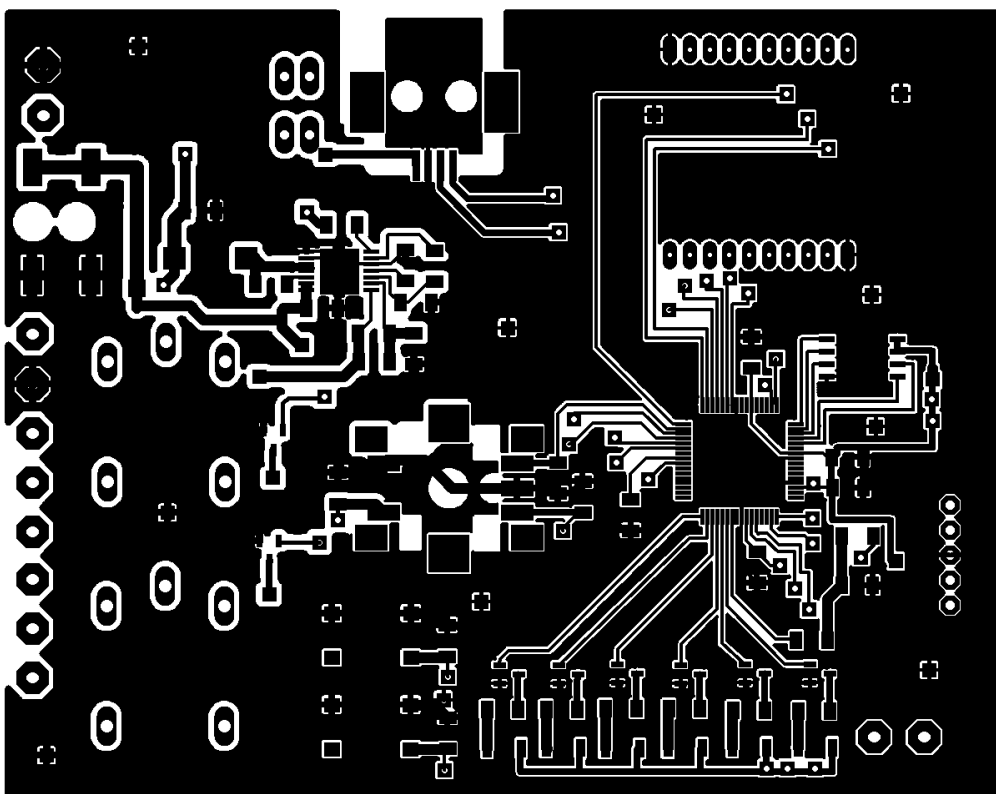
Příloha IV. – Schéma řídicího bloku



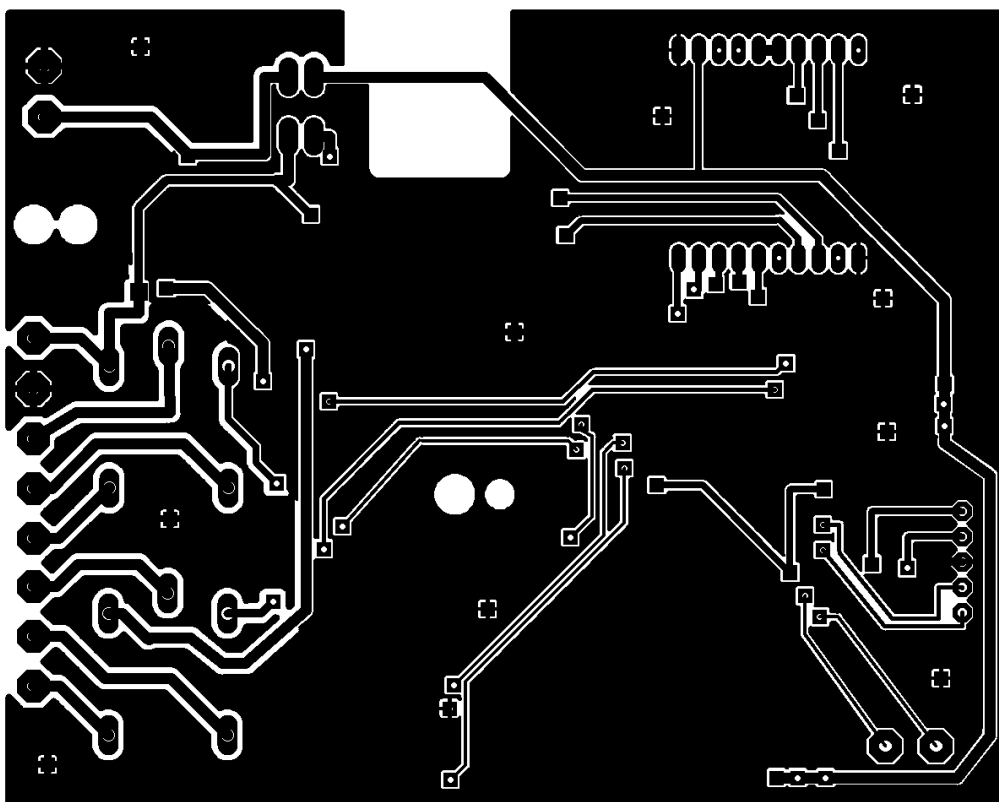
Příloha V. – Schéma výkonového bloku



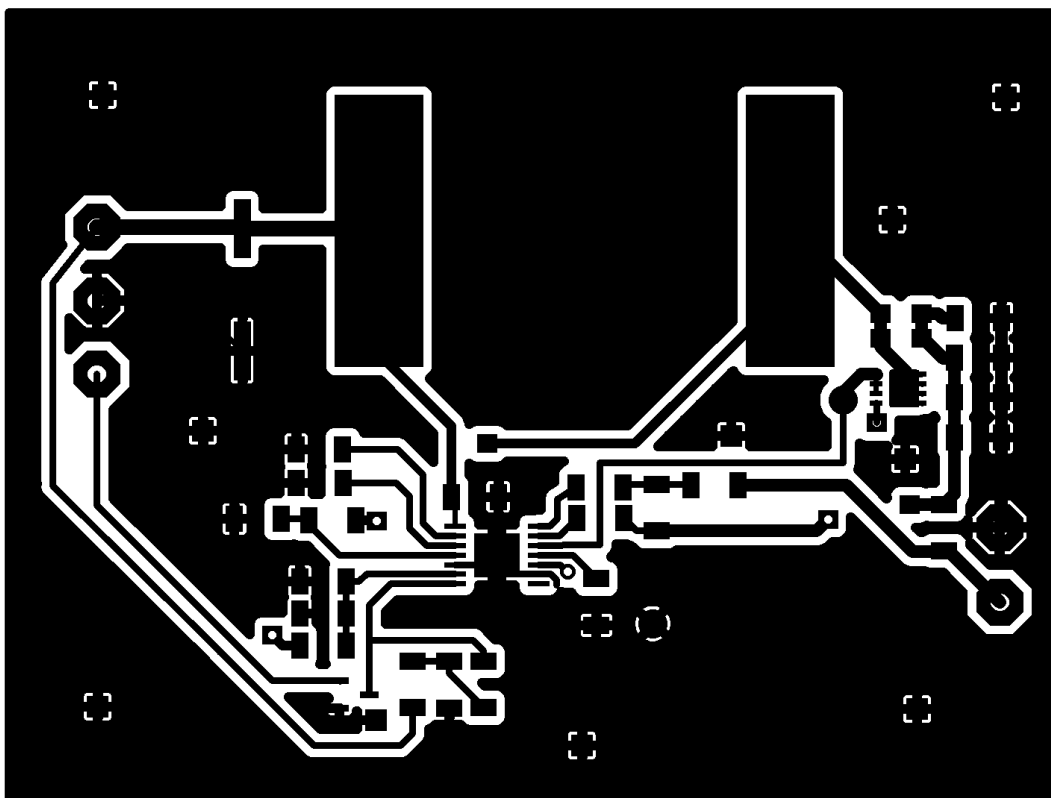
Příloha VI. – Data pro výrobu tištěného spoje řídicího bloku horní strana



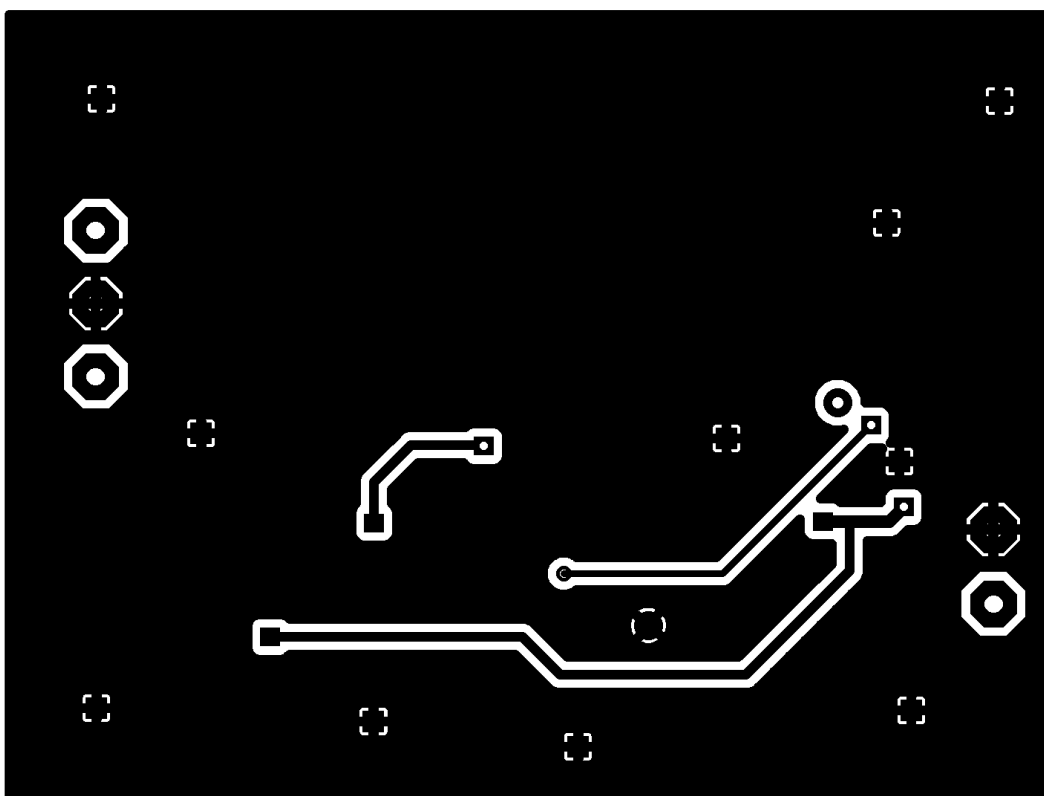
Příloha VII. – Data pro výrobu tištěného spoje řídicího bloku spodní strana



Příloha VIII. – Data pro výrobu tištěného spoje výkonového bloku horní strana



Příloha IX. – Data pro výrobu tištěného spoje výkonového bloku spodní strana



Příloha X. – Obsah přiloženého CD

- Diplomová práce Osvětlovací zdroj s řízením jasu HB LED
- Schéma řídicího bloku
- Schéma výkonového bloku
- Podklady pro výrobu tištěného spoje řídicího bloku
- Podklady pro výrobu tištěného spoje výkonového bloku
- Zaznamenané hodnoty měření
- Obslužný program mikrokontroléru
- Webové stránky
- Katalogový list LED CL-L330-C26N-C. Citizen electronic.
- Katalogový list ACULED® VHL™ White E001741. PerkinElmer
- Katalogový list PIC24FJ256GB206. Microchip.
- Katalogový list Rotační kodér EC11J1524604. Alps.
- Katalogový list Nano SocketLan. Connect one.
- Katalogový list LM3429. Texas Instruments.
- AT+i programovací manuál. Connect One.