

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autonomní systém osvětlení jízdního kola

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Daniel BENEŠ**
Osobní číslo: **E11B0185P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**
Název tématu: **Autonomní systém osvětlení jízdního kola**
Zadávající katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

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

Cílem práce je vytvořit autonomní systém, který by zajistil automatické a spolehlivé osvětlení jízdního kola za různých povětrnostních podmínek dle platných předpisů v ČR. Aby byla zajištěna autonomní činnost, zařízení by mělo využívat měnič kinetické energie na elektrickou v kombinaci s akumulátorem a řídicí mikropočítač musí zajistit efektivní hospodaření s energií. Minimální funkcionality je kontrolované dobíjení a monitorování stavu akumulátoru a automatická aktivace/deaktivace vhodného režimu osvětlení.


1. Vyhledejte a prostudujte požadavky na osvětlení jízdního kola dle platných předpisů v ČR.
2. Navrhněte obvodové řešení včetně mechanické konstrukce a zařízení realizujte.
3. Ověřte funkčnost zařízení v praxi.
4. Diskutujte dosažené výsledky a celou práci podrobně popište.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

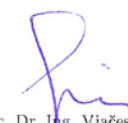
Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ondřej Pajer**
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2014**
Termín odevzdání bakalářské práce: **8. června 2015**


Doc. Ing. Jiri Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Anotace

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na návrh a realizaci autonomního osvětlení jízdního kola pro bezpečnou jízdu za jakýchkoliv podmínek bez nutnosti další, nadbytečné, manuální obsluhy. Práce zahrnuje kompletní realizaci zařízení - výběr generátoru, zdroje světla, akumulátoru, návrh řídicí jednotky i zhotovení mechanické konstrukce. To vše bylo poté otestováno v praktickém provozu.

Klíčová slova

Osvětlení, jízdní kolo, autonomní, bezobslužné, LED

Abstract

This bachelor thesis is focused on development of an autonomous bicycle light for safe driving in various conditions without need of redundant operation. The project contains the whole realisation of the light – selecting of generator, light source, battery, design of main control unit and also design of the whole mechanical construction. That all was then tested in practice use.

Key words

Bicycle, light, autonomous, unattended, LED

Prohlášení

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

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

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

V Plzni dne 7.6.2015

Daniel Beneš

.....

Poděkování

Rád bych poděkoval panu Ing. Jiřímu Čengerymu Ph.D. za výrobu desek plošných spojů a panu Ing. Vladimírovi Pavlíčkovi Ph.D. za pomoc s připájením integrovaného obvodu v QFN pouzdru.

Obsah

| | |
|---|-----------|
| SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ | 1 |
| ÚVOD | 2 |
| 1 PŘEDPISY PRO OSVĚTLENÍ JÍZDNÍHO KOLA V ČR..... | 2 |
| 2 PODOBNÉ EXISTUJÍCÍ VÝROBKY..... | 3 |
| 3 TECHNICKÉ MOŽNOSTI..... | 3 |
| 3.1 GENERÁTORY | 3 |
| 3.2 AKUMULÁTORY | 5 |
| 3.3 ZDROJE SVĚTLA | 7 |
| 4 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ SVÍTILNY..... | 8 |
| 4.1 BLOKOVÉ SCHÉMA..... | 8 |
| 4.2 GENERÁTOR ENERGIE | 9 |
| 4.3 AKUMULÁTOR | 10 |
| 4.4 NABÍJENÍ | 10 |
| 4.5 PŘEDNÍ SVÍTILNA | 13 |
| 4.6 ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA..... | 16 |
| 5 SOFTWARE A FUNKCE..... | 18 |
| 6 TESTOVÁNÍ V PRAXI | 20 |
| 7 ZÁVĚR | 21 |
| POUŽITÁ LITERATURA..... | 23 |
| PŘÍLOHY..... | 24 |

Seznam zkratk a symbolů

Zkratky

| | |
|------------------|---|
| ADC | Analog to Digital Converter |
| ČR | Česká republika |
| EEPROM | Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory |
| I/O | Input/Output |
| I ² C | sériové rozhraní I ² C |
| INT | Interrupt |
| LED | Light Emitting Diode |
| MCU | Microcontroller Unit |
| PWM | Pulse width modulation |
| Sb | sbírka |
| SPI | Serial Peripheral Interface |
| UART | Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter |
| USB | Universal Serial Bus |

Symboly

| | |
|----------------------------------|--|
| I [A] | Elektrický proud |
| K_{CHG} [h/k Ω] | Konstanta pro bezpečnostní dobu nabíjení |
| K_{set} [-] | Faktor nastavení výstupního proudu |
| R [Ω] | Elektrický odpor |
| T_{CHG} [h] | Bezpečnostní doba nabíjení |
| V_{set} [V] | Napětí pro nastavení výstupního proudu nabíječky |

Úvod

Cílem je vyvinout autonomní systém osvětlení jízdního kola, prakticky nezávislém na externím dobíjení zdroje energie. To zahrnuje kompletní realizaci osvětlení skládající se z měniče kinetické energie, akumulátoru s regulovaným nabíjením, přední a zadní svítilny, vhodný výběr mikropočítače, který by řídil zapínání/vypínání svítilny, celkové hospodaření s energií a signalizaci stavu akumulátoru.

Mechanická konstrukce a funkčnost celého systému je následně otestována v praktickém provozu.

Celý systém samozřejmě musí splňovat platné předpisy ČR.

1 Předpisy pro osvětlení jízdního kola v ČR

Osvětlení jízdního kola bylo konstruováno tak, aby odpovídalo platným předpisům české Republiky. Výňatek z vyhlášky č. 341/2002 Sb - **Technické požadavky na jízdní kola:**

„2. Jízdní kola pro jízdu za snížené viditelnosti musí být vybavena následujícími zařízeními pro světelnou signalizaci a osvětlení:

a) světlometem svítícím dopředu bílým světlem; světlomet musí být seřízen a upraven trvale tak, aby referenční osa světelného toku protínala rovinu vozovky ve vzdálenosti nejdále 20 m od světlometu a aby se toto seřízení nemohlo samovolně nebo neúmyslným zásahem řidiče měnit, je-li vozovka dostatečně a souvisle osvětlena může být světlomet nahrazen svítilnou bílé barvy s přerušovaným světlem,

b) zadní svítilnou červené barvy, podmínky pro umístění této svítilny jsou shodné s podmínkami pro umístění a upevnění zadní odrazky podle odstavce 1 písm. e); zadní červená svítilna může být kombinována se zadní odrazkou červené barvy podle odstavce 1 písm. e); zadní červená svítilna může být nahrazena svítilnou s přerušovaným světlem červené barvy,

c) zdrojem elektrického proudu, jde-li o zdroj se zásobou energie, musí svou kapacitou zajistit svítivost světél podle písmen a) a b) po dobu nejméně 1,5 hodiny bez přerušování.“ [1]

2 Podobné existující výrobky

Jediný výrobek částečně podobný našim požadavkům je chytré osvětlení SEE.SENSE.

„Používá pokročilou technologii sensorů pro sledování Vás, jízdního kola i okolního prostředí. V situacích, kde potřebujete být nejvíce viditelní, jako dopravní křižovatka, kruhový objezd, světlo intenzivně bliká, aby Vás bylo lépe vidět. Sleduje okolní osvětlení, v noci dokáže rozpoznat světla protijedoucích vozidel. Ve dne reaguje na změnu osvětlení, jako když vjedete do podjezdu nebo tunelu.“ [2]

Toto světlo by tedy splňovalo požadavky na automatické řízení. Nesplňuje však požadavek na vlastní dobíjení akumulátorů při jízdě, a vyžaduje tedy externí dobíjení akumulátorů.

Jiný podobný systém osvětlení se nepodařilo dohledat.

3 Technické možnosti

Souhrn obecných možností v oblastech generátorů, akumulátorů a zdrojů světla, představení jejich parametrů a srovnání jejich technických vlastností.

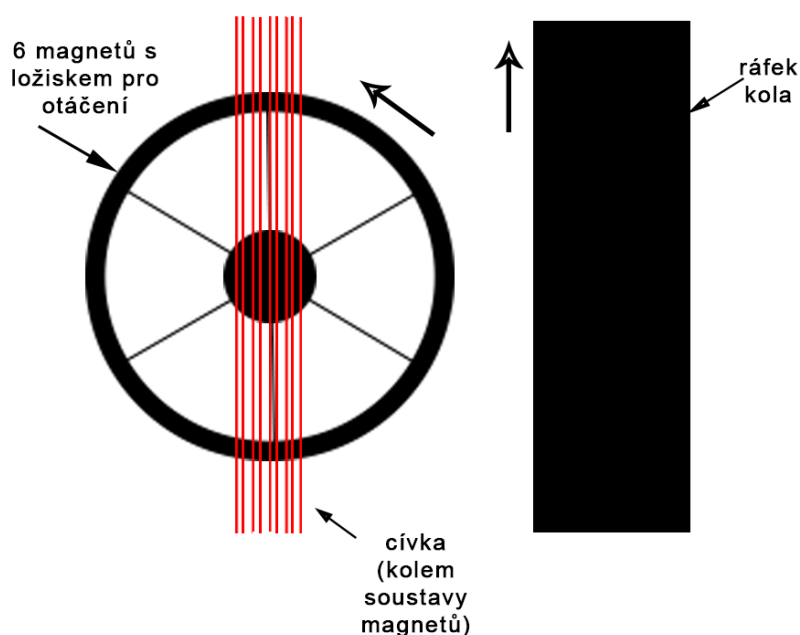
3.1 Generátory

Jedním z požadavků byla vlastní přeměna elektrické energie za jízdy. Nejjednodušší je systém přímého převodu rotačního pohybu na elektrickou energii pomocí alternátoru/dynama.

Nejznámější je tzv. „dynamo“, jak je nesprávně nazýván cyklistický alternátor. Tento typ alternátoru je nejjednodušší a nejrozšířenější možností použití, avšak skýtá i nevýhody. Běžně prodávané alternátory mají výkon 3W (6V, 500mA). Což není mnoho. Přesto použití toho typu generátoru může značně ztížit jízdu. Na vině je i vysoké mechanické tření na rotoru dosedajícího na plášť kola.

Další možností je nábojový alternátor umístěný v ose otáčení předního kola. Výkon je stejný jako u výše zmíněného alternátoru, jsou však sníženy mechanické ztráty. Na druhou stranu to vyžaduje nutnou úpravu kola (kompletní výměnu středu a souvisejícího výpletu), což je také finančně náročnější.

Rozšiřujícím se typem generátoru je v poslední době bezkontaktní generátor. Ten funguje na základním principu alternátoru. Bezkontaktnosti je dosaženo indukcí magnetického pole v hliníkovém ráfku kola umístěním permanentního magnetu poblíž. Tím vzniká v uzavřené smyčce ráfku proud, který zpětně vyvolává magnetické pole proti magnetu. Ten se vlivem této síly začne otáčet a indukovat tak napětí do okolní cívky. Tento systém využívá například svítidla Magnic Light.



Obr. 3.1 Nákres bezkontaktního generátoru

Podobný bezkontaktní generátor lze také vyrobit přímým umístěním permanentních magnetů na otáčející se kolo a poblíž vhodné cívky jakožto statoru alternátoru.

Další možností generování elektrického proudu přeměnou mechanické energie je využití otřesů kola. Ty se však velmi liší dle stylu jízdy a vlastností jízdního povrchu. Generátor by bylo možné realizovat za pomoci umístění permanentního magnetu do svislého válce obtočeného závity cívky. Vlivem otřesu by se permanentní magnet pohyboval směrem nahoru a dolů, čímž by indukoval v okolních závitěch cívky napětí. Toto řešení lze nalézt v ručních svítilnách bez baterie, kde zatřesením dojde k nabití kondenzátoru uvnitř svítilny.

Využití proudění vzduchu by na kole sice bylo možné, avšak mechanická konstrukce a vliv na vlastnosti jízdy značně snižuje využitelnost tohoto typu generátoru.

3.2 Akumulátory

V dnešní době lze využít velký počet druhů akumulátorů. Rozdíl mezi jednotlivými typy je hlavně v energetické hustotě, ale i v proudové zatížitelnosti nebo odolnosti proti teplotám pod bodem mrazu.

Ni-MH/Ni-Cd

Dříve velmi rozšířený typ akumulátoru. Neposkytuje sice vysokou hustotu energie, na druhou stranu se jedná o velmi odolný článek. Pro nabíjení malými proudy není potřeba speciálních nabíjecích obvodů s přesnými hodnotami napětí nebo proudu. Postačí proudový zdroj, přebytečná energie se v článcích přemění na teplo. Pro vyšší proudy, kdy by hrozilo přehřátí článků a tedy jejich zničení doprovázené případnou explozí nebo požárem článku, se používá nabíječka s detekcí ΔV (delta-peak). Při nabití článku totiž dojde k náhlému poklesu napětí, to je zaznamenáno a nabíjení se ukončí. Další výhodou Ni-MH/Cd článků je jejich cena a lepší odolnost proti mrazu. Ni-Cd články jsou pak ve srovnání s Ni-MH tvrdší (mají nižší vnitřní odpor), většinou ale disponují větším samovybíjením. Ni-Cd články je doporučováno skladovat vybité (0,8-0,9 V). Za nevýhodu je případně možné označit i tzv. paměťový efekt, nad kterým se ale vedou diskuze, zda skutečně existuje. Kromě nízké energetické hustoty (okolo 40Wh/kg pro Ni-Cd a 60Wh/kg pro Ni-MH dle použité technologie) je další negativní vlastností poměrně vysoké samovybíjení, které sice bylo u nových Ni-MH článků znatelně potlačeno, avšak na úkor kapacity. Jmenovité napětí článku je 1,2V.

LiFePO4

LiFePO4 jsou velmi výkonné články určené k použití především v náročnějších podmínkách. Poskytují dostatečnou hustotu energie (okolo 100Wh/kg) spolu s velmi vysokým proudovým odběrem, ale i vysokým nabíjecím proudem. Také dobře snášejí teploty pod bodem mrazu či naopak vysoké teploty. Další výhodou, ve srovnání s Li-ion a Li-pol, je i vysoká bezpečnost ať už při poškození článků, jejich přebíjení nebo zkratování. Maximální napětí článků je 3,6 V, minimální pak 2,8 V. Pro nabíjení je nutno použít speciálních nabíječek s režimem konstantní proud/konstantní napětí. Nejdříve se nabíjí maximálním konstantním proudem, po dosažení 3,6 V se nabíjí tímto konstantním napětím až do poklesu proudu pod určitou hranici (většinou 1/10 nastaveného proudu).

Za nevýhodou těchto článků považuji nižší energetickou hustotu, případně napětí článků, které je nižší než u Li-ion/Li-pol akumulátorů. Dále pak nutnost balancovat jednotlivé články při sériovém zapojení. Na rozdíl od Ni-MH/Cd se články neumí sami dorovnat na shodné napětí při nabíjení.

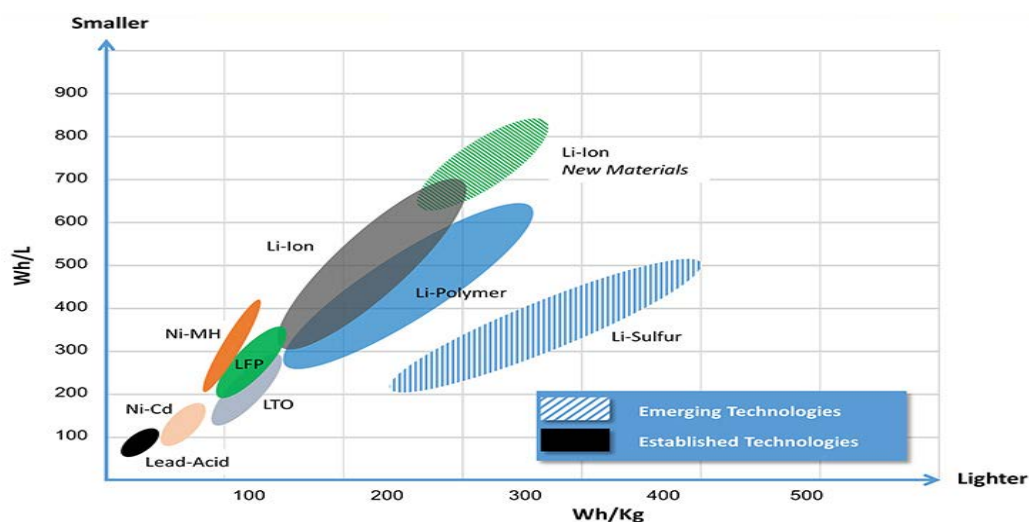
Li-ion/Li-Pol

Li-ion a Li-Pol jsou dnes asi nejrozšířenějším typem akumulátorů. Poskytují totiž nejvyšší hodnoty energetické hustoty (100-300Wh dle výrobní technologie). Zároveň jsou tyto články schopny dodat vysoké proudy. To platí zejména v případě Li-Pol.

Bohužel se s těmito články pojí i řada nevýhod. Především jsou tyto články považovány za nebezpečné. Zvláště Li-Pol akumulátory, které obsahují tekutý elektrolyt. Ten při úniku (například při propíchnutí baterie) vytváří společně se vzduchem až samo vznětlivou směs. Li-ion obsahují elektrolyt ve formě gelu, který není tak reaktivní. Další nebezpečí hrozí při přebití nebo zkratování článků, kdy dochází k prudkému ohřevu a následnému vzplanutí nebo i explozi. Články je nutno nabíjet speciálními obvody s režimem konstantní proud/konstantní napětí, stejně jako články LiFePO₄. Rozpětí napětí článků je ale většinou 3 - 4,2 V. Již překročení napětí o 0,05 V může vést k poničení článků. Stejně tak je nutné články externě balancovat při sériovém zapojení. Další nevýhodou je zhoršení vlastností v mrazu, při němž dochází ke zvýšení vnitřního odporu.

Olověné akumulátory

Olověné akumulátory nacházejí uplatnění hlavně v automobilovém průmyslu a záložních zdrojích. To především díky jejich schopnosti dodávat vysoké vybíjecí proudy (akumulátory mají tedy velmi nízký vnitřní odpor), nízkému samovybíjení. Na druhou stranu disponují nízkou energetickou hustotou okolo 35Wh/kg. V současné době existuje několik druhů olověných akumulátorů. Základní dělení označuje akumulátory jako údržbové (se zaplavenými elektrodami) a bezúdržbové (speciální se zaplavenými elektrodami, AGM s vázaným elektrolytem a gelové akumulátory). Napětí článku se pohybuje od 1,75 V do 2,4 V. [3]



Obr. 3.2 Orientační graf energetických hustot akumulátorů [4]

3.3 Zdroje světla

Vývoj světelných zdrojů jde neustále dopředu, zejména v oblasti LED. Různé světelné zdroje nabízejí zejména rozdílnou účinnost, barevnou teplotu nebo nestandardní napájení.

Žárovka

Žárovka jakožto zdroj světla není příliš vhodná a to kvůli její velmi nízké účinnosti (okolo 10 lm/W). V dnešní době už jsou žárovky ve využití pomalu nahrazovány jinými zdroji světla. Uplatnění stále najdou tam, kde není možné zajistit chlazení světelného zdroje nebo přesné řízení jeho napájení. Dále je pak výhodou nízká pořizovací cena nebo jednoduchá instalace a výměna.

Halogenová žárovka

Princip emitace světla je obdobný jako u klasické žárovky, ale přidavkem halogenů (nejčastěji xenonu) do baňky je dosaženo vyšší teploty vlákna a tím i bělejšího světla a vyšší účinnosti (okolo 20 lm/W). S tím je spjatá ale i vyšší provozní teplota.

LED

Tento zdroj světla v posledních dobách zaznamenává stále větší využití a rozvoj. Dnešní LED jsou schopné poskytnout účinnost sahající až 200 lm/W a výkony až 10 W na jeden čip, který nahradí bez problému 60 W žárovku. Firma Cree před nedávnem uvedla nový 10 W čip XP-L, který umožňuje při 3 A získat až 1033 lm (při teplotě čipu 85 °C). [5]

Nevýhodou LED je samozřejmě nutnost chlazení a pokud možno použití zdroje proudu pro napájení.

Xenonové výbojky

Světlo vzniká uvnitř baňky silným elektrickým výbojem mezi dvěma elektrodami. Baňka je naplněna směsí plynu (jak už název napovídá, jedná se především o xenon), která ovlivňuje i výslednou barvu světla. Jedná se o velmi intenzivní zdroj světla s vysokou životností (v porovnání s klasickou halogenovou žárovkou). Účinnost xenonových výbojek se pohybuje okolo 80 lm /w.

Nevýhoda xenonových výbojek spočívá v nutnosti použití speciálního měniče (výbojky pracují s napětím řádově 10 kV), vysoká provozní teplota, pomalý náběh (doba do plného rozsvícení okolo 10 s) a prakticky nulová možnost regulace svítu.

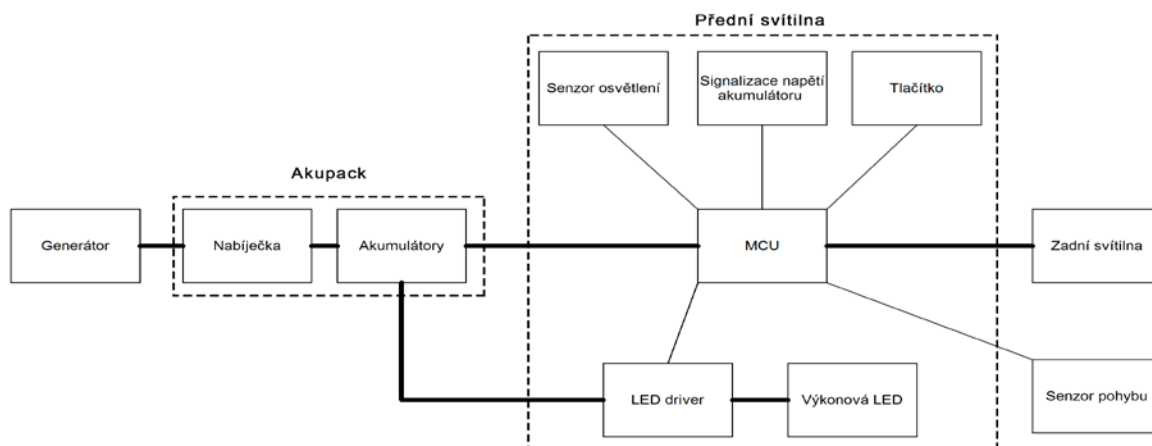
Zářivka

Doutnavý výboj vznikající v trubici, ve které se nachází směs par rtuti a argonu, emituje ultrafialové světlo. To je následně za pomoci luminoforu na stěnách trubice převedeno na viditelné světlo. Pro použití zářivky je nutné před trubicí zapojit elektrický předřadník (u kompaktních zářivek již součástí) nebo může postačit i tlumivka, kondenzátor a startér.

4 Technické řešení svítidel

4.1 Blokové schéma

Blokové schéma znázorňující rozmístění a propojení jednotlivých součástí systému osvětlení. Silné čáry znamenají hlavní rozvod napájení. Čárkované ohraničení určuje fyzické umístění bloků. Systém osvětlení se tak fyzicky skládá ze čtyř hlavních bloků: generátoru, akupacku, přední svítliny, zadní svítliny a senzoru pohybu (jazýčkový magnetický kontakt).



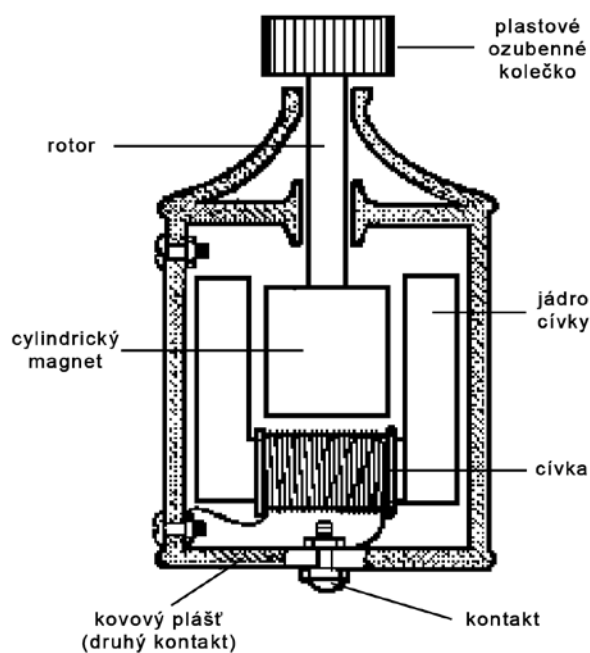
Obr. 4.1 Blokové schéma

4.2 Generátor energie

Jako generátor energie je použit standartní cyklistický alternátor, který se umísťuje ze strany kola a pomocí přítlačného mechanismu ho lze uvést do provozu v případě potřeby. Tento alternátor jsem zvolil jednak kvůli jednoduchosti mechanismu, a jednak jsem měl několik kusů volně k dispozici.

Jedná se o zdroj o výkonu až 3 W, respektive nabíjecí proud může dosahovat až 500mA. Protože se ale jedná o alternátor, je nutno napětí z generátoru usměrnit a před přivedením k nabíjecímu obvodu jej vyfiltrovat kondenzátorem.

Nevýhodou toho alternátoru je značný vliv na jízdní vlastnosti kola, přesněji řečeno dochází ke ztížení jízdy.



Obr. 4.2 Cyklistický alternátor

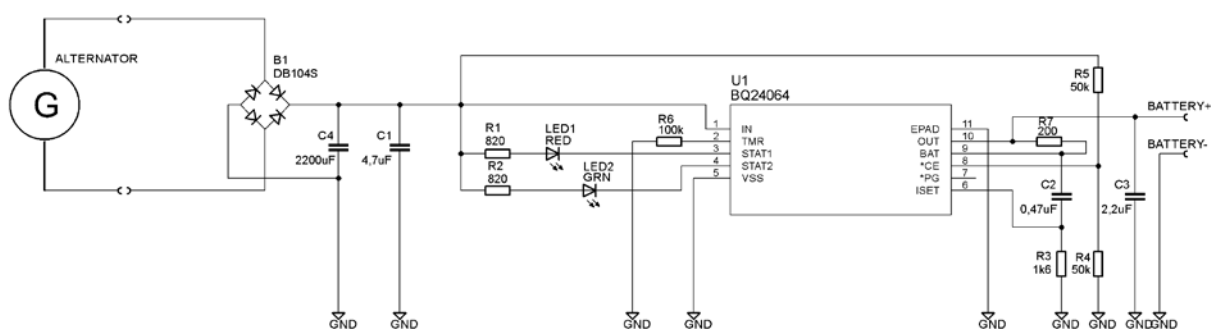
4.3 Akumulátor

Úschova energie je řešena pomocí dvou paralelně zapojených Li-ion článků. Použity jsou dva články Li-ion od firmy Panasonic, konkrétně NCR18650B, které v současné době poskytují nejvyšší kapacitu 3400 mAh na článek. Jedná se o velmi rozšířenou velikost Li-ion článků, běžně používanou např. v bateriích pro notebooky.

V současné chvíli jsou články k sobě spájeny, ale v případě použití některého z držáků baterií by v budoucnu neměl být problém články vyměnit, ať už z důvodu závady, opotřebení nebo navýšení kapacity. Tyto Li-ion články jsem zvolil hlavně z důvodu jejich vysoké energetické hustoty a relativní bezpečnosti. Nevýhodou mohou být horší podávané výkony za teplot okolo bodu mrazu a níže a nutnost dobíjení speciálními obvody.

4.4 Nabíjení

Nabíjení akumulátorů zajišťuje integrovaný obvod od Texas Instruments – BQ24064. Jedná se o lineární nabíjecí obvod se vstupním napětím až do 16,5 V, integrovaným MOS-FET tranzistorem pro nabíjecí proudy až 1 A a napětím akumulátoru 4,2 V s přesností $\pm 0,5\%$. Samozřejmě je nabíjení pomocí režimu konstantního proudu/konstantního napětí. Navíc nabízí i možnost před-nabití malým proudem při poklesu napětí článku pod 2,95 V. Dále poskytuje informaci o aktuálním stavu nabíjení pomocí dvou LED diod, vhodnosti vstupního napětí logickou hodnotou na pinu PG (Power Good), bezpečnostní časovač pro nabíjení nebo ochranu proti zkratu a přehřátí obvodu. To vše v malém 10-QFN pouzdru 3x3mm. [6]



Obr. 4.3 Schéma nabiječky

Nastavení nabíjecího proudu se provádí pomocí rezistoru R_3 . Jeho hodnotu vypočteme podle následujícího vztahu:

$$R_3 = \frac{V_{SET} * K_{SET}}{I_{OUT}} \quad [\Omega; V, -, A] \quad (1)$$

Kde V_{SET} je typicky 2,5V, K_{SET} je nutno vyčíst z grafu průběhu v datasheetu a I_{OUT} je námi požadovaný proud. Pro nabíjecí proud 500mA dostaneme:

$$R_3 = \frac{2,5 * 330}{0,5} = 1650 \Omega \quad (2)$$

Nejbližší vhodný rezistor je tedy 1k6.

Dobu časovače lze nastavit pomocí rezistoru R_6 . Jeho hodnotu dostaneme výpočtem ze vztahu:

$$R_6 = \frac{T_{CHG}}{K_{CHG}} \quad [\Omega; h, h/k\Omega] \quad (3)$$

Kde T_{CHG} udává maximální nabíjecí čas (v hodinách) a K_{CHG} je konstanta 0,1 h/k Ω .

Pro nastavení maximální nabíjecí doby 10 hodin tedy dostaneme:

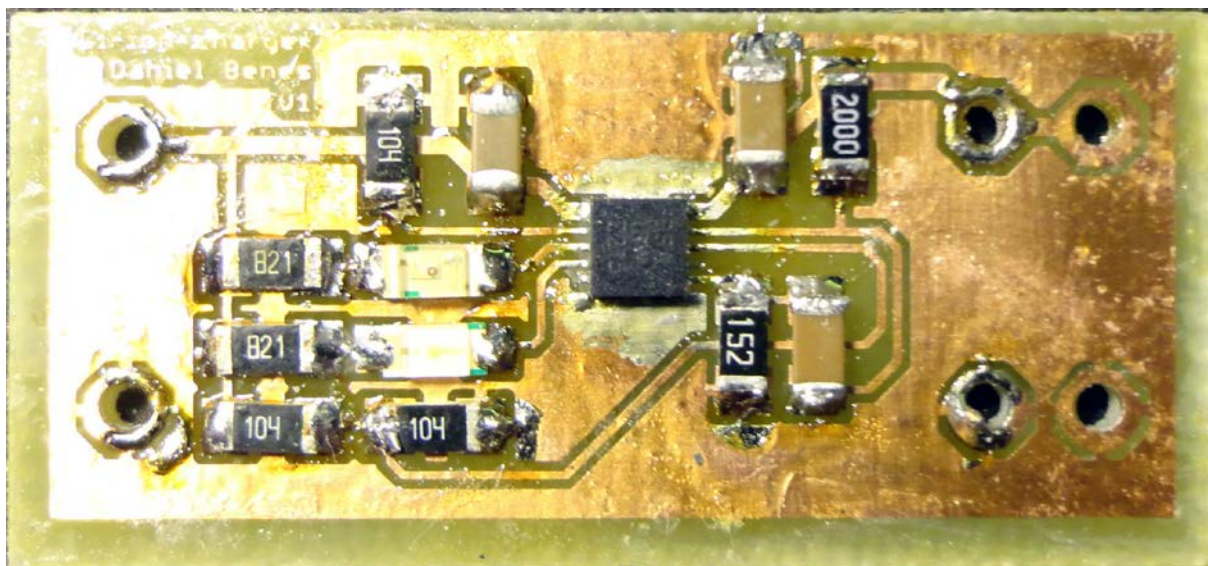
$$R_6 = \frac{10}{0,1} = 100 \text{ k}\Omega \quad (4)$$

V případě, že nepožadujeme hlídání teploty akumulátoru, zavedeme na pin TS polovinu napájecího napětí. Rezistory R_4 a R_5 mají tedy stejnou hodnotu.

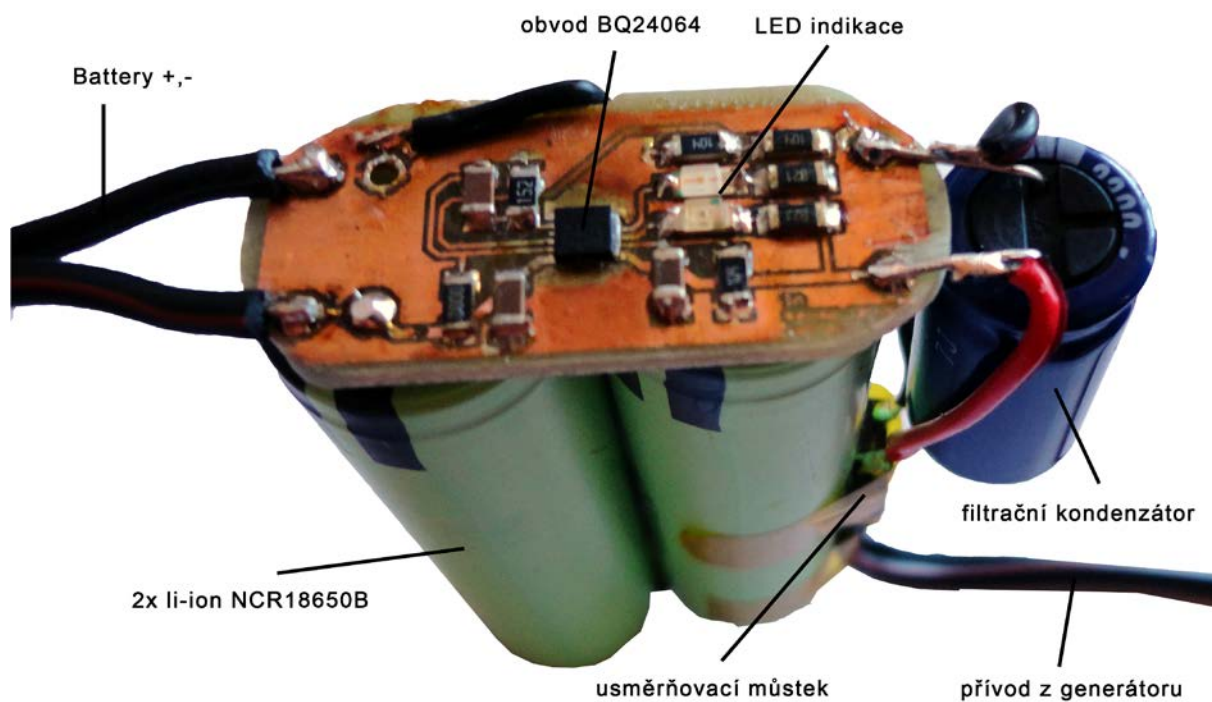
Jak již bylo zmíněno, stav nabíjení lze sledovat pomocí dvou LED. Jejich stavy jsou popsány v následující tabulce:

| Stav nabíjení | LED1 | LED2 |
|------------------------------|------|------|
| Před nabíjení | ON | ON |
| Rychlé nabíjení | ON | OFF |
| Dokončeno | OFF | ON |
| Nabíjení ukončeno (přehřátí) | OFF | OFF |
| Chyba časovače | | |
| Nabíječka vypnuta | | |
| Detekováno přepětí na vstupu | | |
| Není baterie | | |
| Zkrat baterie | | |

Tab. 4-1 Stav nabíjení



Obr. 4.4 Deska nabíječky



Obr. 4.5 Akupack s nabíječkou

Celý akupack i s nabíječkou je uzavřen ve smršťovací fólii. Ta poskytuje ochranu článků i elektroniky před hrubými nečistotami. V případě použití smršťovací fólie s lepidlem uvnitř by bylo možné snadno vytvořit také voděodolný obal.

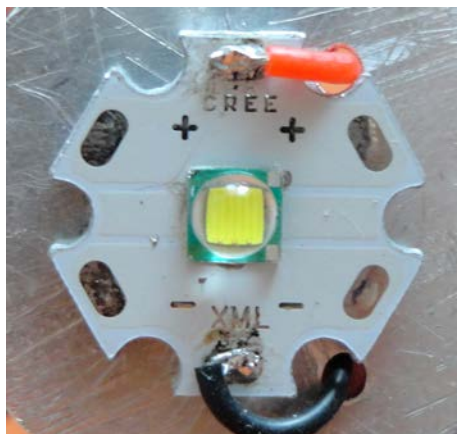
Kvůli tepelným ztrátám na nabíjecím obvodu byl také přidán hliníkový plech zakrývající horní část elektroniky. Ten je přilepen na desku za pomoci teplo vodivé gumy, která zajišťuje odvod tepla z nabíjecího obvodu do hliníku a zároveň elektrickou izolaci.

4.5 Přední a zadní svítlna

Jako zdroj bílého světla pro přední svítlnu je použita vysoce výkonná LED XM-L (bin T6) od firmy Cree. Jedná se o 10 W LED s velmi vysokou účinností okolo 100 lm/W, která dokáže poskytnout velmi intenzivní světlo. Maximální povolený proud procházející LED je 3 A.

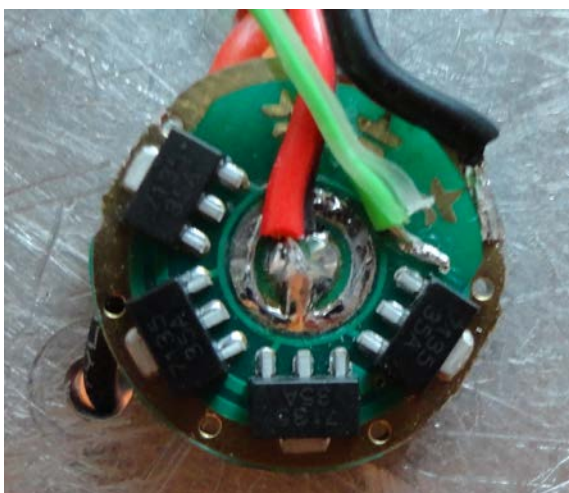
V tomto zapojení ale proud dosahuje maximálně 2 A, kdy samozřejmě dochází k odčerpání nashromážděné energie v akumulátorech a tento odběr již nestačí hradit dodávaná energie z dynamu.

LED je umístěna v hliníkovém těle s reflektorem, které slouží zároveň také jako chladič LED. V těle se nachází i hlavní řídicí jednotka s mikroprocesorem, snímačem světla, LED budičem a tlačítkem.



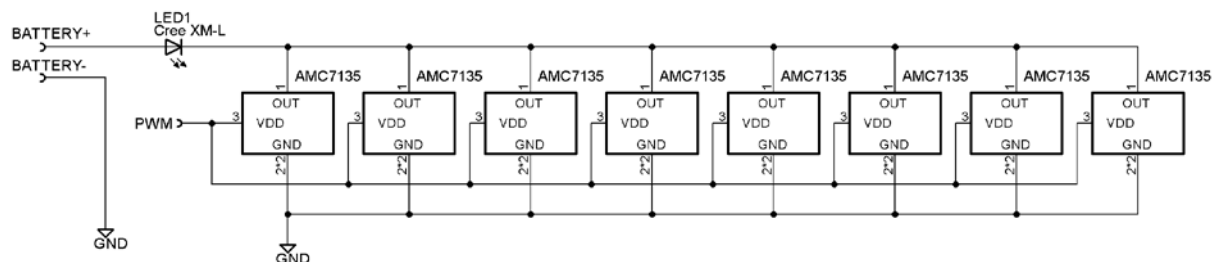
Obr. 4.6 LED Cree XM-L

LED budič je složen z osmi lineárních stabilizátorů proudu AMC7135, které umožňují napájet LED proudem až 2,8A. Budič je možno řídit pomocí PWM.



Obr. 4.7 deska LED budiče

LED budič byl zakoupen jako hotový produkt. Schéma zapojení je velmi jednoduché a vychází z datasheetu obvodu.



Obr. 4.8 LED budič

Každý obvod umožňuje dodávat proud až 350mA. Jeho vstupní napětí je 2,7-6 V. PWM signál je zaveden na pin VDD.

Hliníkové tělo svítilny je použito z komerčního produktu. Původně se jednalo o čelní svítilnu, ze které byl demontován držák na hlavu a odstraněna veškerá elektronika kromě LED. Průměr hliníkového těla je 42mm, délka 54mm. Díky žebrování je také zvýšen přenos tepla z těla do vzduchu a dochází tak k lepšímu chlazení svítilny.

V zadní části svítilny nalezneme gumovou krytku tlačítka pro přepínání módů a čtyři světlovody pro signalizační LED uvnitř těla.

Svítilnu lze přidělat na jízdní kolo za pomoci plastového držáku s nastavitelnou šířkou uchycení za pomoci šroubu. Držák byl původně určen pro jiný typ svítilny a upraven pro toto světlo.



Obr. 4.9 Přední svítilna

Do těla svítilny je také zaveden kabel zakončený magnetickým spínačem. Ten slouží pro detekci pohybu kola. Snímač se obvykle umísťuje z vnitřní strany vidlice předního kola. Do výpletu předního kola se poté umístí magnet, který při otáčení předního kola těsně míjí magnetický spínač. Jedná se tedy o stejný princip, který využívají např. cyklistické tachometry.

Zadní svítilna je tvořena čtyřmi červenými super svítivými 5mm LED. Ty jsou schované v červeném krytu sloužícím jako difuzor a zároveň i jako odrazka. Celé toto světlo bylo zakoupeno jako komerční produkt, pouze byla odstraněna elektronika a ponechány samotné LED.

Díky nízké náročnosti na proud jsou LED napájeny přímo z řídicí jednotky. Tím se zjednodušilo propojení světla s přední svítilnou a akumulátorem.



Obr. 4.10 Zadní svítilna

4.6 Řídící jednotka

Řídící jednotka osvětlení je tvořena mikroprocesorem Atmel Atmega328P-AU. Tento procesor jsem volil z důvodu dostatečného počtu vstupních/výstupních portů, včetně možnosti PWM a externího přerušení. Mikroprocesor poskytuje až přebytné množství výkonu a paměti, takže je zde prostor pro vývoj rozsáhlejšího softwaru v budoucnu. Dalším důvodem pro nasazení tohoto procesoru je jeho příznivá cena a snadná dostupnost. Dále pak možnost využití vývojové desky Arduino Pro mini, kterou jsem měl volně k dispozici.

Základní údaje o mikroprocesoru Atmega328P-AU: [7]

| | |
|--------------------------|-------------|
| Flash | 32KB |
| EEPROM | 1024B |
| Počet pinů | 32 |
| Max. pracovní frekvence | 20MHz |
| Max I/O pinů | 23 |
| Ext. přerušení | 24 |
| SPI | 2 |
| I2C | 1 |
| UART | 1 |
| ADC kanály | 8 |
| ADC rozlišení | 10 bitů |
| Analogový komparátor | 1 |
| picoPower | ano |
| Časovače | 3 |
| PWM kanály | 6 |
| Rozsah napájecího napětí | 1,8 - 5,5 V |
| Rozsah pracovních teplot | -40 – 85 °C |

Tab. 4-2 Základní vlastnosti MCU Atmega328P

Řídící jednotka je osazena zmíněným procesorem Atmega328P. Měření napětí baterie je realizováno pomocí odporového děliče R7 a R6 vyvedeného na pin 19 procesoru (ADC6). Odporový dělič zajišťuje, aby maximální hodnota napětí na pinu 19 nepřesáhla 1,1 V, což je použitá napěťová reference procesoru.

Obdobným způsobem funguje snímání okolního osvětlení za pomoci odporového děliče R8, R9 a fotorezistoru VT90N1. Výstup děliče je zaveden na pin 26 procesoru (PC3/ADC3). Keramický kondenzátor C4 slouží k odfiltrování rušení z napětí před přivedením na ADC. Jakožto snímač osvětlení je použit fotorezistor, jenž poskytuje lineární charakteristiku odporu vůči osvětlení. Fotorezistor nereaguje tak rychle na změny osvětlení, což je v tomto případě výhodou. Je to také důvod, proč není použit například fototranzistor nebo fotodioda. Ty jsou totiž příliš citlivé a mají nelineární charakteristiku.

Na pinech 23, 24 a 25 jsou zapojeny LED (červená, zelená, modrá) spolu s rezistory R3, R4, R5 pro omezení proudu. Tyto LED slouží jako indikace napětí baterie. Dále jsou z procesoru na desce vyvedeny piny 1, 9, 10, 31 a 32.

Pin 1 označený jako BUT slouží k připojení tlačítka vůči zápornému napájení. Stiskem tlačítka dojde ke spojení pinu spolu se záporným napájením a dojde tak ke změně intenzity světla (módu).

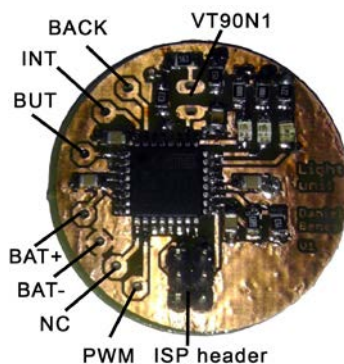
Pin 9 pojmenovaný NC (not connected) není zapojen. Byl pouze vyveden pro případné budoucí použití.

Pin 10 označený PWM slouží jako výstup PWM signálu pro řízení LED budiče.

Pin 31 neboli BACK slouží jako výstup pro napájení zadní svítilny.

Pin 32 - INT0 je pro připojení magnetického snímače. Ten svým sepnutím jednak vynuluje časovač, aby nedošlo k usnutí světla, když je kolo v pohybu a jednak probouzí světlo ze spánku, pokud dojde k jeho vypnutí vlivem stání kola.

Dále nalezneme na desce pin header pro ISP rozhraní sloužícího k připojení programátoru procesoru.



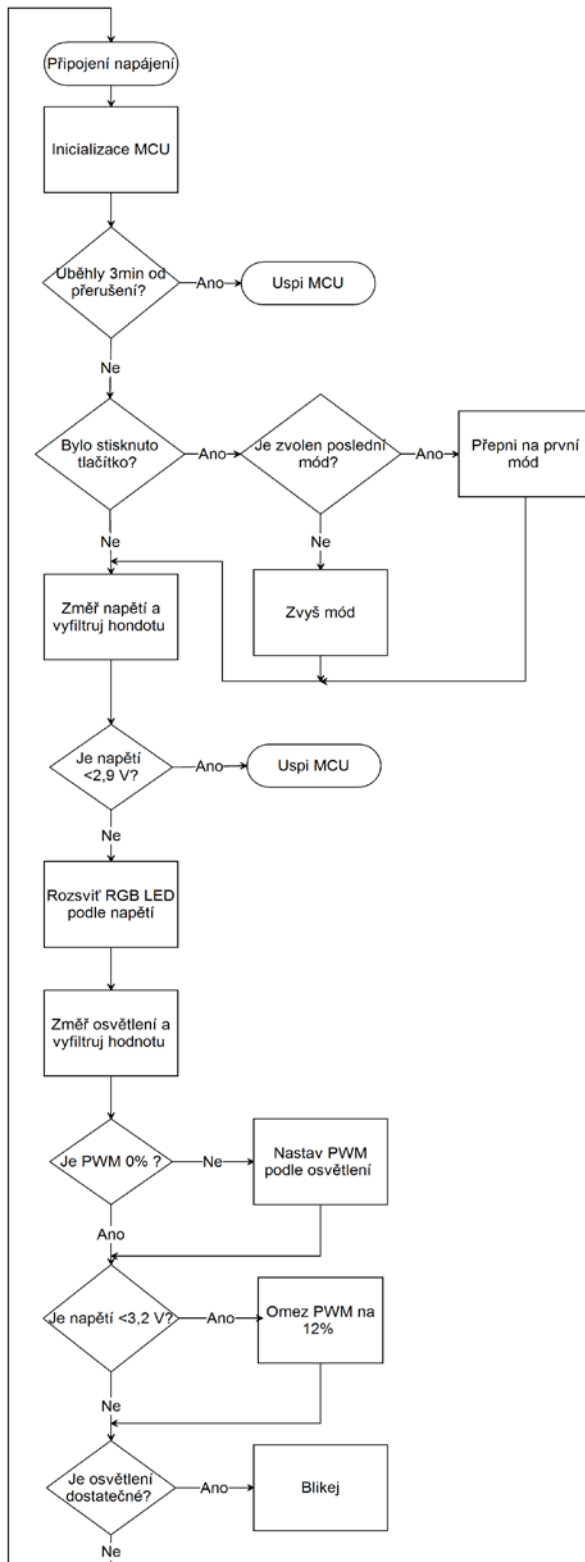
Obr. 4.11 Řídící jednotka

5 Software a funkce

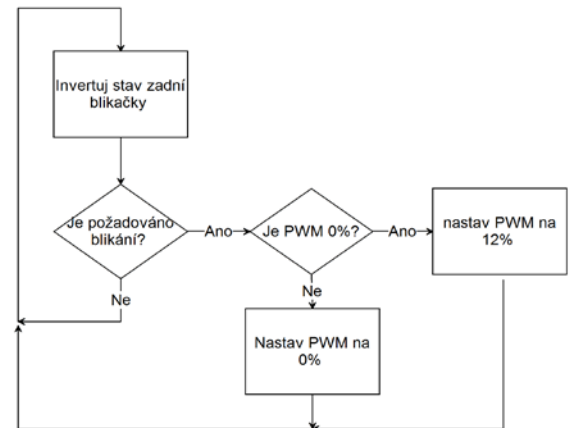
Software pro řídicí jednotku byl vytvořen v programovacím jazyku C ve vývojovém prostředí Atmel Studio 6.1. Okomentovaný software lze nalézt na příloženém CD.

Zjednodušení vývojový diagram

Hlavní smyčka programu



Smyčka přerušení od čítače



Seznam implementovaných funkcí a vlastností

- Řízení svitu LED dle okolního osvětlení
- Automatické spuštění svítilny
- Automatické vypnutí svítilny
- Signalizace nabití baterie
- Přizpůsobení svitu dle stavu napětí baterie

Funkce změny intenzity osvětlení na základě vnějších podmínek je realizována snímáním úbytku napětí na odporovém děliči. Hodnota na ADC převodníku je porovnávána vůči vnitřní referenci 1,1 V. Následně je naměřená hodnota filtrována číslicovým filtrem (kruhový buffer s průměrováním) pro zabránění případného blikání při rychlých změnách vnějšího osvětlení (zdroj světla s PWM, krátkodobé osvětlení jiným míjejícím vozidlem apod.). Filtrovaná hodnota je pak upravena dle módu zvoleného uživatelem. Hodnota je následně použita pro regulaci PWM, která určuje intenzitu svitu přední bílé LED.

V případě, že je okolní osvětlení dostatečné, přepne se konstantní svit na režim blikání. Tím se ušetří energie a zároveň je to dostačující upozornění ostatních řidičů.

Pokud dojde k poklesu baterie pod 3,2V (zbývá tedy posledních 20% kapacity), světlo se ztlumí na 10% intenzity (proud přibližně 300mA). Tím je předcházeno úplnému vybití akumulátoru, protože veškerý požadovaný výkon by měl být schopný pokrýt alternátor.

Zadní svítilna složená z červených LED pouze bliká. Tato funkce je zajištěna pomocí časovače mikroprocesoru, nastaveného na 250 ms. Tento časovač je použit i při blikání předního světla při vysokém okolním osvětlení.

Další funkcí je měření a signalizace zbývající kapacity baterie. To je provedeno pomocí odporového děliče a ADC převodníku. Hodnota z ADC převodníku musí být opět filtrována číslicovým filtrem a to hlavně z důvodu použití PWM na spínání napájecího napětí pro LED. Kvůli PWM jinak vznikaly napěťové špičky a jednotka signalizovala naprosto neodpovídající stavy.

Celkem je zobrazováno 5 stavů kapacity:

- 80-100% - svítí pouze modrá LED
- 60-80% - svítí modrá a zelená LED
- 40-60% - svítí pouze zelená LED
- 20-40% - svítí zelená a červená LED
- <20% - svítí pouze červená LED

V případě poklesu napětí pod 2,95 V dojde k usnutí procesoru, aby nedocházelo k hlubokému vybití akumulátoru, což by vedlo k jeho poškození.

Protože bylo světlo navrhováno jako autonomní, jeho funkce je také samostatně zapnutí a vypnutí. Zapnutí je zajištěno externím přerušením, které je aktivováno za pomoci magnetického spínače umístěného na vidlici kola a magnetu uchyceného ve výpletu kola. V případě, že je kolo více jak 30 s v nečinnosti, uvede se řídicí jednotka do režimu spánku, kdy celé zařízení odebírá proud 242 μ A. Když se kolo znovu rozjede, procesor se probudí z režimu spánku a obnoví zpět svoje funkce.

6 Testování v praxi

Cílem testování bylo ověřit funkčnost celého systému a splnění zadání. Se zařízením bylo najeto přibližně 50km při kterých byly zjištěny následující situace.

Světlo splňuje podmínku autonomnosti, tedy je schopné se samo zapnout/vypnout a přizpůsobit okolní situaci. Snímání okolního světlení a podle toho řízení svitu bylo až příliš citlivé. Z tohoto důvodu došlo ke změnám softwaru, jinak byl zvolen příliš vysoký svit i při dostatečném osvětlení a tak docházelo ke zbytečné spotřebě energie.

V případě kombinace jízdy ve dne a v noci je systém schopen doplňovat zpět energii do akumulátorů. Při jízdách pouze v noci samozřejmě nastává problém se spotřebou energie, kdy svítidla potřebuje více energie, než je schopný dodat cyklistický alternátor. Po těchto jízdách jsem byl nucen akumulátory dobít externě. Díky integrované nabíječce je ale možné akumulátory, při vytvoření vhodné redukce, nabít například z USB portu počítače.

Již při rychlosti 6 km/h se nabíjecí proud pohybuje okolo 200mA. To postačuje na pokrytí energie svítidel v režimu blikáčky. Při 8 km/h byl nabíjecí proud 300mA. Tato rychlost je tedy schopna pokrýt spotřebu svítidel v nejnižším konstantním režimu svícení. Plného nabíjecího proudu 500mA bylo dosaženo již při rychlosti 15 km/h. Tento proud je schopný pokrýt spotřebu svítidel při jízdě v noci za pouličního osvětlení při použití nejnižšího režimu svícení.

Původní délka prodlevy 30s pro zhasnutí světla se ukázala při testování jako příliš krátká. Proto byla v další verzi softwaru zvýšena na 3 minuty. Vyšší prodleva nebyla zvolena kvůli zbytečnému svícení, pokud bychom kolo po jízdě umístili například do místnosti bez světla.

Dále byla při testování zjištěna chyba v návrhu řídicí jednotky. Odporový dělič s fotorezistorem je totiž zapojen přímo na napájecím napětí, takže v případě poklesu napájecího napětí (tedy při vybíjení akumulátorů) dochází ke změně svitu hlavního světla. Dále tudy protéká stálý proud, a to i v režimu spánku. To lze vyřešit dvěma způsoby:

1. Zapojením stabilizátoru napětí pro dělič

Tato úprava vyžaduje kompletní předělání hlavní řídicí desky. Pokud bychom chtěli vyřešit i problém s proudem, bylo by vhodné použít sériový stabilizátor s povolovacím vstupem (Enable) nebo tranzistor, který by zapínal a vypínal napětí pomocí výstupu mikroprocesoru při přechodu z pracovního stavu do režimu spánku a zpět.

2. Vytvořením softwarového algoritmu

Ten by přepočítával hodnotu osvětlení změřenou z ADC podle naměřené hodnoty napětí akumulátorů. Zamezení protékání proudu by bylo možné vyřešit tranzistorem, jak bylo zmíněno v předchozím návrhu řešení.

7 Závěr

Veškeré body zadání se podařilo splnit, tedy úspěšně byl vytvořen systém autonomního osvětlení jízdního kola, který je schopen se sám uvést do provozu, když je potřeba a vypnout v případě nečinnosti. Zároveň má systém možnost řízení svitu podle okolního osvětlení a tím efektivnější možnost osvětlení trasy a lepšího využití energie. Energie získávaná z cyklistického alternátoru je podle stylu jízdy schopna pokrýt energetické nároky svítidel, avšak při jízdách pouze v noci je nutno počítat s vyšší spotřebou, než je výkon alternátoru. Dobíjení akumulátorů zajišťuje integrovaný nabíjecí obvod. Mikrokontrolér umístěný v těle svítidel pak zajišťuje hospodaření s energií a signalizaci zbývajících kapacity akumulátorů.

Celý systém není úplně bezchybný a je zde prostor pro zlepšení efektivnějšího využití energie. Např. jsou použity lineární měniče napětí/proudu (nabíjecí obvod a LED budič).

Ty jsou sice jednoduché, při větším rozdílu napětí jsou ale velmi neúčinné. Vyšší účinnosti lze dosáhnout použitím spínaných zdrojů, které by byly schopné využít veškerou energii efektivněji. Návrh spínaných zdrojů je však složitější a vyžaduje jisté zkušenosti a znalosti. Další nevýhodou je možné rušení systému.

Zlepšení efektivity využití energie je také možné použitím jiného generátoru energie. V cyklistickém alternátoru totiž dochází k poměrně velkým mechanickým ztrátám (což se samozřejmě citelně projeví na jízdě).

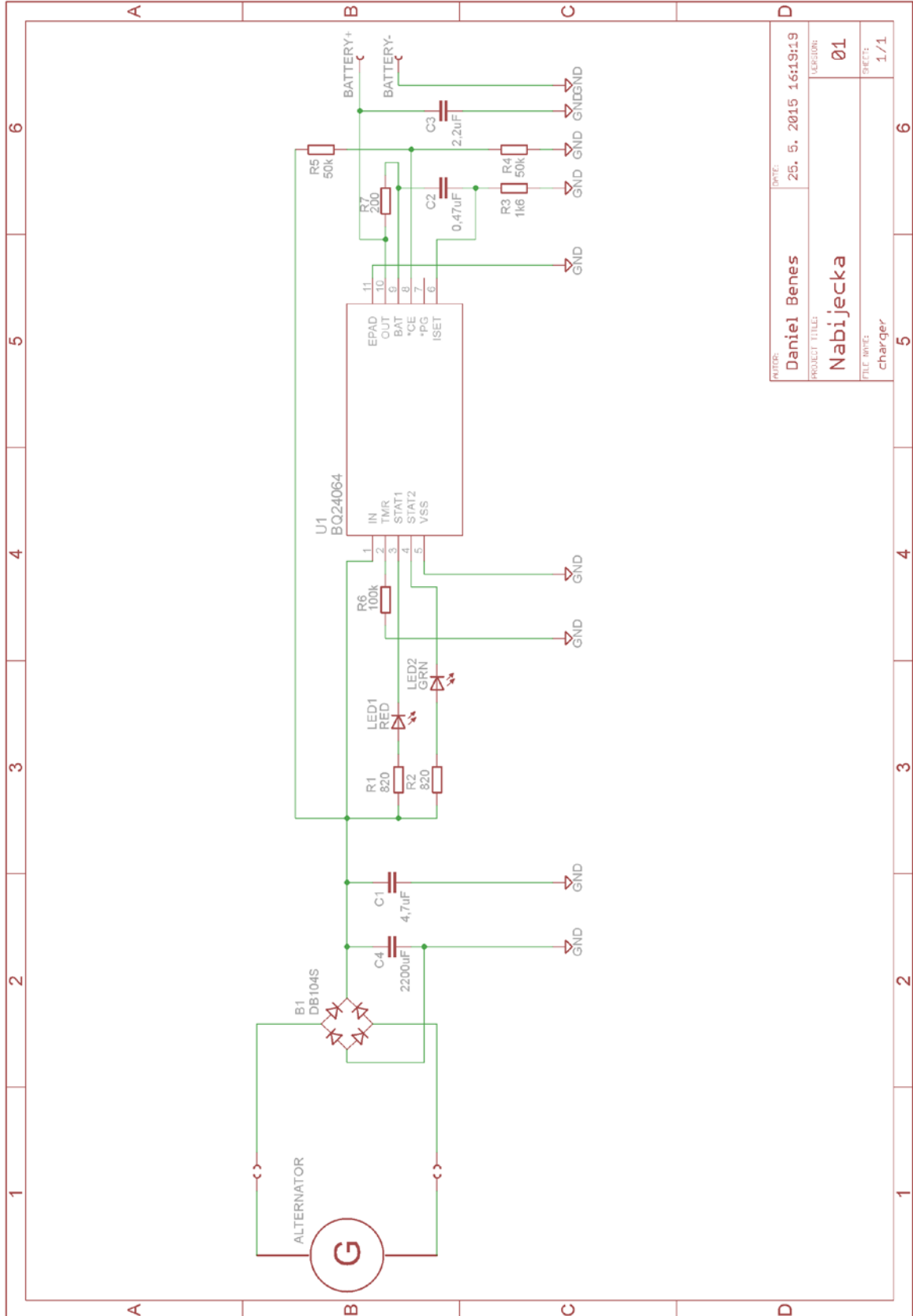
Další možností vylepšení by bylo využití akcelerometru pro detekci brždění a tedy použití zadní blikačky jakožto brzdového světla, což by jistě přispělo k bezpečnosti cyklisty.

Použitá literatura

- [1] Technické požadavky jízdních kol. *TSK-Praha* [online]. 11. března 2014 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://www.tsk-praha.cz/wps/wcm/connect/www.tsk-praha.cz20642/b7f4740e-e868-4e0b-abce-a8ab0c77a2dc/Technicke_pozadavky_jizdnich_kol.docx?MOD=AJPERES
- [2] Features. *SEE.SENSE*. [online]. 2014 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://seesense.co/features>
- [3] Marconi. Skoro vše o akumulátorech a nabíjení. *Motola* [online]. 20. prosince 2008 [cit. 2015-05-28]. Dostupné z: http://www.motola.cz/UserFiles/Diskuzni_clanky/akumulatory.pdf
- [4] Figure-1-Energy-Density-Chart_sm. *The Data Center Journal*. [online]. Duben 2015 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: http://www.datacenterjournal.com/wp-content/uploads/2015/04/Figure-1-Energy-Density-Chart_sm.jpg
- [5] Cree Xlamp LEDs. *Cree Inc.* [online]. 2014 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.cree.com/LED-Components-and-Modules/Products/XLamp>
- [6] BQ24064 | Battery Charger Solutions | Battery Management Products | Description & parametrics. *Analog, Embedded Processing, Semiconductor Company, Texas Instruments - TI.com* [online]. 2014 [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: <http://www.ti.com/product/bq24064>
- [7] ATmega48A, ATmega48PA, ATmega88A, ATmega88PA, ATmega168A, ATmega1688PA, ATmega328, ATmega328P datasheet. *Atmel Corporation - Microcontrollers, 32-bit, and touch solutions* [online]. únor 2013 [cit. 2015-03-19]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc8161.pdf>

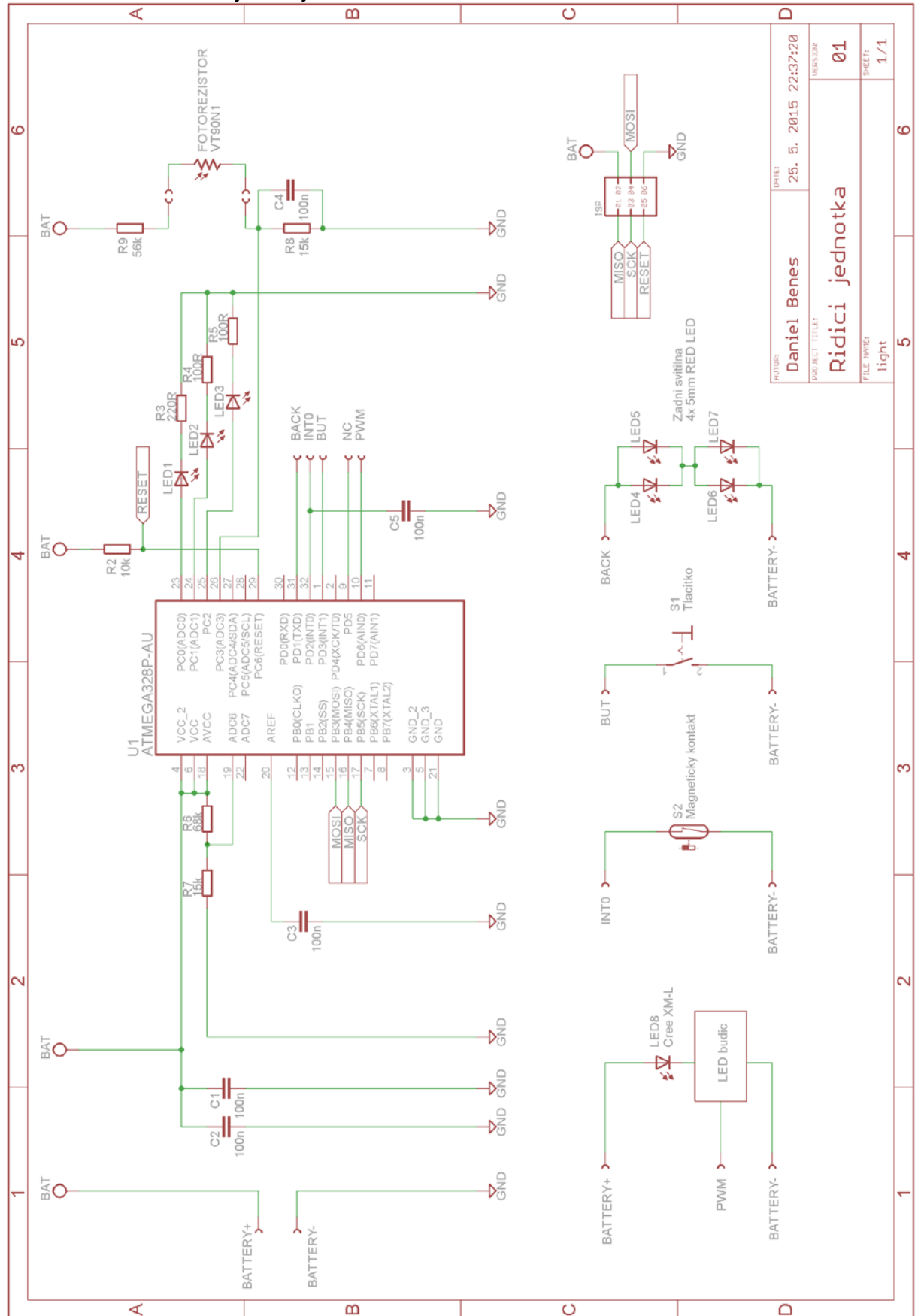
Přílohy

Příloha A – Schéma nabíjecího obvodu



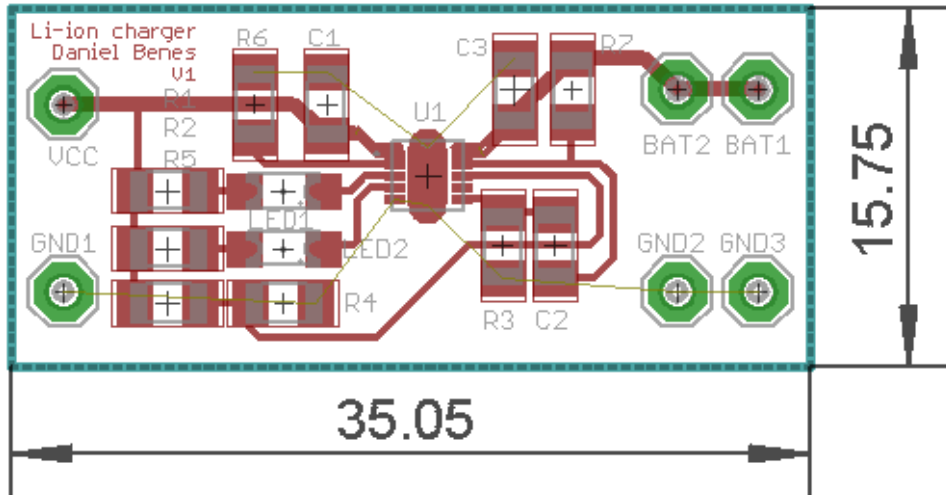
| | | | |
|----------------|--------------|----------|----------------------|
| FILE: | Daniel Benes | DATE: | 25. 5. 2015 16:19:19 |
| PROJECT TITLE: | Nabijacka | | |
| FILE NAME: | charger | VERSION: | 01 |
| | | SHEET: | 1/1 |

Příloha B – schéma řídicí jednotky

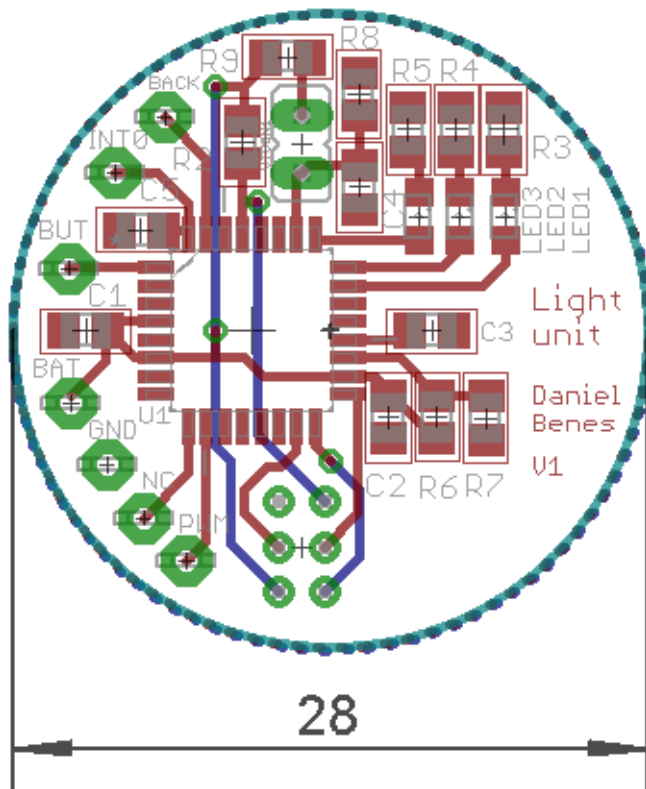


| | | | |
|----------------|-----------------|----------|--|
| PROJECT TITLE: | Ridici jednotka | | |
| FILE NAME: | light | | |
| DATE: | 25. 5. 2015 | 22:37:20 | |
| VERSION: | 01 | | |
| SHEET: | 1/1 | | |

Příloha C - Deska plošných spojů nabíječky, měřítko 3:1



Příloha D – Deska plošných spojů řídicí jednotky, měřítko 3:1



Příloha E – Fotografie kompletního systému osvětlení



Příloha F – CD s programem pro řídicí jednotku a výrobními podklady plošných spojů (Eagle)