



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

INTELIGENTNÍ CYKLOBLIKAČ

SMART CYCLING FLASHER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Pavel Dytrych

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Daniel Zuth, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky
Student: **Pavel Dytrych**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Aplikovaná informatika a řízení
Vedoucí práce: **Ing. Daniel Zuth, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Inteligentní cykloblikač

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat modernizací standardního cykloblikače, která spočívá v přidání inteligentní jednotky a MEMS snímače. Řídící jednotka bude realizována 8bitovým mikrokontrolérem. Práce je součástí projektu Aplikovaná informatika a řízení FSI-S-14-2533

Cíle bakalářské práce:

1. Vyberte vhodný 8bitový mikrokontrolér
2. Vyberte vhodný MEMS snímač
3. Vyberte vhodný cykloblikač pro modernizaci
4. Aplikujte následující vlastnosti :
 - a) Start/stop cykloblikače bude realizován na základě pohybu a okolního osvětlení
 - b) Spínat brzdové světlo na základě detekce zrychlení

Seznam literatury:

Matoušek, D. (2010): Programování mikrokontrolérů s jádrem 8051 v jazyce C. BEN, Praha.

Matoušek, D. (2006): Práce s mikrokontroléry Atmel AVR. BEN. Praha

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je návrh a výroba inteligentního cykloblikače. Tento cykloblikač je postaven na mikrokontroléru ATmega32 a MEMS akcelerometru s gyroskopem MPU6050. V práci se zabývám návrhem schématu, následnou výrobou desky plošného spoje a vývojem softwaru pro mikrokontrolér.

ABSTRACT

The main goal of this bachelor thesis is propose and create intelligent cycle flasher. This cycle flasher contains microcontroller ATmega32 and MEMS accelerometer with gyroscope MPU6050. In my thesis I am dealing with schematics and printed circuit board proposing, printed circuit board creation and software development.

KLÍČOVÁ SLOVA

mikrokontrolér, gyroskop, akcelerometr, MEMS, blikáč, ATmega32, MPU6050

KEYWORDS

microcontroller, gyroscope, accelerometer, MEMS, flasher, ATmega32, MPU6050

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DYTRYCH, P. Inteligentní cykloblikač. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 33 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Daniel Zuth, Ph.D..

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Danielu Zuthovi, Ph.D, za ochotu a jeho čas při vedení této práce.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Daniela Zutha Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 1.3.2016

.....

Pavel Dytrych

OBSAH

1	ÚVOD	11
2	TEORETICKÝ ROZBOR	13
2.1	Mikrokontroléry ATmega	13
	PWM	14
2.2	14	
2.3	Technologie MEMS	15
2.4	Sběrnice I ² C	15
3	VÝBĚR VHODNÉHO HARDWARU.....	17
3.1	Atmega32	17
3.2	MPU-6050.....	18
3.3	Cykloblikač	19
4	REALIZACE	20
4.1	Vlastnosti cykloblikače	20
4.2	Návrh schématu.....	20
4.3	Návrh DPS	21
4.3.1	Výroba DPS	23
4.4	Program cykloblikače.....	24
4.4.1	Řízení diod	26
4.4.2	MPU-6050.....	26
5	ZÁVĚR.....	26
6	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	27
7	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	28
8	SEZNAM PŘÍLOH	29

1 ÚVOD

V současné době jsou 8-bitové mikrokontroléry, neboli MCU (z anglické Microcontroller unit), jedny z nejrozšířenějších typů mikroprocesorů. Tyto mikrokontroléry se dnes objevují prakticky ve všech sférách lidské činnosti. Vyvinuty byly koncem šedesátých let 20. století a od té doby prošli velkým vývojem až do současné podoby velmi malých integrovaných obvodů s velmi nízkou spotřebou elektrické energie a velkou spolehlivostí. Nové metody výroby integrovaných obvodů umožnili integrovat přímo do mikrokontrolérů mnoho dalších funkcí, díky čemuž se snadno propojují s dalšími periferiemi, což usnadňuje jejich praktické využití.

Tyto vlastnosti, spolu s nízkou cenou, která u nejnižších modelů začíná pod jedním dolarem, zapříčinili jejich velkou oblibu, díky které začali postupně vytlačovat klasické analogové obvody, neboť v řadě aplikací je snazší použít mikrokontrolér než složitý analogový obvod.

Jak již bylo zmíněno, k mikrokontrolérům je možné připojit velké množství dalších integrovaných obvodů, které dále rozšiřují jejich možnosti. V této práci je například použit akcelerometr typu MEMS. Tento akcelerometr kombinovaný s gyroskopem funguje na kapacitním principu a umožňuje sledovat polohu zařízení a jeho zrychlení v reálném čase. Dalšími připojenými periferiemi je v tomto případě několik sad diod, které řídí MCU za pomoci jím generovaného PWM signálu.

Úkolem této bakalářské práce je návrh a výroba inteligentního cykloblikače. Ke splnění tohoto cíle bylo potřeba se seznámit s funkcí a programováním 8-bitových mikrokontrolérů z rodiny AVR od firmy Atmel a dále s metodami snímání zrychlení a polohy.

Samotná práce je pak členěna do dvou částí a to na část teoretickou a část praktickou. V teoretické části se zabývám rešerší na téma nejdůležitějších technologií, které jsou v cykloblikači použity. Praktická část pak popisuje návrh samotného cykloblikače, je zde popsán celý výrobní proces cykloblikače od výběru vhodných součástek a jejich implementaci do schématu a návrhu desky plošného spoje, přes výrobu hardwarové části a následného naprogramování řídicího MCU, za pomoci jedné mnou vytvořené knihovny a dalších mnou zvolených knihoven.

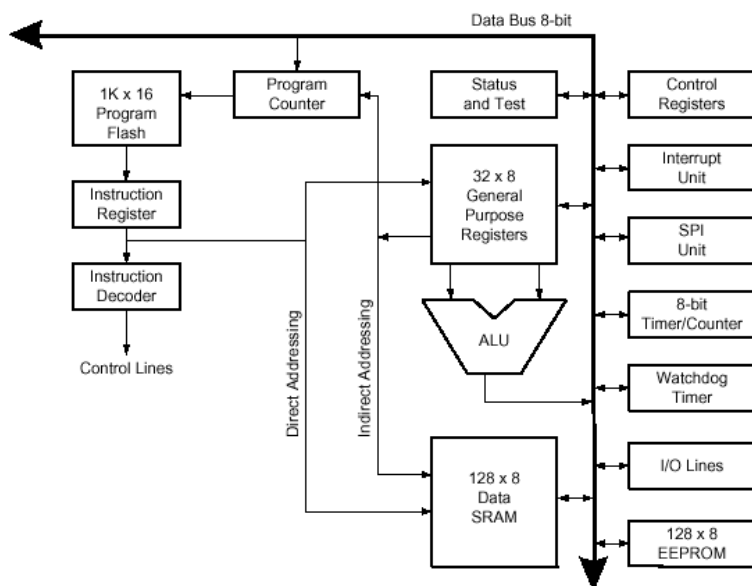
2 TEORETICKÝ ROZBOR

V rámci této kapitoly je uveden rozbor nejdůležitějších technologií použitých při návrhu inteligentního cykloblikače. V kapitole je tak zahrnut popis architektury použitého mikrokontroléru a funkcí použité sběrnice I²C spolu s generováním PWM signálu a rozbor technologie MEMS, kterou je vyroben mnou zvolený akcelerometr.

2.1 Mikrokontroléry ATmega

Mikrokontroléry ATmega patří do rodiny 8-bitových mikrokontrolérů s hardvarskou architekturou, která odděluje programovou a datovou paměť, takže instrukce jsou až na čtyři výjimky, které jsou 32-bitové, 16-bitové, zatímco aritmeticko-logická jednotka (ALU) spolu s pracovními registry a datovou pamětí jsou 8-bitové. Tyto mikrokontroléry obsahují redukovanou instrukční sadu (RISC), která je navržena s ohledem na co největší optimalizovanost a jednoduchost jednotlivých instrukcí. Tyto instrukce jsou hardwarově implementovány přímo v mikrokontroléru, díky čemuž je možné jejich rychlejší provádění a mají vždy stejnou délku, z čehož vyplývá, že doba provádění jedné instrukce trvá pouze jeden pracovní takt.

Jádro mikrokontrolérů ATmega obsahuje 32 8-bitových registrů do kterých lze uložit jak data, tak adresy a posledních šest registrů lze po dvojicích využít jako akumulátor pro nepřímé adresování paměti dat. Dále jsou pak k jádru připojeny další periferie jako je generátor PWM, komunikační sběrnice SPI, I²C a UART, tři druhy pamětí a to paměť typu FLASH pro samotný program mikrokontroléru, paměť typu SRAM pro ukládání dat z registrů a paměť typu EEPROM pro všeobecná data potřebná k chodu programu, watchdog který hlídá, jestli mikrokontrolér stále vykonává program, vstupně výstupní jednotka a jednotka obsluhující externí přerušení. Celkové schéma mikrokontroléru je zobrazen na obr. 1.[1]



Obr. 1) Základní schéma mikrokontroléru [1]

Tyto mikrokontroléry pracují standardně na taktovací frekvenci 1MHz až 16MHz, ale v určitých případech lze mikrokontroléry používat i na mnohem vyšších frekvencích. V laboratorních podmínkách se například povedlo přetaktovat mikrokontrolér Atmega 328 až na frekvenci 65,3MHz [11] a stejně tak je v případě potřeby snížení spotřeby energie možno provozovat tyto mikrokontroléry na frekvencích nižších, než je 1MHz.

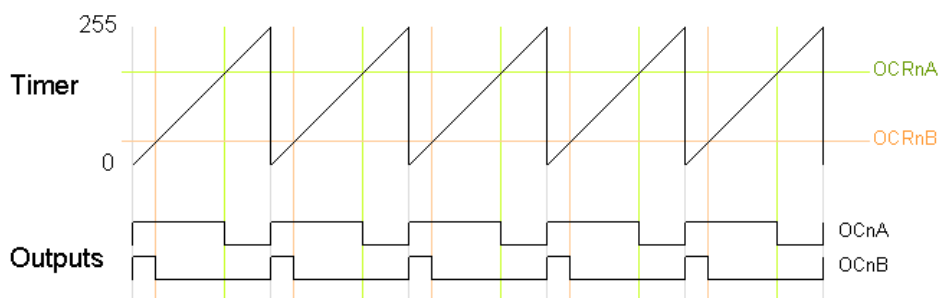
Mikrokontroléry lze programovat v několika programovacích jazycích, nejrozšířenější jsou však dva programovací jazyky a to jazyk symbolických instrukcí, který bývá nesprávně označován jako assembler a jazyk ANSI C. V případě jazyku symbolických instrukcí se jedná se o nízko úrovněvý jazyk skládající se přímo ze strojových instrukcí a vyznačující se především nejlepší optimalizací programu. Vzhledem k této nízké úrovni programování je však jeho použití na rozsáhlé projekty velmi obtížné a tak se mikrokontroléry nejčastěji programují v jazyce ANSI C.. Tento jazyk se oproti jazyku symbolických instrukcí vyznačuje především velkou srozumitelností kódu, ale vzhledem k tomu, že se již jedná o vysokoúrovněvý jazyk, jsou programy psané v tomto jazyce méně optimalizované a mohou tak plýtvat výkonem mikrokontroléru a jeho pamětí.

2.2 PWM

PWM (z anglického Pulse Width Modulation) je typ modulace analogového signálu za pomoci dvouhodnotového signálu. Tato modulace se velmi často využívá pro řízení výkonových zařízení.

Tato modulace je realizována za pomoci přepínání výstupního signálu mezi hodnotami log. 1 a log. 0, a to tak, že poměr mezi stavy log. 1 a log. 0 určuje výslednou velikost výstupního signálu, tento poměr se nazývá střída.

V případě využití PWM u mikrokontrolérů je jako výstupní signál použito napětí a následný výstupní analogový signál má rozsah od 0V do maximální hodnoty napětí na výstupu z mikrokontroléru. U mikrokontroléru je PWM realizováno za pomoci časovače. Pro použití PWM se nejdříve nastaví záchytný bod a následně se iniciuje časovač, který postupně inkrementuje svojí hodnotu. Při iniciaci časovače se na výstupu nastaví log. 1 a ve chvíli, kdy časovač dosáhne hodnoty záchytného bodu, se výstup přepne zpět do stavu log. 0. Tento proces se následně opakuje po celou dobu, kdy je PWM potřebné, časový průběh PWM je zobrazen na obr. 2.[3] Při realizaci je potřeba zohlednit, že výstupní signál je stále diskrétní a případně použít demodulátor, který výsledný signál vyhladí. V případě že výstupní signálem je napětí lze použít LC filtr.



Obr. 2) Obrázek časového průběhu PWM [3]

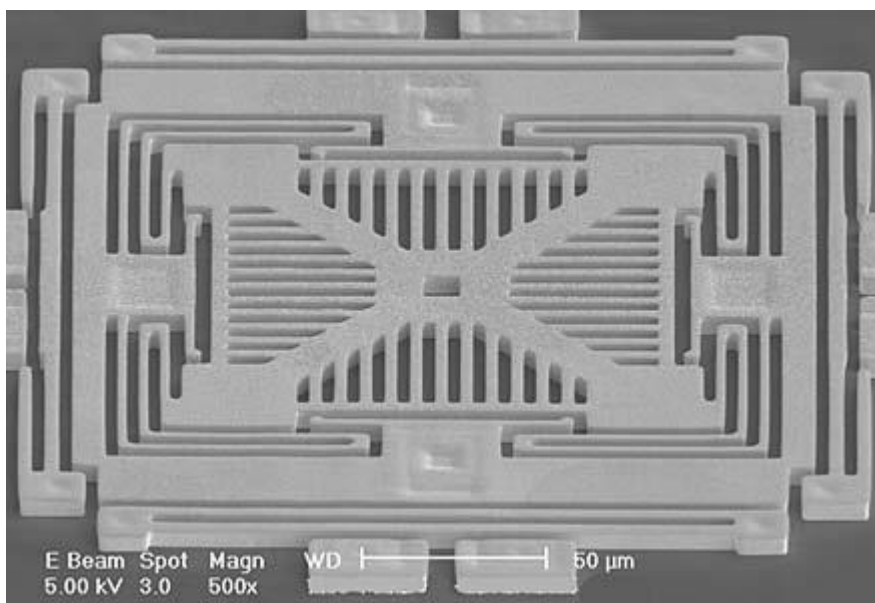
Přesnost PWM je dána rozlišením časovače a frekvencí přepínání mezi stavy. Rozlišení časovače určuje minimální možnou výslednou hodnotu.

Použitá frekvence PWM se určuje zejména v závislosti na aplikaci, kdy například pro řízení intenzity LED diod je nutno vzhledem k jejich malé setrvačnosti použít vyšší frekvenci, zatímco pro řízení například topného tělesa, které má setrvačnost podstatně vyšší, stačí frekvence nižší.

2.3 Technologie MEMS

Technologie MEMS (z anglického Micro Mechanical Electrical System) je technologie umožňující propojení řídicí, regulační a jiné elektroniky s mechanickými částmi v jednom integrovaném obvodu. Díky tomu dosahují MEMS součástky velké miniaturizace, odolnosti, spotřeby elektrické energie a nižší ceny než u běžných součástek, tyto vlastnosti umožňují snazší implementaci těchto součástí do výsledného obvodu.

Elektronické části MEMS součástek se vyrábějí stejnými technologiemi jako běžné integrované obvody, mechanické části jsou pak vyráběny za pomoci technologií jako je například selektivní odleptávání nebo nanášení nových vrstev materiálu na většinou křemíkový substrát, tak aby vznikla požadovaná struktura.[2]



Obr. 3) MEMS struktura akcelerometru [12]

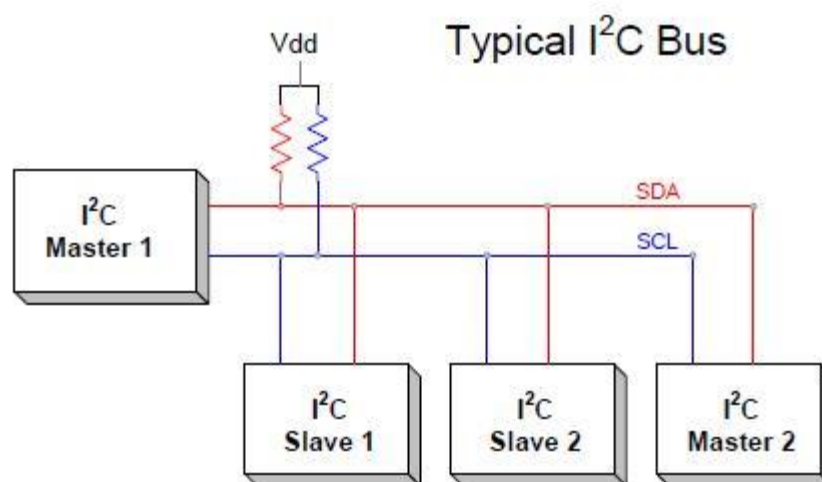
2.4 Sběrnice I²C

Sběrnice I²C (z anglického Internal-Integrated-Circuit BUS) je synchronní, poloduplexní, multimaster sběrnice, původně vyvinutá v osmdesátých letech firmou Philips, v případě mikrokontrolérů firmy Atmel je z licenčních důvodů nazývána TWI (z anglického Two Wire Interface).

Tato sběrnice využívá pro propojení jednotlivých zařízení dva vodiče, a to vodič SDA a SCL. Vodič SDA je datový vodič, který realizuje samotnou výměnu dat a vodič SCL je

synchronizační vodič. Základní verze této sběrnice využívá 7-bitové adresy a umožňuje tak připojit až 128 zařízení, rozšířená verze využívající 10-bitové adresy pak umožňuje připojit až 1024 zařízení na jednu sběrnici, pakliže má každé zařízení odlišnou adresu.

Zařízení připojené k této sběrnici mohou pracovat ve dvou režimech, v režimu MASTER řídí toto zařízení chod na sběrnici a generuje hodinový signál, tento režim mívá zpravidla pouze jedno zařízení, ale vzhledem k tomu, že sběrnice je typu multimaster, tak těchto zařízení může být víc. V režimu typu SLAVE je pak zařízení kontrolováno zařízením v režimu MASTER a na základě jeho pokynů přijímá nebo vysílá daná data, zapojení sběrnice je zobrazeno na obr. 4.

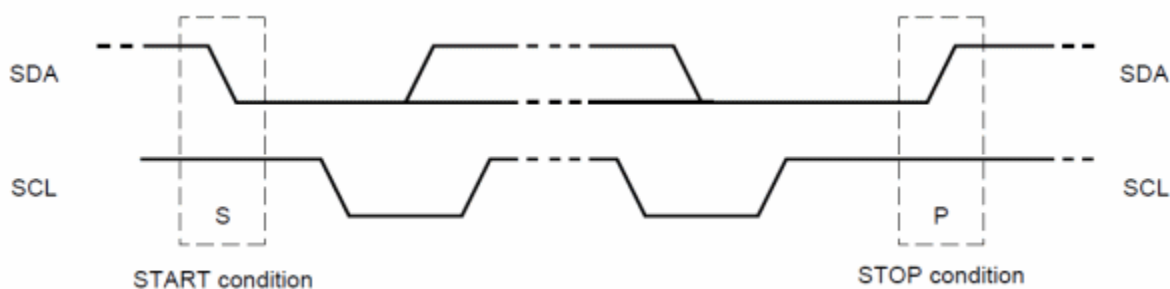


Obr. 4) Schéma zapojení sběrnice I²C [13]

V klidovém stavu jsou vodiče SDA i SCL ve stavu vysoké úrovně a samotný přenos začíná tak, že MASTER zařízení vyšle start bit, kdy se vodič SDA přepne do režimu nízké úrovně a vodič SCL zůstává v režimu vysoké úrovně. Poté MASTER zařízení začíná generovat hodinový signál o dané přenosové frekvenci, která je typicky v rozsahu 100kHz – 400kHz, ale u k tomu uzpůsobených zařízení může dosahovat i 1MHz. Velikost generované frekvence závisí na možnostech zařízení připojených k sběrnici a její maximální hodnota je závislá na zařízení, které má tuto hodnotu nejnižší.

Jak je vidět na obr. 5, přenos dat začíná tak, že MASTER zařízení odešle adresu zařízení, se kterým chce komunikovat tato adresa je doplněna o jeden R/W bit, který určuje, jestli má cílové zařízení data přijímat anebo odesílat. Komunikace pak probíhá po jednom bytu a je realizována za pomoci datového vodiče SDA. Datový vodič s každým pulzem hodinového signálu přenese jeden bit, tak že přepíná mezi režimem vysoké nebo nízké úrovně v závislosti na vysílaných datech. Tato změna může probíhat, pouze pokud je vodič SCL v režimu nízké úrovně. V závěru přenosu se pak odešle potvrzovací bit Ack, který je odeslán stejně jako ostatních osm bitů s tím rozdílem, že je vyslán zařízením které data přijímalo.

Pokud byla data přijata v pořádku, odešle zařízení nulový bit, čímž dává najevo, že je připraveno k dalšímu přenosu, pokud zařízení odešle logickou 1, znamená to, že došlo k přerušení přenosu a pokud zařízení neodešle nic, má dojít k ukončení přenosu. Pokud MASTER zařízení již komunikaci nepotřebuje, je odeslán stop bit, který je realizován tak, že jsou oba vodiče přepnuty do režimu vysoké úrovně.[4]



Obr. 5) Časový průběh komunikace sběrnice I²C [4]

3 VÝBĚR VHODNÉHO HARDWARU

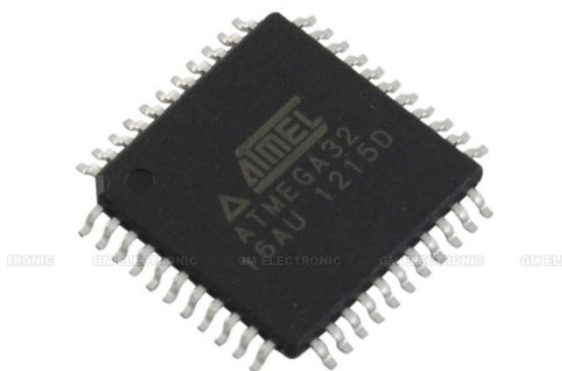
V této kapitole jsou uvedeny mnou vybrané hardwarové prvky určené k realizaci cykloblikače. Do tohoto výčtu jsem zahrnul pouze ty nejdůležitější prvky a to mikrokontrolér, akcelerometr/gyroskop a cykloblikač určený k modernizaci

3.1 Atmega32

Výpočetní jednotka je tvořena pomocí mikrokontroléru ATmega32A-AU, vyrobeným firmou Atmel, jedná se o standardní 8-bitový RISC mikrokontrolér v smd pouzdře. Maximální pracovní frekvence mikrokontroléru je 16MHz, při využití externí oscilátoru. Tento mikrokontrolér se vyznačuje nízkou spotřebou, která činí pouze 0.6mA při využití 1MHz interního oscilátoru a v případě přepnutí do úsporného Power-Down módu je odběr menší než 1μA, napěťový rozsah pro napájení je 2.7V- 5.5V, tento mikroprocesor je zobrazen na obr. 6.

Atmega32A-AU má 1024B paměti EEPROM pro uživatelská data, 2Kb interní SRAM paměti pro proměnné a 32Kb FLASH paměti pro program.

Z hardwarového hlediska vybaven 32 programovatelnými vstupy/výstupy, kde dva mohou sloužit jako externí přerušení, čtyřmi PWM výstupy, dvěma 8-bitovými časovači a jedním 16-bitovým časovačem. Komunikaci mikrokontroléru s okolím obstarávají tyto sběrnice, sběrnice typu I²C která je využita pro připojení gyroskopu, sběrnice typu SPI přes kterou je v tomto případě mikrokontrolér programován a UART která je využita pro účely ladění při vývoji softwaru. Velkou výhodou tohoto mikrokontroléru je jeho velké rozšíření, díky čemuž je dostupné velké množství již napsaných knihoven a snadnější řešení případných problémů.[1]



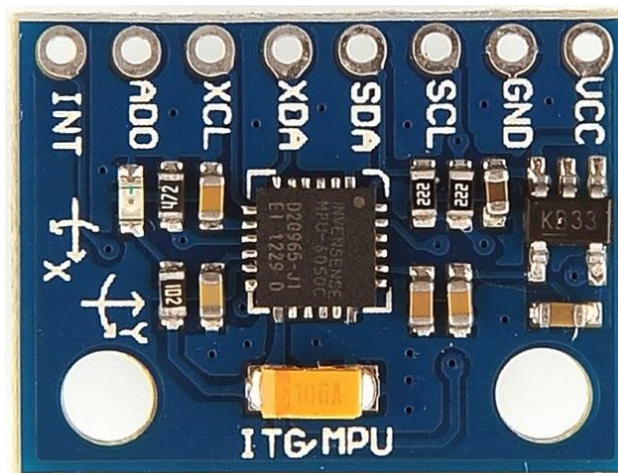
Obr. 6) Atmega32A v pouzdru TQFN [1]

3.2 MPU-6050

Pro zjišťování polohy a zrychlení je použit senzor MPU-6050, což je MEMS senzor kombinující akcelerometr a gyroskop v jednom integrovaném obvodu, vyráběném firmou InvenSense. Akcelerometr i gyroskop fungují na kapacitním principu a jsou schopny snímat polohu a zrychlení ve třech osách v rozsazích, které lze přepínat mezi hodnotami ± 250 , ± 500 , ± 1000 , $\pm 2000^\circ/\text{sec}$ pro gyroskop a ± 2 , ± 4 , ± 8 , $\pm 16\text{g}$ pro akcelerometr. Senzor může být napájen napětím v rozsahu od 2.375V do 3.46V, přičemž spotřeba je 3.6mA a v případě standby módu jen 5 μA . K mikrokontroléru je připojen za pomoci sběrnice I2C.

Přímo v čipu je také přítomen Digital Motion Processor (DMP), který je určen ke konečným výpočtům ze surových dat, čímž šetří výkon mikrokontroléru. Senzor je dále vybaven INT výstupem, který obstarává externí přerušení, případně, že DMP dokončí výpočet nových výsledků.[5]

Vzhledem k tomu, že se tento snímač dodává pouze v pouzdře QFN, které je určeno pro strojové osazování a jeho rozměry jsou 5x5mm, je v konečné realizaci použit již hotový modul, obsahující samotný senzor a stabilizátor napětí. Tento modul je zobrazen na obr. 7.



Obr. 7) Modul MPU-6050 [6]

3.3 Cykloblikač

Poslední důležitou součástí je cykloblikač určený k modernizaci. Vzhledem k tomu, že bylo nutné využít zvláštní modul se senzorem, je DPS celého blikáče v celku rozměrná. Z toho to důvodu bylo nutné vyhledat cykloblikač dostatečných vnitřních rozměrů. Dalším důležitým parametrem bylo, aby cykloblikač měl alespoň tři napájecí baterie zapojené do série a to z důvodu, že diody použité k osvětlení, jsou napájeny přímo z baterií a v případě nižšího počtu baterií by bylo nutné použít step-up měnič.

Tyto podmínky splnil cykloblikač neznámé čínské značky, který je zobrazen na obr. 8. Tento cykloblikač splňuje jak kritérium vnitřních rozměrů, které jsou 6.5x3.5x1cm, tak kritérium tří baterií, které poskytují výstupní napětí 4.8V. Cykloblikač původně obsahoval 12 diod ve třech barvách a jeho součástí bylo také tlačítko, které sloužilo ke spouštění, to v modernizované verzi není využito.



Obr. 8) Cykloblikač určený k modernizaci

4 REALIZACE

Účelem této kapitoly je popsání jednotlivých kroků realizace inteligentního cykloblikače, od vymezení jeho vlastností, přes návrh schématu a DPS až po jeho výrobu, osazení a naprogramování zadaných vlastností.

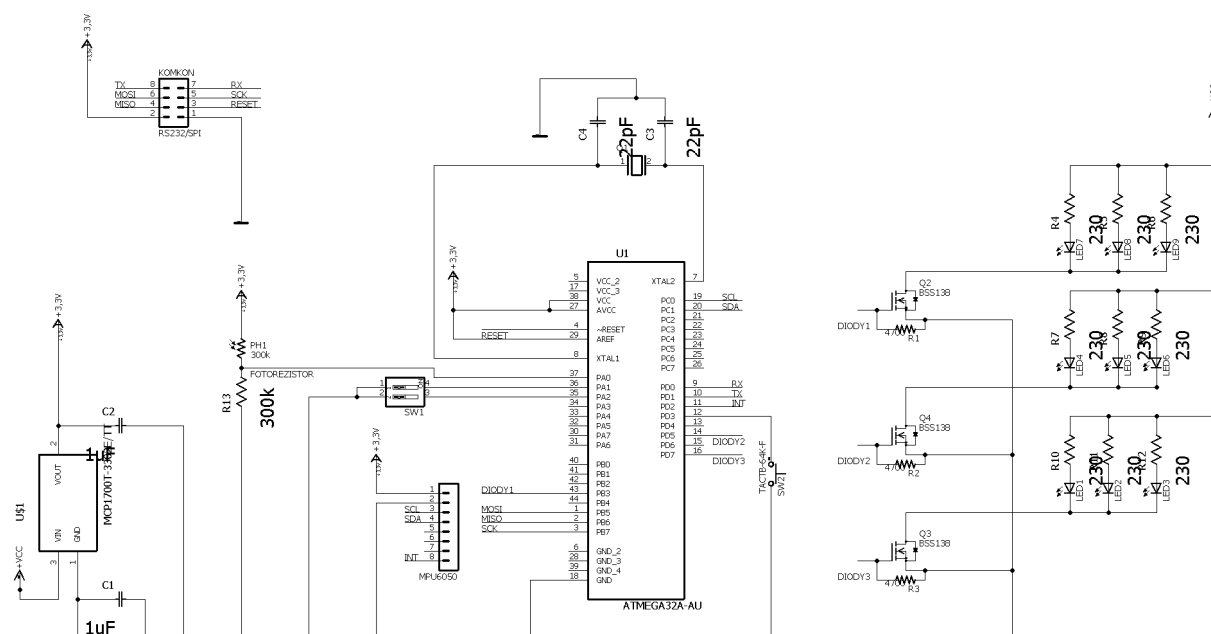
4.1 Vlastnosti cykloblikače

Dle zadání bakalářské práce bylo úkolem implementovat do cykloblikače několik funkcí. Jednou z funkcí byla kontrola intenzity svitu diod na základě intenzity okolního osvětlení.

Úkolem připojeného akcelerometru je pak realizace brzdových světel, které jsou spínány detekcí brzdění neboli záporného zrychlení. Poslední z funkcí je pak detekce pohybu jízdního kola a případně zjištění, že se jízdní kolo nehýbe, dojde k přepnutí mikrokontroléru do úsporného módu. Probuzení je pak realizováno za pomoci integrovaného watchdogu, který každé dvě vteřiny mikrokontrolér uvede do provozu a následně vyhodnotí zdali je blikač v pohybu, pokud ano tak se program přepne pracovního módu, pokud je vyhodnoceno, že kolo v pohybu není, mikrokontrolér se opět přepne do úsporného módu.

4.2 Návrh schématu

Prvotní úkolem ve výrobě inteligentního cykloblikače byl návrh schématu, schéma bylo navrženo ve freeware verzi programu Eagle. Schéma je vyobrazeno na obr. 9 a jako takové obsahuje pět pomyslných částí.



Obr. 9) Schéma cykloblikače

První část je napájení samotného mikrokontroléru, akcelerometru a řídicích prvků cykloblikače. Tato část je realizována za pomoci lineárního stabilizátoru napětí MCP1700T-3302E/TT. Tento stabilizátor stabilizuje napětí na 3.3V, přičemž maximální vstupní napětí je

6V. Maximální proudový odběr z tohoto stabilizátoru je 250mA. Tato hodnota je dostatečně dimenzována, jelikož mikrontrolér i s akcelerometrem má v součtu spotřebu 4,2mA a ostatní součástky lze vzhledem k jejich nízkému odběru zanedbat. V rámci co největší intenzity svitu použitých diod, jsou tyto diody napájeny přímo z baterií cykloblikače.

Druhou část pak tvoří senzor intenzity okolního osvětlení. Ten je realizován jako napěťový dělič, který je tvořen fotorezistorem a rezistorem obojí o odporu 300kΩ. Z tohoto děliče je následně za pomoci ADC převodníku integrovaného v mikrokontroléru snímáno napětí, které se mění v závislosti na intenzitě osvětlení dopadajícího na fotorezistor. Z takto získaných hodnot se následně vypočítá hodnota střidy, která určuje intenzitu svitu diod.

Další částí jsou pak vyvedené konektory a tlačítko s kódovým přepínačem. Vzhledem k tomu že akcelerometr je zde použit ve formě již hotového modulu, je připojen za pomoci standardních oboustranných kolíků, kterých je zde osm. Z těchto osmi vývodů je jich použito pouze pět a to VCC a GND které slouží pro napájení samotného, dále jsou použity vývody SCL a SDA, které slouží k připojení akcelerometru ke sběrnici I²C, posledním použitým vývodem je výstup z akcelerometru s označením INT, který je určen k zaznamenání vnějšího přerušení, vyvolaného akcelerometrem. Dalšími konektory, které jsou vyvedeny, je dvojice pinů sloužících ke komunikaci za pomoci sériové linky a standardní konektor AVR ISP s vyvedenou komunikační sběrnici SPI a externím napájením, tento konektor slouží k účelům programování mikrokontroléru. Konektory AVR ISP a sériové linky jsou zde použity pouze za účelem vývoje programu pro mikrokontrolér a v případě výroby dalšího cykloblikače s již odladěným programem, jsou zbytečné. Kódový přepínač je zde použit v binární verzi tzn., má čtyři možné kombinace nastavení a slouží k nastavení citlivosti akcelerometru. Tlačítko je zde připojeno k vstupu mikrokontroléru, který obstarává externí přerušení INT1 a je určeno k vyvolání přerušení v případě přepnutí kódového přepínače a následnou recalibraci akcelerometru. Kódový přepínač i tlačítko je uzemněno a je zde využito integrovaných pull-up rezistorů, které jsou přítomny v mikrokontroléru.

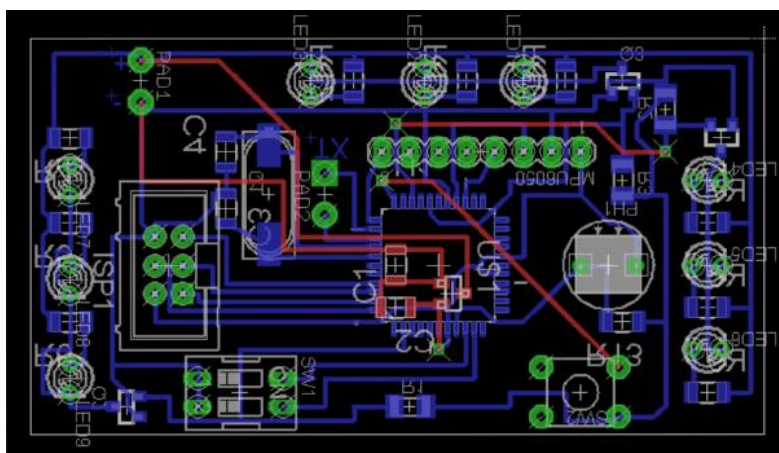
Předposlední částí jsou pak tři sady diody po třech. Tyto diody jsou zde připojeny přímo na napájecí baterie a pracují tak s napětím 4.8V. Vzhledem k tomuto napájecímu napětí a jejich proudovému odběru, který činí cca 390mA pro každou sadu diod, dohromady pak tedy 1080mA, není možné spínat tyto diody přímo pomocí výstupu z mikrokontroléru. Pro spínání je tedy využit tranzistor typu MOSFET a to typ BSS138, který zde slouží jako spínač pro vyšší napětí těchto diod. K řízení intenzity osvětlení diod je zde použit PWM signál a tak, že každá sada diod má svůj vlastní kanál. Diody jsou zde použity ve dvou barvách, dvě sady sloužící k běžnému blikání jsou ve žluté barvě a jedna sada sloužící jako brzdové světlo, je v barvě červené.

Poslední část je pak samotný mikrokontrolér ATmega32, který zde zajišťuje samotný výpočetní výkon. K mikrokontroléru je připojen pouze nejnutnější hardwarový prvek, kterým je externí oscilátor s potřebnými kondenzátory.

4.3 Návrh DPS

Deska plošného spoje (DPS) je zobrazena obr. 10 a návrh desky plošného spoje jsem také provedl ve freeware verzi programu Eagle. Deska plošného spoje je navržena jako oboustranná. Většina součástek je umístěna v jedné vrstvě a na druhé je pak umístěn pouze stabilizátor napětí a součástky nezbytné k jeho chodu. Velikost mnou navrženého plošného

spoje je 6,5cm x 3,5cm, tato velikost byla určena velikostí mnou vybraného cykloblikače určeného k modernizaci.



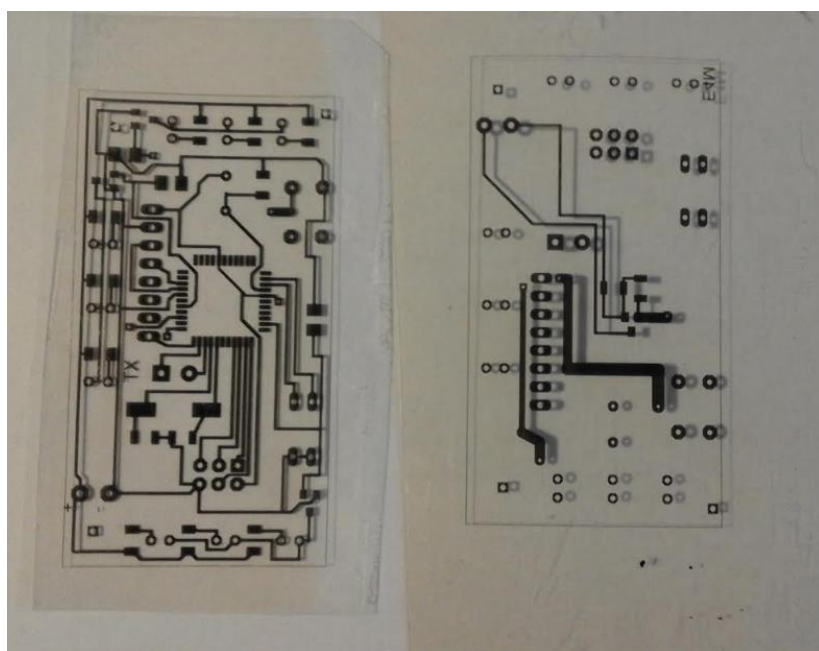
Obr. 10) Návrh desky plošného spoje

Většina mnou použitých součástek je v pouzdrech typu SMD, tedy nevývodových součástek, určených k povrchovému připájení. Vývodové součástky jsou pouze konektory, tlačítka, fotorezistor a diody, které nejsou v pouzdrech typu SMD z důvodu jejich umístění na straně, kde je umístěn akcelerometr. V případě že by byli tyto součástky v pouzdrech typu SMD, museli by z důvodů minimalizace počtu prokůvů, být umístěny na straně druhé, což by se projevilo zvětšením celé desky plošného spoje a ta by se následně nevešla do pouzdra mnou zvoleného cykloblikače, který se modernizuje. V případě fotorezistoru je pak vývodové pouzdro použito zejména z důvodu jeho přesného umístění v cykloblikači, tak aby byl co nejméně rušen svitem diod.

4.3.1 Výroba DPS

Pro výrobu desky plošného spoje jsem zvolil metodu takzvané fotocesty [10] a to zejména z důvodů, že jsem s ní již byl seznámen ze svých předchozích projektů a měl jsem ta k dispozici všechno potřebné vybavení.

Výroba desky plošného spoje touto metodou spočívá ve vytištění předlohy vygenerované programem Eagle na průhlednou fólii a její následné přesvícení za pomoci UV světla na cuprexit s fotocitlivou vrstvou. Z důvodu řádného prosvícení i drobných vodivých cest plošného spoje jsem pro jistotu použil vždy tři vrstvy této šablony pro každou stranu plošného spoje, tyto šablony jsou zobrazeny na obr. 11.



Obr. 11) Šablony vytištěné na průsvitné fólii

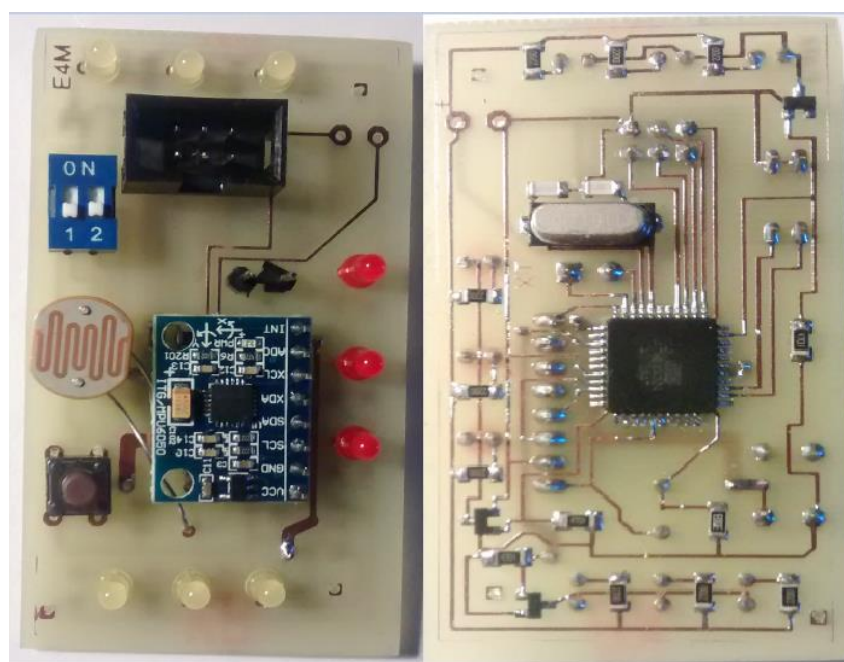
Takto osvětlený cuprexit se následně za pomoci vývojky, která je tvořena 1,5% roztokem hydroxidu sodného vyvolají, čímž se vytvrdí neosvětlený fotocitlivý lak v místech, kde byli na šabloně vyznačené vodivé cesty, neosvětlený lak se při vyvolávání z cuprexitu odplaví do vývojky.

Během osvětlování bylo velmi důležité, aby obě strany byly osvětleny přesně proti sobě, taky aby se při následném vrtání děr, tyto díry vzájemně překrývali. Z tohoto důvodu jsem na desky plošného spoje umístil tři díry navíc a to do každého rohu jednu. Po osvětlení a vyvolání první vrstvy desky plošného spoje, jsem pak tyto tři díry vyvrtal a při přikládání šablony pro druhou vrstvu, jsem tuto šablonu co nejpřesněji přiložil tak, aby díry na šabloně lícovali s těmi již vyvrtanými. Touto metodou jsem dosáhl použitelné přesnosti.

Další fází výroby desky plošného spoje pak bylo její vyleptání a následné vyvrtání děr. To jsem provedl ponořením osvětleného a vyvolaného cuprexitu do roztoku chloridu železitého, který odleptal přebytečnou měď mimo místa s vytvrzeným fotocitlivým lakem. Po

vyleptání jsem za pomoci malé stojanové vrtačky a vrtáků o rozměrech 0,6mm až 1mm vyvrtal potřebné díry.

Posledním krokem bylo osazení desky plošného spoje součástkami. Toto osazení jsem provedl v laboratoři Ing. Daniela Zutha Ph.D. Desku plošného spoje bylo nejdříve potřeba očistit od zbytků laku, to jsem provedl za pomoci acetonu a solviny a následně za pomoci mikropájky desku osadil součástkami jak je vidět na obr. 12.



Obr. 12) Osazený plošný spoj

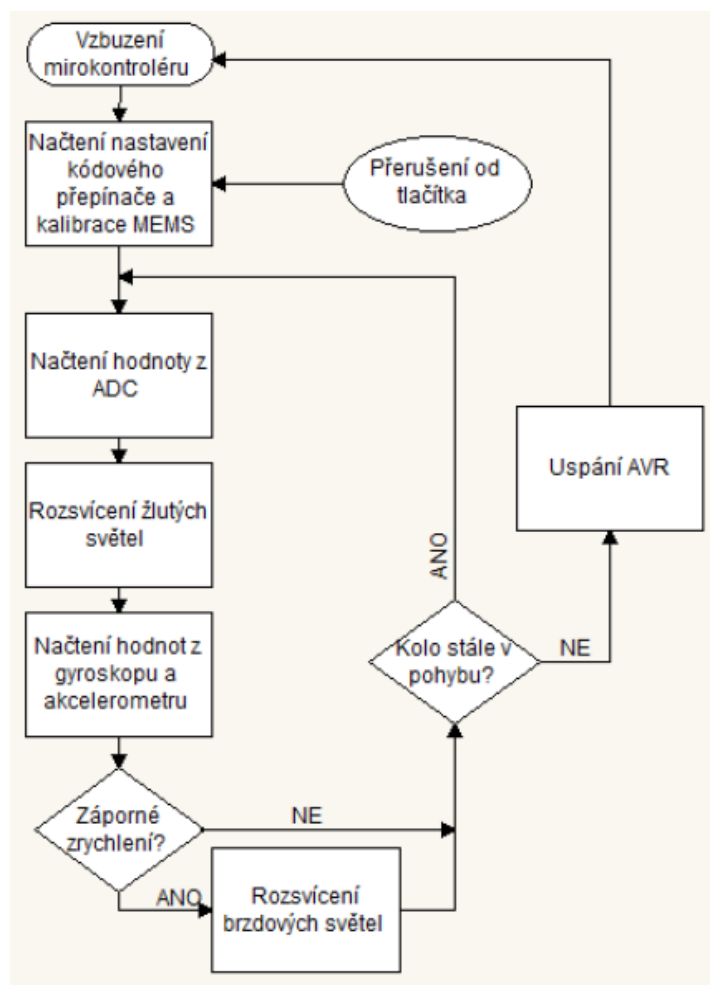
4.4 Program cykloblikače

Poslední fází výroby inteligentního cykloblikače pak bylo jeho naprogramování. K programování jsem zvolil vývojové prostředí Atmel Studio s integrovaným AVRGCC kompilátorem a k samotnému vývoji programu jsem využil programovací jazyk ANSI C.[7] Zkompilovaný program jsem pak následně do mikrokontroléru nahrál za pomoci USBasp [9] programátoru, který k nahrávání programu do mikrokontroléru využívá komunikační sběrnici SPI, která je vyvedena na AVR ISP konektoru, který je na desce plošného spoje přítomen.

Při vývoji programu jsem nevyužíval žádný vývojový kit a program jsem vyvíjel přímo na cykloblikači a následně odladřoval za pomoci sériové linky.

Při vývoji programu jsem vytvořil vlastní knihovnu flasher.c, ve které jsou umístěny nezbytné funkce pro práci mikrokontrolérem, jako je například obsluha PWM výstupů, konfigurace mikrokontroléru a akcelerometru, čtení z ADC převodníku a čtení hodnot z kódového přepínače. Další nezbytnou knihovnou pro správné naprogramování cykloblikače pak byla upravená knihovna pro obsluhu akcelerometru MPU6050.c, kterou napsal Davide Girony [8] a je volně dostupná. Tato knihovna obsahuje také knihovnu pro práci se sběrnici I²C. Jelikož byla tato knihovna původně vyvinuta pro práci s mikrokontrolérem ATmega168, který má odlišné časovače pro práci se sběrnici I²C, bylo nutné knihovnu upravit pro práci s ATmega32.

Program má pak strukturu, která je popsána na vývojovém diagramu, který je vidět na obr. 13.



Obr. 13) Vývojový diagram programu cykloblikače

Samotný běh programu začíná probuzením mikrokontroléru z úsporného režimu, toto vzbuzení vyvolává integrovaný watchdog každé dvě sekundy. Jako první se provede vyhodnocení polohy jízdního kola a to za pomoci dat z akcelerometru, kde se na základě gravitačního zrychlení zjistí poloha jízdního kola, pokud je vyhodnoceno, že se jízdní kolo nepohybuje, přepne se cykloblikač zpět do úsporného režimu, v případě že je vyhodnoceno, že je jízdní kolo v pohybu, provede program načtení hodnot nastavení kódového přepínače a na základě toho nastavení se provede kalibrace rozsahů akcelerometru. Tuto kalibraci lze také později vyvolat stiskem k tomu určeného tlačítka.

Další fází je pak načtení hodnoty intenzity okolního osvětlení, to je provedeno za pomoci ADC převodníku a tato hodnota se následně přepočítá na hodnotu PWM výstupu, který se následně rozsvítí žluté led diody s danou intenzitou, červené diody se rozsvítí s intenzitou menší. Poté program načte hodnoty z akcelerometru a následně pokud je zjištěno záporné zrychlení ve směru jízdy rozsvítí červená brzdová světla s maximální intenzitou.

Poslední fází je pak opět zjištění, zdali je kolo stále v pohybu, pokud je vyhodnoceno, že se jízdní kolo již nepohybuje, přepne se cykloblikač opět do úsporného režimu, v případě, že se jízdní kolo stále pohybuje, vstoupí program do dalšího cyklu

4.4.1 Řízení diod

Jak již bylo zmíněno, pro řízení intenzity svitu diod je využíván PWM výstup. Diody jsou proto připojeny k výstupům mikrokontroléru umožňující PWM využít. Ze schématu na obr. 9 vyplývá, že v mém případě jsou to výstupy PD5, PD7 a PB3.

K obsluze PWM výstupů je použit časovač TCCR1, hodnoty výstupního signálu se pak zapisují do registrů OCR1A pro žluté a OCR1B pro červené diody.[1]

4.4.2 MPU-6050

Obsluha akcelerometru je realizována za pomoci již zmíněné knihovny od Davide Gilronyho a k ní přiložené knihovny obsluhující sběrnici I²C. Z této knihovny jsou využívány funkce `mpu6050_init()`, `mpu6050_getRawData()` a `mpu6050_getConvData()`.

Funkce `mpu6050_init()` slouží k inicializaci akcelerometru. V rámci této funkce se provede inicializace sběrnice I²C a nastavení parametrů akcelerometru jako je na příklad rozsah akcelerometru a gyroskopu, nastavení zdroje hodinového signálu a dále pak třeba k nastavení vzorkovací frekvence akcelerometru.

Funkce `mpu6050_getRawData()` a `mpu6050_getConvData()` pak slouží k samotnému získávání dat z akcelerometru. Funkce `mpu6050_getRawData()` poskytuje pouze surová data z AD převodníků, čehož je využito v případě zjišťování polohy jízdního kola, neboť obsahuje i informaci o gravitačním zrychlení, díky čemuž je možné polohu určit, ale nelze spolehlivě určit, zdali jízdní kolo brzdí, neboť v případě většího náklonu jízdního kola přejde gravitační zrychlení do osy z, díky čemuž může dojít k rozsvícení brzdových světel i v případě, že jízdní kolo nebrzdí. Funkce `mpu6050_getConvData()` pak poskytuje údaje, které jsou již přepočtené na reálné hodnoty zrychlení a náklonu, tato funkce se využívá pro detekci brždění a ze získané hodnoty je výpočtem eliminována složka gravitačního zrychlení. Tato korekce je provedena výpočtem složky gravitačního zrychlení v ose z ze všech os akcelerometru a tato složka je následně odečtena od hodnoty získané z akcelerometru.

Integrovaný výpočetní procesor DMP není v případě cykloblikače využit.

5 ZÁVĚR

Cílem mé bakalářské práce bylo seznámení se s mikrokontroléry z rodiny AVR a obsluhou akcelerometru a na základě získaných poznatků navrhnout a vyrobit inteligentní cykloblikač se zadanými vlastnostmi, které byli spínání cykloblikače za pomoci detekce jízdy, kontrola intenzity svitu diod na základě okolního osvětlení a spínání brzdových světel.

Cykloblikač je realizován za pomoci mikrokontroléru ATmega32 a akcelerometru MPU6050. Mikrokontrolér obstarává získávání dat z akcelerometru za pomoci sběrnice I²C a řídí rozsvěcování diod a intenzitu jejich svitu. Dále pak cykloblikač obsahuje konektor AVR, potřebný k přeprogramování, piny připojené na komunikační sběrnici USART, která slouží k ladění, poslední důležitou součástí je stabilizátor napětí, který upravuje vstupní napětí z baterií na 3.3V, kterými je následně napájen mikrokontrolér a akcelerometr.

Diody jsou spínány za pomoci MOSFET tranzistorů a to vždy ve skupinách po třech diodách, intenzita svitu je pak řízena za pomoci PWM modulace, jejíž střída se určuje

v závislosti na intenzitě okolního osvětlení, které je detekováno fotorezistorem, který je zapojen jako napěťový dělič, napětí na fotorezistoru je pak čteno za pomoci AD převodníku integrovaného v mikrokontroléru. Takto získaná hodnota se následně přepočte na hodnotu PWM signálu.

Program cykloblikače se spouští detekcí polohy jízdního kola, pokud je jízdní kolo ve vzpřímené poloze, je vyhodnoceno jako v pohybu a program přejde do nekonečné smyčky, ve které se nejdříve provede čtení dat z akcelerometru a AD převodníku. Dále se z hodnoty přečtené z AD převodníku rozsvítí žluté diody s danou intenzitou, červené diody jsou rozsvíceny s intenzitou menší, následuje detekce záporného zrychlení ve směru jízdy, a pokud je toho zrychlení detekováno, rozsvítí se brzdová světla s maximální možnou intenzitou. Posledním krokem programu je detekce polohy jízdního kola, a pokud je desetkrát po sobě detekováno, že jízdní kolo není v pohybu, dojde k přepnutí cykloblikače do úsporného režimu. Z tohoto režimu je pak cykloblikač probuzen za pomoci watchdogu integrovaného v mikrokontroléru a to každé dvě vteřiny. Po probuzení se provede detekce polohy jízdního kola, a pokud je vyhodnoceno, že je v poloze, ve které je v pohybu, program pokračuje dál v běhu, jak je popsáno výše, pokud je vyhodnoceno, že jízdní kolo není v pohybu, dojde opět k přepnutí do úsporného režimu. Program také obsahuje funkci na nastavení rozsahů akcelerometru, za pomoci DIP spínače, obsaženého na desce plošného spoje. Celý program má velikost 16kB, což je 50% procent paměti mikrokontroléru, zbývá tedy dost paměti pro případné rozšíření možností cykloblikače.

V případě dalšího vývoje cykloblikače by bylo vhodné upravit funkci pro detekci pohybu, tak aby sledovala zrychlení a polohu ve všech směrech. Tato metoda by však vyžadovala důkladné proměření těchto zrychlení za jízdy a následné sestavení modelu jejich chování během jízdy. Při testování možností použití této metody se však ukázalo, že by bylo nutné najezdit s akcelerometrem a gyroskopem velké množství kilometrů, neboť se jízdní se zrychlení chovají velmi odlišně v závislosti na terénu. Oproti mnou použité metody pouhého snímání polohy jízdního kola, by však byl eliminován problém se špatným vyhodnocováním pohybu, například pokud je jízdní kolo postaveno ve stojanu.

Celý cykloblikač je pak vložen do pouzdra koupeného cykloblikače neznámé čínské značky o rozměrech 6,5cm x 3,5cm, které jsou dány velikostí desky plošného spoje, tato velikost by v případě průmyslové výroby cykloblikače mohla být velmi zmenšena, neboť by bylo možné použít menší pouzdra součástek a nebylo by nutné využít hotový modul s akcelerometrem ale pouze samotný akcelerometr, jehož rozměry jsou značně menší.

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. *8-bit Microcontroller with 32KBytes In-System Programmable Flash ATmega32A* [online]. 2014 [cit. 2015-4-22]. Dostupné z: http://www.atmel.com/Images/Atmel-8155-8-bit-Microcontroller-AVR-ATmega32A_Datasheet.pdf
2. RUSSEL, Kay. *MEMS*. Computerworld [online]. 2007, roč. 41, č. 10, s. 30 [cit. 2015-4-22]. Dostupné z: <http://search.proquest.com.ezproxy.lib.vutbr.cz/docview/216106883/fulltext/36C11F4656A34C14PQ/1?accountid=17115>
3. [online]. 7.5.2016 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.ermicro.com/blog/?p=224>

4. *I2C Bus*. [online]. 7.5.2016 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://i2c.info/i2c-bus-specification>
5. InvenSense. . [online]. 7.5.2016 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://43zrtwysvxb2gf29r5o0athu.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>.
6. [online]. 7.5.2016 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://lessons.julien-drochon.net/arduino-unity-mpu-6050-using-gyroscope-to-control-unity3d/>
7. MATOUŠEK, David. *Práce s mikrokontroléry ATMEEL AVR ATmega16*. 4. díl. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-174-8..
8. GIRONI, Davide. *AVR Atmega MPU6050 gyroscope and accelerometer lib + processing* [online]. 2013 [cit. 2015-4-22]. Dostupné z: http://davigeroni.blogspot.cz/2013/02/avr-atmega-mpu6050-gyroscope-and.html#.VOn-8vmG_fI
9. USBasp – USB programmer for Atmel AVR controllers. *Thomas Fischl*. [online]. 17.5.2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.fischl.de/usbasp/>
10. Výroba DPS fotocestou. *lucass.cz*. [online]. 2013 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.lucass.cz/clanky>
11. Svarichevski Michail: verclocking Arduino with liquid nitrogen cooling. *Svarichevski Michail blog* [online]. [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://3.14.by/en/read/arduino-liquid-nitrogen-overclocking>
12. Sensorsmag.com: New Manufacturing Methodology Substantially Reduces Smart MEMS Costs. *Sensormag.com* [online]. [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://archives.sensormag.com/articles/1203/20/main.shtml>
13. Sensorsmag.com: AN50987 - Getting Started with I2C in PSoC® 1. *Cyberpress* [online]. [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://archives.sensormag.com/articles/1203/20/main.shtml>

7 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1)	Základní schéma mikrokontroléru	13
Obr. 2)	Obrázek časového průběhu PWM	14
Obr. 3)	MEMS struktura akcelerometru	15
Obr. 4)	Schéma zapojení sběrnice I ² C	16
Obr. 5)	Komunikační sběrnice I ² C	17
Obr. 6)	Atmega32A v pouzdru TQFN	18
Obr. 7)	Modul MPU-6050	19
Obr. 8)	Cykloblikač určený k modernizaci	19
Obr. 9)	Schéma cykloblikače	20
Obr. 10)	Návrh desky plošného spoje	22
Obr. 11)	Fotky obou šablon	23
Obr. 12)	Osazený plošný spoj	24
Obr. 13)	Vývojový diagram programu cykloblikače	25

8 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	CD	1. BP – elektronická verze práce 2.DPS - Schéma a výkres DPS v programu EAGLE 3.Program - Program mikrokontroléru v programu Atmel Studio 7
-----------	----	---