

# **Výukový mikropočítačový modul: elektronický kompas**

Diana Bátorlová



## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Diana Bátorlová**

Osobní číslo: **A13138**

Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**

Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**

Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Výukový mikropočítačový modul: elektronický kompas**

Téma anglicky: **An Electronic Compass Educational Microcontroller Module**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši na dané téma.
2. Provedte hardwarový návrh mikropočítačové jednotky elektronického kompasu.
3. Realizujte mikropočítačový řídicí modul a ověřte jeho funkci.
4. Vytvořte programové vybavení elektronického kompasu.
5. Vypracujte výukovou prezentaci k použitému magnetometru.

Rozsah bakalářské práce: -  
Rozsah příloh: -  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

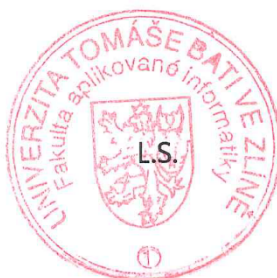
**Seznam odborné literatury:**

1. **FREESCALE SEMICONDUCTOR. CPU08 Central Processor Unit Reference Manual** [online]. 2001 [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: <http://www.nxp.com>
2. **FREESCALE SEMICONDUCTOR. HCS08 Family Reference Manual, Rev.1.** [online]. 2003 [cit. 2015-01-27]. Dostupné z: <http://www.nxp.com>
3. **FREESCALE SEMICONDUCTOR. MC9S08QE8 Series Data Sheet: Technical Data, Rev. 8.** [online]. 2011 [cit. 2015-01-27]. Dostupné z: <http://www.nxp.com>
4. **HONEYWELL. 3-Axis Digital Compass IC HMC5883L Advanced Information, Rev. E.** [online]. 2013 [cit. 2015-01-27]. Dostupné z: <http://www.magneticsensors.com>
5. **JURÁNEK, Antonín a Miroslav HRABOVSKÝ. EAGLE pro začátečníky /: uživatelská a referenční příručka :. 2. vydání. Praha: BEN – technická literatura, 2007, 191 s. ISBN 80-730-0213-2**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Dostálek, Ph.D.**  
Ústav automatizace a řídicí techniky  
Datum zadání bakalářské práce: **19. února 2016**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2016**

Ve Zlíně dne 19. února 2016

  
doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.  
*děkan*



  
prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*ředitel ústavu*

### Prohlašuji, že

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

### Prohlašuji,

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

Ve Zlíně, dne

23.5.2016

.....  
podpis diplomanta

## **ABSTRAKT**

Cílem bakalářské práce je vytvořit pro výukové účely mikropočítačový modul elektronického kompasu, který využívá magnetometr HMC5883L jehož výstupem jsou tři složky vektoru magnetické indukce. V teoretické části jsou popsány základní vlastnosti magnetometru, jaké technologie využívá a jak komunikuje s mikropočítačem. Praktická část je zaměřena na navrhování schématu, desky plošného spoje a nakonec programování modulu.

Klíčová slova: elektronický kompas, magnetometr, I2C rozhraní, mikropočítač

## **ABSTRACT**

The aim of the thesis is to create a microcontroller module of electronic compass, utilizing a magnetometer HMC5883L, whose output includes three vector components of the magnetic induction. Module will be used for educational purposes. The theoretical part describes the basic properties of the magnetometer, technology and how magnetometer communicates with microcontroller. The practical part is focused on design of the schematics, printed circuit board and finally programming of the module.

Keywords: Electronic Compass, Magnetometer, I2C Interface, Microcontroller

Ráda bych chtěla poděkovat panu Ing. Petru Dostálkovi, Ph.D. vedoucímu mé bakalářské práce za jeho ochotu, trpělivost, věnovaný čas a cenné rady, které byly pro mne velkým přínosem při řešení této práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

## OBSAH

<b>ÚVOD.....</b>	<b>8</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>9</b>
<b>1 MAGNETICKÉ POLE ZEMĚ .....</b>	<b>10</b>
<b>2 VEKTOROVÉ SENZORY MAGNETICKÉHO POLE .....</b>	<b>12</b>
2.1 HALLOVA SONDA .....	12
2.2 SONDY TYPU FLUXGATE .....	12
2.3 FEROMAGNETICKÉ MAGNETOREZISTORY .....	12
2.3.1 ARM senzory .....	12
2.3.2 GMR senzory .....	13
2.3.3 TMR senzory .....	13
<b>3 MIKROPOČÍTAČ MC9S08QE8 .....</b>	<b>14</b>
3.1 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI.....	14
3.2 BLOKOVÝ DIAGRAM .....	15
<b>4 KOMUNIKAČNÍ ROZHRANÍ I2C .....</b>	<b>16</b>
<b>5 MAGNETOMETR HMC5883L .....</b>	<b>18</b>
5.1 MAGNETICKÁ DEKLINACE .....	19
<b>6 POSUVNÝ REGISTR 74HC164.....</b>	<b>20</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>21</b>
<b>7 BLOKOVÉ SCHÉMA .....</b>	<b>22</b>
<b>8 PROPOJENÍ PINŮ .....</b>	<b>23</b>
<b>9 PROGRAM EAGLE .....</b>	<b>24</b>
9.1 NÁVRH SCHÉMATU .....	24
9.1.1 Návrh součástky v programu EAGLE .....	25
9.2 NÁVRH DESKY PLOŠNÉHO SPOJE.....	25
<b>10 VÝROBA DESKY PLOŠNÉHO SPOJE .....</b>	<b>27</b>
<b>11 PROGRAMOVÁ ČÁST .....</b>	<b>29</b>
11.1 PROGRAMOVACÍ PROSTŘEDÍ CODEWARRIOR .....	29
11.2 POPIS ČINNOSTI PROGRAMU .....	30
11.3 POUŽITÉ KNIHOVNY .....	31
11.4 POUŽITÉ FUNKCE.....	31
<b>12 OVĚŘENÍ FUNKCE KOMPASU .....</b>	<b>32</b>
<b>13 TVORBA VÝUKOVÉ PREZENTACE .....</b>	<b>33</b>
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>34</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>35</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>37</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>39</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>40</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>41</b>

## ÚVOD

Mikropočítač je součástka obvykle v podobě integrovaného obvodu, která lze naprogramovat pro určitou úlohu. Objevují se téměř v každém elektronickém zařízení. Mikropočítač je plně soběstačná jednotka, která obsahuje procesor, paměť, porty a další obvody. Využívá se například v mobilních telefonech, domácích spotřebičích, televizorech, semaforech atd.

Magnetometr je senzor magnetického pole. Často se používá v kombinaci s akcelerometrem, díky kterému lze kontrolovat náklon zařízení. Používají se například v mobilních telefonech, kde je využívají různé aplikace (kompas). Kompas se dříve využíval k orientaci v pouštích nebo při mořeplavbě, ale až na konci 16. století bylo potvrzeno, že je Země velkým magnetem. Magnetické pole se znázorňuje magnetickými indukčními čarami, které vycházejí ze severního pólu a směřují k jižnímu pólu. Střelka kompasu má na různých místech Země odchylku, kterou nazýváme deklinace. Zajímavostí je, že jednou za dlouhou dobu dochází k přepólování Země, během tohoto procesu se mění intenzita magnetického pole.

Bakalářská práce si klade za cíl vytvoření výukového mikropočítačového modulu pro podporu cvičení předmětů „Programování mikropočítačů“ a „Mikropočítače a PLC“. Obsahuje mikropočítač od firmy NXP MC9S08QE8, který komunikuje s magnetometrem HMC5883L prostřednictvím rozhraní I2C.

Magnetometr v každé ose vrací velikost hodnoty magnetické indukce. Využívá k tomu anizotropní magnetorezistivní technologii, která pracuje na principu schopnosti materiálu měnit hodnotu elektrického odporu v závislosti na vnějším magnetickém poli. Místo střelky kompasu je použito 16 LED umístěných po obvodu kruhové desky. Rozsvěcuje se ta, která právě míří na sever. K jejich rozsvěcování se používají dva posuvné registry.

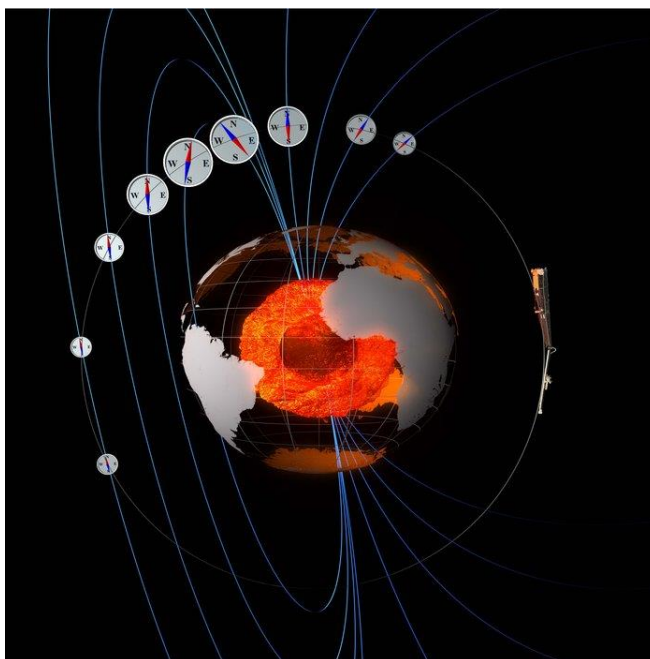
V teoretické části je popsán mikropočítač a jeho základní vlastnosti, magnetometr a komunikace mezi nimi. Posuvné registry. Praktická část se zabývá tvorbou schématu v prostředí EAGLE a tvorbou desky plošného spoje, také obsahuje blokové schéma, výrobu desky včetně pájení. Na závěr je popsáno vývojové prostředí a některé funkce programu.



## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 MAGNETICKÉ POLE ZEMĚ

Již ve starověkém Řecku pozorovali schopnost magnetovce přitahovat železo. První kompas byl vynalezen ve starověké Číně, který představoval kus magnetovce, plovoucí na dřevěné podložce v nádobě s vodou. Magnetické pole se začalo využívat při mořeplavbě jako navigace. Orientace magnetické střelky byla připisována působení hvězdy Polárky nebo magnetických hor, které se měly na severu údajně nacházet. V roce 1600 byla poprvé zmíněna teorie Williamem Gilbertem, že Země je velkým magnetem. Z toho důvodu má severní a jižní pól. Tyto póly nejsou stejné s póly geografickými. V dnešní době víme, že je magnetické pole buzeno dynamovými procesy v kapalném vnějším jádře. [5][7]



Obr. 1: Magnetické pole Země [6]

Každé magnetické pole produkuje magnetizující tok, který znázorňujeme pomocí indukčních čar, které se nikde neprotínají a ukazují v každém bodu směr magnetické síly. Hustotu toku nazýváme magnetickou indukcí. Magnetické pole Země se podobá tyčovému magnetu, který má pro představu velikost indukce přibližně 10 mT a v polárních oblastech je velikost vektoru magnetické indukce asi 60 000 nT. [7]

### Zdroje magnetického pole Země

Kromě geodynama Země, hlavního normálního pole, které se týká vnitřního magnetického pole a je buzeno v jádře, existuje i zbytkové pole, které generují magnetické horniny uložené v zemské kůře. Také pozorujeme i vnější zdroje magnetického pole, kde interakce částic slunečního větru ovlivňuje procesy v ionosféře a magnetosféře. [5]

### Geomagnetické elementy

Určují intenzitu geomagnetického pole

X – složka vektoru směřujícího na sever

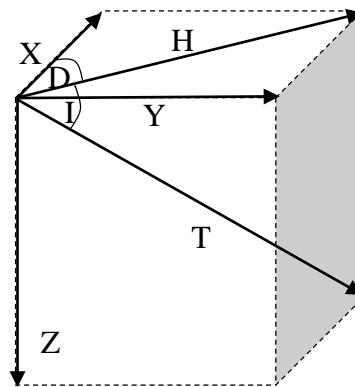
Y – složka vektoru směřujícího na východ

Z – vertikální složka vektoru

H – velikost horizontální složky

D – jedná se o úhel nazvaný magnetická deklinace, svírá úhel mezi horizontální složkou H a složkou směřující k severu

I – jedná se o úhel nazvaný magnetická inklinace, svírá úhel mezi horizontální složkou a celkovou intenzitou T [5]



Obr. 2: Složky vektoru

### Inverze magnetického pole

Díky tomu, že si horniny v sobě uchovávají informaci o směru magnetického pole v době, kdy hornina tuhla, tak se zjistilo, že dochází k přepólování Země přibližně jednou za půl milionů let. Během tohoto procesu intenzita magnetického pole silně poklesne. [7]

## 2 VEKTOROVÉ SENZORY MAGNETICKÉHO POLE

### 2.1 Hallova sonda

Jedná se o senzor využívající Hallova jevu, kdy vzniká napětí na bočních stranách polovodičové destičky o určité tloušťce, kterou prochází proud a je vložena do magnetického pole, přičemž vektor magnetické indukce je kolmý na směr proudu. Výhodou těchto senzorů je to, že neobsahují feromagnetické materiály a díky tomu neovlivňují měřené magnetické pole.

### 2.2 Sondy typu fluxgate

Tento magnetometr má pro každou osu feromagnetické jádro, primární - řídicí a sekundární - měřicí vinutí. Na primární cívku se přivádí střídavé napětí, které ovlivňuje feromagnetické jádro. To způsobuje změny magnetického toku, jejichž vlivem se pak mění indukované napětí na sekundární cívkce. Z tohoto napětí se určuje hodnota magnetického pole. [12]

### 2.3 Feromagnetické magnetorezistory

#### 2.3.1 ARM senzory

ARM (anizotropní magnetorezistence) pracuje na principu schopnosti materiálu měnit hodnotu elektrického odporu v závislosti na vnějším magnetickém poli. Tyto rezistory mají vysokou citlivost. Oproti snímačům využívajících Hallova jevu, které reagují na kolmé magnetické pole, při ARM jevu se mění elektrický odpor velmi tenké vrstvy, která je vložena do podélného magnetického pole. Tato tenká vrstva se skládá ze slitiny železa a niklu, tedy magneticky citlivého materiálu permalloy. Senzory založené na tomto jevu jsou přibližně desetkrát citlivější než Hallovy senzory. Odpor reaguje při velmi nízkých hodnotách indukce magnetického pole v řádech od  $\mu\text{T}$  až  $\text{mT}$ . Čím vyšší je magnetická indukce, tím odpor rychle klesá. Klesne na 2-3 % z jeho původního stavu a poté se měnit přestane.

ARM efekt nerozlišuje severní a jižní pól, protože na směr magnetického pole (směru siločar) není závislý. Při tomto jevu nezáleží jen na intenzitě magnetického pole, ale také na směru pole vzhledem k orientaci snímacího elementu. V klidovém stavu jsou magnetické domény nasměrovány ve směru delší strany elementu. Na velikost odporu i na

protékající proud má vliv směr domén. Domény elementu se natáčí do takového směru, ve kterém působí magnetické pole. Odpor elementu je maximální, když je směr magnetického pole shodný se směrem proudu a minimální v případě, že je směr magnetického pole kolmý na směr proudu. [4]

### **2.3.2 GMR senzory**

Pracují na principu GMR (obří magnetorezistence) jevu, který obdobně jako u ARM jevu pracuje na principu schopnosti materiálu měnit hodnotu elektrického odporu v závislosti na vnějším magnetickém poli. Velikost tohoto odporu při působení magnetického pole se oproti klidovému stavu změní o 10 až 50%. Tento senzor se skládá ze střední vrstvy, která je často měděná, nemagnetická a elektricky vodivá. Tuto vrstvu obklopují vrstvy z feromagnetické slitiny. [11]

### **2.3.3 TMR senzory**

TMR (tunelová magnetorezistence) senzory také pracují na principu schopnosti materiálu měnit hodnotu elektrického odporu v závislosti na vnějším magnetickém poli. Z těchto feromagnetických senzorů má největší změnu odporu při působení magnetického pole, která se liší v porovnání s klidovým stavem o 30 až 70%. Nevýhodou tohoto senzoru je nelineární V-A charakteristika a větší teplotní závislost. Skládá se ze střední vrstvy, která je elektricky nevodivá, kolem které jsou umístěny feromagnetické vrstvy. [11]

### 3 MIKROPOČÍTAČ MC9S08QE8

MC9S08QE8 výrobek firmy NXP (Freescale Semiconductor), jedná se o osmibitový mikropočítač. Používá zdokonalené jádro HCS08. Obsahuje CPU08 (centrální procesorová jednotka) Motorola M68HC08.

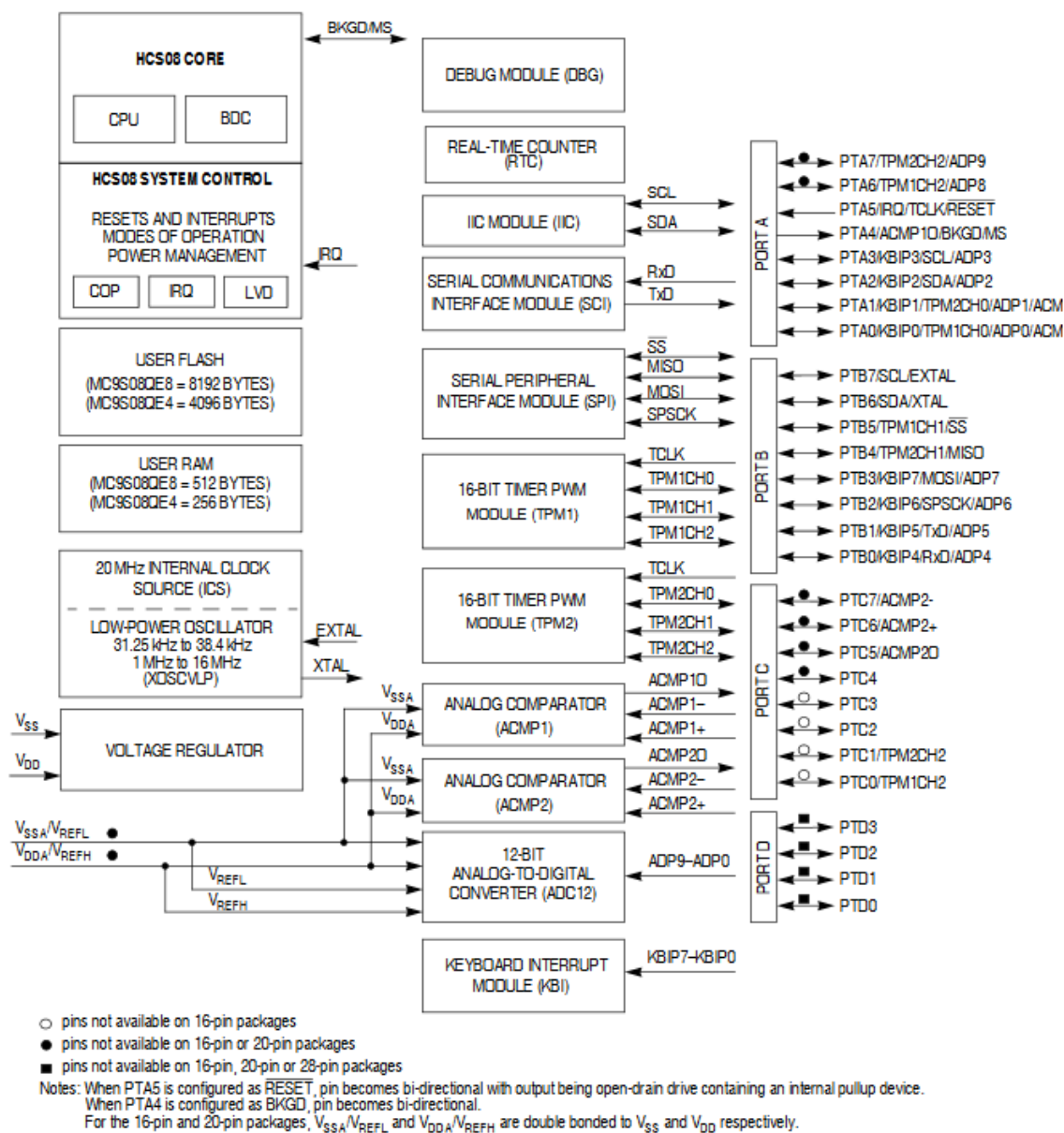
#### 3.1 Základní vlastnosti

- 20 MHz CPU
- 8 kB FLASH paměti
- 512 B RAM paměti (paměť s náhodným přístupem)
- Instrukční sada HC08 s přidanou instrukcí BGND
- Napájení 1,8 V až 3,6 V
- IIC modul
- SPI modul – synchronní sériové periferní rozhraní
- SCI modul – asynchronní sériové komunikační rozhraní
- 2 x 16 bitový TPM modul časovače s funkcí PWM (pulzně šířková modulace)
- 10 kanálový, 12 bitový A/D převodník
- COP watchdog systém
- BDM rozhraní (režim ladění na pozadí) pro pokročilé ladění programu [1]

#### CPU08 programovací model se skládá z:

- 8 bitového akumulátoru
- 16 bitového indexového registru
- 16 bitového ukazatele zásobníku
- 16 bitového programového čítače
- 8 bitového příznakového registru [9]

### 3.2 Blokový diagram



Obr. 3: Blokový diagram MCU [1]

## 4 KOMUNIKAČNÍ ROZHRANÍ I2C

Tuto sériovou sběrnici vyvinula firma Philips. Jedná se o sběrnici propojující zařízení pomocí dvou obousměrných vodičů, která rozděluje připojená zařízení na master a slave. Tato sběrnice je použita při komunikaci mezi magnetometrem HMC5883L a mikropočítačem MC9S08QE8. V tomto případě je MCU (mikropočítač) master, který komunikaci řídí (zahajuje a ukončuje) a generuje hodinový signál. Magnetometr je slave, ze kterého jsou data získávána. Maximální délka sdělení a počet zařízení, která mohou být připojena, jsou omezena maximální kapacitou sběrnice 400 pF. [1]

Jedním z vodičů pro přenos dat je SCL (sériová časovací linka) a druhým je SDA (sériová datová linka). Oba vodiče jsou připojeny ke kladnému napětí pull-up rezistorem.

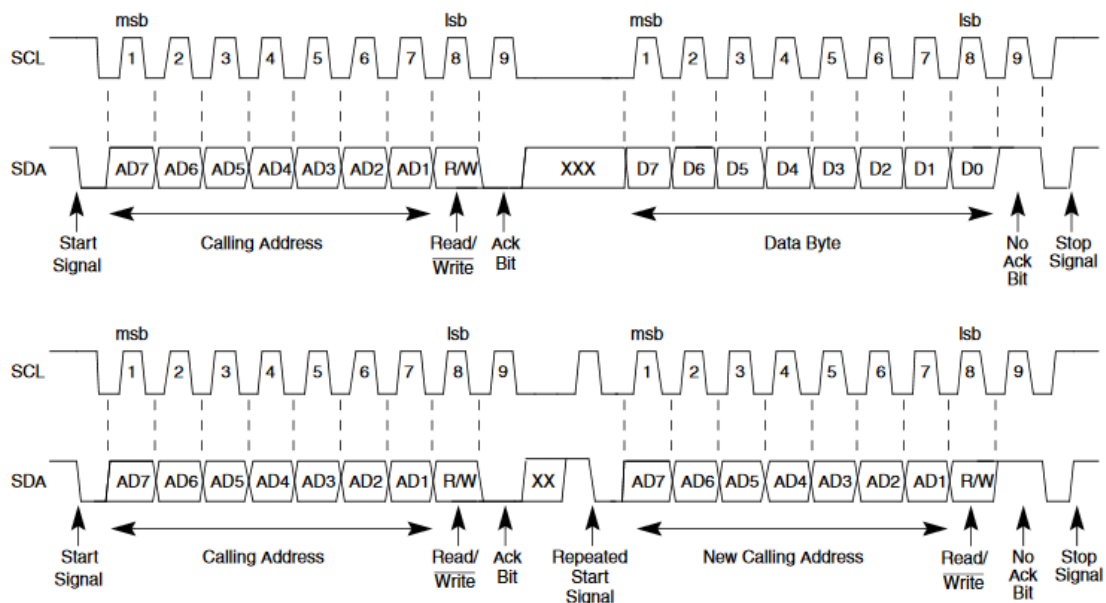
### Vybrané funkce:

- Multi-master provoz
- Generování a detekce signálu START a STOP
- Opakované generování START signálu
- Detekování obsazenosti sběrnice
- Potvrzovací bit generování / detekce [1]

### Standardní komunikace se skládá ze čtyř částí:

- Start signál
- Přenos adresy slave
- Přenos dat
- Stop signál [1]





Obr. 4: Přenosové signály sběrnice [1]

Na obr. č. 4 je znázorněno, že Start signál je definován jako high-to-low přechod, tedy přechod z logické jedničky na nulu na datové lince SDA zatímco časovací linka SCL, je v logické jedničce, jakmile je tato podmínka zachycena následuje vysílání 7 bitové adresy příjemci. Poté se určí čtení/zápis bit a potvrdí se příjem adresy bitem ACK (potvrzení). Vysílací zařízení nastavuje ACK na logickou jedničku a přijímací zařízení potvrzuje přijetí tím, že nastaví datovou linku SDA do logické nuly, poté se posílá byte dat. Nakonec se vyšle bit ACK v logické jedničce a vysílání se ukončí Stop signálem, ten je definován jako low-to-high přechod SDA zatímco SCL je v logické jedničce. [1]

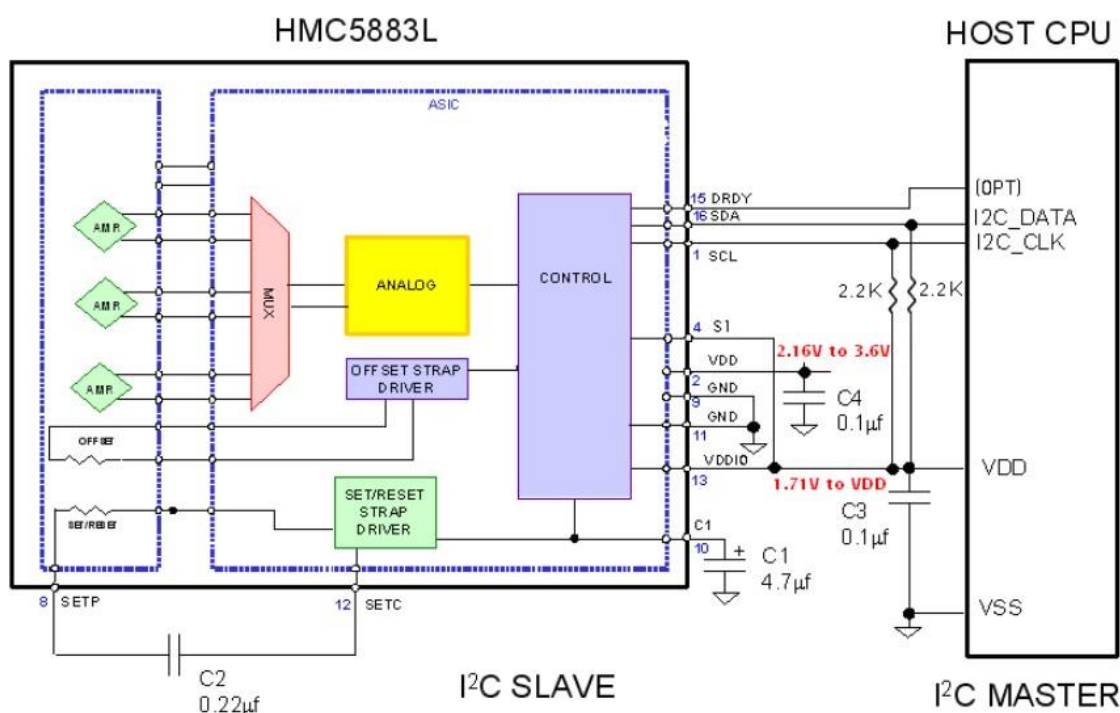
Opakovaný Start signál je Start signál vygenerovaný bez generování Stop signálu k ukončení komunikace. Používá ho master při komunikaci s dalším slavem nebo se stejným slavem v jiném režimu (vysílání / přijímání) bez uvolnění sběrnice. [1]

## 5 MAGNETOMETR HMC5883L

Důležitou součástí elektronického kompasu je magnetometr, je to senzor magnetického pole, který dokáže měřit složku lokálního magnetického pole, jeho výstupem jsou tři složky vektoru magnetické indukce X, Y, Z. HMC5883L využívá ARM technologii, která poskytuje výhodu oproti ostatním technologiím magnetických senzorů. Výhodou jsou malé rozměry a nízký příkon. [2]

### **Základní vlastnosti:**

- Napájení 3,3 V a 5 V
- Pracovní napětí 2,16 V až 3,6 V
- Měřicí rozsah je  $\pm 0,88$  až 8,1 Gauss
- Komunikuje přes rozhraní I2C
- Přesnost  $1^\circ \sim 2^\circ$
- Spotřeba je 2,5 mA [2]



Obr. 5: Blokové schéma magnetometru HMC5883L [2]

## 5.1 Magnetická deklinace

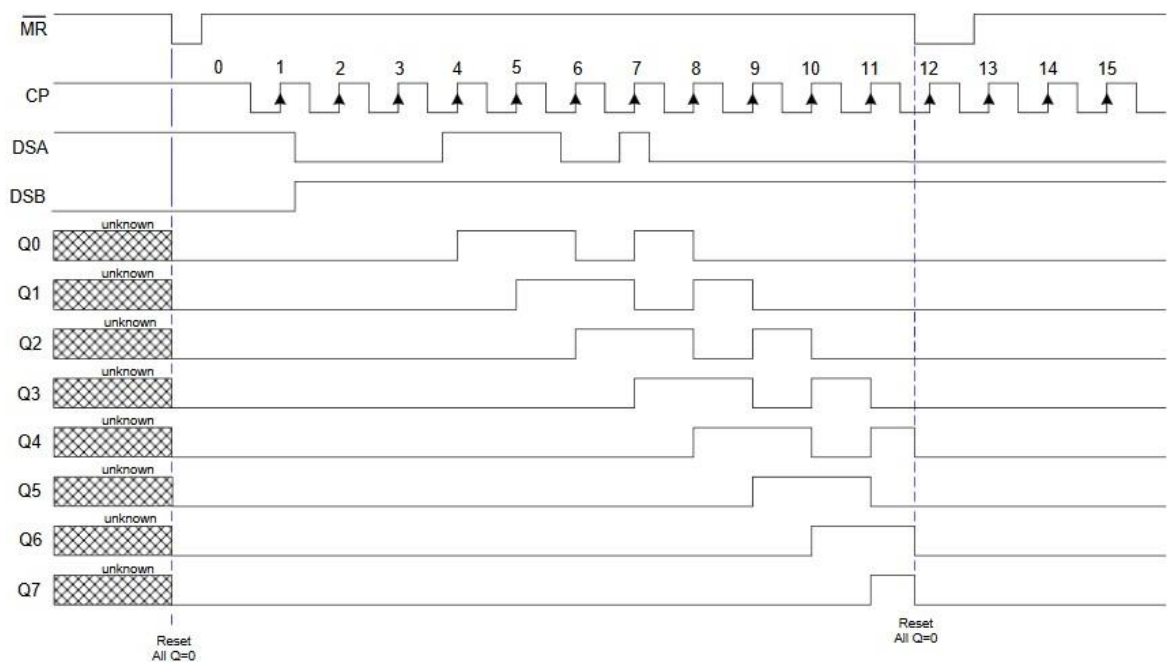
Pro zpřesnění měření je přičtena hodnota magnetické deklinace. Magnetická deklinace je definována jako úhel ve vodorovné rovině mezi magnetickým (směr zemských magnetických siločar) a zeměpisným severním pólem Země (ve směru podél poledníku směrem k zeměpisnému severnímu pólu). Severní magnetický pól se vůči geografickému pólu pomalu pohybuje, tedy se mění s časem, také se tento úhel mění v závislosti na pozici na zemském povrchu. Deklinace je kladná, když je magnetický sever na východ od geografického. Záporná je v případě, když je magnetický sever na západ od geografického severu. Problém je, ale s roční změnou, každý rok se severní magnetický pól přesouvá stále rychleji, přibližně 40 – 50 km za rok. Hodnota deklinace v České Republice je kolem  $4^\circ$ , konkrétně ve Zlíně činí  $+4^\circ 25'$ . [8][10]

## 6 POSUVNÝ REGISTR 74HC164

Jedná se o 8 bitový posuvný registr se sériovým vstupem a paralelním výstupem dat s asynchronním resetem. Data jsou posouvána při náběžné hraně hodinového signálu CP pinu. Sériový vstup je zapsán na pin DSA a DSB, pokud je požadován jeden vstup, tak se piny spojí dohromady. Dále jsou data posouvána ze sériových vstupních pinů na výstupy Q0 až Q7 na každý přechod hodinového pulzu CP z logické 0 na logickou 1, tedy jsou přenášena z každého  $Q_n$  na  $Q_{n+1}$ . Když je MR (Master Reset) pin v logické 0, tak nastaví všechny  $Q_n$  na log. 0 bez ohledu na vstupní podmínky. [3]

### Základní vlastnosti:

- Napájení 2 V až 6 V
- Teplotní rozsah -55°C až 125°C
- CMOS technologie (Doplňující se kov-oxid-polovodič ) [3]



Obr. 6: Časový diagram posuvného registru [3]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

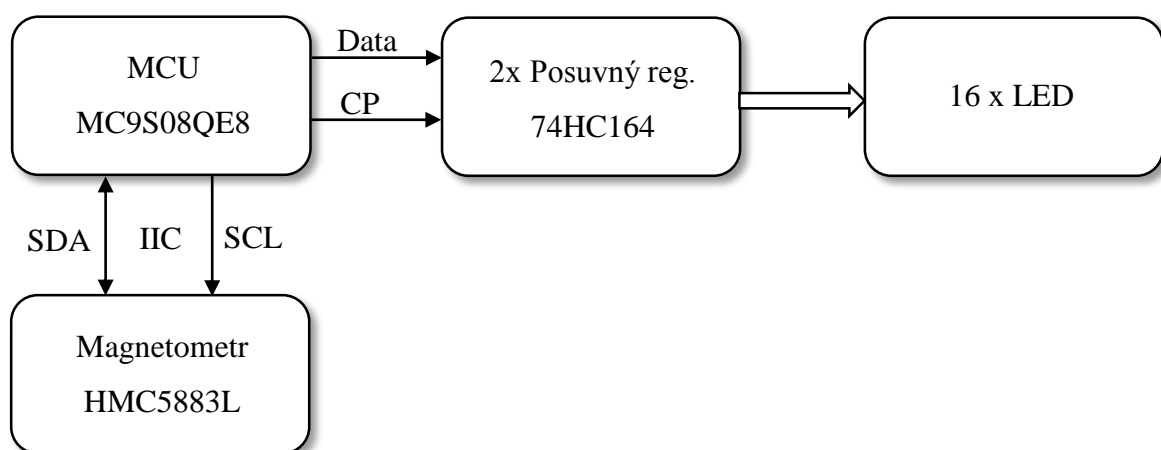
## 7 BLOKOVÉ SCHÉMA

Před vytvořením desky bylo třeba si rozvrhnout, jak kompas bude ovládán. Na obr. 7 je zobrazeno blokové schéma, na kterém lze vidět základní propojení jednotlivých součástí. K napájení modulu je použita baterie CR2032, která má napětí 3 V. Modul lze napájet až 3,3 V např. z programátoru. MCU komunikuje s magnetometrem přes I2C rozhraní, V tomto případě je MCU master a magnetometr slave, takže MCU řídí veškerou komunikaci.

Registry jsou zapojeny kaskádově, tedy poslední pin prvního registru je připojen na data druhého registru. Na všechny výstupní piny obou registrů jsou připojeny LED. Data jsou postupně nasouvána pomocí hodinových pulzů na tyto výstupy.

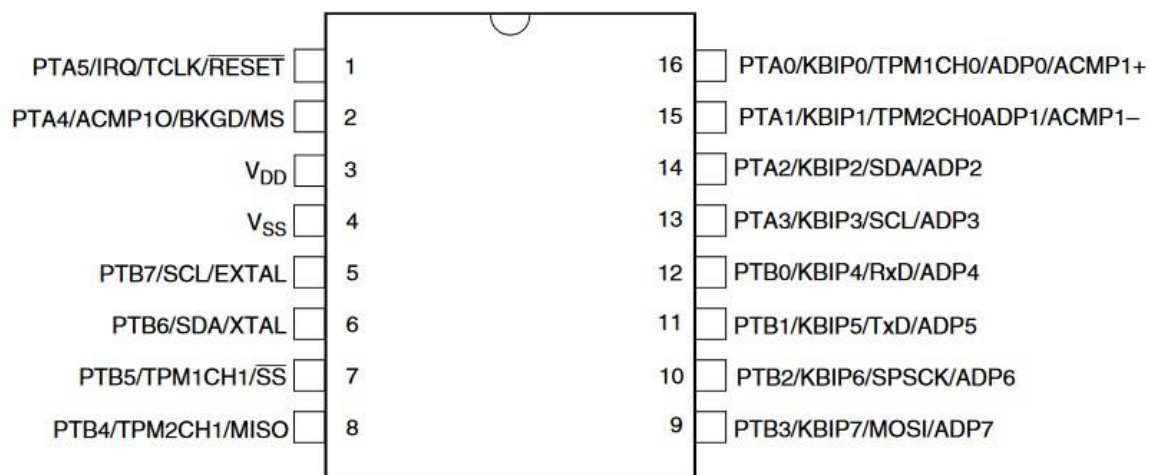
Také bylo využito UART sériové rozhraní (univerzální asynchronní vysílač a přijímač), jedná se o zařízení pro sériovou komunikaci a připojuje se k pinům RxD (vstup přijímaných dat) a TxD (výstup vysílaných dat). Jelikož není při této komunikaci přenášen žádný hodinový signál, tak si musejí oba účastníci komunikace synchronizovat hodiny a také komunikovat stejnou rychlostí.

Mikropočítač také obsahuje BDM rozhraní, které slouží pro ladění programu a programování mikropočítače. Jedná se o nástroj vývojového prostředí, který umožňuje ladit program za podmínek, které napodobují skutečné nastavení systému.



Obr. 7: Blokové schéma zapojení

## 8 PROPOJENÍ PINŮ



Obr. 8: Rozložení pinů MCU MC9S08QE8 [1]

Aby byla možnost komunikace MCU s posuvnými registry přes SPI (sériové periferní rozhraní) byly pro tuto komunikaci použity následující piny: PTB2/SPSCK (hodinový signál) a PTB3/MOSI (Master Out, Slave In).

Tabulka 1: Propojení pinů MCU s magnetometrem a posuvným registrem

MCU MC9S08QE8	Magnetometr HMC5883L	Registr 74HC164
PTB7/SCL	SCL	-
PTB6/SDA	SDA	-
PTB5	DRDY	-
PTB0	-	CLR
PTB2/SPSCK	-	CLK
PTB3/MOSI	-	DATA

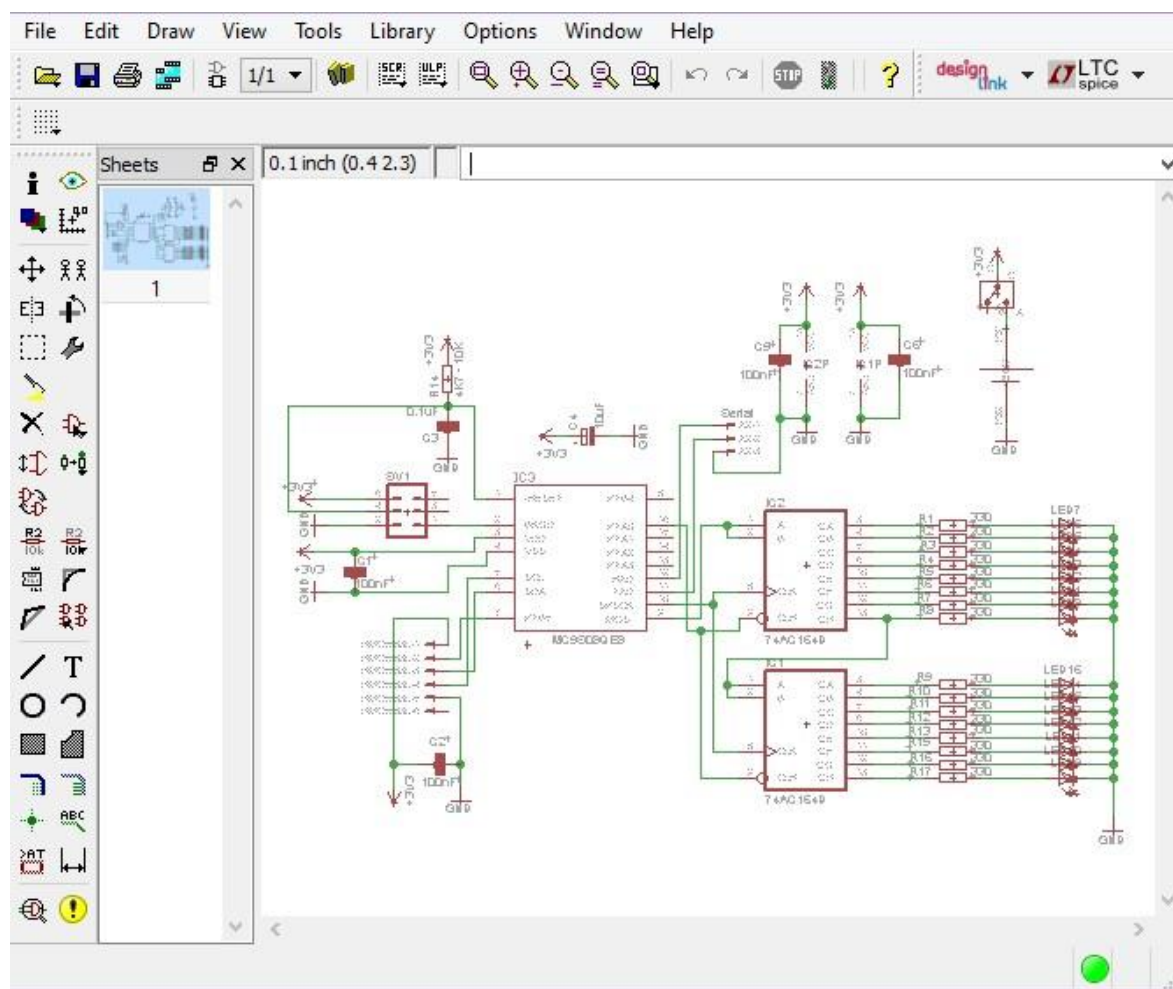
## 9 PROGRAM EAGLE

Pro tvorbu desky plošného spoje byl použit program EAGLE. Obsahuje režim pro tvorbu schémat a pro tvorbu plošných spojů, každý režim obsahuje příslušný panel nástrojů, pomocí kterých je tvořeno schéma a následně deska.

Většina použitých součástek je obsažena v poměrně rozsáhlých knihovnách, ale některé součástky bylo třeba nakreslit ručně a vytvořit vlastní knihovnu, protože nebyly v těchto knihovnách obsaženy.

### 9.1 Návrh schématu

Jako první se vytváří schéma, a poté se pokračuje v tvorbě desky plošného spoje. Schéma elektronického kompasu se skládá z mikropočítače, magnetometru, posuvných registrů, konektorů, červených LED, rezistorů, kondenzátorů a baterie.



Obr. 9: Editor schémat v prostředí programu EAGLE - ukázka



Vlevo se nachází panel nástrojů, kde se nejčastěji využívají tlačítka pro vkládání součástek, kreslení propojení mezi nimi, popisy, posunutí, zrcadlení, rotace a další. Součástky jsou v knihovnách rozděleny podle typu s názvem autora, většina součástek obsahuje základní informace o sobě. Jakmile je schéma dokončené, použije se tlačítko ERC (kontrola elektrických pravidel), díky kterému se zjišťují případné chyby.

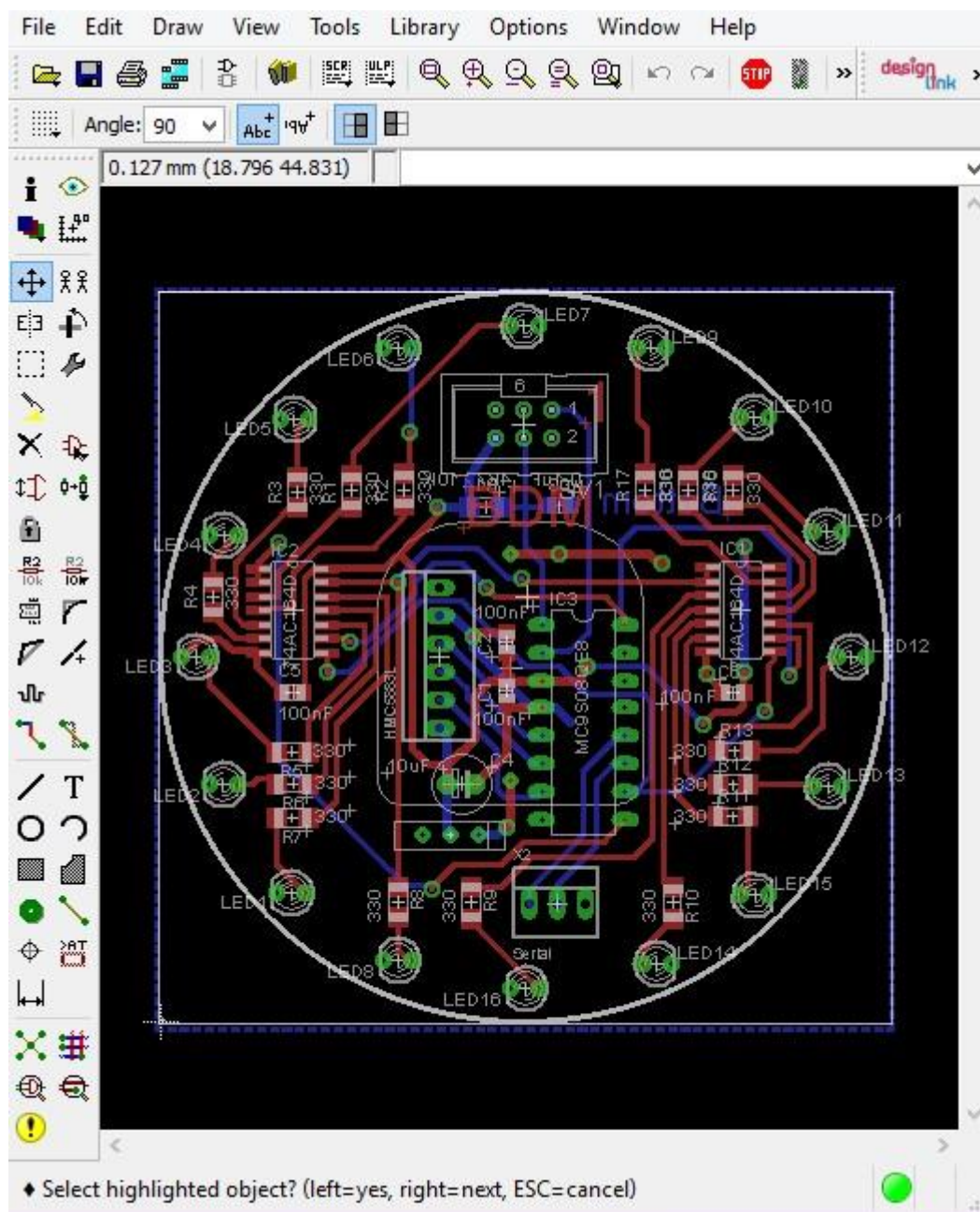
### 9.1.1 Návrh součástky v programu EAGLE

Pokud se požadovaná součástka nenachází v knihovně, kterou EAGLE poskytuje a ani není ke stažení, je třeba ji vytvořit nebo upravit součástku podobného typu. Nejdříve bylo potřeba vytvořit součástku pro mikropočítač, který má typ pouzdra DIP16. Po nalezení knihovny, která obsahovala stejné pouzdro, začaly úpravy. K vytvořené značce bylo třeba nakreslit symbol s požadovanými piny. Jakmile je to hotové, je potřeba ještě tyto piny propojit s pouzdrem. Pro každý z těchto kroků je zvlášť editor, každý z nich se liší svými funkcemi pro tvorbu daného objektu.

Mikropočítač nebyla jediná součástka, kterou bylo třeba vytvořit, další bylo pouzdro na baterii a také spínač. Obě součástky byly přidány do stejné knihovny, ale bylo třeba nakreslit pouzdra přesně podle rozměrů, které byly uvedeny v dokumentaci. Poté se opět nakreslily symboly, které se propojily s vytvořeným pouzdrem. Nakonec byla tato knihovna přidána k ostatním a to pomocí tlačítka na horní liště Use library.

## 9.2 Návrh desky plošného spoje

Návrh desky je dalším krokem po vytvoření schématu. Návrh se provádí v editoru pro tvorbu plošných spojů. Do tohoto editoru se přepíná pomocí tlačítka na horní liště, po jeho stisknutí se do editoru naimportují všechny součástky, které jsou použity ve schématu s naznačením propojení a vedle součástek je omezený prostor, který představuje velikost budoucí desky plošných spojů. Součástky se umístí do této plochy a pak se v ní tvoří cesty buď ze spodní, nebo z vrchní strany desky. EAGLE umožňuje propojení vygenerovat pomocí autorouteru, ale tahle funkce nebyla využita a součástky byly propojeny manuálně. Při tvorbě spojů je třeba dbát na to, aby bylo na desce, co nejméně propojek. Součástky je třeba rozmístit tak, aby se cesty co nejméně křížily, a také lze upravit jejich tloušťku. Po dokončení se opět zkontrolují chyby pomocí tlačítka ERC, které zobrazí okno s chybami a varováními. Nejčastější chybou může být např. vzájemná blízkost pinů a cest.



Obr. 10: Editor pro tvorbu plošných spojů EAGLE- ukázka

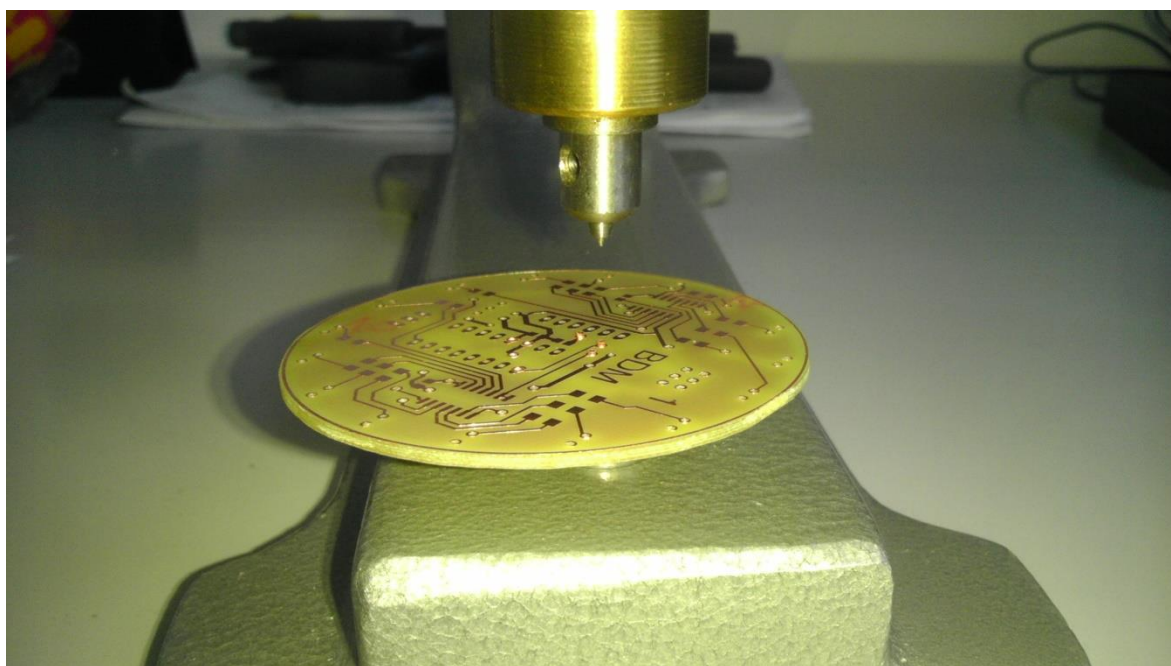
Abychom dokázali rozeznat stranu desky, bylo potřeba přidat na ni text, který je umístěn z obou stran. Všechny součástky, které chceme mít na spodní straně, jsou zrcadleny.

## 10 VÝROBA DESKY PLOŠNÉHO SPOJE

Deska plošného spoje byla vyráběna ve škole. Po vyleptání cest na desku se do ní vrtaly otvory pro vývody pájených součástek. To se provádělo na stolní vrtačce, nejprve se vyvrtaly otvory s průměrem 0,8 mm, pro součástky, které měly vodivou cestu jen z jedné strany. Poté se vrtaly otvory o průměru 1 mm, v tomto případě se jednalo o součástky, které měly vodivou cestu z obou stran, a patřilo do nich vložit ještě průchodku, která tyto cesty propojí.

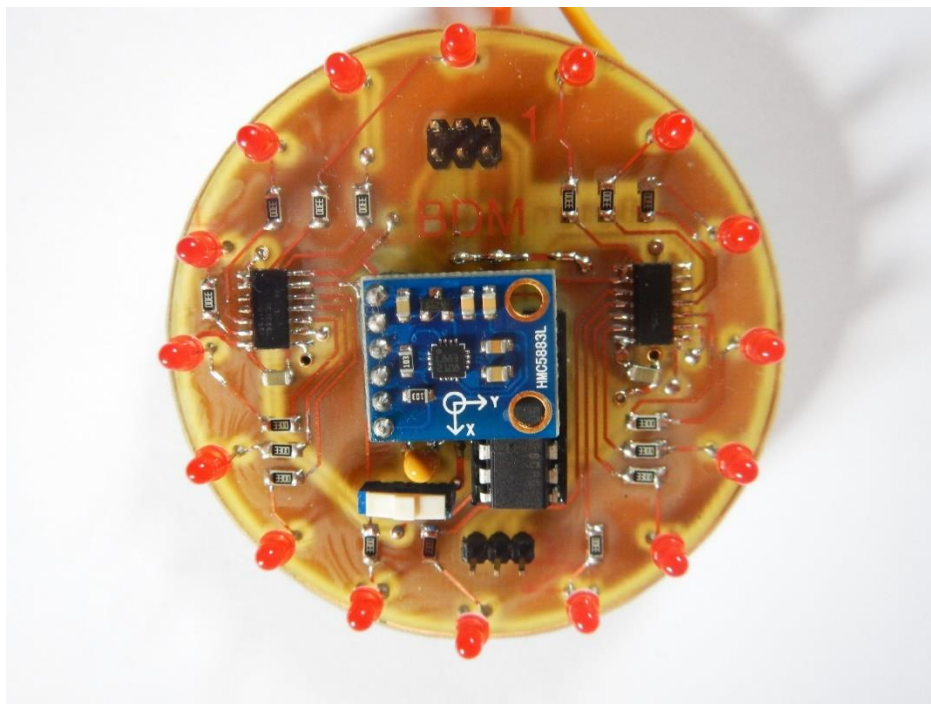
Deska byla vyrobena ve tvaru čtverce, aby vypadala jako kompas, tak se tato deska zbrousila do tvaru kruhu. Toho bylo docíleno pomocí brusného kotoučku, který byl upnut do stolní vrtačky.

V dalším kroku se umístily průchodky, které propojují horní cestu, která pokračuje na spodní straně desky. Na obr. č. 11 lze vidět detail lisovacího nástroje pro upevňování průchodek do připravených otvorů.



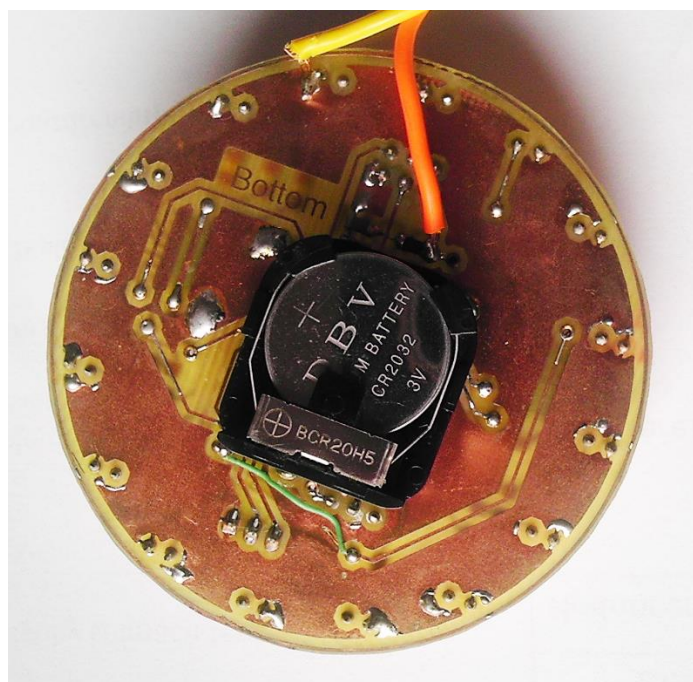
Obr. 11: Proces vsazování průchodek do desky plošného spoje

Po umístění průchodek bylo možné přejít k pájení. Pro jistotu byly všechny průchodky připájeny k cestám z obou stran. Dále se pájely SMD součástky, na ty nejmenší součástky bylo využito horkovzdušné pájení, nakonec se pájely ostatní součástky.



Obr. 12: Hotový modul

Na obr. č. 12 je vidět fotografie hotového všemi součástkami osazeného modulu a na obr. č. 13 je fotografie zadní strany elektronického kompasu. Vodiče vedoucí z horní oblasti kompasu budou po dokončení odstraněny, sloužily pouze pro účel napájení modulu z externího zdroje při jeho programování, aby se nevybíjela baterie. Poloměr desky je 33 mm.



Obr. 13: Zadní strana hotového modulu

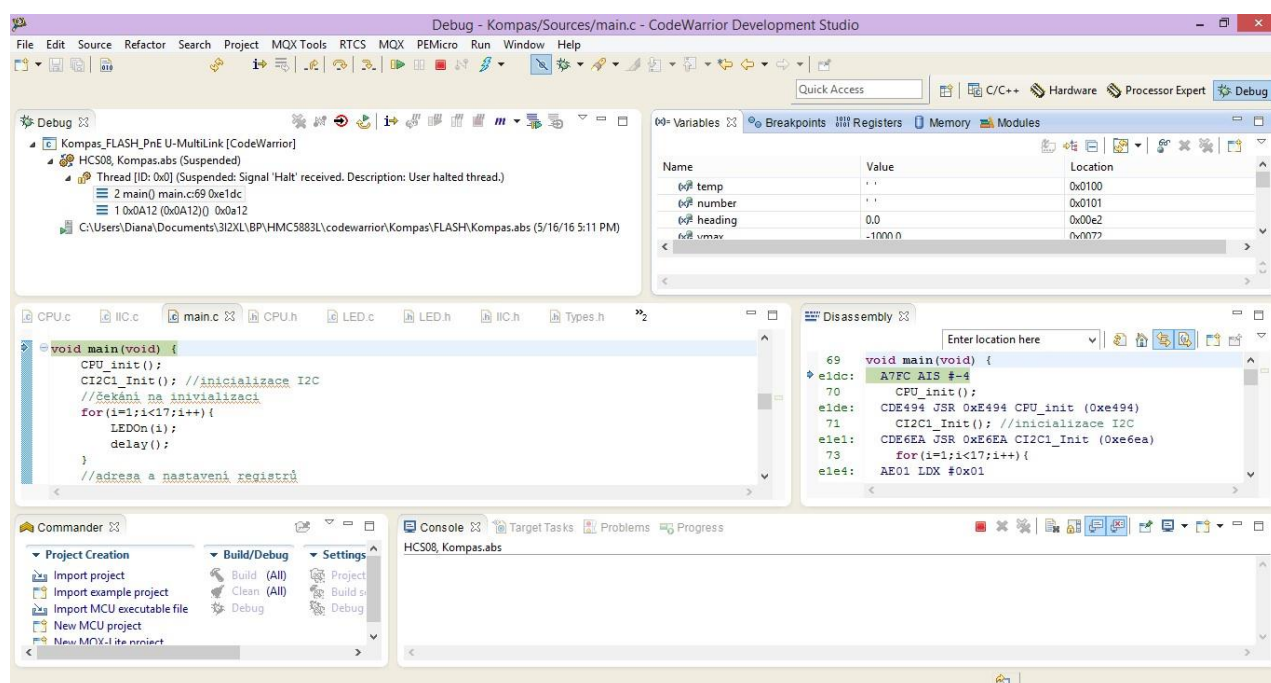


## 11 PROGRAMOVÁ ČÁST

### 11.1 Programovací prostředí CodeWarrior

K programování mikropočítače bylo použito programovací prostředí CodeWarrior verze 10.6, které je dostupné zdarma ke stažení na oficiálních stránkách firmy NXP. Program pro modul byl napsán v jazyce C, prostředí umožňuje programovat i v jazyce C++. Důležitou součástí programu je překladač a debugger, který slouží k ladění vyvíjeného programu.

Při spuštění debuggeru se automaticky program přeloží a také se nahraje do FLASH paměti mikropočítače.



Obr. 14: Vývojové prostředí CodeWarrior – Debug

Debug režim se spouští ikonou brouka a program se spustí zelenou šipkou v panelu nástrojů umístěného v horní části vývojového prostředí. Dále lze běh programu pozastavit nebo úplně přerušit. V debug režimu lze používat breakpointy, které se umísťují na řádek kódu, kde se pozastaví běh programu. Od tohoto místa lze krokovat pomocí nástrojů umístěných v tomto panelu nástrojů. Poskytuje i možnost zakázat breakpointy, což šetří čas. Také poskytuje možnost sledovat hodnoty proměnných, ukládání do registrů, kód v jazyce symbolických adres a ve spodní části je okno, ve kterém se zobrazují případné chyby a varování. V normální režimu, lze kód překládat bez spuštění programu a v levé části lze procházet vytvořené projekty a soubory v nich obsažené.

## 11.2 Popis činnosti programu

Po spuštění programu se provede inicializace procesoru a inicializace komunikace přes I2C rozhraní. Poté je potřeba chvíli počkat před čtením a zápisem dat, a proto se provede jedna otočka rozsvícení LED, rozsvěcuje se jedna po druhé a předchozí zhasíná. Po čekacím cyklu, se jako první nastaví 7 bitová adresa magnetometru, která představuje adresu slave. Následně se konfiguruje registr A, u kterého se nastavuje počet vzorků na 8. Dále se konfiguruje registr B a nastavujeme citlivost magnetometru na  $\pm 0,88$  Ga. Nakonec se nastavuje mode registr a u něj se vybírá průběžný režim převádění.

Po nastavení těchto registrů dochází ke kalibraci, při které jsou čteny hodnoty z osy X a Y a zjišťují se jejich maximální a minimální dosažené hodnoty, při otáčení kompasu. Během této kalibrace „běhají“ LED dokola, aby bylo možné poznat, kdy kalibrace skončí.

Aby se simulovalo dobíhání střelky kompasu, jsou použity filtry pro každou osu zvlášť a právě po kalibraci se tyto filtry naplňují reálnými hodnotami. Velikost každého filtru je 14 hodnot. Následně začíná nekonečná smyčka, ve které se hodnoty v jednotlivých filtrech posunou o jednu hodnotu dolů. Zkontroluje se, jestli nedošlo k přetečení, to indikuje hodnota  $-4096$ , v tomto případě by se rozsvítily všechny LED. Když se tak nestane, do filtrů se na první pozici zapíše hodnoty a všechny hodnoty v jednotlivých filtrech se zprůměrují.

Jakmile je hodnota v ose Z v rozmezí, které určuje dovolenou velikost náklonu, tak se hodnoty z osy X a Y normují na interval od  $-1$  do  $1$ , pomocí získaných maxim a minim z kalibrace. Z těchto normovaných hodnot se vypočítají radiány pomocí funkce  $\text{atan2}(y, x)$ , do které se tyto hodnoty dosadí. Následně se k nim přičte hodnota magnetické deklinace odpovídající Zlínu, a když je tato celková hodnota menší než  $-\pi$ , tak se k ní přičte  $2\pi$  a v případě, že je větší jak  $\pi$ , tak se od ní odečte  $2\pi$ . Vypočítá se, která LED se má rozsvítit a pokud už svítí, tak se cyklus opakuje, pokud ne, rozsvítí se příslušná LED. Pokud hodnota není v rozmezí, které je určeno pro náklon, tak všechny LED zhasnou a tím se dá najevo, že je deska hodně vychýlená z rovnováhy, tudíž by kompas neukazoval správně sever.

### 11.3 Použité knihovny

K inicializaci mikropočítače a ke komunikaci MCU s magnetometrem přes I2C byly použity již vygenerované knihovny pomocí nástroje Procesor Expert, který je součástí vývojového prostředí CodeWarrior. Konkrétně se jedná o knihovny CPU.c., IIC.c a Types.h. Dále byla vytvořena knihovna pro práci s LED. V této knihovně LED.c, byly použity tři funkce, které vygeneroval PE a při založení projektu mi byla vygenerována knihovna mc9s08qe8.c.

### 11.4 Použité funkce

#### **redVal**

V této funkci jsou volány funkce z knihovny IIC.c, aby bylo možné číst z magnetometru data, je třeba vybrat registr, tedy poslat data na zařízení typu slave. Následně další funkce čte hodnoty z výstupu magnetometru X, Y a Z. Každý výstup má dva registry A a B, společně vrací 16 bitovou hodnotu. Ta je ukládána do bufferu a proměnných xx, y, z.

#### **calibration**

Tato funkce slouží ke kalibraci kompasu a probíhá po každém spuštění programu. Obsahuje cyklus, který proběhne 800 krát, při každé otočce cyklu se zavolá funkce readVal(). Získané hodnoty ukládá do proměnných, a zjišťuje maximální a minimální hodnoty v osách X a Y. Tyto hodnoty se stále přepisují, pokud se najde menší hodnota než minimum a větší hodnota než maximum.

#### **LEDOOn(int cislo)**

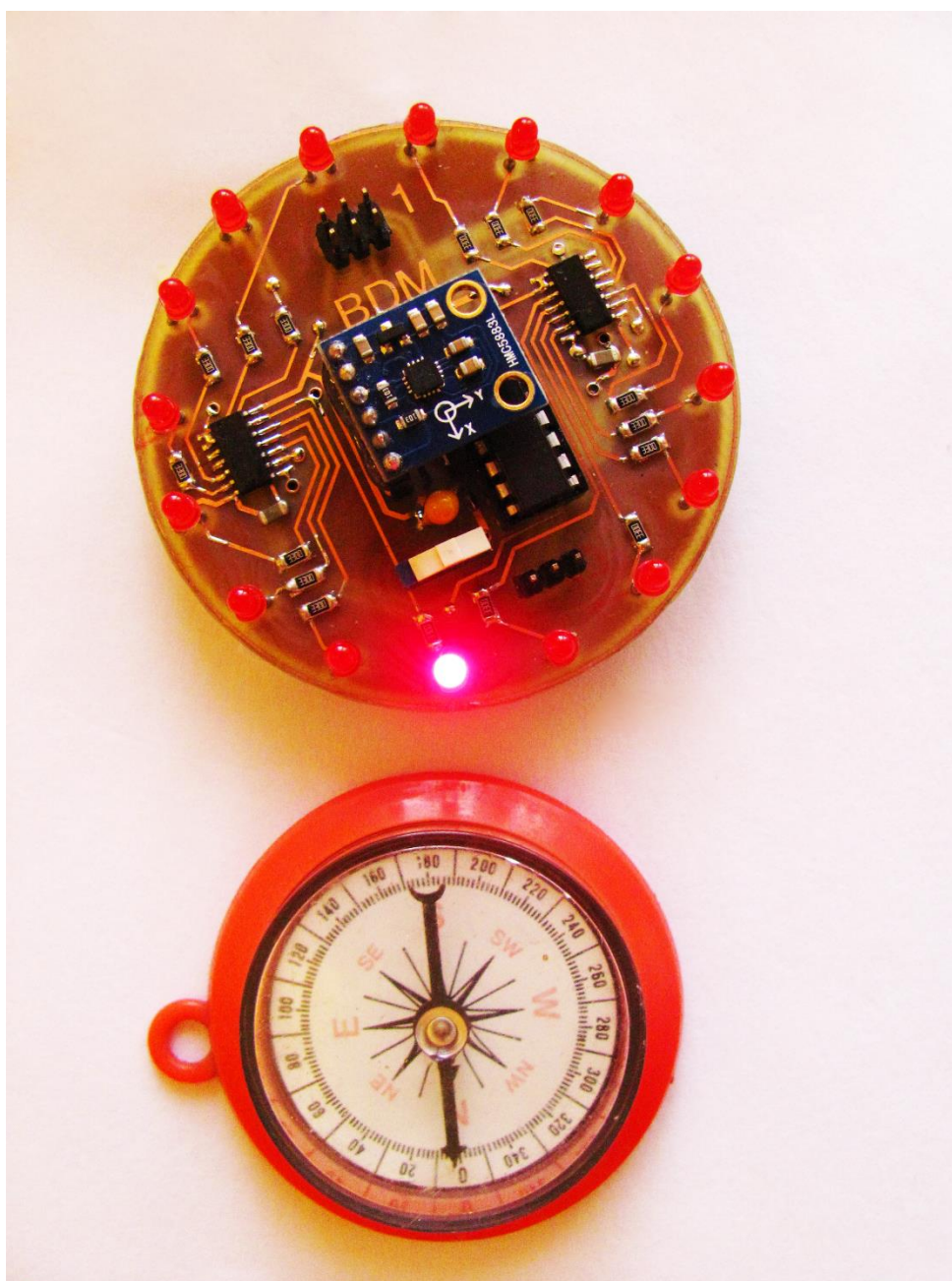
Jedná se o funkci, která je využívána k rozsvěcování jedné LED. Má jeden parametr, který udává číslo LED, která se má rozsvítit. Nejprve se zhasnou všechny diody, pomocí resetu. Poté se přivede na data logická 1 a pomocí CP se nasune na první LED, v cyklu se data nastaví na logickou 0 a pomocí CP se nasouvá na výstup číslo-1 krát.

#### **LEDAIIOOn**

Funguje obdobně jako funkce LEDOn s tím rozdílem, že se v jednom cyklu nastaví data na logickou 1 a pomocí CP se nasunou na všechny výstupy.

## 12 OVĚŘENÍ FUNKCE KOMPASU

Po provedení pečlivé kalibrace byla ověřena správnost funkce elektronického kompasu. K ověření správné funkce byl použit reálný kompas. Na obrázku č. 15 lze pozorovat, že kompas ukazuje stejným směrem, jako elektronický kompas. Tímto způsobem byla ověřena každá dioda. Z pozorování chování elektronického kompasu, byla zjištěna nepřesnost jedné diody na jednu nebo druhou stranu, zapříčiněnou vychýlením kompasu z vodorovné polohy.

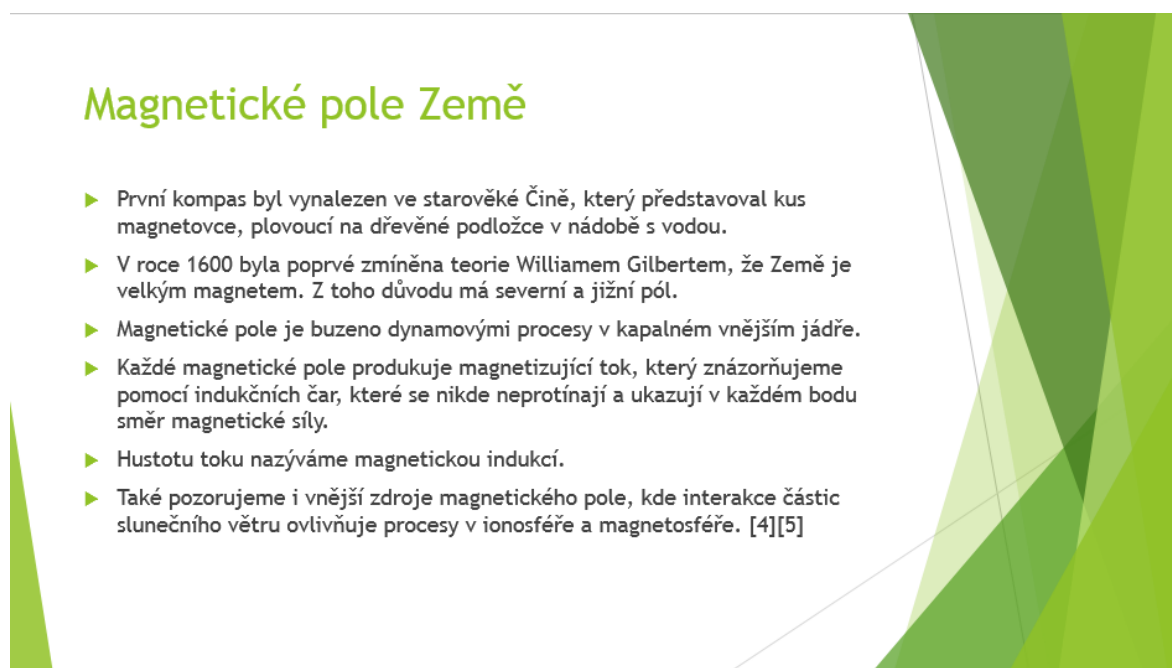


Obr. 15: Ověření funkce kompasu



## 13 TVORBA VÝUKOVÉ PREZENTACE

Obsah výukové prezentace tvoří popis magnetického pole Země, senzory magnetického pole a jejich základní principy funkce. Dále je uveden popis použitého mikropočítače a senzoru magnetického pole, komunikace mezi nimi přes rozhraní I2C, komunikaci s posuvnými registry a použitou literaturu. Na závěr kompletní schéma zapojení a osazovací plán DPS s vyznačením hlavních komponent. Na obr. č. 16 lze vidět ukázkový snímek z prezentace, která je přiložena na CD.



Obr. 16: Ukázkový snímek z prezentace

## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit výukový mikropočítačový modul elektronický kompas, provést hardwarový návrh mikropočítačové jednotky elektronického kompasu. Realizovat mikropočítačový řídicí modul a ověřit jeho funkci a nakonec vytvořit programové vybavení a výukovou prezentaci.

Nejdříve bylo potřeba navrhnout schéma zapojení a DPS v prostředí EAGLE. S tímto prostředím se pracovalo ve výuce, o to lepší v něm byla orientace. Některé součástky nebyly obsaženy v knihovnách, takže bylo třeba vytvořit novou knihovnu obsahující tyto součástky.

Po úspěšném návrhu se mohlo přejít k jeho výrobě, při které se vrtaly otvory pro usazení součástek, vsazovaly průchodky, DPS byla zbroušena do kruhu a nakonec byly napájeny součástky podle schématu mikropájkou. Aby se magnetometr nehýbal, byl přilepen ke konektoru, kvůli zajištění vyšší přesnosti.

Dále se přešlo k programovací části, kdy bylo použito vývojové prostředí CodeWarrior (verze 10.6.). Program byl napsán v jazyce C.

Je třeba zmínit, že magnetometr je citlivý na rušení magnetickým polem například z jiných zařízení. Při tomto rušení by se nechoval správně a taktéž po nepečlivé kalibraci.

Po realizaci a naprogramování modulu, bylo zjištěno, že je třeba provádět kalibraci kompasu. Proto se provádí po každém startu. To by se dalo optimalizovat tlačítkem, po jehož stisknutí by se provedla jednou a hodnoty by se uložily do FLASH paměti. Kompas je omezený výdrží baterie, pro zamyšlení by mohlo být zajímavé použití solárních panelů pro jeho napájení, pak už by se jeho možnosti blížily reálnému kompasu.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] FREESCALE SEMICONDUCTOR. MC9S08QE8 Series Data Sheet: Technical Data, Rev. 8. [online]. 2011 [cit. 2015-01-27]. Dostupné z: <http://www.nxp.com>
- [2] HONEYWELL. 3-Axis Digital Compass IC HMC5883L Advanced Information, Rev. E. [online]. 2013 [cit. 2015-01-27]. Dostupné z: <http://www.magneticsensors.com>
- [3] 74HC164: Shift Register. *Datasheetcatalog* [online]. 2014 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: [http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheets/diodes/74HC164\\_74HC164S14-13\\_74HC164T14-13.pdf](http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheets/diodes/74HC164_74HC164S14-13_74HC164T14-13.pdf)
- [4] Integrované AMR senzory magnetického pole. *Automatizace.hw.cz* [online]. 2011 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/>
- [5] CHADIMA, Martin. Magnetizmus Země. In: *MASARYKOVA UNIVERZITA PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA* [online]. AGICO, s.r.o., Brno & Geologický ústav AV ČR, Praha [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://www.sci.muni.cz/~chadima/geomagnetismus/Geomagnetismus1.pdf>
- [6] Kdy-dojde-k-prepolovani-zeme-co-nam-hrozi-. *Evoluce5d* [online]. 2015 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://evoluce5d.webnode.cz/news/>
- [7] Fyzika Země. In: *FyzWeb* [online]. [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: [http://fyzweb.cz/materialy/fyzika\\_Zeme/magpole/magpole.php](http://fyzweb.cz/materialy/fyzika_Zeme/magpole/magpole.php)
- [8] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Magnetická deklinace* [online]. c2015 [citováno 20. 05. 2016]. Dostupný z WWW: <[https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Magnetick%C3%A1\\_deklinace&oldid=12779649](https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Magnetick%C3%A1_deklinace&oldid=12779649)>
- [9] FREESCALE SEMICONDUCTOR. CPU08 Central Processor Unit Reference Manual [online]. 2001 [cit. 2016-01-27]. Dostupné z: <http://www.nxp.com>
- [10] *Elektronický kompas s tříosým magnetometrem* [online]. Brno, 2013 [cit. 2016-05-23]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=68831](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=68831)

- [11] ŠIMBERSKÝ, Michal. *Měření magnetického pole* [online]. Brno, 2012  
[cit. 2016-05-23]. Dostupné z:  
[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=53861](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=53861)
- [12] *Záznamník dat pro vektorový magnetometr* [online]. Praha, 2014  
[cit. 2016-05-23]. Dostupné z:  
<https://www.fel.cvut.cz/cz/education/prace/00008.pdf>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

ACK	Potvrzení (Acknowledge)
ARM	Anizotropní magnetorezistence (Anisotropic Magnetoresistance)
BDM	Režim ladění na pozadí (Background Debug Mode)
CMOS	Doplňující se kov-oxid-polovodič (Complementary Metal–Oxide–Semiconductor)
COP	Počítač pracuje správně (Computer Operating Properly)
CP	Hodinový pulz (Clock pulse)
CPU	Centrální procesorová jednotka (Central Processing Unit)
DPS	Deska plošných spojů
ERC	Kontrola elektrických pravidel (Electrical Rule Check)
GMR	Obří magnetorezistence (Giant Magnetoresistance)
I2C	Počítačová sériová sběrnice (Inter-Integrated Circuit)
LED	Světlo emitující dioda (Light-Emitting Diode)
MCU	Mikropočítačová jednotka (Microcontroller Unit)
MOSI	Master Out, Slave In
MR	Reset (Master Reset)
PE	Procesor Expert
PWM	Pulzně šířková modulace (Pulse-Width Modulation)
RAM	Paměť s náhodným přístupem (Random Access Memory)
RxD	Vstup přijímaných dat (Received Exchange Data)
SCI	Asynchronní sériové komunikační rozhraní (Serial Communications Interface)
SCL	Sériová časovací linka (Serial Clock Line)
SDA	Sériová datová linka (Serial Data Line)
SPI	Synchronní sériové periferní rozhraní (Serial Peripheral Interface)

---

SPSCK	Hodinový signál
TMR	Tunelová magnetorezistence (Tunnel Magnetoresistance)
TxD	Výstup vysílaných dat (Transmit Exchange Data)
UART	Univerzální asynchronní vysílač a přijímač (Asynchronous Receiver and Transmitter)

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1: Magnetické pole Země [6].....	10
Obr. 2: Složky vektoru.....	11
Obr. 3: Blokový diagram MCU [1] .....	15
Obr. 4: Přenosové signály sběrnice [1].....	17
Obr. 5: Blokové schéma magnetometru HMC5883L [2] .....	18
Obr. 6: Časový diagram posuvného registru [3].....	20
Obr. 7: Blokové schéma zapojení .....	22
Obr. 8: Rozložení pinů MCU MC9S08QE8 [1] .....	23
Obr. 9: Editor schémat v prostředí programu EAGLE - ukázka .....	24
Obr. 10: Editor pro tvorbu plošných spojů EAGLE- ukázka .....	26
Obr. 11: Proces vsazování průchodek do desky plošného spoje .....	27
Obr. 12: Hotový modul .....	28
Obr. 13: Zadní strana hotového modulu .....	28
Obr. 14: Vývojové prostředí CodeWarrior – Debug .....	29
Obr. 15: Ověření funkce kompasu .....	32
Obr. 16: Ukázkový snímek z prezentace .....	33

**SEZNAM TABULEK**

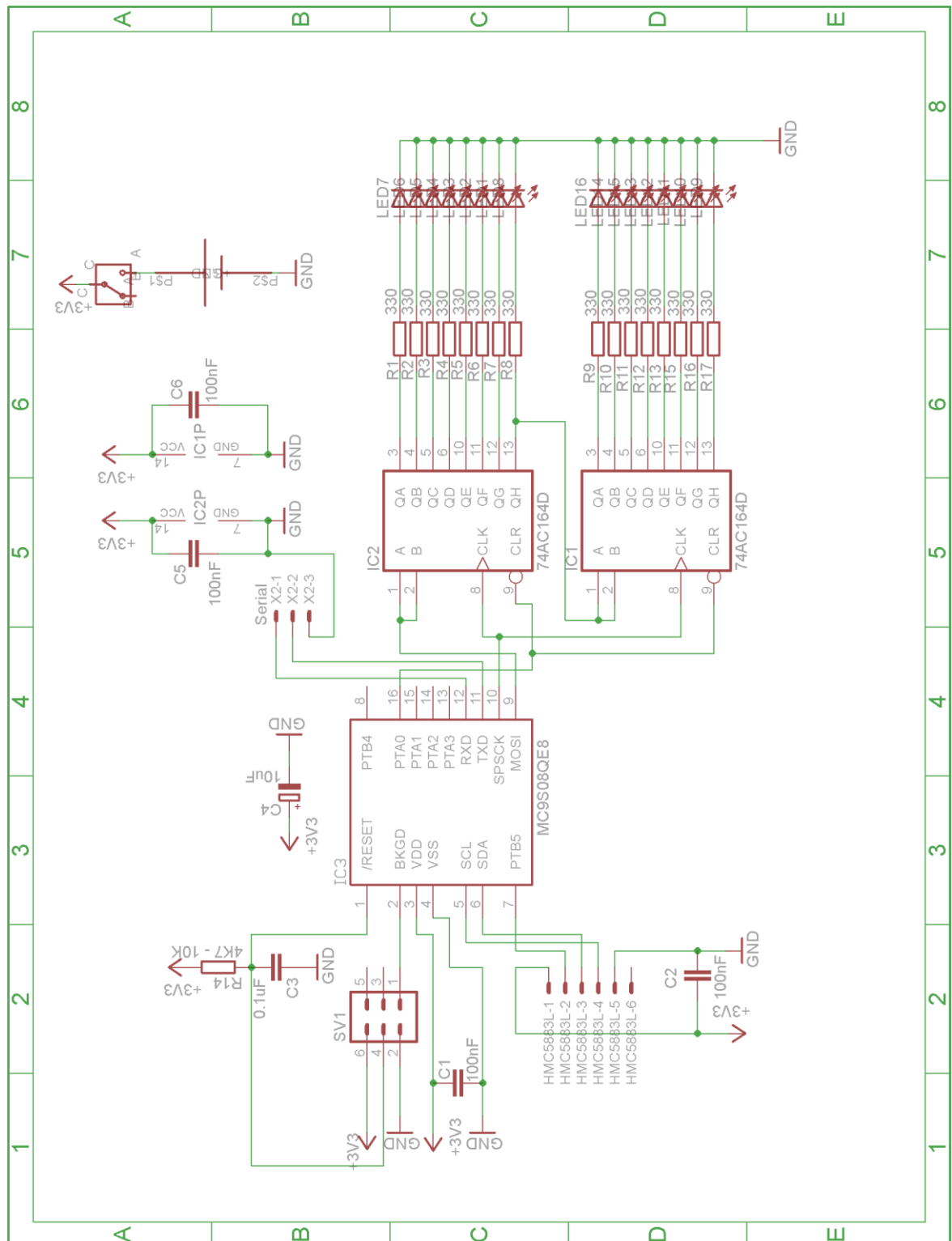
Tabulka 1: Propojení pinů MCU s magnetometrem a posuvným registrem .....	23
--	----



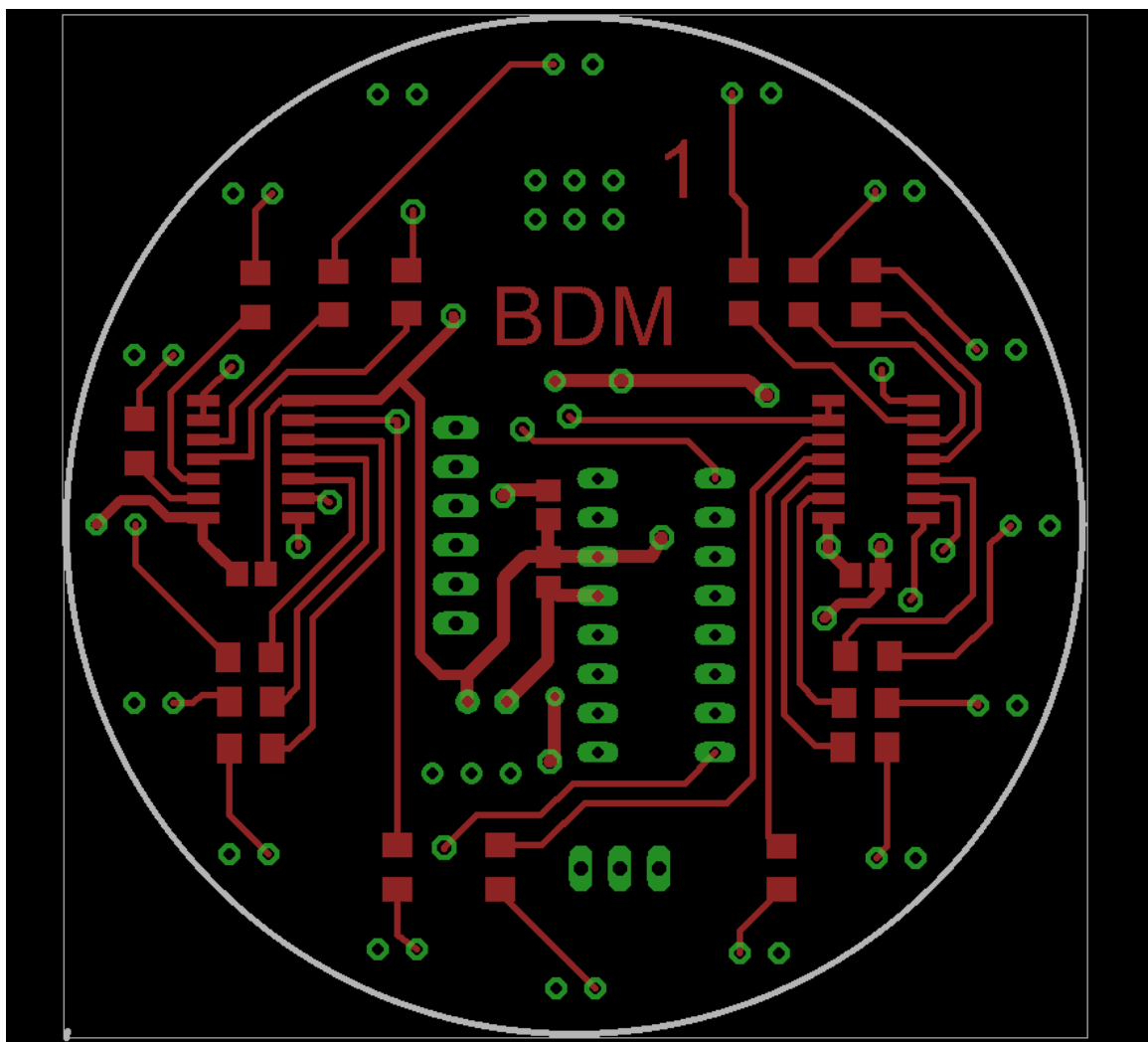
**SEZNAM PŘÍLOH**

ŘÍLOHA P I	SCHÉMA ELEKTRONICKÉHO KOMPASU
PŘÍLOHA P II	MOTIV DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ HORNÍ VRSTVY
PŘÍLOHA P III	MOTIV DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ SPODNÍ VRSTVY
PŘÍLOHA P IV	OSAZOVACÍ PLÁN HORNÍ A SPODNÍ STRANY DESKY
PŘÍLOHA P V	SEZNAM SOUČÁSTEK
PŘÍLOHA P VI	CD

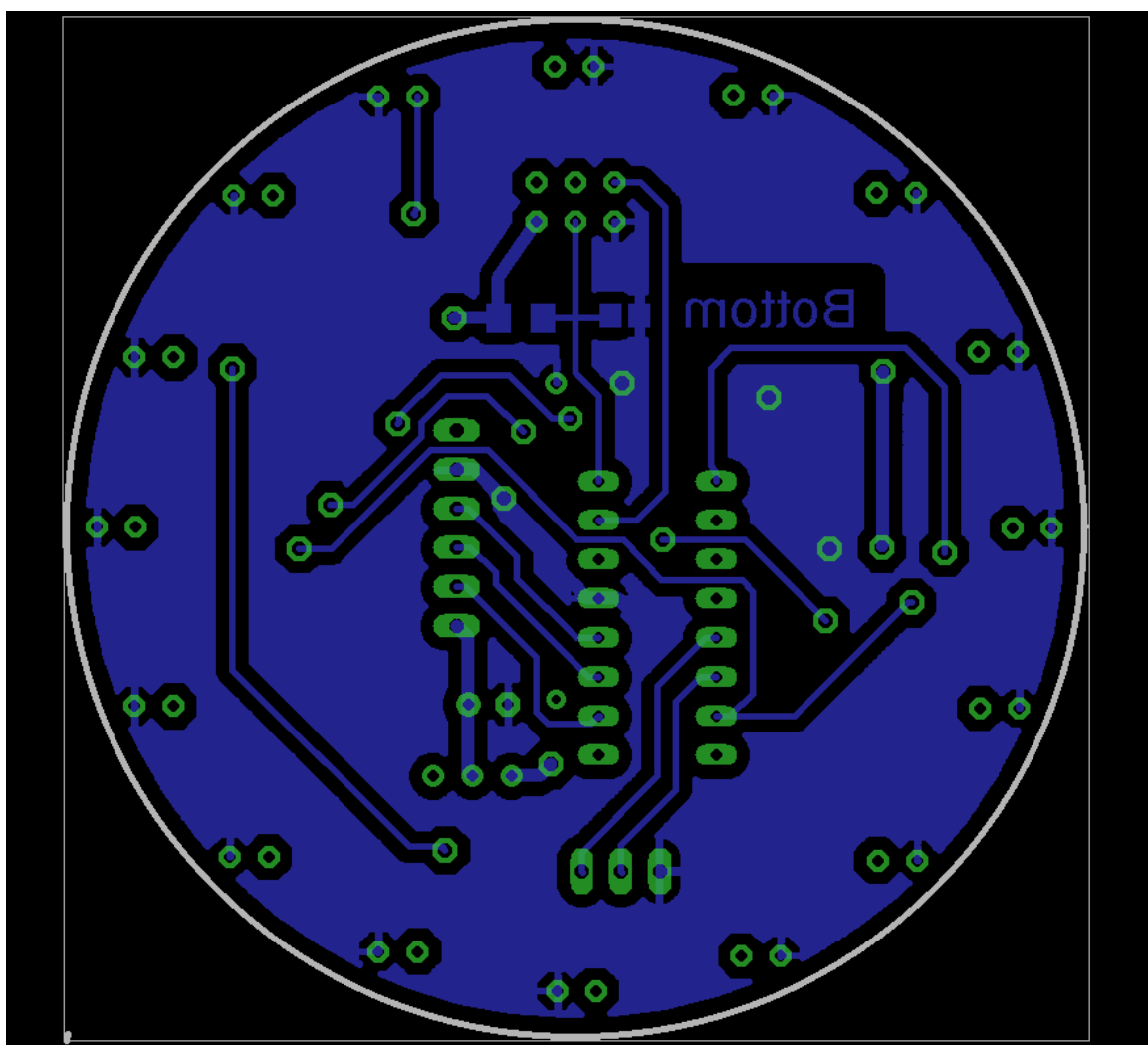
# PŘÍLOHA P I: SCHÉMA ELEKTRONICKÉHO KOPASU



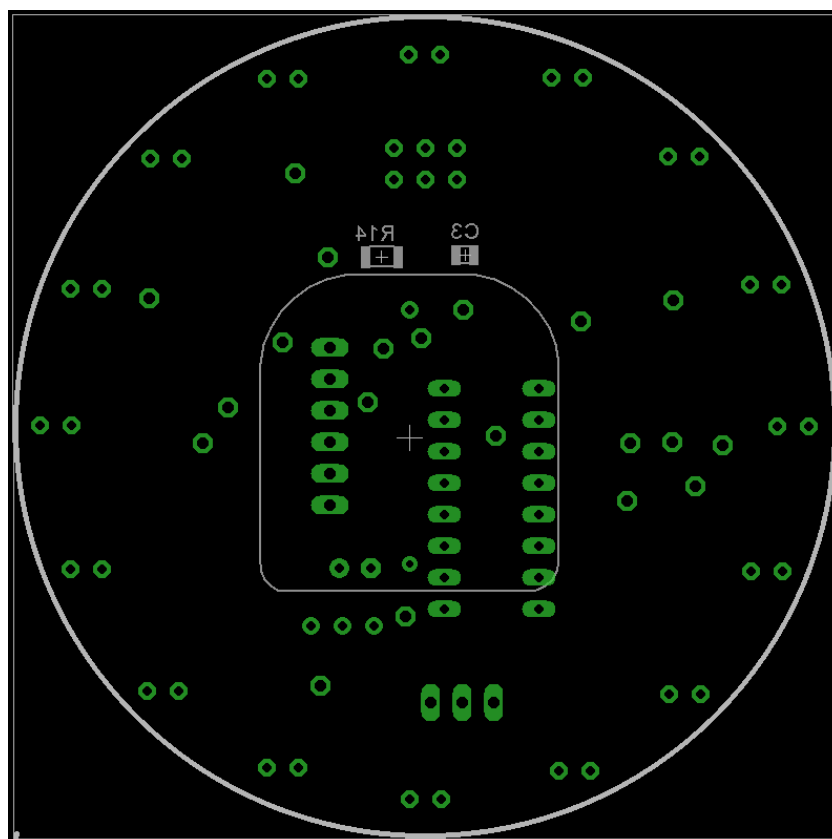
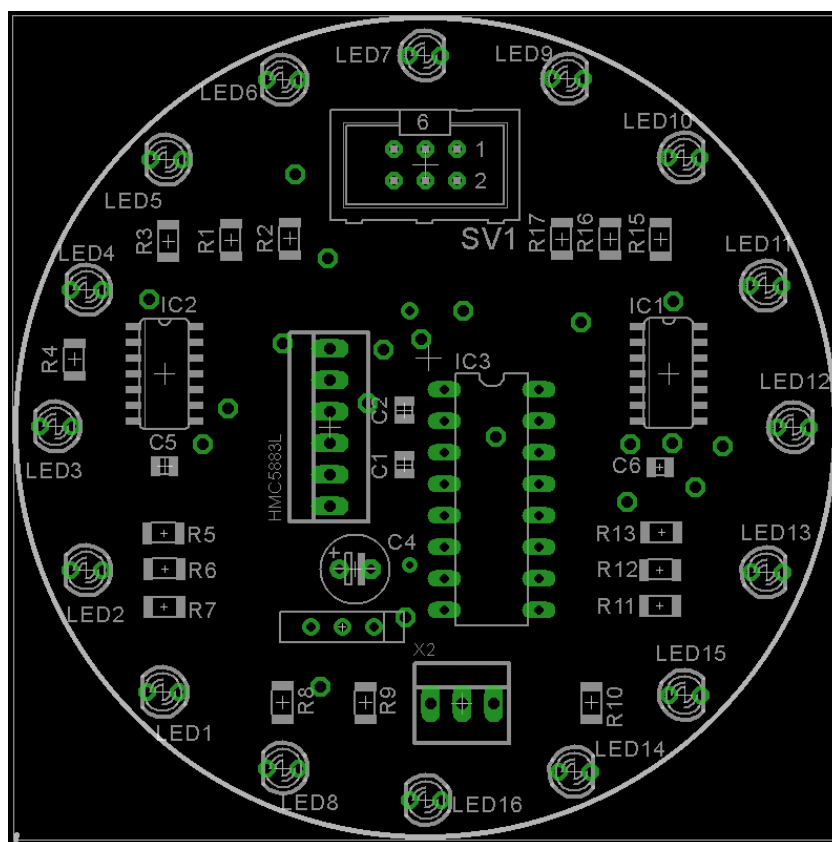
**PŘÍLOHA P II: MOTIV DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ HORNÍ  
VRSTVY**



**PŘÍLOHA P III: MOTIV DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ SPODNÍ  
VRSTVY**



## PŘÍLOHA P IV: OSAZOVACÍ PLÁN HORNÍ A SPODNÍ STRANY DESKY



## **PŘÍLOHA P V: SEZNAM SOUČÁSTEK**

<b>Název</b>	<b>Součástka</b>	<b>Popis</b>	<b>Počet [ks]</b>
Magnetometr	HMC5883L	HMC5883L	1
MCU	IC3	MC9S08QE8	1
LED	LED1 - LED16	Červená, 2 mA, Ø 3 mm	16
Posuvný registr	IC1, IC2	74HC164	2
Rezistor	R1 - R13, R15 - R17	330 Ω	16
	R14	10 KΩ	1
Kondenzátor	C4	10 μF	1
	C3	0,1 μF	1
	C1, C2, C5, C6	100 nF	4
Baterie	U2	BCR20H5	1
Vypínač	U3	P-ESP101	1
Konektor1	X2	SSQ-103-01-G-S	1
Konektor2	HMC5883L	SSQ-106-02-G-S-RA	1
Konektor3	SV1	M20-9980346	1

## **PŘÍLOHA P VI: CD**

Obsahuje bakalářskou práci ve formě fulltext.pdf, výukovou prezentaci vyukova\_prezentace.pptx, návrh schématu a DPS vytvořenou v programu EAGLE. Vyexportovaný projekt z CodeWarrioru Zdrojove\_kody.zip.