

VYŠŠÍ ODBORNÁ ŠKOLA, STŘEDNÍ ŠKOLA,  
CENTRUM ODBORNÉ PŘÍPRAVY



# ABSOLVENTSKÁ PRÁCE

Rotující displej

Sezimovo Ústí, 2014

Autor: Jiří Rytíř





## ZADÁNÍ ABSOLVENTSKÉ PRÁCE

Student: **Jiří Rytíř**  
Obor studia: 26-41-N/01 Elektrotechnika – mechatronické systémy  
Název práce: **Rotující displej**  
Anglický název práce: **Rotating display**

### Zásady pro vypracování:

1. Vyroberte a sestavte rotující displej vycházející ze vzoru Propeller clock v2.
2. Oživte a odzkoušejte sestavený rotační displej.
3. Vytvořte manuál k naprogramování vlastních nápisů, zobrazujících se na rotačním displeji.
4. Absolventskou práci vypracujte problémově ve struktuře odpovídající vědecké práci.


### Doporučená literatura:

- [1] MCU. *MCU hobby* [online]. 2010-08-15-[cit. 2013-06]. Dostupné na World Wide Web:<<http://www.mcu hobby.cz/2010/08/propeller-clock-v2/>>
- [2] MCU. *MCU hobby* [online]. 2010-01-31-[cit. 2013-06]. Dostupné na World Wide Web:<<http://www.mcu hobby.cz/2010/01/propeller-clock-rotacni-led-displej/>>
- [3] *dsPIC30F6015 Data Sheet* [online]. 2011 [cit. 2013-09-13]. Dostupné na World Wide Web:<<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70150E.pdf>>

Vedoucí práce: Ing. Jiří Bumba, VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí  
Odborný konzultant práce: Ing. Jiří Šorm, VOŠ, SŠ, COP, Sezimovo Ústí  
Oponent práce: Bc. Miroslav Hospodářský, VOŠ, SŠ, COP,  
Sezimovo Ústí


Datum zadání absolventské práce: **2.9.2013**

Datum odevzdání absolventské práce: **30.4.2014**

  
.....  
Ing. Jiří Bumba  
(vedoucí práce)



V Sezimově Ústí dne 2.9.2013

  
.....  
Ing. František Kamlach  
(ředitel školy)



## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou absolventskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Sezimově Ústí dne 30.4.2014

Jiří Dyk  
podpis



## **Poděkování**

Děkuji Ing. Jiřímu Bumbovi za odborné vedení práce a cenné rady, které mi pomohly tuto práci zkompletovat. Mé poděkování patří též Ing. Jiřímu Roubalovi za poskytnutí předlohy a cenných rad při psaní absolvenské práce a všem blízkým za podporu při studiu.

## Anotace

Tato absolventská práce se zabývá výrobou rotačního displeje Propeller clock verze 2. Nejprve jsou v této práci popsány předchozí verze tohoto zařízení. Dále je popsána krok po kroku vlastní výroba. Poslední částí této práce je postup naprogramování vlastního nápisu v programu MPLAB.

**Klíčová slova:** Rotační displej, deska plošných spojů, EAGLE, MPLAB, návrh, výroba, mikroprocesor, elektronika, mechatronika.

## Annotation

This graduate work deals production device Propeler clock. First a previous version of this device is described in this work and then the production step by step. At the end of this work there is the procedure of programming of your own inscription in the MPLAB.

**Key words:** Propeller clock, printed circuit board, EAGLE, MPLAB, design, production, mikroprocesor, electronics, mechatronics.



# Obsah

|  |           |
|--|-----------|
| Obsah přiloženého CD/DVD                         | ix        |
| Seznam použitých zkratk                          | xi        |
| Seznam obrázků                                   | xiii      |
| <b>1 Úvod</b>                                    | <b>1</b>  |
| <b>2 Propeller clock v. 1</b>                    | <b>3</b>  |
| 2.1 Obecný princip rotačního displeje . . . . .  | 3         |
| 2.2 Popis zařízení Propeler clock v. 1 . . . . . | 4         |
| 2.3 Propeller clock v. 1 – hardware . . . . .    | 5         |
| 2.4 Výroba Propeller clock v. 1 . . . . .        | 6         |
| 2.5 Propeller clock v. 1 – software . . . . .    | 8         |
| <b>3 Propeller clock v. 2</b>                    | <b>11</b> |
| 3.1 Úpravy oproti verzi v. 1 . . . . .           | 11        |
| 3.2 Schéma zapojení . . . . .                    | 12        |
| 3.3 Deska plošných spojů . . . . .               | 14        |
| 3.4 Elektromotorový pohon . . . . .              | 14        |
| <b>4 Propeller clock – Rytíř Jiří</b>            | <b>17</b> |
| 4.1 Propeller clock – Hardware . . . . .         | 17        |
| 4.2 Oživování Propeller clock . . . . .          | 26        |
| 4.3 Propeller clock – Software . . . . .         | 26        |
| <b>5 Závěr</b>                                   | <b>31</b> |
| <b>Literatura</b>                                | <b>33</b> |

|                            |          |
|----------------------------|----------|
| <b>Přílohy</b>             | <b>I</b> |
| Použitý software . . . . . | I        |

# Obsah příloženého CD/DVD

K této práci je přiloženo CD/DVD s následující adresářovou strukturou.

- Rytir\_AP\_2014.pdf – absolventská práce ve formátu PDF
- Rytir\_AP\_2014.tex – absolventská práce ve formátu TEX
- Obrázky: *Obrázky použité v AP*
  - EPS: *Obrázky použité v AP ve formátu EPS*
- Schéma zapojení a DPS: *Schéma zapojení a návrhy DPS*
  - Propeller clock v. 1
  - Propeller clock v. 2
  - Propeller clock, Rytir J., AP
- Zdrojové kódy: *Schéma zapojení a návrhy DPS*
  - Propeller clock v. 1
  - Propeller clock v. 2
  - Propeller clock, Rytir J., AP



# Seznam použitých zkratek

| Symbol | Význam  |
|--------|---|
| A      | Ampér   |
| DPS    | Deska plošných spojů                            |
| EEPROM | Elektricky mazatelná paměť                      |
| FPS    | Obrázků za sekundu                              |
| I2C    | Typ sériové komunikace                          |
| ICSP   | Konektro pro připojení programátoru             |
| IR     | Přijímač infračerveného signálu                 |
| LED    | Dioda emitující světlo                          |
| MOSI   | Uživatelské označení vodiče SDO1                |
| RC     | <i>Radio controled</i> – rádiem řízený model    |
| RC5    | Uživatelské označení výstupu dat z IR přijímače |
| SCK    | Označení vývodu mikropočítače                   |
| SDO1   | Označení vývodu pro výstup dat z budiče LED     |
| SMD    | Součástky pro povrchovou montáž                 |
| SPI    | Typ sériové komunikace                          |
| V      | Volt  |



# Seznam obrázků

|      |   |    |
|------|---|----|
| 2.1  | Rotující rameno s LED diodami (převzato z ( <i>MCUhobby.cz</i> [online], 2013b))    | 4  |
| 2.2  | DPS Propeller clock v. 1 (převzato z ( <i>Veselý, D., 2012</i> ))                   | 6  |
| 2.3  | Schéma zapojení Propeller clock v. 1 (převzato z ( <i>Veselý, D., 2012</i> ))       | 7  |
| 2.4  | Vývojový diagram (převzato z ( <i>Havel, V., 2012</i> ))                            | 9  |
| 2.5  | Bitová mapa (převzato z ( <i>Havel, V., 2012</i> ))                                 | 10 |
| 2.6  | Přepsání bitů z papíru do dvojkové soustavy (převzato z ( <i>Havel, V., 2012</i> )) | 10 |
| 3.1  | Schéma zapojení Propeller clock v. 2 s vyznačenými změnami                          | 13 |
| 3.2  | Vyrobená DPS podle návrhu, strana TOP   | 14 |
| 3.3  | Vyrobená DPS podle návrhu, strana BOTTOM  | 14 |
| 3.4  | Mechanická konstrukce, vnitřek (převzato z ( <i>MCUhobby.cz</i> [online], 2013a))   | 15 |
| 3.5  | Mechanická konstrukce, celý pohled  | 15 |
| 4.1  | Originální schéma zapojení (převzato z ( <i>MCUhobby.cz</i> [online], 2013a))       | 18 |
| 4.2  | Originální DPS, strana TOP (převzato z ( <i>MCUhobby.cz</i> [online], 2013a))       | 19 |
| 4.3  | Originální DPS, strana BOTTOM   | 19 |
| 4.4  | Schéma zapojení s přidávanými kondenzátory  | 20 |
| 4.5  | DPS se změnami, strana TOP  | 21 |
| 4.6  | DPS se změnami, strana BOTTOM   | 21 |
| 4.7  | DPS s rozlitou mědí, strana TOP   | 22 |
| 4.8  | DPS s rozlitou mědí, strana BOTTOM  | 22 |
| 4.9  | První pokus leptání DPS, strana TOP   | 23 |
| 4.10 | První pokus leptání DPS, strana BOTTOM  | 23 |
| 4.11 | Vyleptaná, ořezaná a vyvrтанá deska DPS, strana TOP                                 | 24 |
| 4.12 | Vyleptaná, ořezaná a vyvrтанá deska DPS, strana BOTTOM                              | 24 |
| 4.13 | Osazená deska DPS, strana TOP   | 25 |
| 4.14 | Osazená deska DPS, strana BOTTOM  | 25 |
| 4.15 | Vývojový diagram 3. programu  | 28 |

|   |    |
|---|----|
| 4.16 Ilustrační náčrt rotujícího displeje s 5ti LED diodami . . . . . | 29 |
| 4.17 Ilustrační náčrt bitmapy s nápisem "H" a "D" . . . . .           | 30 |



# Kapitola 1

## Úvod

Každý máme doma televizní přijímač. U starších televizních přijímačů, s menším počtem zobrazovaných snímků za sekundu, si můžeme všimnout zajímavého jevu, kdy při sledování z větší vzdálenosti, s větším pozorovacím úhlem, se nám zdá, že obraz bliká. Toto blikání není z drtivé většiny případů způsobeno špatným příjmem a nižším snímkovým kmitočtem zobrazování. Lidské oko je oproti oku některých zvířat značně nedokonalé. Vezměme si například oko včely (*cs.wikipedia.org* [online], 2013). Včelí oko je dokonalejší, aby stačilo včas zareagovat na blížící se hrozbu, a díky tomu dokáže včelí oko rozeznat až 200 obrazů za sekundu (tzv. FPS) oproti tomu, lidské oko dokáže rozeznat něco okolo 25 FPS (každý člověk má trochu jinou rozlišovací schopnost). Této nedokonalosti se využívá u monitorů, televizních přijímačů, zobrazovačů a displejů.

Na internetu jsem viděl jízdní kolo (*navratdoreality.cz* [online], 2013), které mělo v zadním kole pás svítivých bodů. Při jízdě vytvářel tento pás stojící obraz ve tvaru kruhu. To mě zaujalo a začal jsem se o princip tohoto zobrazování zajímat blíže. Na internetu jsem si vyhledal, že na tomto principu pracují tzv. rotační displeje. Na základě toho jsem se rozhodl vyrobit si vlastní rotační displej a vyzkoušet si práci s ním.

Na škole, na které právě studuji, již bylo v minulosti podobné zařízení postaveno, konkrétně Propeller clock v. 1. Tento displej je popsán v kapitole 2. Díky tomu jsem se mohl s tímto zařízením seznámit, získat praktické zkušenosti a informace, které jsem následně mohl využít k postavení podobného, trochu dokonalejšího a většího rotačního displeje Propeller clock v. 2. Návod k jeho výrobě jsem našel na stránkách *MCUhobby.cz* (*MCUhobby.cz* [online], 2013a) a je popsán v kapitole 3. Toto zařízení jsem upravil pro výrobu v neprofesionálních podmínkách a přidal vylepšení, které popisuji v kapitole 4. Dále je zde uveden stručný návod k zobrazení určitého nápisu na rotujícím displeji. V závěru této práce (kapitola 5), jsou shrnuty dosažené výsledky mé práce při výrobě

a programování displeje.

Cílem této práce je upravit schéma zapojení a návrh desky plošných spojů Propeller clock v. 2. Toto zařízení vyrobit, oživit a následně zobrazit na displeji vlastní nápis.

# Kapitola 2

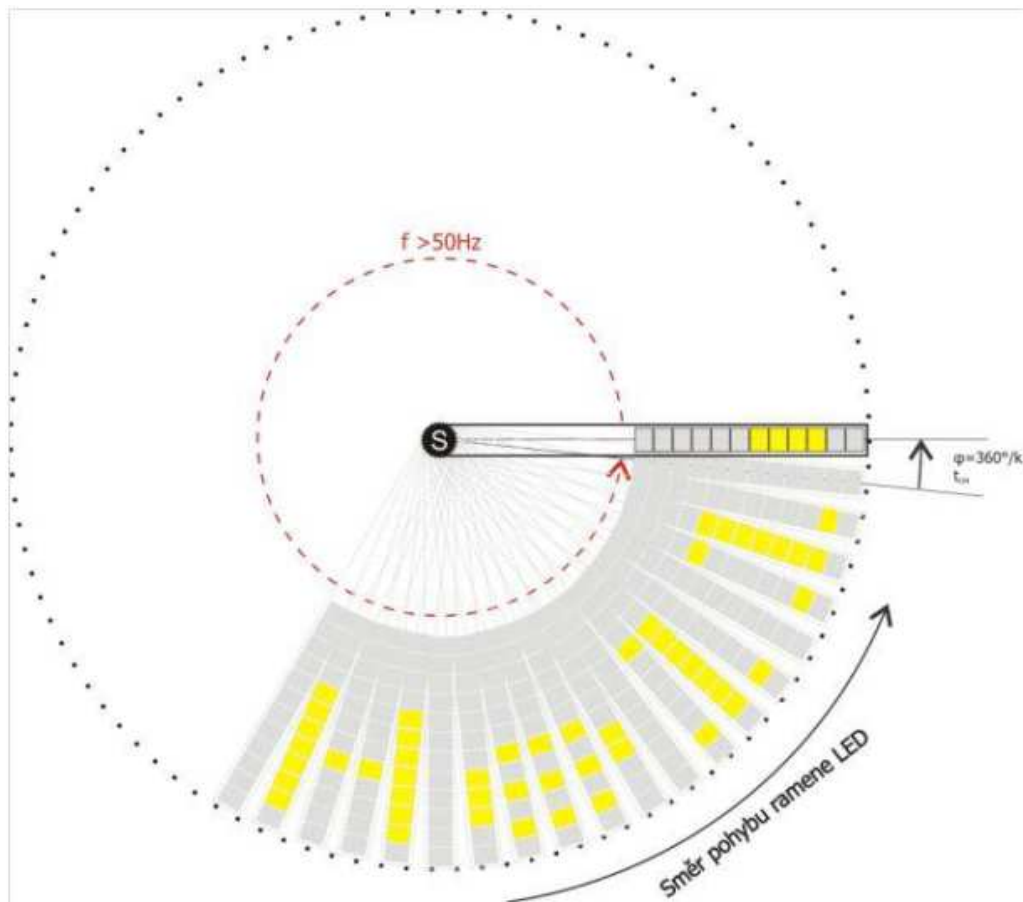
## Propeller clock v. 1

### 2.1 Obecný princip rotačního displeje

V této kapitole je popsán obecný princip vytváření obrazu rotačním displejem na příkladu zařízení Propeller clock v. 1. Jde o rotační displej s 33 zobrazovacími body o velikosti zobrazovací plochy o průměru 125 milimetrů.

Rotující LED displej využívá setrvačnosti lidského oka. Setrvačností lidského oka rozumíme schopnost rozeznat dva následující světelné vjemy jako oddělené. Tento jev lze vyzkoušet kdykoli. Stačí když se zadíváme na nějaký černobílý obrázek okolo 30 sekund a následně se koukneme na čistě bílý podklad tak si můžeme všimnout, že obraz na který jsme upřeně hleděli předtím stále vidíme i přes to že se koukáme třeba na bílou stěnu pokoje. Každý jednotlivý obraz v oku zanikne za cca 1/30 vteřiny. Tím že obraz nezanikne hned, tak nám tento jev umožňuje vytvořit displej složený „pouze“ z pruhu LED diod, které při roztočení na určitou frekvenci otáčení budou vytvářet neblíkající kruhový obrazec (*MCUhobby.cz* [online], 2013b).

Základem displeje je rotující rameno kolem středového bodu (S). Na následujícím obrázku je na rameni umístěno pro ukázkou 12 LED diod, které se postupně v závislosti na poloze ramene rozsvěčují a zhasínají. Pokud budeme ramenem kroužit dostatečně rychle, dostaneme statický neblíkající nápis „Hello“. Podmínkou je, že zaručíme dostatečně rychlé otáčení ramene. Čím větší frekvence otáčení, tím kvalitnější zobrazení. Vyšší blikání displeje než je 75 Hz už ani lidské oko nepostřehne (*MCUhobby.cz* [online], 2013b).



Obrázek 2.1: Rotující rameno s LED diodami (převzato z (MCUhobby.cz [online], 2013b))

## 2.2 Popis zařízení Propeller clock v. 1

V této kapitole je seznámení se zařízením Propeller clock v. 1. Při popisu vycházím z maturitních prací žáku zdejší školy. Toto téma si rozdělili dva žáci, jeden toto zařízení vyráběl a druhý programoval. V první části této kapitoly popisují hardware displeje a v druhé části software. Při programování byly nejprve, z důvodu diagnostiky, vytvořeny a prakticky odzkoušeny zkušební diagnostické programy pro ověření správné funkce displeje. Následně byl nahrán do displeje program pro zobrazení nápisu „COP Sezimovo ústí“.

## 2.3 Propeller clock v. 1 – hardware

Princip činnosti rotačního displeje byl popsán v předchozím textu. Toto zařízení vyžaduje velice přesné a stabilní otáčky rotující části displeje, proto je vybaveno krystalovým oscilátorem. V opačném případě by obraz mohl „poskakovat“, případně by se nedokreslil, nebo by na konci vznikla černá výseč. Jednotlivé body se musí zobrazovat vždy ve stejném okamžiku, aby nebyl obraz rozmazaný.

Zařízení Propeller clock v. 1 pohání motor SPEED 500 RACE E. Provozní napětí tohoto motoru je 3,6 – 8,4V, při 7,2V motor dosahuje až 22 500 o/min. Průměr hřídele je 3,17mm, délka motoru je 36mm, délka volného konce hřídele je 12,2mm a váha tohoto motoru je 189g. Tento motor se běžně používá u RC modelů. Součástí motoru je planetová převodovka MPJ 8063 pro snížení otáček motoru v poměru 8:1. Motor vytváří s převodovkou jeden souvislý celek. Nevýhodou převodovky je její velká hlučnost, se kterou nejde bohužel nic dělat. Jediným možným řešením je použít jiný typ motoru.

K motoru je připojena rotující část, tvořená deskou plošných spojů, která je osazena 33 LED diodami. Diody jsou umístěny těsně vedle sebe v řadě a vytváří prímku 32 bílých a 1 červeného svítícího bodu. Rotující část je napájena stabilizovaným zdrojem o napětí 12V. Toto napětí je následně stabilizováno integrovaným stabilizátorem s výstupním napětím +5V a s výstupním proudem maximálně 1A, který se nachází na desce plošných spojů.

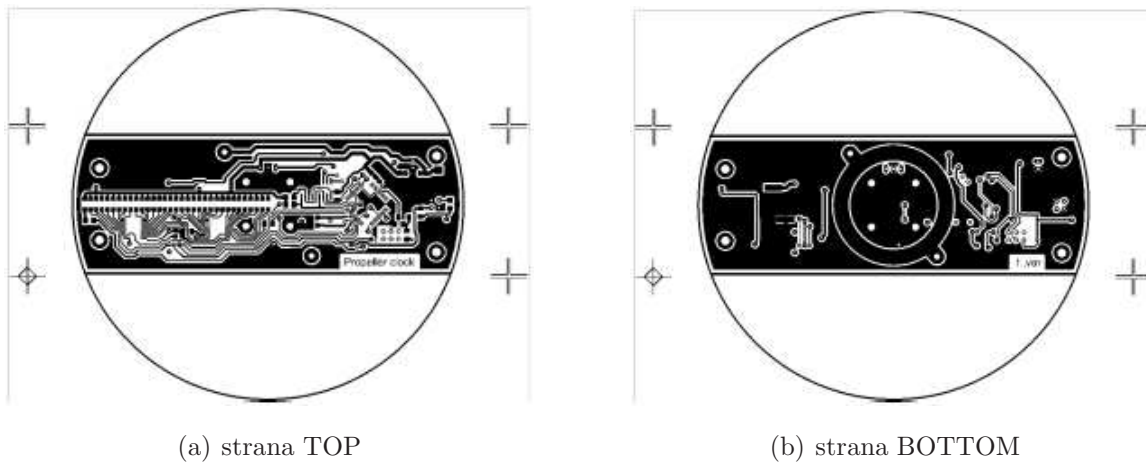
Hlavní součástí rotující části je 16 bitový procesor dsPIC30F6015. Tento procesor se programuje a zároveň ladí prostřednictvím rozhraní ICSP (In Circuit Serial Programming). Vzhledem k tomu, že při programování mikroprocesoru je na pinu číslo 1 programovací napětí o velikosti 13V je na resetovacím vstupu zapojena Schottkyho dioda (D2), která brání proniknutí většího napětí než 5V do napájecí sítě. Procesor je taktován krystalem o kmitočtu 7,372MHz a ten se pak dále v procesoru násobí pomocí fázového závěsu na frekvenci 117, 95MHz (*MCU hobby.cz* [online], 2013b).

V obvodu jsou dvě komunikační sběrnice, SPI a I2C. Sběrnice I2C je používána ke komunikaci s obvodem hodin reálného času (RTC), ke kterému je připojen krystal s frekvencí 32,768KHz a 3V Li-Ion baterie. Baterie umožňuje chod RTC obvodu i při vypnutém napájení. Po sběrnici I2C komunikuje paměť EEPROM. Sběrnice SPI slouží pro komunikaci s budiči LED diod. Komunikace probíhá pouze v jednom směru, tzn. je jednosměrná, takže jsou použity pouze signály MOSI a SCK.

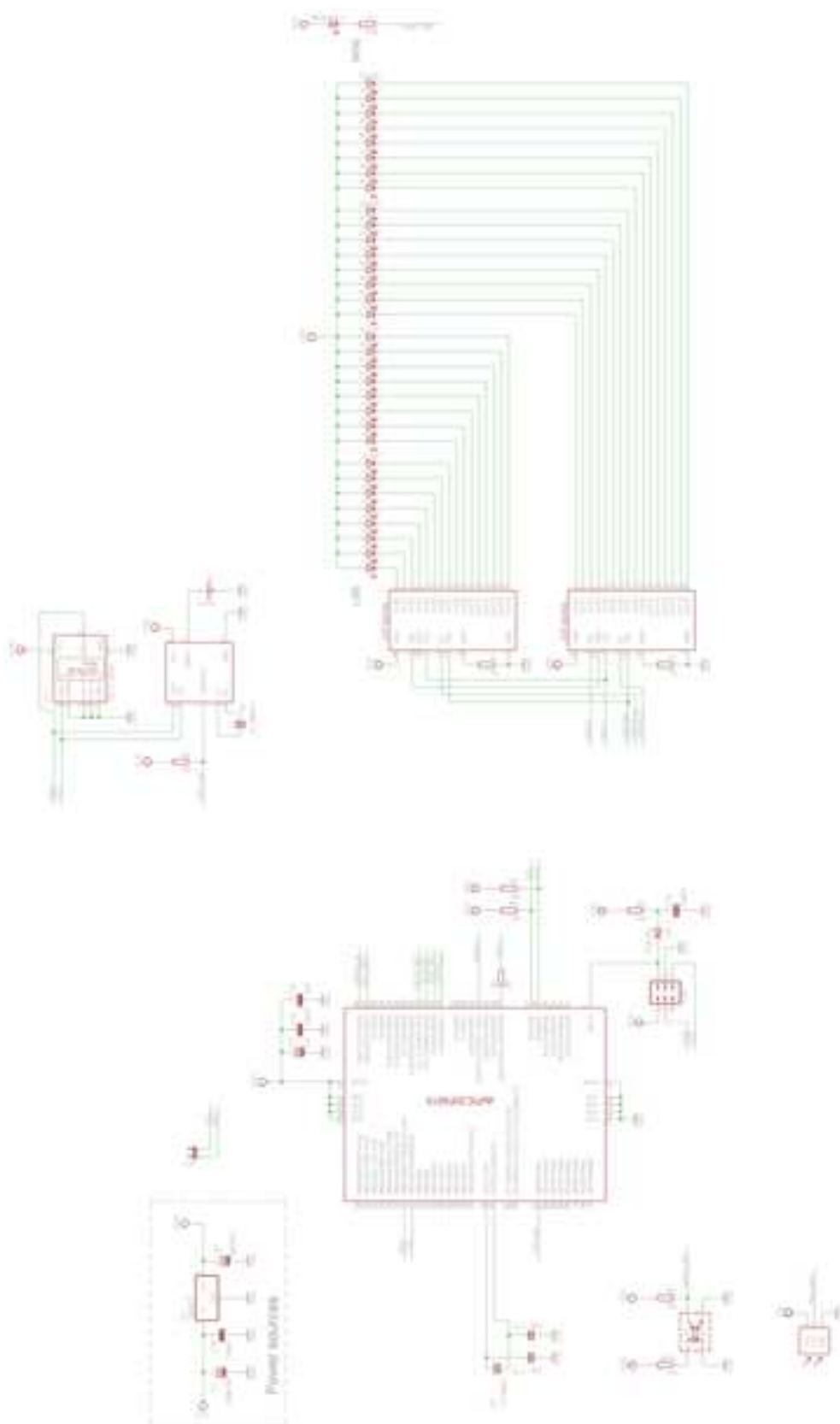
V obvodu je připojen také infrasenzor s integrovaným demodulátorem signálu, pracující na frekvenci 36KHz. Tento infrasenzor slouží jako přijímač RC5 kódu z infračerveného dálkového ovladače. Na DPS je také optická reflexní závora, která slouží k synchronizaci začátku zobrazování.

## 2.4 Výroba Propeller clock v. 1

Schéma zapojení a motiv plošných spojů rotační části displeje byly vytvořeny v návrhovém programu EAGLE, viz obrázky.



Obrázek 2.2: DPS Propeller clock v. 1 (převzato z (Veselý, D., 2012))



Obrázek 2.3: Schéma zapojení Propeller clock v. 1 (převzato z (Veselý, D., 2012))

Rotující část zařízení Propeller clock v. 1 je vyrobena z oboustranné desky plošných spojů. K osazení jsou použity SMD součástky, z důvodu menších rozměrů a menší hmotnosti. Kdyby byla osazena klasickými součástkami, mohlo by se při rotaci stát, že na součástku bude působit tak velké přetížení, že by z DPS „odletěla“.

Pohonná jednotka je převodovkou uchycena k čelní desce podstavce. Z druhé strany navazuje silonové pouzdro s hřídelí, která je spojena s hřídelí převodovky. Na hřídeli jsou izolovaně uchyceny sběrací kroužky pro přívod elektrické energie k rotující části. Přenos se uskutečňuje přes uhlíkové sběrače, namontované na silonovém pouzdru.

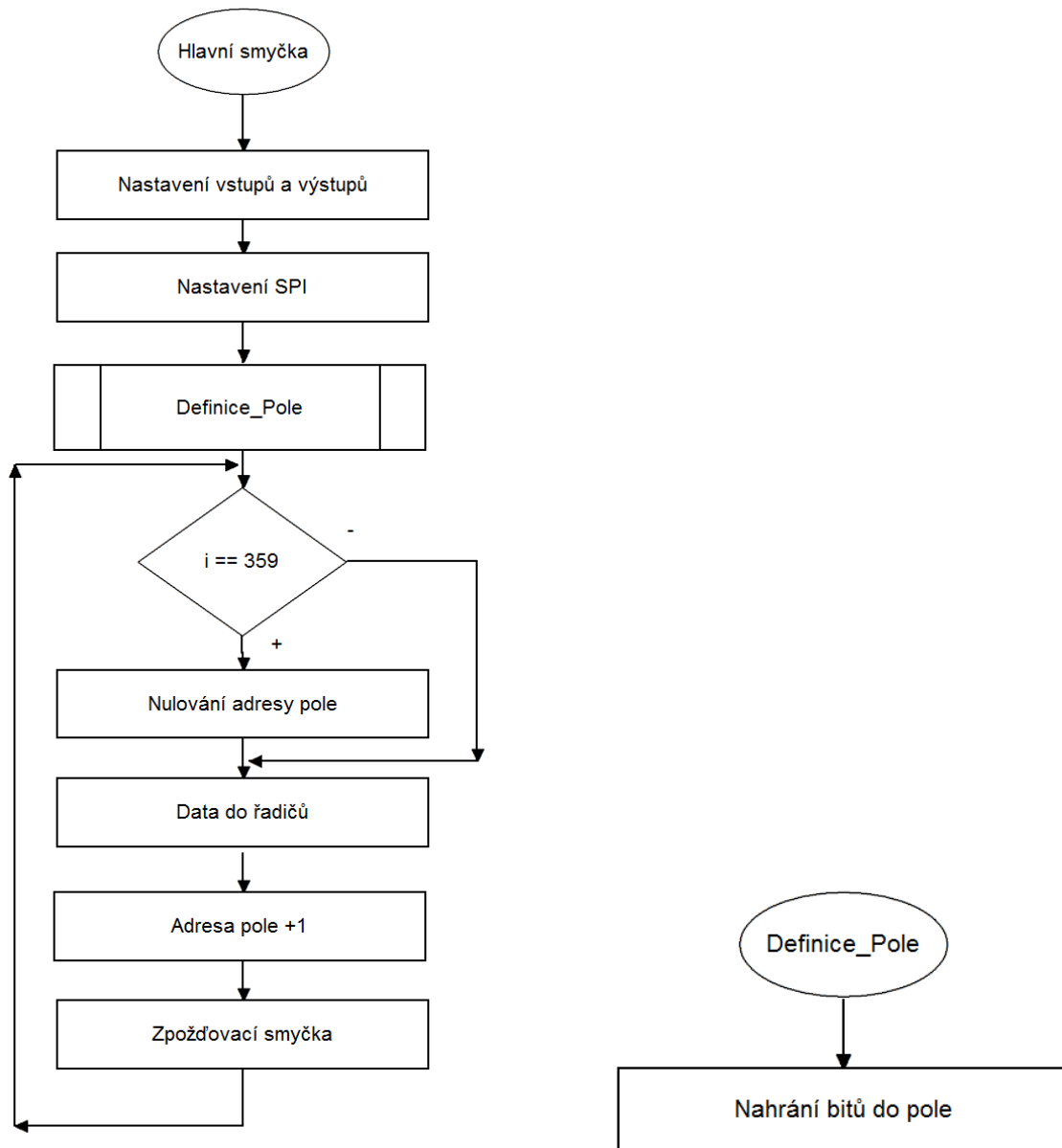
## 2.5 Propeller clock v. 1 – software

Zařízení bylo naprogramováno ve vývojovém prostředí MPLAB s kompilátorem jazyka C. Jazyk C je oproti assembleru jednodušší, přehlednější a především doporučený pro tento typ mikroprocesoru. Pro oživení desky byly vytvořeny následující programy (zdrojové kódy těchto programů jsou v přílohách na přiloženém CD):

- **Rozsvícení červené LED**, jde o jednoduchý program který po zapnutí displeje rozsvítí pouze červenou LED diodu a nechá ji svítit dokud bude celé zařízení napájeno.
- **Rozblikání červené LED**, tento program rozsvítí červenou LED diodu na 0,5 sekundy a následně tuto LED diodu zhasne na 0,5 sekundy. Tento cyklus se opakuje dokud je zapnuto napájení.
- **Rozsvícení celého displeje**, tímto programem rozsvítíme celý displej, dokud není vypnuto napájení.

Následující obrázky znázorňují vývojový diagram hlavní programové smyčky a podprogram. Nejprve se provede inicializace mikropočítače během které se provede konfigurace vstupů a výstupů, nastavení počátečních hodnot vstupů a výstupů a nastavení komunikace. Poté následuje podprogram `Definice_Pole` ve kterém se uloží do pole proměnných kombinace bitů a tyto bity se budou postupně vypisovat do LED řadičů. Poté následuje podmínka, ve které se testuje dojití na poslední adresu pole. Následně se nahraje 16 bitů do prvního LED řadiče, posune se o 16 pozic vpravo a nahraje se zbytek bitů do druhého řadiče. Poté následuje zpoždění a skok na začátek nahrávání.



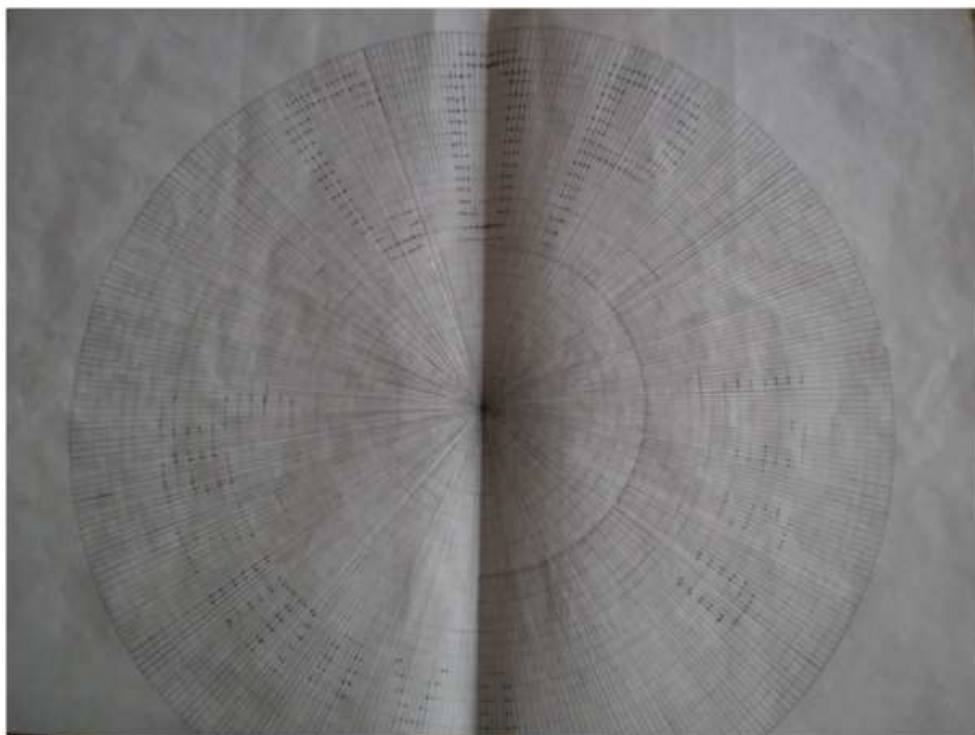


(a) Hlavní programová smyčka

(b) Podprogram Definice\_Pole

Obrázek 2.4: Vývojový diagram (převzato z (Havel, V., 2012))

Po odzkoušení funkčnosti displeje se může do procesoru nahrát program pro zobrazení nápisu „COP Sezimovo Ústí“ na rotačním displeji. Pomocí bit mapy jsou zjištěny příslušné bity k rozsvícení nápisu v jednotlivých paprscích, viz následující obrázek převzat z (HAVEL, V., 2012)



Obrázek 2.5: Bitová mapa (převzato z (Havel, V., 2012))

Následující obrázek znázorňuje přepsání ležatého písmene „S“ (otočeno o 90°) do 8 polí (řádků).

|                 |                 |   |    |
|-----------------|-----------------|---|----|
| 000000000000111 | 100000000000000 | S | 8x |
| 000000110001111 | 110000000000000 |   |    |
| 000000100001000 | 010000000000000 |   |    |
| 000000100001000 | 010000000000000 |   |    |
| 000000100001000 | 010000000000000 |   |    |
| 000000100001000 | 010000000000000 |   |    |
| 000000111111000 | 110000000000000 |   |    |
| 000000111111000 | 110000000000000 |   |    |

Obrázek 2.6: Přepsání bitů z papíru do dvojkové soustavy (převzato z (Havel, V., 2012))

# Kapitola 3

## Propeller clock v. 2

V úvodu této kapitoly bych citoval autory z Ostravské univerzity: „Po úspěšné verzi v1 přicházíme s druhou verzí rotačních hodin s označením Propeller clock v2. Doznala hned několika vylepšení, která by měla ve výsledku zaručit požadovaný dlouhodobý chod zařízení. Verze v2 byla vyrobena pro reprezentaci katedry kat450 – Měřicí a řídicí techniky na Vysoké škole báňské, fakulty FEI.“ (*MCUhobby.cz* [online], 2013a).

### 3.1 Úpravy oproti verzi v. 1

- **Použití 64 LED diod**

Bylo použito dvojnásobné množství LED diod oproti předchozí verzi. Tím se zvětšila zobrazovací plocha zařízení. Obrázky nyní mají více detailů (*MCUhobby.cz* [online], 2013a).

- **Použití spínavého stabilizátoru**

Původní verze obsahovala lineární regulátor 7805, tedy 5 V/1 A. Pro druhou verzi propelleru je použito spínaného zdroje od firmy Texas Instruments TPS54232 s výstupem 5 V/2 A. Regulátor s integrovaným výstupním MOSFET tranzistorem pracuje na frekvenci 1 MHz a spolehlivě dokáže pokrýt proudové odběry zařízení (*MCUhobby.cz* [online], 2013a).

Občasná ztráta kontaktu uhlíku vede k poklesu vstupního napětí pro stabilizátor a u lineárního stabilizátoru může docházet ke krátkodobým poklesům napájecího napětí (na destičku nebylo možné umístit větší filtrační kondenzátor). Spínavý

regulator pracuje spolehlivě i při velkých poklesech vstupního napájecího napětí.

- **Mechanika přenosu energie, pohonu a uchycení rotující části**

Tato část doznala nejvíce změn. Byla vytvořena zcela nová mechanika, od zadávacího výkresu, přes výrobu hliníkových dílů na soustruhu, až po konečnou kompletaci a montáž. Výsledkem je mechanika obsahující přírubu pro upevnění na plexisklo, přírubu pro upevnění DPS propelleru v2 a přírubu pro upevnění motoru s převodovkou. Mechanika rovněž řeší uchycení uhlíkových kartáčků (uhlík z rozdělovače z auta Škoda FAVORIT) pro přenos energie do rotující části (*MCUhobby.cz* [online], 2013a)

- **Použití stejnosměrného pohonu**

Pro pohon bylo použito stejnosměrného motoru SPEED 500 s převodovkou MP JET 8063 s převodovým poměrem 3,8 : 1 (*MCUhobby.cz* [online], 2013a).

- **PWM měnič pro SS motor**

Použitím SS motoru se oproti předchozí verzi propelleru velmi zjednodušilo řízení otáček. Byla vytvořena jednoduchá DPS obsahující mikrokontrolér pro generování PWM signálu a dále jednokvadrantový pulzní měnič (*MCUhobby.cz* [online], 2013a).

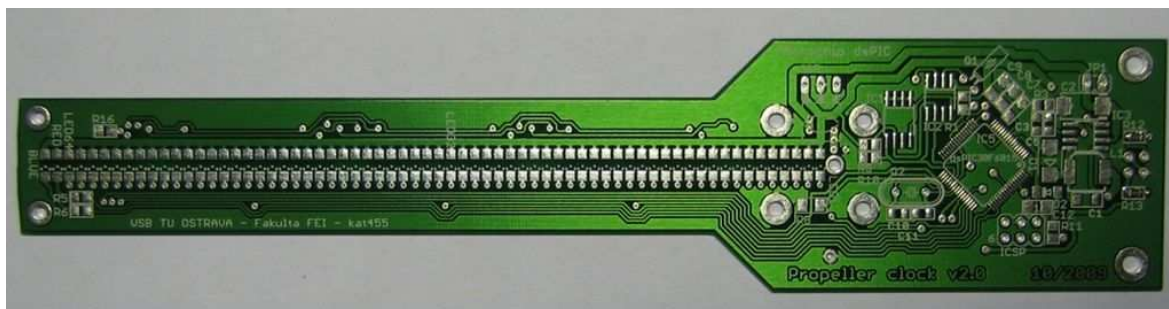
## 3.2 Schéma zapojení

Schéma zapojení je podobné jako u zařízení Propeller clock v. 1. Největší změnou je zde záměna lineárního stabilizátoru 5V/1A za spínací regulátor 5V/2A. Tento regulátor má lepší chlazení a má větší rezervu pro špičkové proudové odběry. Dále je zde nejviditelnější změna, přidání 33 LED diod a přidání dalších 2 budičů STP16CP05.

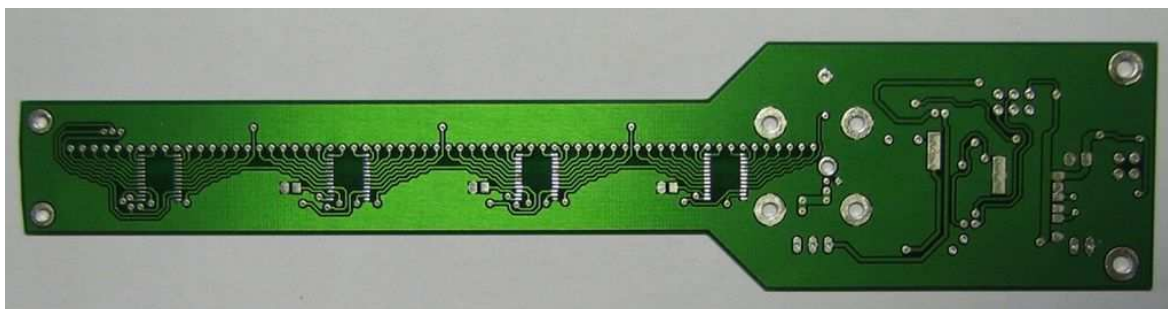


### 3.3 Deska plošných spojů

Podle schéma z obr. 9 byl vytvořen návrh DPS, který byl následně vyroben profesionálně u firmy Huráb (<http://www.hurab.com>).



Obrázek 3.2: Vyrobena DPS podle návrhu, strana TOP (převzato z ([MCUhobby.cz](http://MCUhobby.cz) [online], 2013a))

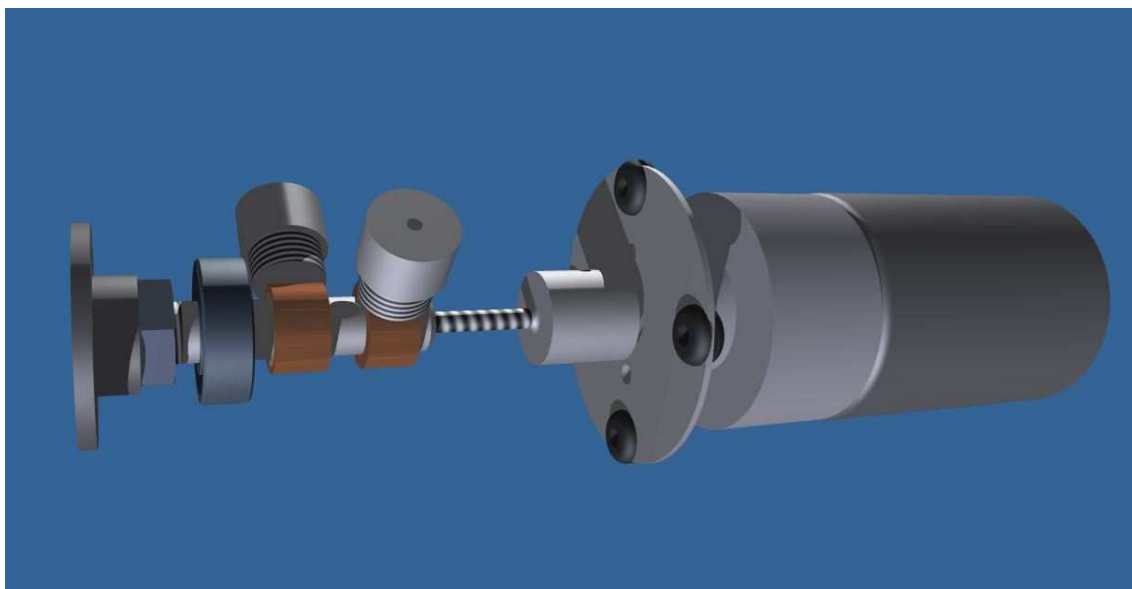


Obrázek 3.3: Vyrobena DPS podle návrhu, strana BOTTOM (převzato z ([MCUhobby.cz](http://MCUhobby.cz) [online], 2013a))

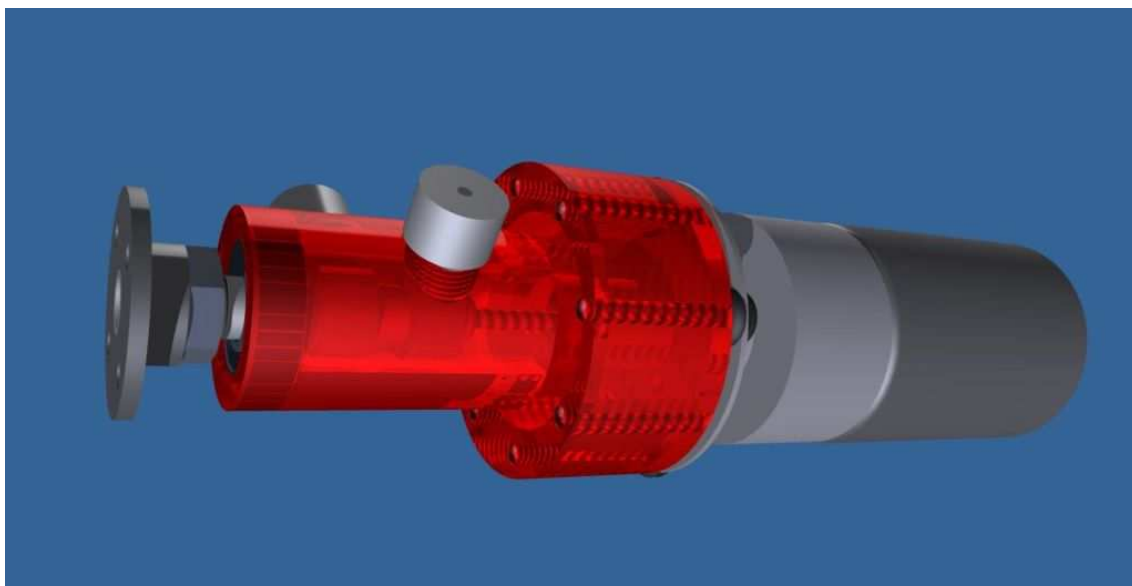
### 3.4 Elektromotorový pohon

Pohon rotujícího displeje zajišťuje stejnosměrný motor SPEED 500 s převodovkou MP JET 8063 s převodovým poměrem 3,8 : 1. Ten je zabudován do hliníkového nástavce. Na následujícím obrázku (Obr. 6) je zobrazen model celé mechaniky. Pro přenos elektrické energie na rotující část je využito dvou uhlíkových kartáčů. Napájecí zem prochází přes jeden z kartáčů, mosazný kroužek a přes hliníkovou osu, na které je pak připevněna rotující část. Kladný pól napájení je veden přes druhý kartáč, na mosazný kroužek, který

je od osy izolován. Na tomto kroužku je naletován vodič, který je pak na rotující část veden dutou částí osy (*MCUhobby.cz* [online], 2013a).



Obrázek 3.4: Mechanická konstrukce, vnitřek (převzato z (*MCUhobby.cz* [online], 2013a))



Obrázek 3.5: Mechanická konstrukce, celý pohled (převzato z (*MCUhobby.cz* [online], 2013a))





# Kapitola 4

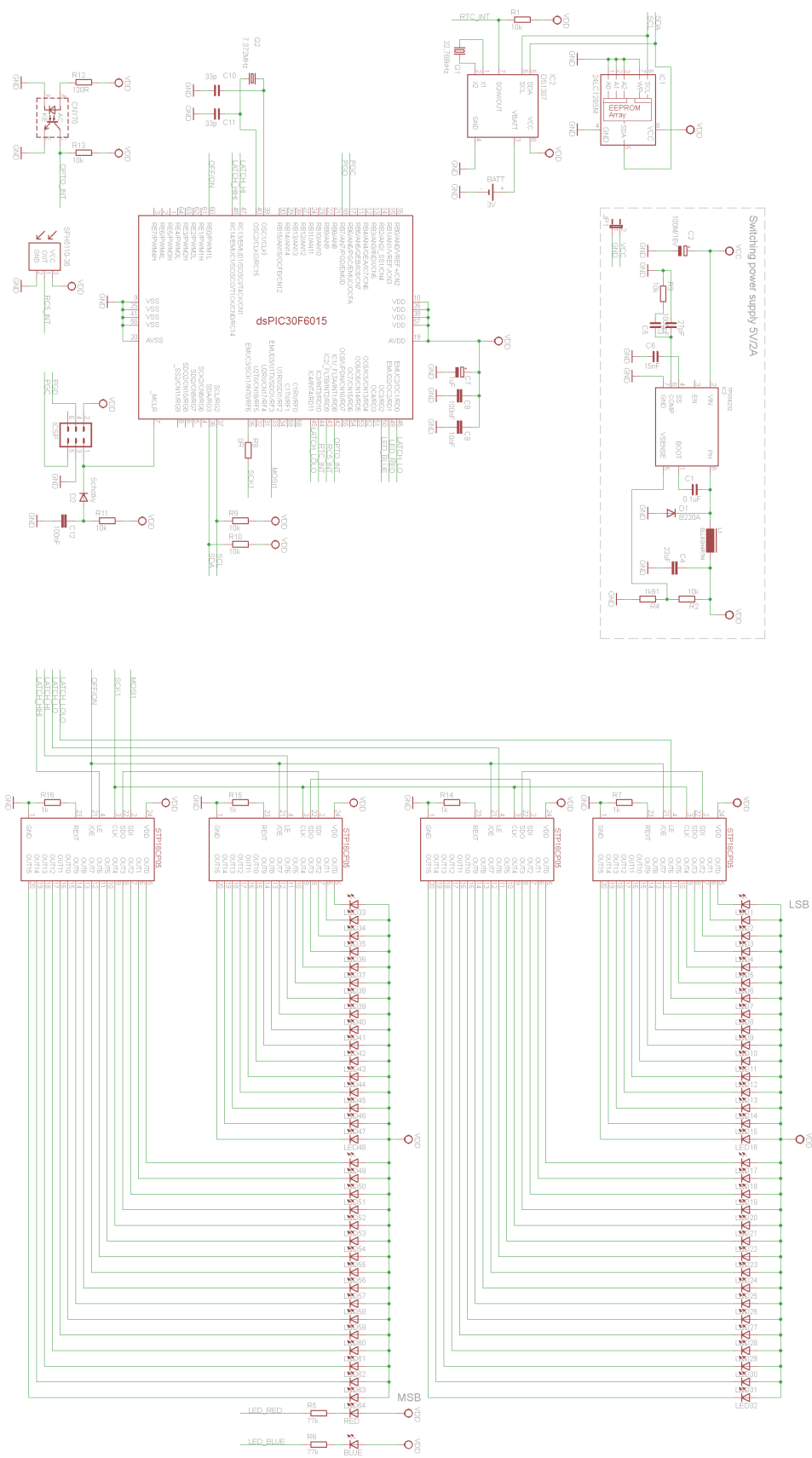
## Propeller clock – Rytíř Jiří

### 4.1 Propeller clock – Hardware

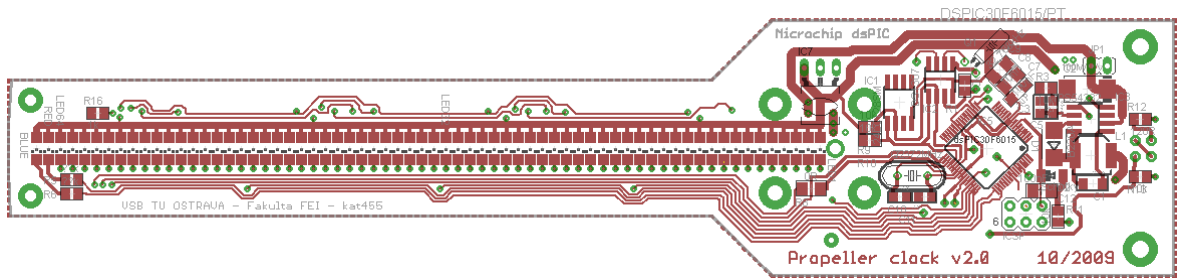
V této kapitole popisují postup výroby rotačního displeje. Principy fungování jsou popsány v kapitole 2 a 3. Výroba je popsána krok za krokem a dále jsou zde popsány překážky a problémy, které se vyskytly při výrobě, a způsob jejich řešení. Pro výrobu DPS jsem zvolil metodu osvětlení pod UV lampou a následné leptání desky v leptacím roztoku. Původní schéma i navržená DPS byly upraveny v návrhovém prostředí EAGLE verze 6.3.0 Light.

Originální návrhy předloh DPS byly připraveny pro výrobu v profesionálních podmínkách. Já jsem použil ruční výrobu. Ze zkušeností s výrobou zařízení Propeller clock v. 1, jsem věděl, že spoje jsou příliš malé a příliš blízko sebe pro výrobu v neprofesionálních podmínkách. Tyto zkušenosti vedli k úpravám schéma zapojení a následně i předloh DPS.

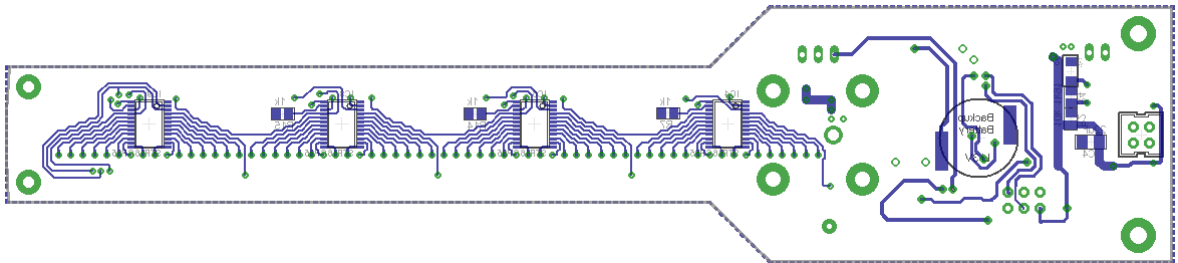
Původně byly tyto spoje a mezery navrhnuty co nejmenší z důvodu úspory místa a původní autoři si nechali desku vyrobit profesionálně. Mohli tedy mít spoje a mezery opravdu velice malé.



Obrázek 4.1: Originální schéma zapojení (převzato z (MCU hobby.cz [online], 2013a))

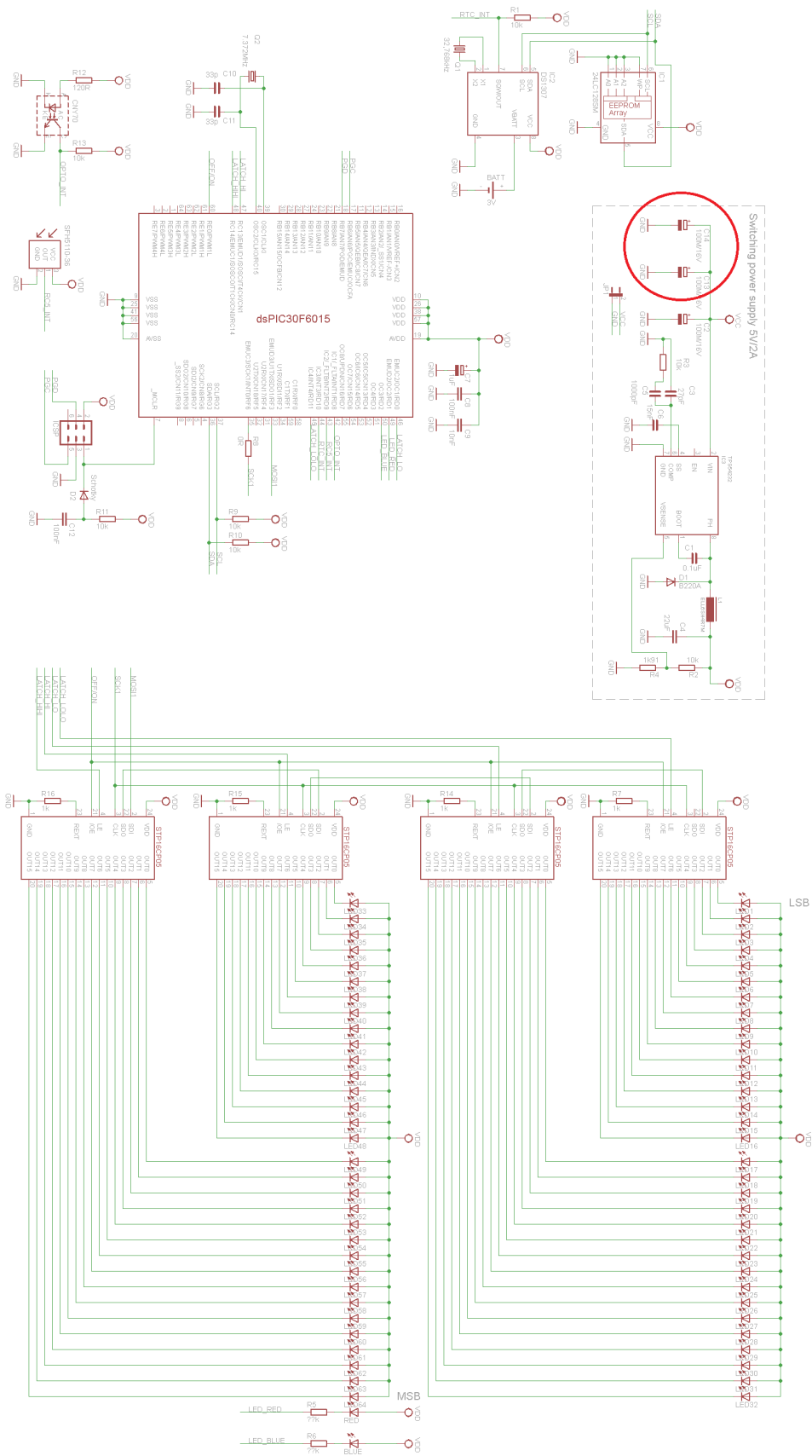


Obrázek 4.2: Originální DPS, strana TOP (převzato z (*MCUhobby.cz* [online], 2013a))



Obrázek 4.3: Originální DPS, strana BOTTOM (převzato z (*MCUhobby.cz* [online], 2013a))

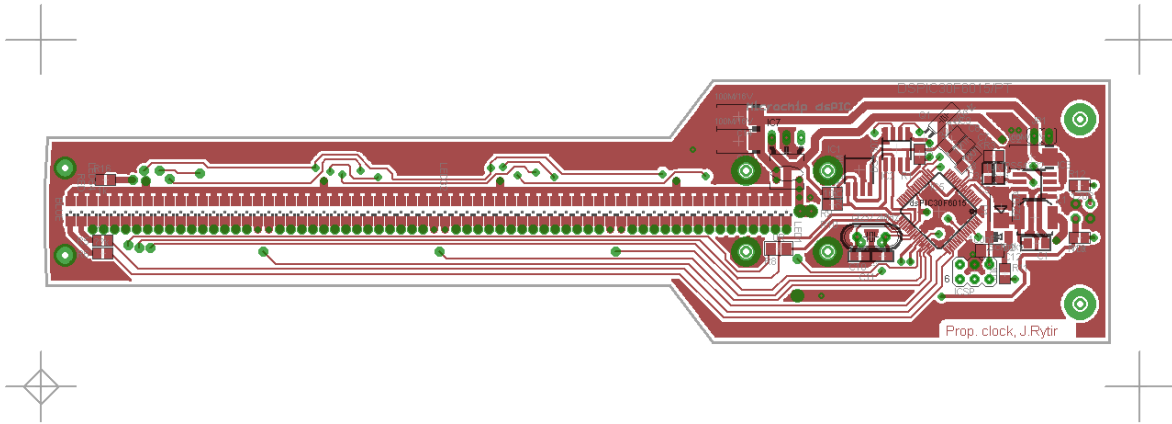
Jako první jsem musel projít schéma zapojení a zkontrolovat propojení součástek. U schéma zapojení jsem preventivně přidal další dva kondenzátory (C13 a C14) k napájení. Původně zde byl pouze jeden kondenzátor s kapacitou 100M/16V. Přidané kondenzátory zvyšují kvalitu napájení a zajišťují, aby se displej nerestartoval při velkém výkyvu napětí v okamžiku ztráty kontaktu uhlíku se sběracím kroužkem.



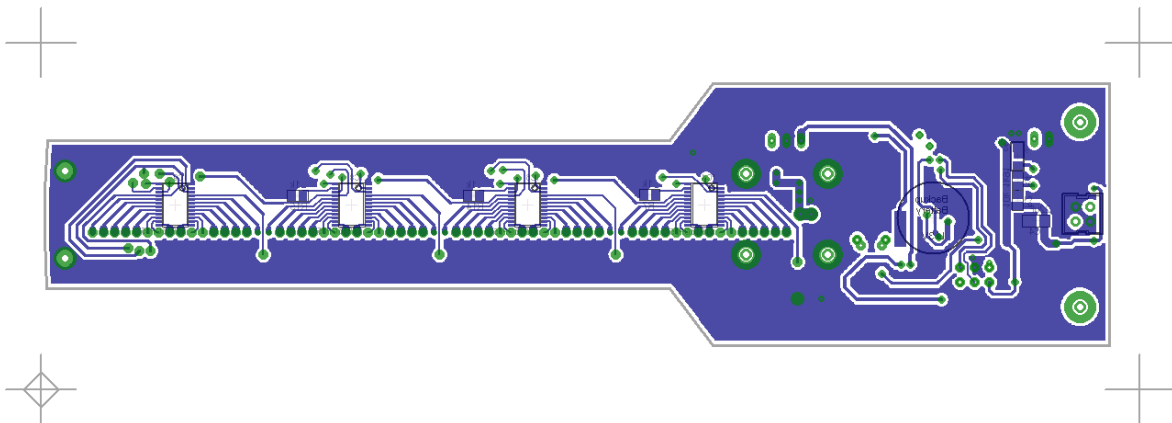
Obrázek 4.4: Schéma zapojení s přidáními kondenzátory



Posledním krokem bylo „rozlítí mědi“ pomocí tlačítka Ratsnets a propojení s vodičem GND. Na následujících obrázcích je poslední verze předloh DPS před vytisknutím.



Obrázek 4.7: DPS s rozlitou mědí, strana TOP

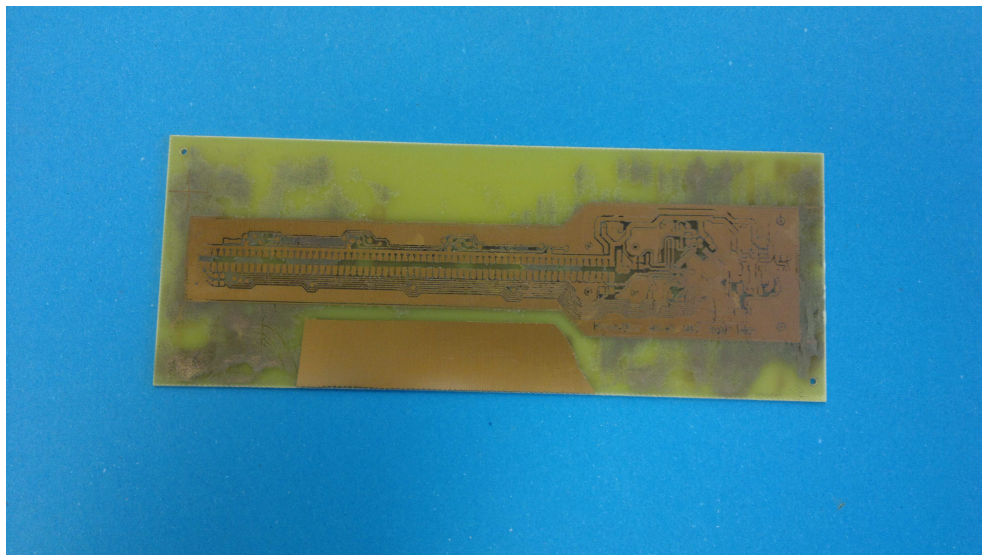


Obrázek 4.8: DPS s rozlitou mědí, strana BOTTOM

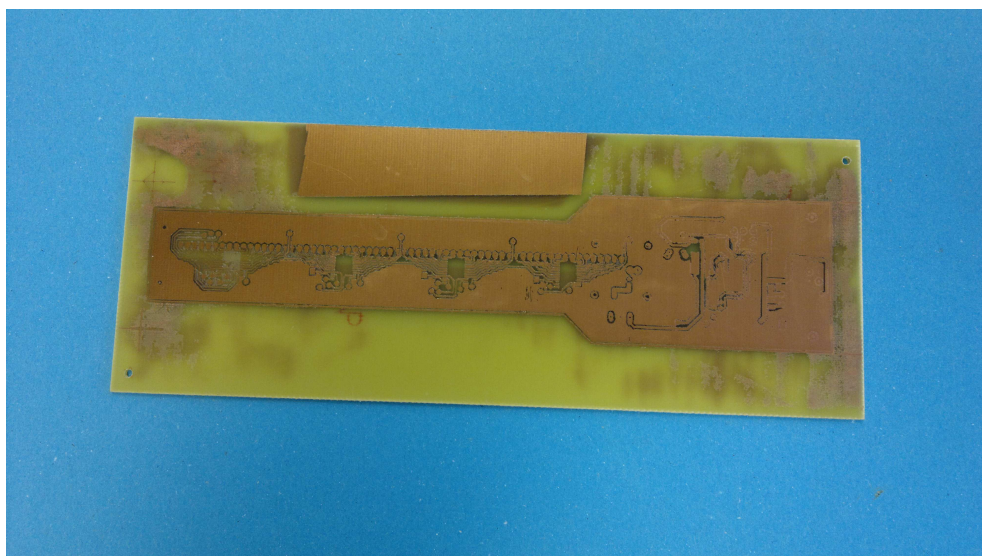
Předlohy DPS byly vtištěny laserovou tiskárnou na pauzovací papír. Před tiskem jsem musel udělat ještě poslední úpravu. Stranu bottom jsem zrcadlově otočil, aby potištěná strana přiléhala k DPS a nedocházelo k podsvícení spojů.

Po tisku jsem obě strany přiložil na sebe tak, aby se otvory vzájemně kryly, a následně jsem mezi obě předlohy vložil desku s fotocitlivou vrstvou. Vše jsem zafixoval, aby se deska mezi papíry nemohla posunout. Poté jsem desku s připevněným pauzovacím papírem vložil pod již rozehřátou UV lampu a nechal osvítit z každé strany 80 sekund. Osvícenou desku jsem vyvolával až po několika dnech v roztoku NaOH. Osvícenou a vyvolanou desku jsem vložil do roztoku FeCl<sub>3</sub> a nechal vyleptat. V průběhu leptání jsem desku

otáčel, aby se leptala rovnoměrně z obou stran. Deska se leptala téměř 3 hodiny a na některých místech přesto nedošlo k odleptání měděné vrstvy. Naopak na jiných místech došlo k proleptání vodivých cest, které měly na desce zůstat, viz následující obrázky.



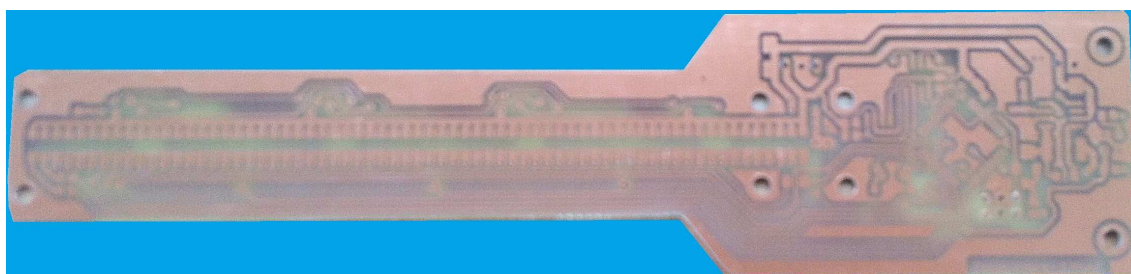
Obrázek 4.9: První pokus leptání DPS, strana TOP



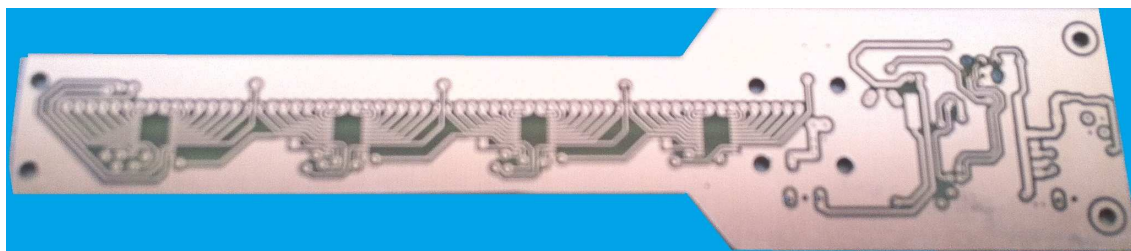
Obrázek 4.10: První pokus leptání DPS, strana BOTTOM

Neúspěšný první pokus byl důsledek použití již značně vyčerpaného leptacího roztoku a zřejmě i vyvoláním desky až po 3 dnech a nedostatečným smytím zbytku vývojky

z DPS před leptáním. Proto jsem se rozhodl celý proces zopakovat. Při druhém pokusu jsem již nenechal desku ležet přes víkend ve skříni, ale leptal jsem ihned po osvětlení, použil jsem úplně nové roztoky NaOH i FeCl<sub>3</sub> a po vyvolání jsem důkladněji odstranil zbytky vývojky z osvětlených částí DPS. Desku jsem nechal pod UV lampou o 10 sekund déle z každé strany, tzn. 90 sekund. Druhý pokus se již povedl velice pěkně a vše vypadalo dobře. Deska se po celé ploše vyleptala rovnoměrně a nikde se neproleptala. Následně jsem odřezal a zapiloval přebytečné části desky. Nyní byla deska připravená k vrtání. Pro většinu děr byl použit speciální vrták na vrtání DPS o průměru 0,5 milimetru, několik děr bylo vyvrtáno vrtákem o průměru 0,8 milimetru a následně byl použit vrták o průměru 3 milimetry na vrtání děr pro vyvažování a pro připevnění DPS k pohonu.



Obrázek 4.11: Vyleptaná, ořezaná a vyvrtaná deska DPS, strana TOP



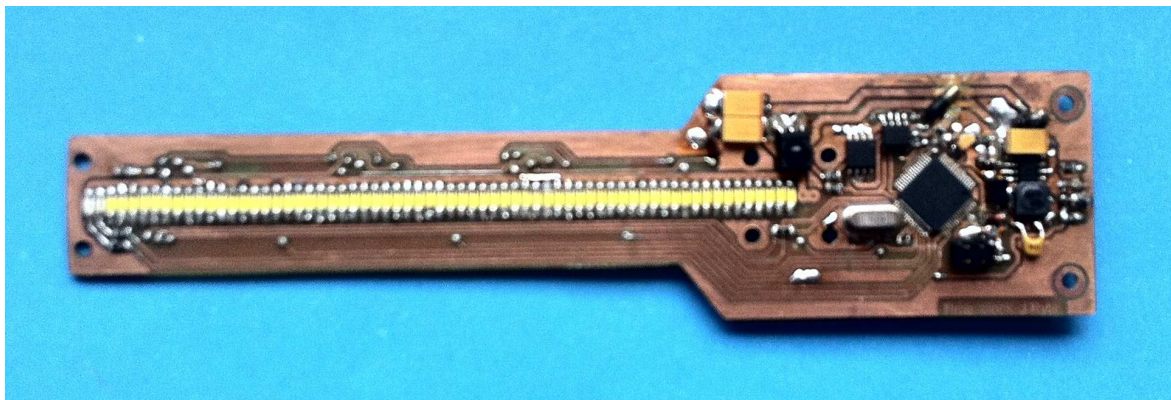
Obrázek 4.12: Vyleptaná, ořezaná a vyvrtaná deska DPS, strana BOT-TOM

Následně byla celá deska potřena tenkou vrstvou kalafuny rozpuštěné v lihu, jako ochrana proti oxidaci desky a pro usnadnění pájení součástek. Nyní jsem mohl přistoupit k pájení. Nejprve jsem podle schéma rozmístění součástek vytvořil drátové propojky mezi vrstvami, jako náhradu za prokovy. Dále jsem pokračoval pájením SMD LED diod, připájením „budičů“ LED diod, mikroprocesoru dsPIC30F6015 a ostatních součástek.

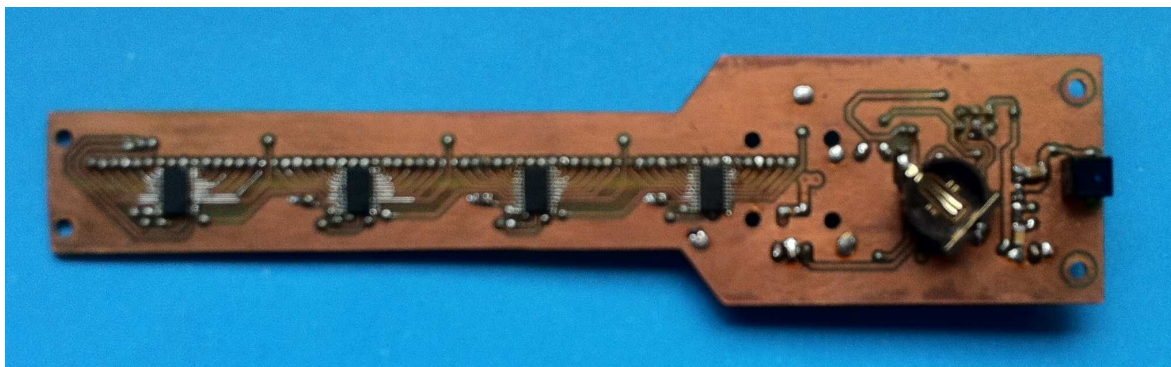
Pájení „budičů“ a mikroprocesoru bylo nejnáročnější. Pájel jsem mikropájkou, ale vývody na těchto součástkách byly tak blízko, že se mi neustále spojovaly vedlejší vývody.



Abych tomuto co nejvíce předešel, pocínoval jsem si nejprve vývody, následně jsem součástku přiložil na příslušné místo a poté prohříval, dokud se neprohřál cín a nevznikl lesklý a pevný spoj mezi jednotlivými vývody a deskou DPS.



Obrázek 4.13: Osazená deska DPS, strana TOP



Obrázek 4.14: Osazená deska DPS, strana BOTTOM

## 4.2 Oživování Propeller clock

Pokračoval jsem oživováním osazené desky. Začal jsem vizuální prohlídkou obou stran osazené DPS, abych odstranil případné zjevné závady. Žádnou zjevnou závadu jsem nenašel, proto jsem desku připojil k laboratornímu napájecímu zdroji. Po prvním zapnutí zdroje jsem zjistil, že za obvodem spínaného zdroje není žádné napájecí napětí pro desku. Nejpravděpodobnější příčinou mohl být zkrat na desce, anebo obráceně zapájený či nefunkční integrovaný obvod. Pomocí měřicího přístroje typu, DT 830B, jsem zjistil, že za integrovaným zdrojem IC3 (TPS54232) byla opačně polarizována rekuperační Schotkyho dioda D5 (B220A), proto zdroj nemohl pracovat a neměřil jsem předpokládaných +5V. Po opravení této chyby jsem již za integrovaným zdrojem naměřil správných 5V. Při dalším proměrování jsem na žádné další chyby nepřišel.

Pro diagnostiku dalších obvodů jsem si připravil malé testovací programy:

- **1. Rozsvícení červené a modré LED diody** , na tomto programu jsem si odzkoušel vytvoření programu v jazyce C pod vývojovým prostředím MPLAB. Ukázalo se, že mikropočítač nepracuje a měřením na výstupu oscilátoru jsem zjistil, že oscilátor nekmitá. Proto jsem program upravil pro použití vnitřního RC oscilátoru s tím, že k závadě se vrátím později.
- **2. Střídavé blikání červené a modré LED diody** , tímto programem jsem si ověřil funkčnost modré a červené LED diody.
- **3. Program pro kontrolu bílých LED diod** , tímto programem jsem si ověřil funkčnost všech 64 LED diod.
- **4. Program pro zobrazení nápisu** , tímto programem jsem si odzkoušel nahrání nápisu do rotočného displeje.

ZDROJOVÉ KÓDY DIAGNOSTICKÝCH PROGRAMŮ JSOU V PŘÍLOHÁCH NA PŘILOŽENÉM CD

## 4.3 Propeller clock – Software

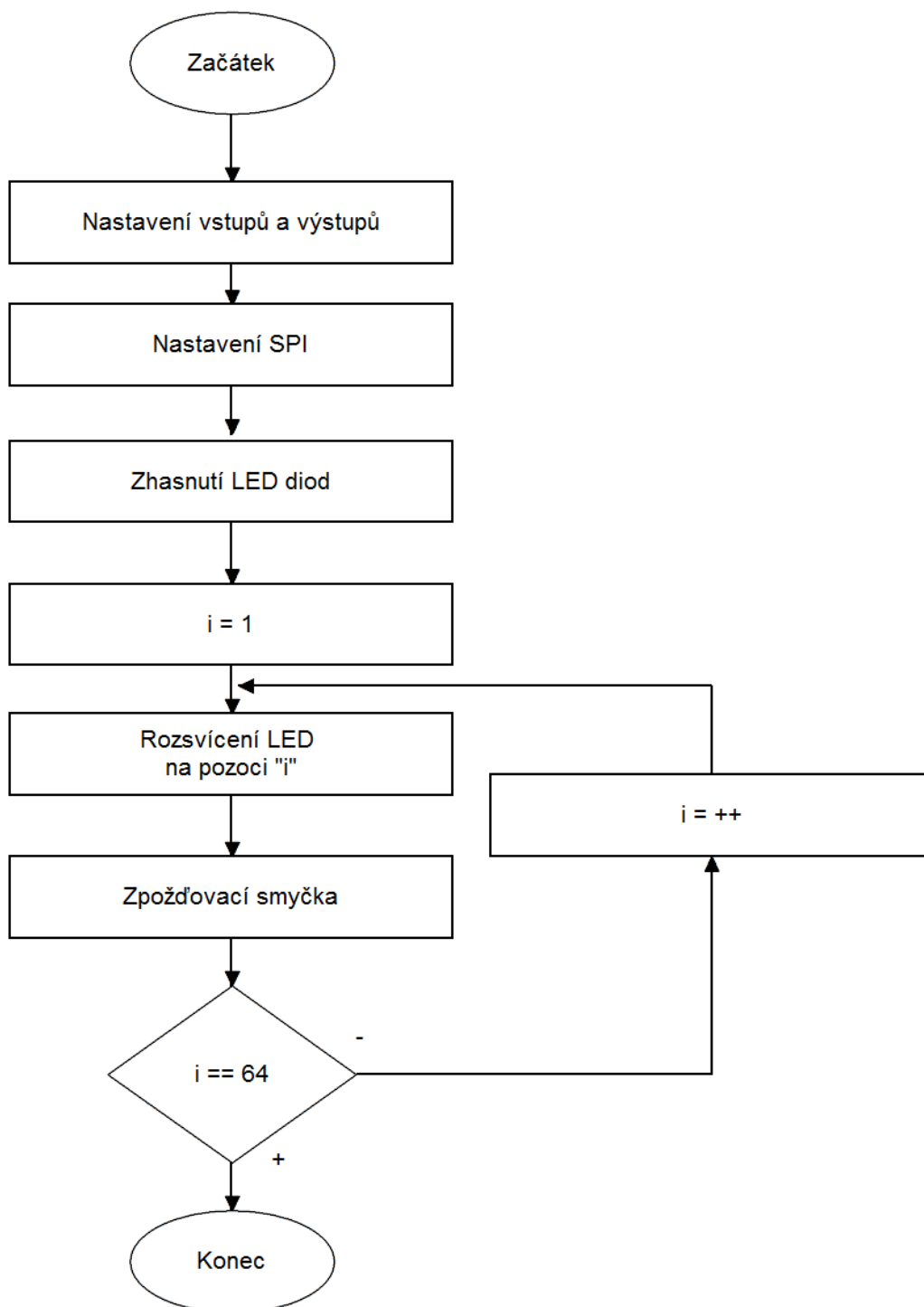
Před samotným programováním jsem si musel prostudovat datasheet k jednotlivým součástkám na desce DPS. Pro správné naprogramování desky je velice důležité znát, na

jaké vývody se má přivést logická jednička a logická nula, v jakém časovém okamžiku a na jak dlouho. Po prostudování různých materiálů jsem přešel k samotnému programování. Použil jsem program MPLAB X IDE, ve kterém se používá jazyk podobný programovacímu jazyku C. Začal jsem od jednoduchých programů a postupně se dotával ke složitějším.

První program, který jsem nahrál do procesoru bylo jednoduché trvalé rozsvícení modré a červené LED diody, které jsou připojeny přímo na vývody procesoru. Následně jsem nahrál program pro střídavé zapínání a vypínání modré a červené LED diody. Oba programy byly funkční a obě LED diody se rozsvěcely a zhasínaly správně. Tím byla zaručena funkčnost těchto dvou LED diod.

Ostatní LED diody jsou k procesoru připojeny přes „budiče“, které si sami řídí proud procházející LED diodou. Komunikace mezi procesorem a ”budiči” probíhá sériovým signálem. Z výstupu předchozího ”budiče” pokračuje vždy signál na vstup následujícího. Postupně se tak vyše informace o rozsvícení či zhasnutí pro všech 64 LED diod.

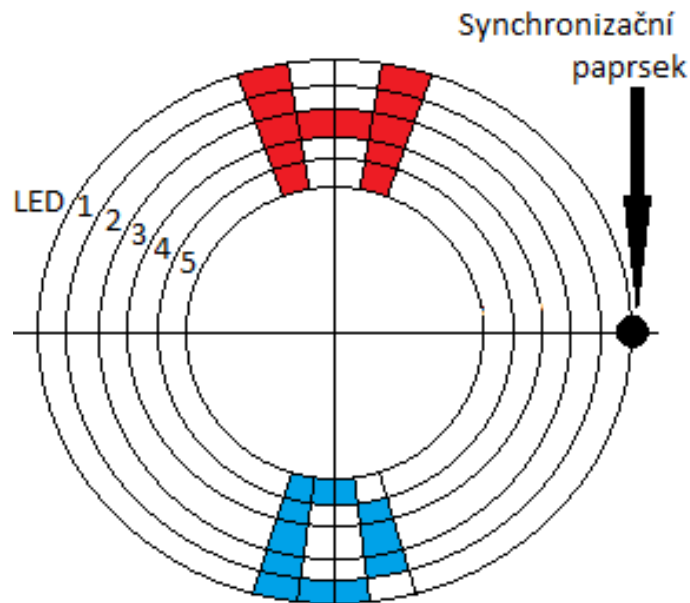
Následující obrázek je vývojový diagram k 3. programu. Program pro kontrolu bílých LED diod. Program nejprve provede potřebné nastavení vstupů a výstupů mikroprocesoru a nastavení komunikace mezi mikroprocesorem a ”budiči”. Následně zhasne všechny LED diody a postupně se v řadě rozsvítí 1. LED dioda na cca 0,5 sekundy, následuje další LED dioda a cyklus s podmínkou se opakuje až k 64. LED diodě. Po probliknutí poslední LED diody program končí.



Obrázek 4.15: Vývojový diagram 3. programu

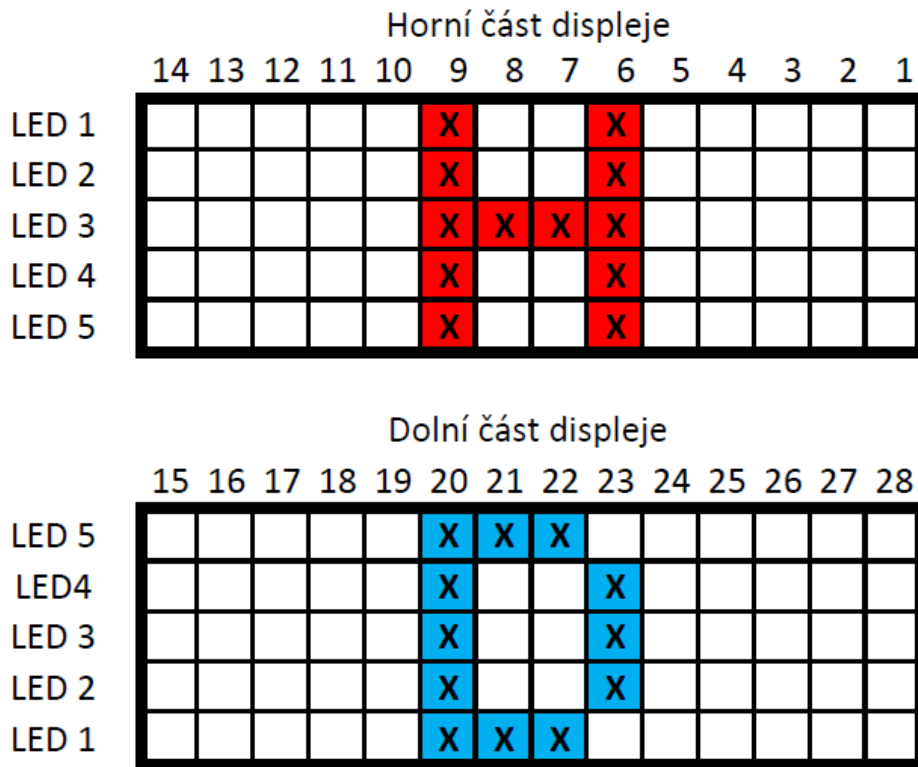
Poslední je program pro rozsvícení písmene "H" na horní části displeje a písmene "D" na dolní části displeje. U tohoto programu jsem si musel uvědomit jak probíhá nahrávání bitů. Směr otáčení je proti hodinovým ručičkám.

Následující ilustrační obrázek znázorňuje rotující displej s 5 LED diodami.



Obrázek 4.16: Ilustrační náčrt rotujícího displeje s 5ti LED diodami

Displej jsem si proto rozdělil na dvě části, horní a dolní. Pro zobrazování v horní polovině displeje jsou nápisy umístěny v horní tabulce a pro zobrazování v dolní polovině displeje jsou nápisy v dolní tabulce. V horní tabulce pro LED 1 jsou bity umístěny v první řádce a pro LED 5 jsou umístěny v poslední řádce. V dolní tabulce je to naopak. Při pohybu po horní části LED 1 zobrazuje vrchní část písmen a při pohybu po dolní části zobrazuje spodní část písmen, jak je ukázáno v následujících tabulkách.



Obrázek 4.17: Ilustrační náčrt bitmapy s nápisem "H" a "D"

Tento poslední program jsem vysvětlil pouze na zjednodušeném obrázku a na displeji s 5ti LED diodami a 28 paprsky. Jde pouze o ilustrační ukázání bitů v bitmapě. U Propeller clock v. 2 by se jednalo o podobnou bit mapu, která by byla o velikosti 64 LED diod a 180 paprsků v horní i spodní části, dohromady 360 paprsků.

# Kapitola 5

## Závěr

V této absolventské práci se mi podařilo splnit zadání. Původní návrhy desky plošných spojů byly upraveny tak aby jsem je mohl vyrobit v neprofesionálních podmínkách. Rotšířil jsem si vědomosti z oblasti návrhu, leptání a oživování DPS.

Při výrobě této desky se první pokus leptání nepovedl, tak jsem musel začít znovu a lépe. Druhý pokus již byl úspěšný a deska se podařila vyleptat. Dále jsem zlepšil svou zručnost při ořezávání a vrtání desky.

Při osazování desky jsem si vždy musel dobře promyslet v jakém pořadí budu součástky na desku pájet, aby bylo možné po napájení nějaké součástky připájet další. Musel jsem si u několika součástek pročíst datasheet abych zjistil jak je součástka orientovaná a jak ji mám na desku připájet.

Při oživování jsem narazil na pár problémů, které popisují v kapitole 4. Dále jsem se v této kapitole věnoval programování na které mi nezbylo už moc času.

Tato práce může případným dalším řešitelům poskytnout cenné rady a návody jak postupovat při výrobě, zdokonalování a následném programování.

V této práci byla použita doporučená literatura (*MCUhobby.cz* [online], 2013a), (*MCUhobby.cz* [online], 2013b), (*dsPIC30F6015 Data Sheet* [online], 2011) a maturitní práce žáků střední školy COP, Sezimovo ústí (VESELÝ, D., 2012), (HAVEL, V., 2012).





# Literatura

*cs.wikipedia.org* [online] (2013). [cit. 2013-11-13],

[http://cs.wikipedia.org/wiki/Snimkova\\_frekvence/](http://cs.wikipedia.org/wiki/Snimkova_frekvence/).

*dsPIC30F6015 Data Sheet* [online] (2011). [cit. 2013-10-23],

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70150E.pdf/>.

*MCUhobby.cz* [online] (2013a). [cit. 2013-03-01], [http://www.mcu hobby.cz/Propeller clock v.2/](http://www.mcu hobby.cz/Propeller_clock_v.2/).

*MCUhobby.cz* [online] (2013b). [cit. 2013-03-01], [http://www.mcu hobby.cz/Propeller clock v.1/](http://www.mcu hobby.cz/Propeller_clock_v.1/).

*navratdoreality.cz* [online] (2013). [cit. 2013-01-03],

<http://navratdoreality.cz/revolights/>.

HAVEL, V. (2012), *Výroba rotačního displeje - Software*.

VESELÝ, D. (2012), *Výroba rotačního displeje - Hardware*.



# Příloha A

## Použitý software

**L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X** [⟨http://www.miktex.org/⟩](http://www.miktex.org/)

**EAGLE 6.3.0 Light** [⟨http://www.eagle.cz/⟩](http://www.eagle.cz/)

**MPLAB X IDE v2.05** [⟨http://www.microchip.com/⟩](http://www.microchip.com/)

**Diagram designer** [⟨http://www.smartdraw.com⟩](http://www.smartdraw.com)

**Adobe Photoshop CS5** [⟨http://www.adobe.com⟩](http://www.adobe.com)

Software z výše uvedeného seznamu je buď volně dostupný, nebo je toho času jeho vlastníkem Vyšší odborná škola, Střední škola, Centrum odborné přípravy, Sezimovo Ústí, Budějovická 421, kde autor téhož času studoval a vytvořil tuto absolventskou práci.