



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

Fakulta elektrotechnická  
Katedra mikroelektroniky

# **Inteligentní průtokoměr**

## **Intelligent Flowmeter**

Bakalářská práce

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika

Studijní obor: Aplikovaná elektronika

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Teplý

**Jan Krupička**

---

Praha 2014

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

katedra mikroelektroniky

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **K R U P I Č K A Jan**

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika  
Obor: Aplikovaná elektronika

Název tématu: **Inteligentní průtokoměr**

### **Pokyny pro vypracování:**

- 1) Proveďte rešerši z oblasti měření průtoku kapalin.
- 2) Navrhněte obvodové zapojení elektronické řídicí jednotky průtokoměru, která bude získávat a zpracovávat data ze snímače průtoku, ze kterých bude schopna určit aktuální hodnotu průtoku vody a průměrnou spotřebu za určité časové období. Naměřené hodnoty bude možné odeslat pro další zpracování do PC. Jako konstrukční základ můžete použít mechanickou část komerčně dostupného průtokoměru.
- 3) Výsledný návrh realizujte a vytvořte obslužný software pro řídicí jednotku.
- 4) Změřte parametry realizovaného průtokoměru a zhodnoťte dosažené výsledky.

### **Seznam odborné literatury:**

- [1] Robert B. Reese: Microprocessors From Assembly Language to C Using The PIC18Fxx2, Da Vinci Engineering Press, Hingham Massachusetts 2005
- [2] Brian W. Kernighan, Dennis M. Ritchie: Programovací jazyk C, Computer Press, a.s., Brno 2006

Vedoucí: **Ing. Tomáš Teplý**

Platnost zadání: 31. 8. 2015

L.S.

Prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.  
vedoucí katedry

Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
děkan

V Praze dne 27. 1. 2014

## **Anotace**

Předmětem bakalářské práce *Inteligentní průtokoměr* je realizace prototypu průtokoměru pro domácí použití. V úvodu jsou popsány metody, zabývající se měřením protečeného množství kapaliny. Další části práce popisují princip navrhnutého snímání otáček, ale hlavně samotnou realizaci zařízení. V těchto kapitolách je podrobně vysvětleno obvodové zapojení a použité komponenty, kterými je osazena jednotka průtokoměru. Dále je zaměřena na popis obslužných programů samotné jednotky, ale také uživatelského softwaru pro PC. V poslední části jsou shrnuty dosažené výsledky, parametry realizovaného prototypu a vizualizace naměřené spotřeby.

## **Annotation**

The goal of the bachelor thesis *Intelligent Flowmeter* is the implementation of a prototype of a flowmeter for domestic use. The introduction deals with measuring methods of liquid thorough-flow. Next parts of the thesis describe the principle of speed sensing, and also the implement of the device. Electrical schematic and components, which are used for the unit of the flowmeter, are explained in detail in this part too. The next part is focused on description of the unit firmware, but also on description of user's PC software. In the last part there are summarized the results, parameters of the implemented prototype and visualization of the measured consumption.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předloženou práci na téma *Inteligentní průtokoměr* vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 23. května 2014

---

podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Teplému za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Praze dne 23. května 2014

---

podpis autora

# Obsah

|       |                                  |    |
|-------|----------------------------------|----|
| 1     | Úvod .....                       | 5  |
| 2     | Obecné principy průtokoměrů..... | 6  |
| 2.1   | Metody měření .....              | 6  |
| 2.1.1 | Objemové metody.....             | 7  |
| 2.1.2 | Rychlostní metody.....           | 7  |
| 2.1.3 | Hmotnostní metody.....           | 8  |
| 3     | Lopatkový průtokoměr.....        | 8  |
| 3.1   | Princip .....                    | 9  |
| 3.2   | Vlastnosti.....                  | 10 |
| 3.3   | Použití.....                     | 10 |
| 4     | Snímání otáček.....              | 11 |
| 4.1   | Princip enkodéru .....           | 11 |
| 4.2   | Použitý motiv .....              | 13 |
| 5     | HW Realizace prototypu .....     | 14 |
| 5.1   | Řešení napájení .....            | 16 |
| 5.1.1 | Akumulátor NiMH .....            | 16 |
| 5.1.2 | Nabíječka akumulátoru .....      | 16 |
| 5.1.3 | Spínaný zdroj napětí.....        | 19 |
| 5.2   | Řešení snímání otáček.....       | 22 |
| 5.2.1 | Optický snímač .....             | 22 |
| 5.3   | Řešení komunikace .....          | 23 |
| 5.3.1 | Signalizace stavů .....          | 23 |
| 5.3.2 | Bluetooth modul .....            | 24 |
| 5.4   | Řešení obsluhy jednotky .....    | 26 |
| 5.4.1 | Mikrokontrolér .....             | 26 |
| 5.4.2 | RTC/C obvod.....                 | 29 |
| 6     | Deska plošných spojů .....       | 30 |
| 6.1   | Návrh plošného spoje .....       | 30 |
| 6.2   | Oživení.....                     | 31 |
| 7     | Komunikační rozhraní .....       | 32 |
| 7.1   | UART.....                        | 32 |
| 7.2   | Bluetooth .....                  | 32 |
| 7.3   | I <sup>2</sup> C .....           | 33 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 8     | SW Realizace .....  | 34 |
| 8.1   | Firmware .....  | 34 |
| 8.1.1 | Použité periferie .....                                       | 35 |
| 8.1.2 | Inicializace periferií .....                                  | 38 |
| 8.1.3 | Adresace EEPROM.....  | 40 |
| 8.1.4 | Snímání a zpracování hodnot.....                              | 42 |
| 8.2   | Software pro PC .....   | 44 |
| 8.2.1 | Popis ovládání .....  | 45 |
| 9     | Dosažené výsledky a parametry realizovaného průtokoměru ..... | 46 |
| 9.1   | Průběhy impulsů .....   | 46 |
| 9.2   | Stanovení konstanty $k$ .....                                 | 47 |
| 9.3   | Elektrická spotřeba.....                                      | 49 |
| 9.4   | Ostatní.....  | 50 |
| 9.5   | Demonstrace funkčnosti .....                                  | 50 |
| 10    | Závěr.....  | 52 |
|       | Seznam literatury.....  | 53 |
|       | Přílohy .....   | 55 |
|       | Foto dokumentace.....   | 61 |

## Seznam obrázků

|  |    |
|--|----|
| Obrázek 3.1 : Komerční průtokoměr [4] .....  | 8  |
| Obrázek 3.2: Radiální průtokoměr .....   | 9  |
| Obrázek 3.3: Mechanické počítadlo.....   | 9  |
| Obrázek 3.4: Průřez radiálního lopatkového průtokoměru .....                                 | 9  |
| Obrázek 3.5: Charakteristika radiálního lopatkového průtokoměru [2].....                     | 10 |
| Obrázek 4.1: Princip enkodéru.....   | 11 |
| Obrázek 4.2: Příklad určení frekvence otáčení .....  | 12 |
| Obrázek 4.3: Princip vyhodnocení směru .....   | 12 |
| Obrázek 4.4: Motiv snímací vrstvy .....  | 13 |
| Obrázek 5.1: Detail snímání a uložení článků .....   | 14 |
| Obrázek 5.2: 3D model průtokoměru .....  | 14 |
| Obrázek 5.3: Elektronické blokové schéma .....   | 15 |
| Obrázek 5.4: Ukončení metody $-\Delta U$ [5].....  | 16 |
| Obrázek 5.5: Obvodové zapojení nabíječky akumulátoru .....                                   | 17 |
| Obrázek 5.6: Účinnost měniče TPS63001 [6] .....  | 19 |
| Obrázek 5.7: Obvodové zapojení .....   | 20 |
| Obrázek 5.8: Závislost kolektorového proudu na vzdálenosti snímače od reflexní plochy [7]... | 22 |
| Obrázek 5.9: Výstupní charakteristika detektoru [7].....                                     | 22 |
| Obrázek 5.10: Obvodové zapojení snímačů.....   | 22 |
| Obrázek 5.11: Obvodové zapojení signalizace stavů .....                                      | 23 |
| Obrázek 5.12: Obvodové zapojení Bluetooth modulu.....  | 25 |
| Obrázek 5.13: Obvodové zapojení mikrokontroléru.....   | 27 |
| Obrázek 5.14: Obvodové zapojení RTC/C obvodu .....   | 29 |
| Obrázek 7.1: Datový rámec UART rozhraní [11] .....   | 32 |
| Obrázek 7.2: RFCOMM protokol [12].....   | 33 |
| Obrázek 7.3: Čtení dat [10] .....  | 33 |
| Obrázek 7.4: Synchronizace I2C sběrnice [10] .....   | 33 |
| Obrázek 7.5: Průběhy I2C sběrnice .....  | 34 |
| Obrázek 8.1: Základní vývojový diagram systému .....   | 35 |
| Obrázek 8.2: Capture režim .....   | 36 |
| Obrázek 8.3: Registry RTC obvodu [10].....   | 38 |
| Obrázek 8.4: Inicializace periférií .....  | 39 |
| Obrázek 8.5: Uspořádání dat v paměti EEPROM .....  | 40 |
| Obrázek 8.6: Vývojový diagram Adresace.....  | 42 |
| Obrázek 8.7: Vývojový diagram zpracování signálů.....  | 43 |
| Obrázek 8.8: Základní vývojový diagram uživatelského softwaru .....                          | 45 |
| Obrázek 8.9: GUI uživatelského softwaru .....  | 46 |
| Obrázek 9.1: Průběh na kolektorech opto-tranzistorů .....                                    | 47 |
| Obrázek 9.2: Průběh signálů při otáčení po směru (a - vlevo) a proti směru(b - vpravo).....  | 47 |
| Obrázek 9.3: Stažená data v uživatelském softwaru .....                                      | 51 |
| Příloha 0.1: Obvodové zapojení jednotky .....  | 55 |
| Příloha 0.1: Obvodové zapojení jednotky (aktualizované) .....                                | 56 |
| Příloha 0.2: Návrh DPS jednotky .....  | 57 |
| Příloha 0.3: Návrh DPS jednotky (aktualizované) .....  | 57 |



|   |    |
|---|----|
| Příloha 0.4: Návrh DPS se snímači.....    | 58 |
| Příloha 0.5: Rozměry DPS jednotky.....    | 58 |
| Příloha 0.6: Rozměry DPS se snímači ..... | 58 |
| Foto 0.1: DPS jednotky průtokoměru .....  | 61 |
| Foto 0.2: DPS se snímači .....            | 61 |
| Foto 0.3: Konstrukce průtokoměru.....     | 61 |
| Foto 0.4: Signalizace KO .....            | 62 |
| Foto 0.5: Signalizace OK .....            | 62 |
| Foto 0.6: Horizontální poloha .....       | 62 |
| Foto 0.7: Signalizace komunikace .....    | 62 |
| Foto 0.8: Komunikace přes převodník ..... | 62 |
| Foto 0.9: Měřící pracoviště .....         | 62 |

## **Seznam tabulek**

|  |    |
|--|----|
| Tabulka 3.1: Důvody použití komerčního vodoměru.....                             | 8  |
| Tabulka 9.1: Naměřené hodnoty průtoků.....                                       | 48 |
| Tabulka 9.2: Měřený příkon jednotky průtokoměru .....                            | 49 |
| Tabulka 9.3: Porovnání naměřené spotřeby průtokoměrem a kontrolním měřením ..... | 51 |

# 1 Úvod

V dnešní době je kladen důraz na úsporu nákladů energií v domácnostech, ale také v provozu a administraci společností. Stále více se realizují inteligentní stavby, které jsou určeny pro optimalizaci energií a následnou úsporu nákladů. Mnoho projektů je zaměřeno na vytápění nebo na šetření elektrické energie. Tímto projektem bych se rád věnoval hospodaření s vodou. Rozhodl jsem se zabývat návrhem a následnou realizací *Inteligentního průtokoměru*. Z naměřených hodnot vytvářet statistiky a ty následně bezdrátovým přenosem zobrazovat na obrazovce PC nebo chytrého mobilního telefonu. Mou myšlenkou není odečítat spotřebu celé domácnosti nebo firemních prostor, ale zaměřit se na koncová zařízení spotřebovávající pitnou vodu. Může to být myčka, pračka, toaleta a porovnávat reálnou spotřebu s údajem deklarovaným výrobcem. Dále se může jednat o buňky, jako jsou kuchyně nebo sociální zařízení a sledovat jejich spotřebu a popřípadě učinit opatření k úspoře vody. Značnou výhodou tohoto principu měření je snadné vzdálené odečítání hodnot, například z těžko dostupných míst. Odečítat lze samočinně a následně vytvářet statistiky za určité období.

Bakalářskou práci považuji za vizitku studenta, jak se dokázal se zadaným tématem vyrovnat. Myslím, že bakalářská práce by mě také měla naučit postup při podobných projektech, vést k seřazení myšlenek a ujasnění priorit. Největší váhu přikládám tomu, že se seznámím s technologiemi a jejich uplatněním na praktickém příkladu.

## 2 Obecné principy průtokoměrů

Pro měření průtoku a protečeného množství kapalin, samozřejmě platí to i pro plyny, je na výběr mnoho odlišných snímačů využívajících různé fyzikální principy. Velké množství různých průtokoměrů je dáno tím, že v průmyslu měříme mnoho látek se specifickými vlastnostmi. Při volbě vhodného průtokoměru je velmi důležitý i funkční princip. Různé typy snímačů vykazují pro danou oblast použití jisté výhody i nevýhody a odtud vyplývá i stupeň uspokojení požadavků uživatele.

Výsledek měření průtoku může být udáván buď jako průtok hmotnostní  $Q_m$  (např. kilogram za sekundu) nebo průtok objemový  $Q_V$  (např. metry krychlové za sekundu)

$$Q_m = \frac{dm}{dt} \quad [kg \cdot s^{-1}] \quad \quad Q_V = \frac{dV}{dt} \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (2.1)$$

Případně v integrálním tvaru rovnice udávají protečené množství, buď to hmotnost  $m$  nebo objem  $V$ .

$$m = \int_{t_1}^{t_2} Q_m dt \quad [kg] \quad \quad V = \int_{t_1}^{t_2} Q_V dt \quad [m^3] \quad (2.2)$$

Průtok lze vyhodnotit i na základě měření místní nebo střední rychlosti kapaliny procházející známým průřezem

$$Q_V = \int_S v dS = \bar{v} \cdot S \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (2.3)$$

kde  $v$  je místní rychlost kapaliny,  $\bar{v}$  je střední rychlost kapaliny,  $S$  je průřez potrubí.

Většina přístrojů udává průtok či protečené množství při daných provozních podmínkách (teplota, tlak). V případě nestálých stavových veličin se provozní podmínky přepočítávají na určité vztažné podmínky. Moderní přístroje bývají vybaveny elektronickými obvody k automatickému provádění této korekce <sup>[1]</sup>.

### 2.1 Metody měření

Klasifikaci snímačů průtoku lze stanovit různými způsoby, např. podle použité metody. Metody měření průtoku se dělí na objemové, rychlostní a hmotnostní.

### 2.1.1 Objemové metody

Jedná se o absolutní metody. Používá se pro velmi přesná měření kapaliny a také jako etalony pro kalibraci jiných měřidel průtoku. Jejich přesnost dosahuje  $< 1 \%$  z měřicího rozsahu. Změna výstupu je vždy lineární. Mohou se dělit dále na dva principy měření. Jeden princip, kdy průtok je určen přírůstkem objemu za jednotku času. Druhý princip, kde se využívá cyklického plnění a vyprazdňování několika odměrných prostorů.

### 2.1.2 Rychlostní metody

Nejvíce rozšířené metody, využívající vztah 2.3, kdy průtok lze vyhodnotit na základě měření místní nebo střední rychlosti kapaliny procházejícího známým průřezem. Podle použitého principu lze dosáhnout přesností v rozmezí  $0,1 \%$  ÷  $5 \%$  z měřicího rozsahu. Změna výstupu je převážně lineární, u některých principů se jedná o závislost odmocninovou. Dále jsou stručně popsány některé principy, používané u rychlostních metod měření průtoku.

**Průtokoměry s měřením rozdílu tlaku:** závislost dynamického tlaku proudící kapaliny na rychlosti proudění (Pitotova trubice, Prandtlova trubice), měření rozdílu statických tlaků před a zúžením průtočného průřezu (Venturiho dýza).

**Rotametry (plováčkové průtokoměry):** se změnou průtoku se mění průtočný průřez při téměř stálé tlakové ztrátě.

**Náporové (deformační) průtokoměry:** kinetická energie proudící kapaliny deformuje pružný prvek.

**Turbínové a lopatkové průtokoměry:** rozlišují se podle směru proudění vzhledem k ose rotoru, a to na radiální a axiální. Využívá se silových účinků proudící kapaliny, kterými je uváděn do pohybu rotační prvek s otáčkami, úměrný rychlosti proudění.

**Elektromagnetické indukční průtokoměry:** využití Faradayova zákona o elektromagnetické indukci při pohybu vodiče v magnetickém poli. U toho principu je místo vodiče použita elektricky vodivá kapalina proudící v potrubí.

**Ultrazvukové průtokoměry:** měření změny frekvence ultrazvuku při odrazu od pohybující se nečistot v proudící kapalině (Dopplerův jev), měření doby šíření ultrazvuku ve směru a proti směru proudění.

Existuje mnoho dalších provedení rychlostních metod, jako jsou *vírové průtokoměry*, *značkovací průtokoměry* nebo *přepady a žlaby*.

### 2.1.3 Hmotnostní metody

Pro transport strategických kapalin mezi organizacemi je nutné znát hmotnost přepravené kapaliny (např. pro fakturace). Při použití rychlostních a objemových metod je průtok ovlivněn změnami teploty, tlaku a hustoty. Hmotnost přepravené kapaliny lze zjistit nepřímo - pomocí výpočtů, nebo přímými metodami - popsané níže.

**Coriolisovy průtokoměry:** využití Coriolisovy síly, vznikající při pohybu kapaliny v rotující soustavě. Nezávislé na změnách teploty, tlaku, viskozity, hustoty a vodivosti kapaliny.

**Tepelné průtokoměry:** vyhodnocení rovnováhy při sdílení tepla z elektricky zahřívajícího topného prvku do proudící kapaliny, přičemž se mění rozložení teploty. A právě tyto změny teploty jsou úměrné protékající hmotě kapaliny.

## 3 Lopatkový průtokoměr

Pro realizaci prototypu je vybrán běžně dostupný, komerční lopatkový průtokoměr. V současnosti se jedná o nejrozšířenější měřící zařízení spotřeby vody. Lze ho nalézt v každé domácnosti. Je zvolen hlavně proto, že při řešení tohoto projektu není prioritou zabývat se mechanickými a konstrukčními problémy a je zaměřeno na samotnou realizaci snímání a následné zpracování dat. Je nutnost, aby vyhodnocovací jednotka nebyla v kontaktu s vodou, tuto vlastnost zajišťuje suchoběžný průtokoměr. Převážně se bude snímat studená voda, proto pro realizaci je použit průtokoměr pro studenou vodu (obr. 3.1). Instalace je libovolná, ovšem pro vertikální polohu klesá přesnost. Další důvody použití jsou uvedeny v tab. 3.1.



Obrázek 3.1 : Komerční průtokoměr [4]

Tabulka 3.1: Důvody použití komerčního vodoměru

|  |
|--|
| Dimenzováno na vodovodní řád (provozní tlak)             |
| Snadné napojení na vodovodní řád (1/2" závit)            |
| Vhodné pro studenou i teplou užitkovou vodu              |
| Vyhodnocovací elektronika nemůže přijít do styku s vodou |
| Lineární závislost                                       |
| Lineární závislost                                       |

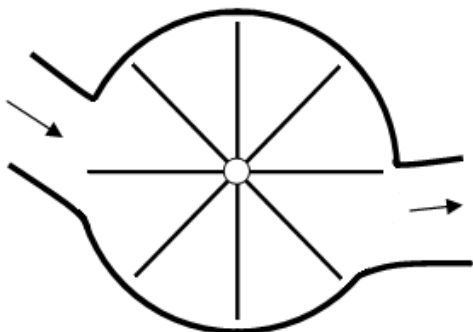
### 3.1 Princip

Jedná se o nejběžnější princip snímání průtoku. Lopatkové kolo je uváděno do pohybu silovým účinkem proudící kapaliny. Můžeme ho také zařadit mezi radiální průtokoměry, tedy osa rotace ploch radiálního lopatkového kola je kolmá k ose vtokového otvoru (obr. 3.2). Rychlost otáčení je úměrná střední rychlosti proudění. Pomocí Eulerovy turbínové rovnice lze popsat závislost frekvence otáčení lopatkového kola na průtoku kapaliny, ve tvaru

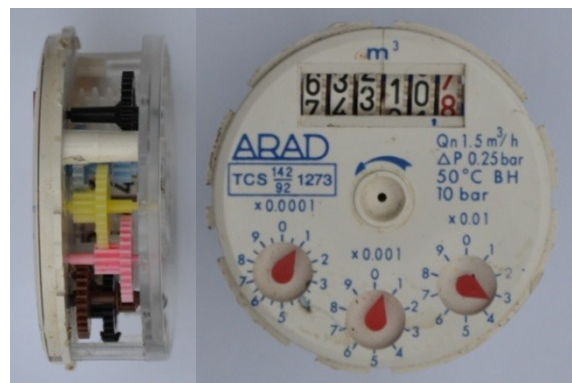
$$f = kQ_V - s \quad [\text{Hz}] \quad (3.1)$$

kde  $f$  je frekvence otáčení,  $k$  je součinitel měřidla (stanovuje se při kalibraci),  $s$  je skluz

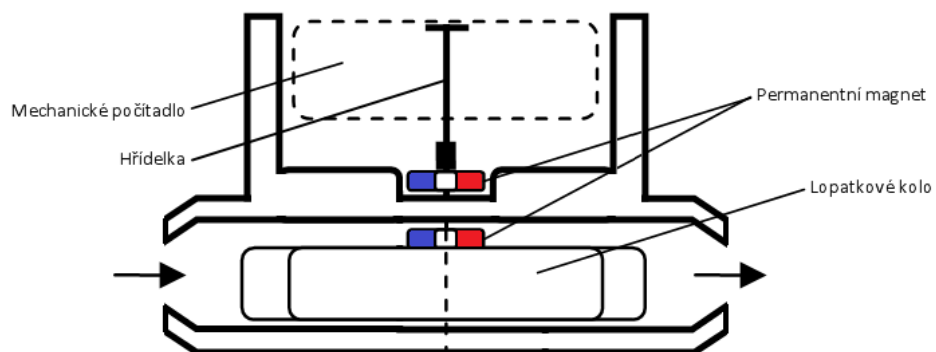
Skluz je přímo úměrný zatěžovacímu momentu rotoru a je ovlivňován okamžitou hodnotou průtoku. Rotor je vytvořen z lopatek (většinou čtyř nebo osmi), připevněných k náboji uloženému v ložiskách. Ložiska jsou upevněna do ramen, současně fungují jako usměrňovače proudu [2]. O vyhodnocení otáček a zobrazení hodnot se stará mechanické počítadlo (obr. 3.3), tedy soustava převodů poháněná hřídelkou. Pohyb rotoru je na hřídelku přenášen pomocí magnetické vazby, tím je zaručena těsnost vyhodnocovací části přístroje. Jedná se tedy o dvě zcela oddělená prostředí, jak je zobrazeno na obr. 3.4.



Obrázek 3.2: Radiální průtokoměr



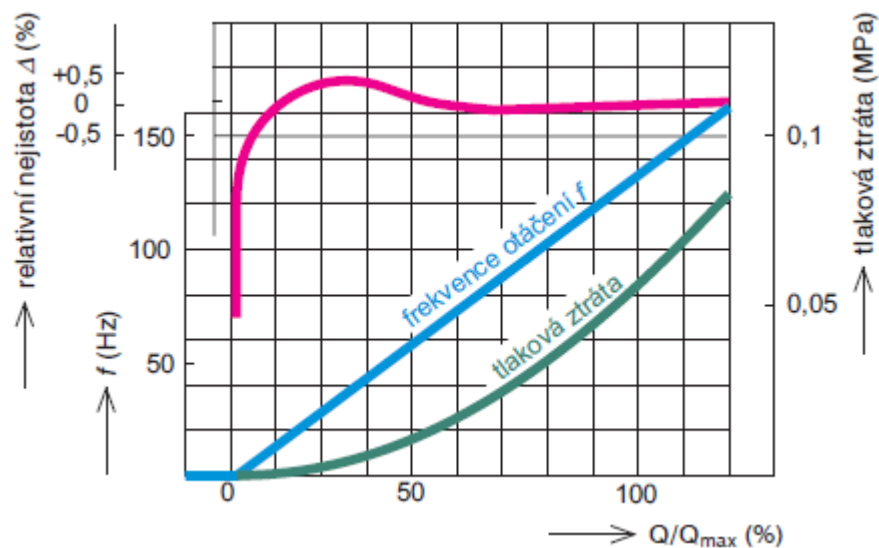
Obrázek 3.3: Mechanické počítadlo



Obrázek 3.4: Průřez radiálního lopatkového průtokoměru

### 3.2 Vlastnosti

Pozitivní vlastnosti, pro které je tento průtokoměr vybrán jsou popsány v tab. 3.1, avšak je nutné uvést i charakteristiku radiálního lopatkového průtokoměru (obr. 3.5). Z grafu je vidět lineární závislost frekvence otáčení na protečeném množství, dále poměrně velká trvalá tlaková ztráta, značně velká relativní chyba v počátku stupnice a také nutnost minimálního množství protečené kapaliny než se začne pohybovat rotor. Tlakovou ztrátou se není třeba zabírat, neboť neovlivňuje výstup měření a pro použití je tento nedostatek irelevantní. Pro nejčastější využívaný rozsah v rozmezí  $10 \div 100$  % lze určit součinitel  $k$  s přesností  $\pm 0,5$  % a může být i  $\pm 0,25$  %. Při relativním průtoku pod 10 % se silně projevuje tření v ložisku a tření v kapalině a závislost mezi frekvencí otáček a protečeným množstvím je značně nelineární.



Obrázek 3.5: Charakteristika radiálního lopatkového průtokoměru [2]

### 3.3 Použití

Z jejich vlastností vyplývá nutnost laminárního toku kapaliny, a tedy přímé úseky před a za měřidlem by měly být minimálně pětinásobkem průměru potrubí a nejsou vhodné pro vířící toky.

Lopatkové průtokoměry jsou používány v domácnostech i komerčních budovách za účelem fakturace spotřebované vody. Fakturační vodoměry musí být kontrolovány cejchováním každých 5 let. Neboť mechanické převody jsou nestálé v čase a mohou vést k nepřesným naměřeným hodnotám. Při použití s elektronickým snímáním nutnost opakovaného cejchování odpadá.

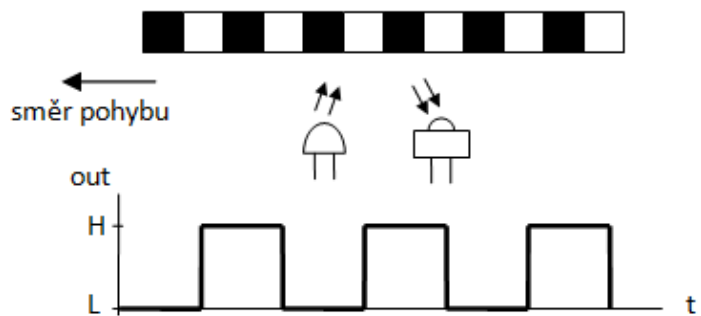
## 4 Snímání otáček

Snímání rotace hřídelky je realizováno pomocí optického inkrementálního rotačního enkodéru, tedy zařízení, které jakýmkoliv způsobem nezatěžuje měřený objekt a je mnohem citlivější než například rotační mechanický enkodér. Pokud by byl použit právě zmíněný rotační enkodér, u kterého se projevuje tření ploch kontaktů, mohlo by dojít při nízkých otáčkách vlivem větší třecí síly než rotační ke ztrátě informace o otočení.

Dále je nutné, aby snímač dokázal detekovat i směr pohybu rotace z důvodů možných vířivých, zpětných proudů a tím zamezení zkreslení údajů.

### 4.1 Princip enkodéru

Jedná se o zařízení detekující pohyb. Skládá se ze tří částí - pohyblivé, zdroje světla a optoelektrického snímače. Zdroj světla je tvořen nejčastěji IR fotodiodou a snímač bývá fototranzistor. Pro nejlepší odladění vzdáleností a natočení je dobré použít jednu součástku, ve které je zapouzdřen vysílač tak i přijímač. Pohyblivá část (může se jednat o liniové pravítko, rotující válec nebo rotující kolečko) je rozdělena na  $N$  stejně velkých bílých a černých pruhů stejně vzdálených od sebe. Vytvářejí tak reflexní (bílá) a matnou (černá) vrstvu. Snímač detekuje odražené světlo od reflexní/matné vrstvy. Velikost detekované intenzity je úměrná tomu, zda se světelný paprsek odrazil od bílé či černé vrstvy a tím je i dána velikost napětí na snímači. Otáčením válce s reflexní a matnou vrstvou je výstupem toho zařízení obdélníkový periodický signál a po následné úpravě (přes napěťový komparátor s hysterezí) získáme obdélníkový signál s logickou úrovní *High* a *Low* (obr. 4.1). Nespornou výhodou použitého principu je teoretická inkrementace do nekonečna.



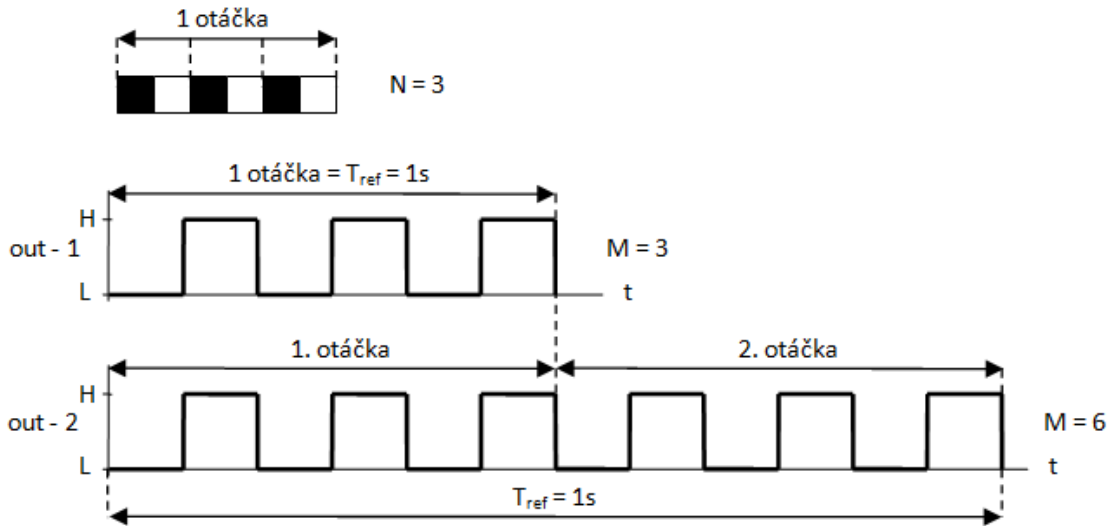
Obrázek 4.1: Princip enkodéru

Dvojice bílého a černého obdélníčku podává údaj o periodě  $T$  signálu. Pokud se použije  $N$  dvojic na válečku, získáme informaci o jedné otáčce, právě když skončí  $N$ -tá perioda. Pro vyhodnocení otáček se používá čítač, a pokud sčítáme pulsy  $M$  za definovaný čas  $T_{ref}$ , lze získat frekvenci otáčení  $f_{ot}$ .

$$f_{ot} = \frac{M}{T_{ref} \cdot N} \text{ [Hz]} \quad (4.1)$$



Demonstrace na příkladu (obr. 4.2) - snímání reflexní a matné vrstvy z rotujícího válečku pro dva případy. První případ - pouze 1 otáčka za dobu  $T_{ref}$ . Druhý případ - 2 otáčky za dobu  $T_{ref}$ , je dáno: 3 dvojice na otáčku  $N = 3$ ; vyhodnocení za dobu  $T_{ref} = 1$  s

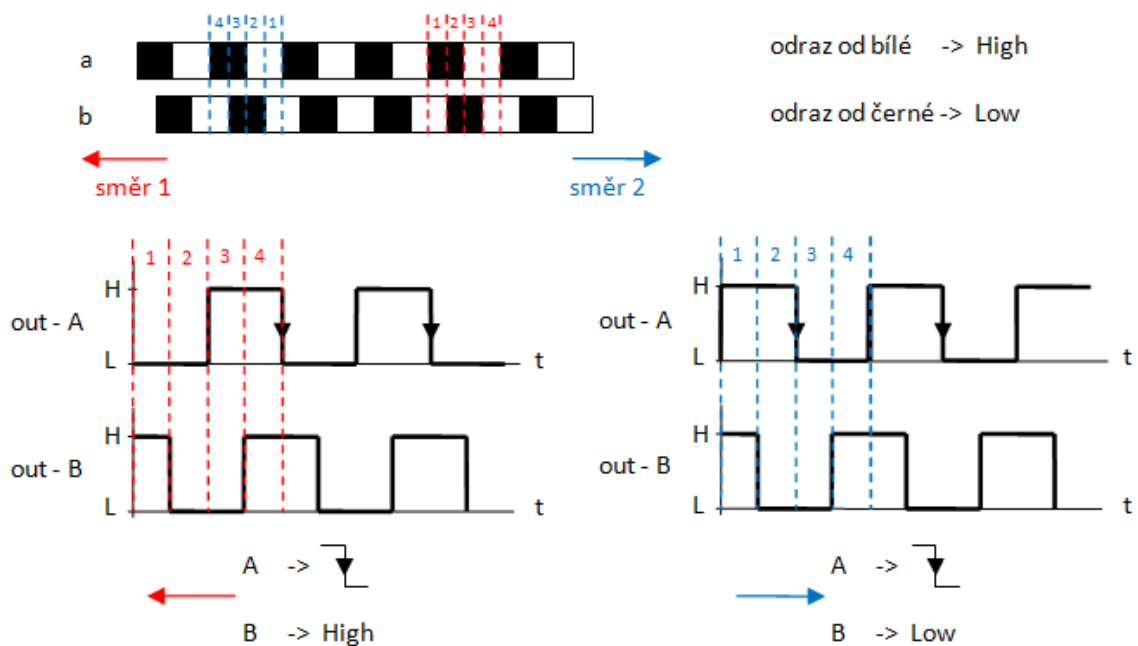


Obrázek 4.2: Příklad určení frekvence otáčení

$$f_{1ot} = \frac{M}{T_{ref} \cdot N} = \frac{3}{1 \cdot 3} = 1 \text{ Hz}$$

$$f_{2ot} = \frac{M}{T_{ref} \cdot N} = \frac{6}{1 \cdot 3} = 2 \text{ Hz}$$

Při použití dvou opto-elektrických snímačů a dvou řad bílých a černých pruhů lze dosáhnout informace nejen o otočení, ale i směru. Je nutné, aby řady byly navzájem posunuty o  $90^\circ$ . Princip detekce je znázorněn na obr. 4.3.



Obrázek 4.3: Princip vyhodnocení směru

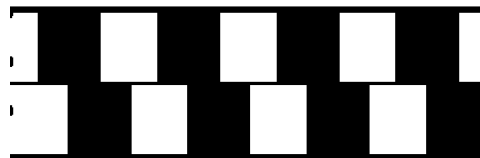
Pro názornost jsou řady rozděleny do čtyř úseků (1 - 4) s časovou posloupností, tyto úseky se periodicky opakují. Logická úroveň pro bílou vrstvu je *High* (log. 1) a pro černou vrstvu *Low* (log. 0). Jsou požitý dva snímače *A* a *B*, každý z nich snímá jednu řadu *a* a *b*. Vysvětlení pro *směr 1* je následující.

|  |  |
|--|--|
| Úsek 1: senzor <i>A</i> snímá černou -> <i>Low</i> | senzor <i>B</i> snímá bílou -> <i>High</i> |
| Úsek 2: senzor <i>A</i> snímá černou -> <i>Low</i> | senzor <i>B</i> snímá černou -> <i>Low</i> |
| Úsek 3: senzor <i>A</i> snímá bílou -> <i>High</i> | senzor <i>B</i> snímá černou -> <i>Low</i> |
| Úsek 4: senzor <i>A</i> snímá bílou -> <i>High</i> | senzor <i>B</i> snímá bílou -> <i>High</i> |

Pro opačný směr (*směr 2*) je princip podobný. Vyhodnocení směru otáčení je velice jednoduché. Pokud nastala sestupná hrana signálu *A* a zároveň signál *B* se nachází v *High* jedná se v našem případě o *směr 1*. Pokud nastala sestupná hrana signálu *A* a zároveň signál *B* se nachází v *Low*, jedná se o opačný směr (*směr 2*).

## 4.2 Použitý motiv

Pro vyhodnocení otáčení je použit motiv zobrazen na obr. 4.4, počet a velikost proužků je dán velikostí válečku a reakcí snímačů, po několika měřeních výstupního signálu jsou stanoveny čtyři bílé pruhy a čtyři černé pruhy. Při této posloupnosti pruhů je informace o směru otáčení následující. Pokud nastane sestupná hrana signálu *A* a zároveň signál *B* se nachází v *Low* úrovni, jedná se o otáčení lopatek ve směru proudění kapaliny a signál se zpracuje. Pokud ovšem nastane sestupná hrana signálu *A* a zároveň signál *B* se nachází v *High* úrovni jedná se o otáčení lopatek proti směru regulérního proudění kapaliny a signál se nezpracuje.

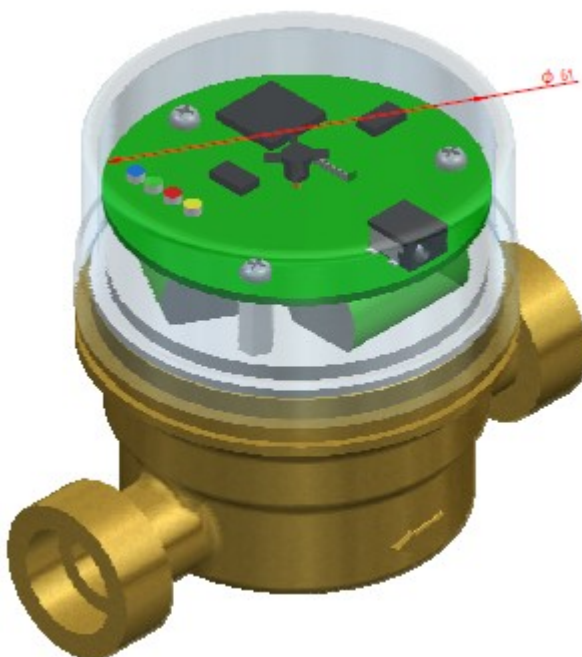


Obrázek 4.4: Motiv snímací vrstvy

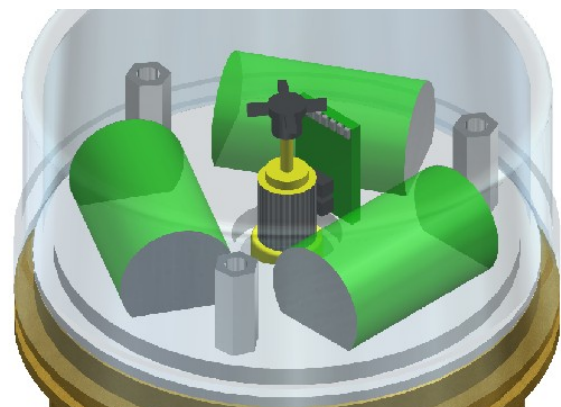
## 5 HW Realizace prototypu

Využitím komerčního průtokoměru odpadáva starost o konstrukci průtokoměru. Po vyjmutí soustavy převodů a ciferníku počítadla vznikne prostor pro realizaci inteligentního průtokoměru. Vytvořením reálného 3D modelu konstrukce se usnadní výběr komponent a udává celkový náhled na budoucí realizaci. Jednoduše lze navrhnout vhodné typy a umístění napájecích článků, konektorů a vhodnou velikost desky plošných spojů se snímači. 3D model průtokoměru (obr. 5.1) byl vytvořen ve studentské verzi programu *Solid Edge ST6* firmy *Siemens*.

Z mechanického počítadla komerčního vodoměru je ponechána pouze hřídelka, na kterou je nalepena reflexní a matná vrstva pro optický enkodér, jak je vidět na detailu (obr. 5.2). Reflexní a matnou vrstvu tvoří dvě řady bílých a černých pruhů, tento princip je popsán v kapitole 4.1 *Princip enkodéru*. Pro dosažení přesnosti posunutých řad o  $90^\circ$  jsou proužky vytištěny na samolepící folii a ta následně nalepena na váleček. DPS se snímači je vetknuta do DPS jednotky průtokoměru, po připájení kontaktů docílíme jednak vodivé cesty, ale také mechanické spojení obou desek plošných spojů. Otvor pro vetknutí DPS se snímači je navržen tak, aby mezera mezi snímači a reflexní vrstvou se pohybovala v rozmezí  $0,5 - 1 \text{ mm}$ . Tato mezera je dána vlastností snímače, také je nutná rezerva, neboť hřídelka se může při rotaci vychylovat. Jako záložní napájení jsou použity tři sekundární články NiMH velikosti 1/2AA, které jsou usazeny do vyfrézovaných otvorů plastové základny a efektivně využívají toho volného prostoru.



Obrázek 5.2: 3D model průtokoměru



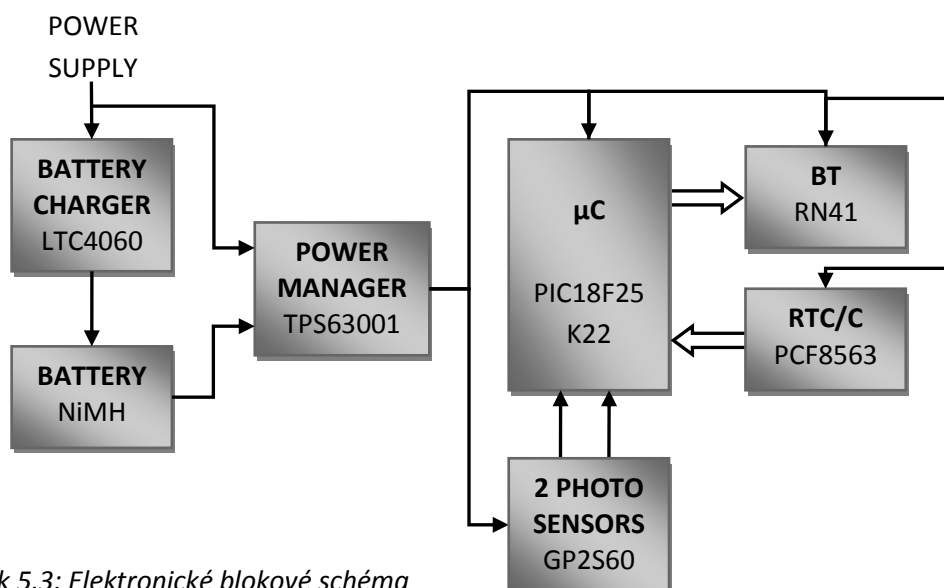
Obrázek 5.1: Detail snímání a uložení článků

Elektronický koncept zahrnuje řešení napájení jednotky, snímání otáček, komunikaci s PC a obsluhu periférií. Elektronické schéma a následná výroba desky plošných spojů vychází ze základního blokového schématu (obr. 5.3) již s vybranými komponentami, které jsou podrobně popsány v následujících kapitolách. Veškeré komponenty, kromě sekundárních článků a napájecího konektoru, jsou SMD, tedy tvořeny pro povrchovou montáž.

Primárním zdrojem napájení je stabilizovaný síťový zdroj DC 6 V, jeho využití je pro statickou popřípadě dlouhodobou instalaci průtokoměru. Při absenci síťového napětí nebo při krátkodobé instalaci průtokoměru se o zdroj energie postarají tři sekundární články NiMH s jmenovitým napětím 1,2 V zapojené do série. Při nabíjení se využije vlastností NiMH článků, konkrétně vytvoření napěťové špičky při úplném nabití. Použijeme nabíjecí integrovaný obvod, *LTC4060* obsahující metodu ukončení nabíjení  $-\Delta U$ , která právě detekuje napěťovou špičku. Napětí celého systému je 3,3 V a je nutné použít regulátor napětí. Spínací zdroj napětí se vyznačuje vysokou účinností okolo 80% a dokáže pracovat v režimech *Buck* i *Boost*, tedy jako snižovač napětí nebo zvyšovač napětí, který se využije při napájení z akumulátoru.

Snímání otáček je realizováno dvěma inkrementálními optickými enkodéry, nutné pro detekci směru otáčení. Jsou vybrány dva reflexivní senzory *GP2S60* obsahující emitor i detektor IR záření v miniaturním pouzdru.

Komunikační *Bluetooth* modul *SN41* zajišťující komunikaci s PC. Jedná se o sériovou linku *UART* mezi jednotkou průtokoměru a PC, avšak šíření informace není přes metalické vedení, ale volným prostorem. O celý chod systému se stará mikrokontrolér *PIC18F25K22*, zpracovává signály ze senzorů, vytváří hodnoty průtoků za určité období a obsluhuje *Bluetooth* modul a obvod *RTC/C PCF8563*, který poskytuje reálný čas a datum.



Obrázek 5.3: Elektronické blokové schéma

## 5.1 Řešení napájení

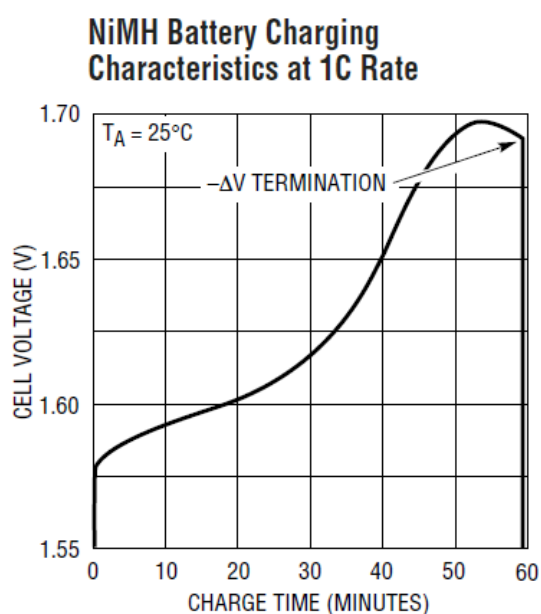
### 5.1.1 Akumulátor NiMH

Pro převážnou dobu provozu je zdrojem energie stabilizovaný síťový zdroj a tedy napětí 6 V. Při absenci síťového napětí nebo při krátkodobé instalaci průtokoměru se o zdroj energie starají tři sekundární články NiMH velikosti 1/2AA s kapacitou 550 mAh a jmenovitým napětím 1,2 V zapojené do série. Jsou použity články s páskovými vývody pro snadné vytvoření akumulátoru. Hlavní předností NiMH článků je menší zatížení životního prostředí (oproti NiCd článkům neobsahují kadmium), absence paměťového efektu a oproti lithiovým akumulátorům podstatně nižší vnitřní odpor. Maximální napětí na článku po nabití může být 1,6 V, minimální napětí vybitého článku se pohybuje okolo 0,9 V. Použité články mají jmenovitou kapacitu 550 mAh, ale jejich minimální kapacita může být 500 mAh, proto nabíjecí proud je zvolen na 500 mA. Za situace, kdy je zdrojem energie akumulátor, se výstupní napětí z akumulátoru může pohybovat od 2,7 V (3x 0,9 V) až 4,8 V (3x 1,6 V), tedy od úplně vybitých článků až po maximálně nabité.

### 5.1.2 Nabíječka akumulátoru

Je použit nabíjecí integrovaný obvod LTC4060 od Linear Technology, který disponuje metodou  $-\Delta U$  pro ukončení nabíjení. Obvod umožňuje rychlé nabíjení dvou až čtyř NiMH/NiCd článků zapojených v sérii nabíjecím proudem  $I_{BAT}$  v rozmezí 0,4 A až 2 A, signalizaci při nabíjení, možnost připojení termistoru a tím ochránit články proti přehřátí. Obvod je zapouzdřen v 16-ti vývodovém TSSOP pouzdře s termální podložkou pro optimální odvod tepla.

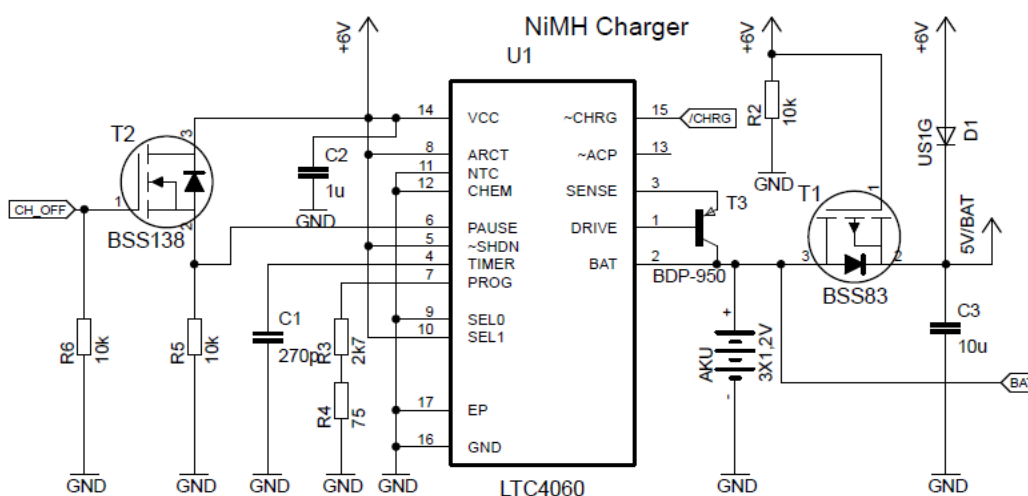
Po připojení článku nebo při znovunabíjecím impulsu se obvod nachází v režimu *Pre-Charge*, neboli dodává do článku proud velikosti  $0,2I_{BAT}$ . V průběhu celého nabíjení si obvod proměřuje napětí na článku v pravidelných intervalech a v režimu *Charge* ho porovnává s předchozím. Pokud napětí na článku  $U_{CELL} > 0,9 V$  přepne se režim z *Pre-Charge* na *Charge* a nabíjí se proudem  $I_{BAT}$ . Průběh metody  $-\Delta U$  je znázorněn na obr. 5.4. Při dosažení plné kapacity  $C$  a tím úplného nabití článku, vytvoří se napěťová špička a metoda  $-\Delta U$  právě detekuje pokles napětí a ukončí nabíjení, pokles se



Obrázek 5.4: Ukončení metody  $-\Delta U$  [5]

pohybuje okolo  $-10\text{ mV}$ . Pokud nevyjmeme článek, další cyklus nabíjení se inicializuje pomocí znovu nabíjecího impulsu, ten je vytvořen tehdy, pokud klesne  $U_{CELL}$  pod nastavenou mez.

Nastavení nabíjecích parametrů je dáno obvodovým zapojením. Obvod je doplněn o *P-MOSFET* tranzistor, *Pull down* rezistor a rychlou diodu, které zajišťují odpojení akumulátoru od zátěže. A následně při odpojení primárního zdroje, P-MOSFET tranzistor sepne a připojí akumulátor k zátěži, dioda izoluje napětí akumulátoru od napájecího vývodu nabíjecího obvodu. Požaduje se nabíjení třech NiMH článků proudem  $I_{BAT} = 500\text{ mA}$ . Obvodové zapojení je na obr. 5.5, funkce vývodů a nastavení parametrů jsou následující.



Obrázek 5.5: Obvodové zapojení nabíječky akumulátoru

**DRIVE (Pin 1):** Poskytuje a řídí bázeový proud externího PNP tranzistoru, minimální hodnota proudu je  $40\text{ mA}$  a proto pro účely jednotky průtokoměru musí mít externí PNP tranzistor proudový zesilovací činitel  $\beta > 13$ . Důležitým parametrem pro výběr PNP tranzistoru je jeho saturační napětí  $V_{CESAT}$  a je nutné, aby byla splněna podmínka  $U_{CESAT}$  (rovnice 5.2), kde  $U_{CC}$  je napájecí napětí,  $I_{BAT}$  nabíjecí proud a  $U_{BAT(MAX)}$  maximální napětí na akumulátoru. Dále je nutné si uvědomit, že nabíjecí proud  $I_{BAT} < I_{MAX}$  (nastavitelný proud - viz. *PROG*) dle rovnice 5.1 a další podstatný parametr pro výběr PNP tranzistoru je jeho ztrátový výkon  $P_D$  (rovnice 5.3).

Vybraný externí PNP tranzistor: *BDP-950* a jeho parametry:  $U_{CESAT} < 0,5\text{ V}$ ,  $\beta \approx 200$ ,  $P_D = 5\text{ W}$

$$I_{BAT} = I_{MAX} \frac{\beta}{\beta + 1} \quad [A] \quad (5.1)$$

$$U_{CESAT} [V] < U_{CC(MIN)} - (I_{BAT} \cdot 0,08 + U_{BAT(MAX)}) \quad (5.2)$$

$$0,5\text{ V} < 6 - (0,5 \cdot 0,08 + 4,8) = 1,16\text{ V}$$

$$P_D [W] > I_{MAX} (U_{CC(MAX)} - U_{BAT(MIN)}) \quad (5.3)$$

$$5 W > 0,503 (6 - 2,7) = 1,66 W$$

**BAT (Pin 2):** Snímací vstup pro měření napětí na akumulátoru

**SENSE (Pin 3):** Poskytuje nabíjecí proud pro kolektor externího PNP tranzistoru.

**TIMER (Pin 4):** Po připojení externího kondenzátoru mezi vývod a *GND* zajišťuje nastavitelný čas, po kterém se ukončí nabíjení, pokud se neukončí jiným způsobem. Čas je odpočítávám ihned po připojení akumulátoru, popřípadě po znovu nabíjecím impulsu. Je zvolen čas  $t = 1,2$  hodiny následujícím vzorcem.

$$C_{TIMER} = \frac{t}{1,567 \cdot 10^6 \cdot R_{PROG}} = \frac{1,2}{1,567 \cdot 10^6 \cdot 2775} \doteq 275 \text{ pF} \Rightarrow \text{zvolen } C_1 = 270 \text{ pF} \quad (5.4)$$

**/SHDN (Pin 5):** Dokáže přepnout obvod do Sleep režimu a tím minimalizovat napájecí proud  $< 1 \mu A$ . Nevyužití této funkce - zapojen na  $V_{CC}$ .

**PAUSE (Pin 6):** Nabíjení může být dočasně zastaveno, zastavení nabíjecího proudu a zastavení časovače. Pauza je aktivní při log. 1, tedy vývod zapojen na  $V_{CC}$ . Této funkce je využito pro možné měření napětí na akumulátoru přes AD převodník mikrokontroléru a následné informování uživatele o stavu baterie, jen v případě, kdy je jednotka napájena ze síťového zdroje. Obvod je doplněn o *N-MOSFET* tranzistor, spínač řízený mikrokontrolérem a *Pull down* rezistorem, starající se o udržení log. 0.

**PROG (Pin 7):** Zajišťuje virtuální napěťový zdroj  $1,5 V$  a pomocí externího rezistoru  $R_{PROG}$  se nastaví maximální nabíjecí proud  $I_{MAX}$ , který je 930 krát větší než proud protékající rezistorem. Zvolený nabíjecí proud je  $I_{BAT} = 500 \text{ mA}$ .

$$R_{PROG} = 930 \frac{1,5}{I_{MAX}} = \frac{1395 \cdot \beta}{I_{BAT} (\beta + 1)} = \frac{1395 \cdot 200}{0,5(200 + 1)} \doteq 2,77 \text{ k}\Omega \Rightarrow R_3 = 2,7 \text{ k}\Omega \text{ a } R_4 = 75 \Omega \quad (5.5)$$

**ARCT (Pin 8):** Slouží k nastavení napěťové úrovně pro automatické znovu nabíjení, lze nastavit hodnotu  $0,8 V$  až  $1,6 V$  pomocí napěťového děliče. Pokud napětí na článku klesne pod nastavenou úroveň, rozběhne se cyklus nabíjení. Pokud je vývod zapojen na  $V_{CC}$  je mez nastavena na  $1,3 V$ .

**SELO, SEL1 (Pin 9, 10):** Pomocí logických kombinací se nastaví počet článků zapojených v sérii. Tři články odpovídají kombinaci  $SELO = GND$  a  $SEL1 = V_{CC}$ .

**NTC (Pin 11):** Možné připojení *NTC* termistoru pro měření teploty akumulátoru, není využito.

**CHEM (Pin 12):** Logický vstup pro výběr typu článku. Použití NiMH znamená zapojení na *GND*.

**/ACP (Pin 13):** Slouží k indikaci napájecího napětí, při přítomnosti napájecího napětí je výstup */ACP* v log.0. Není použit.

**VCC (Pin 14):** Napájecí vstup. Je doporučeno zapojit  $1 \mu F$  kondenzátor mezi vývod a *GND*.

**/CHRG (Pin 15):** Slouží k indikaci nabíjení, stav při nabíjení je log. 0, tedy *GND*. Na vývod je připojena oranžová LED dioda se jmenovitým napětím  $2,6 V$  a pomocí rezistoru  $R_1$  je nastaven proud okolo  $4 mA$ .

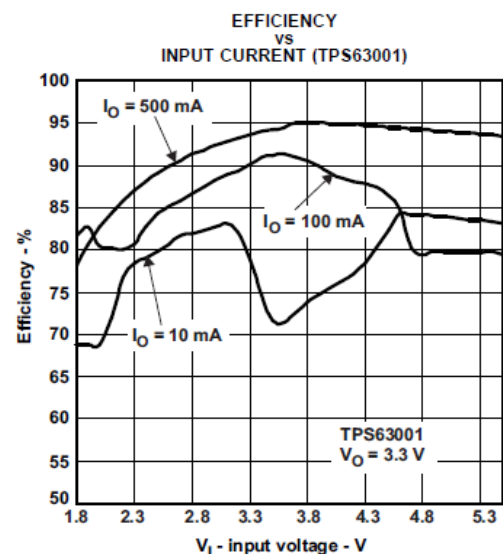
**GND (Pin 16):** Veškeré napětí je vztaženo k tomuto vývodu.

**Exposed Pad (Pin 17):** Termální podložka pod pouzdrem integrovaného obvodu, slouží k optimálnímu odvodu tepla.

### 5.1.3 Spínaný zdroj napětí

Je použit integrovaný obvod *Texas Instruments TPS63001*, spínaný zdroj stálého napětí  $3,3 V$  pracující v režimu *Buck* i *Boost*. Pro správnou funkci je nutné vstupní napětí v rozsahu  $1,8 - 5,5 V$ , proto je vhodný pro bateriové aplikace. Napájecí napětí je  $6 V$ , avšak v cestě je zapojena dioda s minimálním úbytkem napětí  $0,6 V$  při odběru  $10 mA$ , který je změřen při *Sleep* režimu jednotky. Maximální vstupní napětí se sníží na  $5,4 V$ . Zdroj dokáže dodat do zátěže proud až  $1,2 A$ , při takových to odběrech je účinnost okolo  $95 \%$ , v případě jednotky průtokoměru se očekává odběr maximálně desítky miliampér a účinnost převodu napětí se pohybuje kolem  $80 \%$ . Integrovaný obvod je zapouzdřen v miniaturním 10-ti vývodovém *QFN* pouzdře o rozměrech  $3 \times 3 mm$ .

*Buck/Boost* měniče, tedy obvody, které udrží výstupní napětí na požadované hodnotě bez ohledu na to, zda vstupní napětí je větší/menší než výstupní. Nejčastěji využívá vhodného přepínání 4 spínačů, vstupního, výstupního kondenzátoru a jednoho induktoru pro uchovávání energie. Stručný popis principu obvodu *TPS63001*. Regulace je prováděna zpětnovazebním porovnáváním výstupního napětí s referenční hodnotou, která

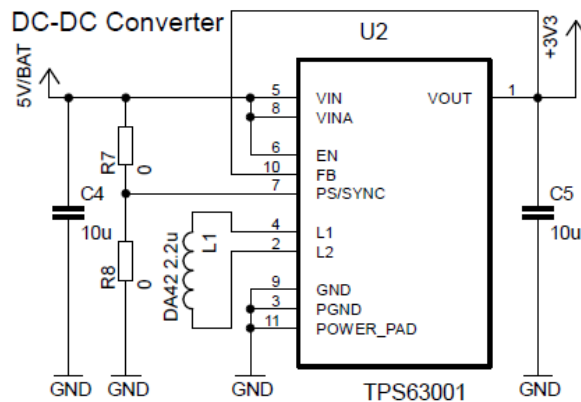


Obrázek 5.6: Účinnost měniče *TPS63001* [6]



ovládá modulátor oscilátoru a ten řídí hradla MOSFET spínačů. Modulace je pulsně-šířková, tedy obvod pracuje s konstantní frekvencí, její hodnota je v rozmezí 1,25 - 1,5 MHz, a je měněna střídá signálu. Účinnost měniče se pohybuje od 75 % do 95 % (obr. 5.6), ale nevýhodou zůstává mírně zvlněné výstupní napětí, vlivem střídavé spínací složky a tím možné rušení EMI.

Nastavení parametrů měniče je dáno obvodovým zapojením a použitím vhodných součástek. Vstupní napětí je v rozmezí 2,7 - 5,2 V. Obvodové zapojení je na obr. 5.7, funkce vývodů a nastavení parametrů jsou následující.



Obrázek 5.7: Obvodové zapojení

**VOUT (Pin 1):** Výstup s požadovaným regulovaným napětím 3,3 V. Mezi výstup a PGND je doporučeno připojit keramický kondenzátor, co nejbližší k těmto vývodům, pro udržení stability regulace. Zvolení velikosti kondenzátoru je dáno rovnicí (5.6).

$$C_{OUT} = 5 \cdot L \frac{\mu F}{\mu H} = 5 \cdot 2,2 \frac{\mu F}{\mu H} = 11 \mu F \Rightarrow \text{zvolen } C_5 = 10 \mu F \quad (5.6)$$

**L2, L1 (Pin 2, 4):** Vstupy slouží k připojení externího induktoru. Parametry induktoru jsou dány vlastností integrovaného obvodu, požadovaných vstupních a výstupních napětí. Indukce zvoleného induktoru se musí pohybovat v rozmezí daným rovnicemi (5.7) a (5.8). Také je nutné zvolit induktor, jehož saturační proud je větší než větší z proudů  $I_1$  a  $I_2$  - rovnice (5.9) a (5.10).

$V_{OUT}/I_{OUT}$  výstupní napětí/proud       $V_{IN1}/V_{IN2}$  maximální/minimální vstupní napětí  
 $f$  minimální spínací frekvence (daná výrobcem,  $f = 1,25 \text{ MHz}$ )

$$L_1 = \frac{U_{OUT}(U_{IN1} - U_{OUT})}{U_{IN1} \cdot f \cdot 0,3A} = \frac{3,3(5,2 - 3,3)}{5,2 \cdot 1,25 \cdot 10^6 \cdot 0,3} \doteq 3,2 \mu H \Rightarrow \text{zvolen } L_1 = 2,2 \mu H \quad (5.7)$$

$$L_2 = \frac{U_{IN2}(U_{OUT} - U_{IN2})}{U_{OUT} \cdot f \cdot 0,3A} = \frac{2,7(3,3 - 2,7)}{3,3 \cdot 1,25 \cdot 10^6 \cdot 0,3} \doteq 1,3 \mu H \quad (5.8)$$

$$I_1 = \frac{I_{out}}{0,8} + \frac{U_{OUT}(U_{IN1} - U_{OUT})}{2 \cdot U_{IN1} \cdot f \cdot L} = \frac{0,1}{0,8} + \frac{3,3(5 - 3,3)}{2 \cdot 5 \cdot 1,25 \cdot 10^6 \cdot 2,2 \cdot 10^{-6}} \doteq 0,34 A \quad (5.9)$$

$$I_2 = \frac{I_{out} \cdot U_{OUT}}{0,8 \cdot U_{IN2}} + \frac{U_{IN2}(U_{OUT} - U_{IN2})}{2 \cdot U_{OUT} \cdot f \cdot L} = \frac{0,1 \cdot 3,3}{0,8 \cdot 2,7} + \frac{2,7(3,3 - 2,7)}{2 \cdot 3,3 \cdot 1,25 \cdot 10^6 \cdot 2,2 \cdot 10^{-6}} \doteq 0,24 A \quad (5.10)$$

**PGND (Pin 3):** Vstupní a výstupní napětí je vztaženo k tomuto vývodu. Spojení s termální podložkou se doporučuje přímo pod pouzdem integrovaného obvodu.

**VIN (Pin 5):** Vstup pro připojení vstupního napětí. Mezi vývod a PGND je doporučeno připojit keramický kondenzátor, jehož kapacita je větší než  $4,7 \mu F$ .  $C_4$  je zvolen  $10 \mu F$ . Vstupní kondenzátor vylepšuje přechodové chování měniče.

**EN (Pin 6):** Logický vstup pro povolení zařízení. Aktivní režim je vyvolán log. 1, lze tedy použít k tomuto účelu vstupní napětí. Při log. 0 je zastaveno spínání a tím i veškerá regulace a výstupní napětí může klesnout na hodnotu vstupního.

**PS/SYNC (Pin 7):** Slouží k výběru rozdílných režimů. Při log. 0 je nastaven režim *Power Save*, je vhodný při nízkých proudových odběrech do zátěže zhruba do  $100 mA$ , Sníží procházející proud induktorem a zvyšuje efektivitu, která se v tomto případě pohybuje okolo  $80 \%$ . Log. 1 nepovoluje tento režim. Pokud je na tento vývod připojen hodinový signál, vnitřní oscilátor se dokáže synchronizovat na tento signál pomocí fázového závěsu.

**VINA (Pin 8):** Napájecí vývod řídicí jednotky měniče. Opět zapojen na vstupní napětí.

**GND (Pin 9):** Tvoří referenční uzel pro logické hodnoty řídicí jednotky měniče. Spojení s PGND přímo s termální podložkou pod pouzdem integrovaného obvodu.

**FB (Pin 10):** Vstupní vývod pro zavedení výstupního napětí do zpětné vazby. Přímé spojení s VOUT. U verze měniče s nastavitelným výstupním napětím, lze pomocí napěťového děliče zapojeného do FB nastavit požadované napětí.

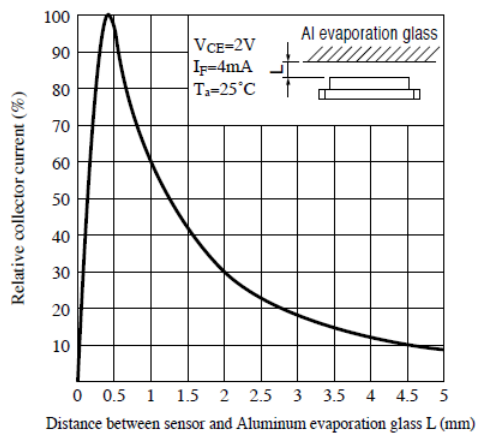
**Power Pad (Pin 11):** Termální podložka pod pouzdem integrovaného obvodu, slouží k optimálnímu odvodu tepla.

## 5.2 Řešení snímání otáček

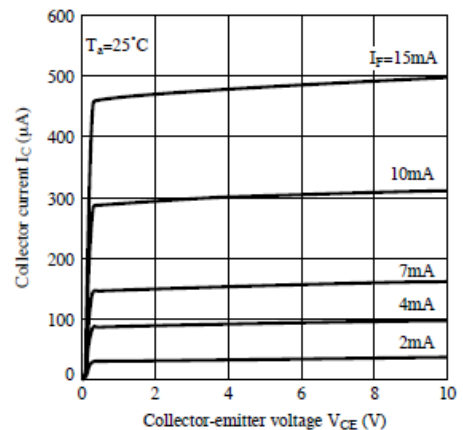
Periodický signál z foto-tranzistoru musí být tvarově upraven, aby bylo možné správně vyhodnocovat logické úrovně dané odrazem světelného paprsku od reflexní nebo matné vrstvy. K tomuto účelu slouží napěťové komparátory. Použity jsou vnitřní komparátory mikrokontroléru typu *rail to rail*, tedy výstupní úroveň napětí se blíží napájecímu napětí. Popsání nastavení překlápěcí úrovně lze nalézt v kapitole 5.4.1 *Mikrokontrolér*.

### 5.2.1 Optický snímač

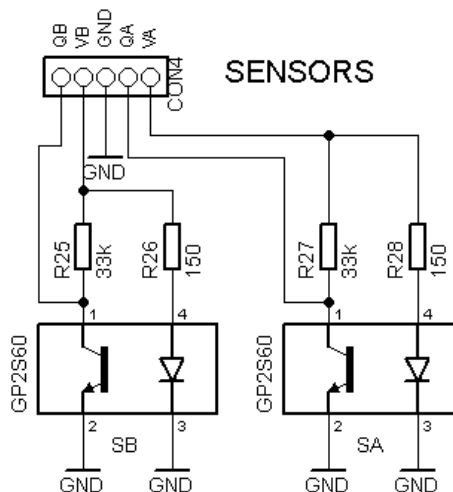
Snímání otáček se provádí pomocí dvou reflexních optických snímačů *Sharp GP2S60*, obsahující v jednom pouzdře foto-tranzistor a diodu infračerveného záření. Maximální proud emitorem  $I_F = 50 \text{ mA}$  a napětí detektoru  $U_{CEO} = 35 \text{ V}$ . Citlivost přijímače je pro vlnové délky  $\lambda$  v rozmezí od  $800 \text{ nm}$  do  $1000 \text{ nm}$ . Detekce vzdálenosti, její průběh znázorněn na obr. 5.9, je  $< 3 \text{ mm}$ , optimum  $0,25 \div 0,8 \text{ mm}$ . Při výběru snímače je velice kladen důraz na jeho velikost, neboť umístění snímačů je prostorově limitováno. Pouzdro v SMD provedení má miniaturní rozměry  $3,2 \times 1,7 \times 1,1 \text{ mm}$ .



Obrázek 5.8: Závislost kolektorového proudu na vzdálenosti snímače od reflexní plochy [7]



Obrázek 5.9: Výstupní charakteristika detektoru [7]



Obrázek 5.10: Obvodové zapojení snímačů

Schéma zapojení desky plošných spojů se snímači je na obr. 5.10. Velikosti rezistorů jsou dány nastavením pracovního bodu emitoru a detektoru. Napájecí proud IR diody je zvolen  $I_F = 15 \text{ mA}$ , naddimenzovaná hodnota. Hodnota rezistorů  $R_{26}$  a  $R_{28}$  se spočítá dle vztahu 5.11, kde  $U_F = 1,2 \text{ V}$  je typický úbytek na diodě. Maximální kolektorový proud foto-tranzistoru je omezen na  $I_C = 100 \mu\text{A}$ , v takovém případě je napětí  $U_{CE}$  téměř nulové a hodnota rezistorů  $R_{25}$  a  $R_{27}$  je dána vztahem 5.12. Měřené výstupní průběhy snímačů a komparátorů jsou v kapitole 9.1 Průběhy impulsů.

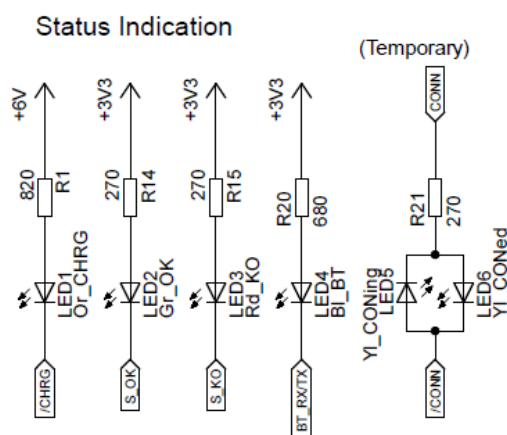
$$R_{26/28} = \frac{U_{3,3V} - U_F}{I_F} = \frac{3,3 - 1,2}{0,015} = 140 \Omega \Rightarrow \text{zvolen } R_{26} = R_{28} = 150 \Omega \quad (5.11)$$

$$R_{25/27} = \frac{U_{3,3V}}{I_C} \doteq \frac{3,3}{100 \cdot 10^{-6}} \doteq 33 \text{ k}\Omega \Rightarrow \text{zvolen } R_{25} = R_{27} = 33 \text{ k}\Omega \quad (5.12)$$

## 5.3 Řešení komunikace

### 5.3.1 Signalizace stavů

Optická signalizace je také jistou formou komunikace jednotky průtokoměru s uživatelem. Dává uživateli prvotní informaci o tom, v jakém stavu se jednotka nachází. O signalizaci se stará čtyři LED diody plus dvě LED diody, které jsou využity dočasně při vývoji, jak zobrazuje obr. 5.11. Princip řízení, jmenovité napětí a pracovní proudy jednotlivých LED diod jsou popsány vždy v příslušné kapitole obvodu, do kterého jsou zapojeny. Popis stavů, které dovedou signalizovat jsou následující.



Obrázek 5.11: Obvodové zapojení signalizace stavů

**Charging:** Oranžová LED dioda trvale svítí, pokud se nabíjí akumulátor, tento stav zajišťuje integrovaný obvod nabíječky LTC4060.

**OK:** Po připojení jednotky průtokoměru ke zdroji napětí zelená LED dioda trvale svítí. Provede se veškerá inicializace mikrokontroléru, *Bluetooth* modulu, ověří se komunikace s obvodem reálného času a ověří se funkčnost snímačů. Pokud testování proběhne v pořádku, zelená LED dioda problikává s periodou 5 s. O stav *OK* se stará obvod mikrokontroléru.

**KO:** Pokud při testování nastane chyba, popřípadě se chyba objeví během provozu červená LED dioda problikává s periodou 5 s. Během provozu na akumulátor a při nízkém stavu akumulátoru problikává s periodou 2,5 s. O stav *KO* se stará obvod mikrokontroléru.

**Connected:** Při připojení jednotky průtokoměru s PC zelená LED dioda problikává s periodou 1 s. Stav LED diody řídí mikrokontrolér, signalizaci připojení zajišťuje *Bluetooth* modul.

**ActiveBT:** Modrá LED dioda signalizuje aktivitu *Bluetooth* modulu, tedy LED dioda bliká pokud se vysílají/přijímají data. O stav *ActiveBT* se stará *Bluetooth* modul.

**temporary\_Connected:** Dočasná signalizace žluté LED diody při vývoji jednotky průtokoměru. LED dioda svítí, pokud je jednotka připojena k PC. O stav *ActiveBT* se stará *Bluetooth* modul.

**temporary\_Conecting:** Dočasná signalizace žluté LED diody při vývoji jednotky průtokoměru. LED dioda bliká s periodou 1 s, pokud je jednotka zjistitelná a čeká na připojení k PC nebo bliká s periodou 100 ms, pokud se *Bluetooth* modul nachází v příkazovém režimu. O stav *ActiveBT* se stará *Bluetooth* modul.

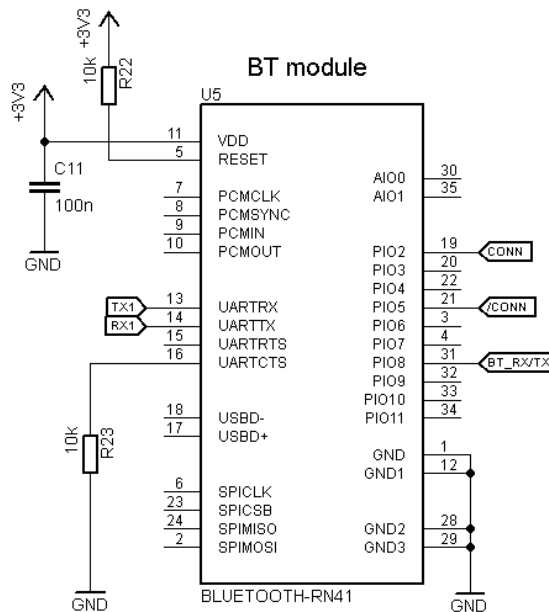
### 5.3.2 Bluetooth modul

Komunikaci jednotky průtokoměru a PC zajišťuje *Bluetooth* modul *RN41* od *Roving Networks (Microchip)*. Zcela samostatný modul, na který se připojí SMD *YAGI* anténa, napájení a je schopný vysílat, přijímat data. Napájecí napětí je pouze v rozsahu 3 V - 3,6 V. Velikost modulu včetně místa pro umístění antény je 26 x 14 mm. *Bluetooth* pracuje ve volném pásmu 2,45 MHz a pro přenos používá *Frequency Hopping Spread Spectrum*, tedy jednu z metod rozprostřeného spektra. Během jedné sekundy je provedeno 1600 přeladění mezi 79 frekvencemi s rozestupem 1 MHz, tím je potlačeno rušení a zaručena koexistence více zařízení v dosahu.

Modul *RN41* poskytuje *Bluetooth* verzi 2.1 a je samozřejmě zpětně kompatibilní s verzemi 2.0, 1.2 a 1.1. Pracuje ve třídě *Class 1*, tedy s maximálním povoleným výkonem 20 dBmW a s nejvyšším dosahem 100 m (platí ve volném prostoru). Spotřeba ve *Sniff* režimu (pohotovostní) se pohybuje <10 mA, v režimu přijímače okolo 30 mA a v režimu vysílače kolem 60 mA. Dále zajišťuje zabezpečení komunikace pomocí 128-bitového šifrování. Komunikační

rozhraní mezi mikrokontrolérem a *Bluetooth* modulem je *UART*. Po spárování jednotky průtokoměru a PC se na PC vytvoří virtuální *COM Port* přes *Bluetooth*. Zjednodušeně je vytvořeno spojení PC a jednotky průtokoměru přes sériové rozhraní, avšak místo metalického spojení jsou data přenášena volným prostorem. Pro zamezení radiového rušení pod plochou antény a stínícími připojeními v rozích modulu nevedou signálové cesty ani rozlité zem. Také je doporučena minimální vzdálenost  $5\text{ mm}$  mezi anténou a kovovými předměty.

Obvodové zapojení je na obr. 5.12, funkce vývodů a nastavení parametrů jsou následující.



Obrázek 5.12: Obvodové zapojení Bluetooth modulu

**GND, GND1, GND2, GND3 (Pin 1, 12, 28, 29):** Veškeré napěťové úrovně jsou vztaženy k tomuto vývodu.

**RESET (Pin 5):** Slouží k resetování zařízení a aktivní je v nízké logické úrovni, tedy v log. 0. Je nutný *Pull up* rezistor velikosti  $R_{22} = 10\text{ k}\Omega$  pro udržení log. 1. Funkce vývodu se nevyužije.

**UARTRX, UARTRTX (Pin 13, 14):** Komunikace mezi mikrokontrolérem a *Bluetooth* modulem je zajištěna přes *UART*. Vysílací port *TX1* mikrokontroléru je spojen s přijímacím portem *UARTRX* *Bluetooth* modulu, analogicky je propojen *RX1* a *UARTRTX*.

**UARTRCTS (Pin 16):** Pro tří vodičovou komunikaci přes sériovou linku je nutné přizemnit tento pin pomocí *Pull down* rezistoru velikosti  $R_{23} = 10\text{ k}\Omega$ .

**PIO2 (Pin 19):** Stavový logický výstup, indukuje v log. 1 stav *temporary\_Connected*. Pokud není modul připojen s dalším zařízením, výstup je v log. 0. Společně s výstupem *PIO5* tvoří logické kombinace pro dočasnou signalizaci při vývoji, mezi těmito výstupy jsou připojeny dvě LED diody antiparalelně, velikost rezistoru je zvolena na proud LED diodou 5 mA, při jmenovitém napětí 2 V. Také je připojen do vstupu *RB3* mikrokontroléru.

**PIO5 (Pin 21):** Stavový logický výstup poskytující obdélníkový signál o frekvenci 1 Hz, kdy je *Bluetooth* modul připraven a čeká na připojení. Dále poskytuje obdélníkový signál o frekvenci 10 Hz, pokud se modul nachází v příkazovém režimu. Pokud je modul připojen s dalším zařízením, výstup je v log. 0. Společně s výstupem *PIO2* tvoří logické kombinace pro dočasnou signalizaci stavu *temporary\_Connecting*.

**PIO8 (Pin 31):** Stavový logický výstup, slouží k řízení modré LED diody, která signalizuje stav *AktiveBT*. Aktivní stav je dán obdélníkovým signálem s frekvencí danou *RX/TX*. Velikost rezistoru je zvolena na proud LED diodou 5 mA, při jmenovitém napětí 3,3 V.

## 5.4 Řešení obsluhy jednotky

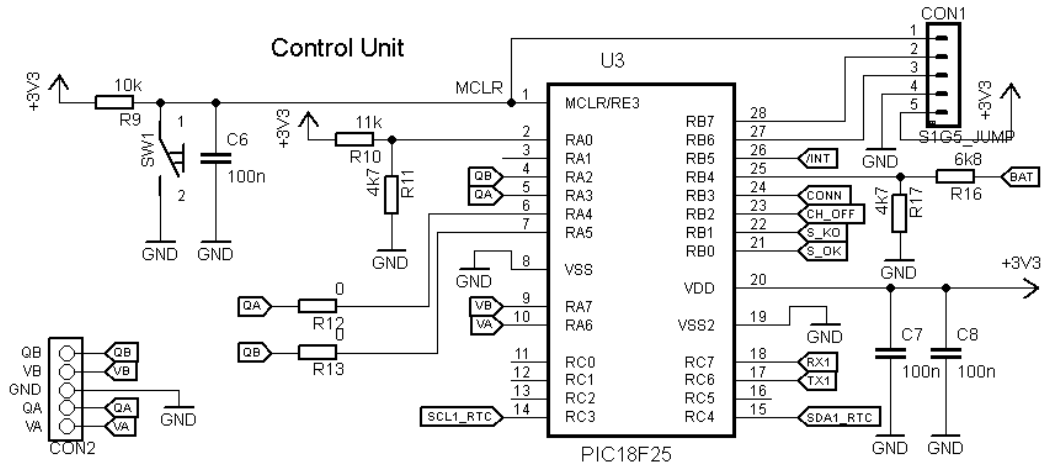
### 5.4.1 Mikrokontrolér

O celý chod jednotky průtokoměru se stará mikrokontrolér. Obecně se jedná o jednotku, která vykonává obsluhu zařízení na základně programu uložené v integrované paměti a příslušných periférií. Pro obsluhu jednotky inteligentního průtokoměru je použit mikrokontrolér *PIC18F25K22* od *Microchip Technology*. Mikrokontrolér je zapouzdřen v malém 28 vývodovém SSOP pouzdře.

Jedná se o 8 - bitový kontrolér s *RISC* architekturou, tedy s redukovanou sadou instrukcí. Instrukce mají pevnou délku a pevný formát a podstatná část se vykoná během jednoho instrukčního cyklu (4 takty oscilátoru), tím se zvyšuje rychlost a jednoduchost zpracování instrukcí (běhu obsluhy), protože nezatěžuje jednotku dekódováním složitých instrukcí. Dále obsahuje 32kB programové paměti (*FLASH*), 1536B datové paměti (*RAM*) a 256B datové paměti *EEPROM* pro semipernamentní uchování dat. Také je využito vnitřního oscilátoru a následného upravení frekvence pro zajištění pracovního taktu 4 MHz, který je dostatečně rychlý a přesný pro potřeby průtokoměru. Mikrokontrolér obsahuje dva *rail to rail* komparátory pro tvarování logických úrovní ze snímačů otáčení. Jeden výstup z komparátoru je použit pro režim *Capture*, tedy zachytávací režim, pomocí kterého lze odečíst frekvenci otáčení. Je využito i analogově-číslicového převodníku pro měření stavu akumulátoru a samozřejmě mnoho digitálních vstupů/výstupů určené k signalizaci stavů a ovládání

připojených periférií. Mikrokontrolér komunikuje s *Bluetooth* modulem přes sériový port *UART* a s obvodem reálného času pomocí rozhraní *I<sup>2</sup>C*.

Popis obvodového zapojení z obr. 5.13 a význam jednotlivých vývodů jsou následující.



Obrázek 5.13: Obvodové zapojení mikrokontroléru

**/MCLR (Pin 1):** Slouží k resetování zařízení a aktivní je v nízké logické úrovni, tedy v log. 0. Hlavní funkce externího resetování mikrokontroléru je při programování. Je nutný *Pull up* rezistor pro udržení log. 1, dále je doplněn o mikropínač pro manuální resetování jednotky a filtrační kondenzátor, který zamezuje vytváření dalších impulsů vlivem mechanického kmitání spínače.

**RA0 (Pin 2):** Jedná se invertující vstupy *C12IN-* vnitřních komparátorů. Referenční napětí  $U_{REF} = 1 V$  je tvořeno pomocí napěťového děliče, rezistor  $R_{11}$  je zvolen  $4,7 k\Omega$  hodnota  $R_{10}$  je dána vztahem 5.13.

$$R_{10} = \frac{R_{11} \cdot U_{3,3V}}{U_{REF}} - R_{11} = \frac{4,7 \cdot 3,3}{1} - 4,7 = 10,81 k\Omega \Rightarrow \text{zvolen } R_{10} = 11 k\Omega \quad (5.13)$$

**RA2, RA3 (Pin 4, 5):** Oba vývody jsou použity jako neinvertující vstupy komparátorů. *Snímač B*, tedy spodní, je zapojen do vstupu *C2IN+* komparátoru *C2*. *Snímač A* je zapojen do vstupu *C1IN+* komparátoru *C1*. Pouze pro výstup *C1OUT* komparátoru *C1* je možné použít režim *Capture* pro zjištění frekvence otáčení.

**RA4, RA5 (Pin 6, 7):** Pro možné, ale neočekávané potíže s komparátory je možné signály ze snímačů připojit přes SMD jumpery přímo a obejít tímto komparátory, ale zachovat možnost jako je *Capture*.

**VSS, VSS2 (Pin 8, 19):** Veškeré napěťové úrovně jsou vztaženy k tomuto vývodu.



**RA7, RA6 (Pin 9, 10):** Oba výstupy dávají možnost řízeného napájení obou snímačů, mohou tak v době nepředpokládané spotřeby vyřadit jeden snímač a tím ušetřit spotřebu celé jednotky. Výstupní napětí se blíží napájecímu napětí, tedy 3,3 V a maximální proudový odběr pro každý výstup je 20 mA, což je dostatečná hodnota.

**RC3, RC4 (Pin 14, 15):** Komunikace s obvodem reálného času je prostřednictvím rozhraní I<sup>2</sup>C. Mikrokontrolér nabízí dva moduly I<sup>2</sup>C, je použit modul č. 1. Řídící jednotka poskytuje hodinový signál SCL1 pomocí vývodu RC3 a SerialData přes RC4.

**RC6, RC7 (Pin 17, 18):** Mikrokontrolér komunikuje s Bluetooth modulem přes univerzální asynchronní port, tedy UART. Pro komunikaci je využit UART1 jehož výstup TX1 je na vývodu RC6 a vstup na vývodu RC7.

**VDD (Pin 20):** Napájení jednotky mikrokontroléru napětím celého systému, tj. 3,3 V. Jako blokovací kondenzátory jsou použity dva 100 nF.

**RB0 (Pin 21):** Slouží k řízení zelené LED diody, která signalizuje stav OK, popřípadě stav Connected. Aktivní stav je dán nízkou úrovní napětí, tedy log. 0. Velikost rezistoru je zvolena na proud LED diodou 5 mA, při jmenovitém napětí 2 V.

**RB1 (Pin 22):** Slouží k řízení červené LED diody, která signalizuje stav KO. Aktivní stav je dán nízkou úrovní napětí, tedy log. 0. Velikost rezistoru je zvolena na proud LED diodou 5 mA, při jmenovitém napětí 2 V.

**RB2 (Pin 23):** Slouží k řízení NMOSFET tranzistoru T2, který dočasně zastaví nabíjení. Aktivní stav je dán vysokou úrovní napětí, tedy log. 1.

**RB3 (Pin 24):** Logický vstup pro detekci stavu Connected, signál je poskytován Bluetooth modulem a aktivní stav (připojeno) je dán log. 1.

**RB4 (Pin 25):** Analogový vstup AN11 pro měření napětí akumulátoru pomocí analogově-číslicového převodníku. Vzhledem k napájecímu napětí je využito vnitřní napěťové reference  $U_{FVR} = 2,048 V$  a jelikož měření napětí na akumulátoru  $U_{BAT}$  může být v mezních podmínkách až 5 V, je nutné vstupní napětí snížit pomocí napěťového děliče, rezistor  $R_{17}$  je zvolen 4,7 k $\Omega$  a  $R_{16}$  je dán vztahem 5.14.

$$R_{16} = \frac{R_{17} \cdot U_{BATMAX}}{U_{FVR}} - R_{17} = \frac{4,75}{2,048} - 4,7 = 6,77 \text{ k}\Omega \Rightarrow \text{zvolen } R_{16} = 6,8 \text{ k}\Omega \quad (5.14)$$

**RB5 (Pin 26):** Logický vstup připojen k pinu  $\overline{INT}$  obvodu reálného času, slouží tedy k detekci přerušení Alarmu. Ke snímání aktivního stavu (log. 0) je využita funkce vstupu *Interrupt On Change*, mikrokontrolér vyvolá přerušení při každé změně na tomto vstupu.

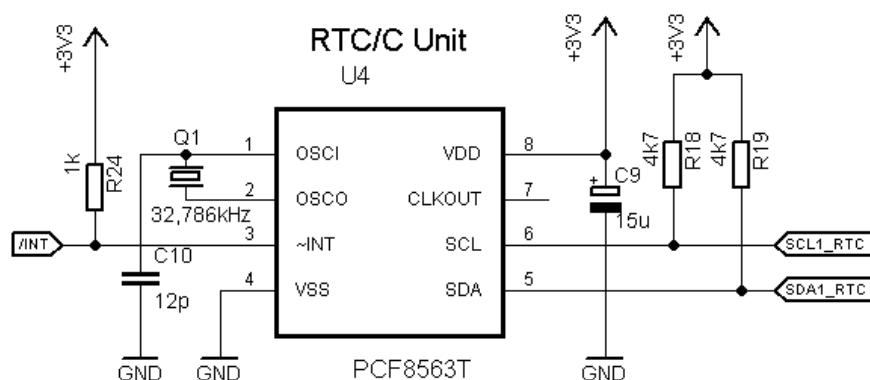
**RB6, RB7 (Pin 27, 28):** Vývody programovacího modulu *In-Circuit Debugger*. Programovací hodinový signál na RB6, datový signál na RB7. Zároveň se jedná o porty modulu *UART2* přivedené na programovací konektor. Výstup TX2 je na vývodu RB6 a vstup RX2 na vývodu RB7.

#### 5.4.2 RTC/C obvod

Integrovaný obvod *PCF8563* od *NXP (Philips)* poskytuje reálný čas a datum a je optimalizovaný pro velice nízkou spotřebu, typicky  $< 0,25 \mu A$ . Pro správnou funkci je nutné napájecí napětí v rozsahu  $1,8 - 6,5 V$ , proto je vhodný pro bateriové aplikace. Dokáže pracovat již po připojení  $32,786 kHz$  krystalu a kondenzátoru. Integrovaný obvod je zapouzdřen v malém 8 vývodovém *SO8* pouzdře.

Obvod *PCF8563* obsahuje šestnáct 8-bitových registrů s auto-inkrementací ukazatele adres. Krystalový oscilátor a dělička frekvence zajišťuje hodinový signál pro *RTC*. Může poskytovat zdroj hodinového signálu v rozmezí  $32,786 kHz$  až  $1 Hz$ . Funkce, jako je alarm nebo detektor nízkého napětí jsou samozřejmostí. Komunikaci s mikrokontrolérem zajišťuje rozhraní  $I^2C$  s přenosovou rychlostí  $400 kb/s$  při maximální spotřebě  $0,8 mA$  nebo rychlostí  $100 kb/s$  při maximální spotřebě  $0,2 mA$ . Adresace *Masterem* pro čtení je  $0xA3$  a pro zápis  $0xA2$ .

Popis obvodového zapojení z obr. 5.14 a význam jednotlivých vývodů jsou následující.



Obrázek 5.14: Obvodové zapojení RTC/C obvodu

**OSCI, OSCO (Pin 1, 2):** Mezi vývody je nutné připojit krystal přesného času s frekvencí  $32,786 kHz$ . Sériový odpor krystalů musí být nejvýše  $40 k\Omega$ . Pomocí paralelního kondenzátor  $C_{10}$  ke vstupu oscilátoru se doladuje frekvence, je zvolena hodnota  $12 pF$ , maximálně může být

25 pF. Měření frekvence pro případné doladování na vývodu *CLKOUT*, defaultně je nastaven jako aktivní s frekvencí 32,786 kHz.

**/INT (Pin 3):** Logický výstup, aktivní v log. 0 při přerušení vnitřního nastavitelného časovače nebo alarmu, pro který je použit. O stav výstupu se stará tranzistor s otevřeným kolektorem, tedy v nečinnosti je ve vysoké impedanci a proto se musí výstup opatřit *Pull up* rezistorem velikosti  $R_{24} = 1 \text{ k}\Omega$ .

**VSS (Pin 4):** Veškeré napěťové úrovně jsou vztaženy k tomuto vývodu.

**SDA, SCL (Pin 5, 6):** Vstupní/výstupní porty rozhraní  $I^2C$ . Pro správnou funkci sběrnice jsou nutné *Pull up* rezistory, jejich velikost je dána rychlostí přenosu, dobou rostoucí/klesající hrany signálu a kapacitou sběrnice. Ze zkušeností je zvolena hodnota rezistoru  $R_{18}$  a  $R_{19}$  4,7 k $\Omega$ , ověření tvaru signálu je měřeno pomocí osciloskopu a výsledky zobrazeny v kapitole 9.1 *Průběhy impulsů*.

**CLKOUT (Pin 7):** Logický výstup poskytuje obdélníkový signál o nastavitelné frekvenci. Funkce není využita.

**VDD (Pin 8):** Napájení jednotky mikrokontroléru napětím celého systému, tj. 3,3 V. Jako blokovací kapacitor je použit polarizovaný, tantalový kondenzátor hodnoty 15  $\mu\text{F}$ .

## 6 Deska plošných spojů

### 6.1 Návrh plošného spoje

Návrh *DPS* je realizován v SW prostředí *EAGLE 6.5.0*. Následná výroba se provádí profesionálním způsobem *Pool Service*. Vyrobené desky jsou dvouvrstvé, horní strana obsahuje signálové a napájecí spoje. Na spodní straně je rozlitaná zem pro snadnější rozvod zemního potenciálu. Další technologická specifika jsou, veškeré signálové a část napájecích cest mají šířku spoje 8 *mils* (asi 0,2 mm), napájecí spoje pro nabíjecí obvod a spínaný zdroj jsou taženy šířkou 16 *mils* (asi 0,4 mm). Desky jsou opatřeny nepájivou maskou, potiskem z obou stran a pady mají zlatou povrchovou úpravu.

Pro realizaci jednotky průtokoměru je nutné vyhotovit dvě *DPS*, základní desku a *DPS* se snímači. Základní deska obsahuje většinu komponent a integrovaných obvodů, jedná se o nabíjecí obvod, spínaný zdroj, mikrokontrolér, obvod reálného času a *Bluetooth* modul. Tvar a velikost základní desky není libovolná, ale musí být kruhového tvaru s průměrem 61 mm, jak je znázorněno ve 3D modelu (obr. 5.1), proto při výběru součástek je kladen velký důraz na jejich

velikost. Veškeré komponenty, kromě napájecího a programovacího konektoru, jsou tvořeny pro povrchovou montáž a většina pasivních součástek mají pouzdro *SMD 1206*. Rozložení komponent a plošných spojů je tvořeno s největší efektivností, aby se minimalizovalo tažení signálových spojů přes prokovy a tím zbytečnému tříštění rozlité země. Tomu se však nelze vyhnout a pět signálů převážně od *Bluetooth* modulu jsou taženy přes prokovy, ale snaha je o minimální délku spoje na spodní straně. Další omezení se opět týká *Bluetooth* modulu, pro zamezení radiového rušení pod plochou antény a stínícími připojeními v rozích modulu nevedou signálové cesty ani rozlité zem. Také je doporučena minimální vzdálenost  $5\text{ mm}$  mezi anténou a kovovými předměty. Mechanické ukotvení obstarávají tři otvory o průměru  $3\text{ mm}$  pro distanční sloupky. Dále je vyfrézována drážka délky  $12\text{ mm}$  pro vetknutí desky se snímači a vyvrtán otvor o průměru  $1,1\text{ mm}$  pro ukotvení hřídelky.

Deska plošných spojů se snímači obsahuje dva snímače a čtyři rezistory nastavující pracovní bod emitoru i detektoru. Rozměry jsou opět dány umístěním, jedná se o desku s rozměry  $16 \times 15\text{ mm}$ . Signál, napájení a reference jsou na desku přivedeny přes cylindrické pady, které se připájí s pady na základní desce a zároveň tyto spoje slouží jako mechanické uchycení desky se snímači.

Celkové schéma jednotky průtokoměru, motivy plošných spojů a seznam použitých součástek lze nalézt v *Příloze*. Při vývoji se objevily skutečnosti, pro které bylo nutné zapojení upravit své pomoci. Proto je zveřejněno obvodové zapojení a návrh *DPS* vyrobené desky, ale také upravené obvodové zapojení a návrh *DPS*. V upravené verzi návrhu je doplněn *Pull up* rezistor  $R_{22} = 10\text{ k}\Omega$  na resetovacím pinu *Bluetooth* modulu, neboť původně byl nedopatřením připojen na resetovací pin */MCLR* mikrokontroléru a to znemožňovalo připojení vyššího programovacího napětí. Dále se v průběhu práce využilo funkce alarmu obvodu reálného času, proto je výstup */INT RTC* obvodu připojen na vstup *RB5* mikrokontroléru. Pro správnou funkci musí být */INT* výstup opatřen *Pull up* rezistorem velikosti  $R_{24} = 1\text{ k}\Omega$ . Poslední změnou je doplnění chybějícího spoje mezi výstupem */CHRG* nabíjecího obvodu a katodou signalizační oranžové diody, který se během vytváření obvodového zapojení smazal.

## 6.2 Oživení

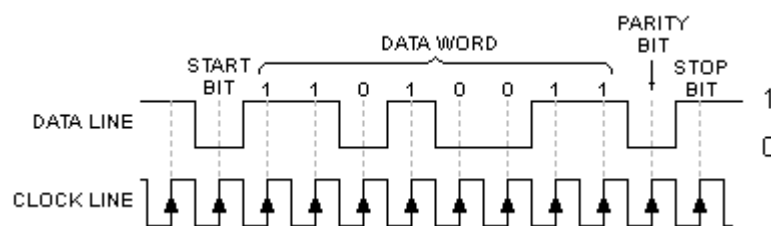
Deska plošných spojů je osazena ručně za pomoci regulovatelné pájecí stanice, přesnost výroby *DPS* a neveliká zručnost umožňuje připájet i spínaný zdroj v *QFN* pouzdru. Nejdříve se realizuje napájecí část obvodu, tedy spínaný zdroj a nabíječka. Po proměření napětí se dále systematicky postupuje v osazování od nejmenších komponent a nakonec je deska osazena mikrokontrolérem, *Bluetooth* modulem a *DPS* se snímači. Také je připojen

akumulátor, avšak nabíjecí obvod nejeví známky života a akumulátor se nenabíjí. Následuje dlouhá řada programového nastavení veškerých periférií, ať vnitřních (časovače, komparátory, a jiné), tak vnějších (obvod reálného času a *Bluetooth* modul). Po ověření funkčnosti dílčích periférií je skládáním jednotlivých funkcí vyvíjen *Firmware* pro obsluhu jednotky.

## 7 Komunikační rozhraní

### 7.1 UART

Přes sériové rozhraní *UART* jednotka průtokoměru komunikuje s obslužným uživatelským softwarem, a to přímo přes vyvedené piny (programovací konektor) nebo pomocí *Bluetooth* modulu. Jedná se o obousměrnou asynchronní komunikaci mez PC a jednotkou, proto je nutné nastavit na obou stranách stejnou modulační rychlost, v případě jednotky je to *19 200 Baud/s*. Nečinný stav na sběrnici je reprezentován *High* úrovní. Pokud se rozhodne zařízení vysílat, vyšle Start bit, tedy log. 0. Poté následuje 8 nebo 9 bitů představujících data, popřípadě kontrolní paritní bit a rámeček je zakončen Stop bitem, který opět uvede stav sběrnice do *High* úrovně. Pokud je potřeba, při Stop bitu se vnitřní hodinový signál obou komunikujících zařízení dokáže sesynchronizovat. Platnost dat se děje při náběžné hraně hodinového signálu, jak je znázorněno na obr. 7.1. Pro asynchronní komunikaci se hodinový signál nepřenáší a každé zařízení používá vnitřní hodinový signál, který se synchronizuje nastavením stejné modulační rychlostí a Stop bitem. Ve fyzické vrstvě se nacházejí dva signálové vodiče, vysílací *Tx* a přijímací *Rx*, a reference, tedy zem. Také mohou být zařazeny sériové rezistory pro omezení maximálního proudu, a tím ochránit vstup/výstup periferie.

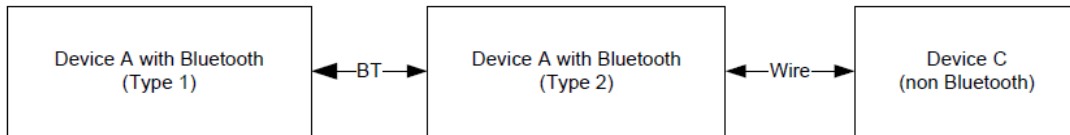


Obrázek 7.1: Datový rámeček *UART* rozhraní [11]

### 7.2 Bluetooth

Bezdrátová technologie *Bluetooth* slouží k přenosu dat mezi jednotkou průtokoměru a uživatelským PC. Pracuje ve volném frekvenčním pásmu *2,45 GHz* a pro zamezení rušení více zařízení se využívá *Frequency Hopping Spread Spectrum*, během jedné vteřiny se provede několik skoků mezi 79 frekvencemi (rozestup *1 MHz*) v okolí frekvence *2,45 GHz*. Komunikace s jednotkou je zřízena přes protokol *RFCOMM*. Jedná se o standard, který emuluje sériové rozhraní *UART*, princip je znázorněn na obr. 7.2. Protokol vytvoří virtuální sériový port na PC

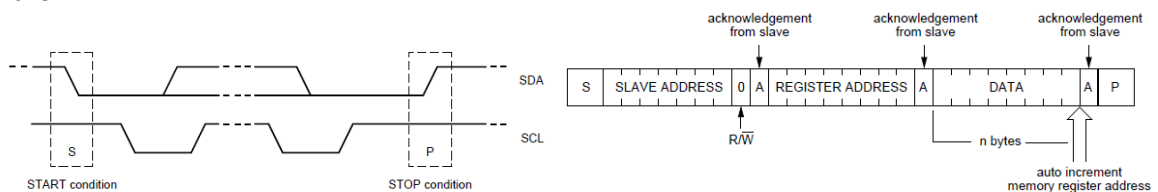
(Device A – type 1), na který lze přijímat a vysílat běžnými způsoby pro *UART* rozhraní. Současně protokol data přizpůsobí pro *Bluetooth* a jsou přenášena volným prostorem. *Bluetooth* modul (Device A – type 2) opět data transformuje, typické pro rozhraní *UART*, a přes metalické vedení jsou zpracována v jednotce průtokoměru. Tudíž, z obou stran lze nahlížet na komunikaci jako na běžné sériové rozhraní *UART*.



Obrázek 7.2: RFCOMM protokol [12]

### 7.3 I<sup>2</sup>C

Rozhraní *I<sup>2</sup>C* je využito pro získání hodnot času a data z obvodu reálného času. Jedná se o sériovou synchronní sběrnici typu *multi-master*, každé zařízení má vlastní adresu a *Master* vždy zahajuje komunikaci, adresuje *Slave* obvod a generuje hodinový signál, v případě jednotky průtokoměru je frekvence  $f = 100 \text{ kHz}$ . Princip synchronizace je znázorněn na obr. 7.3. Start/stop podmínka, která zahajuje/ukončuje komunikaci, je změna napěťové úrovně datového signálu (*SDA*) v *High* úrovni hodinového signálu (*SCL*). Jednotlivé bity (data) jsou platné jen v případě, kdy se mění úroveň *SDA* signálu v *Low* úrovni hodinové signálu. Pro získání hodnot je postup následující (obr. 7.4). Je vyslána startovací podmínka, 7-bitová adresa *Slave* obvodu + bit pro zápis, a vždy po přijetí/vyslání jednoho *bytu Slave* reaguje devátým potvrzovacím bitem *Acknowledge* bit, tzv. *ACK*. Pokud adresování *Slave* je správné, *Slave* nevyšle *ACK* bit, při špatné adrese *Slave* odpoví vysláním *ACK*. Dále je *Masterem* vyslána adresa registru, od kterého se začnou číst hodnoty a resetovací podmínka. Opět je nutné adresování *Slave* + bit pro čtení, poté je *Masterem* přijímána osmice bitů + *ACK* bit v *High* úrovni.

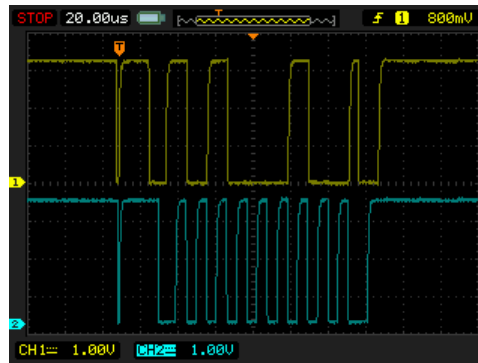


Obrázek 7.4: Synchronizace *I<sup>2</sup>C* sběrnice [10]

Obrázek 7.3: Čtení dat [10]

Pro správnou funkci jsou zapotřebí dvě signálové cesty *SDA* (data), *SCL* (hodiny) a samozřejmě reference, tedy zem. Dále jsou nutné *Pull up* rezistory, neboť změna napěťové úrovně je prováděna pomocí tranzistoru s otevřeným kolektorem. Velikost rezistoru je dána kapacitou sběrnice tak, aby bylo zamezeno přechodovým jevům a hrany odpovídaly obdélníkovému signálu. Proto je vhodné, aby se sběrnice proměřila dvoukanálovým osciloskopem při komunikaci, tím je zjištěn tvar signálů a popřípadě se upraví *Pull up*

rezistorem. Průběhy na obr. 7.5 reprezentují adresování obvodu reálného času pro zápis, jedná se o hodnotu  $0xA2$  ( $0b10100010$ ), podle předpokladů není očekáván devátý ACK bit a tvar signálu není potřeba upravovat, tím i hodnota *Pull up* rezistorů  $4,7\text{ k}\Omega$  zůstává nezměněna.



Obrázek 7.5: Průběhy I2C sběrnice

## 8 SW Realizace

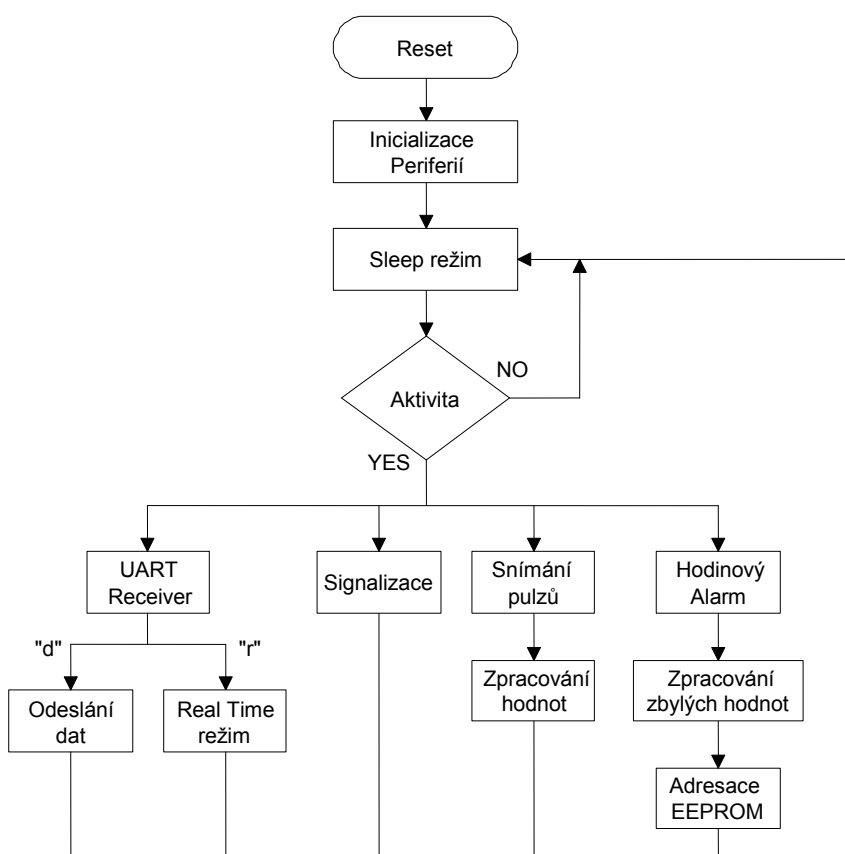
Softwarová realizace je rozdělena na dvě části. *Firmware*, tedy obslužný program mikrokontroléru a *Software pro PC*, sloužící pro komunikaci uživatele s jednotkou průtokoměru, stahování dat a vizualizaci naměřených hodnot. *Firmware* je vytvořen v programovacím jazyku *C*, v prostředí *MikroC PRO for PIC v.6.0.0* od společnosti *MikroElektronika*. Toto prostředí je zvoleno záměrně pro širokou nabídku knihoven. Ve *Firmwaru* je použita knihovna pro konverzi datových typů, komunikaci s *EEPROM* pamětí, komunikaci přes *I<sup>2</sup>C* sběrnici a nastavení konfiguračních bitů. Naproti tomu, komunikace přes *UART* je tvořena přímo registry mikrokontroléru a knihovna není použita. *Software pro PC* je napsán v jazyku *Java*, konkrétně v prostředí *NetBeans IDE 8.0*. Opět se využívá knihoven pro zefektivnění práce, například knihovna pro komunikaci po sériové lince.

Oba programové kódy jsou dodány v digitální podobě.

### 8.1 Firmware

Intelligence systému, určuje celkové chování jednotky průtokoměru. Měl by si poradit se všemi možnými událostmi, které mohou nastat, bez zásahu uživatele. Jedná se o robustní kombinaci logiky a možností obvodu a periférií. Největším problémem může být, že po nějaké době provozu se jednotka průtokoměru resetuje. Tato situace může nastat instalací průtokoměru na jiné místo, vybitím akumulátoru nebo při neočekávaném výpadku elektrické energie. V takovém případě je důležité, aby se již uložené hodnoty zachovaly, k tomu slouží *non-volatile* paměť. Dále je nutné zajistit, aby se hodnoty nepřepisovaly a zapisování nových hodnot pokračovalo od paměťového místa před resetem. Těmito funkcemi je jednotka vybavena a jsou více popsány v kapitole 2.1.3 *Adresace EEPROM*.

Základní vývojový diagram jednotky průtokoměru je znázorněn na obr. 8.1. Po resetu proběhne veškerá inicializace periferií, tedy nastavení vnitřního oscilátoru, I/O obvodů, časovačů, přerušení, alarmu *RTC* obvodu a také již zmiňované adresace *EEPROM*. Taktovací frekvence systému je *4 MHz*, zaručuje nižší spotřebu, avšak je dostatečná pro přenosovou rychlost *19 200 Baud/s UART* rozhraní. Pro úsporu energie se jednotka přepne do *Sleep režimu*, ve kterém je aktivní pouze jeden snímač a ze kterého se vždy „probudí“ aktivitou vyvolanou přijímačem *UART*, po které může následovat stahování dat k uživateli nebo *Real Time* režim. Tento režim v reálném čase informuje uživatele o aktuálním průtoku. Dalšími probouzejícími aktivitami jsou světelná signalizace, snímání otáček, následovné zpracování a uložení protečeného množství a v poslední řadě alarm vyvolaný *RTC* obvodem, přicházejícím každou hodinu, po kterém se upravuje index adresace pro správné ukládání naměřených hodnot.



Obrázek 8.1: Základní vývojový diagram systému

### 8.1.1 Použité periferie

Pro bezchybnou funkci celého systému jsou důležité veškeré periferie, ale o některých je dobré se zmínit podrobněji, například pro jejich specifické nastavení nebo proto, že při práci s nimi se objevily zajímavé skutečnosti. Těmito periferiemi jsou *Timer0*, *Capture*, *RTC* obvod a *Bluetooth* modul.



### 8.1.1.1 Timer0

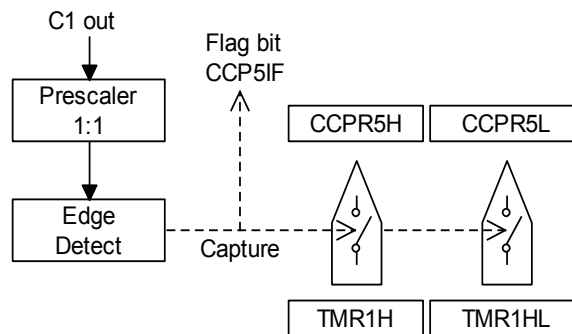
Modul pro odměřování časových úseků v rozmezí desítek nanosekund až jednotek sekund. Obsluha běží na pozadí a je tvořen dvěma 8-bitovými registry (*TMROH* a *TMR0L*), které se každý instrukční cyklus ( $F_{osc}/4$ ) inkrementují a při přetečení je vyvoláno přerušení. Dále může být zavedena předdělička pro prodloužení času. Základní časová jednotka systému je  $t = 0,5 \text{ s}$ , která je použita například pro signalizaci nebo obnovení hodnoty průtoku při Real Time režimu. Hodnoty registrů jsou dány vztahem 8.1 při použití  $4 \text{ MHz}$  taktu oscilátoru a předděličky 1:8. Oba registry musí být naplněny vždy po přerušení, jinak by časovač inkrementoval od nuly a výsledný čas by neodpovídal  $0,5 \text{ s}$ .

$$N = 65535 - t \frac{F_{osc}}{4 \cdot Pre} = 65535 - 0,5 \frac{4000000}{4 \cdot 8} = 65535 - 62500 = 3035 [-] \quad (8.1)$$

$$\Rightarrow TMROH = 0x0B \text{ a } TMR0L = 0xDB$$

### 8.1.1.2 Capture

Již podle názvu se jedná o zachytávající režim, kdy při detekci každé klesající hrany signálu se přesune hodnota z *timer1* registrů *TMR1H* a *TMR0L* do bufferu *CCPR5H* a *CCPR5L*. Z rozdílu hodnot bufferu dvou po sobě přicházejících hran, lze určit periodu signálu a následně frekvenci. Rozdíl se nejjednoduše vytvoří nulováním registrů po obsluze *Capture* režimu, poté lze hodnoty z bufferu považovat za rozdíl.



Obrázek 8.2: Capture režim

Je použit modul *CCP5*, pro který lze použít jako zdroj vstupního signálu výstup vnitřního komparátoru *C1*. Frekvenci a následný průtok je dán vztahem 8.2, časovač využívá předděličku 1:8. Konstanta  $k [dm^3 \cdot pulz^{-1}]$  (upravený součinitel  $k$ ) je dána měřením a  $N$  hodnota z bufferu (16-bitů).

$$CCPR5H | CCPR5L \Rightarrow N$$

$$Q_V = k \cdot 60 \cdot f = k \cdot 60 \cdot \frac{F_{osc}}{4 \cdot Pre \cdot N} = k \cdot 60 \cdot \frac{4000000}{4 \cdot 8 \cdot N} [dm^3/min] \quad (8.2)$$

### **8.1.1.3 Bluetooth modul**

Konfigurace modulu je možná přes sériové rozhraní, a to ze strany jednotky průtokoměru, ale také ze strany uživatelského PC. Nejpřehlednější způsob je pomocí terminálu. Při vývoji se používá program *Tera Term*. Po úspěšném spárování, oranžová LED5 se trvale rozsvítí, pomocí vyslaného řetězce \$\$\$ se modul nachází v příkazovém režimu. Pokud je příkazový režim aktivní, bliká LED5 s frekvencí 10 Hz a terminál zobrazí řetězec *CMD*. Lze vyslat znak *H* a zobrazí se kompletní seznam příkazů a jejich parametrů. Je změněn název zařízení na *Flowmeter*, modulační rychlost 19200 Baud/s. Dále je využito metody *Deep Sleep* pro snížení spotřeby. Spotřeba se v tomto režimu pohybuje okolo 300  $\mu A$ , veškeré procesy běží v omezeném režimu. Probuzení lze provádět několika způsoby, vysláním znaku přes *UART*, nastavením automatického probouzení a rádiovým přenosem na *RX pin*. Poslední způsobem je modul probouzen, avšak při tomto způsobu je nutné brát na vědomí, že se většinou první vyslaný znak ztratí. Další způsob snížení spotřeby je vypnutí všech stavových pinů *GPIO*, kromě výstupu *GPIO8*, který signalizuje stav na *RF* rozhraní *RX/TX*. Vypnutí stavových pinů se provede se změnou nastavení na vstupy. Tím přestanou signalizovat LED diody *LED5* a *LED6*, které se využívají pouze při vývoji. Nastavení stavů *GPIO* je nutné opakovat vždy po ztrátě napájení.

### **8.1.1.4 RTC obvod**

Správnou funkci obvodu přesného času zajišťuje šestnáct 8-bitových registrů (8.3). Komunikace je prováděna přes *I<sup>2</sup>C* rozhraní rychlostí 100 kb/s, adresa pro zápis je 0xA2 a pro čtení 0xA3. Nastavení ukazatele adresy lze pouze jednou, protože nadále je inkrementován automaticky. Hodnoty času a data jsou v BCD formátu, tedy nejméně vyznané bity 0 – 3 reprezentují jednotky a vyšší bity 4 – 6 reprezentují desítky. Například 53 min v registru 0x03 je zapsáno 0b01010011.

V závislosti na velikosti hodnoty se v registru vyskytují nepotřebné bity, může se jednat o bity 7 - 5, které nenesou relevantní informaci, ovšem i jejich hodnota se mění. Po přečtení je nutné tyto nepotřebné bity maskovat bitovým násobením nulou a následně hodnotu převést na dekadický tvar, až poté získáme správné hodnoty času a data. Společně s odměřováním času a data je také využita funkce alarmu.

| CONTROL |                  |
|---------|------------------|
| 00      | CONTROL_STATUS_1 |
| 01      | CONTROL_STATUS_2 |
| 0D      | CLKOUT_CONTROL   |

| TIME |                |
|------|----------------|
| 02   | VL_SECONDS     |
| 03   | MINUTES        |
| 04   | HOURS          |
| 05   | DAYS           |
| 06   | WEEKDAYS       |
| 07   | CENTURY_MONTHS |
| 08   | YEARS          |

| ALARM FUNCTION |               |
|----------------|---------------|
| 09             | MINUTE_ALARM  |
| 0A             | HOUR_ALARM    |
| 0B             | DAY_ALARM     |
| 0C             | WEEKDAY_ALARM |

| TIMER FUNCTION |               |
|----------------|---------------|
| 0E             | TIMER_CONTROL |
| 0F             | TIMER         |

Obrázek 8.3: Registry RTC obvodu [10]

Inicializace funkce alarmu je prováděna v registru *Control\_Status\_2*, ve kterém se povoluje přerušení a nuluje *Alarm Flag bit*, pomocí  $I^2C$  rozhraní. *Alarm Flag bit* je vyvolán vždy, kdy se je shoda času s nastavitelnými registry alarmu (0x09 - 0x0C). Dále se *Flag bit* projeví na výstupním pinu *Interrupt output* jako logická nula. K detekování této změny slouží *Interrupt On Change* mikrokontroléru. Po detekci je nutné vynulovat *Alarm Flag bit* a znovu nastavit čas pro alarm. Je požadováno vyvolání alarmu každou hodinu, proto se nastavuje minutový alarm registr *Minute\_Alarm* na hodnotu nula. Tedy, vždy kdy minutový registr přeteče z hodnoty 59 na 00 je vyvoláno přerušení.

### 8.1.2 Inicializace periférií

**Oscilátor:** Taktovací frekvence vnitřního oscilátoru je zvolena 4 MHz. Nutné ruční nastavení, neboť přes vývojové prostředí *MikroC* je nastavení problematické.

**Přerušení:** Povolení globálního přerušení, periférií a rozlišování priority.

**Timer0:** Časovač s 0,5 s intervalem, vyvolá přerušení nízké priority. Naplnění registrů *TMROH* a *TMR0L*.

**UART:** Pro nižší taktovací frekvenci je nutné použít *High speed* režim, aby modulační rychlost dosahovala *19 200 Baud/s*. Při přijímání dat je vyvoláno přerušení. Použity oba komunikační moduly, *UART1* i *UART2*.

**Port:** Nastavení portů a aktivace snímačů. Analogový vstup *RB4* AD převodníku.

**ADC:** Inicializace AD převodníku, kanál *AN11*. Kladná referenční úroveň  $U_{FVR} = 2,048 V$  daná vnitřní napěťovou referencí.

**Capture + Komparátor:** Inicializace *CCP5* modul, vstupní signál z komparátoru *C1*, detekce každé klesající hrany a zachytávání z *Timer1*.

**Reset Alarm:** Pomocí  $I^2C$  rozhraní nulování *Alarm Flag* bitu a povolení přerušení obvodu reálného času.

**Alarm:** Pomocí  $I^2C$  rozhraní nastavení minutového alarm registru na *00 min*.

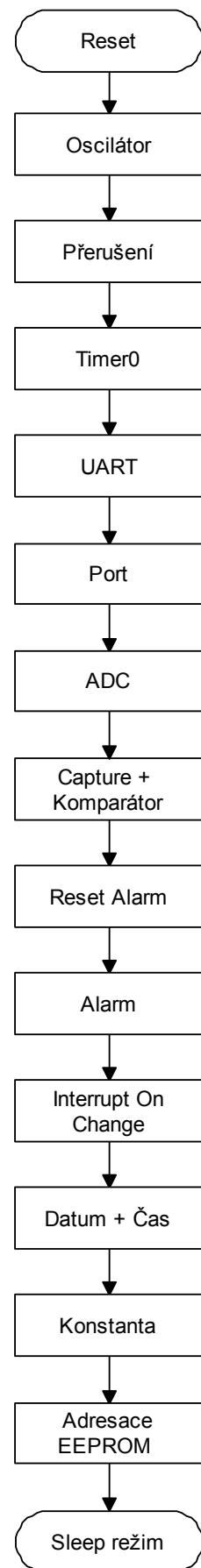
**Interrupt On Change:** Povolení přerušení *IOC* pouze na pinu *RB5* s nízkou prioritou. Pro větší stabilitu je nutné připojit vnitřní *Pull up* rezistor.

**Datum + Čas:** Podprogram zjišťující aktuální datum a čas (proměnné *hod*, *den*, *mes*, *rok*) následné maskování nepotřebných bitů a konverze z *BCD* formátu.

**Konstanta:** Pokud se před resetem měnila konstanta *k* pro výpočet spotřeby, je vyzvednuta k použití, jinak se používá defaultní konstanta horizontální.

**Adresace EEPROM:** Zabraňuje přepisování paměti po resetu, nalezení ukazatele adres.

**Sleep režim:** Inicializace je ukončena aktivováním *SLEEP* režimu, snížení spotřeby.



Obrázek 8.4: Inicializace periferií

### 8.1.3 Adresace EEPROM

Naměřené hodnoty jsou ukládány do paměti typu *EEPROM*, tedy přepisovatelnou a napěťově nezávislou. Bohužel při návrhu *HW* není zakomponována problematika ukládání většího množství dat a není použit externí paměťový obvod s *SPI* rozhraním a ani mikroprocesor s rozšířenou *EEPROM* pamětí. Použitý mikroprocesor má velikost *EEPROM* paměti pouze 256 *Byte* a protože se jedná o realizaci prototypu, statistiky se vytváří jen pro 7 dní zpětně s možností přemazávání starších údajů. Další omezení je v podobě uložení maximálního protečeného množství za jednu hodinu, je možné uložit 127,5 *litru* během jedné hodiny. Avšak ukládání celkové spotřeby není ničím omezeno. Uspořádání dat v paměti a vysvětlení omezení je zjevné z obr. 8.5 a následujícího popisu.

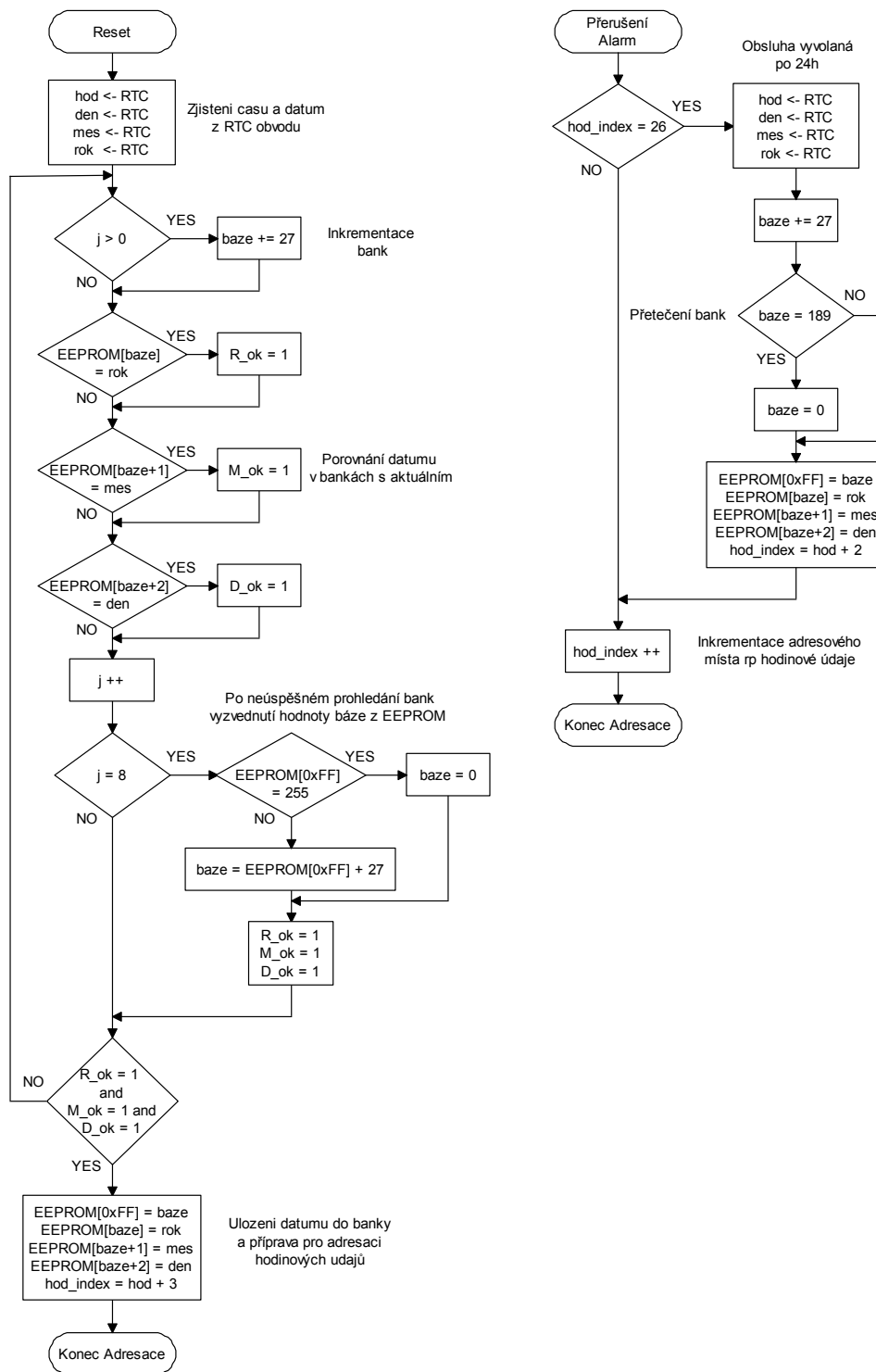
|                  | Datum |      |      | Hodinová spotřeba |      |      |     |      |      |      |
|------------------|-------|------|------|-------------------|------|------|-----|------|------|------|
|                  | rok   | mes  | den  | 0h                | 1h   | 2h   | ... | 21h  | 22h  | 23h  |
| Bank 0           | 0x00  | 0x01 | 0x02 | 0x03              | 0x04 | 0x05 | ... | 0x18 | 0x19 | 0x1A |
| Bank 1           | 0x1B  |      |      |                   |      |      | ... |      |      | 0x35 |
| Bank 2           | 0x36  |      |      |                   |      |      | ... |      |      | 0x50 |
| Bank 3           | 0x51  |      |      |                   |      |      | ... |      |      | 0x6B |
| Bank 4           | 0x6C  |      |      |                   |      |      | ... |      |      | 0x86 |
| Bank 5           | 0x87  |      |      |                   |      |      | ... |      |      | 0xA1 |
| Bank 6           | 0xA2  |      |      |                   |      |      | ... |      |      | 0xBC |
| Celková spotřeba | 0xBD  | 0xBE | 0xBF | 0xC0              |      |      | ... |      |      | 0xFF |

Obrázek 8.5: Uspořádání dat v paměti EEPROM

Převážná část paměti je rozdělena na sedm bloků, nazvaných banky. Banky reprezentují jednotlivé dny a zabírají 26 paměťových adres. První adresa každé banky je nazývána *báze*, důležitý parametr pro adresování hodinové spotřeby. V prvních třech adresách banky je uloženo datum, ke kterému jsou data v dané bance vtažena. Dále jsou k dispozici 23 adres reprezentujících jednotlivé hodiny ve dne, takže adresa [*báze* + 3] reprezentuje 0. hodinu až [*báze* + 26] reprezentuje 23. hodinu. Tedy pro každou hodinu je vyčleňen jeden *Byte* a hodnoty se ukládají s rozlišením 0,5 *litru*, proto maximální hodnota 255 reprezentuje 127,5 *litru* vody. Po přechtení hodnoty je vždy nutné vydělit dvěma, aby se získala správa spotřeba dané hodiny. Následuje část se čtyřmi *Byte* s adresami 0xBD, 0xBE, 0xBF a 0xC0 (189 - 192) pro uložení celkové spotřeby. Jedná se o ukládání datového typu *long*, avšak celková spotřeba má rozlišení 0,1 *litru*. Proto je uložena celková spotřeba desetkrát větší a opět je nutné ji po přechtení vydělit deseti. Maximálně lze uložit celkovou spotřebu o velikosti 429 496 729,6 *litru*, což představuje

necelých 430 tis. m<sup>3</sup> vody. Poslední adresa je *0xFF*, do které se ukládá hodnota poslední využití *báze*.

Princip adresace *EEPROM* paměti je prováděna dle vývojového diagramu (obr. 8.6). Nalezení ukazatele adres po resetu, zabraňuje přepisování již uložených hodnot. Je zjištěno aktuální datum a čas a hodnoty uloženy do proměnných *hod,den,mes* a *rok*. Prochází se jednotlivé banky a porovnávají se uložené údaje s aktuálním datem. Pokud je nalezena banka odpovídajícího data, s její bazí se nadále pracuje. Pokud tomu tak není, je vyzvednuta hodnota poslední *báze* z adresy *0xFF*. Jestliže je hodnota rovna 255, do paměti se vůbec nezapisovalo a *báze* je nastavena na počátek paměti, tedy nula. Pro jiné nenulové hodnoty je *báze* zvýšena, aby odkazovala na další volnou banku. Po nalezení *báze* se na začátek banky uloží datum, nastaví se se správně *hod\_index*, který odkazuje na paměťové místo aktuální hodiny. Poté se ukazatel adres upravuje na začátku nové hodiny, tato obsluha je vyvolána přerušením, dané *Alarmem*. Pokud se jedná o přechod mezi 23. a 0. *Hodinou* je nutné zvýšit hodnotu *báze* a do nové banky uložit údaj o datu.

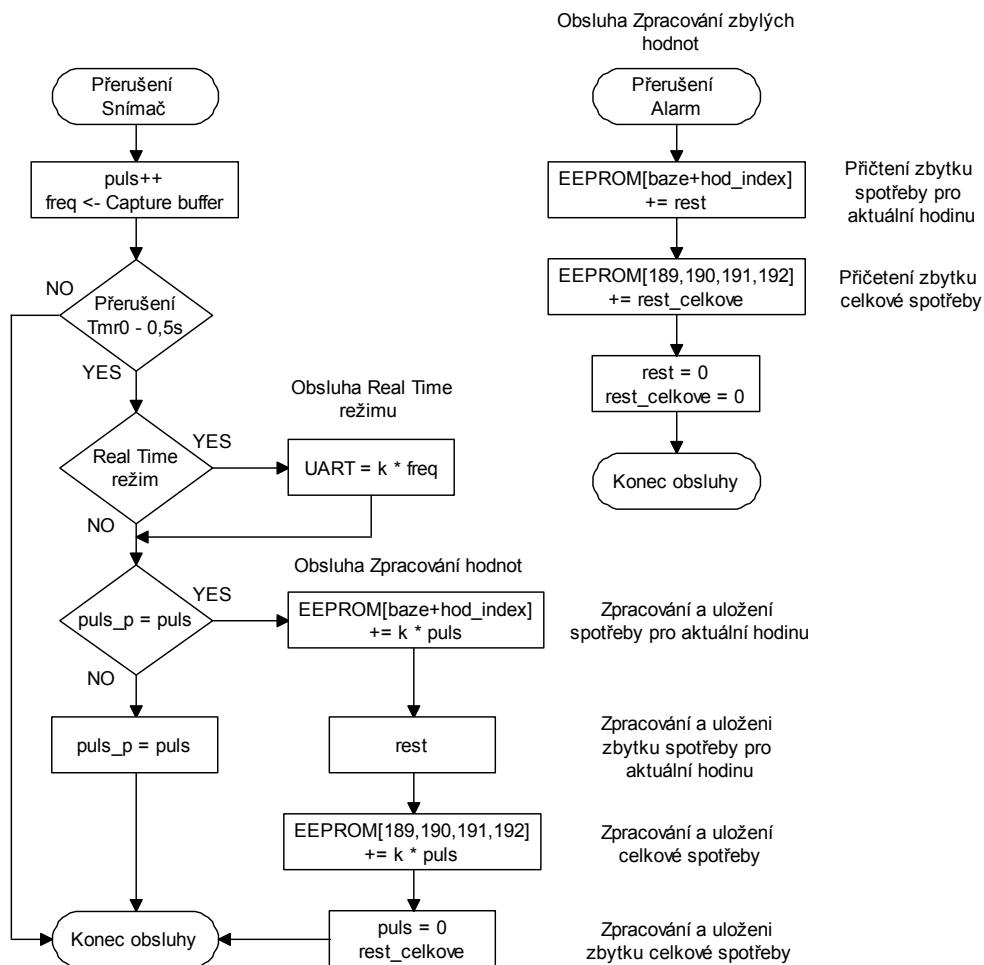


Obrázek 8.6: Vývojový diagram Adresace

### 8.1.4 Snímání a zpracování hodnot

Základní obsluha celého systému vyvolaná klesající hranou snímače A, jehož výstup tvaruje komparátor C1 a dále je zpracováván modulem CCP5. Po přerušení se zjistí napěťová úroveň ze snímače B, a pokud se nachází v nízké úrovni, inkrementuje se proměnná *puls*. V opačném případě se nic neprovede, neboť se lopatky průtokoměru otáčí proti směru toku, více o tomto problému je psáno v kapitole 4.2 *Použitý motiv*. Vývojový diagram zpracování

hodnot spotřeby a *Real Time* režimu je znázorněn na obr. 8.6. Jestliže je zvolen *Real Time* režim, vyzvedne se hodnota *CCP* bufferu a dle vztahu (8.2) je vypočtena frekvence  $f$  a následně hodnota průtoku. Po nějakém čase je vyvoláno přerušení od časovače *Timer0* (0,5 s) a hodnota průtoku je odeslána přes *UART* do PC, tedy hodnota je obnovována s periodou 0,5 s. Také se porovnává aktuální hodnota pulsu s hodnotou uloženou před 0,5 s, pokud se shodují, znamená to, že voda již neprotéká. Tak to je zamezeno neustálému ukládání hodnot a přístupu do *EEPROM* paměti a tím zvyšování spotřeby, jednoduše se hodnoty uloží, až přestane protékat voda. Nejdříve se zpracuje spotřeba pro aktuální hodinu a dále celková spotřeba. Sice se spotřeba vypočítává do proměnné s pohyblivou desetinou čárkou, ale pro uložení se zaokrouhlí na celé číslo (dolů), hodnoty zabírají méně paměti. Tedy vždy zůstane zbytek, který se během hodiny navyšuje, po vyvolání *Alarmu* se hodnota zbytku opět zaokrouhlí a přičte se ke spotřebě pro aktuální hodinu. Tím se eliminuje možná nepřesnost při zaokrouhlování, Jediná nepřesnost vznikne při zaokrouhlení zbytku a maximální možná nepřesnost může dosáhnout 0,5 litru pro každou hodinu. Obdobný proces je prováděn i pro celkovou spotřebu, avšak maximální nepřesnost může být maximálně 0,1 litru pro každou hodinu.

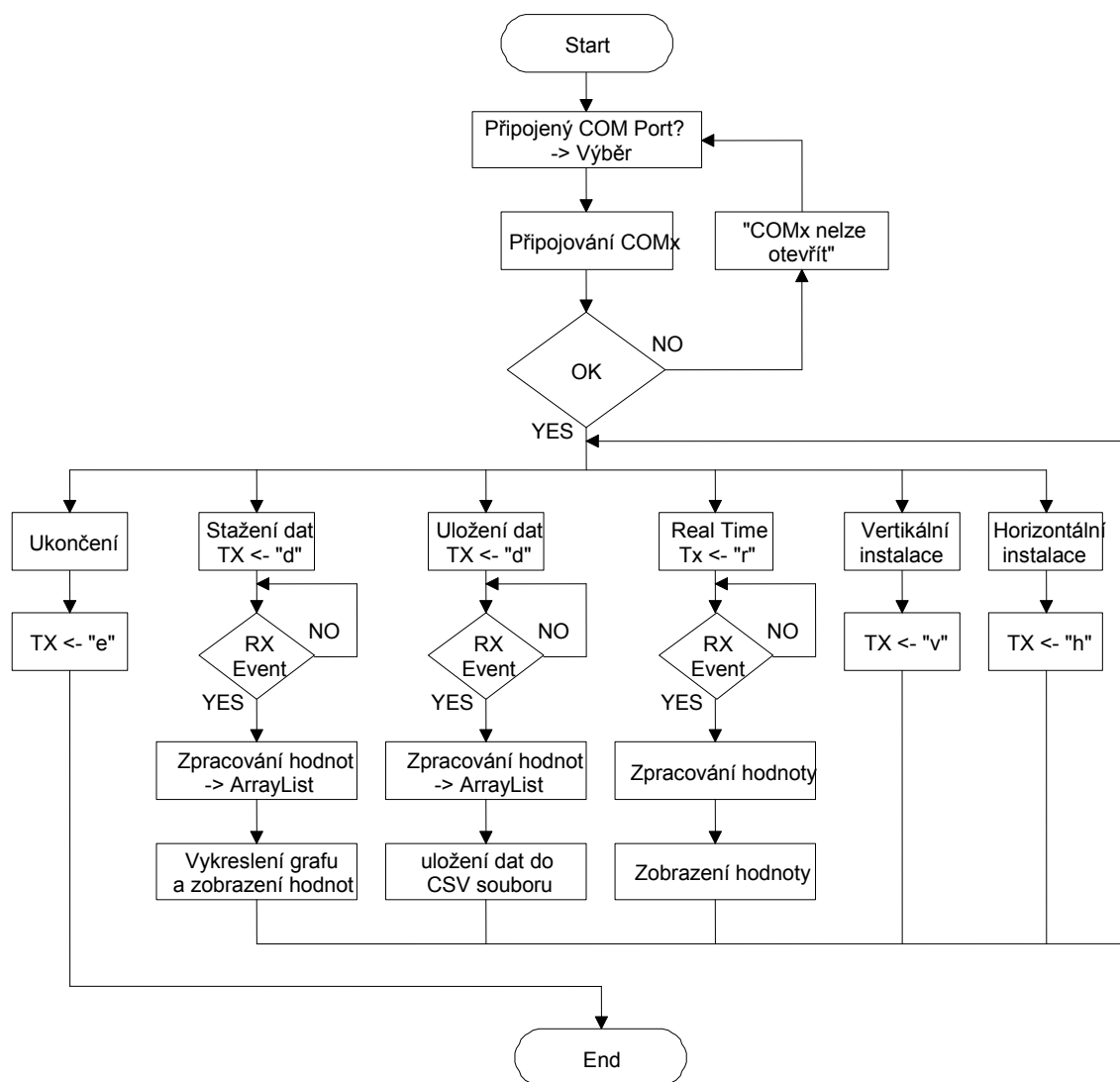


Obrázek 8.7: Vývojový diagram zpracování signálů



## 8.2 Software pro PC

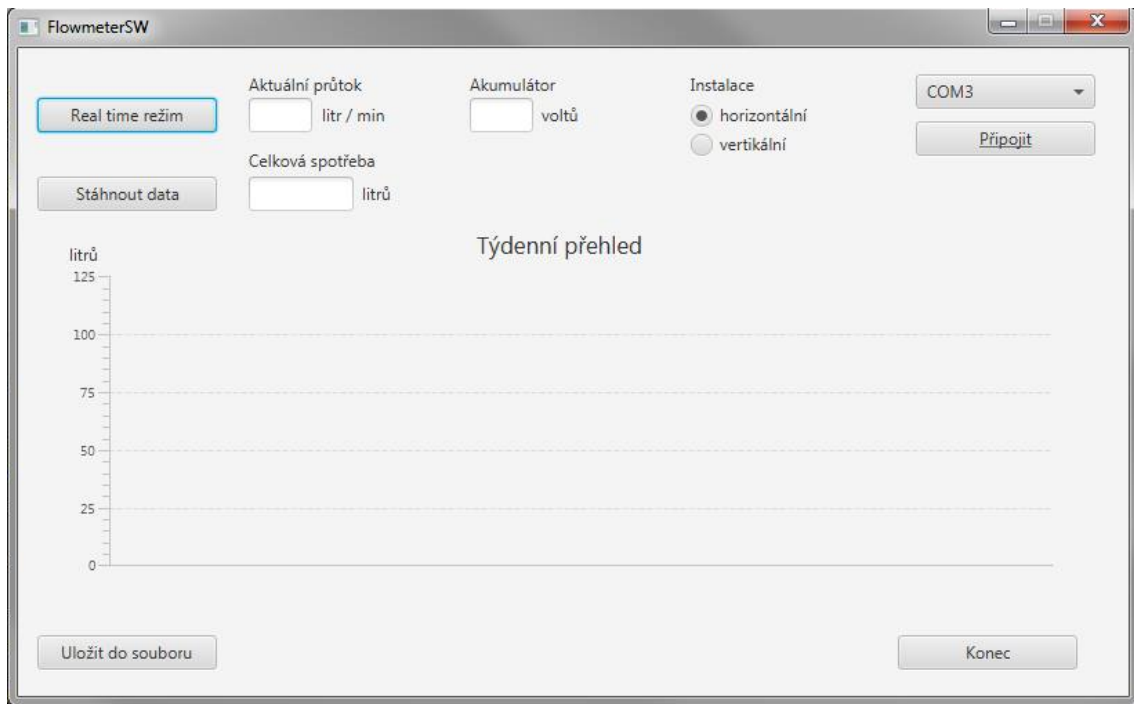
Obslužný PC software je vytvořen pro zpracování naměřených hodnot a jejich přehlednost. Nejdříve je nutné vyřešit navázání spojení a komunikaci přes *UART*. K tomu slouží funkce z knihovny *RXTX*. Tento projekt se již nerozvíjí a je dostupný z webu. Nutno dodat, že knihovna je podporována pouze na 64-bitové verzi *OS Windows* a proto je program na jiných verzích nefunkční. Jedna z nejdůležitějších tříd se nazývá *CommunicationHandler*, která zjistí všechny aktivní porty, naváže spojení a nastaví parametry komunikace. Pokud je nalezeno více aktivních portů, nechá uživatele zvolit správný. Dále uživatel má možnost vyslat příkaz jednotce průtokoměru. Tyto příkazy určují následné chování jednotky a jsou reprezentovány vyslanými znaky. Jednotlivé znaky jsou *d*, *r*, *v*, *h*, *e*. Vývojový diagramu na obr. 8.9 ukazuje funkce *Stažení dat*, *Real Time* režim, *Výběr instalace* a *Ukončení komunikace*. Další důležitá třída *Listener* se vyvolá vždy, když je přijat znak. Jelikož jsou vysílány pouze *Byty* a tyto se vždy skládají ze třech znaků, jsou dané znaky převáděny na datový typ *integer* a podle zvolené funkce zpracovány. Při vysílání hodinových spotřeb z paměti *EEPROM* se nepřidávají redundantní znaky, například pro oddělení bank. Pro třídění přijatých dat slouží jednoduchá funkce. Převáděné *integery* se ukládají do *ArrayList*, indexované pole dat. Každá banka má 26 hodnot a tedy pokud funkce *index modulo 27* nabývá nulové hodnoty, daný index je začátek nové banky. Následně se hodnoty upravují, buď jsou hodinová spotřeba, nebo datum, popřípadě celková spotřeba. Pomocí *GUI* funkcí se vykreslí graf hodinové spotřeby za posledních sedm dnů nebo se také může vytvořit csv soubor, ve kterém jsou hodnoty odděleny středníkem. Pro *Real Time* režim se zobrazuje aktuální spotřeba, hodnota je aktualizována každých *0,5 vteřin*.



Obrázek 8.8: Základní vývojový diagram uživatelské softwaru

### 8.2.1 Popis ovládání

Po spojení jednotky průtokoměru a uživatelského PC je vytvořen virtuální COM Port, z pravé horní nabídky se vybere aktivní port a stiskne se *Připojit*. Pokud připojení proběhne v pořádku, zobrazí se zelená tečka a tlačítka se stanou aktivními. Při neúspěšném navázání komunikace je vypsána hláška „COMx nelze otevřít“. Jestliže se spojení navázalo, lze nastavit polohu instalace průtokoměru a tím zpřesnit naměřené údaje. Pozor, defaultně je nastavena horizontální poloha. Dále se může zobrazovat aktuální průtok, pomocí tlačítka *Real Time režim*. Po stisku tlačítka *Stáhnout data* je vykreslen graf hodinových spotřeb za posledních sedm dnů, zobrazena celková spotřeba a napětí akumulátoru. Také lze hodnoty uložit do csv souboru pro následné zpracování v tabulkovém procesoru. Soubor je vytvořen do složky, ve které se nachází program. Při ukončení programu se veškerá komunikace přeruší a program se zavře.

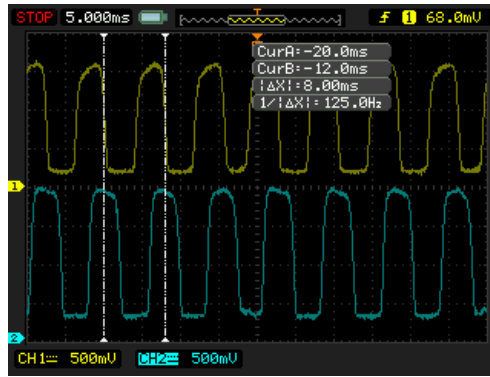


Obrázek 8.9: GUI uživatelského softwaru

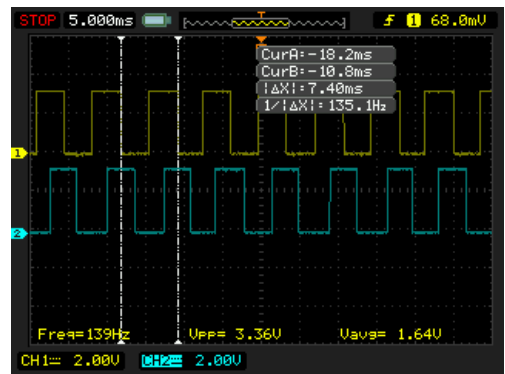
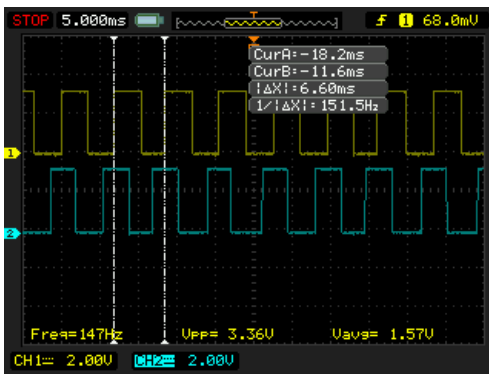
## 9 Dosažené výsledky a parametry realizovaného průtokoměru

### 9.1 Průběhy impulsů

Pomocí dvoukanalového osciloskopu je prověřena funkčnost enkodéru a tvarovacích komparátorů. Horní (žlutý) průběh je ze snímače A a dolní (modrý) ze snímače B. Nejdříve jsou změřeny výstupní signály na kolektorech opto-tranzistorů (obr. 9.1), které nejsou nijak tvarovány a jejich napěťové úrovně se pohybují v rozmezí od 0,25 V (log. 0) do 2 V (log. 1). Ve druhém případě jsou signály z vnitřních komparátorů přivedeny na fyzické výstupy mikrokontroléru a průtokoměr je roztočen na maximální možné otáčky, při kterých se ještě magnetická vazba mezi lopatkami a hřídelkou neodtrhne. V provozu je frekvence otáčení asi čtyřikrát nižší, než zobrazuje obr. 9.1. Průběh 9.2a je pro případ, kdy se lopatky otáčejí po směru a tedy voda proudí správným směrem. Očekávané průběhy se potvrdily, neboť při klesající hraně signálu A se signál B nachází v log. 0. Opačně pro 9.2b, ve kterém se lopatky otáčejí v protisměru, tedy při klesající hraně signálu A se signál B nachází v log. 1. Oba průběhy jsou navzájem posunuty o 90° a mají požadované napěťové úrovně, tedy 0 V (log. 0) a 3,3 V (log. 1), z toho vyplývá, že použité vnitřní komparátory jsou nastaveny správně.



Obrázek 9.1: Průběh na kolektorech opto-tranzistorů



Obrázek 9.2: Průběh signálů při otáčení po směru (a - vlevo) a proti směru (b - vpravo)

## 9.2 Stanovení konstanty $k$

Konstanta  $k$  určuje, kolik proteče množství vody za jeden impuls. Nejedná se o bezrozměrnou jednotku, nýbrž její jednotka je  $[dm^3.puls^{-1}]$ . K jejímu stanovení je zvolen empirický postup. Během vývoje prototypu proběhlo měření a zjišťování konstanty  $k$  následujícím způsobem.

Průtokoměr se připojí na vodovodní řád, nechá se přes něj protékat voda a neustále se inkrementuje hodnota reprezentující pulzy, které přicházejí ze snímačů. Pro větší objektivitu je nutné nechat protéci velké množství vody. Dále je potřeba odměřovat množství vody, k tomu účelu je použita přesná váha. Zjistí se hmotnost a pomocí hustoty vody  $\rho = 0,998 [kg.m^{-3}]$  pro  $20\text{ }^\circ\text{C}$  je dopočteno množství vody. Z naměřených hodnot (tab. 9.1) stanovíme konstantu  $k$  jako průměrnou hodnotu z jednotlivých měření, pro které jsou dílčí konstanty  $k_i$  dány vztahem 9.1 a odchylky  $\Delta k$  vztahem 9.2, kde  $m$  je hmotnost vody,  $\rho$  hustota a  $N$  počet načítaných pulsů.

$$k_i = \frac{m}{\rho \cdot N} [dm^3/puls] \quad (9.1)$$

$$\Delta k = \frac{k_i - k}{k} \cdot 100 [\%] \quad (9.2)$$

Tabulka 9.1: Naměřené hodnoty průtoků

|            | $m$ [kg] | $\rho$ [kg.dm <sup>-3</sup> ] | $V$ [dm <sup>3</sup> ] | $N$ [-] | $k_i$ [dm <sup>3</sup> ] | $k_{pr}$ [dm <sup>3</sup> ] | $\Delta k_i$ [%] | $k$ [dm <sup>3</sup> .puls <sup>-1</sup> ] | $\Delta k$ [%] |
|------------|----------|-------------------------------|------------------------|---------|--------------------------|-----------------------------|------------------|--|----------------|
| Horizont   | 118,28   | 0,998                         | 118,51                 | 16328   | 0,007258                 | 0,006977                    | 4,03             | 0,006880                                   | 5,50           |
|            | 119,25   |                               | 119,49                 | 16997   | 0,00703                  |                             | 0,76             |  | 2,18           |
|            | 126,83   |                               | 127,08                 | 18058   | 0,007037                 |                             | 0,87             |  | 2,29           |
|            | 118,94   |                               | 119,18                 | 17612   | 0,006767                 |                             | -3,01            |  | -1,64          |
|            | 122,52   |                               | 122,76                 | 18076   | 0,006792                 |                             | -2,66            |  | -1,29          |
| Hor - puls | 114,85   |                               | 115,08                 | 16518   | 0,006967                 | 0,006719                    | -0,14            |  | 1,27           |
|            | 121,61   |                               | 121,86                 | 18352   | 0,00664                  |                             | -5,02            |  | -3,49          |
|            | 121,26   |                               | 121,51                 | 18552   | 0,00655                  |                             | -6,36            |  | -4,80          |
| Vertikal   | 119,82   |                               | 120,06                 | 17165   | 0,006995                 | 0,007543                    | -7,28            |  | -4,74          |
|            | 119,43   |                               | 119,67                 | 15771   | 0,007588                 |                             | 0,59             |  | 3,35           |
|            | 120,65   |                               | 120,89                 | 14509   | 0,008332                 |                             | 10,46            |  | 13,48          |
|            | 120,47   |                               | 120,71                 | 15279   | 0,0079                   |                             | 4,73             |  | 7,60           |
|            | 119,35   |                               | 119,59                 | 14361   | 0,008327                 |                             | 10,39            |  | 13,41          |
|            | 122,56   |                               | 122,81                 | 17416   | 0,007051                 |                             | -6,52            |  | -3,97          |
|            | 121,41   |                               | 121,65                 | 18404   | 0,00661                  |                             | -12,37           |  | -9,98          |
| Ver - puls | 121,47   |                               | 121,71                 | 18331   | 0,00664                  | 0,006874                    | -3,41            |  | -9,57          |
|            | 122,48   |                               | 122,73                 | 18970   | 0,00647                  |                             | -5,88            |  | -11,8          |
|            | 122,56   |                               | 122,81                 | 16348   | 0,007512                 |                             | 9,29             |  | 2,31           |

Tabulka je výsledkem dvou měření s rozestupem jednoho týdne. Celkem přes průtokoměr protéklo necelých 2180 litrů vody. Vždy se provedlo několik měření pro různé kombinace – poloha průtokoměru a způsob průtoku. *Horizont* a *Vertikal* je označení pro horizontální a vertikální instalaci a průtok je kontinuální, tedy bez přerušení. Pokud je připojeno označení *puls*, znamená to, že průtok je přerušován po zhruba pěti litrech.

Z naměřených hodnot jsou patrné rozdíly mezi instalací vertikální a horizontální. Je logické, že počet impulsů pro vertikální instalaci je nižší, proto konstanta  $k$  vychází větší než pro horizontální umístění, neboť se projevuje více tření mezi osou lopatek a místem jejího uložení. Pokud by se stanovila konstanta z naměřených hodnot jen jedna, činila by  $k = 0,007028$  a odchylky pro horizontální instalaci průtokoměru by se pohybovaly až na dva extrémy do  $\pm 4$  %. Pro vertikální instalaci by rozdíly od stanovené konstanty byly značné, i 18,5 %. Proto se stanoví dvě konstanty a uživatel pomocí obslužného PC softwaru si zvolí, zda je průtokoměr nainstalovaný vodorovně či svisle. Tímto opatřením se přiblíží k přesnějším výsledkům spotřebované vody. Horizontální konstanta vychází  $k_H = 0,00688$  a odchylky se až na několik extrémů pohybují pod 2 %. Konstanta pro vertikální instalaci je stanovena  $k_V = 0,007343$ , avšak odchylky jsou nižší, ale stále značné. Defaultně je nastavena horizontální konstanta. Červeně označené jsou odchylky větší než 5 %. Tato hranice je upravena v čl. 2.1 přílohy k vyhlášce č. 334/2000 Sb., vydanou Ministerstvem průmyslu a obchodu, který stanovuje maximální přípustnou odchylku  $\pm 5$  % pro nižší průtok a  $\pm 2$  % pro vyšší průtok na vodoměry na studenou

vodu označené značkou EHS. Samozřejmě pro přesnější stanovení koeficientu  $k$  je nutné větší množství sad hodnot a dlouhodobější měření, kde by se mohly zanedbat extrémy.

Pro další případnou realizaci je možné obvod doplnit o polohový snímač a tím by odpadla starost uživateli o nastavení instalace v PC softwaru.

### 9.3 Elektrická spotřeba

Elektrická spotřeba jednotky průtokoměru je měřena digitálním voltmetrem a miliampérmetrem zapojených před napájecím konektorem, tedy jako příkon. Napájecí napětí je 6 V. Příkon je zjištěn pro tři režimy komunikace (Tab. 9.2), nepřipojeno, komunikace přes *Bluetooth* a komunikace přes kabelové připojení (použit převodník *FT232RL*, *UART - USB*). Výkon *Bluetooth* přijímače/vysílače je maximální, tedy 16 dBm.

Tabulka 9.2: Měřený příkon jednotky průtokoměru

| Režim $\mu\text{C}$  | Komunikace            | $P_{\text{IN}}$ [mW] | Doba trvání                |
|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------|
| Sleep                | Nepřipojeno           | 64                   | Trvale                     |
| Snímání a zpracování | Nepřipojeno           | 98                   | Doba průtoku vody          |
| Sleep                | BT, Připojování       | 635                  | 3 vteřiny                  |
| Sleep                | BT, Kontrola rádia    | 281                  | Pulsně každé 2 vteřiny     |
| Sleep                | BT - sleep, Připojeno | 122                  | Trvale                     |
| Sleep                | BT, Vysílání dat      | 251                  | Doba přenosu jednoho znaku |
| Sleep                | BT, Příjem povelu     | 137                  | Doba přenosu jednoho znaku |
| Real Time            | BT, Připojeno         | 159                  | Trvale                     |
| Sleep                | Kabel, Připojování    | 275                  | 2 vteřiny                  |
| Sleep                | Kabel, Vylání dat     | 70                   | Doba přenosu jednoho znaku |
| Real Time            | Kabel, Připojeno      | 101                  | Trvale                     |

Z první naměřené hodnoty příkonu, mikrokontrolér ve Sleep režimu (aktivní pouze jeden snímač) a bez komunikace, je patrné, že nastavený proud emitorem není 15 mA, neboť celkový proud se pohybuje kolem 10,5 mA. Po proměření úbytků napětí na IR diodě a rezistoru je zjištěno, že napájecí napětí detektoru není 3,3 V, ale pouze 2,3 V. Není zjištěna příčina, protože snímač je napájen z výstupu mikrokontroléru, avšak ten by měl poskytovat v log. 1 na výstupech téměř napájecí napětí. Závada ovšem nijak nebrání provozu a snímání je funkční, pouze proud IR emitorem je nyní kolem 7,5 mA. Stejná chyba se vyskytuje i pro snímač B.

Snížení spotřeby jednotky průtokoměru lze optimalizací *Firmwaru*, ale hlavně konstrukčním přiblížením snímačů a rotační části s reflexní a matnou vrstvou, tím lze znatelně snížit proud dodávaný IR diodám při zachování citlivosti snímání. Velký potenciál pro snížení příkonu je v nastavení výkonu vysílače/přijímače. Zvolená hodnota  $P=16$  dBm je

naddimenzovaná, avšak k časovým možnostem nebyl zjištěn minimální přijatelný výkon vysílače/přijímače, ale za jisté by se jednalo o citelnou úsporu v desítkách miliwattů.

## 9.4 Ostatní

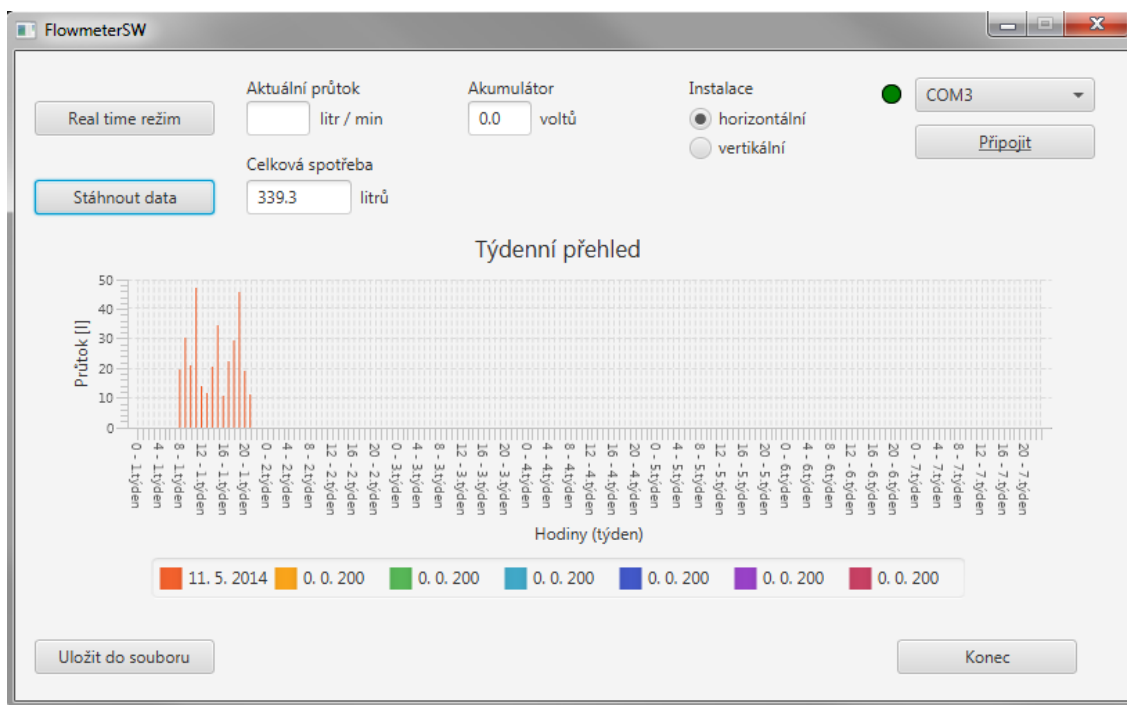
Nedostatek při návrhu obvodu je opomenutí externí paměti *EEPROM*. Nejjednodušším způsobem je použití paměťového integrovaného obvodu s *SPI* rozhraním. Při navýšení paměti, lze bez problému uchovávat naměřenou spotřebu pro několik měsíců a nevznikalo by žádné omezení.

Realizovaný nabíjecí obvod je nefunkční, bohužel nebyl proměřen a příčina nebyla zjištěna. Akumulátor je proto odpojen a uživatelský software zobrazuje nulovou hodnotu napětí.

Přestože *Bluetooth* technologie pomocí *RFCOMM* protokolu emuluje na PC COM Port, vytvořený uživatelský software se nedokáže připojit na tento port. Zřejmě je tento nedostatek zapříčiněn použitou knihovnou *RXTX*. Takže data lze stahovat do uživatelského softwaru pouze za použití *UART – USB* převodníku a kabelu připojeného k jednotce průtokoměru. Ovšem komunikace přes *Bluetooth* je funkční s terminálem *Tera Term*. Z terminálu je možné data uložit pomocí funkce *Log... (File -> Log...)*, která vytvoří soubor jakéhokoliv typu a vše co se vypíše na DOS obrazovku, je také zapsáno a uloženo do souboru. Pro vysílání přes *Bluetooth* jsou vyslaná data o spotřebě upravena tak, aby vytvořený soubor mohl být otevřen a zpracován v tabulkovém procesoru. Bohužel pro uživatele je tento způsob stažení dat nepohodlný, neboť se částečně pohybuje v DOS prostředí, na druhou stranu lze komunikovat bezdrátově.

## 9.5 Demonstrace funkčnosti

Testování funkčnosti je ověřeno ve zrychleném měření, kdy je čas v obvodu reálného času programově měněn a hodina trvá pět minut. Veškerá protečená voda je zachytávána a pomocí hmotnostní metody měřena, tyto hodnoty jsou porovnávány s naměřenou spotřebou z průtokoměru. Data z průtokoměru jsou stažena pomocí uživatelského softwaru (obr. 9.3) a následně je z nich vytvořen csv soubor, který je zpracován v tabulkovém procesoru (tab. 9.3). Měření probíhalo pouze pro horizontální instalaci.



Obrázek 9.3: Stažená data v uživatelském softwaru

Tabulka 9.3: Porovnání naměřené spotřeby průtokoměrem a kontrolním měřením

| -    | Spotřeba průtokoměr [l] |              | Spotřeba měření [l] |              | Odchylka [%] |             |  |  |  |
|------|-------------------------|--------------|---------------------|--------------|--------------|-------------|--|--|--|
|      | hodinová                | celková      | hodinová            | celková      | hodinová     | celková     |  |  |  |
| 7    | 19,5                    | <b>339,3</b> | 19,1                | <b>332,5</b> | 1,88         | <b>2,03</b> |  |  |  |
| 8    | 30,0                    |              | 29,7                |              | 1,11         |             |  |  |  |
| 9    | 21,0                    |              | 19,3                |              | 9,03         |             |  |  |  |
| 10   | 47,0                    |              | 51,6                |              | -8,94        |             |  |  |  |
| 11   | 14,0                    |              | 13,5                |              | 3,99         |             |  |  |  |
| 12   | 11,5                    |              | 10,9                |              | 5,44         |             |  |  |  |
| 13   | 20,0                    |              | 19,6                |              | 2,08         |             |  |  |  |
| 14   | 34,5                    |              | 34,1                |              | 1,21         |             |  |  |  |
| 15   | 10,5                    |              | 9,9                 |              | 5,62         |             |  |  |  |
| 16   | 22,5                    |              | 21,6                |              | 4,09         |             |  |  |  |
| 17   | 29,5                    |              | 29,3                |              | 0,82         |             |  |  |  |
| 18   | 45,5                    |              | 45,1                |              | 0,81         |             |  |  |  |
| 19   | 19,0                    |              | 19,0                |              | -0,01        |             |  |  |  |
| 20   | 11,0                    |              | 9,8                 |              | 11,68        |             |  |  |  |
| suma | 335,5                   |              |                     |              |              |             |  |  |  |

Z naměřených hodnot jsou patrné rozdíly mezi spotřebou z průtokoměru a spotřebou danou měřením. Pro některé případy jsou hodnoty spotřeby dost odlišné od měřených, avšak pro vizualizaci jsou dostačující. V celkové spotřebě je rozdíl, avšak odchylka je 2 %, která odpovídá odchylce při stanovení horizontální konstanty.



## 10 Závěr

Přes drobné nedostatky se mi podařilo navrhnout a realizovat funkční prototyp *Intelligentního průtokoměru*, dosahující přesnosti měření průtoku v průměru do 2 %. Jednotka průtokoměru vytváří statistiky hodinových průtoků a zaznamenává celkovou spotřebu. Naměřená data a informaci o aktuálním průtoku lze přenášet bezdrátovou technologií *Bluetooth*, ovšem vizualizace hodnot je pro uživatele trochu nepohodlná. Pohodlné stažení dat přes uživatelský software je možné pouze pomocí metalického spojení. Nakonec je implantována funkce zvyšující přesnost měření, pokud je průtokoměr instalován v horizontální nebo vertikální poloze.

Při realizaci prototypu *Intelligentního průtokoměru* jsem využil znalostí získaných v minulých letech. Rozšířil jsem vědomosti, jak postupovat při podobných projektech. Bakalářská práce pro mě byla první zkušeností, jak postupovat při výrobě profesionální desky plošných spojů a s tím spojené správné nastavení veškerých parametrů v návrhovém programu. Největším přínosem této práce pro mě je, že jsem se naučil třídit myšlenky, vize a tyto následně úspěšně realizovat. Můj zájem v této oblasti, bych rád prohloubil a v magisterském studiu se zaměřil na vylepšení parametrů jednotky průtokoměru. V diplomové práci se hlavně budu zabývat možným získáváním elektrické energie z kinetické energie kapaliny, tím by se průtokoměr stal zcela samostatnou jednotkou.

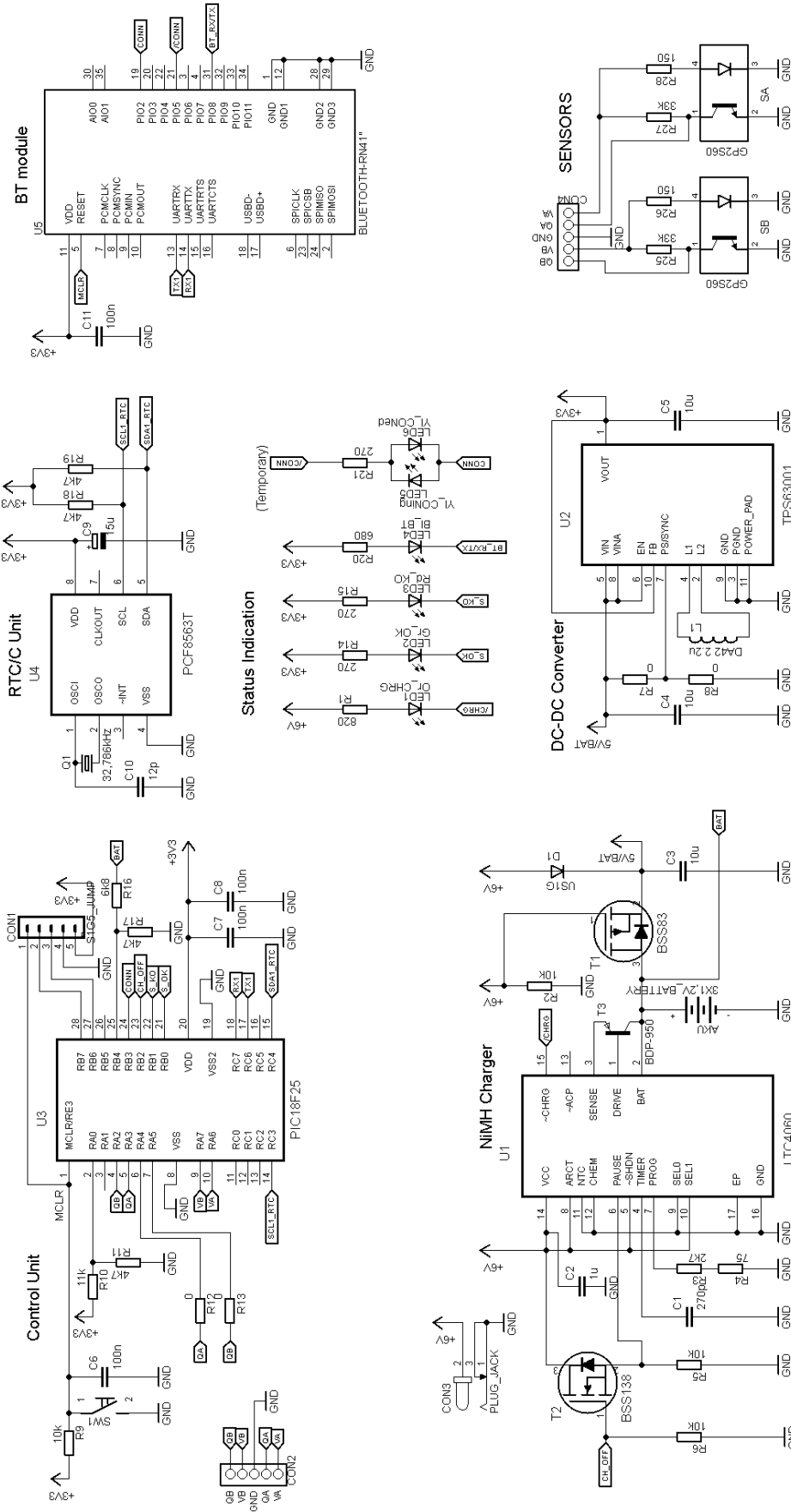
## Seznam literatury

- [1] KADLEC KAREL. *Snímače průtoku - princip, vlastnosti a použití (část 1)*. Automa : časopis pro automatizační techniku. Říjen 2006, č. 10, s. 5-9. ISSN 1210-9592.
- [2] KADLEC KAREL. *Snímače průtoku - princip, vlastnosti a použití (část 2)*. Automa : časopis pro automatizační techniku. Listopad 2006, č. 11, s. 24-29. ISSN 1210-9592.
- [3] KADLEC KAREL. *Snímače průtoku - princip, vlastnosti a použití (část 3)*. Automa : časopis pro automatizační techniku. Prosinec 2006, č. 12, s. 30-34. ISSN 1210-9592.
- [4] B METERS. *Propagační materiál* [online]. Dostupné z:  
<http://www.katalog-zbozi.cz/-p-1625.html?zenid=5djt8v387dorbkim604e7n7a37>
- [5] LINEAR TECHNOLOGY. *LTC4060 Datasheet* [online]. 2004. Dostupné z:  
<http://www.linear.com/docs/5235>
- [6] TEXAS INSTRUMENTS. *TPS63001 Datasheet* [online]. Červenec 2008. Dostupné z:  
<http://www.ti.com/lit/gpn/tps63001>
- [7] SHARP. *GP2S60 Datasheet* [online]. Říjen 2005. Dostupné z:  
[http://sharpworld.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2s60\\_e.pdf](http://sharpworld.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2s60_e.pdf)
- [8] MICROCHIP TECHNOLOGY. *PIC18F25k22 Datasheet* [online]. 2010. Dostupné z:  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41412F.pdf>
- [9] ROVING NETWORKS. *RN41 Datasheet* [online]. Listopad 2013. Dostupné z:  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/rn-41-ds-v3.42r.pdf>
- [10] NXP SEMICONDUCTORS. *PCF8563 Datasheet* [online]. Duben 2012. Dostupné z:  
[http://www.nxp.com/documents/data\\_sheet/PCF8563.pdf](http://www.nxp.com/documents/data_sheet/PCF8563.pdf)
- [11] *Overview of RS-232 standard* [online]. Dostupné z:  
[http://electronica.ugr.es/~amroldan/modulos/temas\\_tecnicos/rs232](http://electronica.ugr.es/~amroldan/modulos/temas_tecnicos/rs232)
- [12] BLUETOOTH DOC. *RFCOMM Document* [online]. Listopad 2012. Dostupné z:  
[https://www.bluetooth.org/docman/handlers/DownloadDoc.ashx?doc\\_id=263754](https://www.bluetooth.org/docman/handlers/DownloadDoc.ashx?doc_id=263754)

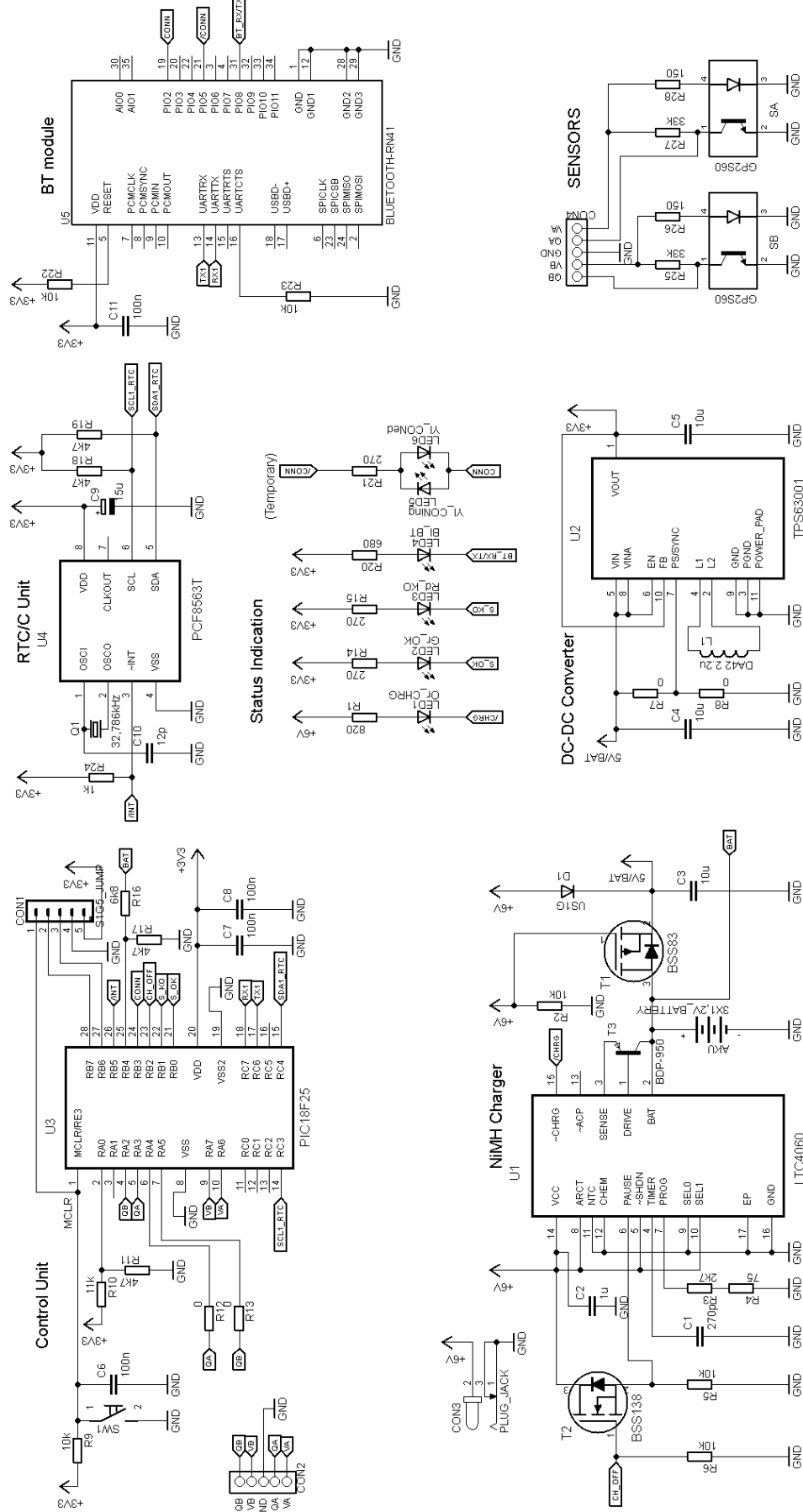
- [13] ROVING NETWORKS. *RN41 User's Guide* [online]. Březen 2013. Dostupné z:  
Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/rn-41-ds-v3.42r.pdf>
- [14] INFINEON. *BDP950* [online]. Listopad 2011. Dostupné z:  
[http://www.infineon.com/dgdl/bdp948\\_bdp950\\_bdp954.pdf?folderId=db3a304314dca38901155ffc06d51dc7&fileId=db3a304314dca38901156149b3e81f67](http://www.infineon.com/dgdl/bdp948_bdp950_bdp954.pdf?folderId=db3a304314dca38901155ffc06d51dc7&fileId=db3a304314dca38901156149b3e81f67)
- [15] TEPLÝ TOMÁŠ. *Výukové materiály k předmětu Mikrokontroléry*
- [16] ORACLE. *JavaFX Documentation* [online]. Dostupné z:  
<http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/documentation/javafx-docs-2159875.html>
- [17] Otevřená vývojářská komunita. *StackOverFlow* [online]. Dostupné z:  
<http://www.stackoverflow.com>
- [18] Otevřená vývojářská komunita. *Mikroe forum* [online]. Dostupné z:  
<http://www.mikroe.com/forum>

# Přílohy

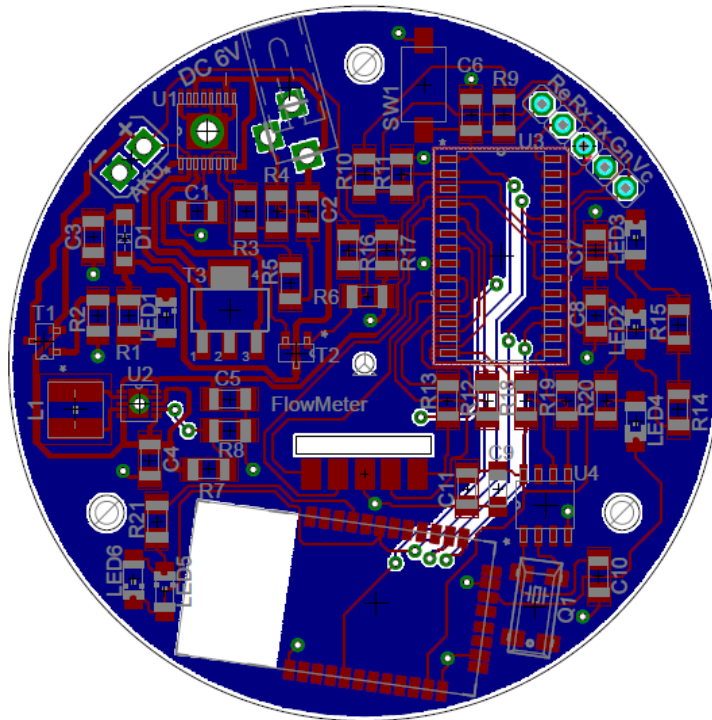
Příloha 0.1: Obvodové zapojení jednotky



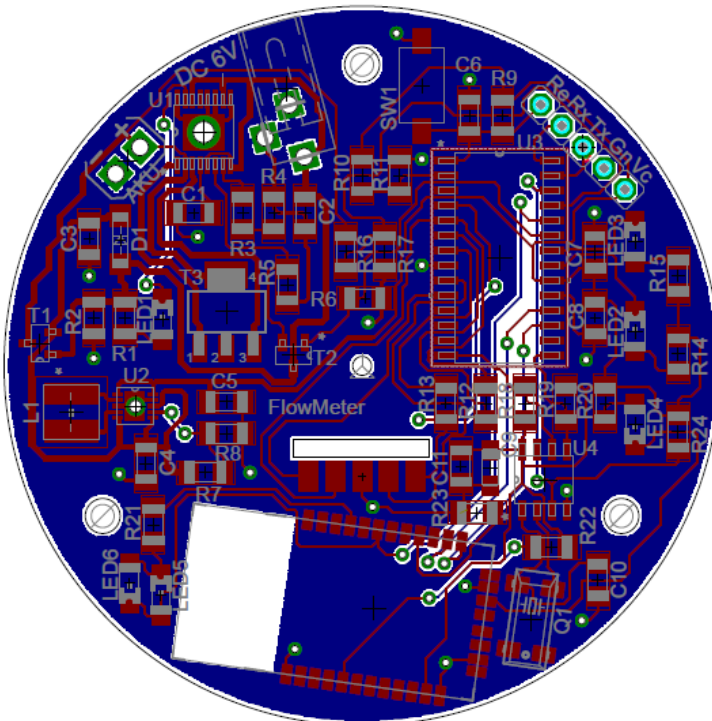
Příloha 0.1: Obvodové zapojení jednotky (aktualizované)



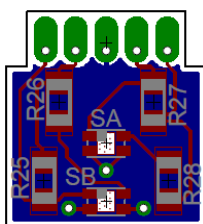
Příloha 0.2: Návrh DPS jednotky



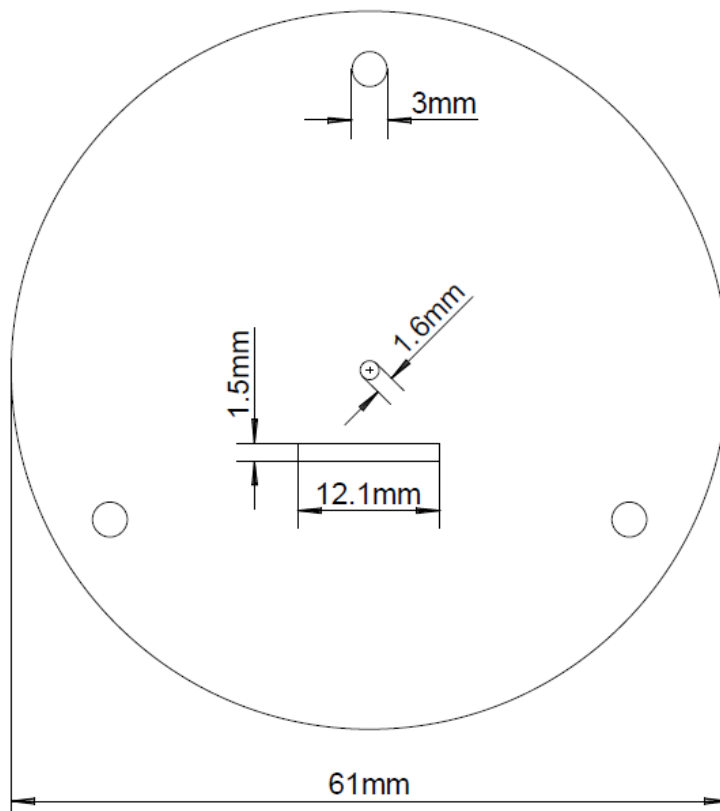
Příloha 0.3: Návrh DPS jednotky (aktualizované)



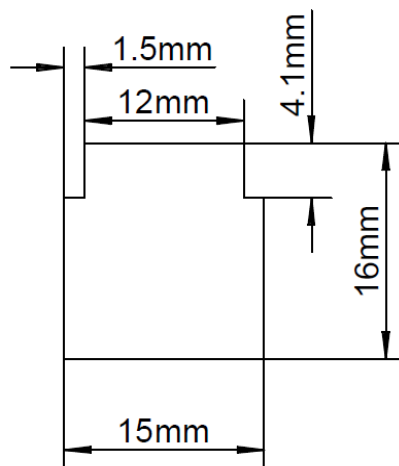
Příloha 0.4: Návrh DPS se snímači



Příloha 0.5: Rozměry DPS jednotky



Příloha 0.6: Rozměry DPS se snímači



*Příloha 8: Seznam součástek*

| <b>Označení</b> | <b>Hodnota</b> | <b>Součástka</b> |
|-----------------|----------------|------------------|
| AKU             | 3X1,2V_BATTERY | 3X1,2V_BATTERY   |
| C1              | 270p           | C-EUC1206        |
| C2              | 1u             | C-EUC1206        |
| C3              | 10u            | C-EUC1206        |
| C4              | 10u            | C-EUC1206        |
| C5              | 10u            | C-EUC1206        |
| C6              | 100n           | C-EUC1206        |
| C7              | 100n           | C-EUC1206        |
| C8              | 100n           | C-EUC1206        |
| C9              | 15u            | CPOL-EUSMCA      |
| C10             | 12p            | C-EUC1206        |
| C11             | 100n           | C-EUC1206        |
| CON1            | S1G5_JUMP      | S1G5_JUMP        |
| CON2            | KON_SNIMAC_DPS | KON_SNIMAC_DPS   |
| CON3            | PLUG_JACK      | PLUG_JACK        |
| CON4            | KON_SNIMAC     | KON_SNIMAC       |
| D1              | US1G           | GF1              |
| L1              | DA42 2.2u      | INDUCTOR_4532    |
| LED1            | Or_CHRG        | LEDCHIPLED_1206  |
| LED2            | Gr_OK          | LEDCHIPLED_1206  |
| LED3            | Rd_KO          | LEDCHIPLED_1206  |
| LED4            | Bl_BT          | LEDCHIPLED_1206  |
| LED5            | Yl_CONing      | LEDCHIPLED_1206  |
| LED6            | Yl_CONed       | LEDCHIPLED_1206  |
| Q1              | 32,786kHz      | CRYSTALMM20SS    |
| R1              | 820            | R-EU_R1206       |
| R2              | 10k            | R-EU_R1206       |
| R3              | 2k7            | R-EU_R1206       |
| R4              | 75             | R-EU_R1206       |
| R5              | 10k            | R-EU_R1206       |
| R6              | 10k            | R-EU_R1206       |
| R7              | 0              | R-EU_R1206       |
| R8              | 0              | R-EU_R1206       |
| R9              | 10k            | R-EU_R1206       |
| R10             | 11k            | R-EU_R1206       |
| R11             | 4k7            | R-EU_R1206       |
| R12             | 0              | R-EU_R1206       |
| R13             | 0              | R-EU_R1206       |
| R14             | 270            | R-EU_R1206       |
| R15             | 270            | R-EU_R1206       |
| R16             | 6k8            | R-EU_R1206       |
| R17             | 4k7            | R-EU_R1206       |
| R18             | 4k7            | R-EU_R1206       |
| R19             | 4k7            | R-EU_R1206       |
| R20             | 680            | R-EU_R1206       |
| R21             | 270            | R-EU_R1206       |
| R22             | 10k            | R-EU_R1206       |
| R23             | 10k            | R-EU_R1206       |



| Označení | Hodnota        | Součástka       |
|----------|----------------|-----------------|
| R24      | 1k             | R-EU_R1206      |
| R25      | 33k            | R-EU_R1206      |
| R26      | 150            | R-EU_R1206      |
| R27      | 33k            | R-EU_R1206      |
| R28      | 150            | R-EU_R1206      |
| SA       | GP2S60         | GP2S60          |
| SB       | GP2S60         | GP2S60          |
| SW1      | SW1            | SMD_SWITCH      |
| T1       | BSS83          | P-MOSFET_SOT-23 |
| T2       | BSS138         | N-MOSFET_SOT-23 |
| T3       | BDP-950        | PNPSOT223       |
| U1       | LTC4060        | LTC4060EFEPBF   |
| U2       | TPS63001       | TPS63001        |
| U3       | PIC18F25       | PIC18F25K22     |
| U4       | PCF8563T       | PCF8563T        |
| U5       | BLUETOOTH-RN41 | BLUETOOTH-RN41  |

## Foto dokumentace



Foto 0.1: DPS jednotky průtokoměru

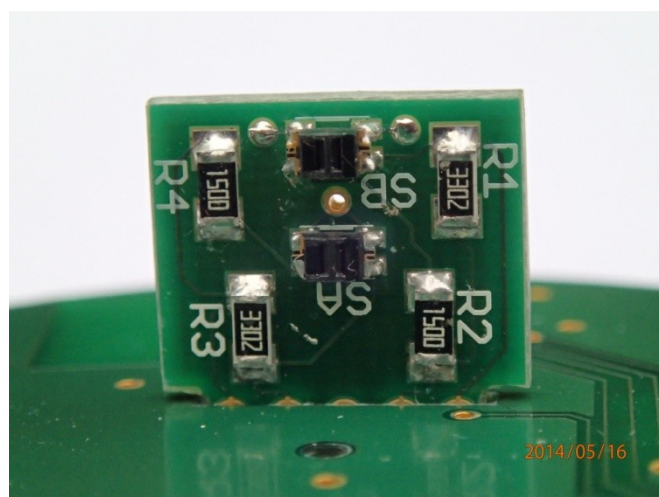


Foto 0.2: DPS se snímači



Foto 0.3: Konstrukce průtokoměru

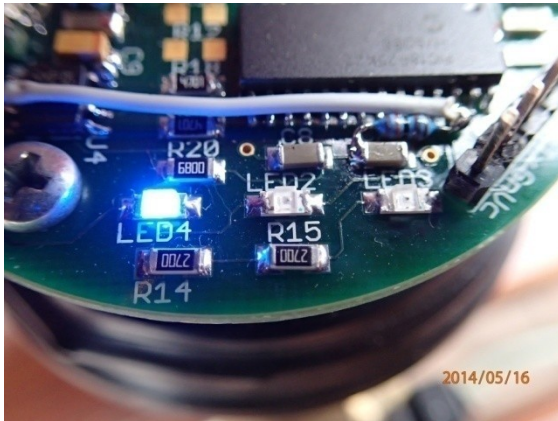


Foto 0.7: Signalizace komunikace

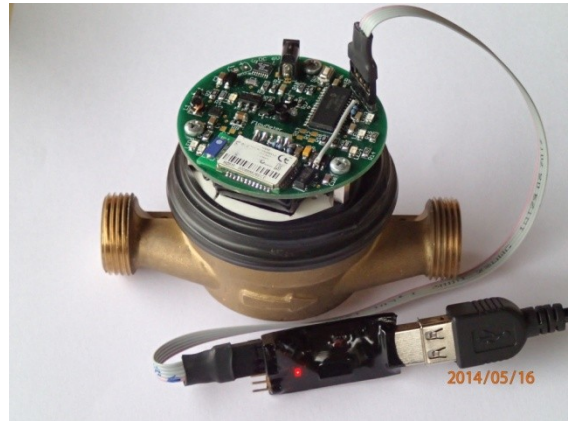


Foto 0.8: Komunikace přes převodník

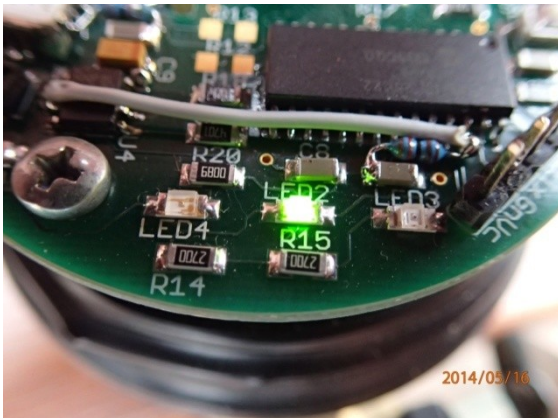


Foto 0.5: Signalizace OK



Foto 0.9: Měřící pracoviště

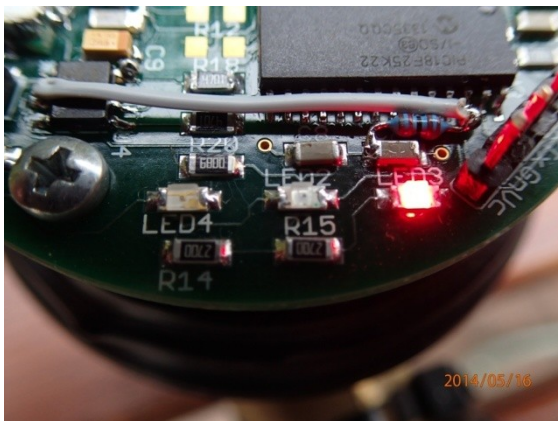


Foto 0.4: Signalizace KO



Foto 0.6: Horizontální poloha