

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Monitorování včelích úlů

Marek Veselý

Bakalářská práce

2019

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Marek Veselý**
Osobní číslo: **I16040**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Název tématu: **Monitorování včelích úlů**
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

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

Monitoring zdravotního a technického stavu včelstva bez fyzické přítomnosti včelaře může být komplikovaný úkol, a přitom včasná reakce na problém může rozhodovat o další existenci včelstva, zachycení roje, nebo v nejhorším případě alespoň umožnit identifikovat problém a například při otravě pesticidy je možné žádat náhradu po zemědělci nebo jiném viníkovi pouze pokud je otrava odhalena ve velmi krátkém čase po postřiku. Naštěstí některé fyzikální veličiny jsou přímo úměrné aktivitě včelstva a je možné jejich hodnoty spojit s možnými událostmi a v kritických případech vyvolat alarm a upozornit majitele na potenciální problém. Bakalářská práce se bude zabývat návrhem systému pro monitoring včelího úlu. Bude provedena rešerše problematiky a budou popsány veličiny které jsou elektricky měřitelné a mají přímý vztah ke stavu či aktivitě včelstva. V praktické části bude proveden návrh monitorovacího zařízení, které bude měřit dané veličiny v pravidelných intervalech data ukládat do paměti s možností vyčtení a GSM modulem pro zaslání alarmových zpráv. Návrh bude proveden s ohledem na sníženou spotřebu, jelikož většina včelstev leží v lokalitách bez zdroje elektrické energie.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- [1] VÁŇA, V. Mikrokontroléry ATMEL AVR: popis procesoru a instrukční soubor. Praha: BEN technická literatura, 2003.336 s. ISBN 978-80-7300-083-0.
- [2] VÁŇA, V. Mikrokontroléry ATMEL AVR: programování v jazyce C. Praha: BEN technická literatura, 2003. 216 s. ISBN 978-80-7300-102-0.
- [3] VLACH, J. Řízení a vizualizace technologických procesů. Praha: BEN technická literatura, 2002. 160 s. ISBN 978-80-86056-66-X.
- [4] BRTNÍK, B. Základní elektronické obvody. Praha: BEN technická literatura, 2011. 156s. ISBN 978-80-7300-408-8
- [5] RIPKA, P.; TIPEK, A. Master Book of Sensors. Praha : BEN, 2003. ISBN 0-12-752184

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Pavel Rozsívál

Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce:

15. října 2018

Termín odevzdání bakalářské práce:

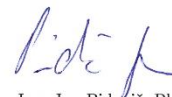
10. května 2019



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan



L.S.



Ing. Jan Pidaňič, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. listopadu 2018

Prohlášení autora

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 9. 5. 2019

Marek Veselý

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu práce panu Ing. Pavlu Rozsivalovi za cenné rady a věcné připomínky, které mi pomohly k vytvoření práce.

Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům za podporu a umožnění studia.

Anotace

Práce se zabývá návrhem zařízení pro monitorování zdravotního stavu více včelstev současně. Kontroluje změřené veličiny, které jsou přímo ovlivňované zdravotním stavem a pokud je nějaká mimo stanovený rozsah, pošle systém SMS zprávu na zadané telefonní číslo. Dále bude hodnoty ukládat na SD kartu, ze které je přes rozhraní USB možno přenést data do počítače a následně vytvořit např. graf.

Klíčová slova

ATmega1284P, ATmega2313A, USB, Sériový kanál, SD karta, FT232RL, HIH8121, mikrofon

Title

Monitoring of bee hives.

Annotation

The thesis deals with the design of a device for monitoring the health condition of multiple bee colonies at once. It examines the measured quantities, which are directly influenced by the health condition and if they are out of the specified range, the system sends an SMS message to the entered number. Furthermore, the values will be stored on an SD card from which the data can be transferred to a computer via a USB interface and subsequently a graph can be created.

Keywords

ATmega1284P, ATmega2313A, USB, Serial channel, SD card, FT232RL, HIH8121, microphone

Obsah

Seznam zkratk	9
Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	10
Úvod	11
1 Včelstvo	12
2 Veličiny ovlivňované zdravotním stavem včelstev	15
2.1 Frekvence	15
2.2 Teplota	15
2.3 Váha	16
3 Rozbor řešení	17
3.1 Blokové schéma	17
3.2 Sériový kanál	17
3.3 Rozhraní SPI	18
3.4 Mikrofon	19
3.4.1 Kondenzátorový mikrofon	19
3.4.2 Elektretový mikrofon	19
3.4.3 Dynamický mikrofon	19
3.4.4 Páskový mikrofon	19
3.4.5 Uhlíkový mikrofon	19
3.4.6 Piezoelektrický mikrofon.....	20
3.5 Měření frekvence	20
3.5.1 Změna úrovně	20
3.5.2 Fourierova transformace	20
3.6 Snímače teploty.....	21
3.6.1 Odporové snímače	21
3.6.2 Polovodičové odporové snímače	21
3.6.3 Termoelektrické snímače	21
3.6.4 Bezdotykové senzory teploty	21
4 Komponenty hlavního modulu	22
4.1 ATmega1284	22
4.2 Obvod reálného času DS1307.....	22

4.3 FT232RL.....	23
4.4 SIM800L.....	23
4.5 Zdroje.....	23
4.5.1 IRM-45-12	23
4.5.2 TEC 3-2411WI	24
4.5.3 Stabilizátor L78S05CV	24
4.6 Optočlen HCPL-817-000E	25
4.7 Schéma zapojení hlavního modulu	25
5 Komponenty úlového modulu.....	29
5.1 ATtiny2313	29
5.2 HIH8121	29
5.3 MC33078DR.....	29
5.4 Schéma zapojení úlového modulu	29
6 Program	32
6.1 Hlavní modul	33
6.2 Úlový modul	35
Závěr	37
Literatura	39
Příloha A – Schéma zapojení	41
Příloha B – Elektronické přílohy.....	43

Seznam zkratek

SD	Secure Digital
SMS	Short message service
GSM	Groupe Special Mobile
USB	Universal Serial Bus
SPI	Serial Peripheral Interface
A/D	Analogově digitální převodník
PTC	Positive temperature coefficient
NTC	Negative temperature coefficient
RISC	Reduced Instruction Set Computer
SRAM	Static Random Access Memory
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
I ² C	Inter-Integrated Circuit
USART	Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter
RTC	Real-time clock
RAM	Random-Access-Memory
TTL	Transistor transistor logic
SMD	Surface mount technology

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Včelí matka (1)	12
Obrázek 2 – Dělnice (1).....	12
Obrázek 3 – Trubec (1).....	13
Obrázek 4 – Medomet (2).....	14
Obrázek 5 – Frekvence zvuku včel před rojením (4)	15
Obrázek 6 – Blokové schéma hlavního modulu.....	17
Obrázek 7 – Blokové schéma úlového modulu	17
Obrázek 8 – Asynchronní přenos znaku „K“ bez parity s jedním stopbitem (6)	18
Obrázek 9 – Komunikace po rozhraní SPI (7)	19
Obrázek 10 – Uhlíkový mikrofon (8)	20
Obrázek 11 – SIM800L (12)	23
Obrázek 12 – Spínaný zdroj IRM-45-12 (13)	24
Obrázek 13 – Spínaný zdroj TEC 3-2411WI (14).....	24
Obrázek 14 – Stabilizátor L78S05CV (15)	25
Obrázek 15 – Zdroj v hlavním modulu	25
Obrázek 16 – Zapojení mikrokontroléru ATmega1284 a DS1307	26
Obrázek 17 – Zapojení USB rozhraní a převodníku FT232RL.....	26
Obrázek 18 – GSM modul s optočleny	27
Obrázek 19 – Rozhraní a napájení úlových modulů	27
Obrázek 20 – Senzor HIH8121 (18).....	29
Obrázek 21 – Napájení	29
Obrázek 22 – Sériová komunikace	30
Obrázek 23 – Zapojení mikrokontroléru	30
Obrázek 24 – Úprava signálu z mikrofonu.....	31
Obrázek 25 – Senzor HIH8121	31
Obrázek 26 – Zapojení jednotlivých modulů	32
Obrázek 27 – Vývojový diagram hlavního modulu	33
Obrázek 28 – Vývojový diagram úlového modulu	35

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Uspořádání dat v paměti RAM u RTC	22
---	----

Úvod

Tato práce se zabývá návrhem monitorovacího zařízení, které by mělo monitorovat veličiny přímo ovlivňované zdravotním stavem včelstev. Nejčastější veličinou je frekvence zvuku v úlu, dále pak teplota, váha a další veličiny. Zařízení by mělo být schopno fungovat i mimo elektrickou síť. Z toho vyplývá, že by zařízení mělo co nejvíce šetřit energii, aby dokázalo s nabitou baterií pracovat co nejdéle. Hlavní zařízení by mělo být společné pro více úlů a tím by umožnilo ukládání dat, snadné nastavování a jednotné napájení. Další zařízení by měla shromažďovat výsledky měření z modulů uvnitř úlů. U těchto úlových modulů je co nejvíce omezena velikost, aby v úlech nezabíraly moc místa. Vzhledem k omezené kapacitě uložení by se měření neměla provádět příliš často, aby paměť vystačila pro uložení všech dat.

Hlavní modul zapne napájení vedlejších úlových modulů a ty provedou jednotlivá měření, následně je postupně požádá o výsledky. Jakmile přijme data, vyhodnocuje je a ukládá do SD karty. Když hlavní modul zpracuje údaje, automaticky vypne úlové moduly, aby zbytečně nebraly energii. Pokud je některý z naměřených parametrů mimo udaný rozsah, odešle přes GSM modul SMS zprávu na zadané telefonní číslo. Po odeslání a uložení dat čeká na další měření.

Teoretická část se zabývá druhy včel a vztahy ve včelstvu. Řeší, kdy mohou nastat nečekané události ve včelstvu, kterým je možno včasným zásahem včelaře předejít, když bude zavčas informován. Dále se zabývá teoretickým rozborem způsobů komunikací a principů součástí, které jsou ovlivňované z okolí.

V praktické části jsou popsány jednotlivé součástky a moduly, které byly vybrány pro realizaci konkrétního řešení. Jsou uvedeny klíčové vlastnosti, díky kterým jsou dané součástky pro toto řešení vhodné. Dále jsou zde popsána schémata s vysvětlením, k čemu je co využito. Nakonec je popsán obslužný program jednotlivých modulů.

1 Včelstvo

V každém včelstvu se nachází 3 druhy včel. Matka je jediná v celém včelstvu a jako jediná může klást vajíčka, ze kterých se vylíhnou ostatní včely. Za den naklade až 2000 vajíček, což je dvojnásobek její vlastní hmotnosti. To dokáže kvůli mateří kašičce, kterou ji včely krmí. Dožívá se 3 let. Její vývoj od naklazení po vylíhnutí trvá 16 dní.



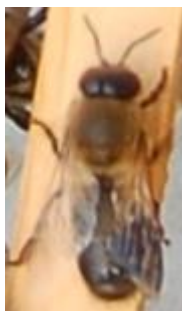
Obrázek 1 – Včelí matka (1)

Dále jsou v úlu včelí dělnice, kterých je ve včelstvu během hlavní sezóny přibližně 50 tisíc. Dožívají se asi 6–8 týdnů. Přes zimu se jejich počet zredukuje asi na 15 tisíc. Tyto včely musí přežít přes celé zimní období, kdy matka neklade. Dožívají se něco okolo 6–8 měsíců. Jejich vývoj trvá 21 dní.



Obrázek 2 – Dělnice (1)

Jako 3 druh jsou zastoupeni trubci, kteří mají za úkol spářit se s novou matkou. Po spáření ihned umírají. Přes sezónu je jich 300–600. Na zimu je však dělnice vyženou, aby je nemusely krmít. Dožívají se 6–8 týdnů. Jejich vývoj je nejdelší, a to 24 dní.



Obrázek 3 – Trubec (1)

Včely v úle vystaví tzv. plástve. Jsou vytvořeny z vosku. Jednotlivé buňky mají tvar šestihranu, což představuje nejefektivnější využití místa. Do těchto buněk matka klade vajíčka a líhnou se zde nové včely a také sem dělnice ukládají med a pyl, kterým potom krmí larvy. Tyto plástve postupně obnovují.

Včelařský rok začíná po zimním období, kdy matka po zimní pauze začne znovu klást vajíčka do včelích buněk. Včelstva jsou pořád v zimním chomáči a zahřívají vajíčka neboli plod. Matka začíná klást vajíčka tehdy, když se prodlužuje sluneční svit, aby se včelstvo dostalo do síly, než začnou rozkvétat stromy.

Když začnou rozkvétat stromy, včelstva jsou už skoro v plné síle. Med už není jenom na krmení plodu, ale vytváří se i do zásoby. Pokud včely nanosí dost velké zásoby, začnou se připravovat na rojení. Vytvoří matečníky (buňka, ze které se vylíhne nová matka), které matka zaklade. Tím je dáno, že se včely budou rojit. Rojení probíhá den před vylíhnutím nové matky. Přibližně polovina včel z úlu si nabere zásoby medu do medových váčků, a vyletí se starou matkou založit nové včelstvo. Pro včelaře je toto nežádoucí stav, protože to pro něj znamená ztrátu medu, které včely odnesly s sebou a také oslabení počtu včel. Proto se včelař snaží jim postupně odebírat zásoby medu, aby se do rojivé nálady nedostaly. Med se vytáčí z plástů většinou pomocí medometu, který funguje na principu odstředivé síly.



Obrázek 4 – Medomet (2)

Po odkvětu stromů a řepky začíná včelařský „podzim“. Včely se snaží nanosit co nejvíce zásob na zimu, ale venku už není tolik rostlin, které kvetou a dávají nektar. Matka už neklade tolik vajíček. V tuto dobu je potřeba včelstvům dodat náhradu za med, který jim byl odebrán během jara.

Na podzim se včely stáhnou do takzvaného hroznu, ve kterém vydrží přes celou zimu. Uvnitř hroznu je matka, a ostatní včely ji zahřívají, aby přežila. Během zimy spotřebovávají zásoby potravy, které jim byly dodány. (3)

2 Veličiny ovlivňované zdravotním stavem včelstev

2.1 Frekvence

U včelstev je nejvíce a nejrychleji ovlivňována frekvence zvuku, který včely neustále vydávají. Obvyklá frekvence v úlu je 190 – 220 Hz. Pokud dojde ke změně stavu včelstva (např. ke ztrátě matky), pak včelstvo asi po dobu 2 hodin vydává zvuk o frekvenci přibližně 300 - 400 Hz. Intenzita zvuku bude po 4 až 5 hodinách od této události klesat. Tuto situaci musí monitoring rozpoznat a vyhodnotit jako závažnou, a odeslat výstražnou SMS zprávu.

Další významná situace může nastat, pokud se včelstvo bude chtít z nějakého důvodu rojit. Tento stav už se začne projevovat 21 dnů před plánovaným rojením tím, že včelstvo začne generovat zvuk o frekvenci 240 Hz. Tato změna frekvence je mnohem dřív, než včely vůbec začnou provádět kroky potřebné na rojení. Tuto dobu může včelař využít, provést předběžné opatření a tím zamezit, aby se včelstvo vyrojilo. Čím blíže je plánované rojení, tím včely svojí frekvenci zvuku upravují. Např. 8 dní do rojení je frekvence přibližně 270 Hz a 1 den před rojením je frekvence 300 Hz. Z této závislosti lze tedy i odhadnout, kolik dní zbývá do vyrojení. (4)



Obrázek 5 – Frekvence zvuku včel před rojením (4)

2.2 Teplota

Teplota v úle je taky velice důležitá. Pro správný vývoj včel uvnitř buněk je důležité, aby byla jejich teplota 35°C. Pokud je úl na přímém slunečním svitu během horkých letních dní,

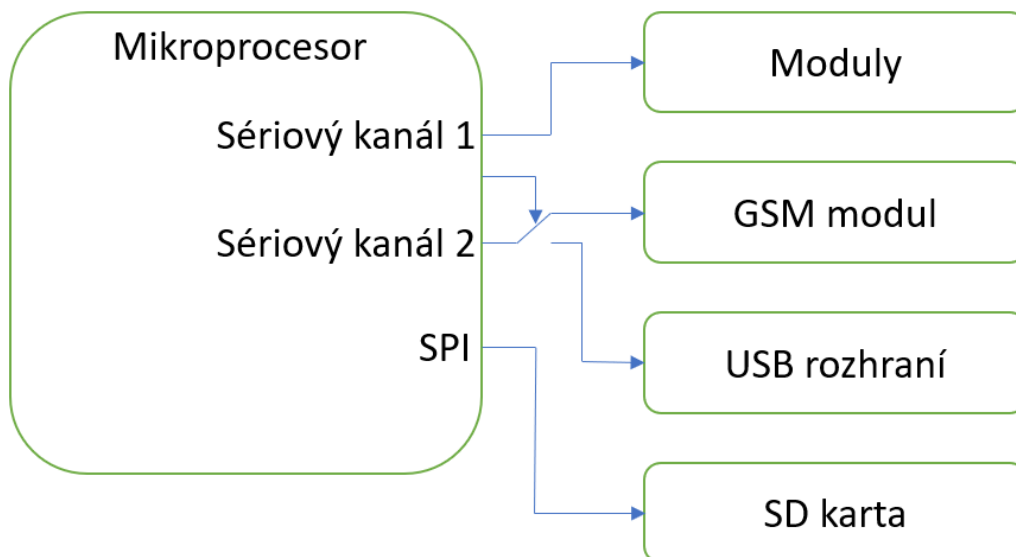
může se teplota úle zvednout nad tuto hodnotu a tím může dojít k poškození plodu i plástů. Včely se na tuto situaci snaží reagovat tím, že svými křídly vhánějí vzduch do úlu a tím docílí snížení teploty. Druhý extrém je podchlazení, se kterým se včely dokáží vyrovnat efektivněji. Svými vibrujícími těly zahřívají plod a tím zvednou teplotu uprostřed úlu.

2.3 Váha

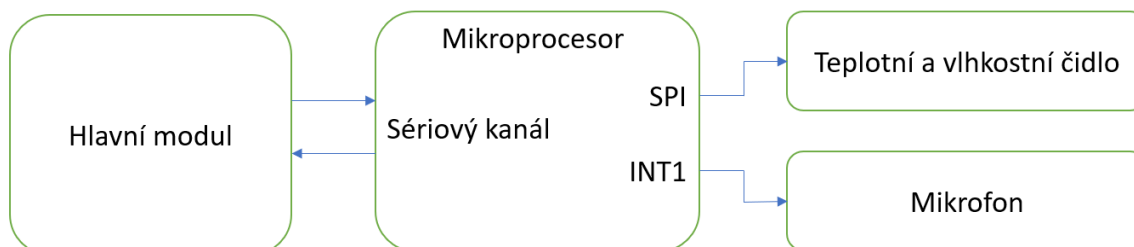
Váha se výrazně mění po celý rok. Během zimního období lze z váhy zjistit, kolik mají včely ještě zimních zásob a popřípadě je doplnit. V jarních a letních měsících lze usoudit, kdy je potřeba nějaký med odebrat, aby se včely nedostaly do rojivé nálady. Pokud začnou ztrácet na váze i přes tyto měsíce, může včelař vytušit, že se děje něco nestandardního, a může zavčas zasáhnout.

3 Rozbor řešení

3.1 Blokové schéma



Obrázek 6 – Blokové schéma hlavního modulu



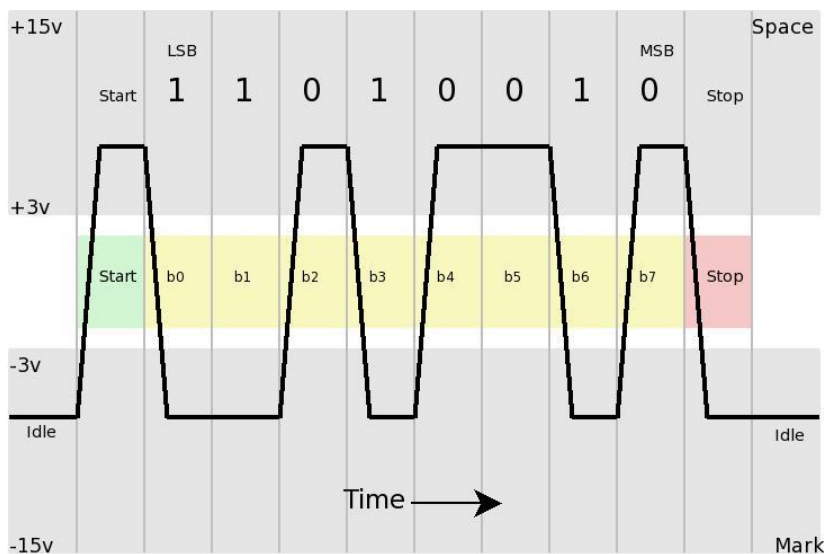
Obrázek 7 – Blokové schéma úlového modulu

Hlavní modul má kvůli komunikaci po sériovém kanálu 2 přepínač, kterým vybírá, zda bude komunikovat s GSM modulem nebo s USB rozhraním. Pokud se do USB rozhraní připojí jakékoliv zařízení, mikrokontrolér automaticky vypne GSM, protože není potřeba komunikovat před SMS, a začne komunikovat přes USB. Tímto je vyřešen problém nedostatečného počtu sériových rozhraní v hlavním modulu.

3.2 Sériový kanál

Je to velmi jednoduchý a spolehlivý komunikační protokol. Piny Rx a Tx na mikrokontroléru jsou zapojeny na druhé zařízení. Vždy je pin Rx jednoho zařízení připojený na Tx druhého

zařízení. Vysílač v době, kdy nepotřebuje vysílat, drží pin v log. 1, což znamená napájecí napětí. Jakmile bude chtít začít vysílat, stáhne pin do log. 0. Od tohoto okamžiku si druhé zařízení spustí časovač. Podle nastavené rychlosti přenosu vždy po uplynutí času zařízení přečte hodnotu na pinu Rx. Takto přijme domluvený počet bitů. Po ukončení přenosu si dá vysílač pin Tx do log. 1 a přijímač vypne časovač. Takto může probíhat komunikace oběma směry naráz. (5)

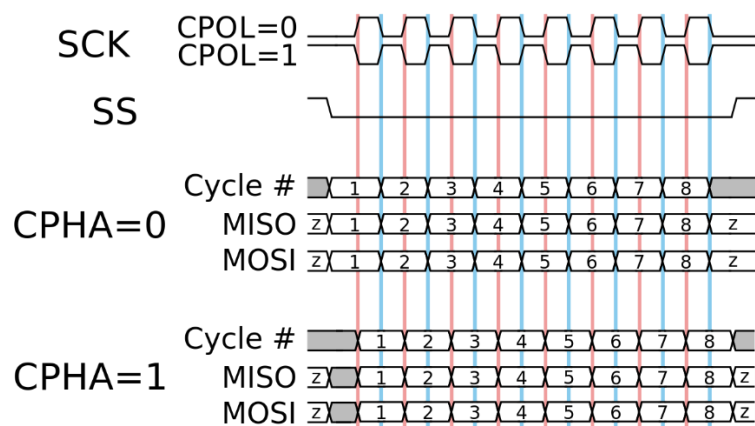


Obrázek 8 – Asynchronní přenos znaku „K“ bez parity s jedním stopbitem (6)

3.3 Rozhraní SPI

U SPI je jasně dáno, kdo řídí komunikaci (Master), a kdo čeká, až bude mít možnost vyslat nebo přijmout data (Slave). Komunikace u tohoto rozhraní probíhá pomocí 4 pinů. Pin SS určuje, se kterým Slave bude Master komunikovat. SCK je pin, na kterém Master začne generovat pulsy. MOSI je pin, kde Master odesílá data do Slave. MISO je pro odesílání dat ze Slave do Master.

Pokud Master chce začít komunikovat, nastaví SS příslušného Slave do log. 0. Potom začne generovat signál na SCK a podle toho, jaká je nastavena aktivní hrana (CPOL), se vždy v daný okamžik přijímají a odesílají bity. Po odeslání všech dat Master přestane generovat signál a nastaví SS do log. 1. (5)



Obrázek 9 – Komunikace po rozhraní SPI (7)

3.4 Mikrofon

Mikrofon je součástka, která mění akustický signál na elektrický.

3.4.1 Kondenzátorový mikrofon

Tento druh mikrofonu pracuje na principu kapacity. Membrána tvoří jednu elektrodu. Tím, že se membrána rozechvěje, mění se i kapacita. Ten je potom napájen pomocí vysokofrekvenčního oscilátoru. Následně se snímá nízkofrekvenční signál. (8)

3.4.2 Elektretový mikrofon

Mikrofon využívá elektrické pole, které je vytvořeno nevodivým elektretem, který je neustále pod napětím. Membrána potom mění kapacitu. Je nutné snímat signál vysokoimpedančním vstupem. Ten už je většinou zabudovaný uvnitř. (8)

3.4.3 Dynamický mikrofon

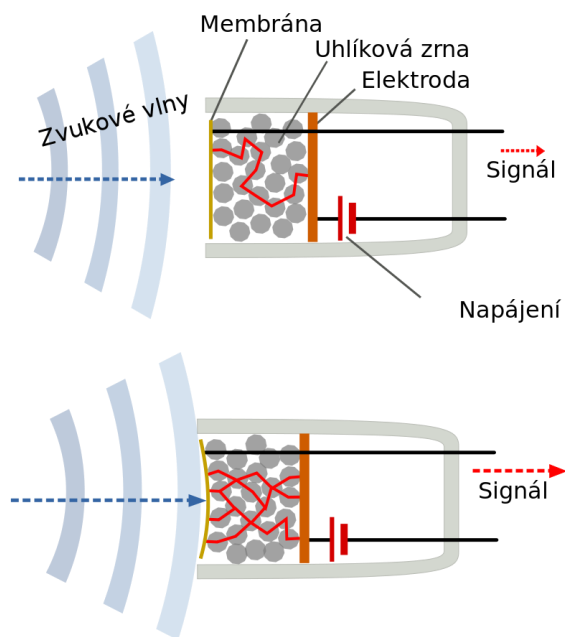
Uprostřed magnetického pole je cívka, kterou pohybuje membrána. Na cívce se naindukuje napětí, které se snímá. Tento typ mikrofonu nemusí být napájen. (8)

3.4.4 Páskový mikrofon

Membránu tvoří kovový pásek, který se pohybuje v permanentním magnetickém poli. Na tom se naindukuje napětí, které se potom snímá. Tyto mikrofony jsou náchylné na mechanické poškození, proto se používají převážně ve studiích. (8)

3.4.5 Uhlíkový mikrofon

U tohoto mikrofonu jsou za membránou zrníčka uhlíku. Membrána stlačuje zrna k sobě a tím ovlivňuje odpor, který ovlivňuje přiváděné napětí. (8)



Obrázek 10 – Uhlíkový mikrofon (8)

3.4.6 Piezoelektrický mikrofon

Funguje na principu piezoelektrického efektu, což znamená, že při stlačení nebo ohybu některých materiálů vzniká napětí. Tyto mikrofony jsou velmi nekvalitní, a tudíž se nikdy moc nepoužívaly. (8)

3.5 Měření frekvence

3.5.1 Změna úrovně

Frekvenci zvuku lze mikrokontrolérem měřit tak, že se impulzy přivedou na vstup vnějšího přerušení a při nastavené aktivní hraně (např. změna úrovně log. 1 na log. 0) se v přerušení inkrementuje proměnná. Toto se načítá po dobu 1 s, kterou lze generovat časovačem v módu CTC. Po 1 sekundě se přečte stav napočítaných impulzů a proměnná se vynuluje. Tímto měřením lze však zjistit pouze základní frekvenci zvuku, a ne další harmonické.

3.5.2 Fourierova transformace

Dále lze analogový signál získaný z mikrofonu převést pomocí Fourierovy transformace na jednotlivé harmonické složky. Nejprve signál pomocí A/D převodníku převedeme na číslo a následně pomocí rozkladu na Fourierovy koeficienty, které udávají velikost ovlivnění konečného signálu. Rozklad touto metodou je u mikrokontroléru velmi časově náročný.

3.6 Snímače teploty

Snímače teploty ovlivňují svoje vlastnosti podle okolní teploty. Vždy je udáván rozsah, na kterém se snímač chová podle zadané rovnice. Mimo tento rozsah se už snímač odchyluje od křivky a není zachována tolerance, kterou určuje výrobce.

3.6.1 Odporové snímače

Tyto snímače mění svůj odpor v závislosti na okolní teplotě. Jsou to velmi jednoduché snímače, a proto se používají v mnoha odvětvích. Jsou to pasivní senzory. Jejich odpor se mění podle rovnice (9):

$$\Delta R = R_0 \times \alpha \times \Delta \vartheta$$

kde ΔR – je změna odporu při změně teploty

R_0 – je odpor při teplotě 0°C

α – je teplotní koeficient daného materiálu

$\Delta \vartheta$ – je změna teploty

3.6.2 Polovodičové odporové snímače

Využívá se zde přechodu polovodičů. Změnou teploty se elektrony a díry přesouvají z jedné vrstvy do druhé. Tím ovlivňují procházející proud. Těmto součástkám se říká termistor. Ty se rozdělují na dva druhy. Na pozitivní (PTC), které mají kladný teplotní koeficient, a negativní (NTC) se záporným teplotním koeficientem. PTC se používají hlavně při malém rozsahu teplot. NTC se používá při malých změnách teploty. (9)

3.6.3 Termoelektrické snímače

Tyto snímače využívají jevu, který vzniká při spojení dvou vodičů vyrobených z různých kovů. Ve spoji vzniká napětí, které je závislé na teplotě. Tomuto jevu se říká Seebeckův jev. (9)

3.6.4 Bezdotykové senzory teploty

Tyto senzory využívají infračervené světlo, které vyzařují předměty podle toho, jakou mají teplotu. Toto vyzářené světlo dopadá na senzor, který je následně převede na elektrickou veličinu. Jsou to velmi rychlé senzory, které reagují na změnu teploty téměř okamžitě. (9)

4 Komponenty hlavního modulu

4.1 ATmega1284

Tento mikrokontrolér je 8 bitový s architekturou RISC. Má 128KB paměť Flash, do které se ukládá program. Do 16KB paměti SRAM jsou ukládány proměnné. Další datová paměť je non-volatilní paměť EEPROM o velikosti 4K pro ukládání uživatelských proměnných, které jsou potřeba zachovat i po vypnutí napájení. Dále obsahuje 32 vstupně/výstupních pinů. Ke komunikaci může využívat rozhraní SPI, I²C a 2x USART. Umožňuje převod analogové hodnoty na digitální pomocí 8 kanálů 10 bitových A/D převodníků.

4.2 Obvod reálného času DS1307

RTC je obvod, ve kterém se automaticky generuje čas a datum ve formátu: sekundy, minuty, hodiny, den, měsíc, den v týdnu a rok (poslední dvě číslice). Tento obvod po zápisu počáteční hodnoty udržuje čas i datum i po vypnutí napájení, pokud je připojena záložní baterie. Mikrokontrolér se kdykoliv může na tyto parametry zeptat. Obvod komunikuje s mikrokontrolérem po rozhraní I²C.

Ke správné funkci potřebuje napájecí napětí 5V na pinu VCC. Dále připojený externí krystal na piny X1 a X2 o kmitočtu 32.768MHz a kapacitou 12.5pF. Na pin V_{BAT} se připojí záložní napájení. Přes externí pull-up rezistory se připojí piny SDA a SCL na piny mikrokontroléru a přes ně obvod s mikrokontrolérem komunikuje.

Data v RTC jsou uložena v paměti RAM podle následující tabulky. (10)

Tabulka 1 – Uspořádání dat v paměti RAM u RTC

Adresa	Obsah	Rozsah
00h	Sekundy	00-59
01h	Minuty	00-59
02h	Hodiny	1-12+AM/PM 0-23
03h	Den	01-07
04h	Datum	01-31
05h	Měsíc	01-12
06h	Rok	00-99
07h	Kontrolní registr	-
08h – 3Fh	Volitelná paměť	00h-FFh

4.3 FT232RL

Obvod v pouzdru 28-LD SSOP, který se používá pro převod z rozhraní USART na USB a naopak. Musí být napájen napětím 5V na pinu VCC. Dále musí být připojen kondenzátor 100nF na pin 3V3OUT. Pin 2 ze zařízení USB se připojí k USBDM a pin 3 k USBDP. Nakonec musí být ještě propojené GND s pinem 4. TXD a RXD se propojí na mikrokontrolér na USART. Tím je zajištěna komunikace se zařízením USB. V PC se toho zařízení dá pojmenovat a hlásí se jako standardní zařízení USB. (11)

4.4 SIM800L

GSM modul, který komunikuje ve frekvenčním pásmu 850/900/1800/1900MHz. Tento modul se ovládá tzv. AT příkazy. Díky těmto příkazům může přenášet hlasové zprávy, SMS zprávy a datové informace na zadané telefonní číslo. Komunikuje po sériovém rozhraní TTL, což znamená, že log. 0 je 0V a log. 1 je 5V. (12)



Obrázek 11 – SIM800L (12)

4.5 Zdroje

4.5.1 IRM-45-12

Zdroj převádějící napětí 230V střídavých na 12V stejnosměrných. Je to spínaný zdroj, který dokáže vyvinout výkon 45W, což představuje při 12V proud až 3.8A. Tento zdroj napájí jednotlivé úložné moduly a také je toto napětí upravováno v hlavním modulu na napětí pro mikrokontrolér. (13)



Obrázek 12 – Spínaný zdroj IRM-45-12 (13)

4.5.2 TEC 3-2411WI

Spínaný zdroj převádějící vstupní napětí 9-36V na výstupní napětí 5V. Maximální výstupní proud je 600mA. Tento zdroj má oddělené země, což je výhoda pro napájení mikrokontroléru kvůli vnějšimu rušení. (14)



Obrázek 13 – Spínaný zdroj TEC 3-2411WI (14)

4.5.3 Stabilizátor L78S05CV

Lineární napěťový stabilizátor stabilizuje vstupní napětí v rozsahu 10-36V na výstupních 5V. Tímto stabilizátorem napájím pouze GSM modul kvůli velkým špičkovým proudům, který modul vyžaduje. (15)

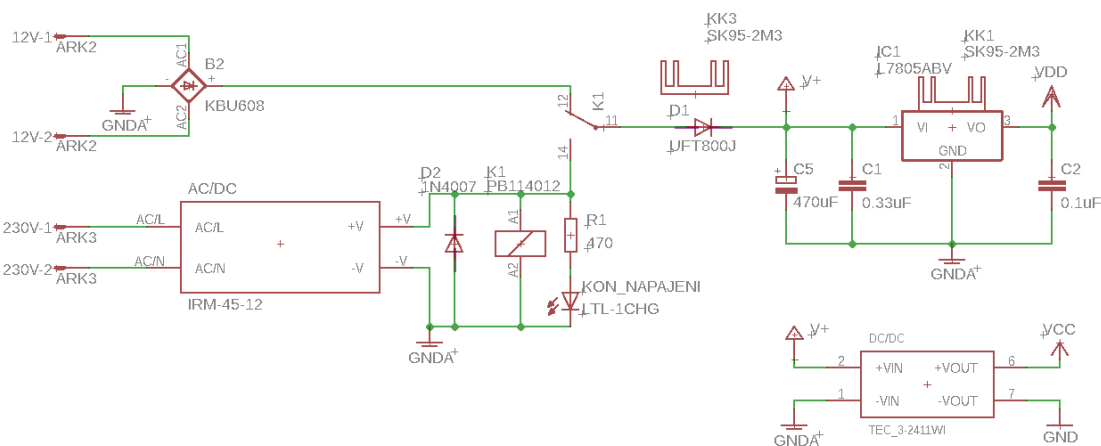


Obrázek 14 – Stabilizátor L78S05CV (15)

4.6 Optočlen HCPL-817-000E

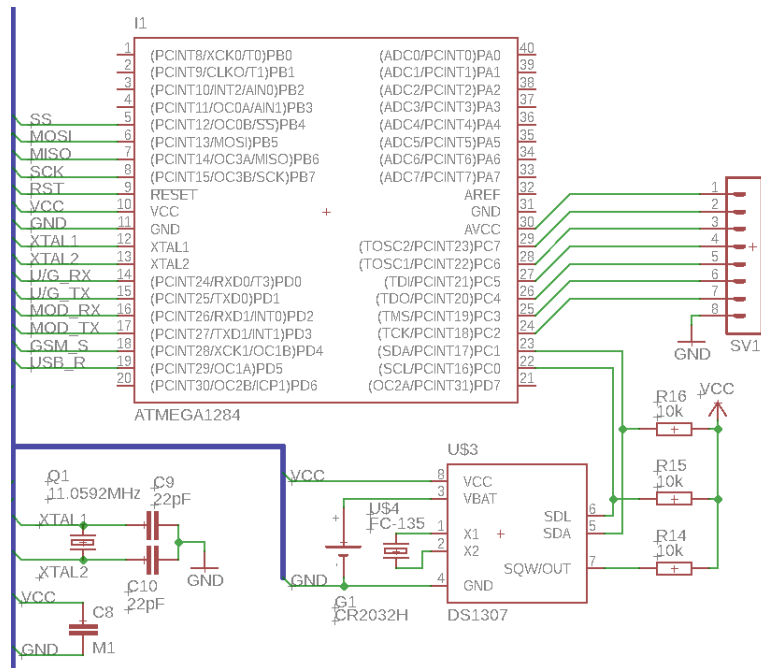
Optočlen umožňuje galvanické oddělení vstupu a výstupu. Na vstupu je dioda, která buď svítí nebo nesvítí na fototranzistor a ten spíná výstup. Díky tomu, že je zde dioda, nepodléhá obvod rušení. Tyto optočleny byly použity pro komunikaci s GSM modulem, který galvanicky odděluje od mikrokontroléru a dále pro komunikaci s úlovými moduly. (16)

4.7 Schéma zapojení hlavního modulu



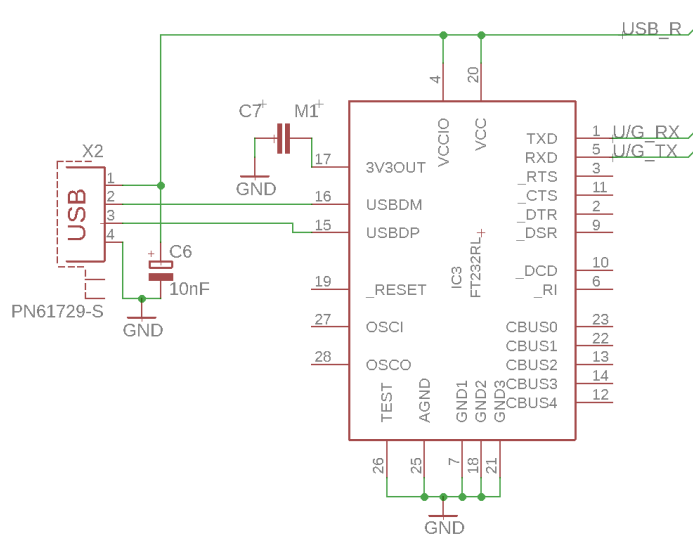
Obrázek 15 – Zdroj v hlavním modulu

Na svorky 230V se přivede síťové napětí, které je následně přes AC/DC měnič převedeno na napětí 12V. Toto napětí je zapojeno na cívku relé, které zajišťuje přepnutí na baterii při výpadku síťového napětí, nebo při použití mimo elektrickou energii. Baterie je připojena na svorky 12V. Za přepínacím relé je odebíráno napětí V+, které napájí úlové moduly, stabilizátor na 5V a DC/DC měnič na 5V pro mikrokontrolér. Napětí pro mikrokontrolér je označeno jako VCC a napětí pro GSM modul je označeno VDD.



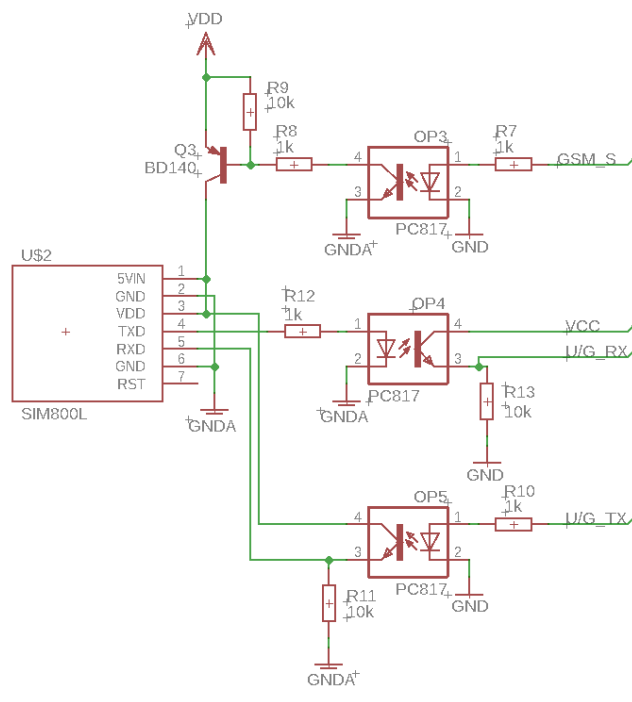
Obrázek 16 – Zapojení mikrokontroléru ATmega1284 a DS1307

Mikrokontrolér je připojený k obvodu reálného času DS1307 přes rozhraní I²C na pinech PC0 a PC1. Piny PB4 až PB7, VCC a GND jsou připojené rozhraním SPI na SD kartu. Toto rozhraní se dělí s programovacím SPI. Při programování musí být modul SD karty vyjmut z desky. Dále je k mikrokontroléru připojen externí krystal o frekvenci 11.0592MHz, který udává taktovací frekvenci mikrokontroléru. Na RX0 a TX0 je připojený převodník FT232RL a GSM modul. Pomocí USB_R (PD5) se kontroluje napájecí napětí z USB, které udává, jestli může být GSM modul zapnutý nebo musí být vypnutý. GSM modul se zapíná a vypíná pinem GSM_S (PD4). Dále je zde zapojený jumper se 7 piny pro případné rozšíření.



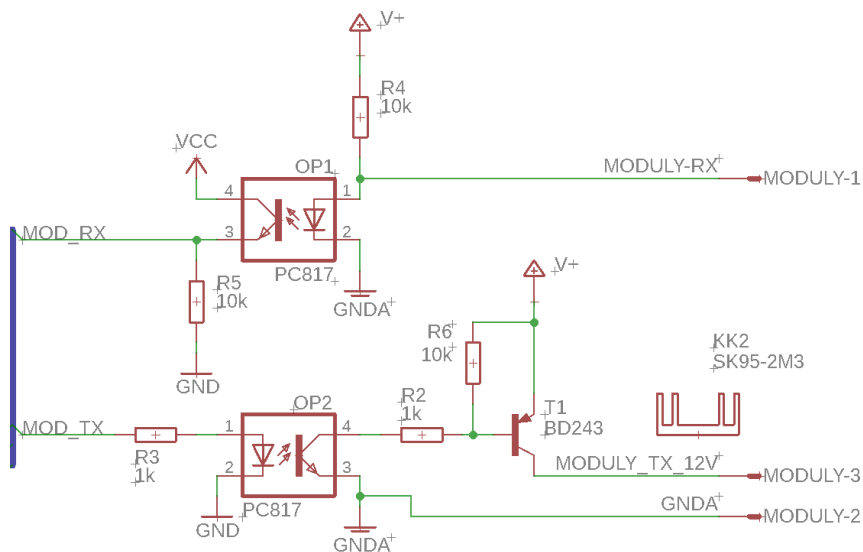
Obrázek 17 – Zapojení USB rozhraní a převodníku FT232RL

Na TXD je připojený pin RX0 z mikrokontroléru. Po tomto pinu probíhá komunikace z USB. RXD je připojený na TX0 a probíhá zde komunikace do USB. Dále je zde blokovací kondenzátor kvůli rušení nebo malým výpadkům napětí.



Obrázek 18 – GSM modul s optočleny

Optočlen je galvanické oddělení jiného napětí, než využívá mikrokontrolér. GSM_S spíná optočlen OP3, a ten následně sepne nebo rozepne PNP tranzistor, který napájí celý GSM obvod. Přes optočleny OP4 a OP5 probíhá sériová komunikace s mikrokontrolérem.



Obrázek 19 – Rozhraní a napájení úlovhých modulů

Komunikace s úlovými moduly probíhá opět přes galvanické oddělení. Optočleny OP1 a OP2 zajišťují komunikaci USART. Vysílací linka je společná i pro napájení jednotlivých modulů. Tím, že komunikace probíhá přes vyšší napětí a je zároveň jeden z pinů napájecí, je komunikace spolehlivější proti rušení a zároveň je ušetřena jedna linka.

5 Komponenty úlového modulu

5.1 ATtiny2313

Tento 8 bitový mikrokontrolér využívá architekturu RISC. Obsahuje 2kB paměť flash pro uložení programu, 128B paměti EEPROM pro ukládání proměnných, které se mají zachovat i po vypnutí napájení a 128B paměti SRAM pro uložení proměnných. Má 1x rozhraní I²C, SPI a UART. Je montován do pouzdra SOIC-20, což je SMD pouzdro (výhodné kvůli své velikosti). (17)

5.2 HIH8121

Senzor teploty a vlhkosti. Komunikuje po sběrnici I²C. Může být napájen od 2,3V do 5V, proto je optimální na použití TTL. Jeho měřitelný rozsah teploty je -40 až 125°C, a u vlhkosti to je od 0 do 100%RH s přesností ±2%. Tento senzor už obsahuje zabudovaný hydrofobní filtr. (18)

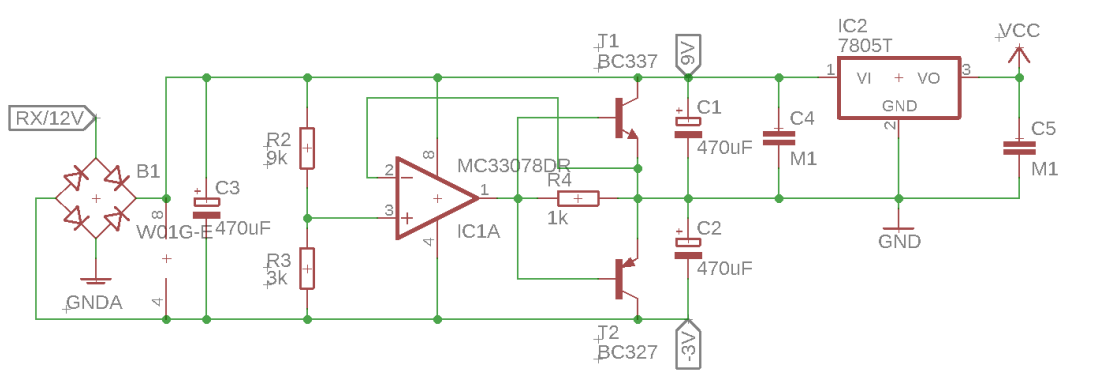


Obrázek 20 – Senzor HIH8121 (18)

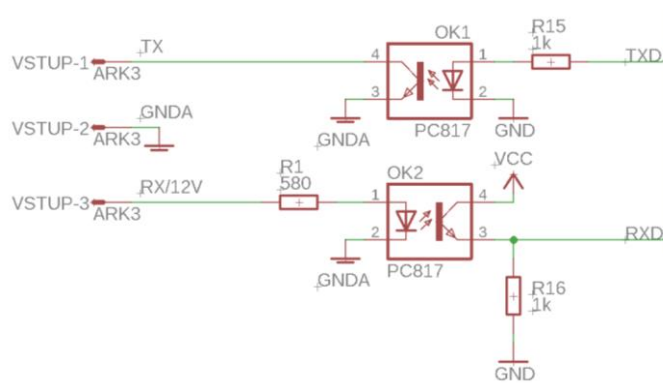
5.3 MC33078DR

Dvojitý operační zesilovač, který může být napájen až 36V. Šířka pásma, na kterém může pracovat je 16MHz.

5.4 Schéma zapojení úlového modulu



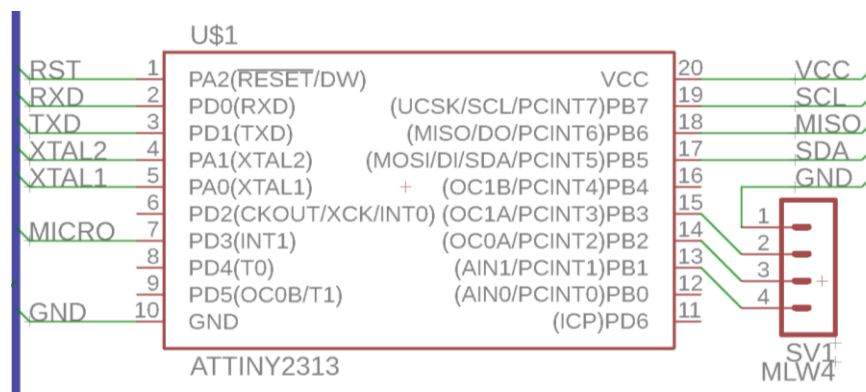
Obrázek 21 – Napájení



Obrázek 22 – Sériová komunikace

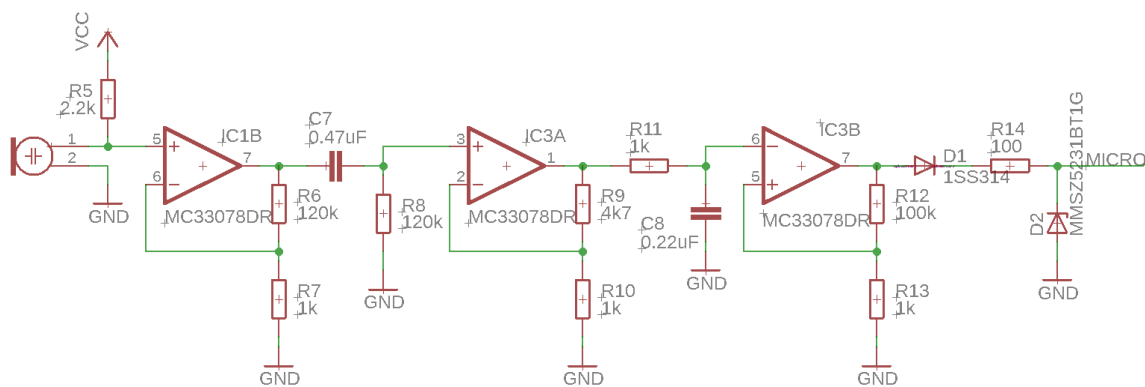
Z hlavního modulu je přiváděn signál na optočleny, přes které probíhá komunikace. Pin RX je zároveň zapojený na diodový můstek a slouží jako napájení. Za tímto diodovým můstkem je elektrolytický kondenzátor, který vyrovnává výpadky napájení při komunikaci.

Dále je potřeba kvůli operačním zesilovačům upravujícím signál z mikrofonu posunout GND. Odporový dělič odporů R2 a R3 nastaví, kam má být GND posunut. Operační zesilovač to následně pomocí tranzistorů posouvá. Z kladného napětí je pak upraveno ještě napětí 5V pro mikrokontrolér.



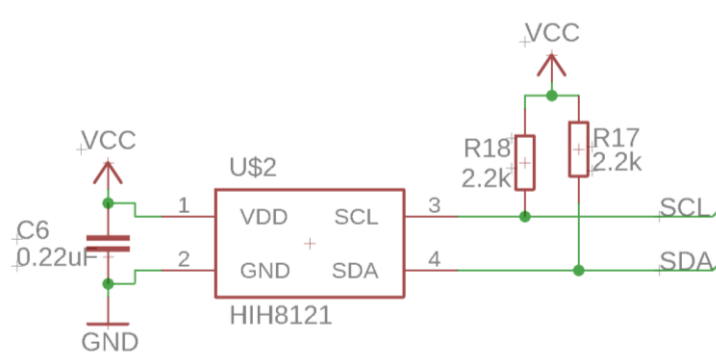
Obrázek 23 – Zapojení mikrokontroléru

Mikrokontrolér je zapojený k jednotlivým periferiím. Na pin PD3 je zapojený upravený signál z mikrofonu. Na piny PD0 a PD1 je připojena sériová komunikace s hlavním modulem. PB7 a PB5 jsou použity pro I²C sběrnici, kterou používá senzor teploty a vlhkosti. Dále je zde připojen externí krystal o frekvenci 11,0592MHz. Také je připojen jumper pro případné rozšiřování.



Obrázek 24 – Úprava signálu z mikrofonu

Mikrofon je napájený 5V stejně jako mikrokontrolér. Signál je potom zesílený a jsou odfiltrovány nízké a vysoké kmitočty přes dolní propust a následně horní propust. Usměrnovací dioda D1 zajišťuje, aby napětí, které je připojeno na vstup mikrokontroléru, nebylo záporné. Zenerova dioda omezuje maximální napětí na pinu.



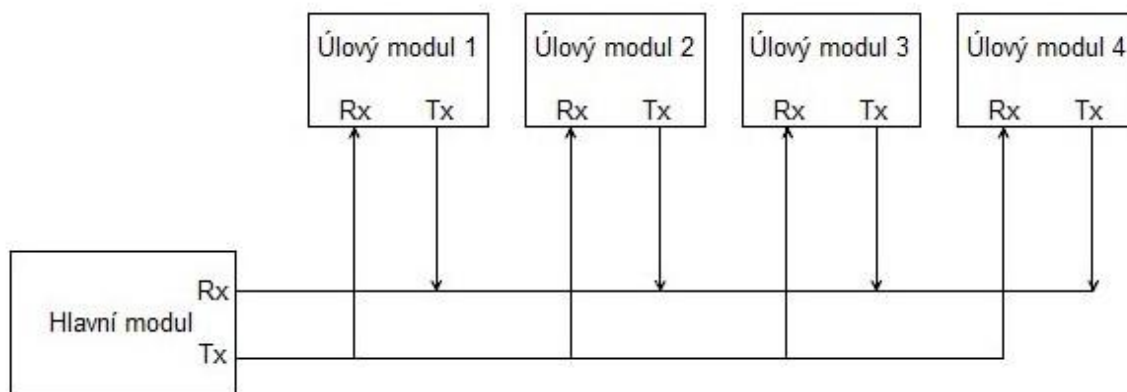
Obrázek 25 – Senzor HIH8121

Senzor je zapojený na sběrnici, na kterou jsou připojené pull-up rezistory držící linky na napěťové úrovni 5V, pokud nikdo nekomunikuje.

6 Program

Celé zařízení se skládá ze dvou modulů, proto má každý mikrokontrolér samostatný program. V programu hlavního modulu se řeší veškerá inicializace – nastavení úlových čísel, změny času nebo např. hranice, při kterých má zařízení odesílat SMS zprávy na zadané číslo. Celý program je rozdělený na dvě části. Na část, kdy je připojené USB zařízení a vyžaduje komunikaci s tímto zařízením, a na část, kdy hlavní modul komunikuje s úlovými moduly a USB zařízení řeší jenom odesílání zpráv o veličině mimo rozsah v některém modulu.

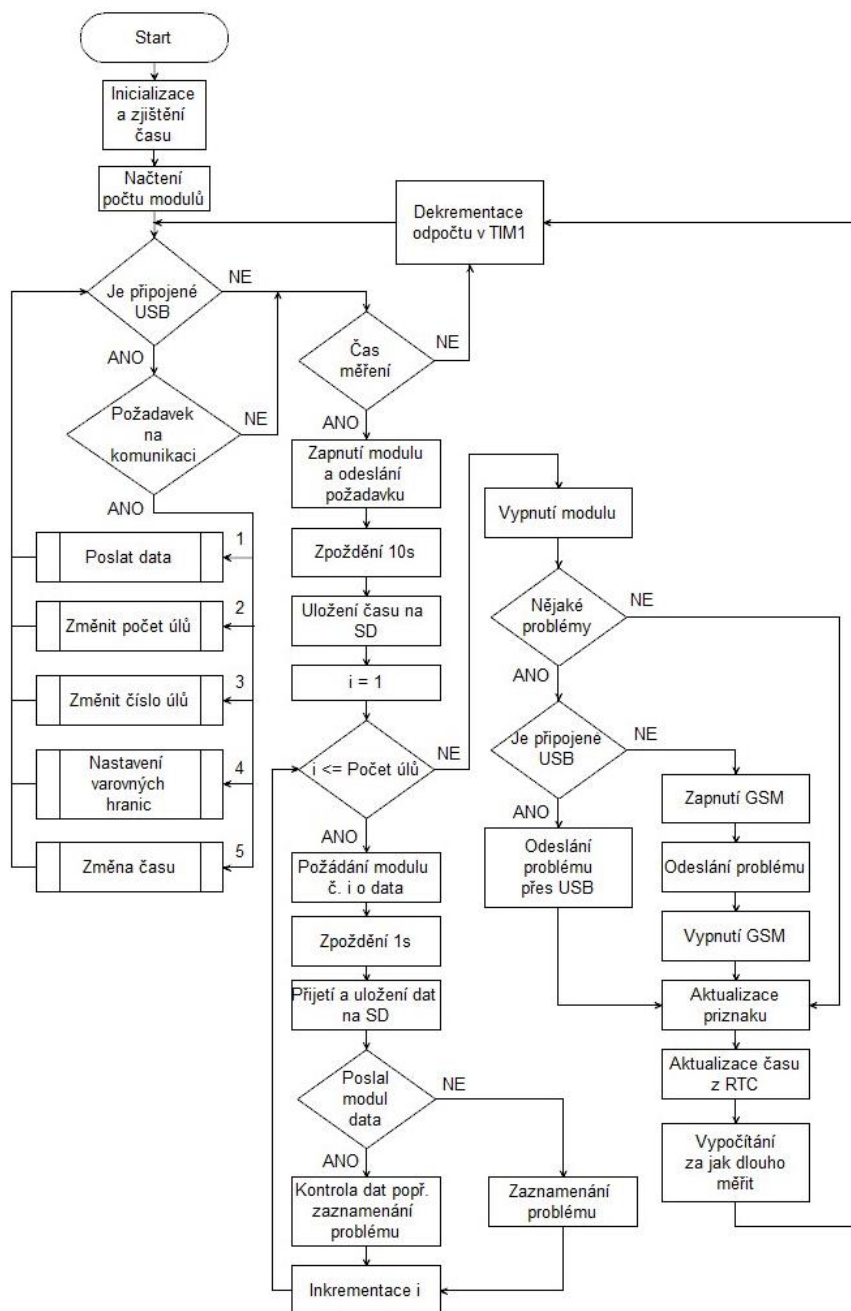
Program v úlovém modulu řeší pouze komunikaci s hlavním modulem. V jeho programu mohou nastat pouze dvě situace - měření veličin (frekvence zvuku, teploty a vlhkosti), nebo nastavování úlového čísla.



Obrázek 26 – Zapojení jednotlivých modulů

Moduly jsou zapojeny vedle sebe. Mají sdílený pin Tx z hlavního modulu a ten je přivedený na Rx úlových modulů. Všechny úlové moduly mají spojený pin Tx, který může přečíst pouze hlavní modul na pinu Rx. Celou komunikaci řídí hlavní modul, takže žádný z úlových modulů nemůže začít dřív, než k tomu bude vyzván (tím se zamezí vzniku přeslechu při přenosu dat).

6.1 Hlavní modul



Obrázek 27 – Vývojový diagram hlavního modulu

Hlavní program je naprogramován podle vývojového diagramu naznačeného na Obrázku 25. Program hned po začátku inicializuje jednotlivé piny na vstupní nebo výstupní režim podle dané funkce. Potom probíhá načítání počtu úlových modulů z paměti EEPROM. Mikrokontrolér, pokud zrovna nežádá data od úlových modulů, čeká a kontroluje, jestli se nepřipojilo zařízení USB. Pokud se připojí zařízení USB a pošle požadavek na komunikaci, může nastat 5 situací. Buď může žádat o uložená data (pak mikrokontrolér přečte data a

odešle je do USB), měnit počet modulů (toto číslo se zapíše i do EEPROM), změnit číslo některého z připojených modulů, měnit varovné hranice (při nich se odesílají zprávy SMS nebo upozornění do zařízení USB - ty se následně také zapíší do paměti EEPROM), nebo změnit čas v DS1307 (čas se zapíše po sběrnici I²C).

Pokud časovač dekrementuje proměnnou až do hodnoty 0, znamená to, že je čas na změření veličin. Zapne se napájení pro úlové moduly a odešle jim požadavek na měření. Následně počká 10s potřebných na změření výsledků a poté se začne ptát jednotlivých modulů na data.

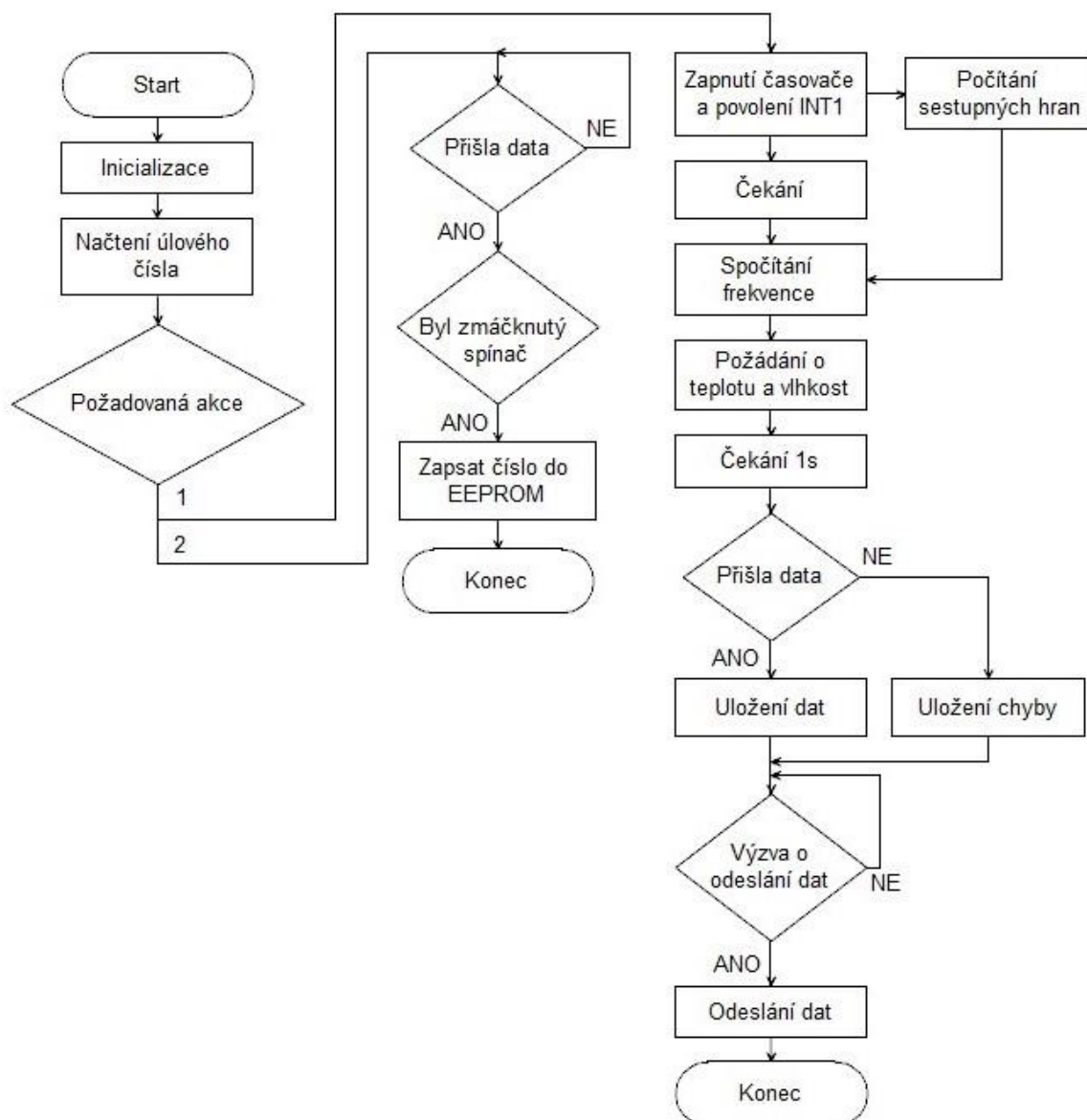
```
for (uint8_t i=1; i<=pocet_modulu; i++) {
    buffer_mod_tx[0] = i;
    pocet_mod_tx = 1;
    pocet_mod_rx = 0;
    Mod_odeslat = 1;
    _delay_ms(1000);
    buffer_SD[0] = buffer_mod_rx[0];
    buffer_SD[1] = buffer_mod_rx[1];
    buffer_SD[2] = buffer_mod_rx[2];
    buffer_SD[3] = buffer_mod_rx[3];
    Ulozit_data();
    Kontrola_hranic();
}
```

Pokaždé, když přijdou data, zkontroluje, jestli jsou v rozmezí zadaných hranic. Pokud ne, zapíše, u kterého modulu se toto vyskytlo a o jakou veličinu jde. Potom moduly vypne, aby se šetřila energie. Pak dochází k zjišťování, zda byly zaznamenány nějaké problémy a pokud ano, zkontroluje, zda je připojené zařízení USB, nebo zda má poslat SMS zprávu přes GSM modul.

```
Zjisteni_casu();
if ((min > 25) & (min < 35)) {
    cas_mereni = 59 - min;
}
if ((min >= 0) & (min < 5)) {
    cas_mereni = 29 - min;
}
if (min >55) {
    cas_mereni = 89 - min;
}
cas_mereni += 59 - sek;
```

Po ohlášení problému si aktualizuje čas z DS1307 a vypočítá, za jakou dobu má být další měření. Tím se nastaví znovu proměnná, kterou časovač 1 dekrementuje. Po uplynutí této doby se znovu provádí měření.

6.2 Úlový modul



Obrázek 28 – Vývojový diagram úlového modulu

Program úlového modulu je oproti hlavnímu modulu jednodušší. Po spuštění napájení z hlavního modulu se inicializuje a načte svoje uložené číslo z EEPROM, která zůstává zachována i při vypnutí napájení. Potom čeká na zprávu, jakou operaci bude modul provádět. Pokud hlavní modul pošle 1, znamená to, že požaduje data.

```

case 1: { //požadavek o měření
    Spusteni_casovace();
    Povoleni_INT1();
    while (pocet_s != 5) {} //čekání na změření frekvence
    frekvence = pocet_sestupnych_hran/pocet_s; //výpočet průměrné frekvence za 5s
    Nacteni_teploty_vlhkosti();
  }
  
```

```

while(pocet_rx != 3) {}           //čekání na vyžádání dat
buffer_tx[2] = frekvence;       //data byla vyžádána
buffer_tx[1] = teplota;
buffer_tx[0] = vlhkost;
pocet_tx = 3;                   //nastavení počtu bajtu k odeslání
UDR = ulove_cislo;              //Odeslání prvního bajtu

```

Spustí časovač, který je nastavený na frekvenci 1 Hz. Dále povolí vnější přerušování INT1. V přerušování se počítá počet sestupných hran po dobu 5 sekund. Tento čas odměří spuštěný časovač a po 5 sekundě se zakáže vnější přerušování. Z těchto údajů se pak vypočítá frekvence.

Po I²C sběrnici požádá číslo HIH8121 o teplotu a vlhkost. Počká 1 s na odpověď a pokud se po této době nevrátí data, uloží chybu. Pokud data dorazí v pořádku, vypočítá teplotu a vlhkost podle vzorce:

$$T(^{\circ}C) = \frac{T \text{ 14b count}}{(2^{14} - 2)} \times 165 - 40$$

kde: T – je vypočítaná teplota
 $T \text{ 14b count}$ – je 14 bitů přijatých ze senzoru

$$\emptyset(\%) = \frac{\emptyset \text{ 14b count}}{(2^{14} - 2)} \times 100\%$$

kde: \emptyset – je relativní vlhkost
 $\emptyset \text{ 14b count}$ – je 14 bitů přijatých ze senzoru

V čekací smyčce modul čeká na výzvu na odeslání dat do hlavního modulu. Po odeslání dat očekává vypnutí.

Závěr

Jako výsledek bakalářské práce je hotový prototyp výrobku, který dokáže monitorovat základní veličiny, které včelstvo ovlivňuje v závislosti na jejich zdravotním stavu. Dokáže v závislosti na požadavcích včelaře reagovat a poslat upozorňující zprávu na veličinu mimo zadané hranice. V této zprávě je obsaženo číslo úlu a veličina, která se vychýlila z požadovaného rozsahu. Všechny data jsou ukládána, takže po zpracování PC je možné vytvořit např. graf, na kterém je vidět, jak se jednotlivé veličiny pohybovaly. U těchto parametrů je uložen i čas, takže změny jsou možné dohledat i zpětně. Zařízení je ovládáno pomocí USB, které je dnes na každém chytrém zařízení. Toto monitorovací zařízení se dá napájet nejenom ze sítě, ale i z baterie 12V, protože úly jsou většinou v krajině mimo civilizaci. Dále toto zařízení dokáže podle propočtu pracovat až se stovkou úlových modulů (jeden modul při měření odebírá cca 30mA), což určitě postačí jakémukoliv včelaři (na jednom stanovišti nikdy tolik úlů po hromadě nebývá).

Při konstrukci jsem narazil na řadu problémů, které jsem musel řešit. Nejdříve jsem řešil, jakou sběrnici použít mezi jednotlivými moduly, abych použil co nejméně vodičů a zároveň mohl zařízení také napájet přes tyto vodiče. Jako nejjednodušší se mi zdála sériová linka, na kterou by byly moduly připojeny. Použít však pro komunikaci a napájení jednotlivých modulů pouze 5V by bylo nereálné kvůli úbytku napětí na vedení, protože jednotlivé moduly od sebe mohou být i několik metrů vzdálené. Proto jsem chtěl zvolit napětí vyšší, a 12V bylo nejuvhodnější vzhledem k baterii, kterou zařízení také může být napájeno. Oddělit úlové moduly od hlavního modulu optickou cestou bylo nejjednodušší řešení a zároveň to znamenalo úsporu vodičů.

Dále jsem řešil napětí pro operační zesilovače v úlových modulech, které potřebovaly i záporné napětí. To jsem vyřešil posunutím GND. Na tuto zem je připojený i mikrokontrolér. Použit operační zesilovače bylo nezbytné kvůli zesílení signálu a zároveň realizaci pásmové propusti na odfiltrování nežádoucích kmitočtů.

Úlový modul bylo třeba co nejvíce minimalizovat, kvůli malým prostorům uvnitř úlu. Proto jsem zvolil u většiny součástek SMD variantu. Úlový modul je plánovaný, že se zasadí do posledního rámečku ve druhém nástavku, aby byl co nejvíce ve středu úlu. Každý rámeček má na šířku 25 mm a 10 mm mezeru, to znamená, že celý modul i s krabičkou nesměl být širší než 35 milimetrů. Tohoto se mi nakonec podařilo dosáhnout.

Do budoucna bych chtěl zařízení rozšířit např. o měření váhy. Dále bych chtěl rozšířit nastavování více položek, které jsou nyní na pevně dané. Je to například telefonní číslo, které je naprogramované v mikrokontroléru a nedá se změnit jinak, než přeprogramováním. Dále to je interval měření, který je nyní nastaven na 30 min. Toto bych chtěl upravit, protože každý včelař má jiné požadavky a jinou náročnost.

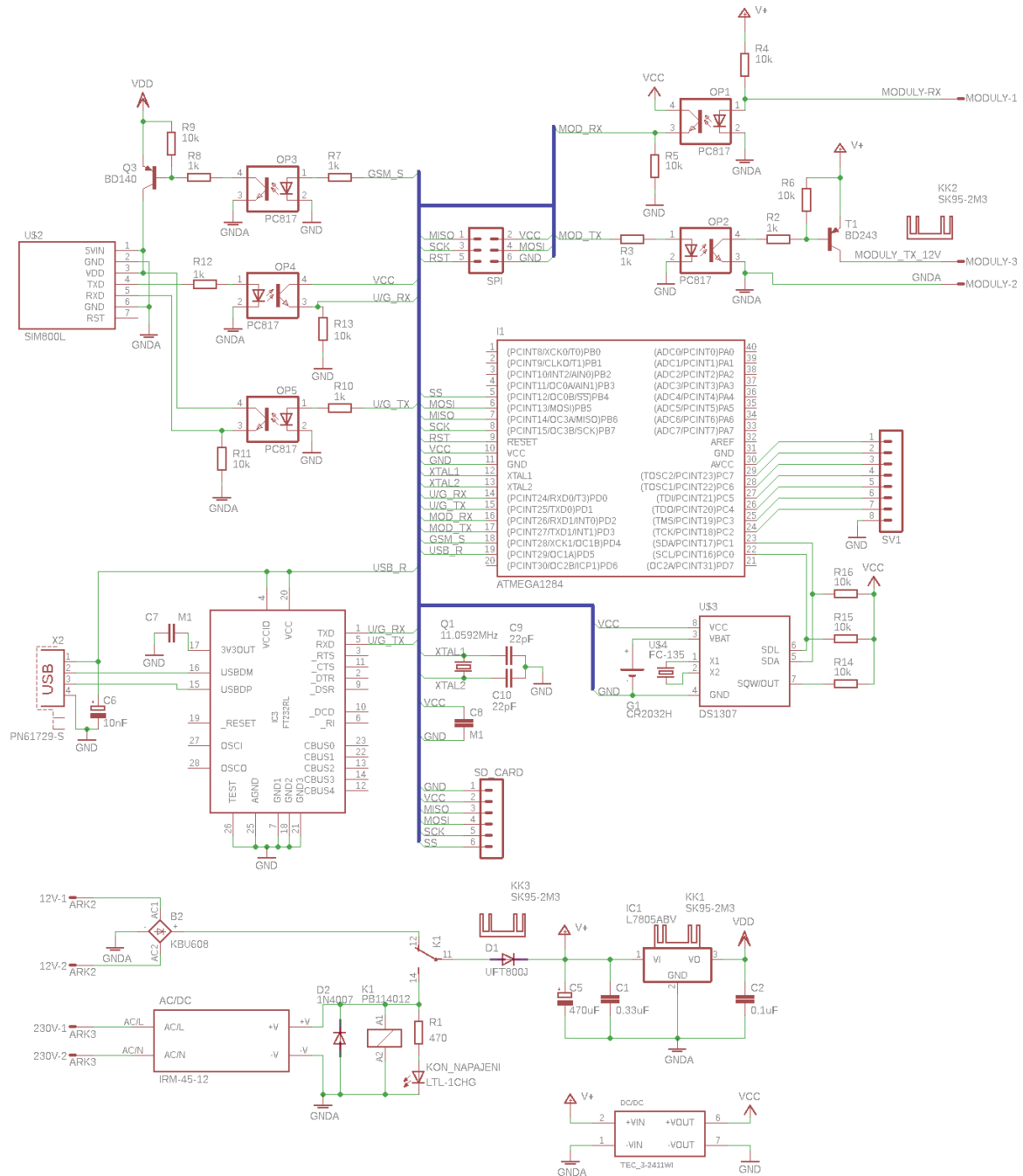
Literatura

- (1) Včelky.cz. In: *Jak dlouho žije včela? Kolik je ve včelstvu?* [online]. b.r. [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <http://www.vcelky.cz/index.htm>
- (2) Medomety z Valašska. In: *Zvratné medomety* [online]. 2010 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <http://medomety-kovar.cz/>
- (3) VESELÝ, Vladimír. *Včelařství*. Praha: Brázda, 2003. ISBN 80-209-0320-8.
- (4) *Využití akustické technologie pro vyhodnocování stavu včelstev* [online]. b.r. [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: http://jjvcela.sweb.cz/Poslouchame_vcely.html
- (5) *ATmega1284P* [online]. San Jose, 2009 [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc8059.pdf>
- (6) RS-232. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/RS-232>
- (7) Serial Peripheral Interface. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface
- (8) Mikrofon. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie*. [online]. 2019 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Mikrofon>
- (9) TOBIŠKA, Adam. *Digitální teploměr s bezdrátovým přenosem teploty*. Pardubice, 2015. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky.
- (10) *DS1307* [online]. San Jose: Maxim Integrated, 2008 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1647366.pdf>
- (11) *FT232R* [online]. 2.11. Glasgow: Future Technology Devices International Limited, 2010 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/2007793.pdf>
- (12) Aliexpress. In: *SIM800L V2.0 5V Wireless GSM GPRS MODULE Quad-Band W/ Antenna Cable Cap* [online]. Hong Kong, 2010 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: www.aliexpress.com
- (13) Farnell Česká republika - Distributor elektronických součástek. In: *IRM-45-12* [online]. Leeds, Velká Británie: An Avnet Company, 2019 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://cz.farnell.com/>

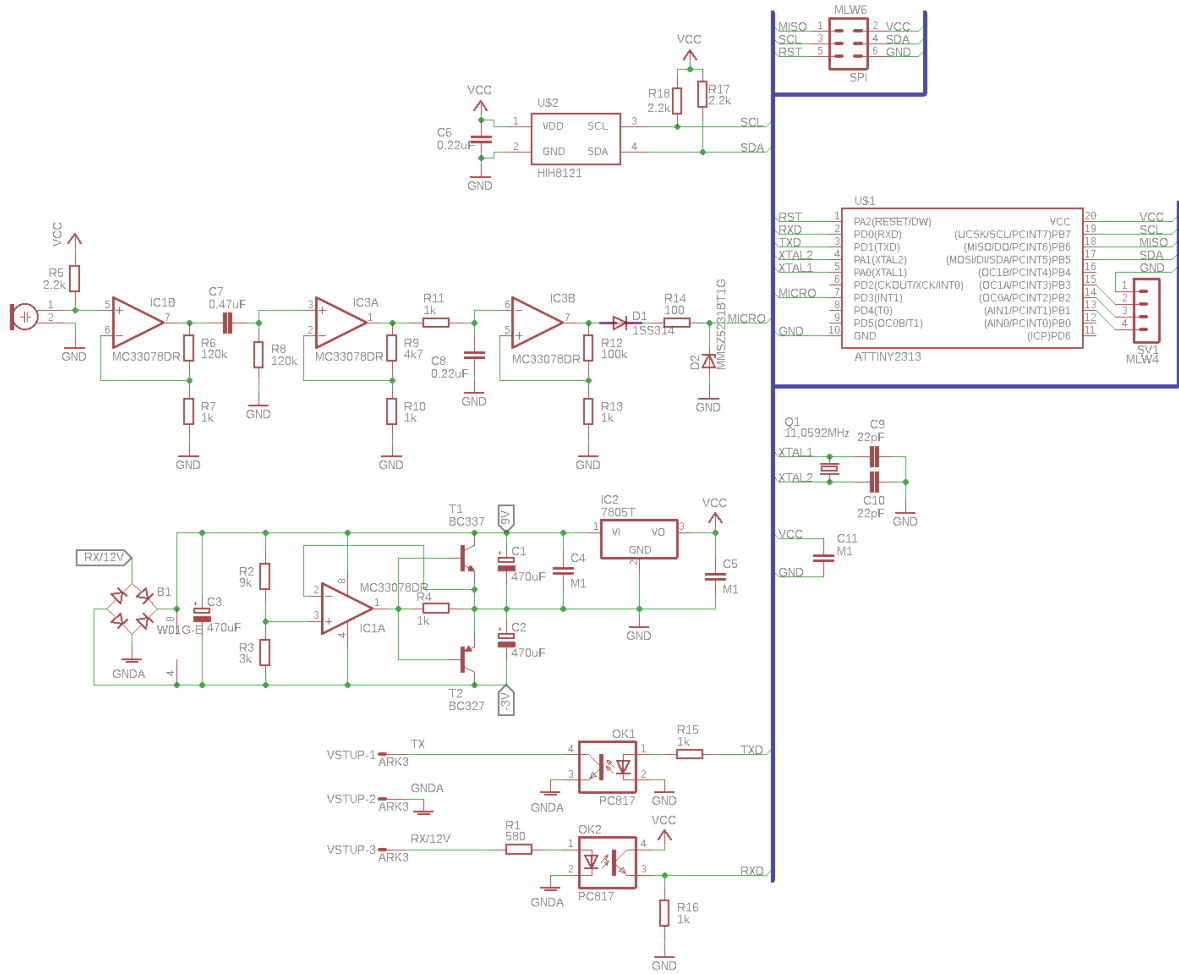
- (14) Farnell Česká republika - Distributor elektronických součástek. In: *TEC 3-2411WI* [online]. Leeds, Velká Británie: An Avnet Company, 2019 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://cz.farnell.com/>
- (15) Farnell Česká republika - Distributor elektronických součástek. In: *L78S05CV* [online]. Leeds, Velká Británie: An Avnet Company, 2019 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://cz.farnell.com/>
- (16) Farnell Česká republika - Distributor elektronických součástek. In: *HCPL-817-000E* [online]. Leeds, Velká Británie: An Avnet Company, 2019 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://cz.farnell.com/>
- (17) *ATtiny2313A* [online]. San Jose: Atmel Corporation, 2011 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: http://www.farnell.com/datasheets/1513196.pdf?_ga=2.65287022.1157203548.1556551474-1620068155.1520512831
- (18) *HIH8000 Series* [online]. Golden Valley: Honeywell, 2013 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/4f08a01abf59c9617dbebe4cf404fb89/HIH8000-SERIES-EN.pdf>

Příloha A – Schéma zapojení

Hlavní modul:



Úlový modul:



Příloha B – Elektronické přílohy

Schéma:

Hlavni_modul.sch

Ulovy_modul.sch

Návrh plošného spoje:

Hlavni_modul.brd

Ulovy_modul.brd

Zdrojový kód:

Složka Ridici_jednotka

Složka Ulovy_modul