



FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Meteostanice pro domácí využití

Autor: Bc. Zbyněk Zeis

Vedoucí práce: Ing. Petr Krist Ph.D

Plzeň 2018

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Zbyněk ZEIS**
Osobní číslo: **E16N0044P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a aplikovaná informatika**
Název tématu: **Meteostanice pro domácí využití**
Zadávající katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

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

Navrhněte a realizujte zařízení pro monitorování a zálohování základních meteorologických veličin (teplota, atmosférický tlak, relativní vlhkost ...) pro domácí využití. Zařízení by mělo být schopné snímání, zálohování a vizualizace veličin v reálném čase jak ve vnitřních prostorech, tak ve vnějším prostoru objektu. Návrh by měl umožňovat flexibilní rozšíření počtu lokálně i vzdáleně připojených senzorů a případnou komunikaci s nadřazeným systémem.

1. Stanovte blokovou strukturu uspořádání meteostanice.
2. Porovnejte možnosti a vlastnosti aktuálně dostupných senzorů teploty, atmosférického tlaku a relativní vlhkosti a vyberte vhodné komponenty pro lokální a vzdálená čidla na základě požadavků rozšiřitelnosti systému. Stanovte vhodný způsob připojení a komunikace senzorů s centrální řídicí jednotkou.
3. Na základě výše uvedené funkcionality vytipujte odpovídající mikrokontrolér pro realizaci centrální řídicí jednotky a navrhněte uživatelské rozhraní aplikace.
4. Zařízení fyzicky realizujte a implementujte řídicí a ovládací firmware.
5. Zvažte možnost synchronizace zařízení a přenos informací pomocí standardu DCF77 a připojení meteostanice do sítě Internet za účelem dálkového monitorování a konfigurace.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 stran**

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

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Krist, Ph.D.**


Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání diplomové práce: **10. října 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2018**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 10. října 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....
Podpis

Meteostanice pro domácí využití

Abstrakt

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku návrhu a realizace meteostanice pro domácí využití. Meteostanice je složena ze dvou jednotek (hlavní a vzdálená) navzájem mezi sebou bezdrátově komunikujících na frekvenci 868 MHz. Pro možnost realizace zařízení bylo nejprve nutné provést rešerši aktuálně dostupných senzorů teploty, atmosférického tlaku a relativní vlhkosti a zároveň zjistit vlastnosti aktuálně prodávaných meteostanic. Pro vykonávání funkce zařízení byly zvoleny procesory od společnosti STMicroelectronics osazené na vývojových kitech pro usnadnění návrhu. Hlavní stanice zajišťuje nejen snímání za pomoci zmíněných senzorů, ale zároveň získaná data prezentuje za pomoci TFT displeje a ukládá je do externí FLASH paměti. Obě stanice jsou vybaveny bateriovým napájením za využití lithium iontových akumulátorů, přičemž vzdálená stanice je k tomu uzpůsobena i z hlediska firmwaru. Celkovým výsledkem je velmi univerzální zařízení s možností dalších softwarových úprav dle požadavků zákazníka.

Klíčová slova

Meteostanice, datalogger, RF komunikace, senzory

Weather station for home use

Abstract

This diploma thesis focuses on the design and implementation of a weather station for home use. The weather station is composed of two units (main and remote) with each other wirelessly communicating at 868 MHz. For the realization of the device, it was first necessary to search the currently available temperature, atmospheric pressure and relative humidity sensors. The properties of the currently sold weather stations were also found. Processors placed on STMicroelectronics development kits perform the required function. Main station measured by the said sensors, the data obtained is presented by a TFT display, and stores it in external FLASH memory. Both stations can be powered by a lithium-ion battery. Remote station firmware is written as low-power. The overall result is a very versatile device with the possibility of additional software modifications according to the customer's requirements.

Key words

Weather station, datalogger, RF communication, sensors

OBSAH

Seznam obrázků	7
Seznam tabulek	9
Seznam zkratek	10
ÚVOD	12
1. Senzory meteorologických veličin	13
1.1. Senzory tlaku	13
1.2. Senzory teploty	15
1.3. Senzory vlhkosti	17
2. Aktuální nabídka trhu	19
2.1. Meteostanice	19
2.2. Zařízení pro sběr dat	20
3. Hardwarová realizace hlavní stanice	21
3.1. Discovery kit B-L475E-IOT01A	22
3.1.1. MCU (Micro Controller Unit)	22
3.1.2. Export dat	24
3.1.3. RF modul	25
3.1.4. Internet	25
3.1.5. Senzory	26
3.1.6. Externí paměť	28
3.2. Navržená propojovací deska	29
3.2.1. Displej	30
3.2.2. Li-ion	31
3.2.3. Spínaný zdroj	33
4. Hardwarová realizace vzdálené stanice	35
4.1. MCU	35
4.2. Senzory	36

4.3. Spínaný zdroj.....	36
4.4. DCF77	38
4.5. Li-ion	40
4.6. RF modul.....	40
5. Firmware	41
5.1. Firmware hlavní stanice	41
5.1.1. Inicializace	43
5.1.2. Dotyk displeje	44
5.1.3. Aktuálnost času	46
5.1.4. Nová data.....	46
5.1.5. Obnova času	48
5.1.6. Stisknutí tlačítka.....	49
5.1.7. Komunikace	49
5.2. Firmware vzdálené stanice	51
5.2.1. Inicializace	52
5.2.2. Nový cyklus.....	53
5.2.3. Požadován čas	54
5.2.4. Komunikace	55
5.2.5. Cyklus ukončen	55
Závěr.....	56
Seznam použité literatury	57
Seznam Příloh	61
Přílohy	62

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Blokové schéma meteostanice	21
Obr. 2 - Blokové schéma hlavní stanice.....	22
Obr. 3 - Užitá komunikační rozhraní hlavní stanice s úpravami převzato z [15]...	24
Obr. 4 - Layout propojovací desky – vrchní strana.....	29
Obr. 5 - Zapojení akumulátoru a ochranných obvodů	32
Obr. 6 - Schéma zapojení nabíječky Li-ion akumulátoru	32
Obr. 7 - Zvyšující měnič	34
Obr. 8 - Blokové schéma vzdálené stanice	35
Obr. 9 - SEPIC měnič.....	37
Obr. 10 - Zapojení DCF modulu	38
Obr. 11 - Časová sekvence jednotlivých bitů převzato z [31].....	39
Obr. 12 - Vývojový diagram hlavní stanice	42
Obr. 13 - Segmentace displeje.....	44
Obr. 14 - Obrazovka historie.....	45
Obr. 15 - Hlavní obrazovka.....	46
Obr. 16 - Vývojový diagram vzdálené stanice	52
P. Obr. 1 - Model DPS navržené propojovací desky – vrstva TOP	62
P. Obr. 2 - Model DPS navržené propojovací desky – vrstva BOT.....	62
P. Obr. 3 - Osazovací výkres propojovací desky – vrstva TOP.....	63
P. Obr. 4 - Osazovací výkres propojovací desky – vrstva BOT.....	63
P. Obr. 5 - Reálný vzhled hlavní stanice – hlavní obrazovka	64
P. Obr. 6 - Reálný vzhled – obrazovka historie	64
P. Obr. 7 - Schéma zapojení navržené propojovací desky	65
P. Obr. 8 - Model DPS vzdálené stanice – vrstva TOP.....	66
P. Obr. 9 - Model DPS vzdálené stanice – vrstva BOT	66
P. Obr. 10 - Modul vzdálené stanice (SPSGRF modul vlevo)	66

P. Obr. 11 - Osazovací výkres DPS vzdálené stanice – vrstva TOP	67
P. Obr. 12 - Osazovací výkres DPS vzdálené stanice – vrstva BOT	67
P. Obr. 13 - Schéma zapojení vzdálené stanice	68

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 -	Popis proměnné stavAplikace hlavní stanice	41
Tab. 2 -	Reprezentace dat ve FLASH paměti	48
Tab. 3 -	Stavový automat komunikace	49
Tab. 4 -	Popis proměnné stavAplikace vzdálené stanice.....	51

SEZNAM ZKRATEK

EEPROM.....	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
AD	Analog to Digital
PROM.....	Programmable Read-Only Memory
I2C	Inter Integrated Circuit
NTC	Negative Temperature Coefficient
PTC.....	Positive Temperature Coefficient
RV	Relativní Vlhkost
DPS.....	Deska Plošného Spoje
DCF77	název dlouhovlnného signálu
MCU.....	Micro Controller Unit
RISC	Reduced Instruction Set Computer
DSP.....	Digital Signal Processor
FPU.....	Float Point Unit
MPU	Memory Protection Unit
FSMC	Flexible Static Memory Controller
QSPI.....	Quad SPI
SPI	Serial Peripheral Interface
DMIPS.....	Dhrystone Million Instructions Per Second
CPU	Central Processor Unit
RTC	Real Time Clock
USART.....	Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter
SD.....	Secure Digital
COM.....	Common Object Model
RF.....	Radio Frequency
IoT	Internet of Things
NTP	Network Time Protocol
HLGA.....	Holed Land Grid Array
FIFO	First In, First Out
TFT.....	Thin Film Transistor
SEPIC.....	Single Ended Primary Inductor Converter
LDO.....	Low Dropout regulator
PWM	Pulse Width Modulation

BCD.....Binary Code Decimal
HAL.....Hardware Abstraction Layer
FSK.....Frequency Shift Keying
CRC.....Cyclic Redundancy Check
LPTIM.....Low Power TIMer

ÚVOD

Zařízení pro sledování parametrů okolního prostředí v podobě meteostanice je dnes běžným standardem téměř v každé domácnosti. Naměřená data povětšinou slouží pouze k získání momentální informace, avšak nejsou již využívány k dlouhodobému vyhodnocení. Parametry okolního prostředí mají na člověka a potažmo i jeho majetek významné dopady zejména z hlediska relativní vlhkosti vzduchu. Změny relativní vlhkosti ve velkém rozsahu vedou ke znehodnocování organických materiálů a dlouhodobě zvýšené hodnoty mají za následek zvýšený výskyt plísní, které mohou negativně ovlivňovat zdraví člověka. Zařízení zaznamenávající parametry okolního prostředí, tak může značně usnadnit odhalení podmínek, za nichž k nežádoucím jevům dochází.

Cílem této diplomové práce je vytvoření zařízení pro měření meteorologických veličin ve vnitřních ale i vnějších prostorách s možností snadné rozšiřitelnosti o další senzory. Naměřená data musejí být taktéž uchována pro další zobrazení a zároveň zařízení musí disponovat možností jejich exportu do vyššího systému pro možnost jejich dalšího zpracování a vyhodnocení.

První kapitola se tak okrajově zabývá principy, na nichž jsou založeny senzory teploty, atmosférického tlaku a relativní vlhkosti. Zároveň je zde provedena rešerše vlastností vybraných aktuálně dostupných senzorů pro možnost dalšího porovnání se senzory zvolenými pro samotný návrh.

Druhá kapitola v krátkosti pojednává o aktuální nabídce trhu s meteostanicemi. Vzhledem k obsáhlosti nabídky trhu jsou meteostanice porovnány z hlediska cenových relací a k nim příslušejících vlastností.

V dalších dvou kapitolách je podrobně popsán návrh hardwaru, jak hlavní stanice obstarávající měření, uložení a zobrazení dat, tak i vzdálené stanice určené k získávání meteorologických veličin v exteriéru a zároveň sloužící pro příjem časového signálu DCF77.

Poslední pátá kapitola podrobně osvětluje firmware nahraný do mikrokontrolérů k zajištění požadované funkce.

1. SENZORY METEOROLOGICKÝCH VELIČIN

Meteorologie je vědní obor zabývající se jevy v atmosféře a jejím složením. Soubor jevů v určitém místě a čase je poté nazýván jako počasí. Mezi tyto jevy se pak řadí například teplota, atmosférický tlak, vlhkost, množství srážek, rychlost větru, které jsou měřeny meteorologickými přístroji. Dále se vyskytuje i skupina parametrů, jež se určují výpočtem z naměřených veličin (pocitová teplota, rosný bod,...) či jsou posuzovány pozorovatelem (oblačnost, složení srážek,...). [1]

Nejčastěji měřenými veličinami jsou teplota vzduchu, relativní vlhkost a atmosférický tlak. Sensorů pro jejich měření je na trhu nepřehledné množství a volba tak závisí především na parametrech, jako jsou: přesnost, rychlost měření, spotřeba, rozsah pracovních teplot, reprezentace výstupních veličin, fyzikální princip převodu, rozlišení atd. [1]

1.1. Senzory tlaku

Měření tlaku lze provádět za využití několika fyzikálních principů (membránové, kapacitní, piezoelektrické, optoelektronické, rezistivní...), přičemž se využívá vztahu (1), kdy se měření tlaku převede na měření síly F působící na danou plochu S . Veliký vliv na výsledek měření má především teplota, a tudíž bývají senzory tlaku mnohdy doplněny o senzory teploty, pomocí nichž lze dosáhnout následné softwarové kompenzace, nebo případně je kompenzace řešena při návrhu například pomocí diferenčních membrán či přidáním kompenzačních tenzometrů. [2]

$$p = \frac{F}{S} \text{ [Pa; N, m}^2\text{]} \quad (1)$$

Výstup z těchto sensorů může být analogový (napěťový / proudový) a nebo digitální, kdy již obvody v těsné blízkosti čidla zajišťují konverzi naměřených dat a případně i další úpravy pro možnost komunikace, přičemž nejčastěji užívané typy komunikací jsou vyjmenovány v dalších odstavcích této kapitoly. [2]

Vzhledem ke zmiňovanému množství dostupných sensorů provedu porovnání dvou značně odlišných, které lze zakoupit v internetovém obchodě Farnell [34].

KP234

Senzor KP234 [3] vyráběný společností Infineon Technologies je založen na kapacitním principu měření tlaku, přičemž se využívá většího množství malých kapacit,

keré tvoří jedno měřící pole. Výstup tohoto senzoru je analogový a odpovídá napájecímu napětí, které může být 4,5 až 5,5 V. Pro možnost testování a čtení kalibračních dat senzor obsahuje taktéž sériové rozhraní, umožňující číst z paměti EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory). Kromě kapacitního čidla a EEPROM se na čipu nachází i obvody zajišťující zesílení, teplotní kompenzaci a linearizaci výstupního napětí. KP234 je určen i do oblasti automotive, a tak disponuje detekcí špatného napájení a tím způsobené nefunkčnosti senzoru.

Měřící rozsah se pohybuje od 400 hPa do 1150 hPa se zaručenou přesností ± 15 hPa v celém rozsahu pro teploty 0 až 85 °C. Spodní hranice 400 hPa odpovídá napětí 1,33 V a vrchní hranice napětí 4,7 V. Tento senzor je možné zakoupit za 69,336 Kč bez DPH (platné k 26. 3. 2018). [3] [34]

MS5637 - 02BA03

U tohoto senzoru [4] od společnosti TE Connectivity je čidlo vyrobeno z piezorezistivního materiálu, ze kterého se bez další kompenzace přivádí signál na vstup 24 bitového AD (Analog to Digital) převodníku. Kompenzace se provádí až pomocí softwaru v mikroprocesoru, který si potřebná kalibrační data vyčte z PROM (Programmable Read-Only Memory) paměti senzoru a zároveň získá informaci o teplotě, která je taktéž senzorem měřena. Komunikace s mikroprocesorem probíhá pomocí sériové sběrnice I2C (Inter Integrated Circuit). Kalibrační data jsou do každého senzoru nahrány individuálně po provedení testu při dvou různých teplotách a tlacích. Právě díky této kompenzaci a typu čidla dosahuje senzor značně vyšší přesnosti nežli výše zmiňovaný KP234. V rozsahu teplot -20 až +85 °C absolutní chyba nepřesahuje rozmezí ± 4 hPa pro měření tlaku a ± 2 °C pro měření teploty. [4]

Senzor je zároveň navržen, aby vykazoval co nejmenší spotřebu pro možnost bateriového napájení a zároveň je schopen funkce již od 1,5 V. Pokud není vyžadována vysoká přesnost měření, lze průměrnou spotřebu snížit na 0,63 μ A a až na 0,15 μ A při využití stand-by režimu. [4]

Při využití maximálního rozlišení senzoru jej lze uplatnit v inerciálním navigačním systému pro určování výšky nad zemí s rozlišovací schopností 13 cm. [4]

Přesnost měření je stanovena pro rozsah 300 až 1200 hPa, avšak senzor je schopen měřit již od 10 hPa až po 2000 hPa. Lepší parametry MS5637 oproti KP234 jsou vykompenzovány vyšší cenou 210,062 Kč bez DPH (platné k 26. 3. 2018). [4] [34]

1.2. Senzory teploty

Čidla senzorů teploty jsou vyráběna z nejrůznějších materiálů, které mění své vlastnosti s teplotou a k jejímu určení se poté využívá mnoha principů. Lze se setkat s kovovými čidly (nikl, platina, měď,...), přičemž jednotlivé kovy bývají často kombinovány pro dosažení lepších vlastností materiálů. U těchto kovů se využívá vlastnosti lineární změny odporu s měnící se teplotou. Dále se využívá polovodičových senzorů (NTC a PTC (Negative / Positive Temperature Coefficient)), termoelektrických článků, výbrusů z krystalu, který mění svou rezonanční frekvenci v závislosti na teplotě, dilatačních (vyhodnocení se provádí měřením délky případně vodivosti sloupce) a mnohé další speciální (akustické, šumové,...). Volba vhodného typu čidla probíhá na základě požadavků, jako jsou třeba: teplotní rozsah, přesnost, časová stabilita, cena, rozměry, linearita apod. [2]

V technologii integrovaných obvodů je však nejjednodušší využít teplotní závislosti PN přechodu, přičemž se vychází ze Shockleyovy rovnice 2. [2]

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{U_D}{m \cdot U_T}} - 1 \right) \quad (2)$$

- Kde:
- I_D – proud PN přechodem v propustném směru
 - I_S – saturační proud v závěrném směru
 - U_D – napětí na PN přechodu v propustném směru
 - m – rekombinační koeficient polovodiče ($1 \leq m \leq 2$)
 - U_T – teplotní napětí

Z rovnice lze vidět, že závislost není lineární a tudíž se musí linearizovat za pomoci dalších úprav v zapojení jako třeba využitím proudových zrcadel. Pro vytvoření teplotního senzoru s přesností jednotek stupňů v oblasti teplot -20 až $+80$ °C tak postačí jen několik tranzistorů na křemíkovém čipu. Senzory teploty se tak objevují velmi často na čipech, které k tomu nejsou primárně určeny, a tudíž jejich výčet by byl velmi rozsáhlý. Stejně tak jako u předchozí kapitoly 1.1. tedy vyberu pouze dva zástupce.

DS18S20

Senzor DS18S20 [5] vyráběný společností Maxim Integrated se řadí do kategorie s digitálním výstupem. Komunikuje pomocí sběrnice 1-Wire[®] a každý ze senzorů má unikátní 64 bitový kód. Navíc spotřeba senzoru umožňuje funkci pomocí takzvané „parazitní energie“, kdy senzor nepotřebuje extra vodič pro kladný pól napájení, ale energii si akumuluje do kondenzátoru, když je sběrnice v klidovém stavu tzn. logická úroveň 1. Spojením těchto dvou vlastností lze teoreticky dosáhnout až 2^{64} připojených senzorů za pomoci pouhých dvou vodičů (datový a zem). [5]

Senzor je schopen měřit teploty v rozsahu -55 až $+125$ °C, přičemž garantované přesnosti $\pm 0,5$ °C dosahuje v rozmezí teplot -10 až $+ 85$ °C. Informace o naměřené teplotě je zasílána v 10 bitech, kdy 1 bit má funkci znaménka. Senzor je schopen fungovat pouze jako „slave“ a tudíž musí být vždy k naměření a konverzi dat vyzván. Dále je možné naprogramovat 2 registry v EEPROM, které nahodí příznakové bity v případě, že je naměřena nižší či vyšší hodnota. [5]

Tento senzor, který je schopen pracovat velmi dobře i s bateriovým napájením, jelikož klidový odběr nepřesahuje $5 \mu\text{A}$ a během pracovního cyklu dosáhne maximálního odběru 1 mA , lze zakoupit za $109,397$ Kč bez DPH (platné k 26. 3. 2018). [5] [34]

LMT87

LMT87 [6] je senzor od společnosti Texas Instruments schopný provozu v rozsahu teplot -50 až $+150$ °C přičemž definovanou chybu měření má ± 2 °C v rozsahu od -50 do 85 °C. Obvod obstarává kompenzaci nelinearity CMOS čidla a podává informaci o teplotě v podobě výstupního napětí, kdy $3,277$ V odpovídá -50 °C a $0,538$ V signalizuje 150 °C. Průměrný zisk senzoru tedy odpovídá $-13,6$ mV/°C. [6]

Senzor klade velmi malé nároky na spotřebu. Klidový odběr nepřesahuje hodnotu $6 \mu\text{A}$. Je schopen funkce již od $2,7$ V, ale nelze v takovém případě využít jeho plný rozsah při měření záporných teplot. Pro funkčnost v celém rozsahu je nutné dodat napájecí napětí alespoň $3,5$ V. [6]

Senzor je díky své nízké spotřebě, dobré linearitě, rychlejší reakci na změnu teploty, přesností ve velkém rozsahu a cenou $13,147$ Kč bez DPH (platné k 26. 3. 2018) velmi dobrou náhradou za termistory. [34]

1.3. Senzory vlhkosti

Relativní vlhkost je jedním z důležitých parametrů okolního prostředí. Jedná se o poměr mezi hmotností vody v daném objemu vzduchu (h) vůči hmotnosti vody, kterou je daný objem při dané teplotě a tlaku schopen pojmout (H) a pro převedení na procenta vynásobeno stem viz rovnice 3. [7]

$$RV = \frac{h}{H} \cdot 100 \text{ [%; } g \cdot m^{-3}, g \cdot m^{-3}] \quad (3)$$

RV (relativní vlhkost) je tedy velmi úzce spojena s tlakem a teplotou a tudíž senzory relativní vlhkosti bývají velmi často doplněny o senzory teploty. Taktéž je možné na základě znalosti relativní vlhkosti a teploty určovat atmosférický tlak. [7]

Znalost a udržování vhodné relativní vlhkosti prostředí je velice důležitá, jelikož při vysoké RV (>70%) se prostředí stává optimálním pro růst hub a plísní, korozi kovů, změny vlastností nasákových materiálů a kondenzaci vody na povrchu předmětů. Naopak při nízké RV (<30%) dochází k vysušování a křehnutí materiálů, různým deformacím dřeva či degradaci laků a lepidel. Nevhodně může působit na člověka přímo (zhoršené dýchání, vysychání kůže) či nepřímo jako třeba alergie na plísňové spory. [7]

Tak jako u předchozích senzorů teploty a tlaku i zde existuje více principů, kterými je možné RV měřit. Ve většině případů se využívá principu sorpce, kdy je vlhkost pohlcována do celého objemu sorpčního materiálu či jen do jeho povrchové struktury. Tímto pohlcením dochází ke změně fyzikálně chemických vlastností materiálu, které je poté možno vyhodnocovat (kapacita, vodivost,...). [2]

HDC1010

Senzor HDC1010 [8] vyráběný společností Texas Instruments je určený pro použití v aplikacích s vysokými nároky na nízkou spotřebu. Při jeho využití se předpokládá bateriové napájení a tudíž má pro zachování správné funkce indikaci vybité baterie, když její napětí klesne pod 2,8 V a je tudíž nutné ji vyměnit. Pracuje ve 2 režimech, kdy režim sleep mode dosahuje typického odběru proudu 100 nA. Druhý režim measurement mode je spouštěn pouze po velice krátkou dobu měření a za teplot pod 40 °C odběr nepřesáhne 200 μA. [8]

Senzor je kombinací senzorů relativní vlhkosti a teploty. RV je v rozsahu 10 až 80 % měřena s garantovanou přesností ± 2 % a v celém rozsahu ± 3 %.

Nepřesnost měření teploty v rozsahu od -20 °C do $+85\text{ °C}$ je $\pm 0,3\text{ °C}$ od skutečné hodnoty. V případě dlouhodobě zvýšených hodnot RV je možné využívat vyhřívání senzoru vlhkosti, aby nedocházelo k orosení jeho povrchu. Nevýhodou je zvýšená spotřeba senzoru a také ovlivnění senzoru teploty. [8]

Pro komunikaci s nadřazeným obvodem využívá sběrnici I2C. Na sběrnici je možné připojit až 4 obvody HDC1010, jelikož je možné nastavit spodní 2 bity při návrhu DPS. Kromě povelů pro měření a odesílání naměřených hodnot je možné skrze I2C nastavit rozlišení (až 14 bitů) obou senzorů, vyčíst stav senzoru a případně i jedinečný identifikační kód. [8]

Senzor s velmi malou spotřebou a velmi dobrou přesností v celém rozsahu měření RV je možné zakoupit za 72,418 Kč bez DPH (platné k 26. 3. 2018). [34]

HHH-5031

Senzor [9] vyráběný společností Honeywell je určen pro systémy s napájecím napětím od 2,7 do 5,5 V. Průměrný proudový odběr dosahuje hodnoty $200\text{ }\mu\text{A}$, což je hodnota postačující pro předpokládané bateriové napájení. [9]

Rozsah měření RV má od 0 do 100 %, kdy je zaručena přesnost měření $\pm 7\%$. Takováto přesnost by mohla být pro mnohé aplikace nedostačující. V rozmezí 11 až 89 % RV, kde lze předpokládat využití senzoru, má přesnost $\pm 3\%$. Rozsah pracovních teplot je od -40 do $+85\text{ °C}$. [9]

Senzor je navržen tak, aby byl co nejvíce odolný proti vlivům, jako je prach, oleje, ve vzduchu běžně vyskytující chemikálie či kondenzace vodních par v prostoru čidla. [9]

Tento senzor s lineárním analogovým výstupem lze zakoupit za 202,102 Kč bez DPH (platné k 26. 3. 2018). [34]

2. AKTUÁLNÍ NABÍDKA TRHU

Nabídka trhu v oblasti měření a záznamu meteorologických veličin je opravdu pestrá a v podstatě nelze v krátkosti rozdělit tato zařízení do přesně specifikovaných skupin. Meteostanice už neplní pouze funkci měřicí a zobrazovací, ale zároveň nabízejí funkce jako je budík, projekční zobrazení času, fotorámeček a mnohé další. Asi nejsnazší dělení lze provést na základě ceny výrobku, i když i zde hrají roli náležitosti jako je design, velikost či typ displeje.

2.1. Meteostanice

Do 400 Kč

V této cenové hladině lze zakoupit meteostanice s možností měření vnitřní teploty a relativní vlhkosti bez možnosti připojení externího čidla. Velmi často disponují možností záznamu maximálních a minimálních hodnot teploty za uplynulých 24 hodin. Poskytují možnost funkce budíku, přičemž čas a datum je nutné nastavit manuálně. [10]

Od 400 do 1000 Kč

Meteostanice v tomto cenovém rozmezí disponují stejnými základními funkcemi jako předchozí skupina. Čas je zde řízen za pomoci přijímače DCF77 a meteostanice v horní polovině cenového rozmezí zároveň využívají tento signál k předpovědi počasí za pomoci ikonek. Počet externě připojitelných čidel je v rozmezí od 1 do 3, přičemž čidla podávají informaci o teplotě a relativní vlhkosti. [10]

Od 1000 do 2500 Kč

V této oblasti je cena odvislá především od zmíněných nadstaveb jako je projekce času, možnost využití meteostanice jako fotorámečku či provedení s neobvyklým designem. Od předešlé cenové hladiny je lze obecně odlišit i dle velikosti a kvality zobrazovací jednotky či zvýšeného dosahu externích čidel. V některých případech je meteostanice již doplněna o tlakoměrné čidlo pro možnost předpovědi vývoje počasí. [10]

Nad 2500 Kč

Tyto meteostanice jsou zpravidla vybaveny externí měřicí stanicí s možností měření rychlosti a směru větru a také měřením množství srážek. Na základě těchto naměřených hodnot dopočítávají například pocitovou teplotu či podávají informaci o průměrném úhrnu srážek za uplynulé období jednoho dne, týdne či měsíce. Předpověď vývoje počasí určují na základě vlastního tlakoměrného čidla, ze signálu

DCF77 či za pomoci využití internetu. V některých případech jsou doplněny o funkci sběru dat za uplynulé období s následným exportem do počítače. [10]

2.2. Zařízení pro sběr dat

Zařízení pro sběr dat neboli dataloggery nelze rozdělit dle cenových rozmezí z důvodu jejich rozmanitosti. Zařízení pro sběr dat lze zakoupit za cenu od několikaset korun až po profesionální dataloggery pro průmyslové využití s cenou v řádu desítek tisíc.

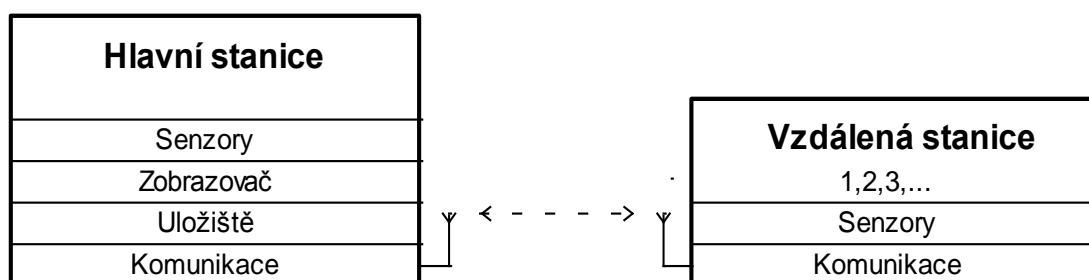
Pokud se omezíme pouze na dataloggery v řádu jednotek tisíc korun, lze zařízení rozdělit do dvou skupin podle mechanického provedení, přičemž z hlediska měření a záznamu jsou v podstatě identické. První skupinou jsou zařízení pro sběr dat v podobě USB klíčenky. Jejich výhodami jsou velmi malé rozměry a možnost připojení do PC bez nutnosti kabelu. Druhou skupinu tvoří dataloggery s LCD displejem, které jsou vyráběny s většími rozměry pro lepší uchopení zařízení s možností sledování aktuálních naměřených hodnot, případně hodnot minima a maxima. Díky své větší velikosti mohou obsáhnout baterie s vyšší kapacitou pro delší výdrž.

Z hlediska měřených veličin se lze setkat s dataloggery pro měření teploty v rozsahu od -40 do +70 °C s přesností ± 2 % a relativní vlhkosti od 0 do 100 %. Časový interval mezi měřeními je nastavitelný od jednotek sekund až po 24 hodin. Celkový počet záznamů se běžně pohybuje od 10 000 po 32 000. Dataloggery s tlakoměrným čidlem nejsou příliš obvyklé. [11] [12]

3. HARDWAROVÁ REALIZACE HLAVNÍ STANICE

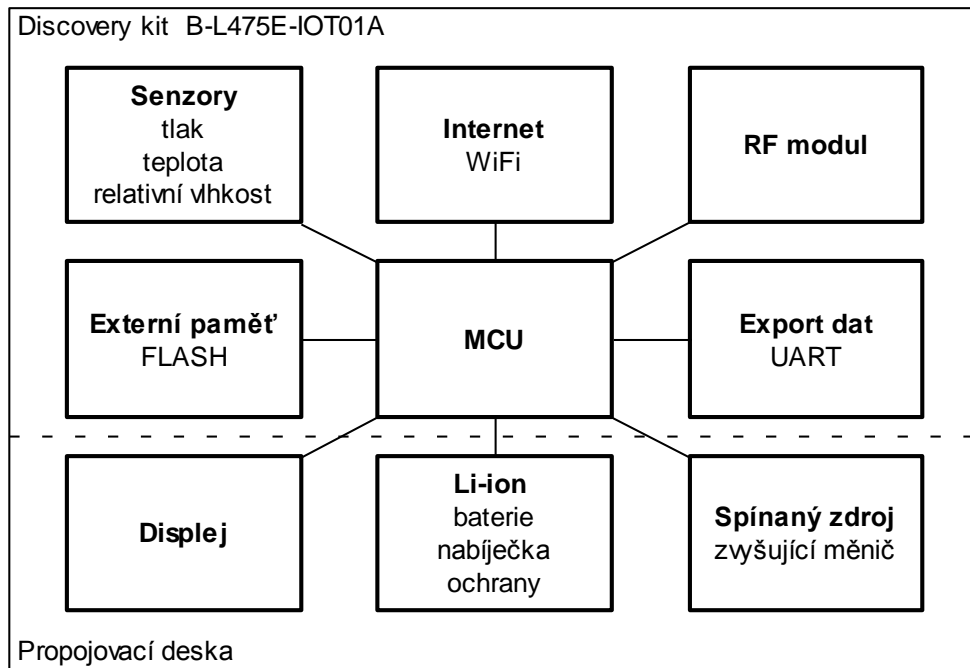
Po zvážení veškerých náležitostí, jimiž by měla meteostanice pro domácí využití disponovat a po konzultaci s vedoucím diplomové práce bylo ujednáno blokové schéma celého zařízení, které znázorňuje obrázek 1. Zařízení by se mělo skládat z jedné hlavní stanice zajišťující zobrazení, uložení a příjem naměřených dat a zároveň by měla být vybavena senzory pro lokální měření. Jedna či větší množství vzdálených stanic by měly pouze měřit potřebná data a následně je bezdrátově odesílat do hlavní stanice. Dle tohoto blokového schématu byly zvoleny jednotlivé komponenty vhodné pro fyzickou realizaci (katalogy jsou umístěny na příložené CD v adresáři „Datové listy“ a také jejich odkazy lze nalézt v seznamu použité literatury). V dalších podkapitolách budou komponenty blíže představeny společně s důvody pro jejich volbu.

Celé schéma zapojení, osazovací výkresy, či fotky zařízení jsou pro zachování přehlednosti umístěny v přílohách A a B z důvodu jejich větší obsáhlosti.



Obr. 1 - Blokové schéma meteostanice

Hlavní stanice se skládá ze dvou částí, jak obrázek 2 naznačuje přerušovanou čarou. Kapitola 3.1. se zabývá popisem hardwaru zvoleného discovery kitu a kapitola 3.2. popisuje návrh desky plošného spoje v práci označovaného jako propojovací deska. Schéma zapojení a další detaily propojovací desky jsou obsaženy v příloze A.



Obr. 2 - Blokové schéma hlavní stanice

3.1. Discovery kit B-L475E-IOT01A

Přesný popis tohoto vývojového kitu je k nalezení na webových stránkách výrobce [35]. Společnost STMicroelectronics vytváří tyto kity pro možnost rychlého vývoje prototypových zařízení, přičemž jsou na nich prezentovány integrované obvody a případně i celé moduly z jejich portfolia. Zároveň jsou k těmto kitům dodávány vzorové příklady, jak s jednotlivými komponentami pracovat, což společně se zabudovaným programátorem ST-Link značně usnadňuje vývoj.

3.1.1. MCU (Micro Controller Unit)

Volba vhodného procesoru pro potřeby meteostanice byla podmíněna více aspekty. Z důvodu zkušeností získaných v průběhu studia s mikrokontroléry od společnosti STMicroelectronics bylo prvotní hledání zaměřeno tímto směrem. Od počátku návrhu bylo známo, že kontrolér bude pracovat jak s externím tak ale i s bateriovým napájením a tudíž by měl spadat do třídy nízko odběrových procesorů v literatuře často nazývaných anglickým názvem low power. STMicroelectronics ve svém portfoliu disponuje hned 3 řadami (L0, L1 a L4) low power procesorů. [13]

Spotřeba elektrické energie však není jediným kritériem. Vzhledem k nutnosti řídit a obsluhovat větší množství periférií je důležitý i výkon a velikost paměti. V této oblasti nejvíce vyniká řada L4 a tudíž byl zvolen procesor STM32L475VGT6. [13]

STM32L475VGT6

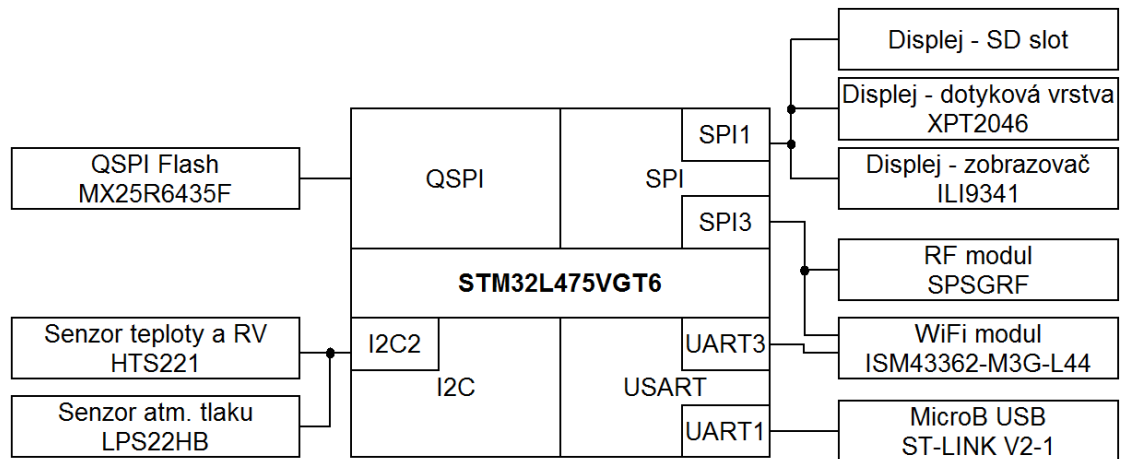
Jedná se o 32-bitový mikrokontrolér založený na Arm® Cortex® M4 jádře s architekturou typu RISC (Reduced Instruction Set Computer). Podporuje DSP (Digital Signal Processor) operace a obsahuje i FPU (Floating Point Unit) a MPU (Memory Protection Unit) jednotky. Pro instrukce a data je na čipu přítomna FLASH paměť o velikosti 1 MB a také 128 kB SRAM paměť. Pro možnost rozšíření kapacity paměti lze využít rozhraní FSMC (Flexible Static Memory Controller), QSPI či USB OTG. [14]

Mikrokontrolér je navržen tak, aby dokázal pracovat s frekvencí až 80 MHz. Při této frekvenci je schopen díky akceleratoru paměti schopen dosáhnout až 100 DMIPS (Dhrystone Million Instructions Per Second). Akcelerator pracuje na základě načtení fronty instrukcí a práce s tabulkou skoků. Tímto způsobem je dosaženo, že CPU (Central Processor Unit) nemusí čekat na čtení z FLASH paměti a nedochází tak k prázdným cyklům. [14]

Procesor se svým teplotním pracovním rozsahem -40 až +85 °C neklade žádná omezení v dané aplikaci. Je schopen činnosti s napájecím napětím v rozsahu 1,71 až 3,6 V přičemž vstupně výstupní piny tolerují napětíovou úroveň 5 V. [14]

Umožňuje funkci v celkem 7 pracovních režimech. Volbou jednotlivých režimů se dosáhne jistého kompromisu mezi nízkou spotřebou, délkou znovuoobnovení funkce, dostupnými perifériemi a zdroji probuzení jádra. V případě, že není aplikováno žádné spotřebu omezující opatření, proudový odběr dosahuje 100 μA na každý 1 MHz taktovací frekvence jádra. Pro aplikaci meteostanice by bylo možné využít režim v datovém listě označený jako Stop 1, který by bez jakýchkoli omezení zajistil průměrnou spotřebu mikrokontroléru 6,9 μA za současného využití RTC (Real Time Clock) obvodu. [14]

S okolními obvody je komunikace umožněna pomocí 20 komunikačních rozhraní, přičemž pro uvažovaný návrh jsou využity SPI, I2C, QSPI a USART (Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter), jak znázorňuje obrázek 3. [14]



Obr. 3 - Užitá komunikační rozhraní hlavní stanice |s úpravami převzato z [15]

3.1.2. Export dat

Meteostanice je koncipována jak pro možnost zobrazení okamžitých hodnot, tak ale i pro možnost čtení dat naměřených v minulosti. Veškeré záznamy je možné si prohlédnout v textové podobě na dotykovém displeji o úhlopříčce 2,8 palce. Vzhledem k uvedené velikosti displeje a bez další možnosti zpracování, není takovýto způsob provádění statistických výpočtů či pozorování dlouhodobých trendů uživatelsky přívětivý. Displej taktéž nedisponuje souborem grafických nástrojů, které by jednoduchou formou reprezentovaly data v grafické podobě namísto textové.

Pro další zpracování naměřených dat je tudíž nutný export dat do systému s lepší možností zpracování a zobrazení údajů. Takovýto systém představuje například PC s aplikací způsobilou zpracovat výstupní formát dat, se kterým meteostanice pracuje.

Nabízí se hned několik variant pro export dat. První z nich by byl přenos dat pomocí SD (Secure Digital) karty, o které je dále pojednáno v kapitole 3.1.6. Tento způsob by byl velmi rychlý, avšak v daném řešení není implementován z důvodů dále zmíněných. Další z možností je bezdrátový přenos dat za využití WiFi či Bluetooth modulu. Fyzicky je k tomuto návrh uzpůsoben, avšak z důvodu náročnosti takového řešení bylo od této možnosti ustoupeno.

Poslední z možných alternativ je využití USB portu. Při využití USB OTG portu lze data přenést na FLASH disk. V tomto případě byl implementován způsob, kdy se meteostanice připojí k PC jakožto virtuální COM (Communication port) port a na vyžádání odešle celý obsah své paměti. Rychlost tohoto přenosu je nastavena na 115 200 Baud.

3.1.3. RF modul

Běžným standardem meteostanic bývá jedna hlavní jednotka určená pro zobrazování a měření meteorologických veličin v interiéru a jedna či více vzdálených jednotek, které dodávají informace z dalších míst ať už v interiéru či exteriéru. Pro možnost předávání dat mezi jednotkami lze využít buď kabelové spojení, které je nepraktické z pohledu nutnosti řešení umístění vodičů. Druhou možností je pak bezdrátová komunikace. Zvolený discovery kit nabízí hned 3 možné způsoby bezdrátové komunikace (WiFi, Bluetooth a Sub-Gigahertz). [35]

Pro tuto aplikaci byl použit modul SPSGRF868, který reprezentuje bezdrátovou komunikaci Sub-Gigahertz v bezlicenčním pásmu 868 MHz.

SPSGRF868

SPSGRF je RF (Radio Frequency) modul vytvořený společností STMicroelectronics pro účely komunikace mezi zařízeními na frekvenci 868 či 915 MHz, dle oblasti užití. Hlavní součástí tohoto modulu je integrovaný obvod SPIRIT1, který funguje jako stavový automat a zároveň obsahuje i sériové SPI rozhraní pro komunikaci s nadřazeným systémem. Integrovaný obvod SPIRIT1 nabízí čtveřici programovatelných vstupně výstupních pinů, které mohou sloužit například pro vyvolání přerušení při příjmu nové zprávy. Funkce těchto pinů je nastavována za pomoci SPI sběrnice. Na modulu jsou dále přítomny obvody pro filtraci napájení, filtraci signálu, 50MHz krystal a integrovaná anténa. Všechny tyto komponenty jsou vměstnány na čtyřvrstvou desku plošného spoje o velikosti 11,5 x 13,5 mm a tvoří tak velmi kompaktní řešení pro komunikaci na zvolené frekvenci 868 MHz. [16]

Pro návrh meteostanice tento modul není vhodný pouze svou velikostí ale i rozsahem pracovních teplot od -40 do +85 °C, možností nastavení komunikační rychlosti od 1 do 500 kb/s, možností detekce zarušení pásma či velmi malou spotřebou. V případě vysílání v konfiguraci s maximálním zesílením signálu dosahuje proudového odběru 22 mA. V případě příjmu signálu pak 10 mA. Pokud je obvod uveden do tzv. ShutDown módu, klesá spotřeba na 0,1 µA, avšak veškerý obsah paměti a nastavení je tím ztracen. [16]

3.1.4. Internet

V dnešní době jsou zařízení velmi často připojena do sítě internet za účelem dostupnosti dat pro uživatele bez fyzické přítomnosti v místě měření. Po domluvě

s vedoucím diplomové práce tak bylo ujednáno, že meteostanice by měla být připravena na tuto skutečnost alespoň po hardwarové stránce. Zvolený vývojový kit tudíž obsahuje i WiFi modul, který je možné po úpravě firmwaru využít.

Byla by tím umožněna schopnost logovat naměřená data na externí uložení bez potřeby vlastní FLASH paměti, konfigurace intervalů mezi měřeními či synchronizace času skrze NTP (Network Time Protocol) server. Nebyl by tak zapotřebí ani DCF modul pro příjem času, čímž by byly sníženy náklady. Využití WiFi modulu by zvýšilo nároky na spotřebu energie a při jeho využívání by zřejmě akumulátor a s ním spojené obvody byly nadbytečné.

3.1.5. Senzory

Hlavním účelem meteostanice je zaznamenávat okolní meteorologická data a poté je předkládat uživateli. Pro získávání těchto dat vývojový kit obsahuje dvojici senzorů. [15]

HTS221

Kapacitní senzor vlhkosti kombinovaný se senzorem teploty HTS221 [17] je vyráběn společností STMicroelectronics. Hlavními přednostmi pro užití v systému meteostanice jsou velmi malá spotřeba, která nepřevyšuje 2 μ A v případě, že je měření a čtení naměřených hodnot prováděno s frekvencí 1 Hz. Pro funkčnost senzoru postačuje velmi malé napájecí napětí již od 1,7 V, a tudíž je vhodný pro bateriově napájené aplikace. Vzhledem k rozměrům pouzdra 2x2x0,9 mm je vhodný pro využití v mobilních zařízeních. [17]

Pro komunikaci se senzorem je možné využít jedné z nabízených sériových komunikací SPI či I2C. Z čipu je možné získat informaci o identifikačním čísle senzoru nebo tovární kalibrační data, která už by ale neměla být dále v softwaru využívána, jelikož jsou aplikována přímo v senzoru. Pro automatické zasílání dat ze senzoru je možné nastavit frekvenci měření a odesílání 1, 7 či 12,5 Hz. V případě, že by byl požadavek na periodu opakování měření jiný, lze využít režimu "one-shot" a požadovaný čas řídit mikrokontrolérem. V tomto návrhu je použita sběrnice I2C, která se taktéž používá pro senzor tlaku a i mnohé další v této práci nevyužité (akcelerometr, magnetometr,...). [15] [17]

Senzor umožňuje funkčnost měření v plném rozsahu RV, avšak v okrajových pásmech 0 - 20 % a 80 - 100 % s přesností ± 5 %. Ve zbytku měřicího rozsahu

nepřekračuje nepřesnost měření toleranci $\pm 3,5$ %. Teplotní rozsah měřícího elementu je stanoven v rozmezí -40 až 120 °C, což plně splňuje požadavky kladené na senzor. V rozmezí teplot $15 - 40$ °C dosahuje vysoké přesnosti $\pm 0,5$ °C a pro rozsah 0 až 60 °C ± 1 °C. V těchto rozsazích lze očekávat nejběžnější provoz senzoru, jelikož je umístěn na hlavní desku, která bude v přímém styku s uživatelem v domácím prostředí. Pro případy, kdy by mohlo dojít k orosení kapacitního čidla z důvodu vysoké RV, obsahuje senzor vyhřívání, které je možné ovládat skrze sériové rozhraní. Přináší to sebou však vyšší spotřebu a ovlivnění měřené teploty. [17]

Všechny výše zmíněné kladné parametry senzoru jsou pro potřeby běžné meteostanice velmi přínosné a naopak horší parametry v oblasti přesnosti či rozsahu pracovních teplot v prostředí, kde je očekáváno její použití, lze zanedbat.

LPS22HB

Snímání tlaku tohoto senzoru vyráběného společností STmicroelectronics je prováděno membránou s piezorezistivním elementem. Integrovaný obvod je umístěn v pouzdře HLGA (Holed Land Grid Array) o rozměrech $2 \times 2 \times 0,76$ mm, přičemž krom snímacího elementu tlaku obsahuje také senzor teploty, obvody pro kompenzaci vnějších vlivů, informace o senzoru a také obvody pro možnost komunikace přes jedno ze sériových rozhraní (SPI, I2C). [18]

Obvod je určen především pro aplikace s požadavky na mobilitu a velmi malou spotřebu (bateriově napájené), a tak je schopen fungovat při napětích $1,7 - 3,6$ V a proudovým odběrem nepřesahujícím $3 \mu\text{A}$. [18]

Měřící rozsah senzoru je stanoven v rozmezí 260 až 1260 hPa, přičemž snímací element vydrží až dvacetinásobné přetížení bez trvalých následků na přesnost či funkci. Nejpřesnější pásmo $800 - 1100$ hPa, kde senzor dosahuje přesnosti $\pm 0,1$ hPa, je zároveň pásmem, kde se nejčastěji barometrický tlak nalézá. V daném pouzdře se taktéž nalézá teplotní čidlo pro kompenzaci teplotních vlivů, které je možné taktéž obsluhovat pomocí sériových rozhraní. Tento senzor vykazuje nižší přesnost $\pm 1,5$ °C v rozsahu od 0 do 65 °C, a tudíž není v dané aplikaci využíván pro měření teploty zobrazované meteostanicí. Rozmezí pracovních teplot celého senzoru je -40 až $+85$ °C, což opět vyhovuje požadavkům, ve kterých bude využíván. [18]

Sériové rozhraní stejně jako u senzoru HTS221 umožňuje nastavení automatické periody měření, komunikaci přes paměť FIFO (First In, First Out), čtení kalibračních dat či identifikačního čísla senzoru. [18]

3.1.6. Externí paměť

Jedním z požadavků na vytvořené zařízení je možnost zálohování naměřených dat po určitou dobu. Tato zařízení pro sběr dat bývají označovány anglickým názvem datalogger.

Meteostanice je po hardwarové stránce uzpůsobena k možnosti ukládání dat na 2 média. Prvním z nich je SD karta, která je připojena k mikroprocesoru skrze SPI sběrnici (Příloha A obrázek 7). Slot pro tuto kartu je umístěn na spodní straně TFT (Thin Film Transistor) displeje. Velikou výhodou tohoto řešení, je velmi veliký úložný prostor a s ním spojený i dlouhý čas logování dat. Zápis dat na toto médium taktéž přináší nevýhodu v podobě zvýšené spotřeby energie. V návrhu není momentálně softwarově podporováno.

Vzhledem k velmi nízkým požadavkům na množství ukládaných dat (19 bytů při konfiguraci hlavní stanice + 1 vzdálená stanice), lze využít na kitu osazené QSPI FLASH paměti o velikosti 64 Mbit. Uvažovaný počet možných záznamů a obsluha paměti jsou popsány v kapitole 5.1.

MX25R6435F

Tato FLASH paměť vyráběná společností Macronix umožňuje významné zrychlení zápisu a čtení za pomoci využití rozhraní QSPI(Quad SPI). To znamená, že se data přenášejí se shodnou frekvencí, ale až na 4 paralelních vodičích. [19]

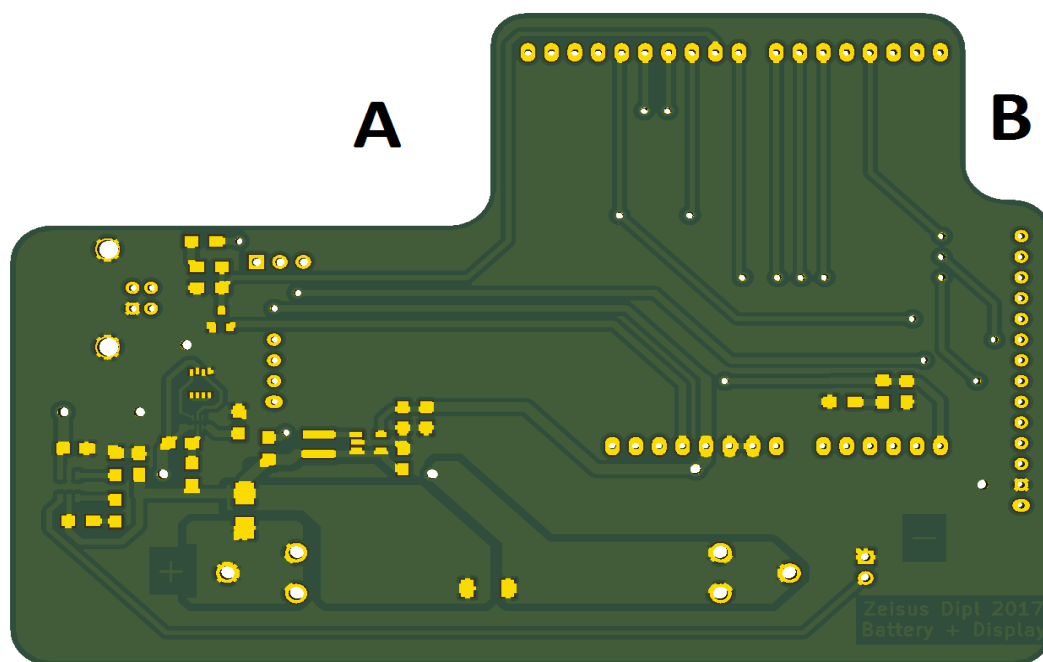
Paměť je určena především pro bateriově napájené aplikace, jelikož dokáže pracovat s napětími 1,65 až 3,6 V. V aplikaci lze využít taktéž úsporné módy spotřeby, kdy pro deep sleep proudový odběr odpovídá 0,35 μA a při standby-by módu přibližně 50 μA . [19]

Paměť je rozdělena do 127 bloků po 64 kB, což odpovídá 32 768 stránkám. Jedna strana má velikost 256 bytů a jedná se o nejmenší možnou jednotku pro zápis, kdy celá strana musí být před zapsáním smazána, jinak se zápis neprovede. Výrobce garantuje až 100 000 přepsání bez poškození funkčnosti paměti a udržení nahraných dat po dobu nejméně 20 let. [19]

3.2. Navržená propojovací deska

Deska plošného spoje byla vytvořena za pomoci návrhového editoru KiCad [36], který umožňuje tvorbu elektrických schémat a následně pak vytvoření layoutu. KiCad se řadí do skupiny tzv. otevřených softwarů s bezplatnou dostupností. Už při tvorbě elektrického schéma byl brán zřetel na omezené možnosti výroby DPS v rámci využití nabídky katedry, která disponuje frézkou pro vytváření reliéfů do DPS. Jednotlivé integrované obvody tudíž byly voleny s ohledem na velikost a typ pouzdra či počet a rozteč vývodů. Stejně tak tomu bylo během umísťování konektorů, jelikož vyfrézovaná deska plošného spoje nedisponuje pokovenými otvory a tudíž záleží, ze které strany je konektor umístěn.

Tvorba propojovací DPS podléhala 3 základním požadavkům. Prvním z nich je spojení se s vývojovým discovery kitem za pomoci arduino R3 konektoru. Dalším z požadavků pak bylo připevnění a elektrické spojení dotykového displeje a na něm přítomného slotu pro SD kartu. A posledním nárokem na DPS bylo uchycení li-ion akumulátoru a umístění veškeré elektroniky pro jeho nabíjení a zajištění bezpečnosti. Všechny tyto 3 požadavky zároveň nesměly žádným negativním způsobem ovlivňovat funkčnost zařízení a tudíž je DPS svým tvarem v bodech A a B, obrázku 4, k tomu uzpůsobena. V oblasti A se nachází anténa WiFi modulu, tlačítko reset a uživatelské tlačítko. V oblasti B se nalézá SPSGRF modul.



Obr. 4 - Layout propojovací desky – vrchní strana

3.2.1. Displej

Volba displeje byla podmíněna více požadavky (cena, velikost, spotřeba, upevnění, rozlišení, dotyková vrstva a rozhraní) a také kompromisy, které budou v následujících odstavcích probrány a osvětleny.

Prvním uvažovaným zobrazovacím prvkem byl elektronický papír, který je velmi dobře čitelný a zároveň klade nízké nároky na spotřebu energie. Jeho hlavní nevýhodou je vyšší cena, která pro obdobné rozlišení, kterým výsledná meteostanice disponuje, je minimálně 3 krát vyšší. Při požadavku na dotykovou vrstvu, by cena ještě o něco vzrostla.

LCD displeje se segmenty jsou taktéž energeticky velmi úsporné, avšak pro nasazení v meteostanici, která není plánována pro masovou výrobu, by musel být zvolen již existující model. Takovéto displeje s dostatečným počtem znaků nejsou běžně k dostání, a tudíž by musel být vyjmut z jiné meteostanice. Taktéž by to znamenalo potíže s dokumentací k takovému displeji. Tyto LCD displeje se běžně nedělají s dotykovou vrstvou a také neumožňují přehledné zobrazení historie naměřených dat.

Pro realizaci byl zvolen TFT LCD displej s úhlopříčkou 2,8 palce a rozlišením 320 x 240 bodů [20]. Přes zobrazovací element je nalepena rezistivní fólie pro snímání pozice dotyku, která je posléze snímána obvodem XPT2046. Pozici dotyku je možné následně mikrokontrolérem vyčíst skrze rozhraní SPI, jmenovitě piny PA5 pro SCK, PA6 pro MISO, PA7 pro MOSI a PA2 pro SD_CS (obrázek 7, příloha A). Obvod XPT2046 mikrokontrolér na dotyk upozorní pomocí přerušení vyvolaného na pinu označeném T_IRQ na obrázku 7 příloha A (PB0).

Vzhledem k umístění zobrazovače na nosný substrát je jeho upevnění ke zbylým částem meteostanice velmi ulehčeno. Lze jej upevnit dvěma způsoby. Buď pomocí čtveřice šroubů v rozích nosného substrátu. Nebo při menších nárocích na mechanickou pevnost postačí připevnění pouze pomocí signálových pinů. Druhá ze zmíněných možností je v návrhu implementována.

Pro možnost čtení displeje je nutné podsvětlení, které je zároveň největším konzumentem elektrické energie. Tento nedostatek lze řešit vypínáním podsvětlení, pokud není momentálně zapotřebí.

Pro funkci zobrazení je modul displeje opatřen obvodem ILI9341, do kterého je možno zapisovat či z něho číst pomocí SPI rozhraní. Další výhodou modulu je

přítomnost slotu pro SD kartu, která je taktéž připojena na stejnou SPI sběrnici jako obvod XPT2046. [20] [21]

Displej svým rozlišením a velikostí plně postačuje pro zobrazení veškerých meteorologických dat měřených hlavní i vzdálenou stanicí, času, data a případných dalších indikátorů na hlavní zobrazované stránce. V případě zobrazování historie se na jednu obrazovku vejde až 20 záznamů. Rozložení ovládacích a zobrazovacích prvků je podrobněji rozepsáno v kapitole 5.1.

Cena tohoto modulu kombinujícího TFT displej s rezistivní dotykovou vrstvou a slotem pro SD kartu se pohybuje okolo 200 Kč (platné k 13.4.2018). [20]

3.2.2. Li-ion

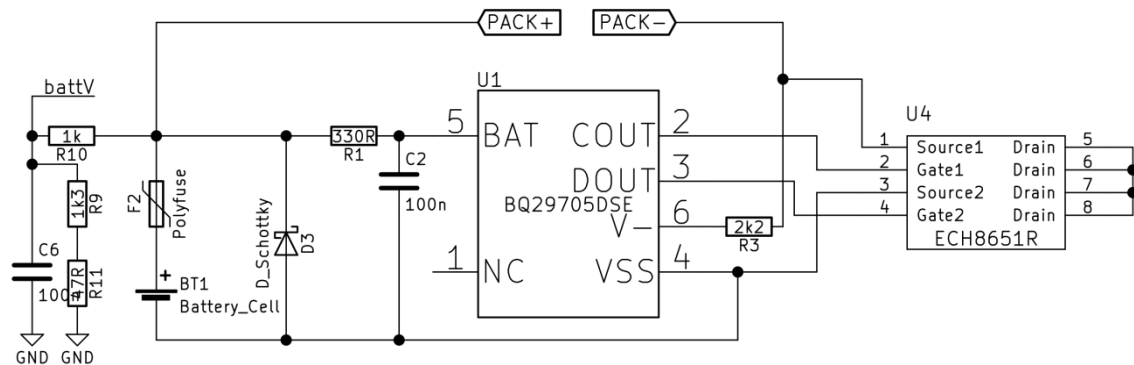
Meteostanice je pro možnost fungování bez externího napájecího zdroje opatřena lithium iontovým akumulátorem UR1650F [22] o kapacitě 2600 mAh a nominálním napětí 3,7 V. Akumulátor je určen pro pracovní rozsah teplot -20 až +60 °C.

Li-ion akumulátory vyžadují větší důslednost při jejich užívání, aby nedošlo k jejich nevratnému poškození či dokonce výbuchu. V návrhu jsou tudíž umístěny dva integrované obvody (obrázek 5), které se starají o správnou funkčnost. Obvod BQ2970 [23] chrání článek před překročením jak spodní tak i vrchní hranice nabití. Taktéž provádí kontrolu proudu procházejícího skrze druhý obvod ECH8651R, který obsahuje dvojici MOSFET tranzistorů. V případě zkratu tak odepne akumulátor od zbytku obvodů.

Ochranné obvody na obrázku 5 taktéž vykazují určitou vlastní spotřebu a tudíž by při detekci vyčerpání kapacity článku, a tím zapříčiněného odpojení ostatních obvodů, dále vybíjely samotný článek. Pro ochranu před odebíráním energie z již vybitého článku, tak odpojí samy sebe a tím ochrání akumulátor před zničením. Pro jejich opětovnou aktivaci je nutné zkratovat záporný pól akumulátoru se zemní svorkou označenou štítkem –PACK a nebo také jako GND. Tímto způsobem jsou přemostěny oba MOSFET tranzistory obvodu ECH8651R a ochranný obvod BQ2970 je uveden do funkce. V návrhu bylo na tuto skutečnost opomenuto, a tudíž je nutné zkratování provést manuálně, za pomoci vodivého předmětu. Další návrh by bylo vhodné doplnit o tlačítko zajišťující tuto funkci. [23]

Konektor pro připojení akumulátoru není uzpůsoben tak, aby znemožňoval záměnu polarit. Návrh je proto doplněn o schottkyho diodu D3, která zajistí zkrat baterie po dobu nutnou pro vybavení vratné pojistky F2 (obrázek 5).

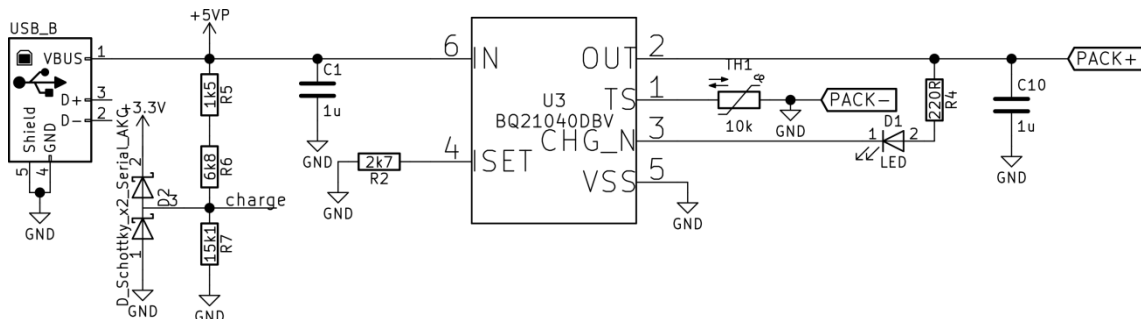
Pro možnost detekce stavu nabití akumulátoru, jak ukazuje obrázek 5, je na desku osazen odporový dělič tvořený rezistory R9, R10 a R11 zajišťující konverzi výstupního napětí baterie dosahujícího až 4,3 V na napěťový rozsah AD převodníku 0 až 3,3 V.



Obr. 5 - Zapojení akumulátoru a ochranných obvodů

Akumulátor je nutné dobíjet a tudíž DPS obsahuje i integrovaný obvod BQ21040DBV [24] (obrázek 6). Tento obvod je určený pro nabíjení jednočlánekových li-ion a li-pol akumulátorů. Nabíjecí proud článku je možné nastavit pomocí rezistoru R2, kdy lze dosáhnout proudu až 1,25 A. Pro hodnotu 2,7 k Ω užitou v zapojení je nabíjecí proud roven 200 mA. Obvod zároveň hlídá teplotu během nabíjení, která nesmí překročit +45 $^{\circ}$ C nebo případně být nižší než 0 $^{\circ}$ C. Teplota je vyhodnocována za pomoci NTC termistoru s odporem 10 k Ω při teplotě 25 $^{\circ}$ C. [24]

Pro vizuální detekci nabíjení, je na DPS osazena zelená LED dioda, připojená k pinu číslo 3 (CHG_N). Ačkoli jsou piny procesoru označeny jako 5 V tolerantní, pro softwarovou detekci nabíjení, jsou vstupy ošetřeny za pomoci napěťového děliče tvořeného rezistory R5, R6 a R7 a dvojice schottkyho diod v pouzdře SOT23-3 označených jako D2. Výstupem tohoto děliče je signál charge připojený k pinu PC0. Pro připojení napájecího napětí, je na desce přítomen USB konektor typu B.



Obr. 6 - Schéma zapojení nabíječky Li-ion akumulátoru

3.2.3. Spínaný zdroj

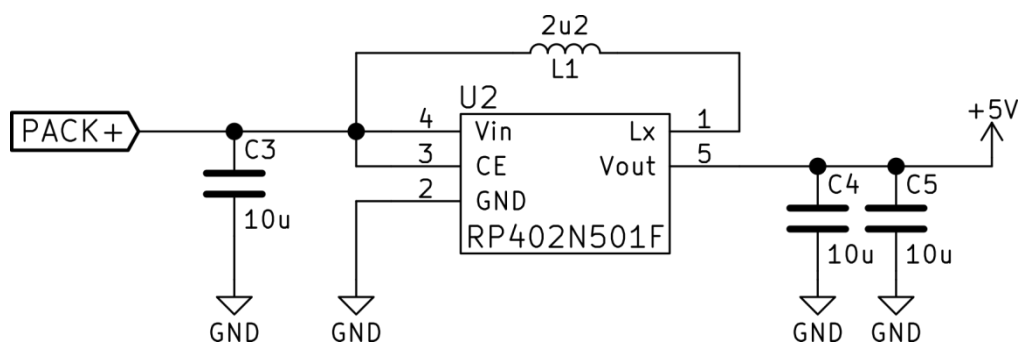
Záložní napájecí zdroj tvoří lithium iontový akumulátor. Jeho velikou výhodou je velmi dobrý poměr velikosti ke kapacitě, avšak práce s ním obnáší i vyšší požadavek na stabilizátor výstupního napětí. Pokud nebude brán zřetel na malé odchylky mezi lithium iontovými akumulátory od jednotlivých výrobců, lze obecně říci, že výstupní napětí akumulátoru pohybuje od 2,5 V do 4,3V. Spodní hranice odpovídá akumulátoru, ze kterého byla vyčerpána takřka veškerá energie, zatímco 4,3 V odpovídají plně nabitému akumulátoru.

Většina integrovaných obvodů užitých jak na navržené propojovací desce, tak i na kitu pracuje s napájecím napětím 3,3 V. V takovém případě by s ohledem na nízkou spotřebu bylo vhodné využít měnič typu SEPIC (Single Ended Primary Inductor Converter), který by zajistil konstantní výstupní napětí 3,3 V. Přítomnost WiFi modulu si dle katalogového listu klade nároky na 5V napájení. Ačkoli obvody modulu fungují na napěťové úrovni 3,3 V. Modul samotný obsahuje svůj vlastní snižující měnič právě na tuto úroveň. Toto opatření je zde s největší pravděpodobností, aby nebyly do takové míry ovlivněny ostatní obvody v případě špičkových odběrů během vysílání. [15]

Zvolený zvyšující měnič RP402N501F [25], vyráběný společností Ricoh Electronic Devices, zároveň klade velmi malé nároky na počet okolních součástek, jak je možné vidět na obrázku 7. Měnič obstarává napájení pouze pro digitální obvody, a tudíž nebyla věnována zásadnější pozornost na filtrování výstupního napětí. Analogové obvody na kitu mají již od výrobce navrženo vhodné napájení. Spínaný zdroj pracuje s frekvencí 1,2 MHz a tudíž výstupní kondenzátory C4 a C5 o velikosti 10 μ F jsou dostatečné (dle rovnice 4) pro vyfiltrování výstupního napětí na přiměřenou mez zvlnění 20 mV.

$$C = \frac{I * t}{\Delta U} = \frac{0,5 * 8,33 * 10^{-7}}{0,02} = 20,8 \mu F \quad (4)$$

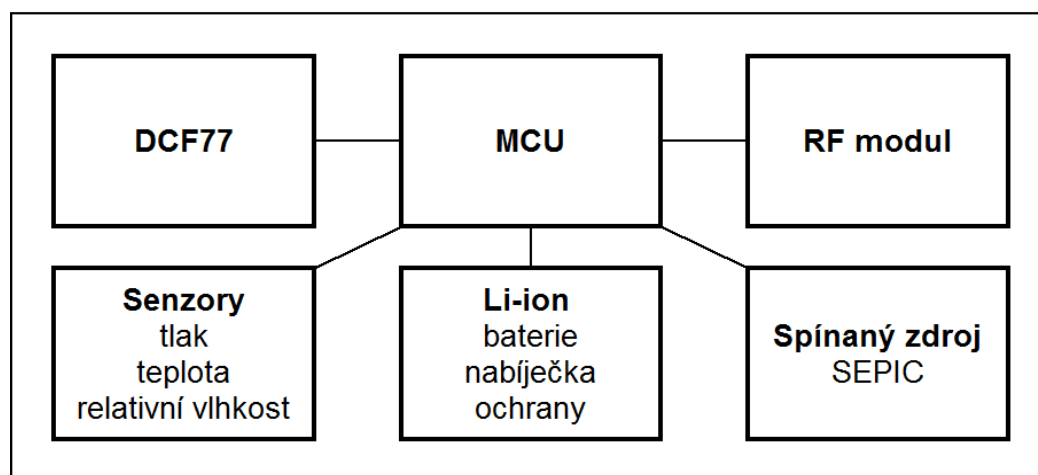
Každý z integrovaných obvodů má ve své blízkosti osazen blokovací kondenzátor o velikosti 100 nF, aby nedocházelo k příliš velkým poklesům napětí. Z obou stran plošného spoje jsou rozlity polygony mědi s potenciálem země a 5 V, aby tak byla vytvořena další kapacita.



Obr. 7 - Zvyšující měnič

4. HARDWAROVÁ REALIZACE VZDÁLENÉ STANICE

Deska plošného spoje vzdálené stanice byla vytvářena na základě zkušeností získaných s návrhem hlavní stanice. Některé z bloků vyobrazených na obrázku 8 jsou tudíž totožné nebo velmi podobné co do využití komponent v návrhu propojovací DPS hlavní stanice. Podrobnější popis jednotlivých bloků je obsažen v následujících podkapitolách. Při tvorbě tohoto plošného spoje byl důraz kladen především na menší rozměry a také na značně nízkou spotřebu. Schéma zapojení a další podklady jsou obsaženy v příloze B.



Obr. 8 - Blokové schéma vzdálené stanice

4.1. MCU

Na rozdíl od MCU jednotky hlavní stanice, kde byl kladen důraz na vysoký výkon procesoru z důvodu plynulé komunikace s uživatelem, v tomto případě je kladen důraz hlavně na nízkou spotřebu. Úkony, které má mikrokontrolér provádět, nejsou nikterak časově kritické, a tak je možné jít s taktovací frekvencí procesoru velmi nízko. Stejně tak jako v případě MCU jednotky hlavní stanice i zde byl vybrán procesor od výrobce STMicroelectronics.

Byl vybrán procesor z řady L0, jmenovitě L031K6T6 [26] osazený na Nucleo-L031K6 [27] desku společně s ST-LINK/V2-1 programátorem. Procesor disponuje periferiemi I2C, SPI, čítači a AD převodníkem, čímž splňuje veškeré nároky na konektivitu a funkčnost, které jsou na něj kladeny.

Z pohledu spotřeby energie disponuje hned několika režimy. Za běžného běhu spotřeba odpovídá 76 μA / MHz taktovací frekvence procesoru. Při aplikaci Stop módu, během kterého je udržován obsah SRAM paměti a lze procesor probudit za pomoci všech vstupně výstupních pinů, sběrnic či časovačů dosahuje spotřeby 0,35 μA . [26]

4.2. Senzory

Senzory teploty, tlaku a relativní vlhkosti, které jsou umístěny na vývojovém kitu, nebyly užity v případě realizace vzdálené stanice. Hlavním důvodem je velmi malý rozměr integrovaných obvodů vzhledem k výrobní technologii DPS. Byl vybrán kombinovaný PHT senzor MS8607 [27] vyráběný společností TE Connectivity, který je schopen měřit velmi přesně údaje o teplotě, atmosférickém tlaku a relativní vlhkosti. Tento modul o velikosti 5 x 3 mm je tvořen dvěma integrovanými obvody se společným napájením a datovou sběrnicí I2C.

Stejně tak jako u ostatních senzorů je přesnost velmi závislá na šířce měřeného rozsahu a také na teplotě. V případě měření tlaku se přesnost při teplotě 25 °C pohybuje ± 0.1 hPa v rozsahu atmosférického tlaku 700 – 1000 hPa, kde lze využití nejčastěji předpokládat. V plném rozsahu 300 až 1100 hPa v rozsahu teplot -20 až +85 °C je absolutní chyba měření ± 4 hPa. Při měření teploty ve zmiňovaném teplotním rozsahu chyba nepřesáhne ± 2 °C. Pro měření relativní vlhkosti udává výrobce přesnost ± 3 % v rozsahu 20 až 80 % RV. [27]

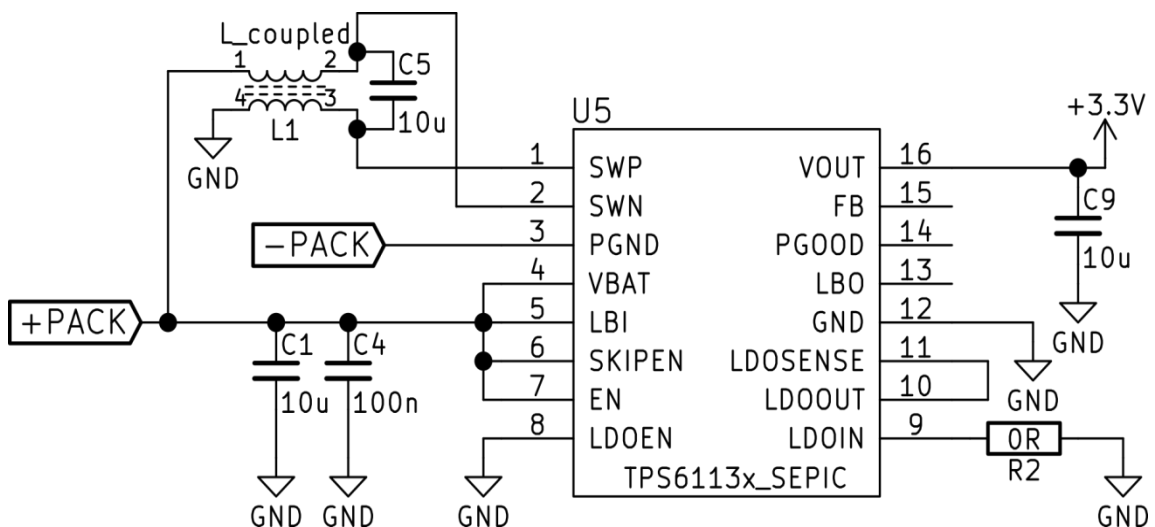
K dosažení výrobcem stanovené přesnosti je nutné provést softwarový přepočít získaných hodnot za pomoci kalibračních dat získaných z paměti PROM umístěné v senzoru teploty a tlaku. Tato kalibrační data jsou do každého senzoru zapsána po provedení měření v kalibrační komoře se stanovenými hodnotami tlaku, teploty a RV. [27]

4.3. Spínaný zdroj

V případě spínaného zdroje je požadované výstupní napětí pro funkci dalších obvodů 3,3 V, a tudíž zde není užit zvyšující měnič jako v případě hlavní stanice. Byl zvolen spínaný zdroj s topologií SEPIC, který je schopen pracovat se vstupním napětím 2,5 až 4,3 V, které je dodáváno lithiovým akumulátorem. Vzhledem k absenci prvků s vyšším proudovým odběrem, jako je například podsvětlení displeje u hlavní stanice, lze volit měnič s nižší výkonovou zatížitelností a lepší efektivitou při malých odběrech. Z důvodu snížení počtu součástek potřebných k funkci měniče byl zvolen obvod s fixní hodnotou napětí na výstupu. Pro správné fungování vzdálené stanice bez nutnosti osazení diod zajišťujících volbu primárního zdroje, byla odpájena propojka výstupu regulátoru SB14 Nucleo desky. [37]

TPS61131

Integrovaný obvod vyráběný společností Texas Instruments vyhovuje všem kritériím na měnič popsaných v předchozím odstavci. V jednom TSSOP-16 pouzdře sdružuje 2 regulátory napětí. Jedním z nich je potřebný SEPIC měnič využívaný v dané aplikaci. Druhý regulátor typu LDO (Low Dropout regulator) je nevyužit, a tudíž nezatěžuje návrh dalšími součástkami. Integrovaný obvod tak pro svou funkci vyžaduje pouhé 3 filtrační kondenzátory a jednu indukčnost, jak je možné vidět na obrázku 9. Hodnoty jednotlivých součástek byly zvoleny dle katalogového doporučení. [28]



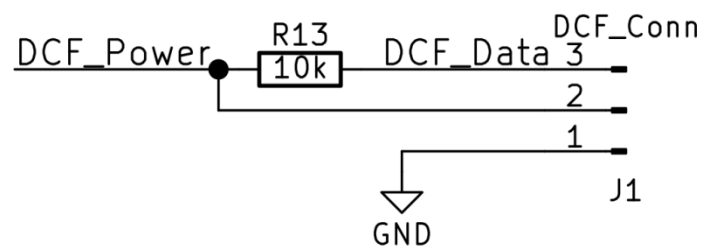
Obr. 9 - SEPIC měnič

Jak již bylo zmíněno, vzdálená stanice z důvodu bateriového napájení musí pracovat s co nejmenšími proudovými odběry, a tudíž musí být i klidový odběr samotného měniče velmi nízký. TPS61131 dosahuje klidového odběru okolo 10 µA, čímž značně přesahuje možnosti zvyšujícího měniče RP402 použitého u hlavní stanice, který má klidový odběr až 1,6 mA. [25] [28]

Měnič funguje s pracovní frekvencí 500 kHz za využití PWM (Pulse Width Modulation) modulace. V případě velmi malých zátěží přechází obvod do šetřícího režimu, kdy ke spínání dochází pouze po krátké časové okamžiky a poté je obvod uveden do klidového stavu čímž se docílí lepší efektivity. Tento šetřící režim je aktivní pouze pokud je vývod SKIPEN připojen na logickou úroveň 1, tedy k bateriovému napájení, jak je zakresleno v obrázku 9. [28]

4.4. DCF77

Vzhledem k absenci realizace softwarového řešení připojení k internetu, je nutné zajistit přesný čas jiným způsobem. Běžným standardem používaným v případě meteostanice je využití radiového signálu DCF77. Pro příjem tohoto signálu jsem využil modul dostupný v internetovém obchodě Conrad [29], který je zároveň opatřen feritovou anténou o velikosti 4 centimetrů na délku. Modul je schopen funkce s napájecím napětím 2,5 až 15 V a proudovým odběrem 3 mA. Díky nízkému proudovému odběru je možné modul napájet přímo z pinu procesoru označeného DCF_Power na obrázku 10 (celé schéma zapojení obrázek 13 příloha B) a tudíž odpadá potřeba složitějšího odpínání napájení během nečinnosti obvodu. Výstup je typu otevřený kolektor a jedinou součástí, kterou je nutné dodat je 10kΩ pull-up rezistor R13, či softwarově připojit pull-up rezistor na příslušném pinu. Výstupní signál modulu DCF_Data je přiváděn na bránu A, pin číslo 3.



Obr. 10 - Zapojení DCF modulu

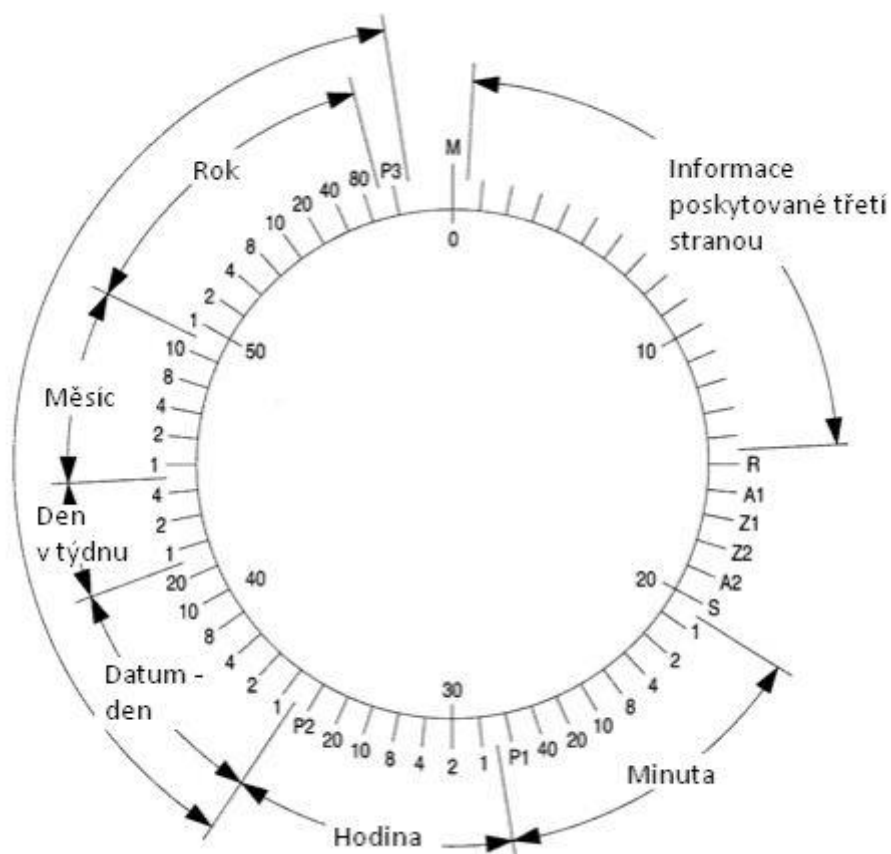
Přijímací modul je umístěn do vzdálené stanice z důvodu usnadnění příjmu za cenu navýšení spotřeby energie. Signál je snadno rušen okolními spotřebiči, jako jsou například televizory a také budovy s kovovou konstrukcí zabraňují vstupu signálu do vnitřních prostor. [30]

Vzhledem k popisu softwaru pro příjem v kapitole 5.2. zde v krátkosti popíši průběh časového signálu a jeho náležitosti. Za pomoci trojice navzájem porovnávaných atomových hodin je generován časový normál pro možnost odeslání informace. Dlouhovlnný vysílač 77,5 kHz je umístěn na území Spolkové republiky Německo nedaleko od města Frankfurt nad Mohanem. S vysílacím výkonem 50 kW garantuje provozovatel dosah vysílače až 2000 km, přičemž za dobrých podmínek a mnohonásobném odrazu lze dosáhnout vzdálenosti až 5500 km. [30]

Signál je amplitudově modulován, přičemž logická hodnota daného bitu je vyjádřena délkou trvání poklesu amplitudy při periodě 1 sekunda. Logické úrovni L odpovídá pokles amplitudy po dobu 100 ms a logické úrovni H pak pokles po dobu

200 ms. Vždy je přenášena informace o následující minutě, jejíž začátek je signalizován poklesem amplitudy po dobu 1800 ms. [30]

Jak je možné vidět z obrázku 11, zprávu tvoří celkem 58 bitů do nichž je ukryta informace o minutě, hodině, dni, dni v týdnu, měsíci, roce, počasí a stavu vysílání. Časová informace je přenášena v BCD (Binary Code Decimal) kódu. Prvotní myšlenkou bylo využít informace o počasí k předpovědi zobrazované meteostanicí, avšak tato část vysílání je šifrována a pro dekodování je nutné mít zakoupený klíč od poskytovatele vysílání. Další z bitů zobrazených na obrázku 11 slouží ke kontrole správnosti přenosu pomocí sudé parity P1,P2,P3, typu vysílací antény R (hlavní/záložní) či případně jsou nastaveny, pokud má nastat v následující hodině přestupná vteřina A2 či přechod ze zimního na letní čas a obráceně A1. [30] Bity Z1 a Z2 nesou informaci, zdali je vysílán středoevropský letní či zimní čas. Bit M má vždy hodnotu 0, přičemž značí začátek vysílání a bit S, který má vždy hodnotu 1 značí začátek časové informace.



Obr. 11 - Časová sekvence jednotlivých bitů |převzato z [31]

4.5. Li-ion

V případě akumulátoru včetně ochranných obvodů a integrovaného obvodu zajišťujícího nabíjení bylo využito identických prvků jako v případě tvorby propojovací DPS hlavní stanice (obrázky 5 a 6, případně obrázek 13 příloha B). Jedinou významnější rozdílnost tvoří absence USB B konektoru, přičemž byl využit microUSB konektor osazený na Nucleo desce [37]. Taktéž napěťový dělič tvořený rezistory R5, R6 a R7 z obrázku 6 a ochranné diody vstupu D2 byly z návrhu odstraněny, jelikož detekce nabíjení v tomto případě není zapotřebí.

4.6. RF modul.

RF modulů s frekvencí 868 MHz je na trhu značné množství, avšak vzhledem ke kompaktnosti a zjednodušení návrhu byl zvolen stejný modul od společnosti STMicroelectronics SPSGRF [16] jako v případě hlavní stanice. Touto volbou bylo značně zjednodušeno vytváření softwarové obsluhy obou modulů.

5. FIRMWARE

Dále popisovaný firmware je dostupný na příloženém CD v adresáři Firmware.

Software implementovaný v obou případech, tedy jak hlavní tak i vzdálené stanice, byl napsán v jazyce C za pomoci vývojové studia Attollic TruStudio [38] založeného na systému Eclipse. Pro urychlení vývoje a zároveň jeho unifikaci, získání větší přehlednosti a zaručení kompatibility bylo využito vývojového nástroje poskytovaného společností STMicroelectronics nazývaného CubeMX [39]. Tento program je zaměřen na usnadnění vývoje u mikrokontrolérů STM32. Systém vytváří funkce založené na principu HAL (Hardware Abstraction Layer), tedy odprošťuje uživatele (programátora) od nutnosti znát specifické postupy implementace softwaru pro daný hardware.

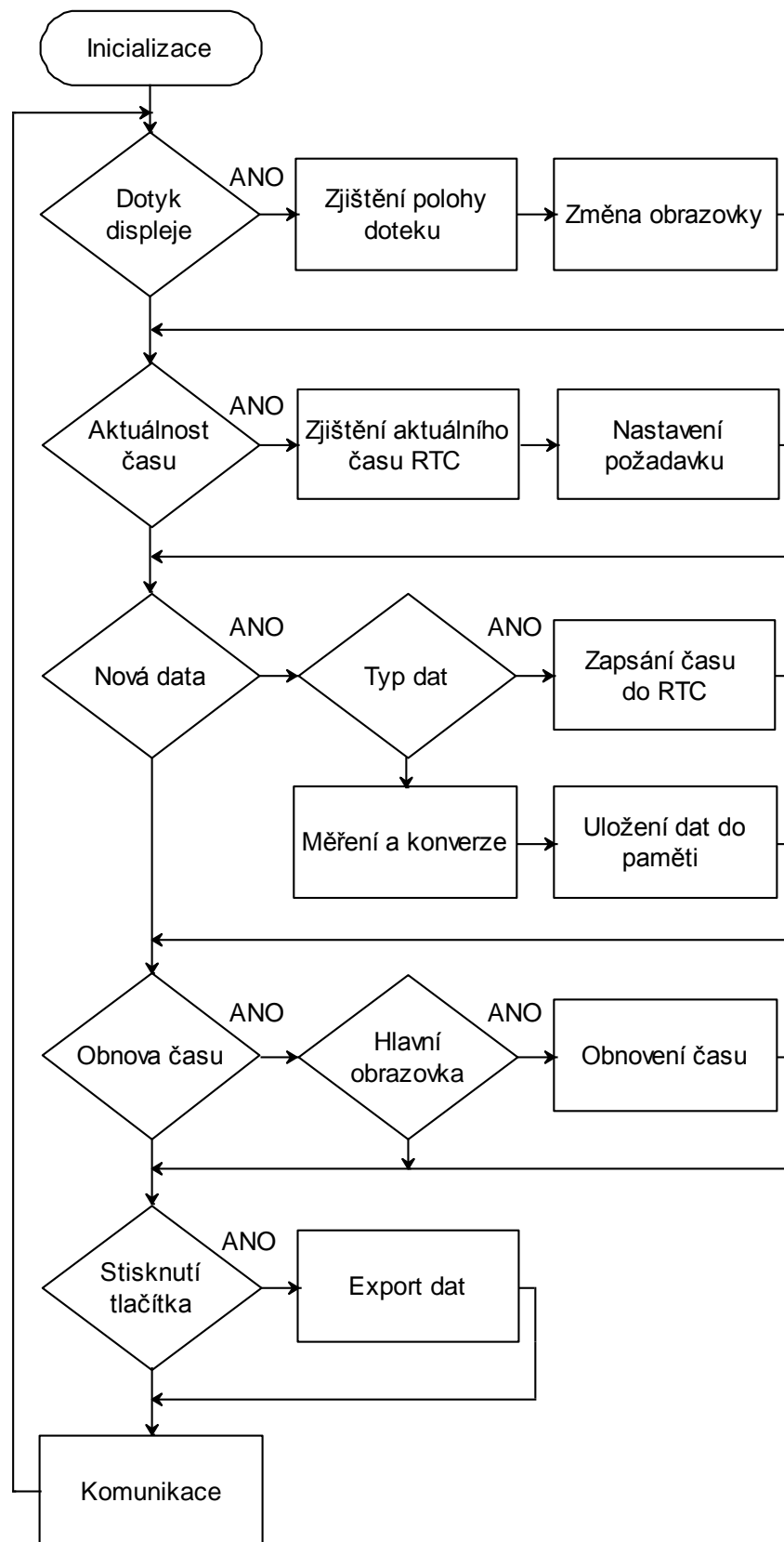
5.1. Firmware hlavní stanice

Řídící software hlavní stanice, nahraný na CD do složky Firmware/FW_Hlavni_stanice, funguje dle vývojového diagramu znázorněného na obrázku 12. Následující odkazy na zdrojové a hlavičkové soubory jsou k nalezení ve složkách Src a Inc adresáře FW_Hlavni_stanice. Během vytváření tohoto softwaru byl kladen důraz na unifikaci obsluhy požadavků od jednotlivých modulů. Z tohoto důvodu byla vytvořena jedna globální 32 bitová proměnná, ve zdrojovém souboru **main.c**, nazývaná se *stavAplikace*, jejíž bity reprezentují aktuální stav aplikace. V běhu hlavní smyčky jsou jednotlivé bity testovány a dle jejich stavu se rozhoduje o vykonání obsluhy. Rozsah proměnné 32 bitů byl záměrně zvolen vyšší pro možnost dalšího rozšíření aplikace. Momentálně je užíváno pouhých 9 bitů, jak je možné vidět v tabulce 1. Jejich podrobnější popis je obsažen v dalších odstavcích.

Bit	Funkce	Název
0	Nebyla zvolena obrazovka	-
1	Hlavní obrazovka	SA_OBR_HLAVNI
2	Obrazovka historie hlavní stanice	SA_OBR_HISTORIE_MB
3	Obrazovka historie vzdálené stanice	SA_OBR_HISTORIE_SB
4-7	Rezerva pro obrazovky	-
8	Nová data	SA_NOVADATA
9	Získat aktuální čas	SA_PODAT_ZADOST_K_DCF
10	Čeká se na aktuální čas	SA_ZADOST_K_DCF_PODANA
11	Požadavek na export dat	SA_EXPORT_DAT
12	Došlo k dotyku obrazovky	SA_DOTYK_OBRAZOVKY
13-31	Rezerva pro další rozšíření	-

Tab. 1 - Popis proměnné *stavAplikace* hlavní stanice

Vzhledem k větší obsáhlosti programu je popis vývojového diagramu (obrázek 12) rozdělen do několika podkapitol.



Obr. 12 - Vývojový diagram hlavní stanice

5.1.1. Inicializace

Po náběhu napájení či resetu mikrokontroléru začíná chod aplikace od tohoto bloku. Obsahuje nastavení priority vektorů přerušení, nastavení zdroje a kmitočtu hodinového signálu, počtu a typu vstupně výstupních pinů, rychlost komunikací I2C, UART a SPI, nastavení AD převodníku či RTC obvodu. Všechny tyto funkce byly vygenerovány za pomoci zmíněného softwaru CubeMX a jsou obsaženy ve zdrojovém souboru **main.c**.

Mikrokontrolér po náběhu napájení nemá informaci o pozici posledního uloženého záznamu pro logování naměřených hodnot. Čtení celé 64 Mbit paměti by zbytečně plýtvalo energií a prodloužilo čas rozběhu hlavní stanice. Pozice posledního uloženého záznamu je tudíž ukládána funkcí *QSPI_Zapis_indexu_Pro_Recovery()* ,nacházející se ve zdrojovém souboru **qspi.c**, do FLASH paměti, která informaci uchová i po odpojení napájení. K získání informace po náběhu napájení slouží funkce *QSPI_Zjistení_Indexu_Po_Spustení()* umístěná ve stejném zdrojovém souboru jako předchozí. Zvolená FLASH paměť umožňuje maximálně 100 000 zápisů do jedné paměťové buňky. V návaznosti na další software je prováděno mazání obsahu paměti pouze po blocích o velikosti 64 kbit. Z těchto důvodů byl vyhrazen jeden blok paměti pouze pro zapisování tohoto indexu, přičemž tento blok obsahuje 256 paměťových buněk. [19]

Komunikačnímu RF modulu je skrze sběrnici SPI nastavena komunikační rychlost 38400 Baud, vysílací frekvence 868 MHz, šířka pásma 100 kHz, typ modulace FSK (Frequency Shift Keying), synchronizační slovo a další náležitosti. Pro toto počáteční nastavení byl využit vzorový příklad poskytovaný výrobcem zařízení, který je tvořen zdrojovými soubory **p2p_app.c**, **spsgrf.c**, **spsgrf_io.c** a **sprgrf_app.c** a stejnojmennými hlavičkovými soubory. Pro možnost komunikace je taktéž nutné nastavit velikost přijímací a vysílací vyrovnávací paměti.

Obsloužen je také displej, který je nejprve resetován a poté nastaven pro zobrazování “na šířku“ za využití softwaru [33] obsaženém ve zdrojovém souboru **ILI9341_STM32.c**. Výše zmiňovaná proměnná *stavAplikace* je vynulována.

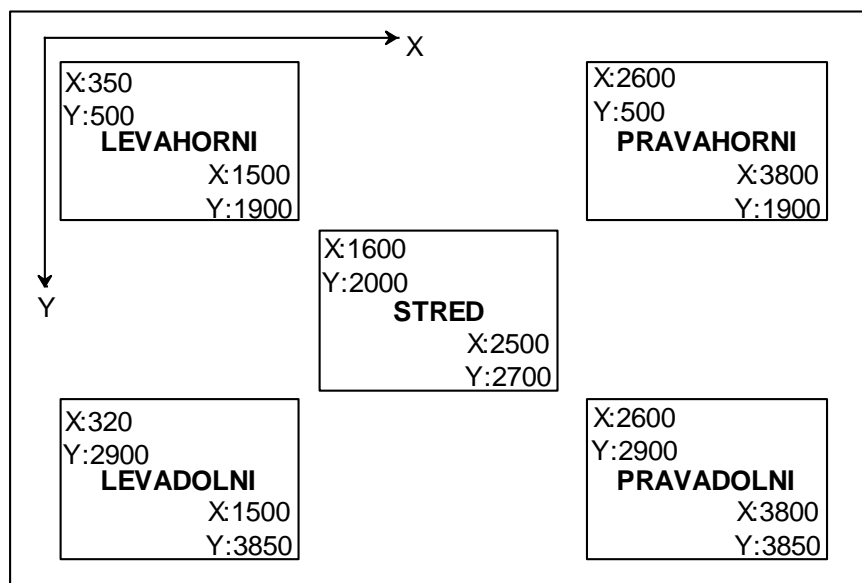
Po ukončení inicializace program přechází do nekonečné smyčky, kdy dochází k větvení programu na základě vyhodnocování stavových bitů reprezentujících aktuální stav aplikace.

5.1.2. Dotyk displeje

V případě dotyku rezistivní vrstvy je obvodem XPT2046 vygenerováno přerušení, na které mikrokontrolér reaguje na pinu 0 brány B. Celý program je napsán s cílem co nejmenšího počtu vykonaných instrukcí v obsluze přerušení, aby zde nedopatřením nedocházelo k zastavení chodu aplikace. Z tohoto důvodu obsluha přerušení, umístěná ve zdrojovém kódu **stm32l4xx.c**, provádí pouze dvě funkce, kterými jsou smazání stavového bitu v pending registru a zároveň nastavení příznakového bitu SA_DOTYK_OBRAZOVKY v proměnné *stavAplikace*. V hlavní smyčce dochází k testování zmíněného bitu a v případě splnění podmínky dochází k vyhodnocení pozice dotyku.

Zjištění polohy dotyku

Displej je rozdělen na celkem 5 segmentů (obrázek 13), které vykonávají funkci tlačítek. Nežli je vyhodnocen segment, kde došlo k dotyku, je ze stavového slova *stavAplikace* zjištěna aktuálně vykreslovaná obrazovka. Smysl tlačítek na každé obrazovce může být odlišný a tudíž se tímto opatřením zabrání nevyžádané reakci.



Obr. 13 - Segmentace displeje

Z důvodu co nejrychlejšího vykreslování je SPI sběrnice taktována na frekvenci 40 MHz, přičemž obvod XPT2046 [32] takovouto frekvenci nepodporuje. Z tohoto důvodu se před samotným čtením sníží frekvence pomocí předděličky na 5 MHz a poté je opět navýšena. K samotnému čtení dat byl využit kód z [33] s drobnými úpravami umístěný v **ILI9341_Touchscreen.c**.

K rozhodnutí o typu segmentu, který byl stisknut slouží funkce *ZmenaObrazovky()*, umístěná v **main.c**, využívající data získaná z XPT2046. V případě že je vykreslena hlavní obrazovka (je nastaven bit SA_HLAVNI_OBRAZOVKA), slouží segmenty LEVAHORNI a LEVADOLNI k zobrazení historie hlavní stanice. Obdobným způsobem fungují segmenty PRAVAHORNI a PRAVADOLNI, které po stisknutí zobrazí historii vzdálené stanice. Segment STRED momentálně slouží pro obnovení obrazovky, avšak bylo by jej možné využít například pro přechod do nastavení meteostanice.

Pokud je zobrazována historie hlavní nebo i vzdálené stanice, slouží tlačítka umístěná vpravo pro procházení záznamů. Tlačítkem umístěným ve středu displeje je možné měnit, o kolik záznamů se má posun provést. Na jedné stránce je zobrazeno 20 záznamů s časovým rozestupem 3 minut mezi záznamy. Tím pádem při posunu o 20 záznamů dochází k posunu o 1 hodinu. Další možností je posun o 1 den, kdy je proveden skok o 480 záznamů a případně i jeden týden, který odpovídá 3360 záznamům. Uživatel není informován o velikosti posunu počtem záznamů, ale nápisy hodina, den a týden umístěnými mezi tlačítka pro posun (obrázek 14).

Levé dolní tlačítko v tomto případě plní funkci návratu na hlavní obrazovku. Levé horní tlačítko nemá na zvolené obrazovce využití.

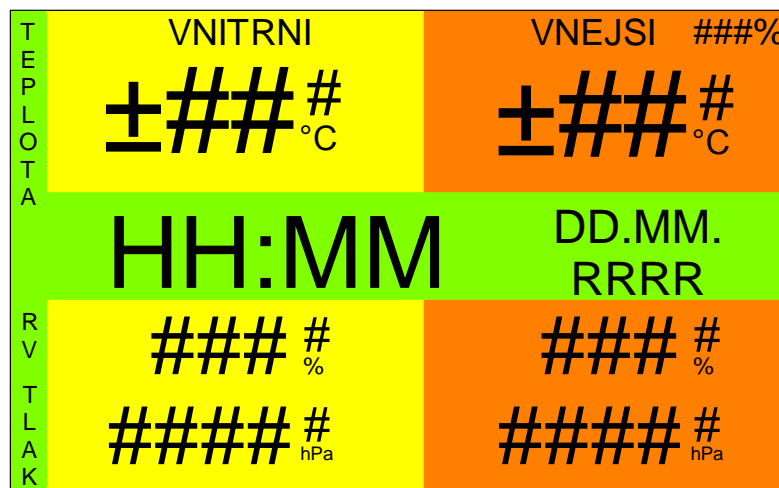


Obr. 14 - Obrazovka historie

Změna obrazovky

Kód obsluhující vykreslení jednotlivých obrazovek umístěn v **main.c**. Hlavní obrazovka stanice (obrázek 15) je rozdělena do 3 barevně odlišených oblastí dle informací, které zobrazují. Zeleně podbarvená oblast slouží k zobrazení vysvětlivek a informací o čase a datu. Žlutě podbarvená oblast vykresluje hodnoty z posledního

měření hlavní „VNITŘNÍ“ stanice. Vpravo umístěná, oranžově podbarvená oblast poskytuje informaci o meteorologických veličinách naměřených vzdálenou stanicí. V pravém horním rohu udává procentuální stav nabití baterie vzdálené stanice.



Obr. 15 - Hlavní obrazovka

Obrazovka historie hlavní i vzdálené stanice má identické rozložení (obrázek 14). Pro rozlišení slouží nápis umístěný ve vrchní části displeje a také barva pozadí (žlutá či oranžová) stejně jako v případě hlavní obrazovky. Převážnou část displeje zaplňují uložená data v pořadí datum a čas záznamu, údaj o teplotě, vlhkosti a tlaku. Zeleně podbarvené oblasti představují tlačítka popsaná výše. Ve spodní části displeje lze nalézt informaci o celkovém počtu záznamů.

5.1.3. Aktuálnost času

Pro udržení aktuálnosti časového údaje uloženého v RTC obvodu je nutné v pravidelných intervalech získávat novou informaci z DCF modulu. S periodou 8 hodin je proto nastavován v hlavní smyčce požadavek o nový čas za pomoci stavového bitů SA_PODAT_ZADOST_K_DCF proměnné *stavAplikace*. Tento požadavek je do vzdálené stanice odeslán vždy při potvrzení příchodu nových dat v oblasti určené pro typ příkazu.

5.1.4. Nová data

V případě příjmu nových dat, která splňují náležitosti jako shodnost cílové adresy či CRC (Cyclic Redundancy Check) součet, je nastaven příznakový bit SA_NOVADATA v proměnné *stavAplikace*. Na tento stav aplikace reaguje vyčtením

přijímací vyrovnávací paměti nazvané *aReceiveBuffer* jejíž naplnění zajišťuje funkce *p2p_process(aTransmitBuffer, TxLength, aReceiveBuffer, RxLength)* popsaná v kapitole 5.1.7. Stanice může přijmout 2 typy zpráv, a tudíž z hlediska dalšího zpracování je nutné rozhodnout.

Prvním typem jsou data o čase. K jejich rozpoznání dochází na základě kontroly požadavku o příjem času a zároveň kontrolou nenulovosti obsahu. V případě splnění těchto kritérií jsou data uložena a příznakový bit požadavku o informaci o čase *SA_ZADOST_K_DCF_PODANA* je vynulován.

Druhým typem jsou data ze senzorů vzdálené stanice, která přicházejí v pravidelných 3 minutových intervalech. Pokud je přijat tento typ dat, vyčte se z RTC obvodu čas pro uložení. Taktéž jsou vyčtena data z lokálních senzorů funkcemi umístěnými v *sensors.c* a jejich formát upraven, v *main.c*, do dvou 8 bitových proměnných pro možnost následného ukládání dat do paměti.

Uložení dat do paměti

Zvolená externí FLASH paměť o velikost 64 Mbit umožňuje zápis po bytech, avšak musí se vždy zapisovat do prázdné 256 bytové stránky. Paměť celkem obsahuje 32 768 stran z čehož 256 stran je vyhrazeno pro zapisování indexu naposledy zapsaných dat. [19]

Rovnice 5 znázorňuje počet zápisů během jednoho dne (PZD) s uvažovaným intervalem mezi zápisy 3 minuty, tedy 180 vteřin.

$$PZD = \frac{86400}{180} = 480 [-; s, s] \quad (5)$$

Pro zápis dat se využívá 32 512 stran, a tudíž lze z rovnice 6 vypočítat počet dní (PD), po které je možné data logovat bez přemazání předešlých s uvažováním výsledku předchozí rovnice 5.

$$PD = \frac{32\,512}{PZD} = \frac{32\,512}{480} = 67,73 \text{ dne} \quad (6)$$

Uvažovaná doba zápisu bezmála 68 dní odpovídá více než 2 měsícům zápisu. V případě že by byl kladen požadavek na delší dobu zápisu, lze bez uvažování změny paměti, zvolit dvě možné cesty. První z nich je prodloužení intervalu mezi zápisy, což by umožňovalo v podstatě libovolnou dobu záznamu za cenu ztráty rozlišení v čase.

Druhá možnost je založena na způsobu ukládání do paměti. Pro zápis záznamu je využito pouhých 19 bytů z 256 možných. V případě, že by se data řadila například do 32 bytových bloků (úmyslně zamýšlená rezerva) a k jejich ukládání by se přistoupilo vždy až po dovršení 256 bytů, tedy jedné stránky, lze dobu záznamu navýšit 8 krát.

Formát pro ukládání jedné stránky je zobrazen v tabulce 2. Informace o čase a datu obsažené v bytech 0 až 5 jsou loženy v BCD kódu. Vrchní byte (byty 6 až 17) obsahuje 7 vrchních bitů naměřené hodnoty a v případě teploty na nejvyšší pozici je umístěno znaménko v podobě logické 1 pro záporné hodnoty a log 0 pro kladné. Spodní byte obsahuje nižších 8 bitů naměřené hodnoty. Zkratka MB reprezentuje hlavní stanici a SB vzdálenou stanici.

Byte	Význam	Byte	Význam
0	Den	10	Teplota MB (vrchní byte)
1	Měsíc	11	Teplota MB (spodní byte)
2	Rok	12	Tlak SB (vrchní byte)
3	Hodina	13	Tlak SB (spodní byte)
4	Minuta	14	Relativní vlhkost SB (vrchní byte)
5	Den v týdnu	15	Relativní vlhkost SB (spodní byte)
6	Tlak MB (vrchní byte)	16	Teplota SB (vrchní byte)
7	Tlak MB (spodní byte)	17	Teplota SB (spodní byte)
8	Relativní vlhkost MB (vrchní byte)	18	Stav baterie SB
9	Relativní vlhkost MB (spodní byte)	19-255	rezerva

Tab. 2 - Reprezentace dat ve FLASH paměti

Před každým zápisem je provedena kontrola paměti, zdali není zapisováno do míst, kde již zápis proběhl. V případě, že adresa zápisu odpovídá počáteční adrese nového bloku, je celý blok smazán. O kontrolu a zápis se starají funkce umístěné v **qspi.c**.

5.1.5. Obnova času

K obnovení hlavní obrazovky dochází ze dvou důvodů. Prvním z nich je vykonání funkce na základě dotyku obrazovky. Druhým podnětem pro obnovení obrazovky je změření nových dat. Obrazovka je v tom případě celá překreslena, což vzhledem k rychlosti vykreslování nemusí vyhovovat požadavkům uživatele. Aby při obnovení času každou minutu nebyla překreslena celá hlavní obrazovka, dochází k překreslení pouze v oblasti času a data. Obnova času je zajištěna funkcí *ZobrazitCasDatum()* umístěné v **main.c**, která zároveň provádí konverzi formátu času a data do zobrazitelné podoby. Obnovení času je ignorováno, pokud se uživatel nachází na jiné obrazovce, aby tak nedošlo k nevyžádanému zobrazení.

5.1.6. Stisknutí tlačítka

Při stisknutí hardwarového uživatelského tlačítka umístěného na discovery kitu je vyvoláno přerušení, ve kterém je nastaven příznakový bit SA_EXPORT_DAT. V hlavní smyčce je tento příznak opakovaně kontrolován. V případě, že je nastaven, jsou postupně v cyklu vyčítána data z FLASH paměti od nejstarších po nejnovější a zároveň jsou odesílána komunikační rychlostí 115 200 Baud skrze UART do připojeného počítače. Odesílání a čtení dat zajišťuje funkce *ExportDat()* umístěná v **main.c**. Záznam je odeslán od bytu 0 po byte 18 dle pořadí uvedeném v tabulce 2, která popisuje formát dat ve FLASH paměti. Odeslání jednoho záznamu vždy následuje odeslání znaku „\n“ pro rozpoznání konce záznamu. Po odeslání veškerých záznamů je příznakový bit opět smazán a ještě jednou odeslán znak „\n“, aby bylo možné vyhodnotit odeslání všech dat aplikací v PC.

5.1.7. Komunikace

Pro komunikaci mezi oběma stanicemi za pomoci modulu SPSGRF bylo využito již zmíněného vzorového kódu umístěného v **p2p_app.c**, **spsgrf.c**, **spsgrf_io.c** a **sprgrf_app.c** a stejnojmenné hlavičkové soubory. Drobnými úpravami bylo dosaženo požadované funkcionality. Kód obsahuje velké množství inicializačních a kalibračních funkcí, avšak pro samotnou komunikaci je nejdůležitější stavový automat nacházející se ve zdrojovém souboru **p2p_app.c**, který na základě přijímaných dat vykonává odpovídající instrukce. Stavový automat je periodicky obsluhován funkcí *p2p_process(aTransmitBuffer, TxLength, aReceiveBuffer, RxLength)*, jejímiž parametry jsou adresa přijímací a vyrovnávací paměti a jejich velikost. Aktuální stav komunikace obsahuje proměnná *SM_State* nacházející se v **p2p_app.c**. Stav (tabulka 3) jsou definovány výčtovým datovým typem v **p2p_app.h**.

Název	Funkce
SM_STATE_START_RX	Zahájení příjmu
SM_STATE_WAIT_FOR_RX_DONE	Čekání na příjem celé zprávy
SM_STATE_DATA_RECEIVED	Data přijata
SM_STATE_SEND_DATA	Odeslat data
SM_STATE_WAIT_FOR_TX_DONE	Čekání na odeslání všech dat
SM_STATE_ACK_RECEIVED	Příjem potvrzení
SM_STATE_SEND_ACK	Odeslání potvrzení
SM_STATE_TOGGLE_LED	Probliknutí LED (demonstrativní funkce)
SM_STATE_IDLE	Nečinný stav

Tab. 3 - Stavový automat komunikace

Výchozím stavem stavového automatu je `START_RX`, ve kterém jsou nastaveny například priorita přerušení, cílová adresa, časové limity či typ protokolu definované v `p2p_app.h`. Následně se přechází do stavu `WAIT_FOR_RX_DONE`, kdy je kontrolováno, zdali nebyl překročen časový limit pro odeslání dat. V případě porušení je opět nastaven předchozí stav a pokus o příjem je opakován. Pokud je vše v pořádku, přechází se do stavu `DATA_RECEIVED`, kde jsou přijatá data rozdělena podle typu příkazu a délky dat. Následně přechází automat do stavu `TOGGLE_LED`, kdy problikne LED dioda a v případě že nejde o zprávu určenou pro všechny stanice, přejde do stavu `SEND_ACK`. Pokud hlavní stanice potřebuje informaci o čase je nastaven příslušný příkaz a zpráva odeslána. Jestliže není o čas žádáno, je v poli příkazu nastaveno pouze potvrzení příjmu.

Pro odesílání dat je možné využít dva počáteční stavy a to `SEND_ACK`, který slouží k potvrzení příjmu a nebo `SEND_DATA`, kterým je možné odeslat data na libovolnou cílovou adresu. Z obou těchto stavů je vyvolán přechod do stavu `WAIT_FOR_TX_DONE`. V tomto stavu se čeká na nahození příznakového bitu odeslání dat čteného z modulu. Po odeslání dat se přechází do stavu `START_RX`, kdy v závislosti na typu odesílaných dat je očekáván příjem potvrzení či nová data.

5.2. Firmware vzdálené stanice

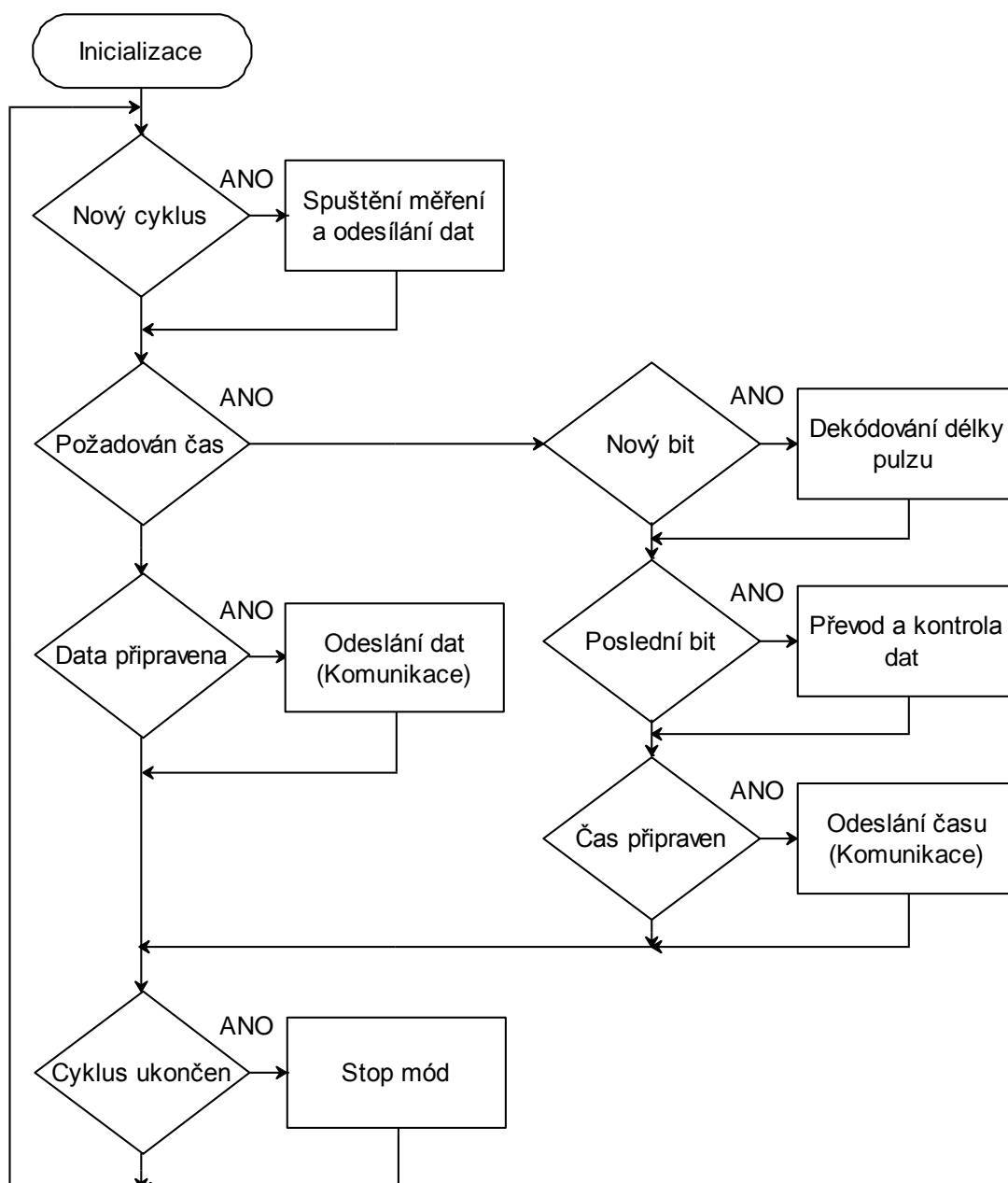
Firmware vzdálené stanice je svou strukturou velmi podobný firmwaru hlavní stanice. Na CD je součástí adresáře Firmware podadresář RF868_shieldv1, přičemž zdrojové soubory jsou k nalezení ve složce Src a hlavičkové soubory ve složce Inc. Opět bylo využito CubeMX k vygenerování kódu pro inicializaci a obsluhu periférií. Takto vygenerovaný kód je snadno přenositelný mezi jednotlivými řadami mikrokontrolérů od STMicroelectronics, avšak za cenu větší velikosti, kterou zabere ve FLASH paměti. Mikrokontrolér L031K6T6 svou pamětí 32 kB nedostačuje pro použití všech původně zamýšlených periférií jako například RTC obvod, UART či independent watchdog, který by bylo možné použít pro resetování zařízení v případě, že by došlo k neočekávané chybě. Pro plnění potřebné funkce jsou zapotřebí periferie SPI, I2C, LPTIM (Low Power TIMER) a AD převodník. Poslední ze zmíněných periférií je kvůli ušetření místa v paměti inicializována a obsluhována za pomoci zápisu přímo do příslušných registrů. Pro docílení možnosti nahrát celý kód do paměti mikrokontroléru bylo nutné využít optimalizací velikosti kódu v nastavení kompilátoru.

Stejně tak jako v případě hlavní stanice i zde je vykonávání programu v hlavní smyčce podmíněno příznakovými bity proměnné *stavAplikace* obsažené v **main.c** a význam jednotlivých bitů je popsán v tabulce 4. Z důvodu úspory paměti a zároveň menší náročnosti aplikace byla zvolena pouze 8 bitová proměnná. Význam jednotlivých bitů je podrobněji vysvětlen v dalších odstavcích této kapitoly.

Bit	Funkce	Název
0	Teplota, RV a tlak změřeny	SA_PHT_DATA_READY
1	Napětí na akumulátoru změřeno	SA_BATTERY_VOLTAGE_READY
2	Měřicí cyklus probíhá	SA_CYCLE_ONGOING
3	Byla obdržena žádost o čas	SA_GET_DCF77_TIME
4	Čas z DCF77 byl přijat	SA_TIME_READY
5	Odesílací vyrovnávací paměť naplněna	SA_BUFFER_FILLED
6	Dorazil další bit informace o čase	SA_NEW_BIT_DCF77
7	Data úspěšně dorazila do hlavní stanice	SA_DATA_SEND_SUCCES

Tab. 4 - Popis proměnné *stavAplikace* vzdálené stanice

Program je vykonáván dle vývojového diagramu znázorněného na obrázku 16. Pro větší přehlednost jsou jednotlivé bloky či skupiny bloků rozděleny do jednotlivých podkapitol.



Obr. 16 - Vývojový diagram vzdálené stanice

5.2.1. Inicializace

Obdobně jako v případě firmwaru hlavní stanice se po resetu či náběhu napájení nastavuje priorita vektorů přerušení, zdroj hodinového signálu, vstupně výstupní piny, komunikační sběrnice SPI a I2C a časovače.

V aplikaci je využíván časovač s velmi nízkou spotřebou. Zdroj hodinového signálu obstarává externí 32,768kHz krystal (LSE), dále vydělený 128 předděličkou (DIV). Rovnice 7 objasňuje hodnotu X, která je do časovače nahrána vždy po uplynutí

zvoleného času. Tato hodnota odpovídá 3 minutám, po kterých se má vzdálená stanice probouzet a odesílat data do hlavní stanice.

$$X = \frac{LSE}{DIV} \cdot 180 = \frac{32\,768}{128} \cdot 180 = 46\,080 [-; s^{-1}, -, s] \quad (7)$$

Následně je proveden reset obou senzorů a nastavení jejich rozlišení. Inicializace a obsluha PHT senzoru je umístěna ve zdrojovém souboru **PHTsensor.c**. Následným krokem by mělo být vyčtení PROM paměti s potřebnými kalibračními koeficienty. Z důvodu úspory paměti byly tyto koeficienty vyčteny pouze jednou a napevno vloženy do příslušných proměnných v **PHTsensor.h**. Funkce pro jejich čtení je v programu pouze zakomentována.

Komunikační modul SPSGRF je nastaven shodně jako na hlavní stanici pouze s rozdílnou adresou stanice zapsanou v **p2p_app.h**.

5.2.2. Nový cyklus

Průběh nekonečnou smyčkou vždy začíná od kontroly stavového bitu SA_CYCLE_ONGOING. Tento bit je v nulové hodnotě vždy, když je procesor probuzen ze stop módu. Pokud je splněna podmínka nulovosti tohoto bitu a zároveň není požadována informace o čase, je spuštěno měření za pomoci PHT senzoru a následně je proveden přepočít za pomoci kalibračních konstant senzoru funkcí *PHT_get_calibrated_data()* uložené v **PHTsensor.c**. Aby bylo možné data odesílat, jsou převedena do formátu dvou 8 bitových proměnných. Při tomto převodu dochází k ořezu čísel za řádovou čárkou, kdy z důvodu šetření paměti jsou ponechány pouze desetiny. Příznakový bit SA_PHT_DATA_READY je nastaven.

Následně je provedena inicializace AD převodníku. Po provedení převodu jsou data vyčtena do proměnné *batteryVoltage* a je nastaven příznakový bit SA_BATTERY_VOLTAGE_READY. AD převodník je opět vypnut pro úsporu energie. Z důvodu omezeného množství paměti není prováděna kontrola, zdali se AD převodník skutečně vypnul. Původní kód byl koncipován pro měření za využití přerušování a stále je v kódu přítomen, mezi komentáři, pro pozdější užití.

Celá odesílací vyrovnávací paměť je vynulována, aby nedocházelo k odesílání dat v části určené pro přenos času. Zmíněný příznakový bit SA_CYCLE_ONGOING je nastaven.

5.2.3. Požadován čas

Dalším krokem je kontrola stavového bitu `SA_GET_DCF77_TIME`. Tento bit je nastavován požadavkem od hlavní stanice. V případě, že je nastaven, je dále vykonávána smyčka skrze kontrolu bitu `SA_NEW_BIT_DCF77`. Tento bit je nastaven v rutinně přerušení zapsané v `stm3210xx.c`, přičemž přerušení je detekováno na pinu číslo 3 brány A. V případě detekce hrany je vyčtena hodnota časovače `SysTick`, který čítá po jedné milisekundě. Při příchodu následné hrany je z časovače opět vyčteno a rozdíl hodnot udává šířku přijatého pulzu. Tento mód je nazýván `capture-compare`. Když je bit nastaven, dojde k dekódování typu přijatého bitu. Pokud se jeho šířka nachází v rozmezí 1600 až 2000 ms, jedná se o začátek přenosu informace od vysílače `DCF77` a taktéž je tím signalizován začátek nové minuty. Index pořadí přijatých bitů `bitDCF` je vynulován. Pulz o šíři 750 až 849 ms je vyhodnocen jako logická 1 a je uložen do pole dat, kdy index `bitDCF` pole `poleDCF` je inkrementován pro další přijatý bit. Rozmezí 849 až 1000 ms je vyhrazeno pro příjem logické nuly.

Pokud index pro zápis do pole dat `bitDCF` dosáhne hodnoty 58, tzn. všechny bity zprávy byly přijaty, je provedena kontrola bezchybného příjmu funkcí `PrevodPoleDCF()` zapsané v `dcf77_remote.c`. Nejprve je zkontrolován bit číslo 20 na hodnotu logická 1. Dále je provedena kontrola sudé parity minuty a hodiny. Pokud některá z podmínek platnosti dat není splněna, je pokus o příjem času opakován a do hlavní stanice nejsou data odeslána. Jestliže jsou všechny podmínky splněny, jsou jednotlivé bity uspořádány do příslušných proměnných dle obrázku 11 v kapitole 4.4. a je nastaven příznakový bit `SA_TIME_READY`.

Připravená data o čase a datu jsou nahrána do odesílací vyrovnávací paměti `aReceiveBuffer` a je nastaven příznakový bit o provedení této funkce. Následně je volána funkce `p2p_process(aTransmitBuffer, TxLength, aReceiveBuffer, RxLength)` obsluhující `SPSGRF` modul a po příchodu potvrzení o doručení je `DCF` modul odpojen od napájení.

Pokud je bit `SA_GET_DCF77_TIME` nulový, jsou hlavní stanicí požadována data o stavu akumulátoru a data z `PHT` senzoru. Kontroluje se tedy připravenost dat k odeslání za pomoci výše zmíněných příznakových bitů. Po splnění této podmínky jsou nahrána data do odesílací vyrovnávací paměti v pořadí dle tabulky 2 v kapitole 5.1.4. a následně odeslány.

5.2.4. Komunikace

Komunikace mezi stanicemi opět vychází z příkladu od STMicroelectronics jako v případě hlavní stanice. V tomto případě je výchozím stavem modulu odesílání dat a příjem je využíván pouze v pro potvrzení odeslání dat spojeným s příjmem příkazů.

Jestliže je přijato pouhé potvrzení odeslání dat bez požadavku o aktuální čas z DCF modulu, je nastaven příznakový bit `SA_DATA_SEND_SUCCES`, což vede k vynulování celé proměnné *stavAplikace*. Pokud odeslaná data nesla informaci o čase, je vypnuto napájení DCF modulu pro snížení spotřeby.

Při příjmu požadavku o aktuální čas je nastaven příznakový bit `SA_GET_DCF77_DATA` společně s bitem o úspěchu odeslání dat a také je zapnuto napájení pro DCF modul. V tomto případě je proměnná *stavAplikace* nulována vyjma právě nastaveného bitu `SA_GET_DCF77_DATA`.

5.2.5. Cyklus ukončen

Jestliže byla všechna data úspěšně odeslána, je bit `SA_CYCLE_ONGOING` ve stavu logická 0, což je vyhodnoceno jako stav, kdy může vzdálená stanice přejít do stop módu za účelem snížení spotřeby. Aby z tohoto stavu nebyl probouzen každou 1 milisekundu časovačem `SysTick`, je jím vyvolávané přerušení zakázáno. Ve stop módu jsou všechny vstupně výstupní piny drženy ve stejném stavu, jako za běžného běhu. Je zvolen nízkopříkonový napěťový regulátor a opuštění zvoleného módu je vykonáno při příchodu přerušení.

Čeká se tedy na příchod nového bitu informace o čase či na dočítání časovače, který probouzí mikrokontrolér každé 3 minuty. Po opuštění stop módu je opět povoleno přerušení od `SysTick`, které je potřebné pro funkci zařízení v cyklech čekání či odměřování délky pulzu.

ZÁVĚR

Cílem práce byl návrh a realizace zařízení pro sběr meteorologických veličin jako jsou teplota, tlak či relativní vlhkost se schopností zálohovat a prezentovat naměřená data. Pro splnění požadavků zadání se musí výsledný systém skládat ze dvou zařízení, z nichž jedno slouží k měření, zálohování, zobrazení naměřených dat a také poskytuje možnost komunikace s nadřazeným systémem pro další zpracování naměřených dat. Druhé zařízení, v práci označované jako vzdálená stanice, plní funkci měření dat v exteriéru a následně je zasílá pomocí RF modulu do hlavní stanice.

Vzhledem k povaze projektu je práce vyhotovena za pomoci vývojových kitů od STMicroelectronics za účelem eliminace možných nadbytečných obtíží s okolními obvody mikrokontroléru, čímž pádem je možné se lépe soustředit na splnění bodů zadání. Zároveň tak návrh získává vysokou univerzalitu a je tak možné výslednou funkci softwarově upravit dle dalších požadavků.

Zobrazovací jednotku tvoří TFT displej s dotykovou vrstvou, který umožňuje nejen přehledné zobrazení, ale i snadné ovládání, kdy funkce a popis tlačítka lze za běhu aplikace měnit.

Vytvořené zařízení by kvůli své univerzalitě a s ní spojenými vyššími náklady pravděpodobně nebylo konkurenceschopné a bylo by tak vhodné provést cenovou optimalizaci. Prvním krokem by mohlo být opuštění vývojových kitů, kdy by zároveň bylo dosaženo značné optimalizace co do rozměrů zařízení. Druhou významnou položkou je lithium iontový akumulátor a okolní obvody zajišťující jeho bezpečný provoz. V případě hlavní stanice by od něj mohlo být zcela upuštěno, vzhledem k vyšší spotřebě zapříčiněné zobrazovací jednotkou a stále spuštěným RF modulem. Pořizovací cena celého bateriového managementu včetně samotného akumulátoru je okolo 300 Kč s DPH, přičemž síťový adaptér vychází přibližně na 100 Kč s DPH.

Odesílání naměřených dat je vyřešeno za pomoci sériového rozhraní UART. Pro možnost dalšího zpracování by tak bylo vhodné vytvořit desktopovou aplikaci, která by taktéž umožnila uživatelsky přívětivější rozhraní nežli zobrazovací jednotka umístěna na zařízení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] RUDA, Aleš. Úvod do studia meteorologie a klimatologie. *Klimatologie a hydrogeografie pro učitele* [online]. Brno, 2014, (1) [cit. 2018-05-08]. ISSN 1802-128X. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/index.html
- [2] ĎAĎO, Stanislav a Marcel KREIDL. *Senzory a měřicí obvody*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. ISBN 80-010-1500-9.
- [3] *KP234 Datasheet: Analog absolute pressure sensor* [online]. Munich: Infineon Technologies, 2010 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: https://cz.mouser.com/datasheet/2/196/KP234_DS_Rev_1.0-68747.pdf
- [4] *MS5637-02BA03 Datasheet: Low Voltage Barometric Pressure Sensor* [online]. Measurement Specialties, 2013 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: https://cz.mouser.com/datasheet/2/418/NG_DS_MS8607-02BA01_B3-1134999.pdf
- [5] *DS18S20 Datasheet: High-Precision 1-Wire Digital Thermometer* [online]. Maxim Integrated Products, 2015 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18S20.pdf>
- [6] *LMT87 Datasheet: Analog Temperature Sensors With Class-AB Output* [online]. Dallas: Texas Instruments Incorporated, 2014 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmt87.pdf>
- [7] *Účinky vlhkosti na sbírkové materiály* [online]. Opava: Slezská univerzita v Opavě, c2011-2018 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: http://www.slu.cz/slu/cz/projekty/webs/zkvalitneni/vystupy-1/uhv-m0096-preventivni-konzervace/vlhkost/at_download/file
- [8] *HDC1010 Datasheet: Low Power, High Accuracy Digital Humidity Sensor with Temperature Sensor* [online]. Dallas: Texas Instruments Incorporated, 2016 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/hdc1010.pdf>
- [9] *HIH-5030/5031 Datasheet: Low voltage humidity sensors* [online]. Minneapolis: Honeywell International, 2010 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: https://sensing.honeywell.com/index.php?ci_id=49692
- [10] Levné meteostanice. *Alza* [online]. Praha: Alza, c1994-2018 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/levne-meteostanice/18851185.htm#f&cst=1&pg=1-4&pn=1&prod=&sc=8550>
- [11] *CEM DT-171 Datasheet: Datalogger pro měření teploty a vlhkosti* [online]. 2007 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/czn.729-097.1.pdf>
- [12] *DL-141TH Datasheet: Teplotní/vlhkostní datalogger* [online]. Conrad Electronic, 2011 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/100000-124999/105055-an-01-cs-Datalogger_teplova_vlhkost.pdf

- [13] *Microcontrollers* [online]. STMicroelectronics, c2018 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.st.com/en/microcontrollers.html>
- [14] STM32L475VG. *STMicroelectronics* [online]. STMicroelectronics, c2018 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.st.com/en/microcontrollers/stm32l475vg.html>
- [15] B-L475E-IOT01A. *STMicroelectronics* [online]. STMicroelectronics, c2018 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.st.com/en/evaluation-tools/b-l475e-iot01a.html>
- [16] SPSGRF: Sub-GHz (868 or 915 MHz) low power programmable RF transceiver modules. *STMicroelectronics* [online]. STMicroelectronics, c2018 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.st.com/en/wireless-connectivity/spsgrf.html>
- [17] HTS221: Capacitive digital sensor for relative humidity and temperature. *STMicroelectronics* [online]. STMicroelectronics, c2018 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: http://www.st.com/content/st_com/en/products/mems-and-sensors/humidity-sensors/hts221.html
- [18] LPS22HB: Ultra-compact piezoresistive absolute pressure sensor. *STMicroelectronics* [online]. STMicroelectronics, c2018 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: http://www.st.com/content/st_com/en/products/mems-and-sensors/pressure-sensors/lps22hb.html
- [19] *MX25R6435F Datasheet* [online]. MACRONIX INTERNATIONAL, 2017 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.macronix.com/Lists/Datasheet/Attachments/6746/MX25R6435F,%20Wide%20Range,%2064Mb,%20v1.4.pdf>
- [20] SPI TFT LCD Touch Panel. *AliExpress* [online]. Fanjin Store [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/?spm=2114.12010608.1000002.1.238b3927pWIpR6>
- [21] *ILI9341 Datasheet: TFT LCD Single Chip Driver* [online]. Jhubei City: ILI TECHNOLOGY, 2010 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/ILI9341.pdf>
- [22] *UR18650F: Lithium Ion* [online]. SANYO Energy, c2012 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://html.alldatasheet.com/html-pdf/598214/PANASONICBATTERY/UR18650F/1537/1/UR18650F.html>
- [23] *BQ297x* [online]. Dallas: Texas Instruments Incorporated, c2017 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq2973.pdf>
- [24] *BQ21040* [online]. Dallas: Texas Instruments Incorporated, 2016 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq21040.pdf>

- [25] *RP402x Series: High Efficiency Small Packaged Step-up DC/DC Converter* [online]. Ricoh electronic devices [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://www.mouser.com/ds/2/792/rp402-ea-911532.pdf>
- [26] *STM32L031x6* [online]. STMicroelectronics, 2018 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/aa/5d/77/ad/1a/59/4a/b9/DM00140359.pdf/files/DM00140359.pdf/jcr:content/translations/en.DM00140359.pdf>
- [27] *MS8607-02BA01: PHT Combination Sensor* [online]. TE Connectivity, 2017 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.te.com/commerce/DocumentDelivery/DDEController?Action=srchrtrv&DocNm=MS8607-02BA01&DocType=DS&DocLang=English>
- [28] *TPS6113x: Synchronous SEPIC and Flyback Converter* [online]. Dallas: Texas Instruments Incorporated, c2017 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps61131.pdf>
- [29] *Přijímací DCF deska C-Control* [online]. Conrad, c2018 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: https://www.conrad.cz/prijimaci-dcf-deska-c-control-2-5-15-v-dc-3-ma.k641138?gclid=EAAlaIQobChMImNG74_eC2wIVBpUbCh15NAhIEAAYASAAAEgKV2_D_BwE
- [30] Special Topic 50 years of time dissemination with DCF77. *PTB Mitteilungen* [online]. Bremerhaven: Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, 2009, **119**(3), 3-21 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/fachabteilungen/abteilung_4/4.4_zeit_und_frequenz/pdf/2011_PTBMitt_50a_DCF77_engl.pdf
- [31] ROLLINEK, Jakub. *HISTORICKÉ HODINY S DIGITRONY ŘÍZENÉ SIGNÁLEM DCF77* [online]. Brno, 2011 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=41646.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Michal Kubíček.
- [32] *XPT2046* [online]. Shenzhen xptek technology, c2007 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.buydisplay.com/download/ic/XPT2046.pdf>
- [33] ARTNAK, Matej. *STM32-ILI9341* [online]. c2017 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://github.com/martnak/STM32-ILI9341>
- [34] *Farnell* [online]. Leeds: Farnell element14, c2018 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://cz.farnell.com/>
- [35] *B-L475E-IOT01A* [online]. STMicroelectronics, c2018 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.st.com/en/evaluation-tools/b-l475e-iot01a.html>
- [36] *KiCad EDA* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://kicad-pcb.org/>

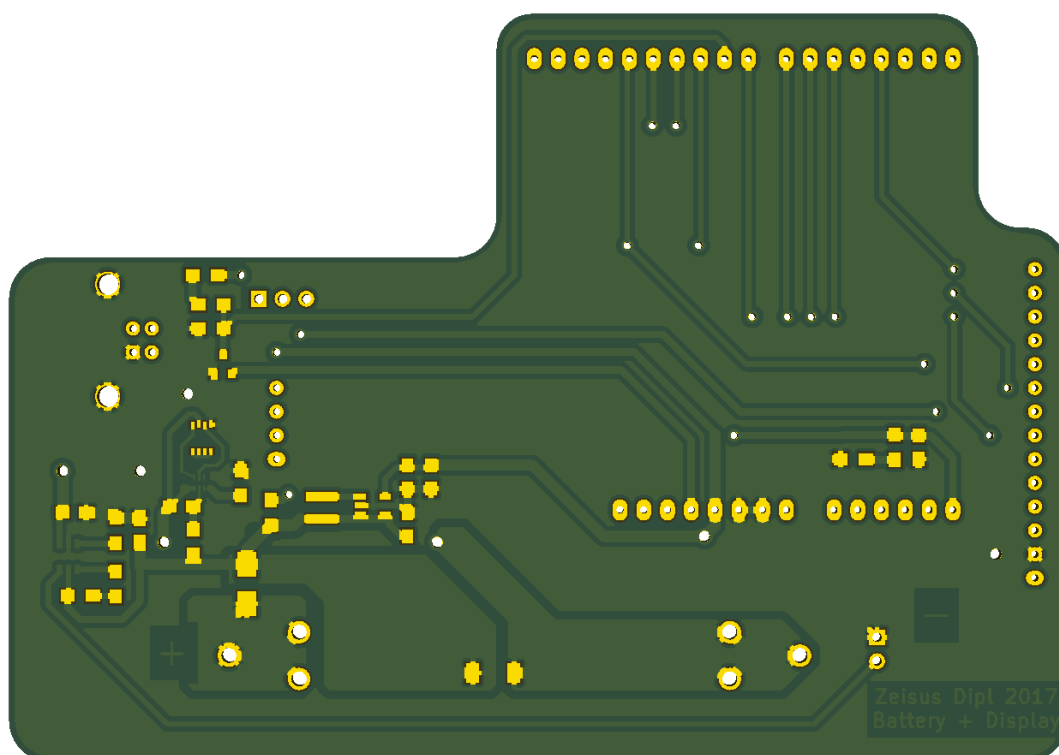
- [37] NUCLEO-L031K6. *STMicroelectronics* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-l031k6.html>
- [38] *TrueStudio* [online]. Jönköping: Atollic [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://atollic.com/truestudio/>
- [39] STM32CubeMX: STM32Cube initialization code generator. *STMicroelectronics* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://www.st.com/en/development-tools/stm32cubemx.html>

SEZNAM PŘÍLOH

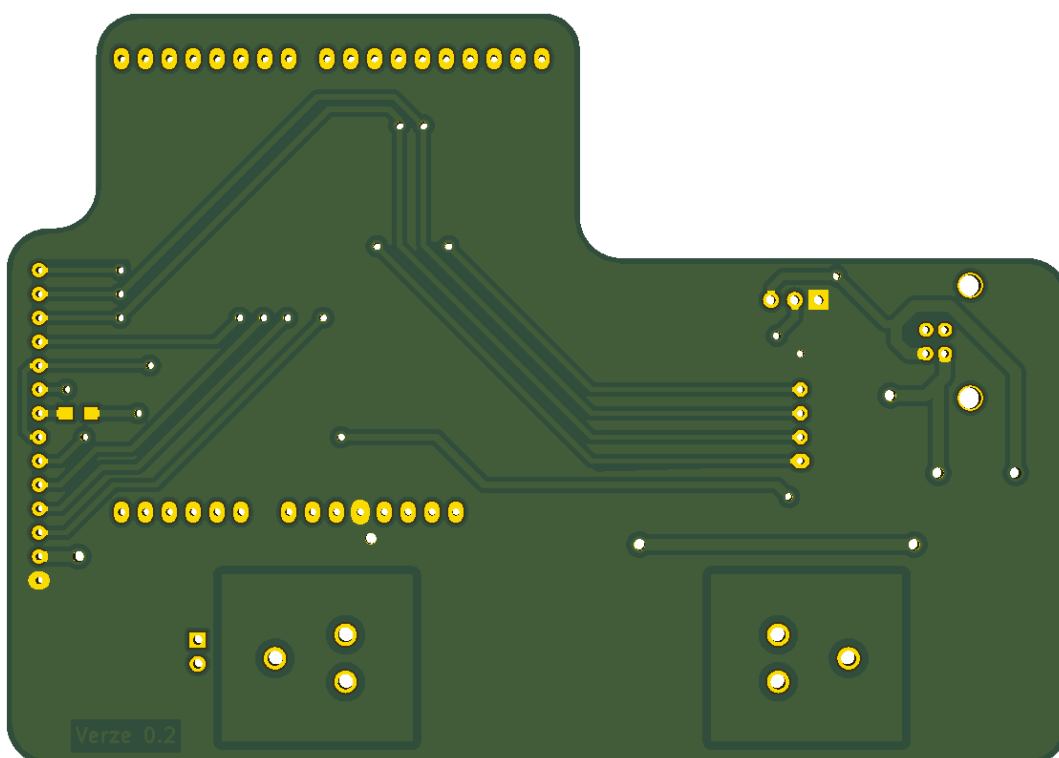
Příloha A:	Realizace hlavní stanice	62
Příloha B:	Realizace vzdálené stanice	66

PŘÍLOHY

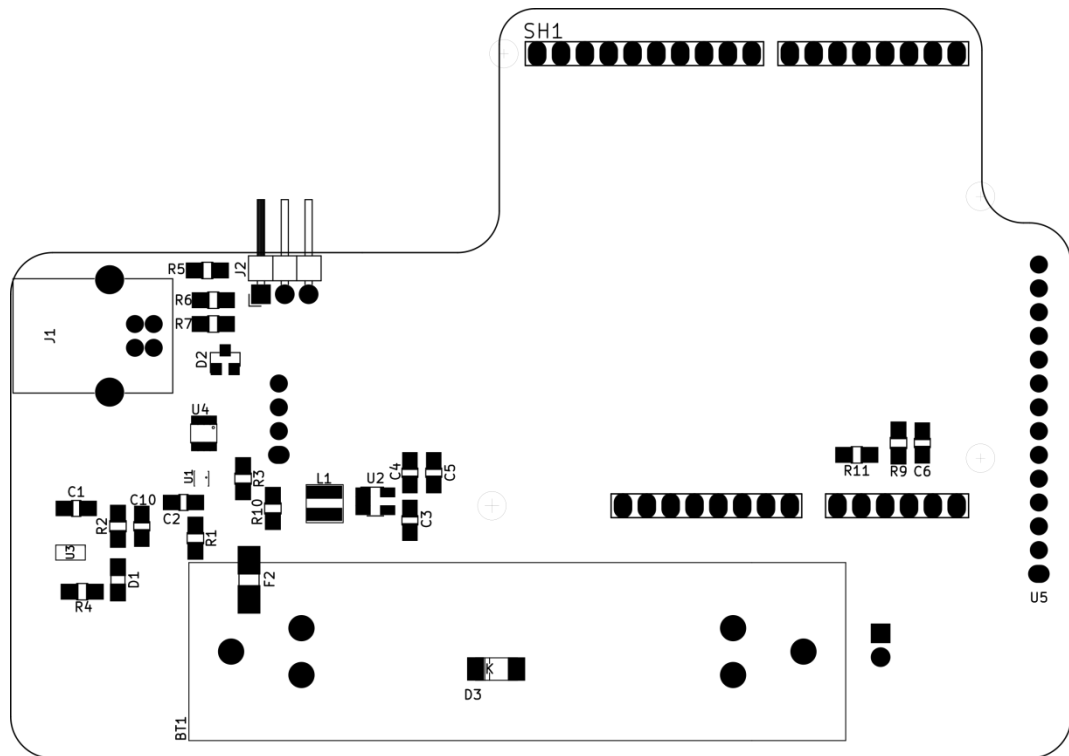
Příloha A: Realizace hlavní stanice



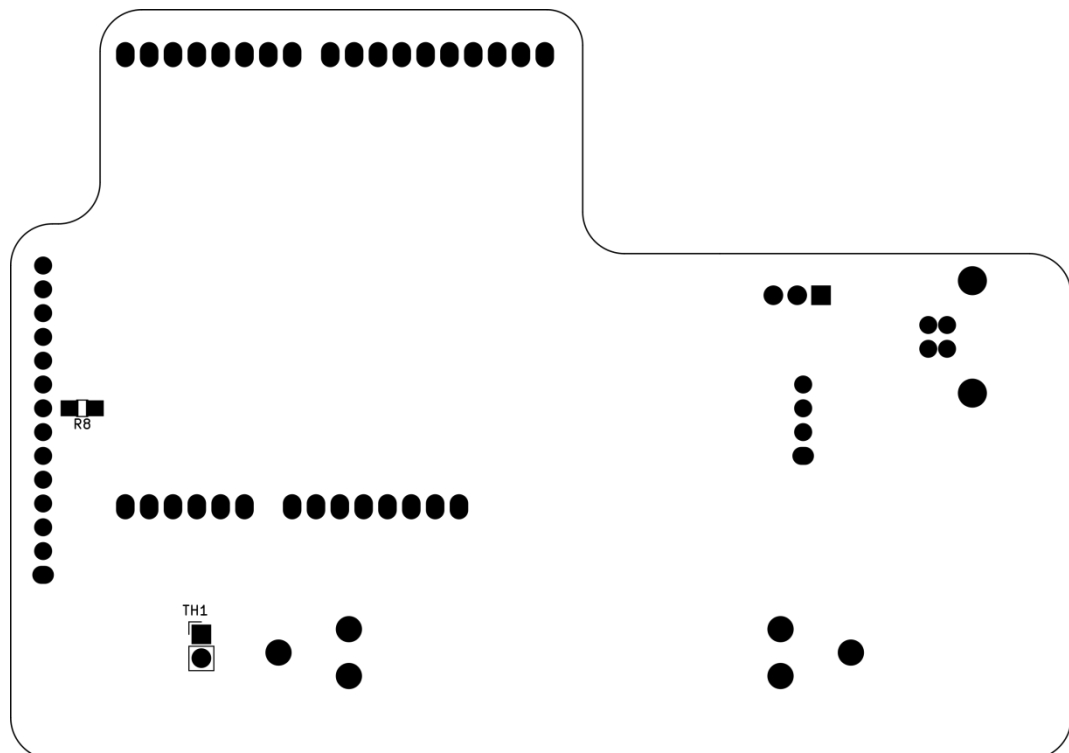
P. Obr. 1 - Model DPS navržené propojovací desky – vrstva TOP



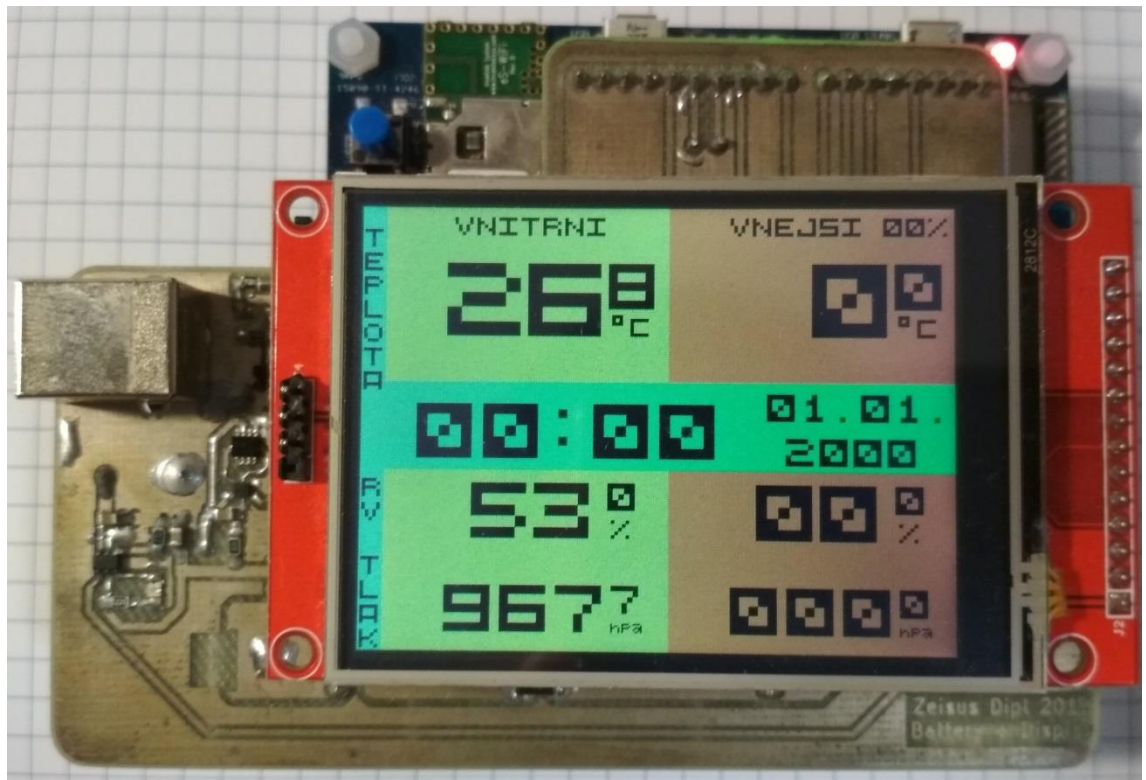
P. Obr. 2 - Model DPS navržené propojovací desky – vrstva BOT



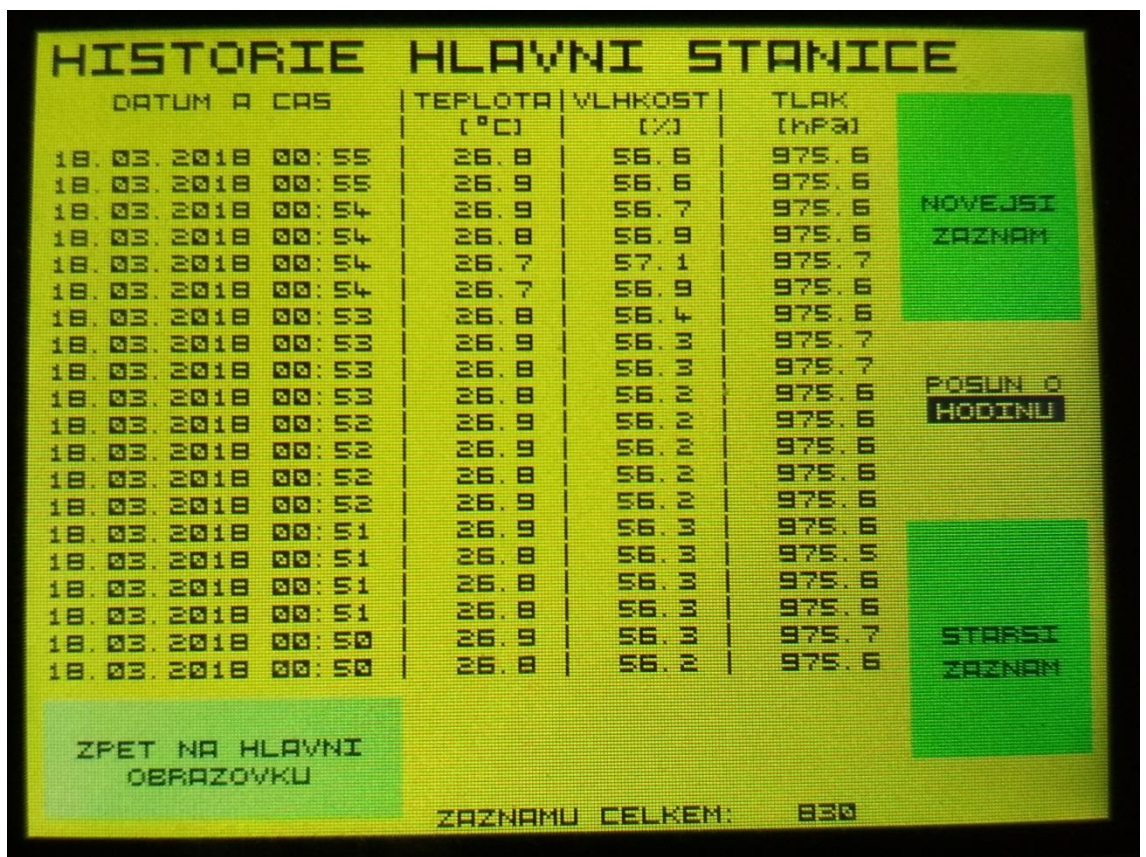
P. Obr. 3 - Osazovací výkres propojovací desky – vrstva TOP



P. Obr. 4 - Osazovací výkres propojovací desky – vrstva BOT

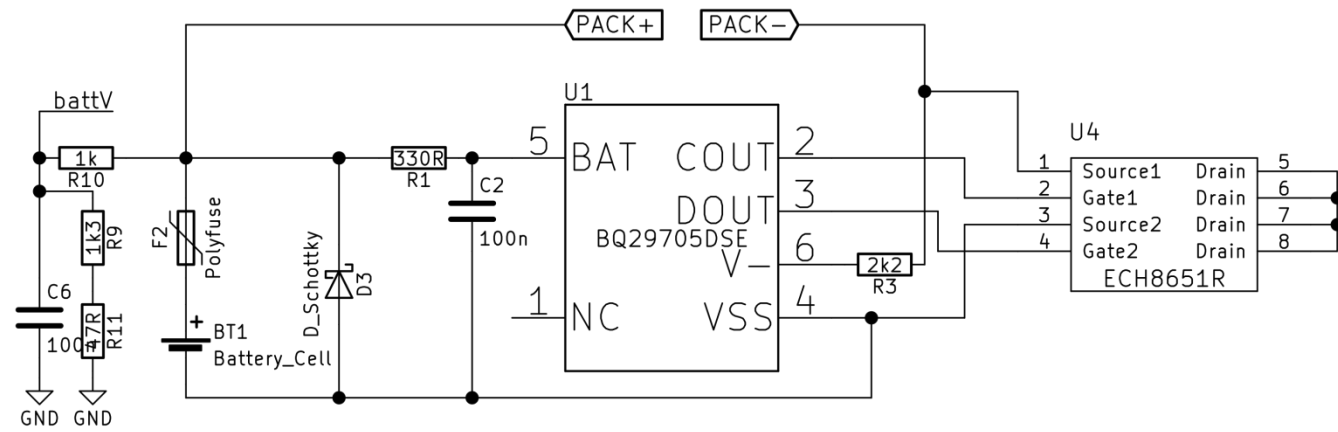


P. Obr. 5 - Reálný vzhled hlavní stanice – hlavní obrazovka

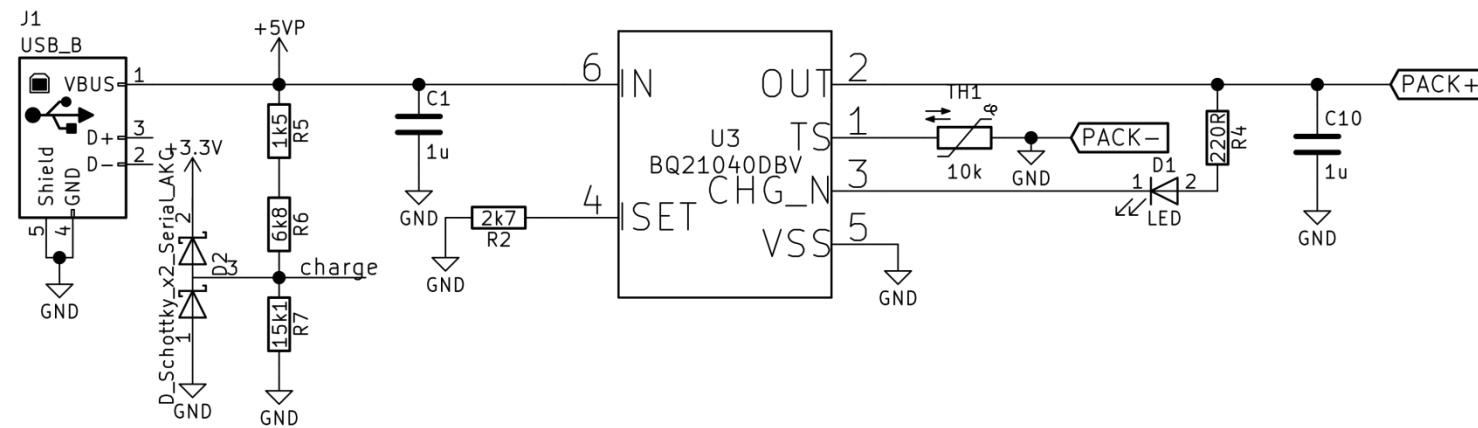


P. Obr. 6 - Reálný vzhled – obrazovka historie

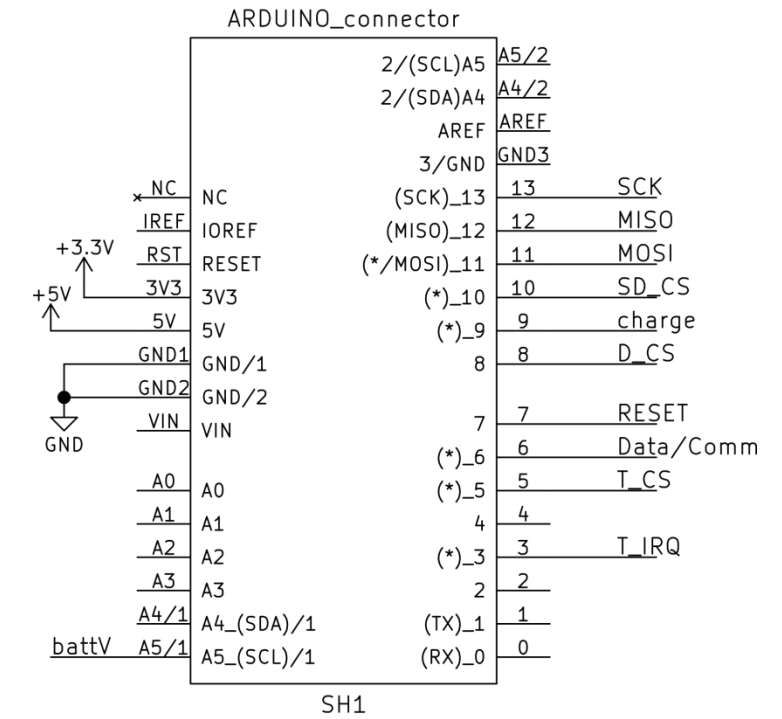
Baterie a ochrana



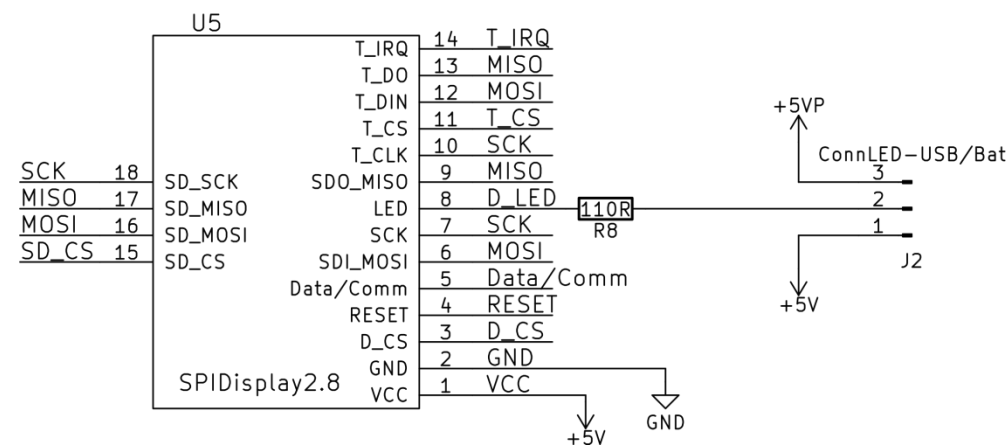
Nabíječka Li-ion



Discovery kit

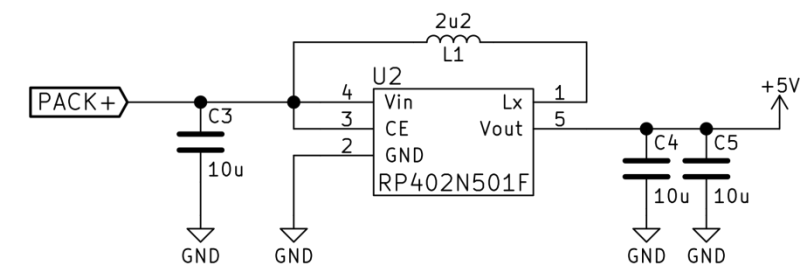


Displej – zobrazovač, dotyková vrstva a SD slot

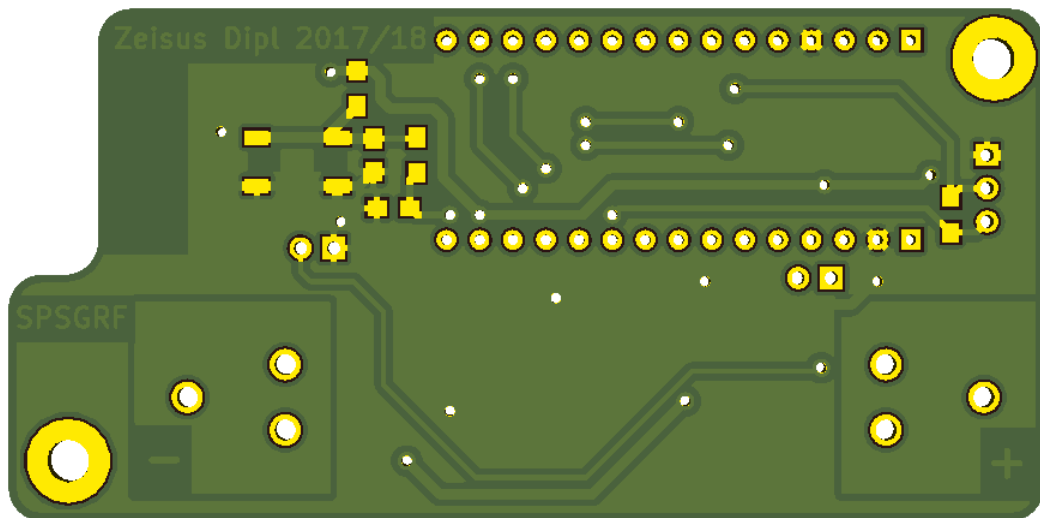


P. Obr. 7 - Schéma zapojení navržené propojovací desky

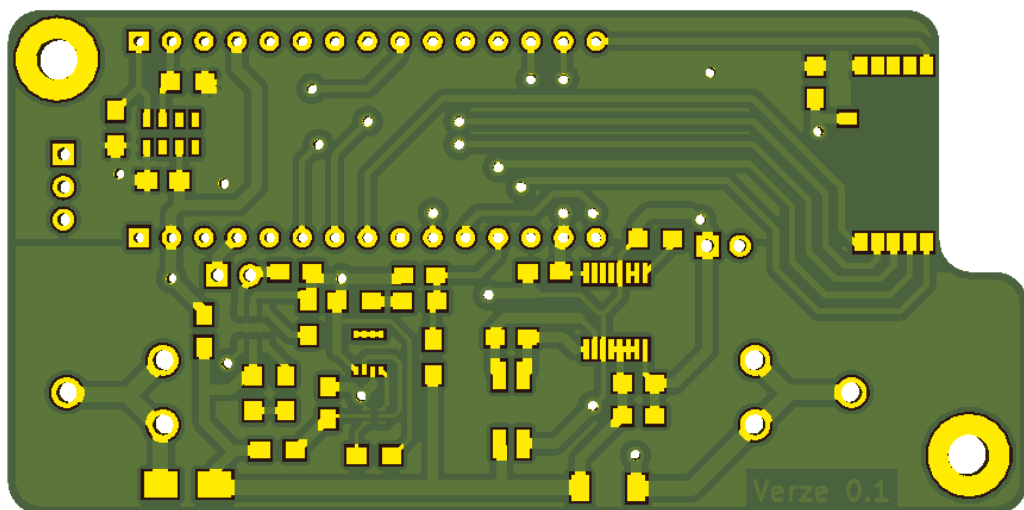
Zvyšující měnič



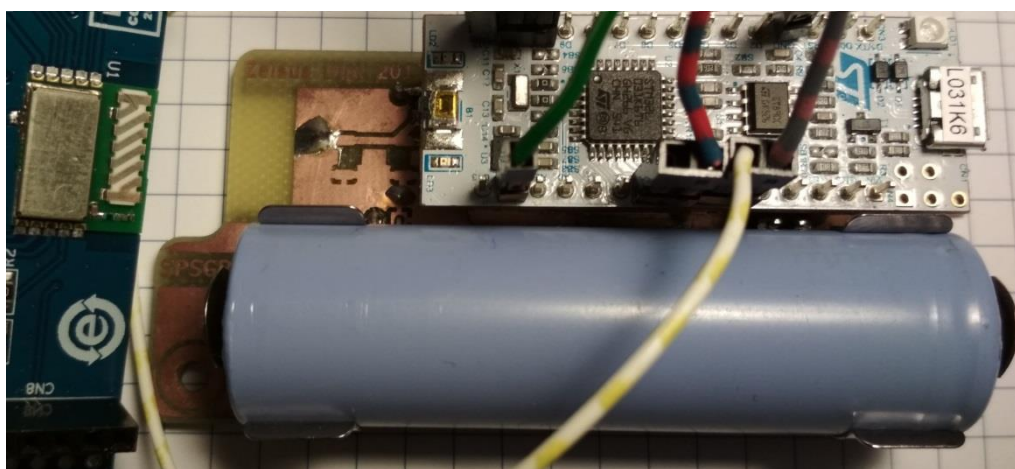
Příloha B: Realizace vzdálené stanice



P. Obr. 8 - Model DPS vzdálené stanice – vrstva TOP

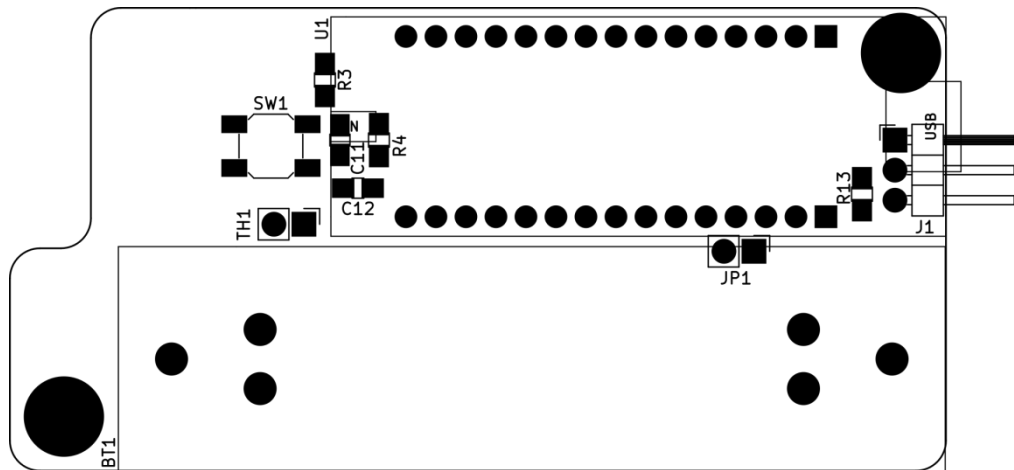


P. Obr. 9 - Model DPS vzdálené stanice – vrstva BOT

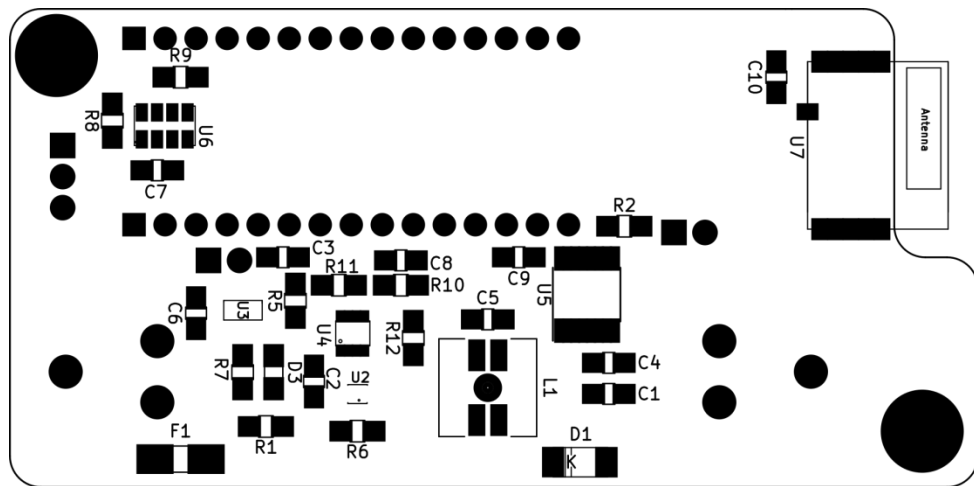


P. Obr. 10 - Modul vzdálené stanice (SPSGRF modul vlevo)

Pozn. RF modul je připojen pouze drátovými propojkami pro otestování funkčnosti.

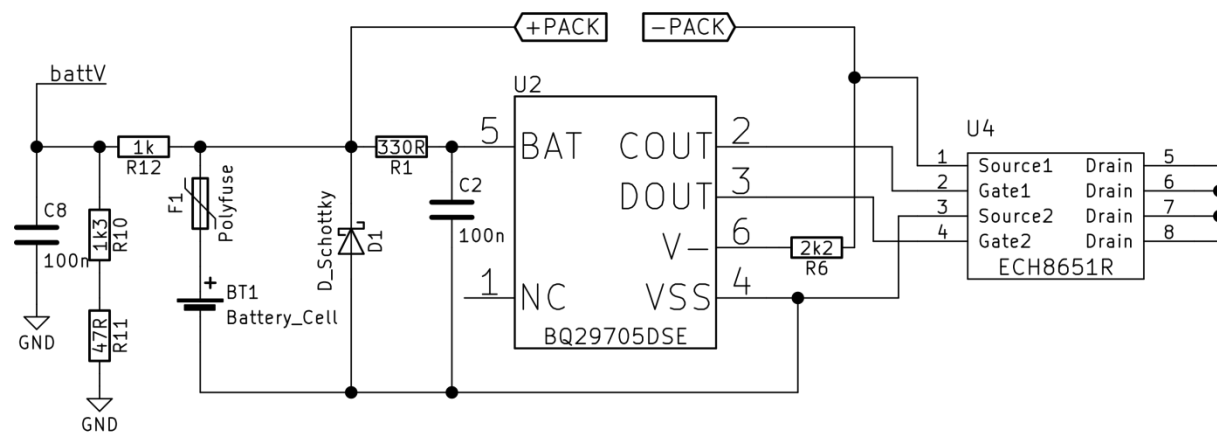


P. Obr. 11 - Osazovací výkres DPS vzdálené stanice – vrstva TOP

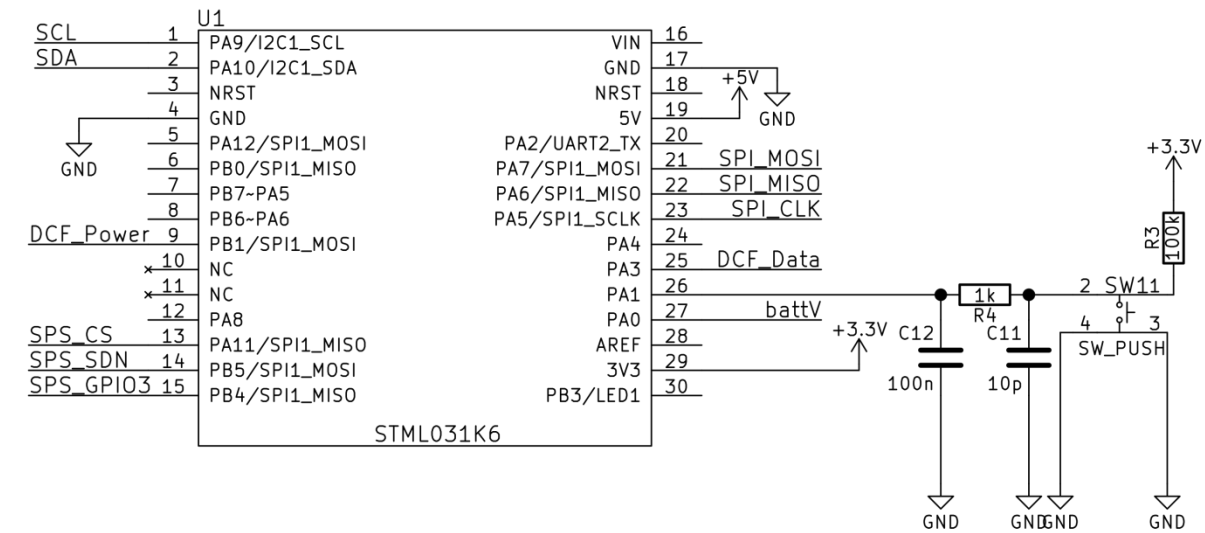


P. Obr. 12 - Osazovací výkres DPS vzdálené stanice – vrstva BOT

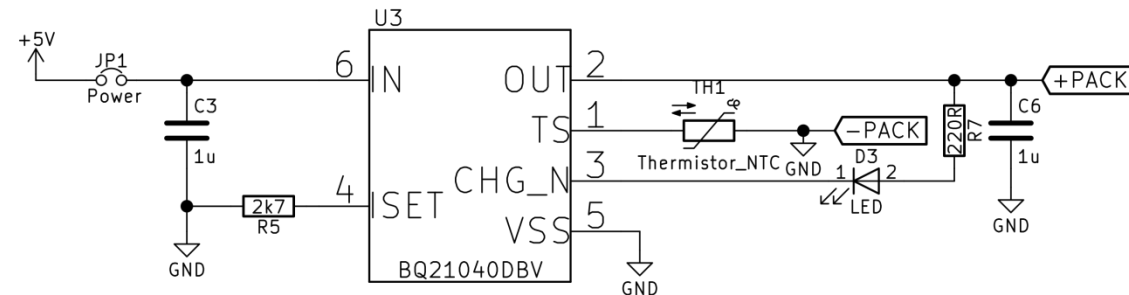
Baterie a ochrana



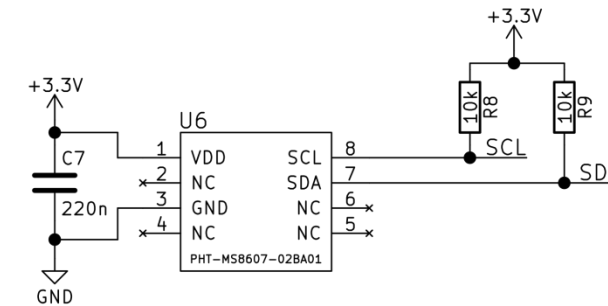
Nucleo kit



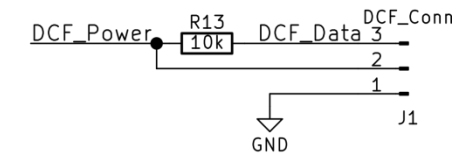
Nabíječka Li-ion



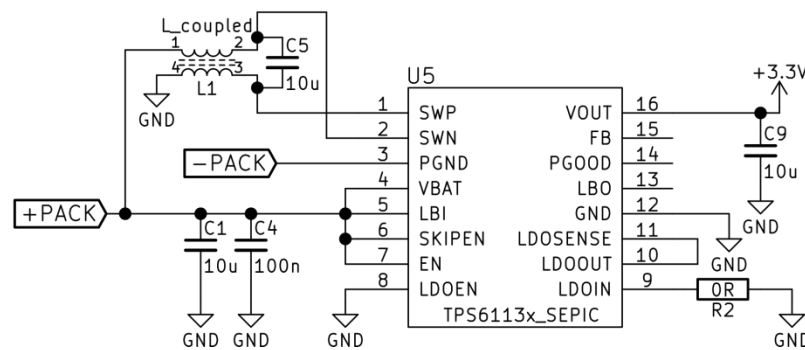
PHT senzor



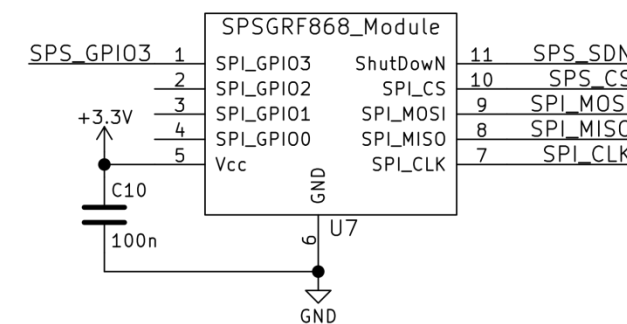
DCF modul



SEPIC měnič



SPSGRF modul



P. Obr. 13 - Schéma zapojení vzdálené stanice