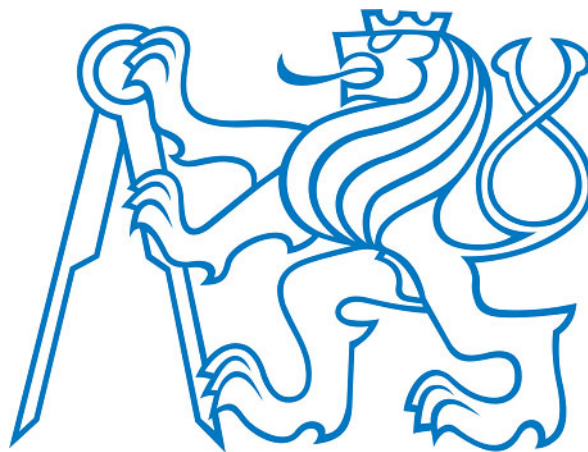


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**  
**Katedra mikroelektroniky**



**Přenos senzorových dat s využitím GSM**

Diplomová práce

Praha 2014

Vypracoval: Bc. Michal Hrouda

Vedoucí práce: Prof. Ing. Miroslav Husák, CSc

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. H R O U D A Michal**

Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika  
Obor: Elektronika

Název tématu: **Přenos sensorových dat s využitím GSM**

### Pokyny pro vypracování:

1. Proveďte rozbor stávajícího stavu řešení systémů pro sběr sensorových dat z více míst s využitím GSM systému.
2. Navrhněte elektronický systém pro sběr dat ze sensorů a jejich přenos s využitím GSM systému. Vstupní rozhraní navrhněte univerzálně, aby bylo možné připojovat různé typy sensorů a dále aby byla zajištěna možnost rozšiřitelnosti počtu vstupů systému. Optimalizujte návrh pro minimalizaci spotřeby energie z baterie. Navrhněte software pro řízení činnosti celého systému, zejména konfiguraci, příjem a vizualizaci sensorových dat.
3. Realizujte funkční vzorek zařízení systému s minimálně 3 vybranými typy sensorů fyzikálních veličin s vhodným serverovým rozhraním a webovou aplikací pro vizualizaci sensorových dat a aplikace pro konfiguraci vlastního zařízení.
4. Proveďte jednoduchý ekonomický rozbor s úvahou pro výrobu navrženého systému.

### Seznam odborné literatury:

1. Neumann, P.-Uhlíř, J.: Elektronické obvody a funkční bloky (I, II), ČVUT 2001
2. Krejčířík A.: SMS, GSM pagery a alarmy, nakladatelství BEN, Praha 2004
3. Flajzar T.: GSM alarm, nakladatelství BEN, Praha 2005
4. Kříšťan L., Vachala V.: Příručka pro navrhování elektronických obvodů, nakladatelství SNTL, Praha 1982

Vedoucí: **Prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.**

Platnost zadání: 31. 8. 2015

Prof. Ing. Miroslav Husák, CSc.  
vedoucí katedry



Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
děkan

V Praze dne 17. 2. 2014

## **Prohlášení**

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

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne .....

.....

podpis

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat Prof. Ing. Miroslavu Husákovi, CSc. za odborné vedení diplomové práce. Dále bych rád poděkovat všem známým, kolegům a kamarádům, kteří mi poskytovali inspiraci při psaní této práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat celé mojí rodině, která mi při studiu poskytovala zázemí a podporu.

## **Abstrakt**

Cílem této práce byl návrh a realizace GSM záznamníku, schopného měřit hodnoty z různých druhů senzorů, zaznamenávat naměřené hodnoty na paměťovou kartu a odesílat tyto naměřené hodnoty po síti GSM. První část práce se zabývá průzkumem trhu a analýzou specifikací záznamníku dostupných v současné době. V následujících kapitolách je popsán vývoj hardware a software všech součástí záznamníku, konfigurační aplikace pro PC a webová aplikace. Nakonec byl vyhotoven i ekonomický rozbor celého zařízení.

Klíčová slova: Záznamník, GSM, Snímače, SD karta, Modbus, 1-Wire

## **Abstract**

The target of this work was to design and manufacture GSM logger that is able to measure values from the various types of sensors, record these values on the memory card and transfer them via GSM network. First part of this work is focusing on the market research and analysis of the specifications of the GSM loggers that are currently available on the market. Hardware and software design of the blocks of the logger, configuration application for the PC and the web application is described in the next chapters. Economical analysis of the whole device was made at the end.

Keywords: Logger, GSM, Sensors, SD card, Modbus, 1-Wire

# Obsah

1. Úvod .....	10
2. Průzkum trhu .....	11
2.1. Rozhraní senzorů v měřící technice .....	11
2.1.1. Analogové rozhraní 0 až 10V .....	12
2.1.2. Analogové rozhraní 0 až 20mA a 4 až 20mA .....	12
2.1.3. Odporové teplotní senzory .....	12
2.1.4. Digitální rozhraní 1-Wire .....	13
2.1.5. Digitální rozhraní Modbus RTU .....	13
2.2. Předběžná specifikace navrhovaného zařízení .....	14
2.3. GSM zařízení dostupná na trhu .....	14
2.3.1. HWgroup Ares 14 .....	15
2.3.2. Isodaq Hawk RT .....	16
2.3.3. Isodaq Tadpole GSM/GPRS .....	18
2.3.4. Ibexis Micro MSP .....	19
2.3.5. Aptifirst AGT .....	21
2.3.6. Sensormetrix Argon 100 GSM .....	22
2.3.7. Comet T-PRINT G0841M .....	23
2.3.8. Comet kit-GSM-L a záznamíky řady Sxxxx a Rxxxx .....	24
3. Návrh GSM záznamníku .....	26
3.1. Specifikace GSM záznamníku .....	27
3.2. Bloky základní desky .....	28
3.3. Blok portů pro měřící karty .....	29
3.3.1. Posuvné registry portů .....	30

3.3.2. Express slot .....	31
3.4. Napájecí bloky základní desky.....	32
3.4.1. Napájecí zdroj 3,3 V.....	32
3.4.2. Napájecí zdroj 3.9 V pro GSM modul .....	33
3.4.3. Napájecí zdroj 12V.....	34
3.4.4. Podpěťová ochrana akumulátoru.....	35
3.4.5. Nabíjecí obvod .....	36
3.4.6. Deska akumulátorů.....	37
3.5. Blok mikrokontroléru.....	38
3.5.1. SD karta.....	39
3.6. GSM modul.....	40
3.7. Spotřeba základní desky.....	41
4. Návrh měřících desek.....	42
4.1. Specifikace elektronických vlastností .....	42
4.2. Komunikační rozhraní měřících karet.....	43
4.2.1. Komunikační rozhraní SPI .....	43
4.2.2. Komunikační rozhraní I2C.....	44
4.3. Příklady návrhu měřících desek .....	45
4.3.1. Návrh měřící desky pro -10 ~ +10V .....	45
4.3.2. Návrh měřící desky pro 0 ~ 20mA.....	48
4.3.3. Návrh převodníku pro 1-Wire.....	48
4.3.4. Návrh převodníku pro Modbus .....	50
4.3.5. Návrh měřící desky pro PT100 a PT1000 .....	52
5. Software .....	53
5.1. Popis firmware .....	53

5.2. EEPROM měřících karet.....	53
5.3. Popis PC aplikace pro konfiguraci GSM loggeru přes USB.....	54
5.4. Popis webového API pro přes příjem dat ze záznamníku.....	56
5.5. Popis webového rozhraní pro práci s naměřenými daty .....	57
6. Ekonomická rozvaha .....	58
6.1. Metodika a aplikace použité pro nacenění zařízení .....	58
6.2. Nacenění zařízení .....	59
6.3. Porovnání nákladů na výrobu s cenou konkurenčních zařízení .....	61
7. Závěr.....	62

## Seznam použitých zkratek a symbolů

GSM	- Globální systém pro mobilní komunikaci
GPRS	- General packet radio service
SMS	- Short message service ( Služba krátkých textových zpráv)
SD	- Secure digital
MMC	- Multi media card
USB	- Universal serial bus
TCP/IP	- Transmission Control Protocol / Internet protocol
XML	- Extensible markup language (Rozšířený značkovací jazyk)
CSV	- Comma-separated values
SDK	- Software development kit
SCADA	- Supervisory, control and data acquisition
MCU	- Microcontroller
HTTP	- Hypertext transfer protocol
UART	- Universal asynchronous receiver/transmitter
SMD	- Surface-mount device
SCL	- Serial clock signal
SDA	- Serial data line
I2C	- Inter-Integrated Circuit
ACK	- Acknowledge
EEPROM	- Electrically erasable programmable read-only memory
LiFePO4	- Lithium iron phosphate battery
API	- Application programming interface



## Seznam obrázků

Obr. 1. Fotografie prototypu GSM záznamníku.....	10
Obr. 2. Čtyřvodičové zapojení senzoru PT1000, převzato [1] .....	12
Obr. 3. Příklad zapojení teplotního senzoru pro rozhraní 1wire, převzato[2] .....	13
Obr. 4. HWgroup Ares 14, převzato[3] .....	15
Obr. 5. Isodaq Hawk RT GSM/GPRS logger, převzato[4] .....	16
Obr. 6. Isodaq Tadpole GSM/GPRS, převzato[5] .....	18
Obr. 7. Ibexis micro MSP, převzato[6] .....	19
Obr. 8. Aptifirst AGT, převzato[7] .....	21
Obr. 9. Sensormetrix Argon 100 GSM, převzato[8] .....	22
Obr. 10. Comet T-PRINT, převzato[9] .....	23
Obr. 11. Comet kit-GSM-L a záznamík řady Sxxxx, převzato[10] .....	24
Obr. 12. Fotografie základní desky GSM záznamníku .....	26
Obr. 13. Blokové schéma GSM záznamníku .....	28
Obr. 14. Zapojení všech portů pro měřicí karty na společné datové sběrnice.....	29
Obr. 15. Zapojení s posuvnými registry .....	30
Obr. 16. Schéma zapojení portu pro měřicí kartu (Express slot) .....	31
Obr. 17. Zdroj napájecího napětí 3,3 V .....	32
Obr. 18. Zdroj napájecího napětí pro GSM modul.....	33
Obr. 19. Zdroj napájecího napětí 12V .....	34
Obr. 20. Podpěťová ochrana.....	35
Obr. 21. Schéma nabíjecího obvodu.....	36
Obr. 22. Fotografie a schéma desky s LiFePO4 články .....	37
Obr. 23. Schéma zapojení SD karty .....	39
Obr. 24. Schéma zapojení GSM modulu.....	40
Obr. 25. Layout VF části GSM modulu .....	41
Obr. 26. Výkres desky .....	42
Obr. 27. Zapojení pinů.....	43
Obr. 28. Příklad SPI komunikace, převzato [27].....	44
Obr. 29. Příklad I2C komunikace, převzato [27] .....	44
Obr. 30. Tříkanálová měřicí deska -10 až 10 V.....	45

Obr. 31. Schéma zapojení sdílené analogové části.....	46
Obr. 32. Schéma zapojení LC filtru, zdroje offsetu a jednoho ze tří kanálu -10 až 10 V ...	47
Obr. 33. Schéma zapojení LC filtru a jednoho ze tří kanálů 0 až 20 mA.....	48
Obr. 34. Příklad průběhu komunikace na sběrnici 1-Wire, převzato [35].....	49
Obr. 35. Měřicí deska 1-Wire.....	49
Obr. 36. Příklad datového rámce Modbus RTU.....	50
Obr. 37. Měřicí desky Modbus.....	51
Obr. 38. Náhled konfigurační aplikace.....	54
Obr. 39. Náhled konfigurace plánu jednoho z portů .....	55
Obr. 40. Okno pro nastavení alarmu .....	55
Obr. 41. Princip přenosu dat pomocí webového rozhraní .....	56
Obr. 42. Náhled webového rozhraní.....	57

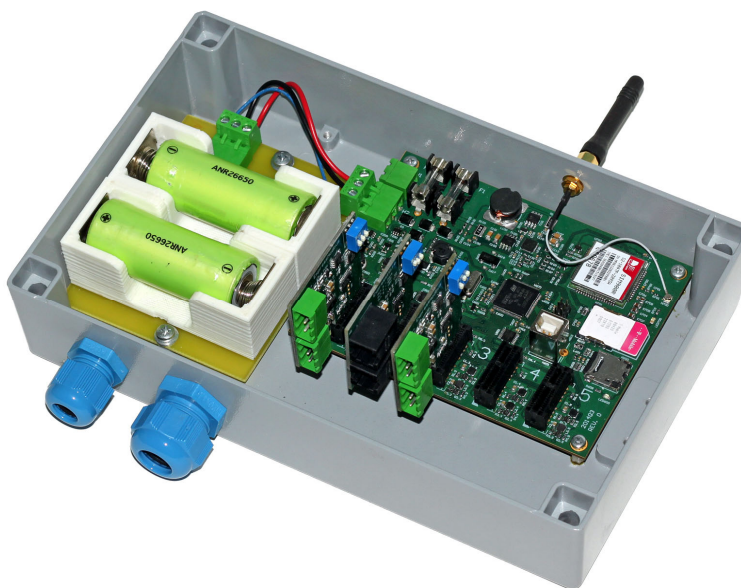
## Seznam tabulek

Tab. 1. Typy aplikačních karet pro záznamník Isodaq.....	17
Tab. 2. Záznamníky řady Comet Sxxxx.....	25
Tab. 3. Náklady na výrobu základní desky a akumulátorů .....	59
Tab. 4. Náklady na výrobu měřicí karty -10 až 10V .....	59
Tab. 5. Náklady na výrobu měřicí karty 0 až 20 mA .....	60
Tab. 6. Náklady na výrobu měřicí karty pro PT100/PT1000.....	60
Tab. 7. Náklady na výrobu měřicí karty pro Modbus .....	60
Tab. 8. Náklady na výrobu měřicí karty pro 1-Wire .....	61

# 1. Úvod

Zařízení pro automatizovaný sběr dat je často potřebná v odvětvích, ve kterých není možné využívat klasických měřicích přístrojů a záznamníků ať už z důvodu krytí, provozních podmínek (teplota, vlhkost) nebo na místech, kde není k dispozici vhodná komunikační síť. Typicky jde o solární energetiku a vodohospodářství. V těchto případech nachází uplatnění kompaktní měřicí systémy a záznamníky využívající mobilní síť GSM. Vývoj takového zařízení je cílem této práce.

Prvním úkolem při vývoji komerčního zařízení je průzkum trhu. Ten byl zpracován v následující kapitole ve formě rešerše zařízení dostupných na současném trhu. Dále je popsán vývoj základní desky GSM záznamníku a všech jejích funkčních bloků. V rámci této práce byly také vyvinuty, vyrobeny a otestovány měřicí karty pro sběrnice 1-Wire, Modbus, pro odporové senzory PT100/1000 a pro aktivní senzory s napěťovým a proudovým výstupem. Druhá část práce popisuje vývoj softwarového vybavení GSM záznamníku a v poslední kapitole jsou uvedeny náklady pro výrobu navržených zařízení.



Obr. 1. Fotografie prototypu GSM záznamníku

## 2. Průzkum trhu

Pro objektivní rozhodnutí o smysluplnosti a finanční návratnosti vývoje většiny komerčních zařízení je nutné provést řadu analýz. Jednou z těchto analýz je i průzkum trhu, jehož cílem je porovnání vlastností a funkce zařízení, které hodláme vyvinout, se stejnými nebo podobnými zařízeními již uvedenými na trh.

Porovnání s budoucími konkurenčními zařízeními může být také dobrým zdrojem inspirace, avšak jen v mantinelech, které vymezují případné konkurenční patenty a užité vzory. V současné době jsou kromě oficiálních dokumentací bohatým zdrojem informací také internetové recenze a názory uživatelů jednotlivých zařízení na internetových diskusních fórech. Ty poskytují rychlou zpětnou vazbu na daný výrobek, kterou je možné použít při porovnávání s naším zařízením nebo jako další zdroj inspirace pro možná vylepšení.

Analýzou zmíněných zdrojů informací o zařízeních realizujících sběr, záznam nebo jiné zpracování senzorických dat a využívající sítě GSM se zabývá tato kapitola.

### 2.1. Rozhraní senzorů v měřicí technice

Před popisem vlastního průzkumu trhu je uveden přehled a stručná specifikace komunikačních sběrnic využívaných v měřicí technice a způsobu zapojení různých měřicích senzorů. Stručně budou popsána pouze rozhraní využita v následujícím průzkumu trhu. Podrobný popis je uveden v kapitole 4, která je zaměřena na návrh měřicích desek pro tato rozhraní.

Rozhraní pro měřicí senzory je možné dělit na analogové a digitální. Senzory analogové dále dělíme na pasivní a aktivní. Aktivní senzory poskytují na svém výstupu napětí či proud úměrný měřené veličině. Pasivní senzory mění některý ze svých parametrů (typicky elektrický odpor, kapacitu nebo indukčnost) v závislosti na měřené veličině. Digitální senzory umožňují vyčítání měřené veličiny prostřednictvím některé ze standardizovaných komunikačních sběrnic.

### 2.1.1. Analogové rozhraní 0 až 10V

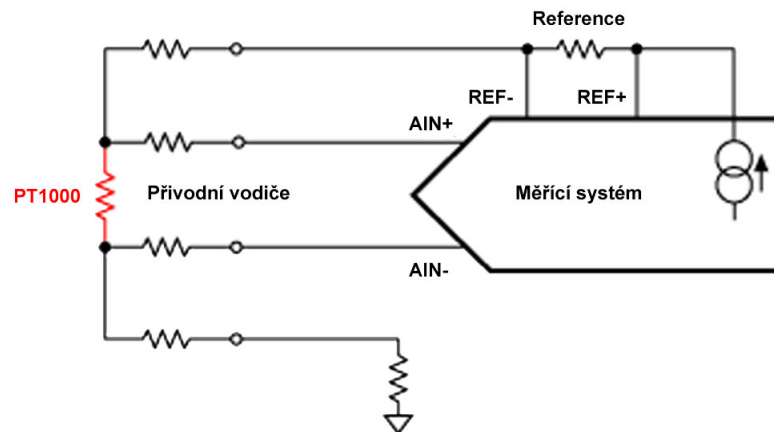
Nejjednodušší aktivní senzory poskytují napětový výstup zpravidla s napětím do 10V. Měřicí technika je velmi snadno realizovatelná. Nevýhodou je nízká odolnost proti rušení a nemožnost napájení snímače přes měřicí vodiče.

### 2.1.2. Analogové rozhraní 0 až 20mA a 4 až 20mA

Proudový výstup je jedním z nejpoužívanějších rozhraní v měřicí technice. Výhodou je možnost napájení senzoru přes měřicí vodiče, větší odolnost proti rušení a možnost kontrolovat přerušení proudové smyčky.

### 2.1.3. Odporové teplotní senzory

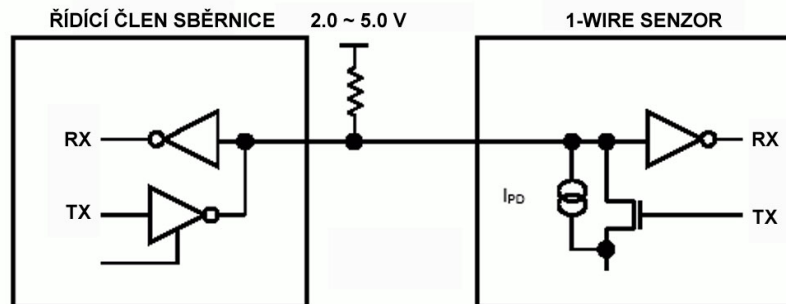
Mezi nejčastěji využívané senzory patří senzory PT100 a PT1000. Tyto pasivní senzory mají definovaný odpor při určité teplotě a teplotní závislost odporu. Měření teploty se pak provádí měřením odporu senzoru. Zpravidla se využívá jedno ze tří zapojení, které poskytují různé stupně kompenzace odporu přívodních vodičů. Dvouvodičového, třívodičového nebo čtyřvodičového zapojení. Dvouvodičové zapojení neposkytuje žádnou kompenzaci odporu přívodních vodičů a je tedy vhodné pouze pro řešení zaměřená na cenu za předpokladu, že odpor přívodních vodičů je o několik řádů nižší než odpor teplotního senzoru. Pro přesné měření teplotních sensorů se využívá tří a čtyřvodičového zapojení. Redundantními vodiči je kompenzován odpor na vedení, kterým je připojen samotný teplotní sensor k měřicímu zařízení.



Obr. 2. Čtyřvodičové zapojení senzoru PT1000, převzato [1]

#### 2.1.4. Digitální rozhraní 1-Wire

Rozhraní vyvinuté společností Dallas Semiconductor, které umožňuje propojení několika různých senzorů pomocí jednoho datového vodiče. Přes tento vodič je možné senzory i napájet a na jedné sběrnici je možné provozovat až 64 zařízení. Jde o open-drain sběrnici s napětovými úrovněmi do 5V. Nevýhodou je nízká komunikační rychlost a krátké vzdálenosti, na které je možné komunikovat (řádově desítky metrů).



Obr. 3. Příklad zapojení teplotního senzoru pro rozhraní 1wire, převzato[2]

#### 2.1.5. Digitální rozhraní Modus RTU

Jedním z nejvíce používaným komunikačním standardem v průmyslu je Modus RTU. Tento standard definuje linkovou vrstvu nad sběrnici RS232, RS422 a RS485. Většina senzorů využívá RS485. Jde o poloduplexní asynchronní sběrnici využívající diferenciální páry, které umožňují datové přenosy až na vzdálenosti v řádu kilometrů v závislosti na přenosové rychlosti a parametrech vedení. Na takovéto jedné dvou vodičové sběrnici je možné provozovat až 255 zařízení. Napětové úrovně jsou v rozsahu -7 až 12V.

## **2.2. Předběžná specifikace navrhovaného zařízení**

Ještě před návrhem vlastního zařízení bylo nutné předběžně stanovit alespoň přibližnou specifikaci a výčet jeho vlastností. Předpokladem bylo, že vyvíjené zařízení bude instalováno ve vlhkosti odolném krytu společně s akumulátorem a veškerou elektronikou, která bude zajišťovat měření snímaných veličin a jejich zpracování, uložení do paměti, odesílání dat prostřednictvím GSM/GPRS modulu a inteligentní správu napájení. Hlavní odlišností od konkurenčních výrobků je absence pevných vstupů pro senzory. Místo nich základní deska disponuje větším počtem slotů pro měřicí karty. Záznam dat je prováděn na SD kartu. Vyčítání dat a konfigurace zařízení se provádí přes USB rozhraní. Softwarové vybavení se sestavuje z aplikace pro konfiguraci záznamníku přes rozhraní USB, serverové aplikace pro sběr naměřených dat, klientské aplikace pro vizualizaci a export naměřených hodnot a webová verze klientské aplikace pro online přístup.

## **2.3. GSM zařízení dostupná na trhu**

Při hledání konkurenčních zařízení byl kladen důraz zejména na systémy, které tvoří s GSM modulem jeden celek. Systémy, které mají měřicí a záznamové části oddělené od komunikačních částí (Používají oddělený GSM modem) nejsou pro vyvíjené zařízení přímou konkurencí. Jejich modulárnost však umožňuje až větší univerzálnost, tak i užší zaměření na specifické aplikace. Mohou být tedy také zdrojem inspirace nebo případně konkurovat vyvíjenému zařízení jen částečně, a proto byly do průzkumu trhu zahrnuty také.

### 2.3.1. HWgroup Ares 14

První zařízení, které mě zaujalo je výrobek vyvinutý českou společností HWgroup, Ares 14. Ares 14 je zaměřen na senzory využívající sběrnici 1-Wire. Konkrétně k této jednotce je možné připojit až 14 senzorů. Kromě sběrnice jsou k dispozici dva dvoustavové vstupy pro detekování stavu nebo čítání impulzů. Nevýhodou je nemožnost přímo k záznamníku připojit analogové snímače. K zařízení je nutné dokoupit 1-Wire převodníky nebo používat senzory připojitelné přímo na tuto sběrnici.



Obr. 4. HWgroup Ares 14, převzato[3]

Ares 14 je dle výrobce vhodný pro dohled nad záložními napájecí systémy, diesel generátory, bankomaty, místnostmi pro servery, technologiemi u silnic, dálnic a železnic, nad zdroji vody a nad skladováním a převozem léčiv.

Softwarové vybavení pro PC zahrnuje aplikaci AresConf pro konfiguraci veškerého nastavení prostřednictvím USB a monitorovací software PDMS. Zajímavou vymožeností aplikace AresConf je možnost vzdáleného upgrade firmware přes GSM. Monitorovací aplikace PDMS umožňuje periodický sběr dat ze senzorů po TCP/IP, jejich ukládání do XML databáze, vizualizaci a export ve formátu MS Excel. HWgroup také provozuje vlastní webový portál [www.SensDesk.com](http://www.SensDesk.com) pro konfiguraci sběru, vizualizace a exportu dat prostřednictvím internetu. K dispozici je SDK, které umožňuje vývoj vlastních aplikací.

Pro záznam dat slouží pouze interní paměť o velikosti 2 MB pro 170000 záznamů. Pro případ výpadků napájecího napětí je zabudován Li-Ion akumulátor. Výrobce neudává jeho velikost, zmiňuje jen odhadovanou výdrž 3 až 8 hodin v závislosti na odběru připojených



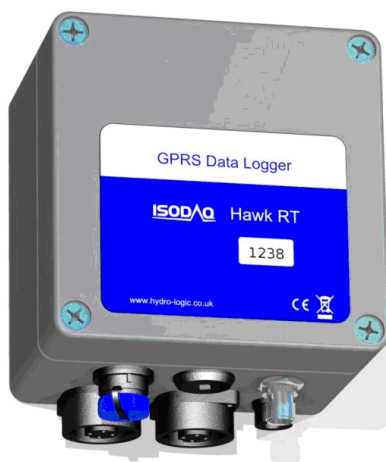
zařízení. Není tedy vhodný pro dlouhodobý sběr dat na instalacích bez možnosti neustále záznamník napájet.

Kromě GPRS přenosů naměřených dat a poplachů odesílaným přes SMS zprávy jsou k dispozici nastavitelné poplachy prostřednictvím SMS zpráv nebo „prozvonění“. SMS zprávami je možné vyžádat zaslání informací o stavu zařízení, odeslání stavových informací na email, reset zařízení a upgrade firmware

HWgroup nabízí ke svému GSM záznamníku celou škálu 1-Wire senzorů a převodníků. Sensory teploty a vlhkosti ve vnějším a vnitřním provedení, 2D senzor zaplavení používající WLD detekční kabel, převodníky pro snímání stejnosměrného napětí 0 až 60 V a proudu 0 až 20 mA a 4 až 20 mA, detektor kouře, hořlavých plynů a výpadku síťového napájení. Koncová cena samotné jednotky je 17150,- Kč bez DPH.

### 2.3.2. Isodaq Hawk RT

Společnosti Isodaq Technology z Velké Británie se zaměřuje na GSM záznamníky pro použití ve vodohospodářství. Nejčastějšími aplikacemi jsou záznamníky množství srážek, monitorování kvality vody a výšky hladiny ve vodních nádržích, měření průtoku na malých vodních dílech a systémy pro varování před záplavou.



Obr. 5. Isodaq Hawk RT GSM/GPRS logger, převzato[4]

Ve voděodolné hliníkové krabici s krytím IP67 je integrován čtyřpásmový GSM modul, vysokokapacitní lithiová baterie schopná napájet zařízení až 3 roky, v závislosti na

nastavení odesílání naměřených dat. Baterie je vyměnitelná a je jediným napájecím zdrojem zařízení. Dlouhé výdrže je dosaženo několika volitelnými strategiemi probouzení z úsporného režimu.

Pro ukládání naměřených hodnot je k dispozici pouze interní paměť, která uchovává posledních 29760 měření. Nejstarší naměřená data jsou přepisována nejnověji naměřenými údaji. Měření je možné provádět periodicky, při změnách stavů na digitálních vstupech nebo dle čítače pulzů. Perioda měření je uživatelsky nastavitelná v rozsahu 10 vteřin až 12 hodin.

Snímače se připojují přes dva čtyřvodičové a jeden sedmivodičový konektor. Tyto konektory jsou přivedeny na aplikační kartu. Tato karta je volitelná a výrobce nabízí několik typů, podle požadovaných vstupů. Dostupné typy karet jsou uvedené v tabulce 1.

Typ karty	Konfigurace vstupních kanálů
A41	1 x digitalní/frekvenční/čítací, 2 x 4-20 mA, 1 x termistor
A42	1 x digitalní, 1 x 4-20 mA, 1 x termistor, 1 x 0-25 V
A43	4 x 4-20 mA
A44	1 x digitalní, 3 x Termistor
A45	2 x digitalní, 2 x 4-20 mA
A46	1 x digitalní, 3 x 4-20 mA
A51	6 x digitalní, 2 x 4-20 mA

Tab. 1. Typy aplikačních karet pro záznamník Isodaq

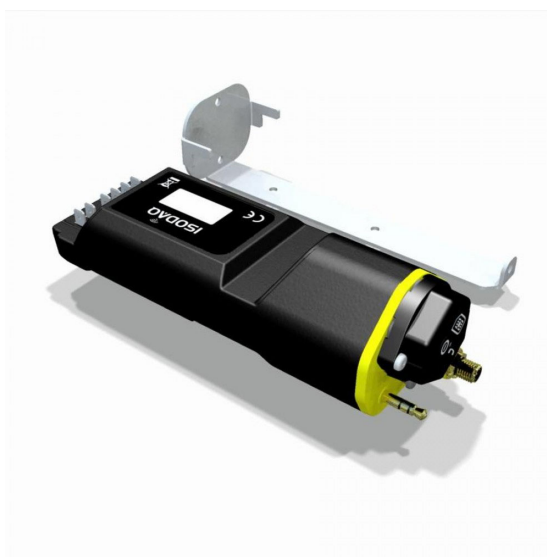
Konfigurace zařízení a případně i čtení naměřených hodnot se provádí přes rozhraní RS232 aplikací Isodaq Harvest. Prostřednictvím této aplikace je možné měnit nastavení záznamníku a manuálně vyčítat naměřená data a to i přes GSM. Pro automatický sběr a vizualizaci dat provozuje výrobce zařízení vlastní webový portál [www.timeview.net](http://www.timeview.net). SDK pro vývoj vlastních aplikací není k dispozici. Podporovány jsou protokoly Modbus a DNP3 pro integraci do SCADA systémů.

Alarmy jsou odesílány přes SMS ve výrobcem daném formátu pro každý kanál zvlášť. Pro každý kanál je možné nastavit maximálně čtyři různé podmínky. Nastavitelná je hystereze a ovládání reléového výstupu. SMS alarm je také odesílán při nízkém stavu baterie.

Isodaq Hawk RT je i přes univerzálnost měřících vstupů zařízení úzce zaměřené na použití ve vodohospodářství a meteorologii, což je dáno funkcemi samotného záznamníku a softwarovým vybavením, které výrobce poskytuje.

### 2.3.3. Isodaq Tadpole GSM/GPRS

Dalším zajímavým výrobkem společnosti Isodaq, je Tadpole GSM/GPRS. Opět jde o zařízení úzce zaměřené na vodohospodářství a meteorologii. Je k tomu předurčeno vodotěsným krytím IP68 a vzhledem ke své velikosti i bezkonkurenční výdrží na lithiové baterie až 7 let při denním sběru naměřených dat přes GPRS. Větší výdrže je možné dosáhnout externě připojitelným olověným akumulátorem.



Obr. 6. Isodaq Tadpole GSM/GPRS, převzato[5]

Velikost paměti pro záznam je shodná se záznamníkem Isodaq Hawk RT, tedy 29768 měření. Jeden logický vstup umožňuje sledování stavů, čítání impulzů nebo měření frekvence až 650 Hz. Pro analogové snímače je k dispozici pouze jedna proudová smyčka 4-20 mA s 16-bitovým rozlišením. Pro další senzory je možné využít číslicové rozhraní SDI-12. Pro napájení senzorů je připraven 12 V výstup zatížitelný proudem 120mA. Softwarové vybavení, alarmy, nastavení periody měření a načasování probouzení GSM modulu pro přenos dat jsou opět shodné se záznamníkem Isodaq Hawk RT.

Po mechanické stránce není cílem takto kompaktnímu a úzce zaměřenému zařízení konkurovat. Cílem je však konkurovat energetickou úsporností a různými strategiemi pro probouzení z úsporného režimu.

#### 2.3.4. Ibexis Micro MSP

Nejvíce shodný s předběžnou specifikací je záznamník Micro MSP společnosti Ibexis Technologies z Velké Británie. Micro MSP v sobě kloubí dvacetikanálový záznamník, datové úložiště, důmyslnou správu napájení schopnou využívat integrovaný akumulátor a solární panely. GSM/GPRS modem je čtyřpásmový. Vše je uzavřeno ve vlhkosti odolné montážní krabici s krytím IP65.



Obr. 7. Ibexis micro MSP, převzato[6]

Zařízení je možné napájet z vnějšího stejnosměrného zdroje 5 až 30 V, interního lithiového akumulátoru 5 Ah nebo solárního panelu. Volitelně je možné použít akumulátor o kapacitě 10 Ah a také silnější regulátor pro solární panely o výkonu větším než 25 W.

Snímače s analogovým výstupem je možné připojit na 5 diferenciálních vstupů nebo na 10 asymetrických vstupů. Je možné volit mezi měřením napětí proudu a odporu s nastavitelným rozsahem. Výrobce výslovně zaručuje podporu senzorů PT100, PT1000, senzorů řady LMx35, můstkových senzorů a proudové smyčky 4 až 20mA. Digitální kanály, kterých je 8, je možné jednotlivě nastavit jako vstup nebo výstup. Na těchto kanálech je záznamník schopen měřit frekvence v rozsahu do 10 Hz nebo do 100 kHz. Pro snímače s číslicovým rozhraním jsou k dispozici rozhraní RS232, SDI-12, RS422 nebo RS485. Záznamník je dále schopen pracovat s virtuálními kanály, jejichž hodnota je dána

uživatelsky nastavitelnými rovnicemi, jejichž vstupem můžou být všechny druhy dostupných kanálů. Pro napájení senzorů slouží 5 nastavitelných napájecích zdrojů a přesný zdroj proudu 250 uA. Plán jejich spouštění je uživatelsky nastavitelný.

Pro záznam dat je využívána vyměnitelná paměťová karta SD o velikosti 1 až 4 GB. Kromě naměřených dat je možné na kartě uchovávat veškeré nastavení záznamníku. Měření je možné provádět v intervalu o délce jedné minuty až jednoho dne a v kontinuálním režimu každých 5 vteřin. Vzdáleně je možné požádat i o okamžité měření.

Funkce alarmů je shodná se záznamníkem Isodaq Hawk RT. K dispozici jsou tedy 4 různé úrovně na každý kanál. Záznamy o všech alarmech jsou ukládány na paměťovou kartu.

Softwarové vybavení zahrnuje PC aplikaci pro konfiguraci zařízení a webový portál provozovaný společností Ibexis. Webový portál umožňuje konfiguraci, sledování stavu, sběr, vizualizaci a export dat.

Tento GSM/GPRS záznamník přímo konkuruje vyvíjenému zařízení. Jeho vybavení je velmi bohaté a zejména podpora napájení ze solárních panelů z něj dělá velice univerzální výrobek. Maloobchodní cena je 1600€, což je cena, které je jistě možné konkurovat.

### 2.3.5. Aptifirst AGT

Kromě záznamníků určených pro větší množství snímačů jsou do průzkumu trhu zahrnuty i přístroje snímající hodnoty pouze z jednoho senzoru. Prvním prostudovaným zástupcem je Aptifirst AGT. Jde o velice jednoduché zařízení zaznamenávající teplotu. Výrobce uvádí, že typickými aplikacemi jsou místnosti pro servery, muzea, archivy, galerie, laboratoře, nemocniční pokoje, skleníky, systémy pro automatizaci v budovách a mrazicí a chladicí vozy.



Obr. 8. Aptifirst AGT, převzato[7]

Za největší nevýhodu považuji použití proprietárních snímačů s rozhraním RS232 a omezení pouze na měření teploty. Interval měření teploty je volitelný v rozsahu 30 sekund až 60 minut. Interval odesílání naměřených dat je závislý na periodě měření a na počtu vzorků který má být odeslán. Počet odesílaných vzorků je nastavitelný v rozmezí 1 až 10. Přenos zaznamenaných hodnot se tedy provádí v rozmezí 30 sekund až 10 hodin. Naměřená data je možná odesílat buď pomocí emailu, HTTP nebo SMS a to v CSV formátu. Konfigurace zařízení se provádí pomocí SMS zpráv nebo PC aplikace.

Alarm je schopen zasílat upozornění stejnými způsoby jako se provádí odesílání naměřených hodnot při naměření teploty mimo nastavitelný interval.

Součástí zařízení není záložní akumulátor, výrobce neuvádí třídu krytí. Dle jeho doporučených aplikací je zřejmé, že je vhodný pouze pro vnitřní použití. I přes zmíněné nevýhody je tento záznamník díky velice snadné konfiguraci vhodný pro jednoduché aplikace. Cena záznamníku bez teplotní sondy je £295. Cena teplotních sond je od £31 do £99 dle délky kabeláže a třídy krytí.

### 2.3.6. Sensormetrix Argon 100 GSM

Další jednoduchý záznamník je Sensormetrix Argon 100. Jde o levné a kompaktní řešení pro měření teploty přes GSM. Zařízení je z hlediska funkčnosti, nastavení měřicí periody, periody odesílání naměřených dat a alarmů shodné s Aptifirst AGT.



Obr. 9. Sensormetrix Argon 100 GSM, převzato[8]

Pro konfiguraci zařízení a připojení senzorů slouží sdílené RS232 rozhraní. Přímou na něj je možné připojit proprietární senzory. Oproti Aptifirst AGT je ale k zařízení dodáván převodník z rozhraní RS232 na sběrnici 1-Wire a odpadá tak omezení na portfolio senzorů nabízené výrobcem. Jako volitelné příslušenství je možné zakoupit rozbočovače pro dva nebo pět senzorů.

Výrobce uvádí, že je možné zařízení napájet z akumulátoru. Pro akumulátor 12 V o kapacitě 17 Ah je uváděna týdenní výdrž při měření s periodou 30 minut a odesíláním naměřených dat dvakrát denně. Nabíjení akumulátoru je nutné řešit samostatnou nabíječkou.

Maloobchodní cena záznamníku Sensormetrix Argon 100 GSM je £250. Jde tedy o jedno z nejlevnějších zařízení. Mezi jeho hlavní výhody oproti konkurenčním zařízením v této cenové kategorii patří možnost odečítat hodnoty až z pěti snímačů při použití rozbočovače.

### 2.3.7. Comet T-PRINT G0841M

Comet system s.r.o. je česká společnost, která se zabývá vývojem záznamníků, monitorovacích a měřicích přístrojů. První ze studovaných výrobků je registrační teploměr s vestavěnou tiskárnou a čtyřpásmovým GSM modemem T-PRINT. Hlavním jeho využitím je záznam teplot při přepravě potravin, léčiv a jiného zboží. Určen je k instalaci na návěs nákladních vozů.



Obr. 10. Comet T-PRINT, převzato[9]

K záznamníku je možné připojit až dvě čidla PT1000. Dále je k dispozici jeden dvoustavový vstup například pro magnetický kontakt. Kapacita interní paměti je 1MB. Na ní je možné zaznamenat až 170000 hodnot teploty resp. až 10000 záznamů pro oba teplotní kanály. Kromě interní paměti jsou naměřené hodnoty zaznamenávány zabudovanou tiskárnou a to buď ve formě naměřených hodnot nebo grafu. Napájení je přizpůsobeno pro palubní síť návěsu nákladního vozidla s ochranou proti napěťovým špičkám. Vnitřní lithiová baterie slouží pouze pro napájení hodin.

Perioda měření pro vyhodnocování alarmů, aktualizace paměti maximální a minimální a minimální hodnoty je 5 vteřin. Interval zaznamenávání naměřených hodnot je uživatelsky nastavitelný od 1 minuty do 60 minut. Načítání dat ze záznamníku přes GSM není periodické.



Software Comet DBL pro PC umožňuje konfiguraci a vyčítání naměřených hodnot ze záznamníku, jejich uložení do databázového serveru, vizualizaci, export a tisk. Veškeré akce lze provádět jak přes USB, tak i vzdáleně přes GPRS připojení. Dále je poskytován volně stažitelný software Comet SWR, který umožňuje pouze vizualizaci dat a výpočet střední kinetické teploty léčiv. Žadný webový portál nebo webová aplikace pro online vizualizaci dat není k dispozici. Vyčítání hodnot záznamníku není prováděno přímo PC aplikací, ale přes Comet M2M server. O SDK pro vývoj vlastních aplikací se výrobce nezmiňuje. Přenos dat je tedy vždy nutné provádět přes server výrobce. SMS zprávami je možné se dotazovat na aktuální naměřené hodnoty. Pomocí SMS je také možné provádět konfiguraci základních funkcí záznamníku. Alarmové SMS zprávy je schopen zaslat na přednastavená telefonní čísla při překročení dolní nebo horní dolní meze měřené veličiny, zaplnění paměti záznamníku, vybití baterie a při chybových stavech.

Maloobchodní cena Comet T-PRINT G0841M je 19498,-Kč. Je zajímavé, že cena je téměř stejná jako cena HWgroup Ares 14 i přesto, že záznamník T-PRINT disponuje lepším krytím IP65 a vstupy, pro analogové senzory jejichž realizace je dražší než realizace číslicového rozhraní. Zařízení na jehož vývoj je tato práce zaměřena mu však, kvůli jeho úzce specifikovanému zaměření, přímo konkurovat nebude.

### 2.3.8. Comet kit-GSM-L a záznamíky řady Sxxxx a Rxxxx

Jako zástupce modulárních systém pro záznam sensorických dat je v tomto průzkumu trhu uveden Comet kit-GSM-L a záznamíky řady Sxxxx a Rxxxx. Funkce a vlastnosti GSM modemu jsou shodné vlastnostmi popsány v kapitole Comet T-PRINT G0841M proto je tato kapitola zaměřena zejména na popis záznamníků.



Obr. 11. Comet kit-GSM-L a záznamík řady Sxxxx, převzato[10]

Záznamníky se s GSM modulem propojují přes rozhraní RS232. Napájeny jsou z vyměnitelné lithiové baterie o velikost AA. Životnost baterie závisí na zvoleném měřicím režimu. V nízkopříkonovém režimu je interval měření 1 minuta a životnost až 6 let. V rychlém režimu je interval 10 sekund a životnost 2,5 roku. V trvalém online režimu a intervalu měření 10 sekund je životnost baterie 1 rok.

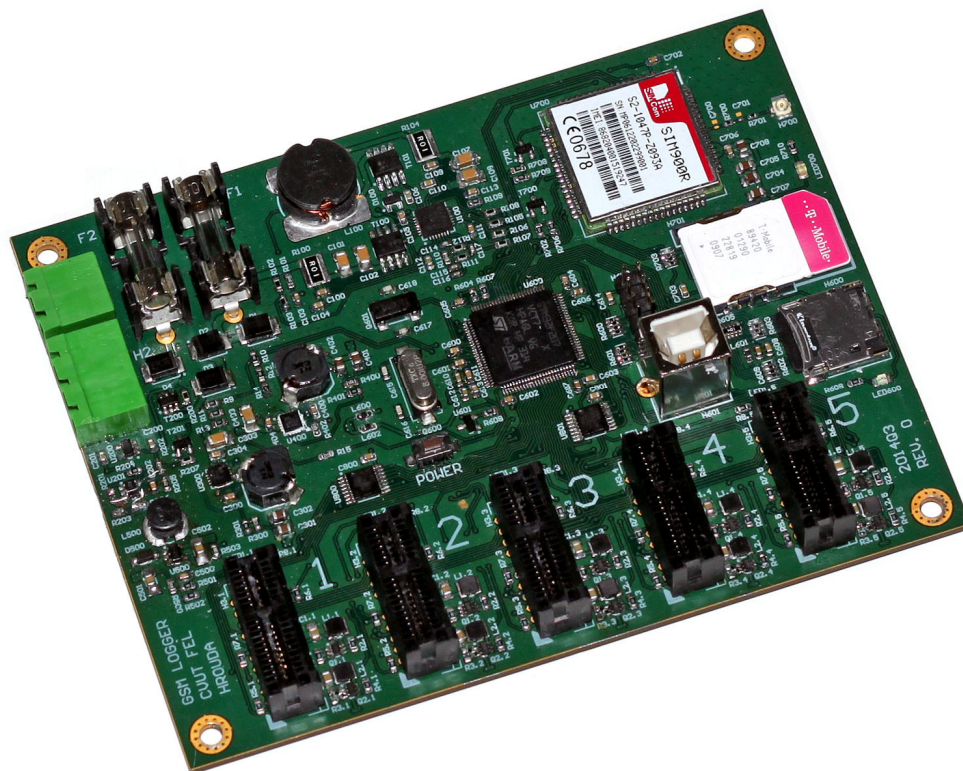
Perioda měření je nastavitelná od 10 sekund do 24 hodin (1 minuta až 24 hodin v nízkopříkonovém režimu). Celková kapacita paměti je 32000 záznamů. Všechny druhy záznamníku jsou uvedeny v tabulce 2.

Kód záznamníku	Popis
S0110	Teploměr s vnitřním čidlem
S0111, S0121	Jednokanálový a dvoukanálový teploměr se vstupem pro Pt1000
S0122	Dvoukanálový teploměr s vnitřním snímačem a vstupem pro Pt1000
S0141	Čtyřkanálový teploměr se vstupy pro PT1000
S0541	Dvoukanálový teploměr se vstupy pro PT1000 a dvěma vstupy 0-5V
S0841	Dvoukanálový teploměr se vstupy pro PT1000 a dvěma binárními vstupy
S0842	Tříkanálový teploměr se vstupy pro PT1000 a jedním binárním vstupem
S3120, S3121	Teploměr a vlhkoměr, Teploměr a vlhkoměr s externí sondou
S5011, S5021	Jednokanálový a dvoukanálový záznamník napětí 0-5 V
S6011, S6021	Jednokanálový a dvoukanálový záznamník proudu 0-20 mA
S7021	Záznamník s čítacím a binárním vstupem
S7841	Čtyřkanálový záznamník událostí

Tab. 2. Záznamníky řady Comet Sxxxx

Cena samotného GSM modulu schopného alarmovat a odesílat naměřená data ze záznamníků je 6000,-Kč. Cena záznamníků se pohybuje v rozmezí 1800 až 5000,-Kč v závislosti na počtu kanálů, variantě s displejem (řada Sxxxx) nebo bez displeje (řada Rxxxx) a zda jde o ekonomickou verze s nižším teplotním rozsahem a přesností.

### 3. Návrh GSM záznamníku



Obr. 12. Fotografie základní desky GSM záznamníku

V této kapitole je popsána specifikace, ze které vycházel vývoj celého zařízení a všechny bloky a zapojení použité na základní desce záznamníku. Vysvětlena jsou nejen vlastní zapojení, ale i typická zapojení, která byla převzata z katalogových listů použitých integrovaných obvodů.

Pro návrh schémat, plošných spojů a generování výrobních dat jsem použil aplikaci Altium Designer 14. Simulace analogových zapojení byly prováděny v aplikaci Texas Instruments Tina-TI.

### 3.1. Specifikace GSM záznamníku

Vlastnosti zařízení vychází ze samotného zadání této práce, předběžné specifikace uvedené v předcházející kapitole o průzkumu trhu a z vlastností zařízení prostudovaných v tomto průzkumu.

Vlastní záznamník je realizován základní deskou opatřenou pěti sloty pro připojení měřících karet. Ty komunikují pomocí společné sdílené sběrnice SPI a I2C a jsou adresovatelné pomocí čtyř adresních vodičů bez ohledu na to, v jakém portu jsou zapojeny. Jeden z adresních vodičů, je určen pro paměť měřící desky, která obsahuje popis karty a seznam příkazů. Sloty dále poskytují napájecí napětí 3,3 V a 12 V.

V zařízení je možné definovat a nastavit alarmy. Umožňují upozorňovat na událost pomocí SMS, zavolání emailu a HTTP požadavku a zároveň jsou alarmy zaznamenávány na SD kartu. Vyčítání dat, práce s SD kartou a konfigurace zařízení a je možná přes USB rozhraní..

Ovladatelné napájecí zdroje umožňují plánovat přepínání zařízení do úsporného režimu, ovládat napájení jednotlivých měřících karet, kontrolu stavu (nabíjení) záložního LiFePO4 nebo olověného akumulátoru.

Softwarové vybavení se skládá z aplikace pro konfiguraci záznamníku přes rozhraní USB, serverové aplikace pro sběr naměřených dat, klientské aplikace pro vizualizaci a export naměřených hodnot.

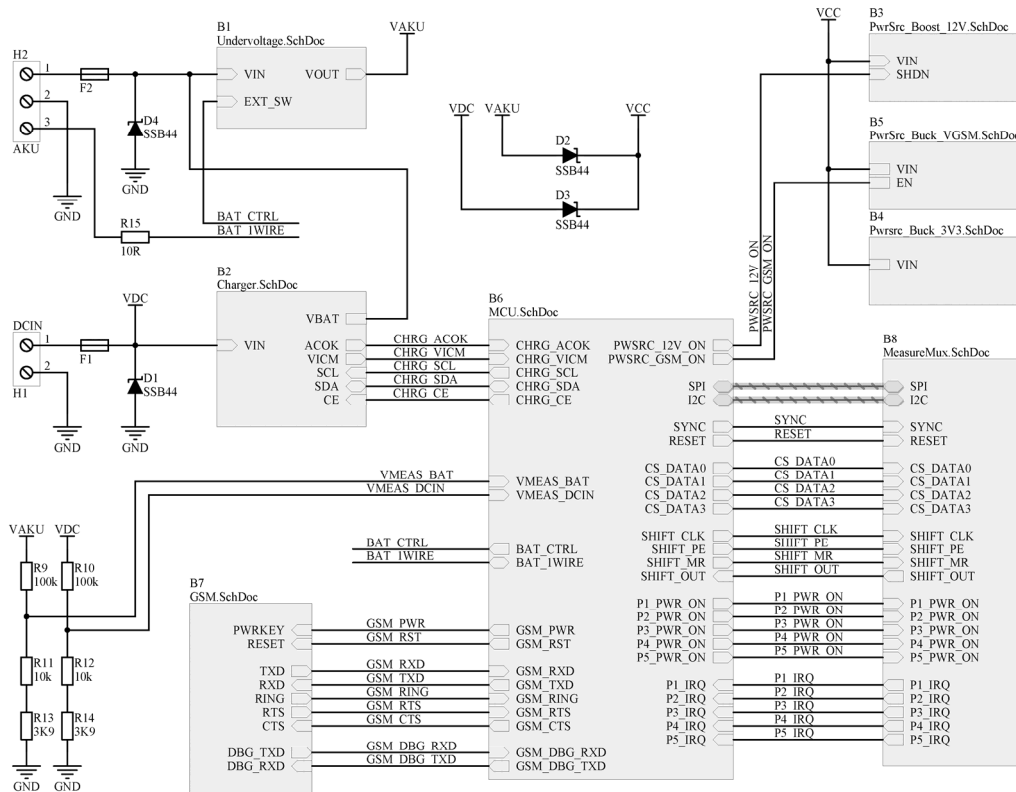
Při výběru součástek použitých na základní desce hrála největší roli cena daného řešení a teplotní rozsah nejméně -40 až 85 °C v ideálním případě -55 až 105 °C. Kromě konektorů jsou všechny součástky v provedení pro povrchovou montáž. Čtyřvrstvý plošný spoj byl navržen s ohledem na kompaktní velikost zařízení, EMC. Z důvodu optimalizace ceny za osazování jsou všechny součástky umístěny pouze z jedné strany plošného spoje.

Základní deska GSM záznamníku včetně měřících desek a záložního akumulátoru je nainstalovaná do montážní krabice o velikosti 252x158x72 mm se stupněm krytí IP65 a opatřena voděodolnými kabelovými průchodkami a SMA konektorem pro GSM anténu.

## 3.2. Bloky základní desky

Základní desku je možné rozdělit na 8 bloků. Blok podpěťové ochrany akumulátoru (B1), nabíjecí obvod (B2), zdroj napájecího napětí 12V (B3), zdroj napájecího napětí pro mikrokontrolér a periférie (B4), napájecí zdroj pro GSM modul (B5), blok mikrokontroléru zahrnující SD kartu (B6) a GSM modul a jeho periférie (B7).

Na blokovém schématu je možné vidět kromě propojení jednotlivých bloků i několik součástek souvisejících s napájením základní desky. Svorkovnice H1 slouží pro připojení napájecího zdroje 6 až 14 V. Dioda D1 společně s pojistkou F1 (rychlá pojistka 3A) realizuje ochranu proti přepólování a přetížení. Svorkovnicí H2 se připojuje bateriový modul. Dioda D4 a pojistka F2 (rychlá pojistka 3A) realizuje stejnou ochranu jako v předchozím případě. Navíc je na svorkovnici akumulátoru přivedeno rozhraní 1-Wire sloužící pro komunikaci s případnou elektronikou baterie (například balančním obvodem nebo teplotním snímačem).

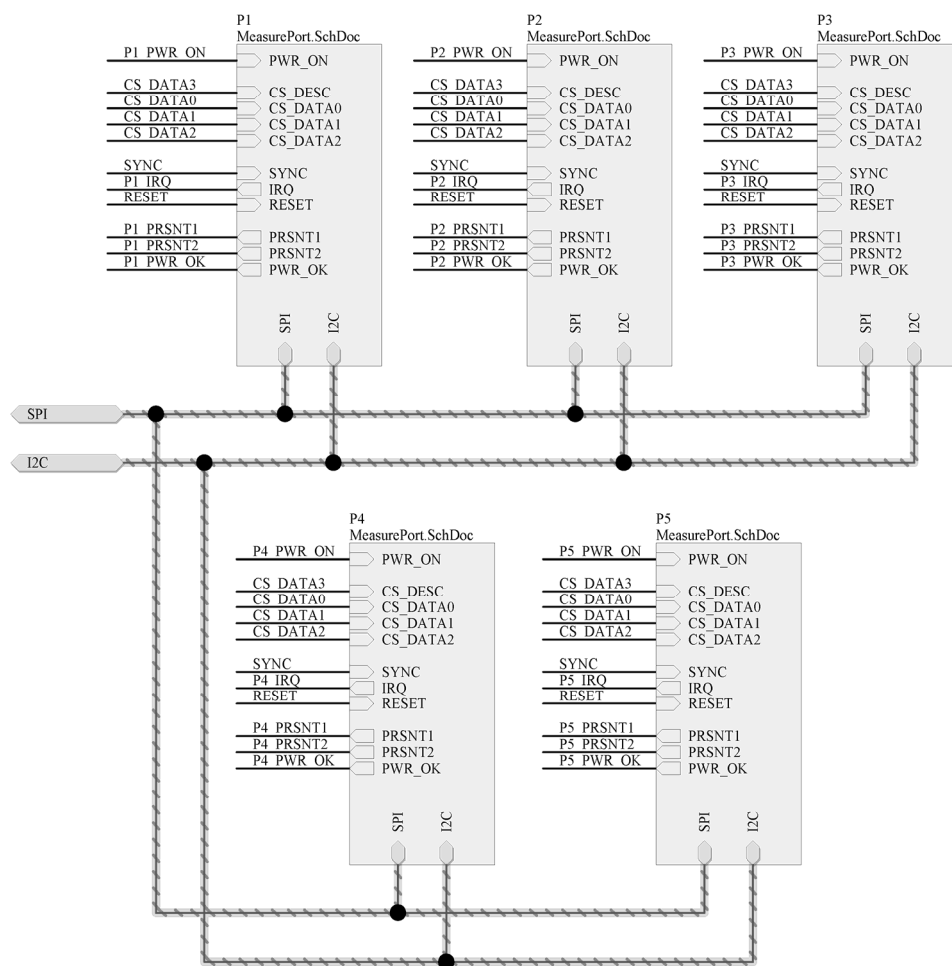


Obr. 13. Blokové schéma GSM záznamníku

Diody D2 a D3 slouží pro propojení akumulátoru a externího zdroje. Všechny uvedené diody jsou typu Schottky z důvodu minimalizace úbytku napětí. Rezistory R9 až R14 realizují napěťové děliče, kterými je měřena velikost napájecího napětí akumulátoru a externího zdroje.

### 3.3. Blok portů pro měřicí karty

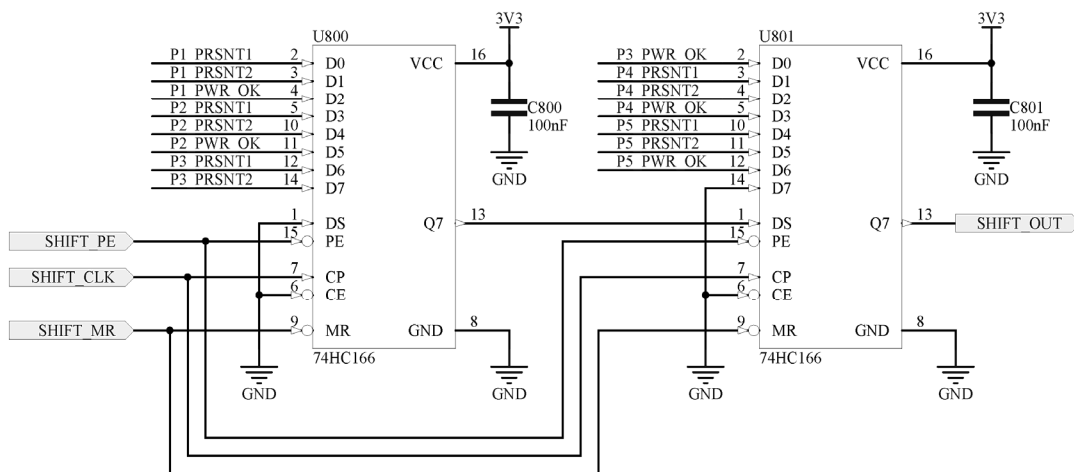
Blok B8 propojuje všech 5 slotů pro měřicí karty do jednoho celku. Karty jsou adresovány adresními vodiči CS\_DATA0 až CS\_DATA3. Datové vodiče rozhraní SPI a I2C jsou pro všechny sloty společné. Detailní popis datových rozhraní a adresace je podrobně popsán v následující kapitole věnované návrhu měřicích desek.



Obr. 14. Zapojení všech portů pro měřicí karty na společné datové sběrnice

Dále jsou ke všem slotům přivedeny společné vodiče RESET a SYNC. První slouží pro restartování měřících karet a druhý pro synchronizaci (v případě potřeby zahájit odměr více kartami v jeden okamžik). Vodiče Px\_PRSNT1 a Px\_PRSNT2 (kde x udává číslo slotu) slouží pro detekci zapojení měřící karty. Vodičem Px\_PWR\_OK karta potvrzuje dostupnost napájecího napětí. Pro potřeby přerušení disponuje každý slot vlastním IRQ vodičem.

### 3.3.1. Posuvné registry portů

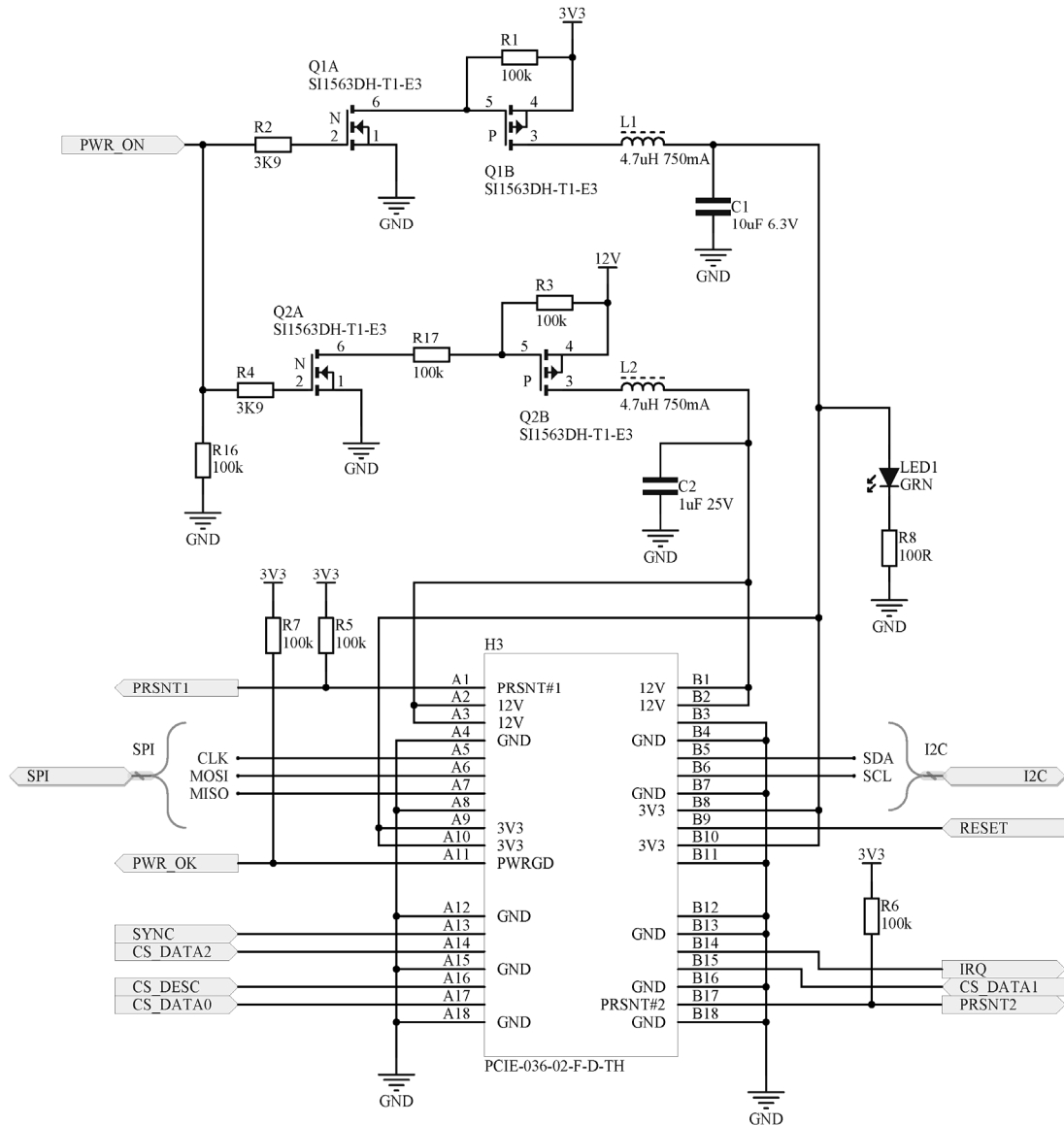


Obr. 15. Zapojení s posuvnými registry

Množství signálů potřebných pro obsluhu portů bylo poměrně velké a jejich přímé připojení k MCU by značně zkomplikovalo návrh plošného spoje. Zejména z důvodu nutnosti použít MCU v pouzdře BGA. Proto signály, které nejsou kritické na rychlost, jsou spojeny přes dva zřetězené posuvné registry 74HC166 (U800 a U801). Kondenzátory C800 a C801 slouží pro blokování napájecího napětí. SHIFT\_MR resetuje oba posuvné registry, SHIFT\_CLK slouží jako zdroj hodinového signálu, SHIFT\_PE povoluje vstupy D0 až D7 a na vodiči SHIFT\_OUT se vyčítají hodnoty z posuvných registrů.

### 3.3.2. Express slot

Slot pro měřicí karty vychází z konektoru využívaném v osobních počítačích pro přídatné karty – Slot PCI-Express (PCI-E). Kromě toho, že použitý konektor je shodný mechanicky je shodné i zapojení jeho pinů, aby nedošlo, k žádnému poškození v případě, kdy uživatel zapojí do základní desky GSM záznamníku některou s přídatných karet určenou pro osobní počítače. Záznamník je vybaven pěti měřicími sloty.



Obr. 16. Schéma zapojení portu pro měřicí kartu (Express slot)

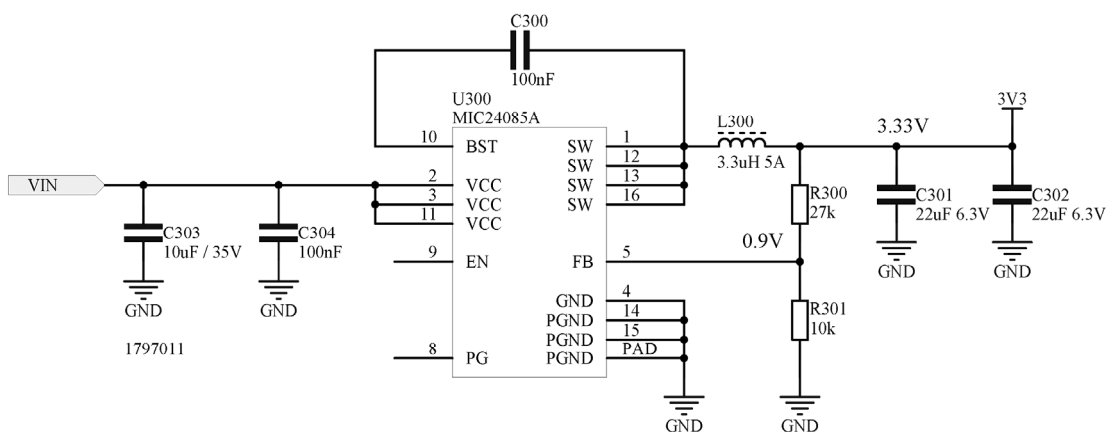


Ke každému slotu je přivedeno napájecí napětí 12 V a 3,3 V. Obě tyto napájecí napětí může ovládat MCU pomocí dvojicí MOSFET tranzistorů Si1556 (Q1 a Q2). Ty jsou díky nízkému prahovému napětí 1 V vhodné pro přímé připojení k MCU. Důvodem pro použití napěťového děliče R3 a R17 bylo maximální napětí tranzistoru  $V_{gsmax} = 8 \text{ V}$ . Maximální doporučený odběr pro jednu měřicí kartu je 150 mA pro napájecí napětí 12 V a 400 mA pro napájecí napětí 3,3 V. Z důvodu možného rušení mezi měřicími kartami a rušení od MCU a jeho periférií, má každý port vlastní LC filtr (L1 a C1 pro 3,3V a L2 a C2 pro 12V). Signály pro detekci připojení karty PRSNT1 a PRSNT2 a signál pro detekci napájecího napětí PWR\_OK jsou opatřeny pull-up rezistory pro nastavení logické úrovně při vypojené měřicí kartě.

### 3.4. Napájecí bloky základní desky

Pro správnou funkci základní desky je třeba několika napájecích bloků. Pro obsluhu akumulátoru byla navržena podpěťová ochrana optimalizovaná s ohledem na co nejnižší spotřebu a nabíjecí obvod. Pro napájení ostatních bloků záznamníku byly navrženy tři napájecí zdroje. Pro potlačení rušení a snadnější zprovozňování prototypu bylo použito množství odrušovacích feritů.

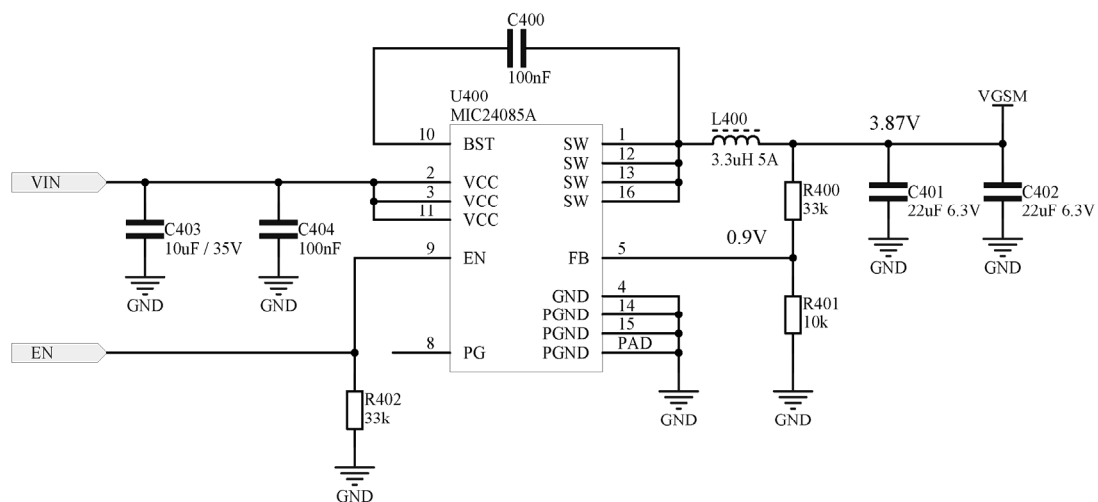
#### 3.4.1. Napájecí zdroj 3,3 V



Obr. 17. Zdroj napájecího napětí 3,3 V

Pro napájení bloku MCU a portů měřicích karet slouží zdroj B4. Integrovaný obvod Micrel MIC24085 v pouzdru QFN16 realizuje dle katalogového zapojení [11] snižující spínaný zdroj s maximálním výstupním proudem 3 A při napětí 3,3 V. Spínaný zdroj pracuje na kmitočtu 1 MHz. Takto vysoký kmitočet umožňuje realizovat velice kompaktní napájecí zdroje. Výstupní napětí se nastavuje odporovým děličem připojeným na vstup FB. Toto napětí je posléze regulováno vůči vnitřní napěťové referenci 0,9 V. Rozsah vstupního napětí je 4,5 až 18 V. Klidová spotřeba je 2,3 mA. Ochranná Schottkyho dioda je zabudovaná v IO. Zdroj také poskytuje ochranu proti přetížení, přepětí a přehřátí. Pin EN slouží pro vypínání zdroje a díky integrovanému pull-up rezistoru jej není nutné zapojovat v případě, že má být zdroj zapnut stále.

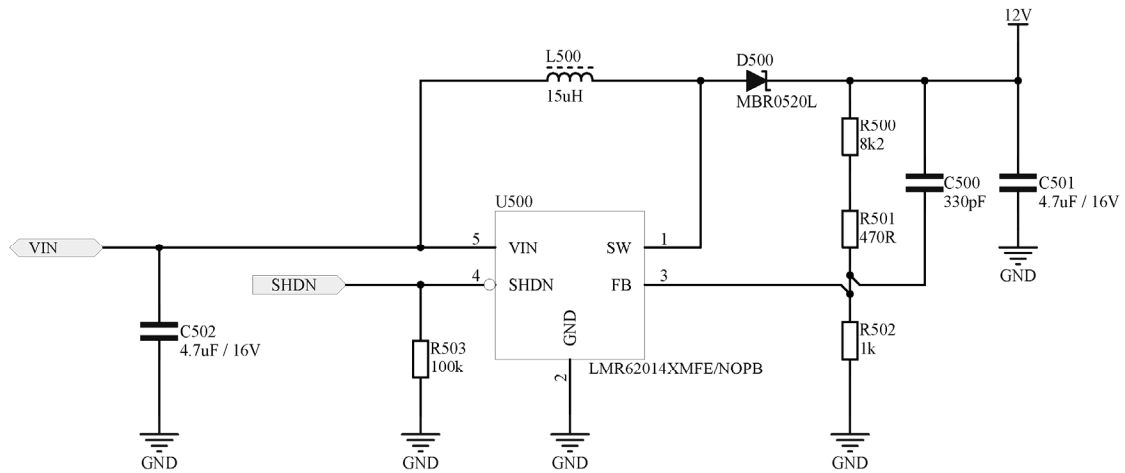
### 3.4.2. Napájecí zdroj 3.9 V pro GSM modul



Obr. 18. Zdroj napájecího napětí pro GSM modul

Rozsah napájecího napětí použitého GSM modulu je 3,2 až 4,8V. Bylo by tedy možné jej napájet i ze zdroje 3,3 V. Spotřeba modulu však může dle dokumentace [12] krátkodobě narůst až na 2 A, což by jistě mělo vliv na funkci ostatních bloků, a proto bylo nutné použít další napájecí zdroj. Zapojení bloku B5 je téměř shodné s předchozím napájecím zdrojem. Navíc byl změněn napěťový dělič (R400 a R401), vyveden povolovací signál EN a doplněn pull-down rezistor na tento vstup, který zajišťuje, že před zapnutím MCU zůstane napájecí zdroj ve vypnutém stavu.

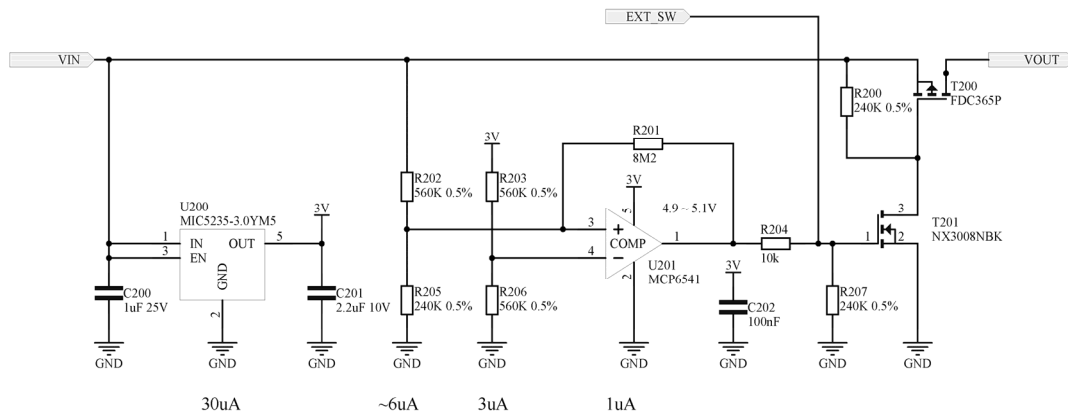
### 3.4.3. Napájecí zdroj 12V



Obr. 19. Zdroj napájecího napětí 12V

Zdroj B3 je využíván pouze měřicími deskami. Integrovaný obvod Texas Instruments LMR62014 v pouzdru SOT23-5 je zapojen dle katalogového listu [13] a realizuje spínaný zvyšující zdroj napětí 12 V při maximálním výstupním proudu 500 mA při pracovním kmitočtu 1,6 MHz. Dále obsahuje ochranu proti přetížení a ochranu proti přehřátí. Výstupní napětí se nastavuje pomocí napěťového děliče připojeného na vstup FB. Regulace probíhá vůči vnitřní napěťové referenci 1,23 V. Napájecí zdroj vypnutelný pomocí vstupu SHDN.

### 3.4.4. Podpět'ová ochrana akumulátoru



Obr. 20. Podpět'ová ochrana

Je pravděpodobné, že záznamník bude často nebo i výhradně napájen jen z akumulátoru. Z toho důvodu bylo nutné realizovat blok podpět'ové ochrany B1, který zaručí to, že v případě poklesu napětí pod bezpečnou úroveň dojde k odpojení zátěže a nedojde tak k podvybití akumulátoru, které by mohlo způsobit jeho nevratné poškození.

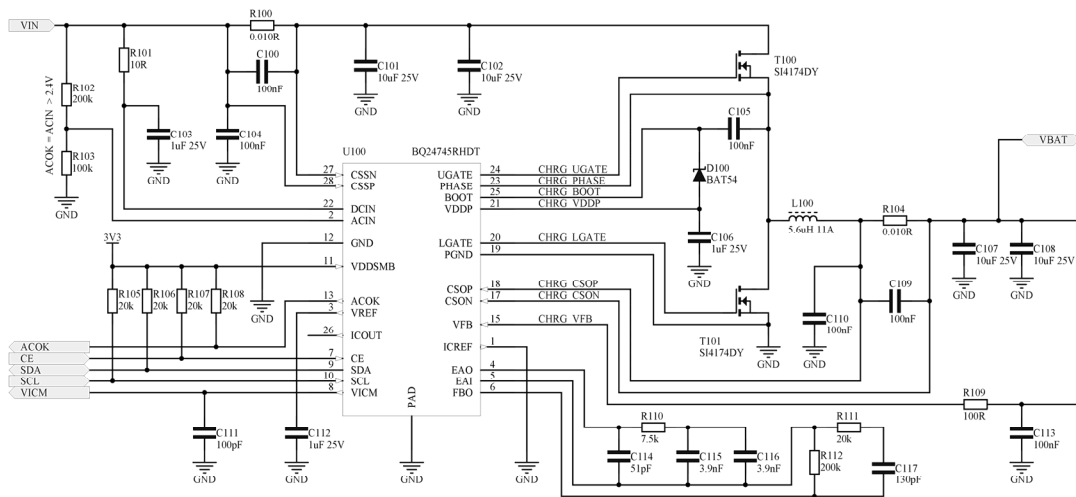
Odpojovací napětí bylo zvoleno s ohledem na to, že záznamník bude napájen z dvoučládkového LiFePO4 nebo z tříčládkového olověného akumulátoru. V obou případech je jejich výstupní napětí při úplném vybití 4,0 V. Minimální napájecí napětí zdrojů je 4,5 V, a proto bylo zvoleno trochu vyšší vypínací napětí 4,9 V, které zaručuje rezervu 10%. Pro zabránění možného opakovaného zapínání a vypínání ochrany bylo použito zapojení s hysterezí. Zapínací napětí je 5,1 V. Pro výpočet velikosti rezistorů slouží následující vzorce:

$$R_{201} = \left( \frac{U_L - U_R}{(U_H - U_L)/U_{CC}} + U_{CC} - U_R \right) \cdot R_{205} \quad R_{202} = \frac{U_H - U_L}{U_{cc}} \cdot R_{201}$$

Kde  $U_L$  je vypínací napětí,  $U_H$  je zapínací napětí,  $U_R$  je referenční a  $U_{CC}$  je napájecí napětí

Hodnota rezistoru R205 byla zvolena vhodně tak, aby proud odebíraný napět'ovými děliči byl co nejmenší, a aby rezistory R201 a R202 vyšly v řadě E12. Jako zdroj referenčního napětí a zdroj napájecího napětí pro nízkopříkonový rail-to-rail komparátor U201 (MCP6541) slouží lineární regulátor MIC5235-3.0. Integrované obvody jsou v pouzdru SOT23-5. Spotřeba celé podpět'ové ochrany v aktivním stavu je pouze 50  $\mu$ A. To zabezpečuje, že k úplnému vybití akumulátoru dojde až v řádu měsíců.

### 3.4.5. Nabíjecí obvod



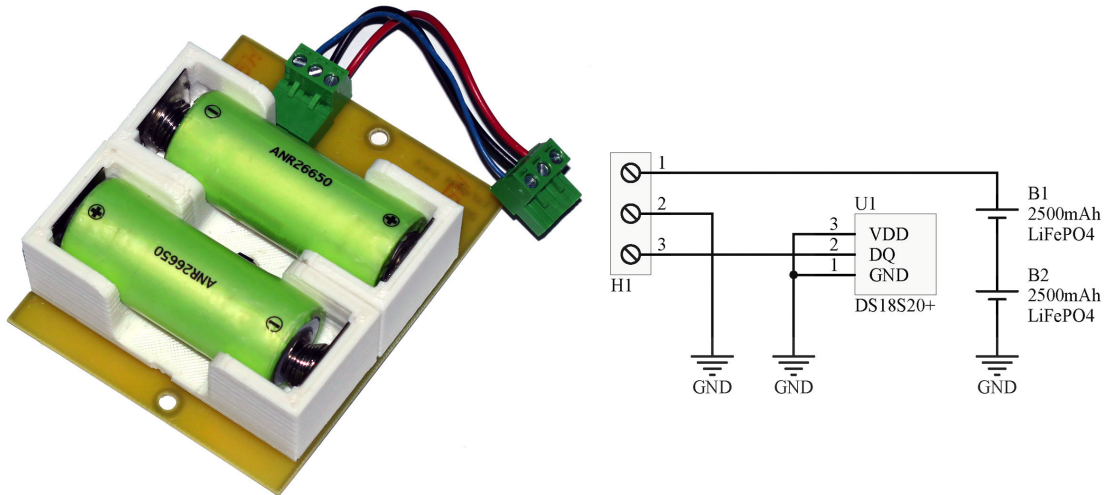
Obr. 21. Schéma nabíjecího obvodu

Zapojení obvodu pro nabíjení akumulátorů bylo s několika odlišnostmi realizováno dle katalogového zapojení [14] integrovaného obvodu Texas Instruments BQ24745. V pouzdru QFN28 je integrován digitálně říditelný nabíjecí obvod, který umožňuje nabíjet lithiové, olověné a další akumulátory. Pracovní kmitočet je 300 kHz. Odlišností oproti katalogovému zapojení je absence tranzistorů pro odpojení napájecího adaptéru. Dále byly použity jiné, levnější a lépe dostupné koncové tranzistory MOSFET Si4174, které mají stejné parametry jako výrobcem doporučené tranzistory FDS6680A.

Zapojení funguje následujícím způsobem. Vstup ACIN měří velikost vstupního napětí. Pokud je na vstupu více než 2,4 V je povolen nabíjecí obvod. To je také indikováno výstupem ACOK. Rezistory napěťového děliče R102 a R103 byly zvoleny tak, aby se nabíjecí obvod zapnul při napájecím napětí 7,2 V. DCIN slouží pro napájení samotného napájecího obvodu a musí být nižší než 30 V. Kromě výstupního proudu, který je měřen jako úbytek napětí na rezistoru R104 je měřen také vstupní proud R100. Výkonové MOSFET tranzistory T100 a T101 realizují společně s L100, C107 a C108 spínaný zdroj, který je připojen na nabíjený akumulátor. Napětí na akumulátoru je měřeno přes RC člunek R109 a C113 vstupem VFB. Rezistory a kondenzátory zapojené na piny EAO, EAI a FBO slouží pro kompenzaci vnitřních zesilovačů. Piny CE, SDA a SCL slouží po komunikaci po rozhraní I2C. Po tomto rozhraní může MCU nastavovat nabíjecí napětí, proud a vyčítat vstupní proud nabíjecího obvodu.

Nabíjecí proud je softwarově omezen na 1 A. VICM je výstup, na který je vyvedeno 20 krát zesílené napětí na rozdílových vstupech CSSP a CSSN.

### 3.4.6. Deska akumulátorů



Obr. 22. Fotografie a schéma desky s LiFePO4 články

Pro LiFePO4 akumulátory A123 o velikosti 66x26 mm, jmenovitém napětí 3,3 V a kapacitě 2500mAh byla vyrobena vlastní deska. Držáky pro články byly navrženy v aplikaci SolidWorks a vyrobeny pomocí 3D tisku z ABS plastu. Z časových důvodů nebylo možné realizovat balanční obvod, které je vhodné používat v případě použití více sériově spojených článků. Ten se používá z důvodu vyrovnávání kvalitativních parametrů článku (vnitřní odpor článků) při nabíjení. Proto bylo na tuto desku přivedeno rozhraní 1-Wire, na které byl zapojen teplotní senzor Dallas Semiconductor DS18S20+ tak, aby bylo možné sledovat teplotu článků při nabíjení.

### 3.5. Blok mikrokontroléru

Schéma zapojení bloku B6 je uvedeno v příloze 1. Mikrokontrolér STM32F207VCT7 je hlavním řídicím prvkem celého zařízení. 32 bitové jádro ARM Cortex-M3 umožňuje taktovací kmitočet až 120 MHz. Dále disponuje vnitřní flash pamětí o velikosti 256KB a pamětí RAM o velikosti 128 MB.

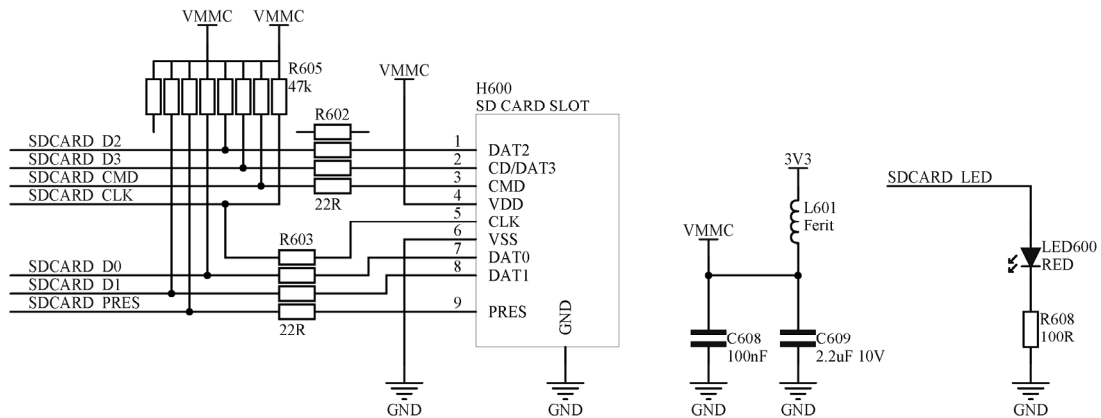
Blokovací kondenzátory C600 až C613 jsou zapojeny dle katalogového listu. Napětí je k mikrokontroléru přivedeno přes odrušovací ferity L600 a L601 pro potlačení rušení od ostatních periférií. Kromě napájecího napětí 3,3V je také přivedeno napájecí napětí 3,0 V jehož zdrojem je LDO stabilizátor v bloku podpěťové ochrany. Toto napětí je využíváno pouze při režimu spánku a zaručuje tak zachování paměti RAM i při odpojení hlavního napájecího napětí. Napěťová reference TL431 zajišťuje referenční napětí 2.495V pro integrovaný 12 bitový AD. Jako zdroj taktovacího kmitočtu jádra a periférií mikrokontroléru slouží krystal 8 MHz (Q8). Tento kmitočet je vnitřně násoben na 48 MHz. Druhý krystal 32.768 kHz je připojen na oscilátor, který slouží jako zdroj taktu pro obvod reálného času. Pro potřeby programování a ladění firmware bylo vyvedeno na konektor H602 rozhraní SWD.

Periférie pro připojení jednotlivých funkčních bloků byly vybírány s ohledem na jejich umístění na plošném spoji vůči MUC. Sériové rozhraní UART1 slouží pro běžnou komunikaci GSM modulem a UART2 pro aktualizování a ladění jeho firmware. Pro potřeby 1-Wire rozhraní, které je přivedeno na konektor pro připojení akumulátoru byl vybrán UART4. Pro komunikaci s měřicími deskami byly vybrány periférie I2C2 a SPI2. Druhá sběrnice I2C1 ovládá nabíjecí obvod.

Spínač SW600 slouží pro restartování a vypínání záznamníku. Tyto funkce jsou realizovány softwarově. Konektor H601 slouží pro připojení USB k mikrokontroléru. Vzhledem ke spotřebě celého zařízení a možných komplikací v návrhu napájecích bloků bylo rozhodnuto nevyužít možnosti záznamník napájet z USB. Další signály uvedené na schématu jsou vysvětleny podrobněji v popisu bloku, ke kterému náleží.

### 3.5.1. SD karta

Paměťová karta je zapojena na SDIO periférii mikrokontroléru dle specifikace [30]. Rezistory R602 a R603 slouží jako jednoduchá proti ESD. Z důvodu zpětné kompatibility s kartami MMC byly doplněny také pull-up rezistory (karty MMC nedisponují push-pull výstupy jako současné karty SD, ale pouze výstupy typu open-drain). Pro indikaci zápisu na SD kartu slouží LED600.

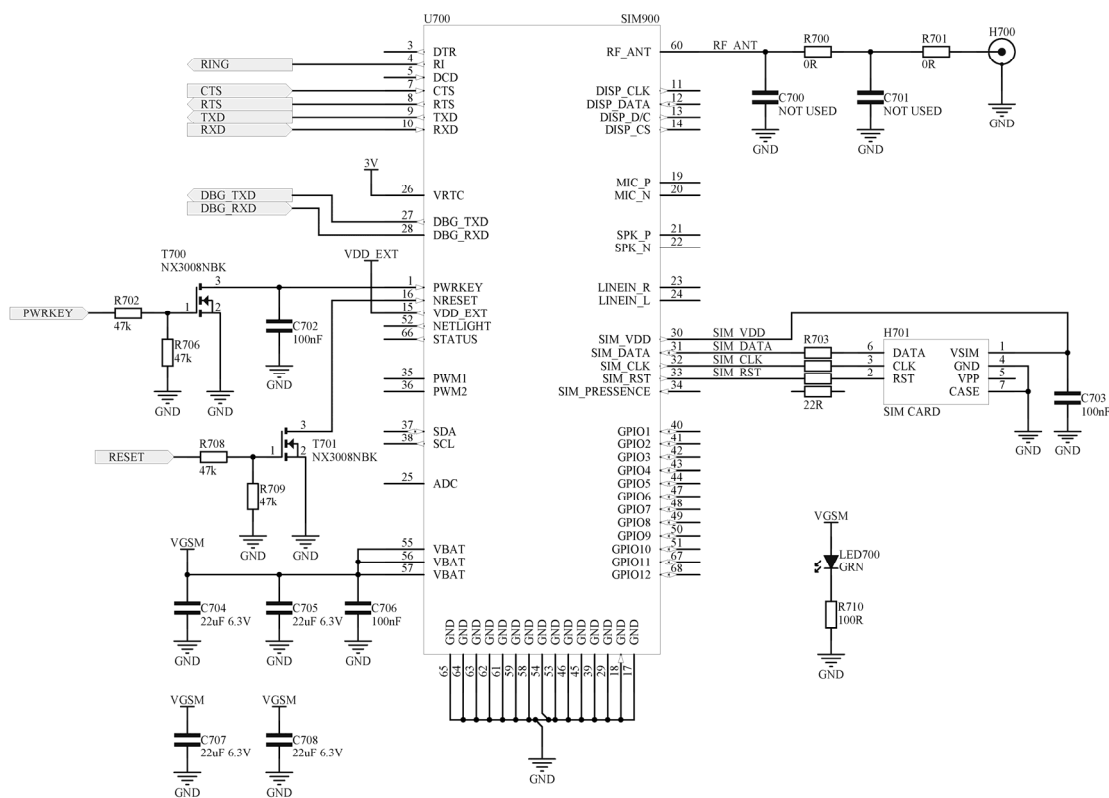


Obr. 23. Schéma zapojení SD karty



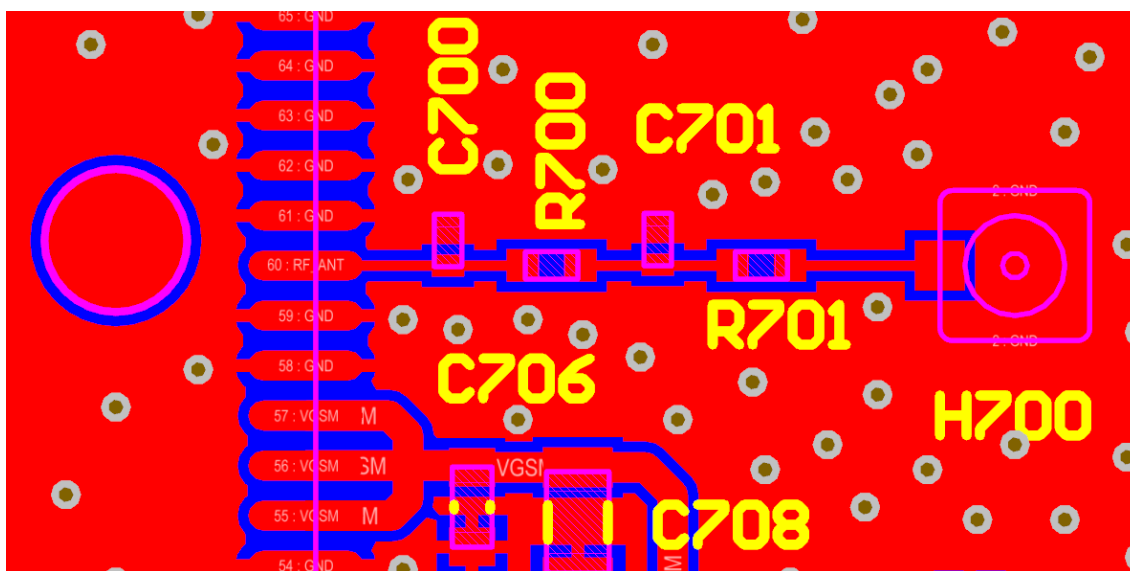
### 3.6. GSM modul

Blok B7 tvoří GSM modul SIM900 a jeho periférie. Rozsah napájecího napětí modulu je 3,2 až 4,8 V a spotřeba v úsporném režimu 1,0 mA. Z toho důvodu byl použit pro GSM modul vlastní napájecí zdroj, jehož spotřeba v úsporném režimu je pouze 10  $\mu$ A. Odebíraný proud může být špičkově až 2 A, a proto bylo nutné použít větší množství blokovací kondenzátorů o celkové kapacitě 88  $\mu$ F. Dále byl k modulu připojen slot pro kartu SIM. Vstup SIM\_PRESENCE pro detekci přítomnosti karty nebyl využit. Pro restartování a zapínání byly použity tranzistory T700 a T701 a to z toho důvodu, že napěťové úrovně vstupů modulu jsou 2,8 V a přímé připojení k MCU by vedlo k poškození. Komunikační rozhraní UART je k MCU připojeno včetně handshake signálů. Signal RI indikuje příchozí hovor. Pro indikaci přítomnosti napájecího napětí slouží LED700. Impedanční přizpůsobení nebylo třeba realizovat, a tak byly rezistory R700 a R701 nahrazeny propojkou a kondenzátory R700 a R701-



Obr. 24. Schéma zapojení GSM modulu

Vzhledem k tomu, že modul SIM900 pracuje v kmitočtovém pásmu až 1900 MHz, bylo nutné dbát na to aby, vedení mezi jeho anténním pinem a konektorem pro anténu bylo přizpůsobeno impedanci 50 Ω. Nepřizpůsobené vedení by způsobovalo odrazy, které by mohly vést k poškození GSM modulu. Impedance takového vedení je závislá na geometrii vedení a zejména na vlastnostech substrátu a zemnicí vrstvy plošného spoje. Pro substrát FR4, vzdálenost vedení od zemnicí vrstvy 0,1 mm a velikost mezery spoj-spoj 0,2 mm byla vypočtena šířka vedení 0,2 mm (pro impedanci 50 Ω).



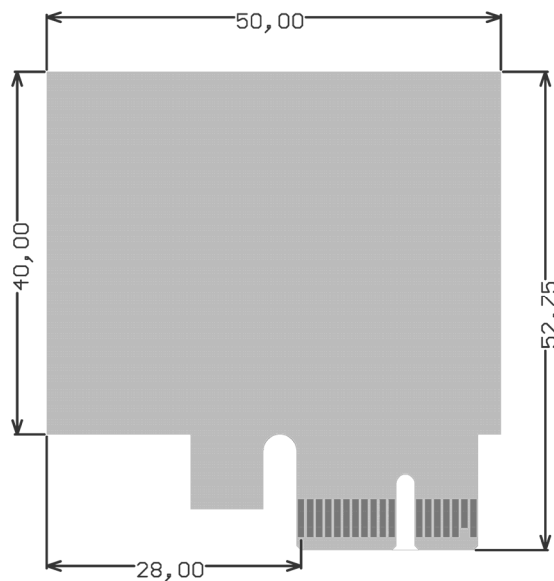
Obr. 25. Layout VF části GSM modulu

### 3.7. Spotřeba základní desky

Velikost proudu spotřebovávaného GSM záznamníkem je v aktivním režimu nejvíce závislá na spotřebě měřících karet. Pokud jsou všechny vypínatelné zdroje v úsporném režimu, ochrana pro podpětí není aktivní a MCU je v aktivním režimu se všemi perifériemi, dosahuje spotřeba na 3,3 V napájení 30 mA. V případě úsporného režimu MCU je dominantní jen spotřeba samotného zdroje, která je typicky 2,3 mA. Celková spotřeba zařízení v tomto režimu je pak 3 mA.

## 4. Návrh měřících desek

Slot pro měřicí karty vychází ze slotu využívaném v osobních počítačích pro přídatné karty – Slot PCI-E. Kromě toho, že je shodný mechanicky je shodné i zapojení jeho pinů tak, aby nedošlo, k poškození pokud by uživatel zapojil do GSM záznamníku některou s přídatných karet určenou pro osobní počítače. Mechanické rozměry byly navrženy s ohledem na velikost zvolené montážní krabice a na umístění základní desky. Maximální rozměry jsou uvedeny na Obr. 26. Detailní výkresy konektorové části plošného spoje jsou definovány v PCI-E specifikaci [19]. Konektory pro připojení senzorů musí být umístěny na straně vzdálenější od slotu.

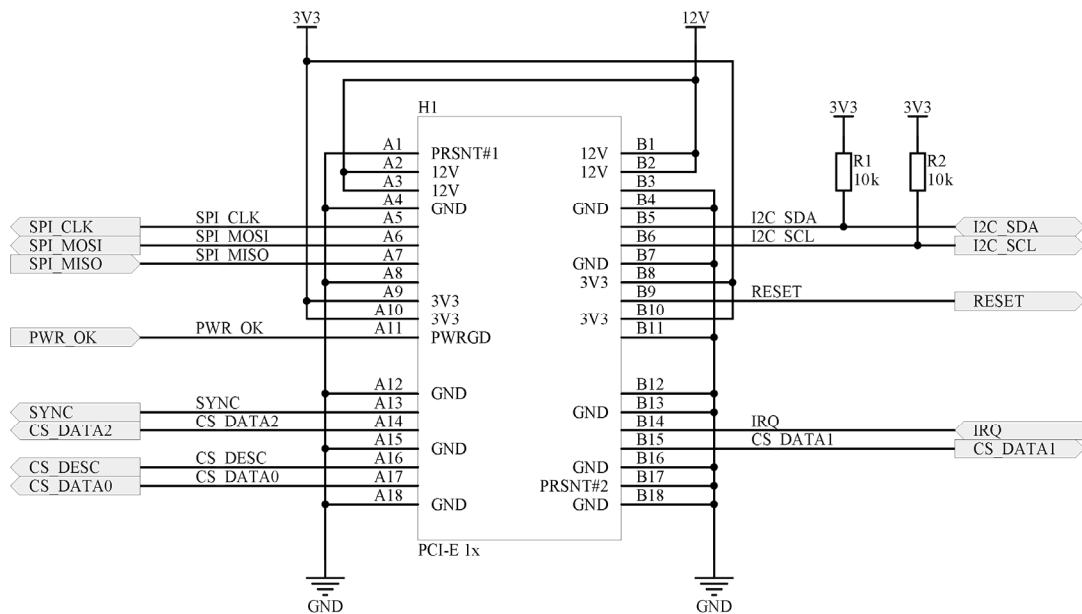


Obr. 26. Výkres desky

### 4.1. Specifikace elektronických vlastností

Zapojení pinů je obdobné jako zapojení na Obr. 16 z kapitoly 3.3.2. Nutnou podmínkou pro úspěšnou detekci zapojení karty nadřazeným MCU je uzemnění pinů A1 - PRSNT#1 a B17 - PRSNT#2. Pouze tyto vývody jsou nepatrně kratší než ostatní vývody a jejich uzemnění signaluje, že měřicí deska byla úplně zapojena do slotu. Dále je nutné spojit s GND signál PWR\_OK. Ten indikuje to, že je na desku přivedeno napájecí napětí nebo, že případné další regulátory jsou funkční. Maximální proudové zatížení je dáno maximálním

výstupním proudem napájecích zdrojů a množstvím připojených karet. Ty by však neměly z napájecího zdroje 12V odebírat více než 100mA a ze zdroje 3,3 V více než 500 mA.



Obr. 27. Zapojení pinů

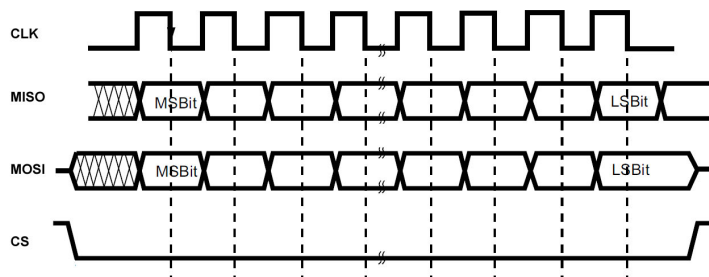
## 4.2. Komunikační rozhraní měřících karet

Pro komunikaci jsou využívány dvě komunikační sběrnice. Sběrnice SPI a I2C. Pro adresaci jsou využívány 4 adresní vodiče. První tři bity určují kartu a poslední bit určuje, zda bude komunikováno s měřícím rozhraním měřící karty nebo s deskriptorovou pamětí. Obsah deskriptorové paměti je uveden v kapitole o software.

### 4.2.1. Komunikační rozhraní SPI

Jedná se o sériovou synchronní čtyřvodičovou a plně duplexní komunikační sběrnici s taktovacím kmitočtem do 10 MHz. Výstupy jsou typu push-pull. Adresace podřízených zařízení se provádí pomocí signálu CS. Data jsou vybavena na vodiče MISO a MOSI s náběžnou hranou taktovacího signálu CLK. Platná data jsou detekována při spádové hraně CLK. Ve většině případů tuto sběrnici řídí jen jeden nadřízený člen. Měřící karty nemusí být

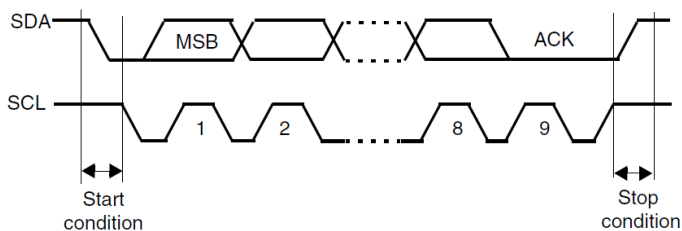
schopné komunikovat při maximální komunikační rychlosti. Taktovací kmitočet je možné nastavit pomocí deskriptorové paměti. MCU pak provede snížení na požadovanou hodnotu.



Obr. 28. Příklad SPI komunikace, převzato [27]

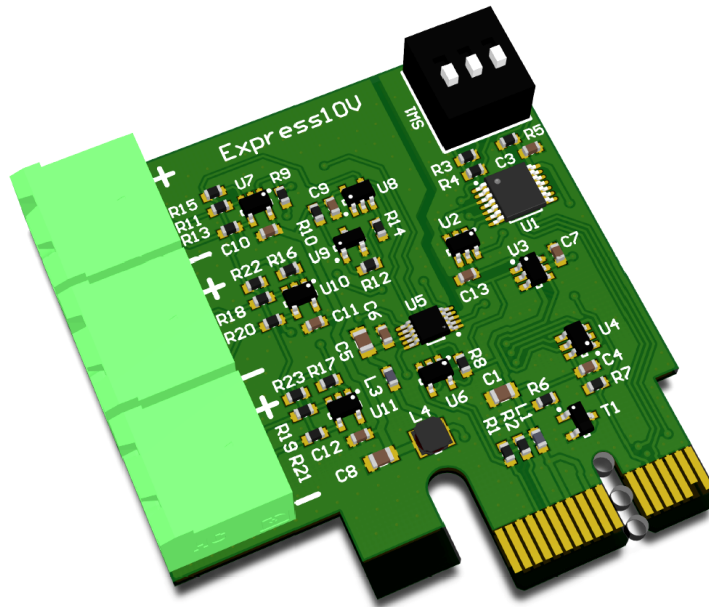
#### 4.2.2. Komunikační rozhraní I2C

I2C je synchronní sériová dvou vodičová poloduplexní sběrnice typu open-drain. Z toho důvodu je nutné používat pull-up rezistory. Na této sběrnici je standardně používána adresace slave zařízení pomocí prvních osmi odeslaných bitů. V případě navrhovaných měřicích karet je však stejně nutné používat adresní bity, protože je pravděpodobné, že při použití více stejných měřicích desek by došlo ke kolizi I2C adres. Komunikace je odstartování spádovou hranou na SDA vodiči a dále je řízena hodinovým signálem SCL. Jelikož je komunikace na SDA obousměrná, je nutné, aby měřicí deska byla schopná odpojovat a připojovat tento signál obousměrně. Maximální taktovací signál sběrnice je 400 kHz. Stejně jako v případě SPI je tato komunikační rychlost nastavitelná změnou hodnot v deskriptorové paměti měřicí karty.



Obr. 29. Příklad I2C komunikace, převzato [27]

### 4.3. Příklady návrhu měřících desek



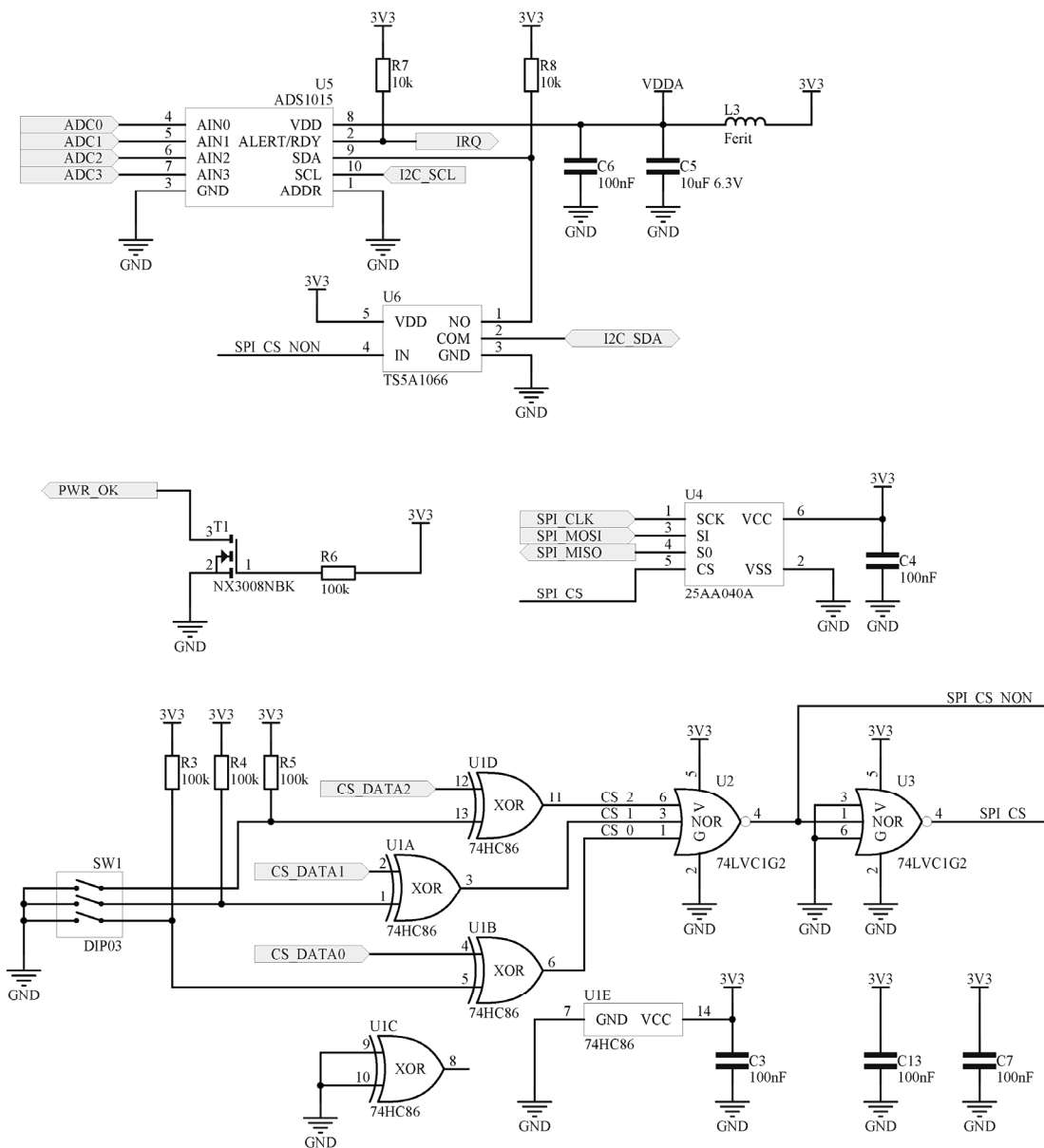
Obr. 30. Tříkanálová měřící deska -10 až 10 V

V této kapitole je popsán návrh měřících karet pro GSM záznamník. Tříkanálová měřící karta s napěťovými vstupy s rozsahem -10 až 10V a tříkanálová měřící karta s proudovými vstupy sdílí stejné zapojení adresní části a části AD převodu. Převodní karta pro rozhraní Modbus a 1-Wire používá stejný mikrokontrolér, způsob dekódování adresy a napěťový regulátor 5V. Nakonec je popsán vývoj jednorázové měřící karty pro odporové teplotní senzory PT100 a PT1000. Poloha DIP přepínače, pro nastavení adresy, je na všech kartách stejná.

#### 4.3.1. Návrh měřící desky pro -10 ~ +10V

Pro měření napětí byl vybrán čtyřkanálový 12 bitový AD převodník typu sigma-delta Texas Instruments ADS1015 (U5). Při napájecím napětí 3,3 V je jeho rozsah pro čtyřkanálové zapojení 0 až 2,048 V. Pomocí integrovaného zesilovače s programovatelným ziskem je možné vstupní napětí zesílit až 16 krát. Bohužel pro nastavení adresy je k dispozici jen jeden vstup ADDR. Ten umožňuje připojit na společnou sběrnici I2C pouze dvě zařízení. To by značně omezilo funkčnost GSM záznamníku. Proto bylo nutné navrhnout obousměrné přepínání datového vodiče SDA, který je řízen adresací pro sloty měřících karet. Pro tento účel byl použit analogový přepínač TS5A1066 (U6) s šířkou pásma 400 MHz. Jde o řešení,

kteřé je levnější a méně náročné na prostor na plošném spoji, než by bylo řešení s logickými obvody nebo diskrétními součástkami.

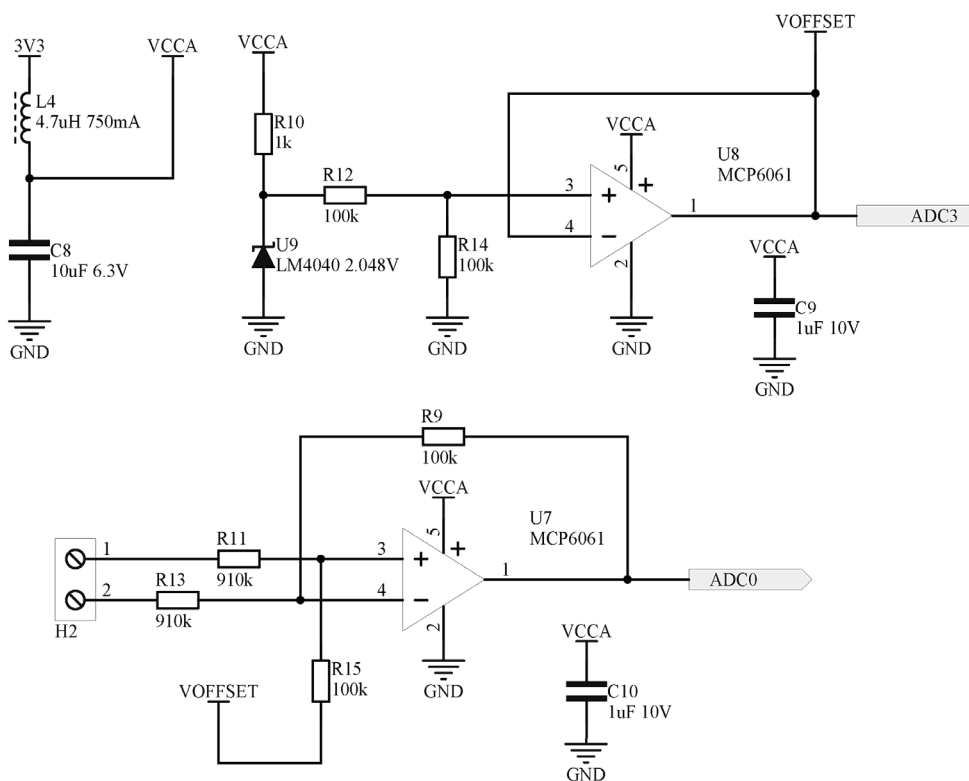


Obr. 31. Schéma zapojení sdílené analogové části

Kontrola adresy je realizovaná XOR a NOR hradly. Jelikož deskriptorová paměť EEPROM využívá jinou sběrnici než měřicí část karty, nebylo nutné zapojovat čtvrtý adresní

bit. Pokud je mikrokontrolérem nastavena adresa desky, jsou obě periferie naadresovány zároveň.

Pro možnost měřit zvoleným AD převodníkem napětí -10 až 10 V bylo nutné vstupní napětí upravit vhodným rozdílovým zesilovačem, který tento rozsah převede na rozsah 0 až 2,048 V. Analogová část měřicí desky je napájena přes LC filtr (L4 a C8) a sestává se z napěťové reference a tří rozdílových zesilovačů. Pro toto zapojení byl použit přesný operační zesilovač Microchip MCP6061 s nízkým vstupním napěťovým offsetem  $\pm 150 \mu\text{V}$  v pouzdru SOT23-5. Rozdílové zesilovače potřebují pro požadovaný převod vstupního napětí referenční napětí 1.024 V. Toto napětí je získáno děličem 1:2 připojeným na napěťovou referenci LM4040 2.048 V (U9). Po impedančním oddělení je toto napětí přivedeno k rozdílovým zesilovačům a pro potřeby kalibrace k volnému vstupu AD převodníku. Zesílení rozdílových zesilovačů bylo nastaveno na 9,1.

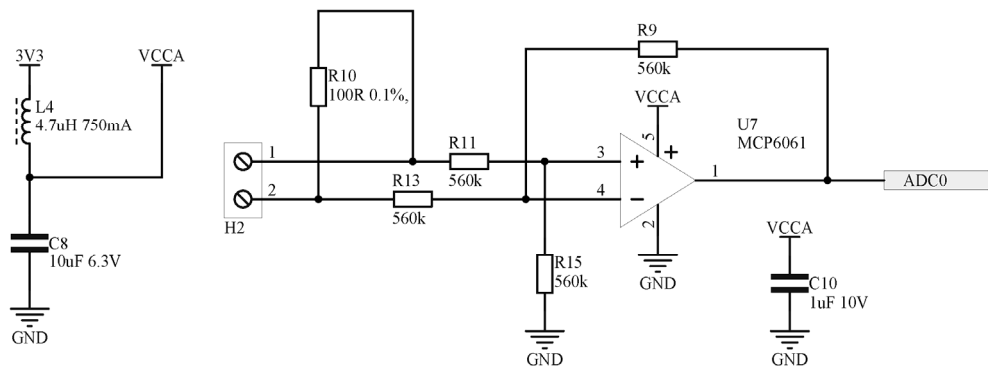


Obr. 32. Schéma zapojení LC filtru, zdroje offsetu a jednoho ze tří kanálů -10 až 10 V



### 4.3.2. Návrh měřicí desky pro 0 ~ 20mA

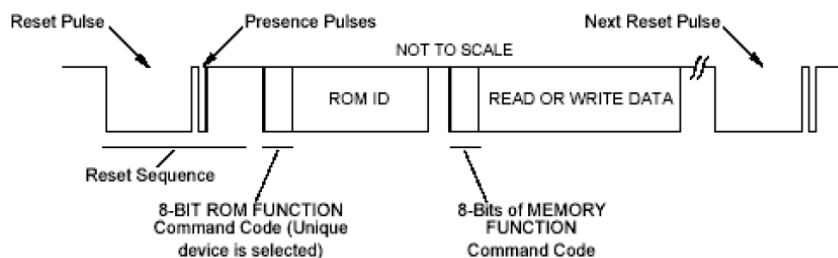
Obvod pro měření proudu vychází ze zapojení pro měření napětí. Odlišností je absence napěťové reference, která v tomto zapojení nebyla využita. Přesný operační zesilovač MCP6061 je zapojen jako rozdílový zesilovač s jednotkovým zesílením. Přizpůsobení pro vstupní napětí AD převodníku bylo vyřešeno použitím přesného referenčního rezistoru 100 Ω. Maximální úbytek na tomto rezistoru je téměř shodný s maximálním vstupním napětím analogového převodníku.



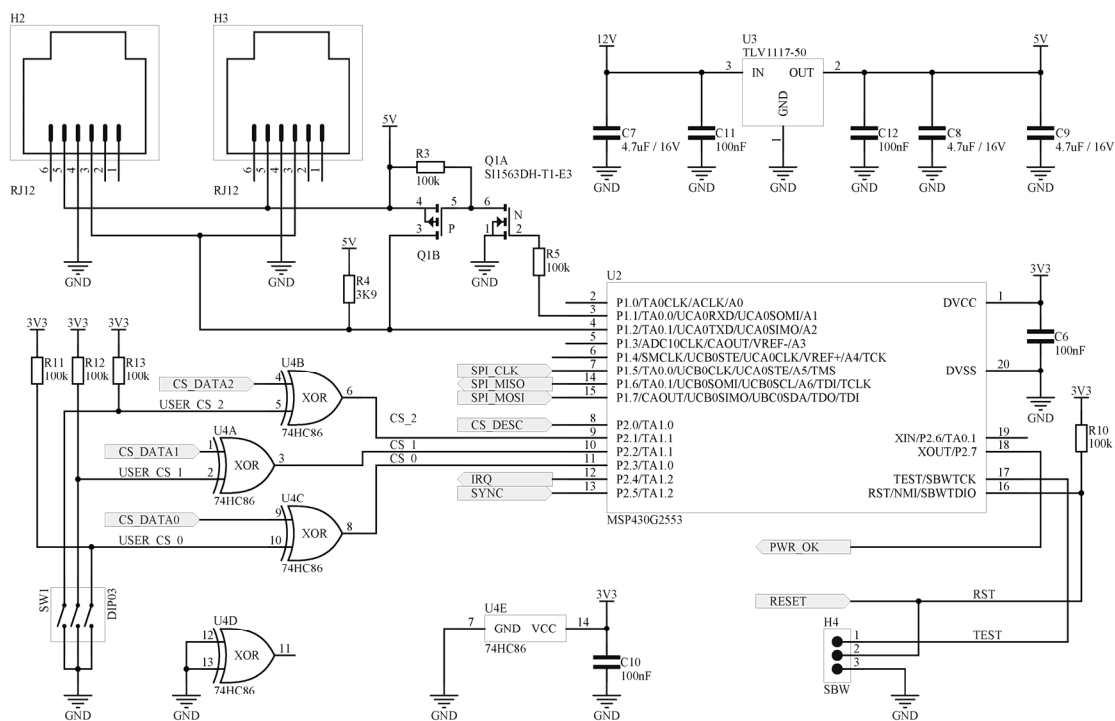
Obr. 33. Schéma zapojení LC filtru a jednoho ze tří kanálů 0 až 20 mA

### 4.3.3. Návrh převodníku pro 1-Wire

Rozhraní 1-Wire, vyvinuté společně Dallas Semiconductor, umožňuje propojení několika různých senzorů pouze pomocí dvou vodičů. Jedním z vodičů musí být společná zem na která jsou všechny ovládané senzory připojeny. Sběrnici pak po jednom datovém vodiči řídí jediný řídicí master obvod. Ten zahajuje komunikaci se slave zařízeními vysláním log. 0 po dobu minimálně 480 μs. Po tomto pulzu se přepne do přijímacího režimu a čeká na odpověď od slave zařízení. Pokud je na sběrnici připojeno slave zařízení nejpozději do 60 μs zareaguje na tento pulz nastavením log. 0 na datovém vodiči po dobu 60 až 240 μs. Po této inicializaci následuje samotná datová komunikace. Ta probíhá v časových oknech (na jedno okno připadá jeden přenesený bit). Zařízení 1-Wire jsou vždy vybaveny pamětí ROM, která obsahuje 64 bitové unikátní číslo. Toto unikátní číslo se využívá pro adresování při provozu více zařízení na jedné sběrnici.



Obr. 34. Příklad průběhu komunikace na sběrnici 1-Wire, převzato [35]



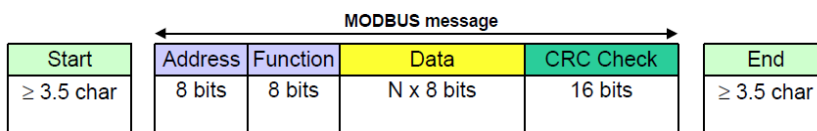
Obr. 35. Měřicí deska 1-Wire

Realizovat převodník na sběrnici 1-Wire je možné některými z dostupných převodníků ať už pro rozhraní SPI nebo I2C. Z finančního hlediska není takové řešení příliš výhodné. Proto je tato měřicí deska realizovaná 16 bitovým mikrokontrolérem MSP430G2553. Ten disponuje všemi potřebnými perifériemi a cena takového řešení je řád nižší než v případě hotových převodníků. Pro ladění a programování firmware slouží rozhraní SBW vyvedené na konektor H4. MCU používá jako zdroj taktu kalibrovaný interní oscilátor. Obvody adresace jsou tvořeny pouze logickými hradly XOR. Čtvrtý adresní bit je připojen k MCU jako vodič

CS\_DESC. Deskriptorová paměť je softwarově simulovaná. Dvojice tranzistorů Q1A a Q1B slouží pro parazitní napájení připojených 1-Wire senzorů. Pro napájení senzorů bylo zvoleno napětí 5V, které stabilizuje z napájecího napětí 12 V lineární stabilizátor TVL1117-50 (U3).

#### 4.3.4. Návrh převodníku pro Modbus

Protokol Modbus RTU je provozován na rozhraních RS232, RS422 a RS485. Nejčastěji používaným je právě RS485. Signál se přenáší diferenciálními páry, což zaručuje výbornou odolnost proti rušení i na dlouhé vzdálenosti. V praxi se používají přenosové rychlosti v rozsahu od 1200 Baud do 115200 Baud v závislosti na délce a kvalitě použitého vedení. Napěťové úrovně jsou -7 až 12V.

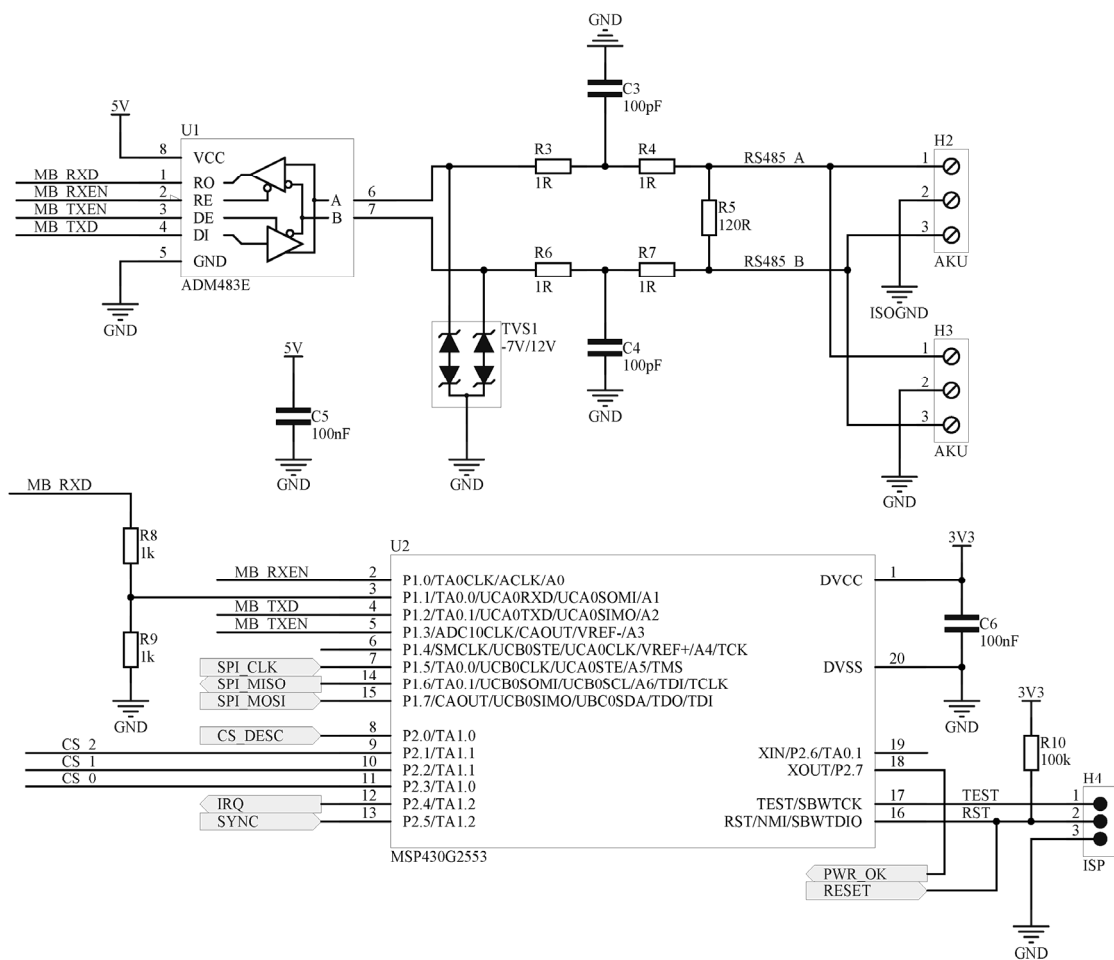


Obr. 36. Příklad datového rámce Modbus RTU

Komunikační rámec obsahuje adresu cílového zařízení (řídící člen sběrnice má vždy adresu 0), funkci, která má být zařízením provedena (nejčastěji čtení nebo zápis hodnoty některého z registrů), přenášená data a kontrolní součet CRC. Časování datových rámců (dodržování zpoždění alespoň o délce 3,5 bajtu) je nezbytné. Adresa je 8 bitová, z čehož vyplývá, že na jednu sběrnici může být připojeno maximálně 254 podřízených zařízení.

Samotná komunikace pak probíhá tak, že řídící člen odešle packet opatřený adresou cílovému zařízení. Cílové zařízení na tento packet odpoví packetem s nulovou adresou.

Modbus karta stejně jako předchozí 1-Wire karta realizuje řízení sběrnice mikrokontrolérem MSP430G2553. Ten bohužel nedisponuje hardwarovou jednotkou pro výpočet CRC, a proto jí bylo nutné realizovat softwarově.



Obr. 37. Měřicí desky Modbus

Pro převod sériové linky na diferenciální rozhraní RS485 byl použit integrovaný obvod ADM483E. Ten je napájen napětím 5 V, které stejně jako v předchozím případě reguluje lineární stabilizátor TVL1117-50. Převodníky pro RS485, jejichž pracovní napětí je od 3,3V jsou na trhu dostupné, ale jejich cena je vyšší než cena výše uvedeného řešení. Jako ochrana proti přepětí byl použit jednoduchý RC článek a přepětíová ochrana CDSOT23-SM712, která je přímo určena pro rozhraní RS485 (-7 až 12 V). Rezistor R5 slouží pro impedanční přizpůsobení.

### 4.3.5. Návrh měřicí desky pro PT100 a PT1000

Pro přesné měření teploty s odporovými senzory PT100 a PT1000 byl vybrán integrovaný obvod Analog Devices AD7792. Jde o 16 bitový sigma-delta převodník se třemi diferenciálními vstupy, zesilovači s programovatelným ziskem až 64, programovatelným zdrojem proudu a přesnou band gap referenci napětí. Komunikace je realizována přes SPI.

Jumpery H2 a H3 umožňují měření s různým počtem přívodních vodičů. Konkrétně dvou vodičové (oba jumpery zkratované), tří vodičové (zkratován pouze jumper H3) a čtyř vodičové (oba jumpery otevřeny). Vstupy REFIN slouží pro měření napětí na referenční zátěži. Jako referenční zátěž slouží přesné rezistory 100  $\Omega$  a 1 k $\Omega$ . Ty je možné přepínat jumperem H4.

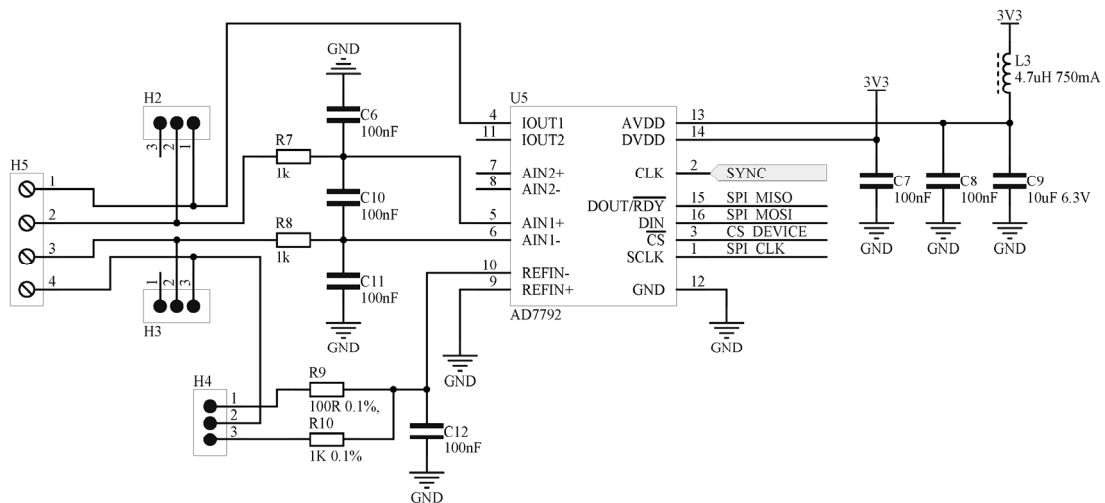


Schéma zapojení měřicí části desky pro senzory PT100 a PT1000

## 5. Software

Softwarové vybavení navrhovaného zařízení se sestává z firmwaru hlavního mikrokontroléru, konfigurační aplikace pro PC a webové aplikace pro příjem a zobrazování dat alarmů. Firmware měřících desek pro 1-Wire a Modbus byl popsán v předešlé kapitole zaměřené na návrh měřících desek.

### 5.1. Popis firmware

Firmware MCU základní desky byl vyvíjen za pomoci příkladů dostupných pro všechny periférie. Obsluha rozhraní SDIO pomocí, kterého je komunikováno s SD kartou byla doplněno o souborový systém FAT implementovaný pomocí knihoven FatFs. Na souborový systém byly pak navázány USB ovladače, které umožňují přistupovat k SD paměti přes PC jako výměnnému médiu. Kromě této Mass storage funkce byly implementována obsluha USB kompatibilní s ovladači libUSB.

Pro potřeby GSM modulu byla naprogramována komunikace pomocí AT příkazy. Pomocí těchto příkazů je možné provádět veškeré operace spojené s GSM/GPRS, SMS, HTTP požadavky, odesílání mailů a vykonávání hovorů.

Plánování zapínání napájecích zdrojů a časování měřících karet bylo implementováno tak, aby bylo nastavitelné pomocí konfigurační aplikace pro PC.

### 5.2. EEPROM měřících karet

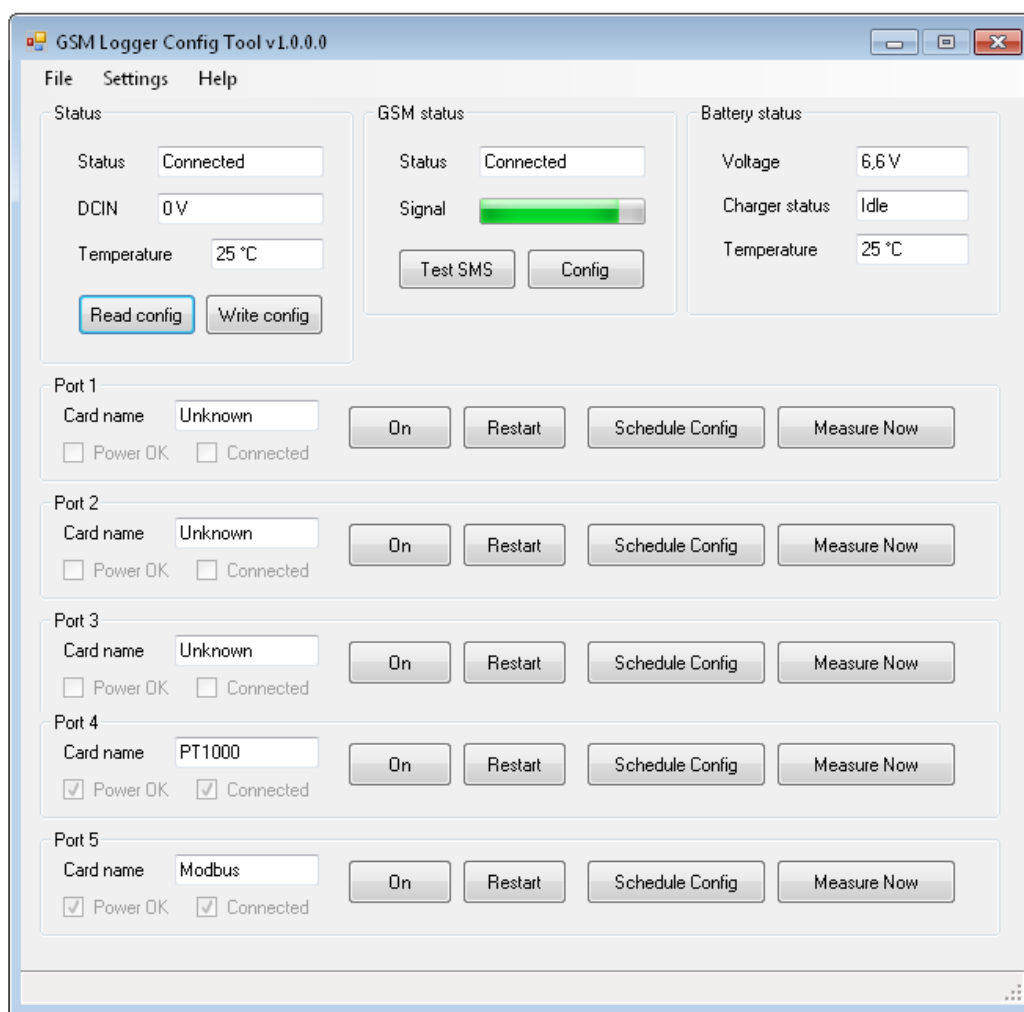
Obsah paměti měřící desky je načten pokud je zaregistrováno připojení nového zařízení. Paměť měřících karet je rozdělena na několik segmentů o stejné velikosti 32 bajt. První segment obsahuje název měřící karty. Konfigurační segment obsahuje volbu sběrnice pro měřící prvek a maximální komunikační rychlost.

Další segmenty jsou datového typu, tj. první bajt segmentu určuje počet příkazů, druhý bajt délku příkazů a následující bajty již samotná data. Mezi tyto segmenty patří inicializační segment, segment synchronizace a dále segmenty pro každý měřící kanál.

### 5.3. Popis PC aplikace pro konfiguraci GSM loggeru přes USB

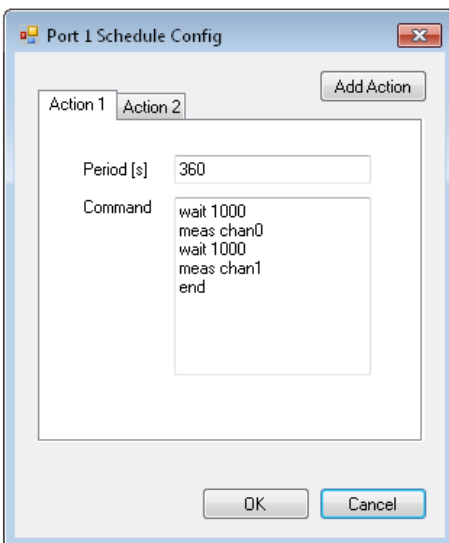
Aplikace GSM Logger Config Tool pro konfiguraci GSM záznamníku byla vyvíjena ve vývojovém prostředí Visual Studio 2012 v programovacím jazyku C# pro .NET framework verze 4.0.

Pro komunikaci po USB za použití ovladačů libUSB byla použita knihovna LibUsbDotNet [30]. Program umožňuje číst a zapisovat nastavení záznamníku, sledovat stav baterie, konfiguraci a testování GSM a napájecích plánů. Každý měřicí slot je možné zapínat, restartovat, spouštět měření a vytvářet plány měření.



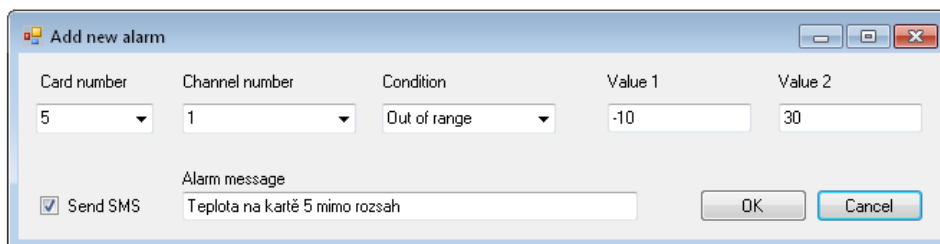
Obr. 38. Náhled konfigurační aplikace

Plány měření jsou realizovány jako příkazy, spouštěné periodicky. K dispozici jsou příkazy pro ovládání napájecího napětí, časové zpoždění, spouštění odměru na určitém kanálu, synchronizaci více kanálů nebo více karet a povolování a zakazování ostatních akcí. Pro každý měřicí slot je možné vytvořit až 5 akcí.



Obr. 39. Náhled konfigurace plánu jednoho z portů

Dále je možné nastavovat vlastní alarmy. Je nutné specifikovat číslo karty, měřený kanál, podmínku a referenční hodnoty pro danou podmínku. Odeslání SMS při aktivaci alarmu je volitelné. Pro funkci alarmu je nutné vytvořit plán na příslušném portu a nastavit měření na monitorovaném kanálu.

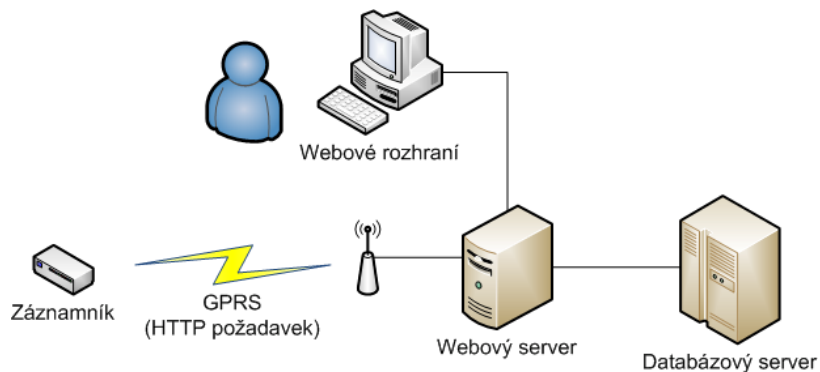


Obr. 40. Okno pro nastavení alarmu



## 5.4. Popis webového API pro přes příjem dat ze záznamníku

Zvolený GSM/GPRS modul je schopen odesílat libovolné HTTP požadavky. To umožňuje snadnou komunikaci prostřednictvím sítě internet. Do těchto požadavků je možné zakomponovat data, která mají být odeslána na server. V tomto případě, naměřené hodnoty, alarmy a stavové informace. Na základě přijatých hodnot je sestaven požadavek na databázi a příslušné hodnoty jsou uloženy na server.

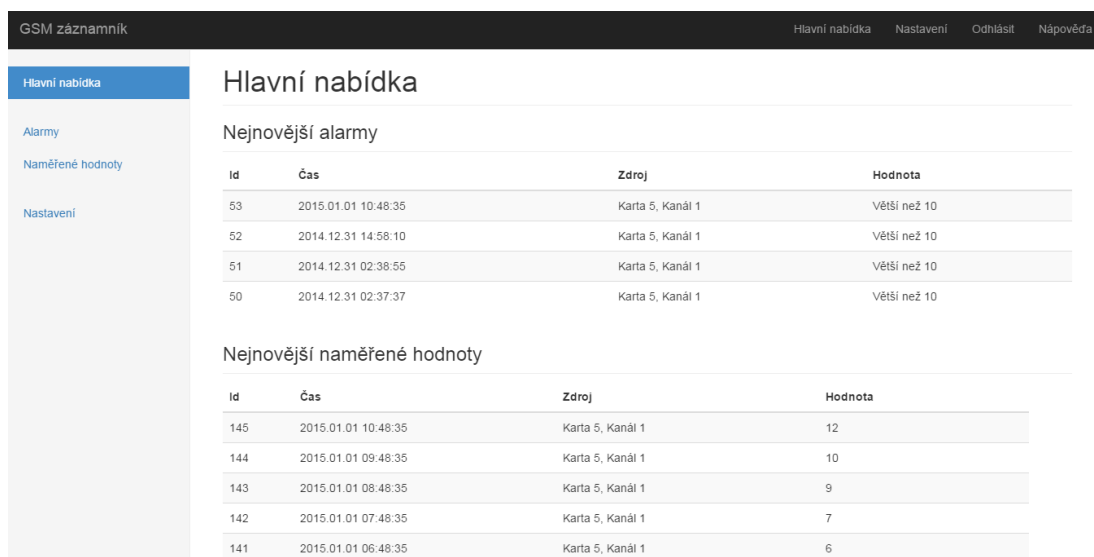


Obr. 41. Princip přenosu dat pomocí webového rozhraní

Webové API bylo implementováno v objektovém programovacím jazyce PHP 5. Jako databázový server byl zvolen server MySQL. Pro snadnější práci s SQL požadavky byla použita PHP knihovna Dibi.

## 5.5. Popis webového rozhraní pro práci s naměřenými daty

Jednoduché webové rozhraní je postaveno na základě frameworku Bootstrap, který usnadňuje vytváření webových stránek. Pro vývoj javascriptů byla použita knihovna jQuery. Kód na straně serveru byl stejně jako API napsán v objektovém jazyce PHP 5.



The screenshot shows a web application interface for 'GSM záznamník'. It features a dark top navigation bar with links for 'Hlavní nabídka', 'Nastavení', 'Odhlásit', and 'Nápověda'. A left sidebar contains a menu with 'Hlavní nabídka' (highlighted), 'Alarmy', 'Naměřené hodnoty', and 'Nastavení'. The main content area is titled 'Hlavní nabídka' and contains two sections: 'Nejnovější alarmy' and 'Nejnovější naměřené hodnoty', each with a table of data.

Id	Čas	Zdroj	Hodnota
53	2015.01.01 10:48:35	Karta 5, Kanál 1	Větší než 10
52	2014.12.31 14:58:10	Karta 5, Kanál 1	Větší než 10
51	2014.12.31 02:38:55	Karta 5, Kanál 1	Větší než 10
50	2014.12.31 02:37:37	Karta 5, Kanál 1	Větší než 10

Id	Čas	Zdroj	Hodnota
145	2015.01.01 10:48:35	Karta 5, Kanál 1	12
144	2015.01.01 09:48:35	Karta 5, Kanál 1	10
143	2015.01.01 08:48:35	Karta 5, Kanál 1	9
142	2015.01.01 07:48:35	Karta 5, Kanál 1	7
141	2015.01.01 06:48:35	Karta 5, Kanál 1	6

Obr. 42. Náhled webového rozhraní

Webové rozhraní se sestává z hlavního panelu, alarmů, naměřených hodnot a nastavení. Hlavní panel obsahuje přehled nejnovějších alarmů a naměřených hodnot. Sekce Alarmy umožňuje procházení všech alarmů zaznamenaných v databázi. V sekci Naměřené hodnoty je možné procházet všechny odměry uložené v databázi a stahovat je ve formátu CSV. Nastavení je omezeno pouze na konfiguraci vzhledu hlavního panelu (množství zobrazených položek) a na specifikaci formátu pro export naměřených dat.

## 6. Ekonomická rozvaha

V průběhu vývoje zařízení je nutné mít neustále na paměti ekonomické a logistické hledisko návrhu. To znamená kontrolovat dostupnost použitých součástek, skladové množství a dodací lhůty velkoobchodů, výrobců nebo osazovacích firem, které pro menší a střední série disponují širokou paletou zejména pasivních součástek. V případě zmíněných pasivních součástek je také vhodné používat co možná nejméně druhů součástek a to z toho důvodu, že zpravidla největší náklady na osazování činí manuální práce, kterou musí vykonat technik při zasazování pásu se součástkami do osazovacího stroje.

### 6.1. Metodika a aplikace použité pro nacenění zařízení

Proces naceňování hotového prototypu začíná vygenerování seznamu součástek ze software pro návrh plošných spojů ve formátu XLS aplikace MS Excel, který obsahuje množství, výrobce, typové označení, dodavatele a označení součástky dle dodavatele. Tento seznam součástek je poté zpracován aplikací BomPriceTool, která je včetně zdrojových kódů k dispozici na přiloženém CD. Ta dovede na základě vygenerovaného seznamu součástek vyhledávat ceny součástek na webových stránkách dodavatelů, zpracovat množstevní slevy a vypočítat cenu součástek pro různě velké série. Nalezené ceny součástek a výpočty jsou pak následně uloženy zpět do stejného souboru ve formátu XLS. Aplikace BomPriceTool podporuje dodavatele Premier Farnell UK Limited, Mouser Electronics, Inc., GM electronic, spol. s r.o. a TME Czech Republic s.r.o.

Dalším krokem je generování seznamu součástek pro osazovací stroje. Seznam obsahuje kromě označení na schématu, výrobce a typovém označení také pozici a orientaci na plošném spoji. Na jeho základě je pak možné stanovit cenu za osazení desky. Ceny byly poptávány u firmy Kvark Servis s.r.o. Ty se odvíjí od množství součástek, množství pinů součástek, množství plošných spojů na panelu (kolik desek je možné najednou zpracovat) a dalších povýrobních operací jako např. mytí plošného spoje. Sazba za osazení jedné součástky je v řádu korun a fixní náklady spojené s administrací a přípravou dat v řádu několika tisíc korun. Dále je nutné vynaložit náklady na oživení a otestování zařízení, osazení elektroniky do montážní krabice a na marketing a reklamu. Všechny tyto náklady jsou

specifikovány v následujících tabulkách pro každé zařízení zvlášť. Ceny plošných spojů byly vypočteny dle ceníku firmy PragoBoard s.r.o.

## 6.2. Nacenění zařízení

Všechny náklady jsou uvedeny v Kč bez DPH

<b>Položka</b>	<b>Náklady za kus při sérii 100 kusů</b>	<b>Náklady za kus při sérii 1000 kusů</b>
Sada materiálu	1841,05	1663,87
Plošný spoj zákl.	308,28	252,92
Plošný spoj aku.	71,83	57,28
Osazení zákl.	450,13	385,70
Osazení aku.	10,00	8,00
Montážní krabice	576,00	495,00
Příslušenství	160,00	160,00
Montáž a oživení	150,00	150,00
Jednorázové náklady	67,05	6,71
Reklama	200,00	20,00
<b>Celkem</b>	<b>3834,34</b>	<b>3199,48</b>

Tab. 3. Náklady na výrobu základní desky a akumulátorů

<b>Položka</b>	<b>Náklady za kus při sérii 100 kusů</b>	<b>Náklady za kus při sérii 1000 kusů</b>
Sada materiálu	167,79	136,11
Plošný spoj	49,67	49,67
Osazení	71,20	59,80
Jednorázové náklady	67,05	6,71
Reklama	50,00	5,00
<b>Celkem</b>	<b>405,71</b>	<b>257,29</b>

Tab. 4. Náklady na výrobu měřicí karty -10 až 10V

<b>Položka</b>	<b>Náklady za kus při sérii 100 kusů</b>	<b>Náklady za kus při sérii 1000 kusů</b>
Sada materiálu	151,96	124,95
Plošný spoj	49,67	49,67
Osazení	69,50	60,40
Jednorázové náklady	67,05	6,71
Reklama	50,00	5,00
<b>Celkem</b>	<b>388,18</b>	<b>246,73</b>

Tab. 5. Náklady na výrobu měřicí karty 0 až 20 mA

<b>Položka</b>	<b>Náklady za kus při sérii 100 kusů</b>	<b>Náklady za kus při sérii 1000 kusů</b>
Sada materiálu	236,61	225,6
Plošný spoj	49,67	49,67
Osazení	65,40	59,70
Jednorázové náklady	67,05	6,71
Reklama	50,00	5,00
<b>Celkem</b>	<b>468,73</b>	<b>346,68</b>

Tab. 6. Náklady na výrobu měřicí karty pro PT100/PT1000

<b>Položka</b>	<b>Náklady za kus při sérii 100 kusů</b>	<b>Náklady za kus při sérii 1000 kusů</b>
Sada materiálu	114,51	97,15
Plošný spoj	49,67	49,67
Osazení	60,40	54,70
Jednorázové náklady	67,05	6,71
Reklama	50,00	5,00
<b>Celkem</b>	<b>341,63</b>	<b>213,23</b>

Tab. 7. Náklady na výrobu měřicí karty pro Modbus

<b>Položka</b>	<b>Náklady za kus při sérii 100 kusů</b>	<b>Náklady za kus při sérii 1000 kusů</b>
Sada materiálu	73,77	60,95
Plošný spoj	49,67	49,67
Osazení	61,00	55,10
Jednorázové náklady	67,05	6,71
Reklama	50,00	5,00
<b>Celkem</b>	<b>301,49</b>	<b>177,43</b>

Tab. 8. Náklady na výrobu měřicí karty pro 1-Wire

### 6.3. Porovnání nákladů na výrobu s cenou konkurenčních zařízení

Dle nacenění z tabulek 3 až 8 jsou náklady na výrobu GSM záznamníku 3834,- Kč bez DPH a náklady na výrobu měřících karet jsou dle typu v rozmezí od 305,- do 469,-Kč. Pro porovnání ceny uvažujeme osazení záznamníku pěti kusy nejdražší měřicí karty. Náklady na výrobu takto definované sestavy jsou 6178,- Kč za jednu měřicí sestavu.

Cena nejlevnějšího dostupného GSM záznamníku HW Ares 14 je 17150,- Kč. Cena funkčně nejbližšímu zařízení Ibexis Micro MSP je 44000,-Kč. V případě, že by koncová cena navrženého GSM záznamníku byla stejná jako cena nejlevnějšího záznamníku HW Ares 14, bude hrubá marže činit 10972,-Kč (64 %). V případě koncové ceny stejné jako je cena funkčně nejbližšímu zařízení Ibexis Micro MSP bude hrubá marže činit 37822,- Kč (86 %). Z takto provedeného finančního rozboru vyplývá, že při dodržení výše uvedených nákladů je možné vyrobit konkurenceschopný produkt.

## 7. Závěr

Omezený rozsah diplomové práce neumožňuje popsat takto komplexní zařízení na úrovni uživatelské příručky, a proto tato práce obsahuje hlavně popis navržených schémat, algoritmů a okrajově prezentuje softwarové vybavení.

Při vypracovávání průzkumu trhu bylo prohledáno velké množství webových prezentací a po výběru nejzajímavějších výrobků bylo nutné nastudovat jejich produktové listy, aplikační poznámky a uživatelské návody. Díky poznatkům nabytým při tomto průzkumu bylo možné jasně specifikovat zadání pro vývoj zařízení schopného svojí funkcí obstát na současném trhu v odvětví GSM záznamníků a určit jeho umístění na trhu ať už z hlediska funkcí, tak i z hlediska jeho koncové ceny.

V rámci tohoto projektu byly vyvinuty, vyrobeny, zprovozněny a otestovány prototypy GSM záznamníku, měřících karet pro rozhraní 1-Wire a Modbus, měřících karet s napěťovým a proudovým vstupem a prototyp měřící karty pro teplotní senzory PT1000. Z časových důvodů bylo upuštěno od návrhu balančního obvodu pro akumulátory. Návrh byl proveden s ohledem na spolehlivost, jednoduchost hromadné výroby a nákladů na výrobu zařízení. Dále byl vyvinuto potřebné softwarové vybavení, které by však před uvedením na trh potřebovalo jistý zásah grafického návrháře a softwarového inženýra.

Tato práce byla výbornou příležitostí pro zdokonalení znalostí v oboru elektroniky a měřící techniky, pro prohloubení znalosti softwarového vybavení pro návrh a generování výrobních podkladů pro elektronická zařízení a pro pochopení ekonomických aspektů vývoje.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] MAXIM INTEGRATED PRODUCTS, Inc. *High-Accuracy Temperature Measurements* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: <http://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/4875>
- [2] MAXIM INTEGRATED PRODUCTS, Inc. *Using a UART to Implement a 1-Wire Bus Master* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: <http://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/214>
- [3] HW GROUP. *Ares12/14: GSM teploměr s Email (GPRS) a SMS poplachy* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: [http://www.hw-group.com/products/HWg-Ares/HWg-Ares\\_GSM\\_sensors\\_cz.html](http://www.hw-group.com/products/HWg-Ares/HWg-Ares_GSM_sensors_cz.html)
- [4] ISODAQ TECHNOLOGY. *Hawk RT GSM/GPRS logger* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: <http://www.isodaq.co.uk/telemetry-systems/isodaq-telemetry-loggers/hawk-rt-gsm-gprs-logger.html>
- [5] ISODAQ TECHNOLOGY. *Tadpole Ri GSM/GPRS data logger* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: <http://www.isodaq.co.uk/telemetry-systems/isodaq-telemetry-loggers/tadpole-gsm-gprs-data-logger-111.html>
- [6] *Ibexis Micro MSP GSM Modem Data Logger* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: [http://www.dataloggerinc.com/products/Micro\\_MSP\\_GSM\\_Modem\\_Data\\_Logger/12/](http://www.dataloggerinc.com/products/Micro_MSP_GSM_Modem_Data_Logger/12/)
- [7] APTIFIRST. *AGT Series GSM Temperature Monitors* [online] [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: [http://www.aptifirst.com/temp\\_control/agt\\_gsm\\_thermometer.htm](http://www.aptifirst.com/temp_control/agt_gsm_thermometer.htm)
- [8] SENSORMETRIX. *Argon 100 GSM* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: [http://www.sensor-metrix.co.uk/argon-100-gsm-temperature-monitor\\_p\\_473.php](http://www.sensor-metrix.co.uk/argon-100-gsm-temperature-monitor_p_473.php)
- [9] MAXIM INTEGRATED PRODUCTS, Inc. *High-Accuracy Temperature Measurements* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: <http://www.cometsystem.cz/produkty/t-print-g0841m-odolny-teplomer-s-vestavenou-tiskarnou-a-gsm-modemem/reg-G0841M>
- [10] MAXIM INTEGRATED PRODUCTS, Inc. *High-Accuracy Temperature Measurements* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: <http://www.cometsystem.cz/produkty/kit-gsm-l/reg-KIT-GSM-L>
- [11] MICREL. *Datasheet MIC24085* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné na CD
- [12] TEXAS INSTRUMENTS *Datasheet LMR62014* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmr62014.pdf>
- [13] TEXAS INSTRUMENTS. *Datasheet BQ24745* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq24745.pdf>
- [14] MAXIM INTEGRATED. *Datasheet DS18S20+* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18S20.pdf>

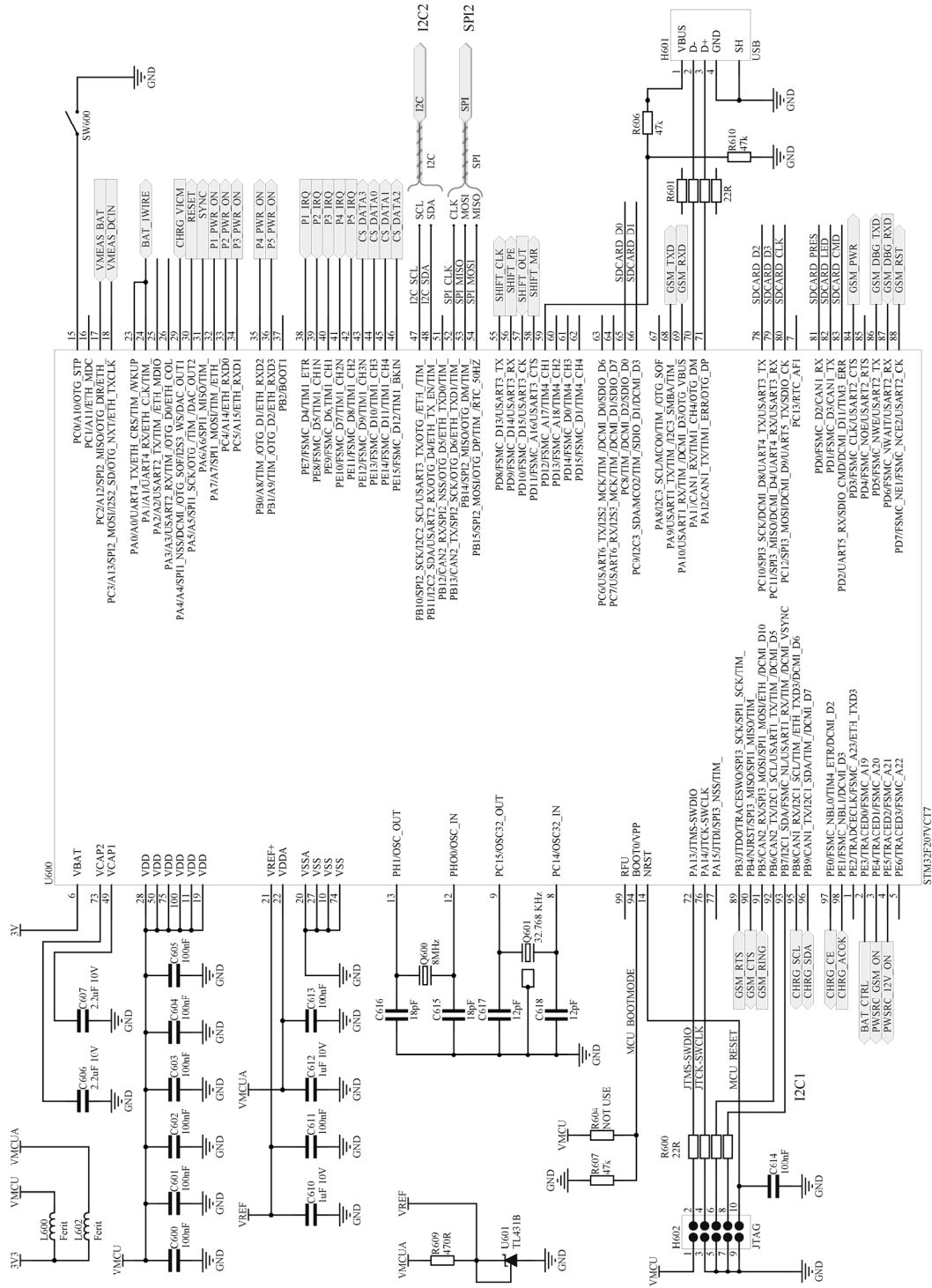


- [16] SIMCOM. *SIM900 Hardware Design v2.00* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné na CD
- [17] SIM900 AT Command Manual V1.05 [online]. [cit. 2015-01-04].
- [19] PCI\_Express\_CEM\_1.1.pdf [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné na CD
- [20] ANALOG DEVICES. *Datasheet AD7792* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1789906.pdf>
- [21] TEXAS INSTRUMENTS. *Datasheet ADS1015* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1788973.pdf>
- [22] ANALOG DEVICES. *Datasheet ADM483E* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/83899>.
- [23] MODBUS.ORG. *Modbus over serial line V1\_02* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné na CD
- [24] TEXAS INSTRUMENTS. *Datasheet MSP430G2553* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné na CD
- [25] TEXAS INSTRUMENTS *Protecting RS-485 Interfaces Against Lethal Electrical Transients* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: <http://ti.com/lit/an/slla292a/slla292a.pdf>
- [26] ZÁHLAVA Vít, *Předkášky k předmětu Principy a pravidla elektronického návrhu* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: <http://www.micro.feld.cvut.cz/home/zahlava/ppn/prednasky/>
- [27] STM. *CD00225773 - Referenční manuál pro STM32F207xx* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné z [http://st.com/web/en/reference\\_manual/CD00225773.pdf](http://st.com/web/en/reference_manual/CD00225773.pdf)
- [28] *SD Specifications Part 1 Physical Layer Simplified Specification* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: [https://www.sdcard.org/downloads/pls/simplified\\_specs/part1\\_410.pdf](https://www.sdcard.org/downloads/pls/simplified_specs/part1_410.pdf)
- [29] *FsFAT* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: [http://elm-chan.org/fsw/ff/00index\\_e.html](http://elm-chan.org/fsw/ff/00index_e.html)
- [30] *LibUsbDotNet* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné z: <http://sourceforge.net/projects/libusbdotnet/>
- [31] KREJČÍŘÍK, Alexandr. *SMS: střežení a ovládání objektů pomocí mobilu a SMS : GSM pagery a alarmy : princip použití, návody, příklady*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2004, 303 s. ISBN 80-730-0082-2.
- [33] KŘIŠŤAN, Luděk a VACHALA Vladimír. *Příručka pro navrhování elektronických obvodů*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1982. 393 s.
- [34] NEUMANN, P. a UHLÍŘ J. *Elektronické obvody a funkční bloky*. Vyd. 1., Praha: ČVUT, 2005, 279 s., ISBN 80-01-03281-7
- [35] SPRINGBOK DIGITRONICS. *I-Wire-Design Guide v1.0* [online]. [cit. 2015-01-04]. Dostupné na CD

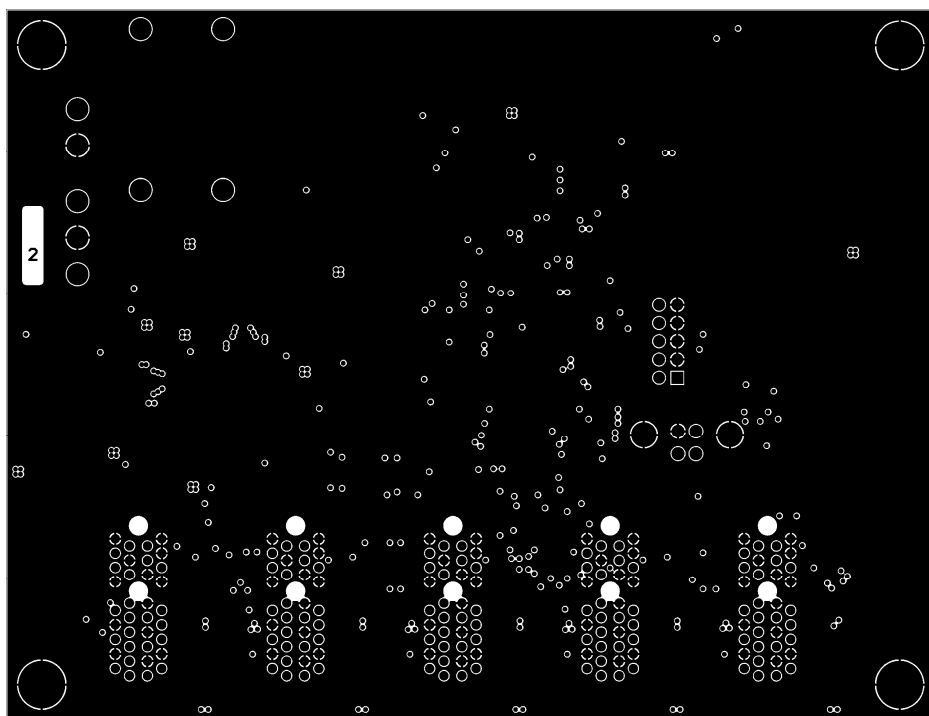
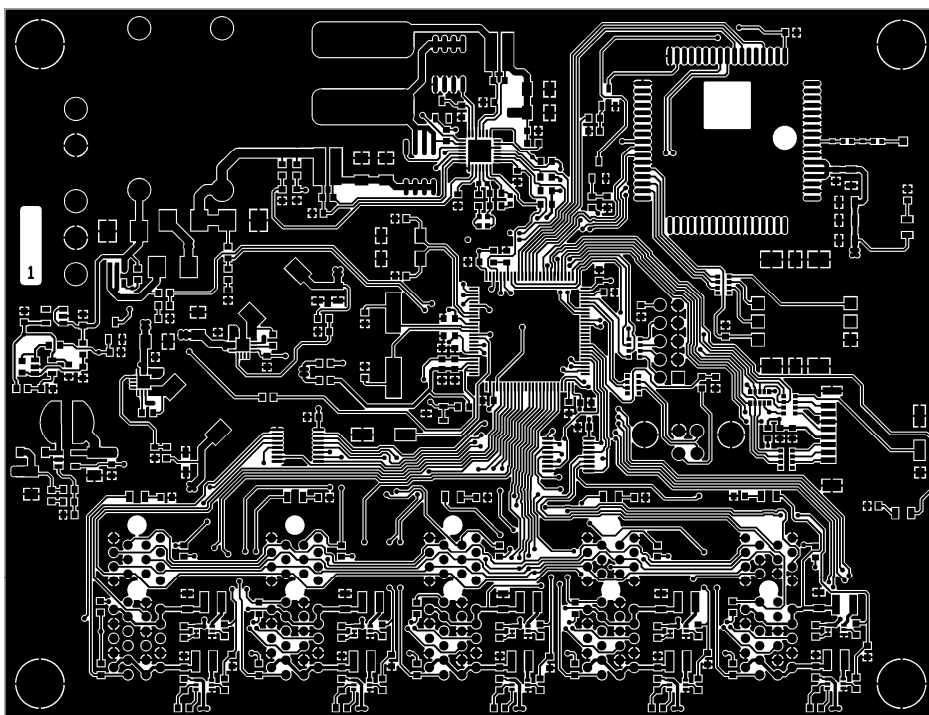
## Obsah přiloženého CD

Altium	Soubory návrženého hardware z aplikace Altium Designer
Altium Dokumentace	Schémata, plošné spoje a osazovací plány
BomPriceTool	Software pro naceňování
Datasheety	Vybrané katalogové listy
Firmware	
GSM záznamníku	Zdrojové kódy GSM záznamníku
Express1Wire	Zdrojové kódy měřicí karty pro 1-Wire
ExpressModbus	Zdrojové kódy měřicí karty pro Modbus
Pricelisty	Podklady použité pro výpočet ceny součástek
Software	
PC aplikace	Zdrojové kódy PC aplikace pro Visual Studio 2012
Webová aplikace	Zdrojové kódy v PHP, CSS, JS a HTML
Tina	Schémata simulovaná v aplikaci Texas Instruments Tina

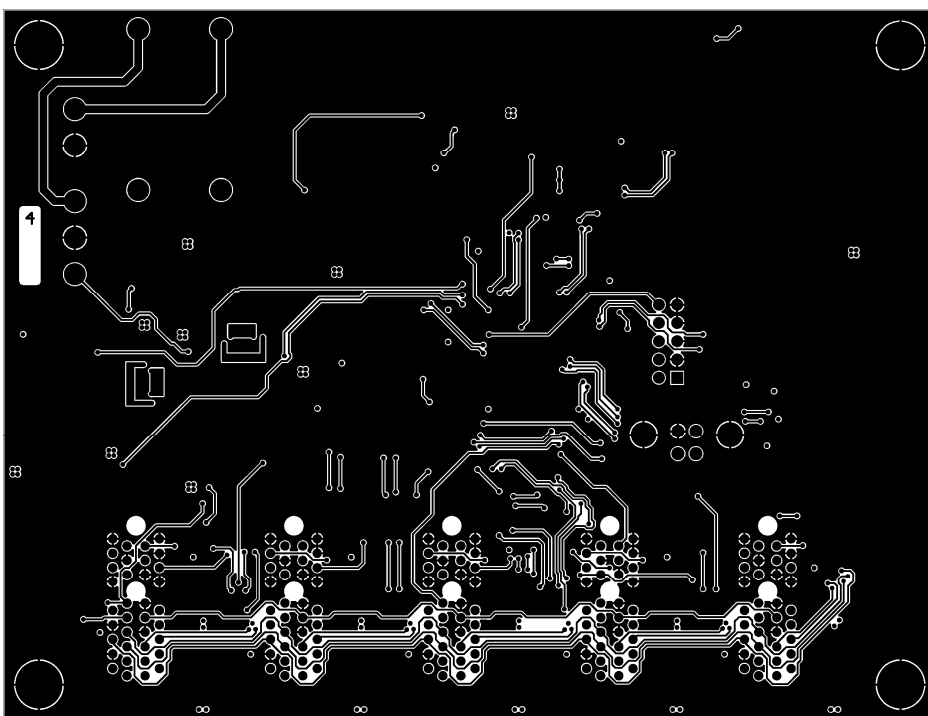
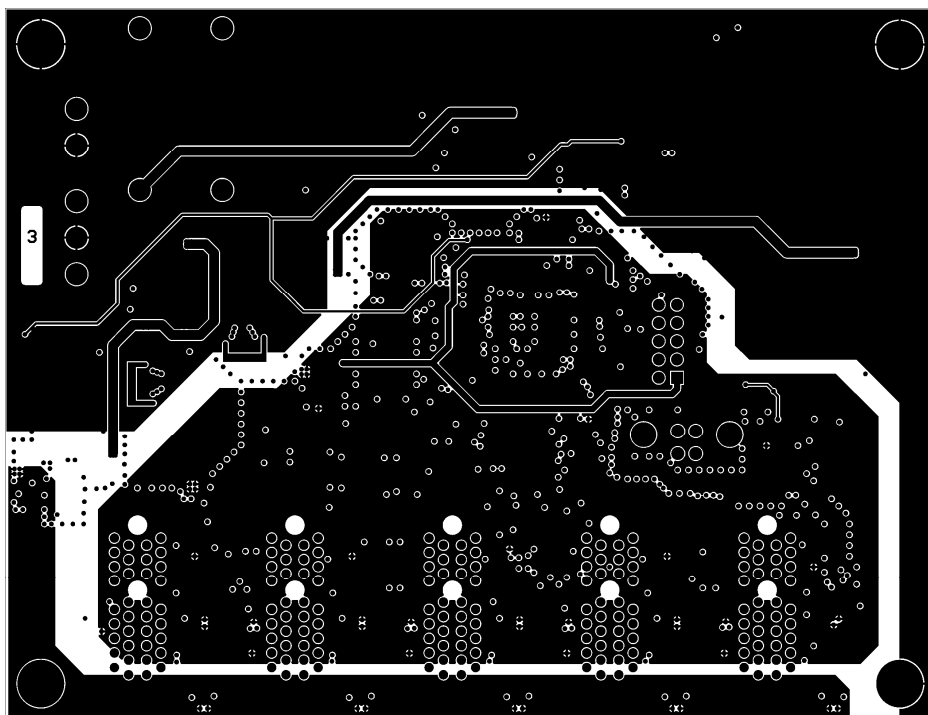
# Příloha



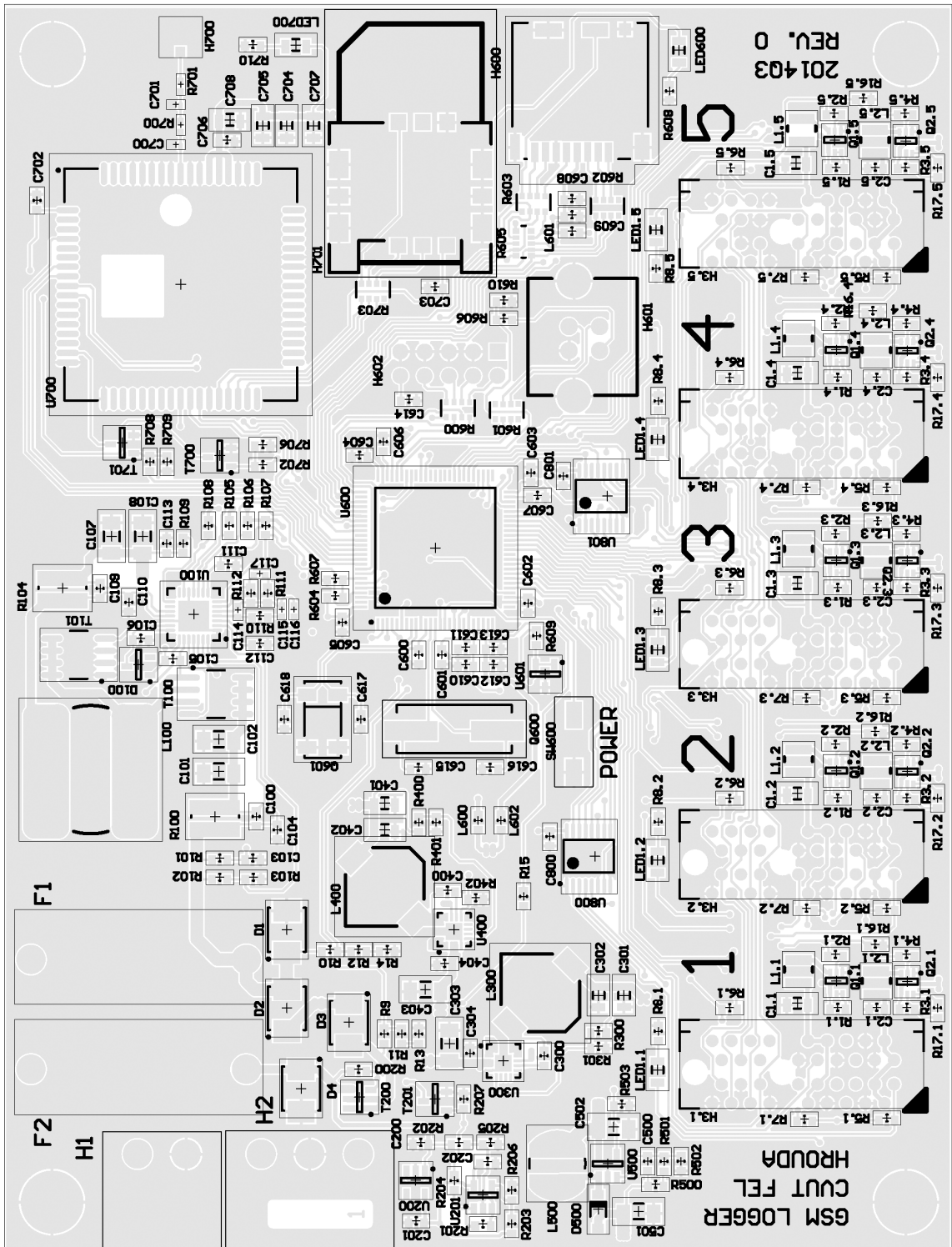
Příloha 1 - Schéma zapojení mikrokontroleru GSM záznamníku



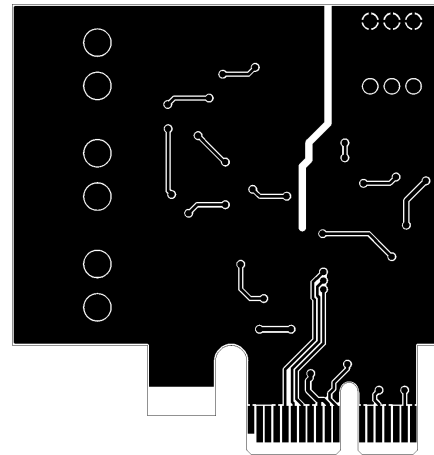
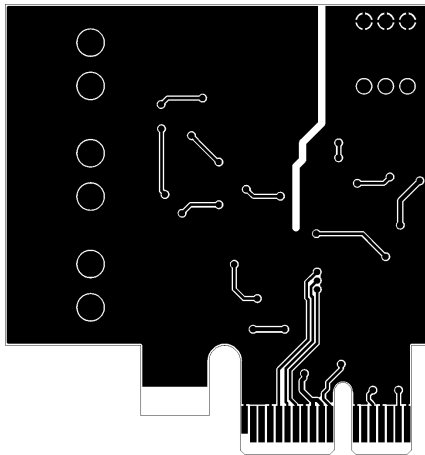
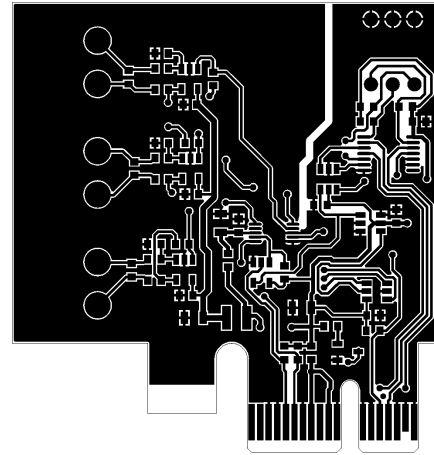
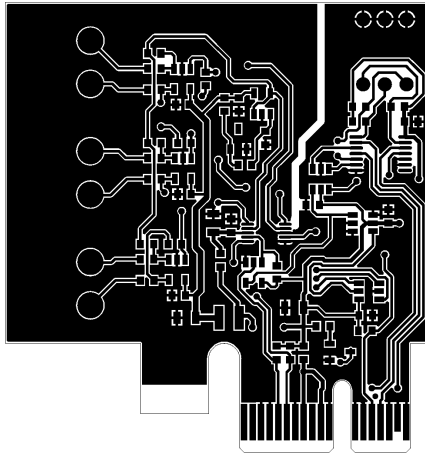
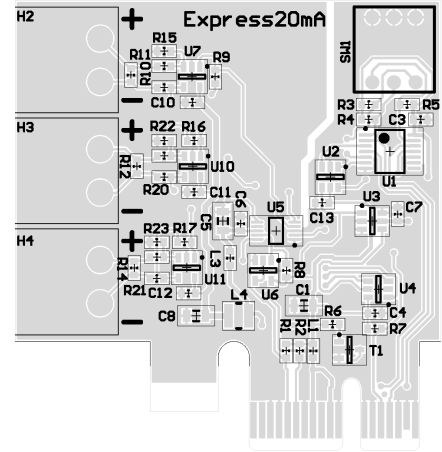
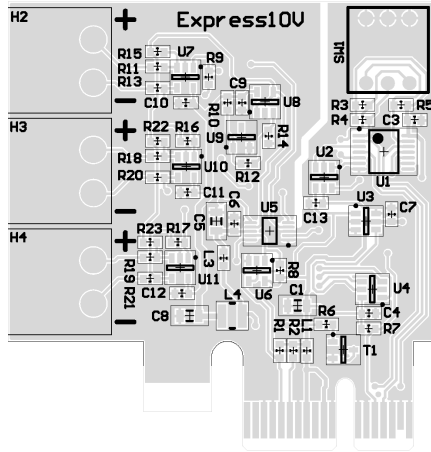
Příloha 2 - Předloha plošného spoje GSM záznamníku - Horní a zemnicí vrstva



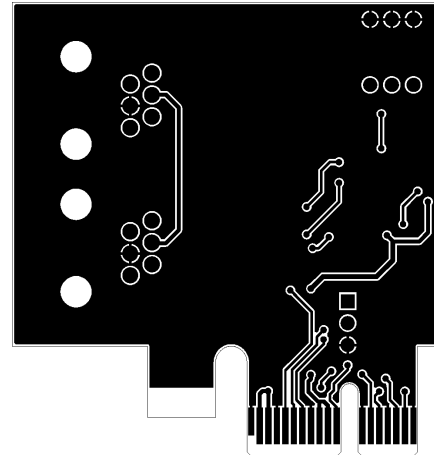
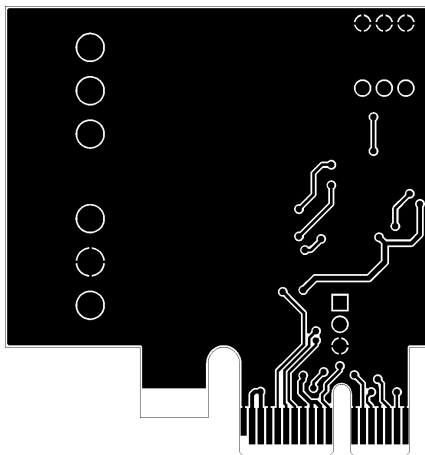
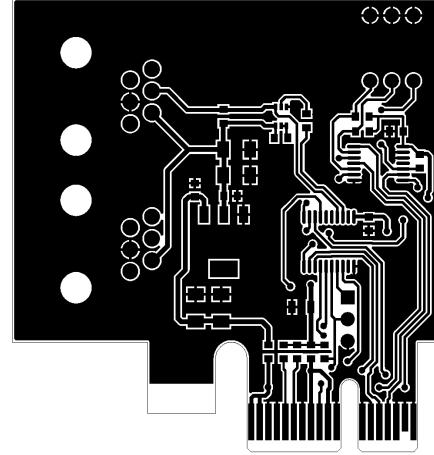
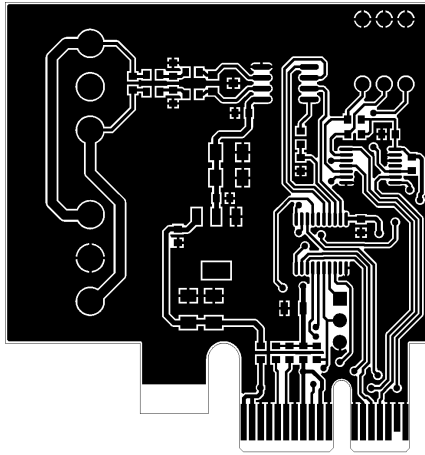
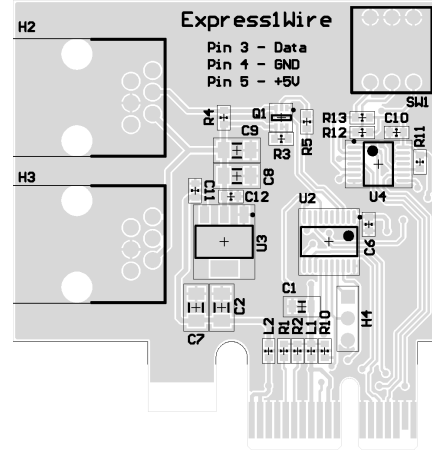
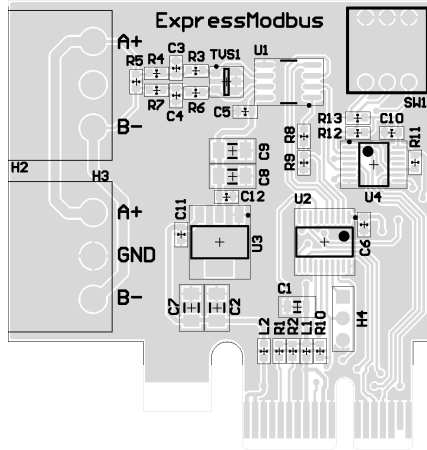
Příloha 3 - Předloha plošného spoje GSM záznamníku - Napájecí a spodní vrstva



Příloha 4 - Osazovací plán GSM záznamníku

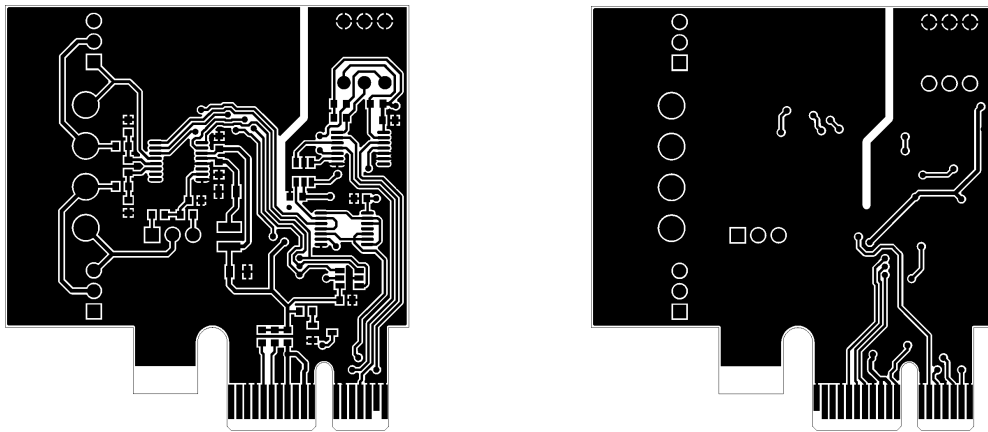
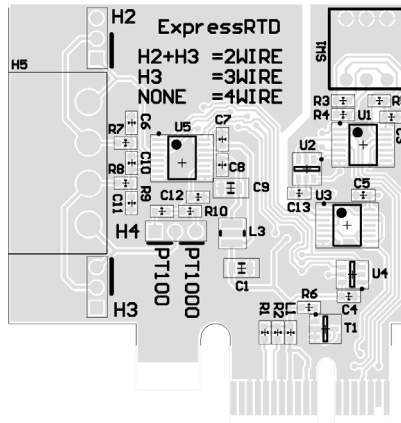


Příloha 5 - Plošné spoje měřící desky pro -10 až 10 V a 0 až 20mA

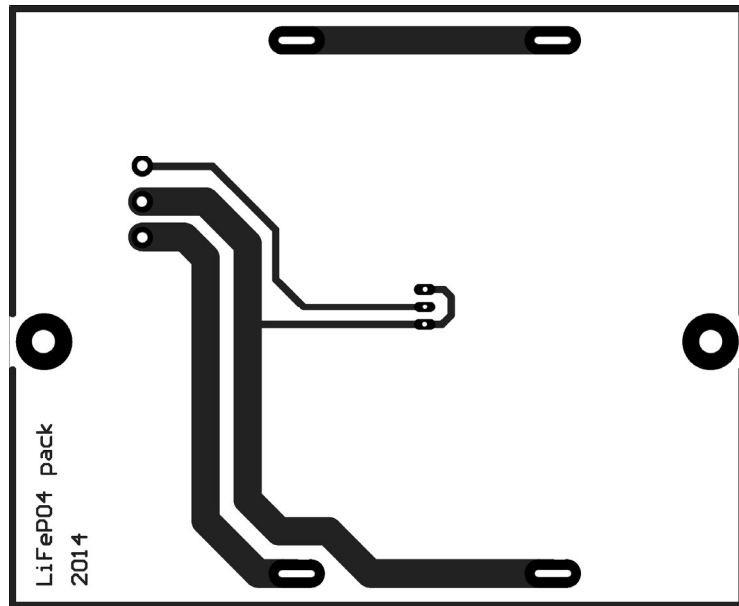


Příloha 6 - Plošné spoje měřicí desky pro Modbus a 1Wire





Příloha 7 - Plošný spoj měřicí desky pro senzor PT100/1000



Příloha 8 - Plošný spoj desky pro LiFePO4 články