



---

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

Fakulta elektrotechnická

Katedra mikroelektroniky

**Ovládání zařízení na LIN prostřednictvím sítě GSM**

**LIN Device Control Through GSM Network**

Bakalářská práce

Studijní program: Komunikace a multimédia

Studijní obor: Aplikovaná elektronika

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Teplý

---

**Jan Vrkoslav**

**Praha 2017**



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Vrkošlav Jméno: Jan Osobní číslo: 420185  
Fakulta/ústav: Fakulta elektrotechnická  
Zadávající katedra/ústav: Katedra mikroelektroniky  
Studijní program: Komunikace, multimédia a elektronika  
Studijní obor: Aplikovaná elektronika

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Ovládání zařízení na LIN prostřednictvím sítě GSM

Název bakalářské práce anglicky:

LIN Device Control Through GSM Network

Pokyny pro vypracování:

Navrhnete a sestrojíte řídicí jednotku, která bude ovládat zařízení na sběrnici LIN na základě příkazů přenášených prostřednictvím sítě GSM. Dále bude prostřednictvím sítě GSM informovat o aktuálním stavu tohoto zařízení.

Postup vypracování:

- 1) Proveďte rešerši z oblasti ovládání prostřednictvím sítě GSM a komunikace po sběrnici LIN.
- 2) Navrhnete obvodové zapojení řídicí jednotky komunikující prostřednictvím sítě GSM, vybavené sběrnici LIN, včetně desek plošných spojů a vlastní návrh realizujete.
- 3) Ověřte funkčnost a změňte základní parametry realizovaného systému.
- 4) Zhodnotte dosažené výsledky.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Reese, R., B.: Microprocessors From Assembly Language to C Using the PIC18Fxx2, Da Vinci Engineering Press, Hingham, Massachusetts, 2005
- [2] Kemighan, B., W. - Ritchie, D., M.: Programovací jazyk C, Computer Press, a.s., Brno, 2006
- [3] Záhlava V.: Návrh a konstrukce desek plošných spojů, BEN, Praha, 2011

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Tomáš Teplý, katedra mikroelektroniky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: 17.02.2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 26.05.2017

Platnost zadání bakalářské práce: 10.09.2018

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, a výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta



### **Prohlášení**

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

**V Praze, 26.5.2017**

.....

**Jan Vrkoslav**



## **Poděkování**

**Chtěl bych poděkovat své rodině za podporu během celého studia. Děkuji vedoucímu práce Ing. Tomáši Teplému za jeho cenné rady, připomínky a trpělivost. Děkuji také Davidu Pacltovi za zapůjčené vybavení a přístup k přetavovací peci.**





## **Anotace**

**Cílem této práce je navrhnout modul, který pomocí GSM sítě dokáže ovládat nezávislé topení na LIN sběrnici. Navrhl jsem kompletní zapojení desky plošných spojů a popsal problematiku, kterou jsem řešil.**

### **Klíčová slova:**

**Komunikační modul, GSM, LIN sběrnice, DPS**

## **Abstract**

**The aim of this work is the construction of a module which, via the GSM network, can remotely operate an independent heater on a LIN bus. In this thesis I have proposed the complete design of a circuit board and have described the problems encountered and the development issues which I solved. The technical solution is described in detail including the HW and the PCB.**

### **Keywords:**

**Communication module, GSM, LIN bus, PCB**

## Obsah

Seznam tabulek .....	11
Seznam obrázků .....	11
Úvod .....	13
1. Zadání .....	13
2. Rešerše .....	14
2.1. Nezávislé topení .....	14
2.2. GSM síť .....	14
2.3. LIN sběrnice .....	16
2.4. Využití GSM modulů .....	17
2.4.1. Dálkové spínání periférií .....	17
2.4.2. Zjišťování stavu periferie .....	17
2.4.3. Odesílání dat z měření .....	18
2.4.4. Zprostředkování internetového připojení .....	18
2.5. Komerční moduly .....	18
2.5.1. GSM dálkové ovládání [8] .....	18
2.5.2. Univerzální GSM komunikátor a ovladač Jablotron [9] .....	19
2.5.3. GSM modul s CAN sběrnici [10] .....	19
3. Návrh modulu .....	20
3.1. Požadavky na modul .....	20
3.2. Blokové schéma navrhovaného modulu .....	20
3.3. Mikroprocesor [11] .....	21
3.3.1. Parametry mikroprocesoru .....	21
3.4. GSM modul .....	23
3.5. Obvod pro zpracování signálů z LIN sběrnice .....	23
3.6. SIM karta .....	24
4. Výroba modulu .....	25
4.1. Deska plošných spojů .....	25
4.2. Footprinty součástek .....	25
4.3. Návrh jednotlivých bloků .....	28
4.3.1. Napájení mikroprocesoru .....	28
4.3.2. Napájení GSM modulu .....	29
4.3.3. SIM karta .....	31
4.3.4. Anténa .....	31

4.3.5. Ochrana proti proudovým špičkám z autobaterie .....	32
4.4. Osazení DPS.....	32
5. Oživování měření a testování modulu.....	34
6. Software .....	36
6.1. Vývojový diagram navrhovaného SW.....	36
6.2. Komunikace s GSM modulem.....	37
6.3. Odesílání dat na LIN sběrnici .....	38
7. Závěr.....	39
Zdroje .....	39
Slovníček.....	40
Seznam příloh.....	41
I. Schéma .....	41
II. DPS.....	41

#### Seznam tabulek

Tabulka 1 .....	21
-----------------	----

#### Seznam obrázků

Obrázek 1. Schéma nezávislého topení.....	13
Obrázek 2 Nezávislé topení [2].....	14
Obrázek 3 GSM síť .....	15
Obrázek 4 Subsystemy GSM.....	15
Obrázek 5 Rámec zprávy na LIN sběrnici.....	16
Obrázek 6.....	16
Obrázek 7 Komunikace na LIN sběrnici .....	16
Obrázek 8 [5].....	17
Obrázek 9 [6] .....	17
Obrázek 10 Meteostanice vybavená GSM modulem [7] .....	18
Obrázek 11. GSM dálkové ovládání Exeo .....	18
Obrázek 12. GSM komunikátor Jablotron .....	19
Obrázek 13.....	19
Obrázek 14. Blokové schéma navrhovaného modulu.....	20
Obrázek 15. Zapojení pinů mikroprocesoru .....	22
Obrázek 16. Výrobní výkres mikroprocesoru .....	22
Obrázek 17. Quectel M66 [12] .....	23
Obrázek 18. Zapojení pinů TPIC1021 .....	24
Obrázek 19. Výrobní výkres držáku SIM karty.....	24
Obrázek 20 Footprint mikroprocesoru z vývojového prostředí .....	26
Obrázek 21. Porovnání NSMD a SMD padů [13] .....	26
Obrázek 22. Termální reliéf padu .....	27

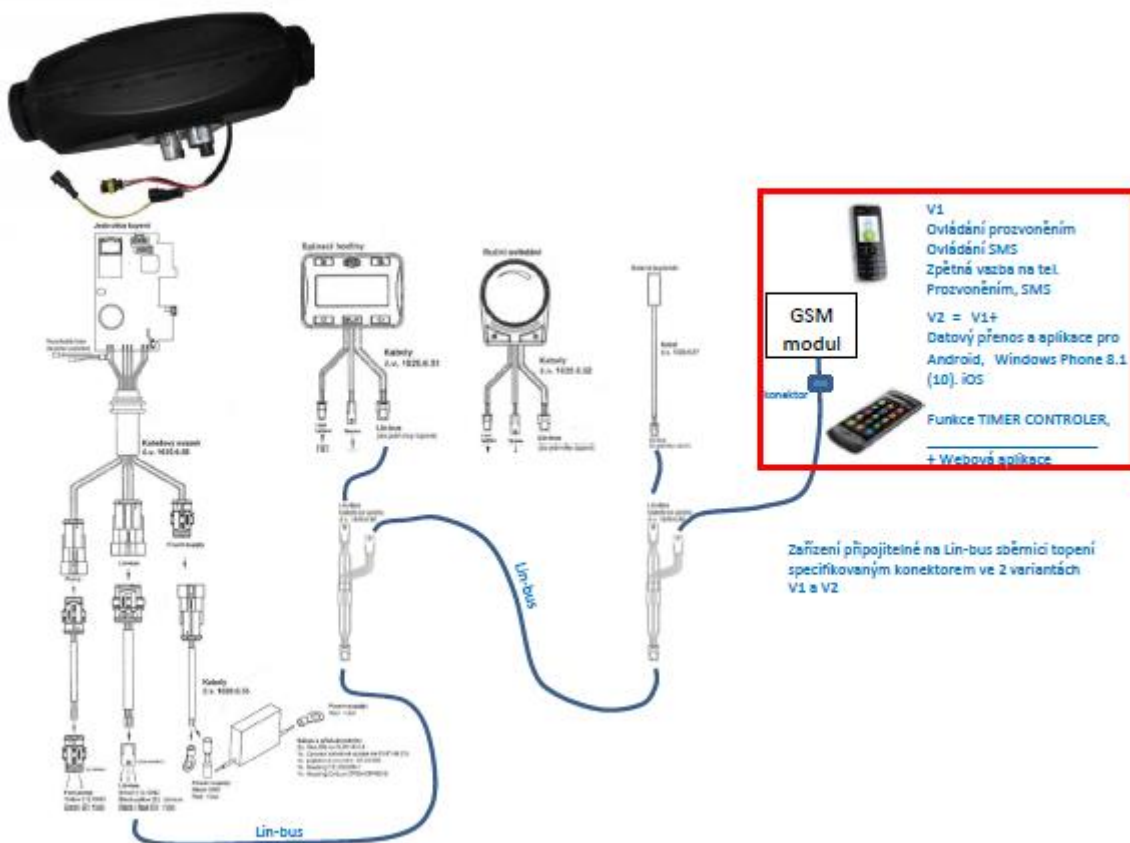
Obrázek 23. Makrofotografie termálního reliéfu(vpravo) .....	28
Obrázek 24. Spínaný zdroj .....	29
Obrázek 25. Proudové špičky GSM modulu .....	30
Obrázek 26. Blokovací kondenzátory .....	30
Obrázek 27. Napájecí obvod GSM modulu .....	31
Obrázek 28. Obvod zapojení SIM karty .....	31
Obrázek 29. Doporučené umístění antény na DPS .....	32
Obrázek 30 Přetavovací pec Ersa Hotflow .....	33
Obrázek 31. Makro fotografie osazeného DPS.....	34
Obrázek 32 Pokles napětí při zapnutí GSM modulu.....	35
Obrázek 33. Oživování DPS.....	35
Obrázek 34 Vývojový diagram .....	36
Obrázek 35 Doporučený postup pro zapnutí GSM.....	37
Obrázek 36 Zapnutí GSM modulu a odeslání tří AT příkazů.....	37
Obrázek 37 Výstup logického analyzáru připojeného na UART GSM modulu .....	38
Obrázek 38 Zdrojový kód pro odesílání příkazů na LIN sběrnici .....	38
Obrázek 39 Výstup LIN sběrnice pořízený logickým analyzárem .....	38

## Úvod

V dnešní době je trendem si ulehčovat každodenní činnosti, které nás více či méně zdržují. Zároveň skoro každý již vlastní mobilní telefon, ten prostřednictvím GSM sítě dokáže komunikovat s jakýmkoliv dalším telefonem nebo zařízením prakticky kdekoliv. Proto ovládání vzdálených zařízení prostřednictvím GSM sítě se přímo nabízí.

### 1. Zadání

Cílem práce je vyrobit modul, který bude pomocí GSM sítě ovládat nezávislé topení připojené na LIN sběrnici. Zároveň odesílat data o výkonu topení zpět uživateli. Modul by měl být co nejjednodušší, nejlevnější a měl by odolávat změnám teploty. Modul se bude v první verzi ovládat SMS příkazy a výhledově i mobilní, popřípadě webovou aplikací. Primární určení je pro ovládání nezávislého topení od firmy Brano. (viz. Obrázek 2)

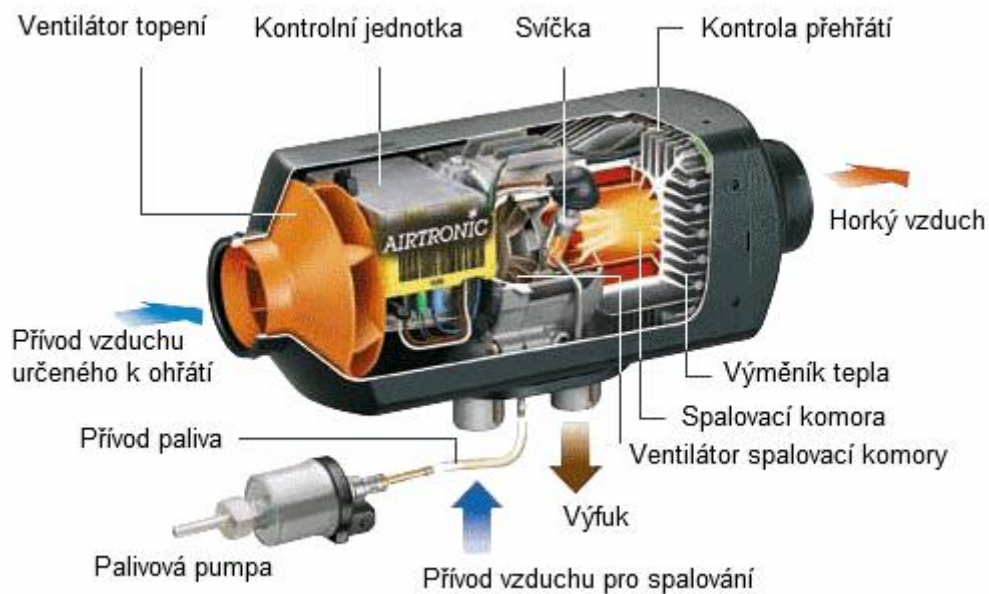


Obrázek 1. Schéma nezávislého topení

## 2. Rešerše

### 2.1. Nezávislé topení

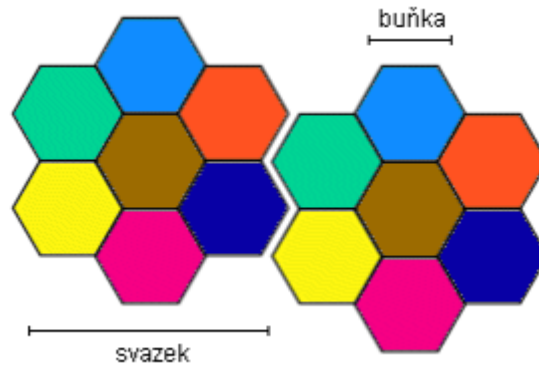
Nezávislé topení (viz. Obrázek 2) je určeno především pro osobní vozy, nákladní vozy, stavební stroje, karavany a mobilní buňky. Při použití ve vozidlech je hlavní předností možnost topit ve voze bez nastartovaného motoru. To znamená úsporu paliva, snížení hluku a rychlejší vyhřátí prostoru. V budovách nebo karavanech je náhradou za topení na tuhá paliva nebo plynná. Nezávislé topení je hojně využíváno v arktických oblastech, v expedičních vozech a třeba i na dálkových soutěžích. [1]



Obrázek 2 Nezávislé topení [2]

### 2.2. GSM síť

Základním stavebním prvkem GSM sítě je svazek, který se skládá ze sedmi buněk. (viz. Obrázek 3) Buňka je šestiúhelník, na jehož každé straně leží další buňka. Tyto svazky do sebe zapadají, tím pádem lze pokrýt signálem jakkoliv velké území. Buňka svazku má svoji základnovou stanici s přiděleným frekvenčním spektrem, po kterém komunikuje s účastníkem mobilní sítě, každá další stanice ve svazku má toto spektrum jiné. Toto rozdělení spekter umožní efektivní hospodaření s přidělenými frekvencemi.

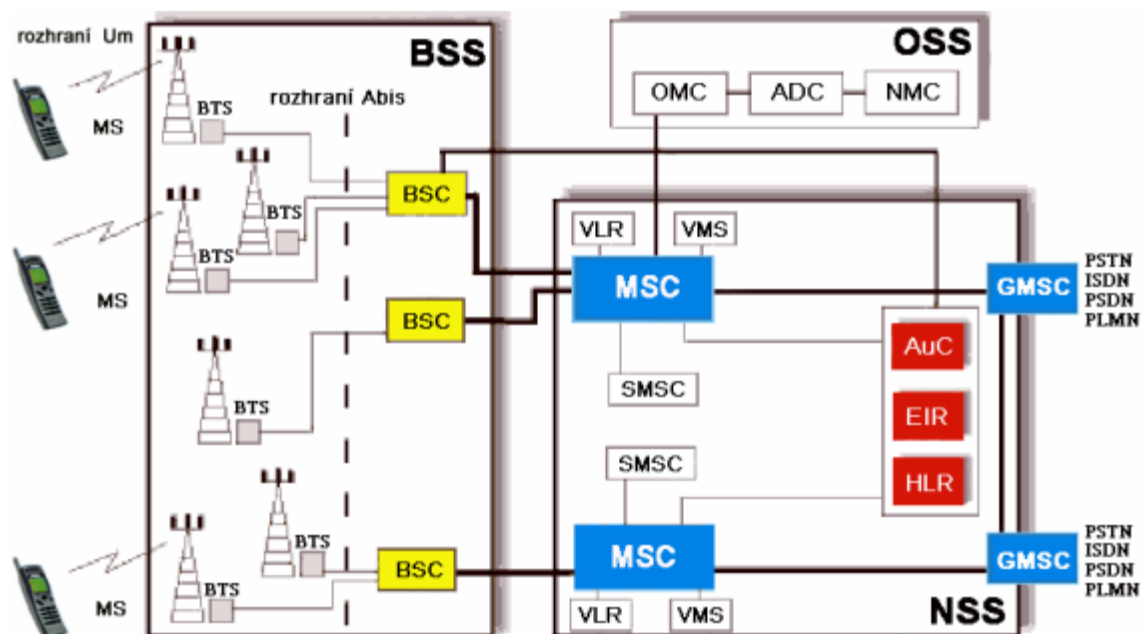


Obrázek 3 GSM síť

GSM síť rozdělujeme do tří subsystémů viz. Obrázek 4. Prvním je BSS (Base Station Subsystem) subsystém, ten zahrnuje komunikaci základnové stanice a účastníky mobilní sítě na fyzické vrstvě pomocí elektromagnetických vln.

Druhým subsystémem je NSS (Network and Switching Subsystem), ten má podobný úkol jako telefonní ústředna. Zajišťuje přepínání hovorů mezi účastníky sítě. NSS subsystém komunikuje s BSS subsystémem a také s OSS subsystémem který zprostředkovává externí služby jako ISDN.

Třetím, a posledním, subsystémem je OSS. Tento subsystém má na starosti provoz, tarifní podmínky účastníků a evidenci plateb. [3] -



Obrázek 4 Subsystémy GSM

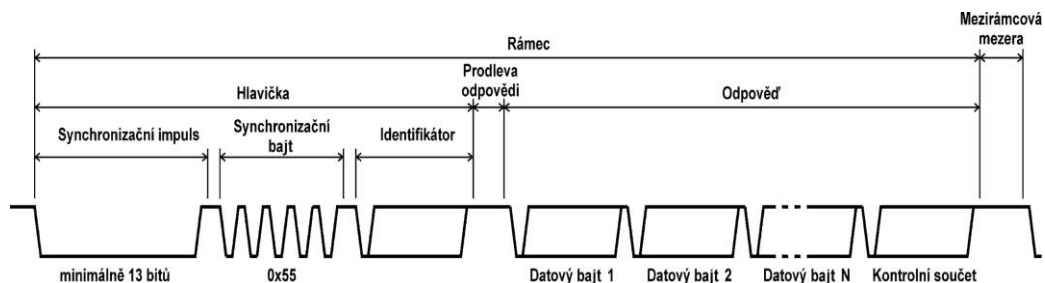
### 2.3. LIN sběrnice

LIN sběrnice je asynchronní sběrnice využívající jednovodičové spojení. Účelem LIN sběrnice není konkurovat rychlé a spolehlivé sběrnici CAN ale pokrýt aplikace, které jsou pro CAN zbytečně jednoduché. Cena LIN sběrnice je oproti CAN až 4× levnější, což v obrovských sériích dokáže ušpóřit nemalé peníze.

Nejčastější využití je, podobně jako u sběrnice CAN, v automobilovém průmyslu. Ovládají v autech nejjednodušší prvky jako stahování oken, ovládání světel, ovládání zpětných zrcátek, polohování sedadel, ovládání klimatizace, atd...

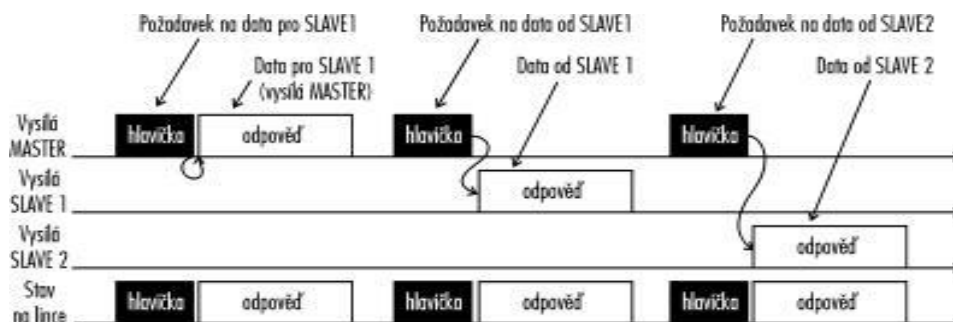
Sběrnice má tři druhy přenosových rychlostí, slow, medium a fast. V režimu Fast má přenosovou rychlost 19,2kbit/s, pro srovnání CAN sběrnice má na krátké vzdálenosti přenosovou rychlost až 1Mbit/s. Pro realizaci není potřeba přesných krystalových oscilátorů, ale stačí RC oscilátor. Maximální počet zařízení na sběrnici je 16+1.

Rámcem zprávy (viz.Obrázek 5) je složen z hlavičky, kterou vysílá Master a odpovědi kterou vysílá Slave. Master začíná vysílání synchronizačním impulsem, poté následuje synchronizační část, která má za cíl „naučit“ jednotky Slave bitovou rychlost kterou používá Master. Identifikátor slouží k adresaci jednotlivých Slave, které zrovna potřebuje Master oslovit, v praxi to znamená že hlavičku vysílá pouze Master. [4]



Obrázek 5 Rámcem zprávy na LIN sběrnici

Ukázka komunikace Master-Slave na sběrnici viz.Obrázek 7.



Obrázek 7 Komunikace na LIN sběrnici



## 2.4. Využití GSM modulů

### 2.4.1. Dálkové spínání periferií

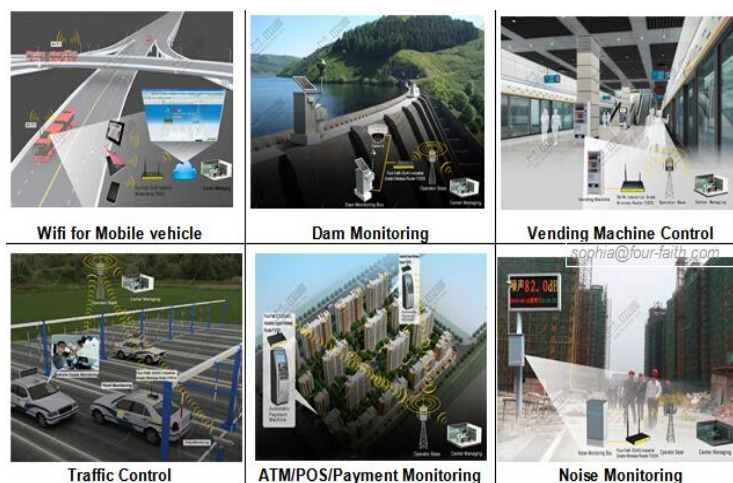
Vhodné pro základní aplikace jako je zapnutí domovního vytápění ještě před příjezdem domů, ovládání spotřebičů v domácnosti nebo zapnutí nezávislého topení v autě pomocí SMS, prozvonění nebo mobilní aplikace.



Obrázek 8 [5]

### 2.4.2. Zjišťování stavu periferie

Jednoduché zařízení pro měření teploty, výšky hladiny vody, atmosférického tlaku, polohy. Klasické využití v zabezpečovacích systémech. Domovní zabezpečovací systémy, které komunikují s centrálou pomocí WiFi, bluetooth nebo drátové sítě, zajištění ochrany auta proti krádeži (odesílání dat z GPS systému na mobilní telefon), ochrana dětí pomocí chytrých náramků. Upozornění pomocí SMS, zavolání nebo oznámení na mobilní aplikaci.



Obrázek 9 [6]

### 2.4.3. Odesílání dat z měření

Dataloggery pro sběr a odesílání dat z kontinuálního měření, typické aplikace ve vodárenství (sběr dat z vodoměrných šachet), meteorologie a hydrologie (sledování hladin toků, množství srážek, teplot), doprava a stavebnictví (sledování silnic, statiky konstrukcí)



Obrázek 10 Meteostanice vybavená GSM modulem [7]

### 2.4.4. Zprostředkování internetového připojení

Zprostředkování internetového připojení v prostředcích veřejné dopravy.

## 2.5. Komerční moduly

### 2.5.1. GSM dálkové ovládání [8] -



Obrázek 11. GSM dálkové ovládání Exeo

GSM Exeo má v sobě SIM kartu a zasláním SMS povelu nebo zavoláním na jeho číslo můžete zapínat či vypínat libovolné spotřebiče na dálku. Kdykoli můžete dálkově zjistit teplotu, na kterou se vytápí a

teplotu v domě. Umožňuje ovládat přímotopy, plynový či elektrický kotel. Zařízení má releový výstup 230V/8A.

#### 2.5.2. Univerzální GSM komunikátor a ovladač Jablotron [9] -



Obrázek 12. GSM komunikátor Jablotron

Univerzální GSM komunikátor a ovladač, který umožňuje hlásit a ovládat stav různých spotřebičů na dálku. Pro ovládání jsou k dispozici 2 výstupní silová relé a 4 vstupní svorky. Do zařízení je možno uložit až 100 autorizovaných telefonních čísel. Ovládání lze provádět pomocí SMS, nebo prozvoněním. Cena uvedeného modulu začíná na 3969,- s DPH.

#### 2.5.3. GSM modul s CAN sběrnici [10] -



Obrázek 13

Zařízení se připojuje k autoalarmu prostřednictvím sběrnice CAN a na vyžádání dokáže vozidlo lokalizovat. Maloobchodní cena je 1985Kč.

### 3. Návrh modulu

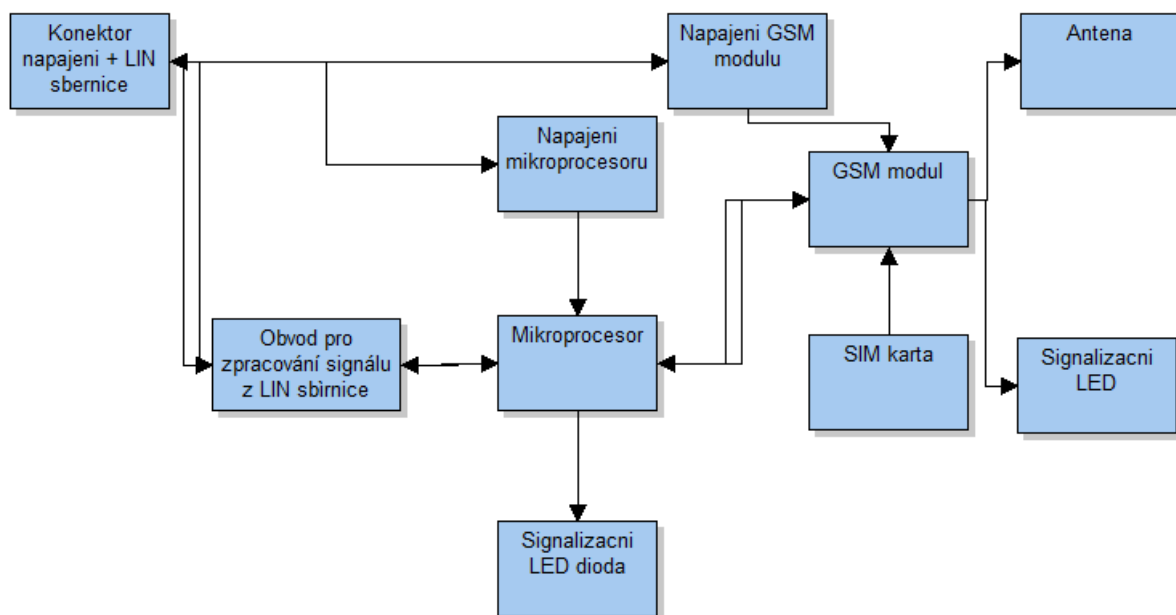
V této kapitole se pokusím navrhnout modul splňující zadané požadavky. Konkrétní zapojení jednotlivých prvků najdete v kapitole Výroba modulu.

#### 3.1. Požadavky na modul

V první verzi návrhu jde hlavně o funkčnost celého modulu ve standartních podmínkách. Pokud by se předpokládala výroba v několika prototypových sériích, které by se testovaly v provozu, je stěžejním požadavkem cena a nízká spotřeba. Dalším požadavkem je schopnost spolehlivě fungovat i v extrémních teplotách, zejména v teplotách pod bodem mrazu.

#### 3.2. Blokové schéma navrhovaného modulu

K modulu povede tříkabelový svazek. Jednotlivé vodiče jsou: napájecí napětí 12V, LIN sběrnice a zem. Ze dvanácti voltů bude napájen obvod pro zpracování signálu z LIN sběrnice, napájení GSM modulu a napájení mikroprocesoru. Dva napájecí zdroje jsem použil kvůli úspoře energie, mikroprocesor má sám o sobě ve sleep módu odběr 20nA a GSM modul má v čase přihlašování do sítě odběr až 1,6A. GSM modul se tedy bude zapínat pouze když bude potřeba GSM sítě.



Obrázek 14. Blokové schéma navrhovaného modulu

### 3.3. Mikroprocesor [11]

Mikroprocesor je základní prvkem modulu, komunikuje s GSM modulem prostřednictvím AT příkazů, zpracovává signály z LIN sběrnice a signalizuje stav zařízení pomocí LED diody.

Požadavky na mikroprocesor:

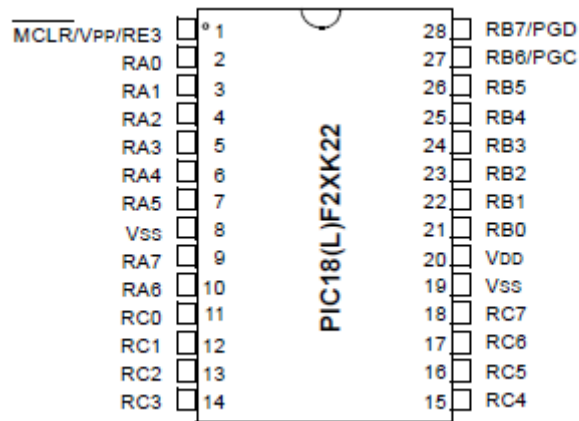
- Dostupnost
- Cena
- 2× UART rozhraní
- Kompatibilita s 3,3V úrovněmi
- Podpora LIN sběrnice
- Nízký odběr proudu
- Interní oscilátor
- Interní paměť EEPROM
- Dostatečný počet vstupů a výstupů

Pro výběr mikroprocesoru jsem použil webový nástroj MICROCHIP ADVANCED PART SELECTOR. Jako nejvhodnější mi vyšel osmibitový mikroprocesor PIC18F23K22. Procesor má optimalizovanou architekturu na program v jazyce C.

#### 3.3.1. Parametry mikroprocesoru

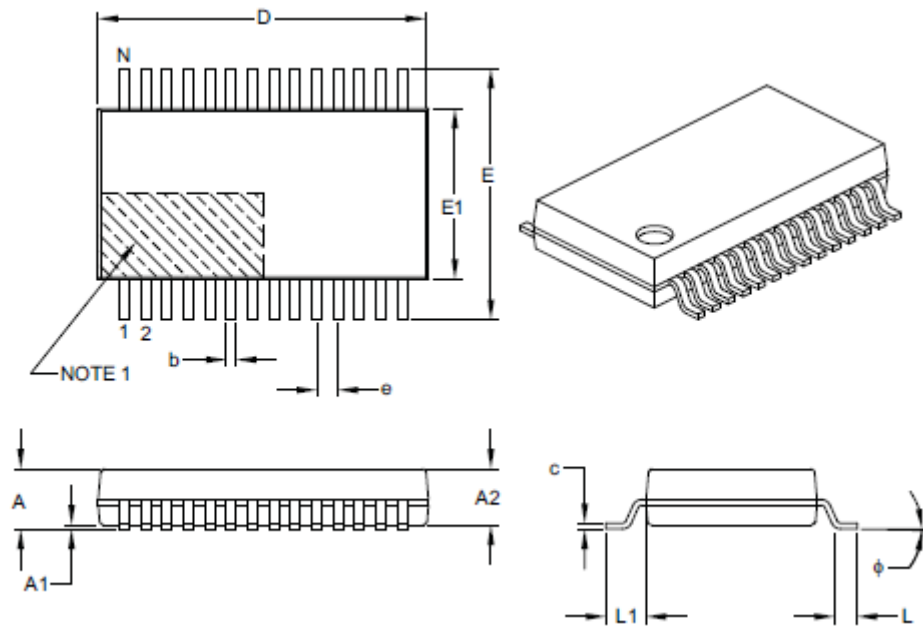
Tabulka 1

Mikroprocesor	PIC18F22K23
Programová paměť	8 kB
SRAM (statická paměť)	512B
EEPROM (elektronicky vymazatelná paměť)	256B
Vstupy/Výstupy	25
SPI	2
EUSART	2
Napájecí napětí	2,3 - 5,5V



Obrázek 15. Zapojení pinů mikroprocesoru

Pouzdro mikroprocesoru jsem volil tak, aby bylo dostupné na českém trhu a aby bylo možné pouzdro zapájet ve školním prostředí běžně dostupnou pájecí stanicí. Pouzdro jsem tedy zvolil 28 pinové SOIC SO.



Obrázek 16. Výrobní výkres mikroprocesoru

### 3.4. GSM modul

GSM modul komunikuje s okolním světem přes mobilní síť, dokáže přijmout a odeslat SMS zprávy, volat a odesílat data pomocí GPRS.

Požadavky pro GSM modul

- USART rozhraní
- Ovládání pomocí AT příkazů
- Kompatibilita s 3,3V úrovněmi
- GPRS připojení
- Dostupnost

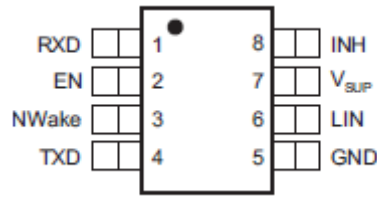
Pro náš účel jsem zvolil GSM modul Quectel M66. Součástka umožňuje i bez větších znalostí o radiotechnice komunikovat se sítí GSM. Modul lze ovládat skrz rozhraní UART pomocí AT příkazů. Modul splňuje všechny zadané podmínky, jedinou nevýhodou se ukázal nákup v malém množství. Dostupnost a cena je mnohonásobně vyšší než při odběru desítky kusů.



Obrázek 17. Quectel M66 [12]

### 3.5. Obvod pro zpracování signálů z LIN sběrnice

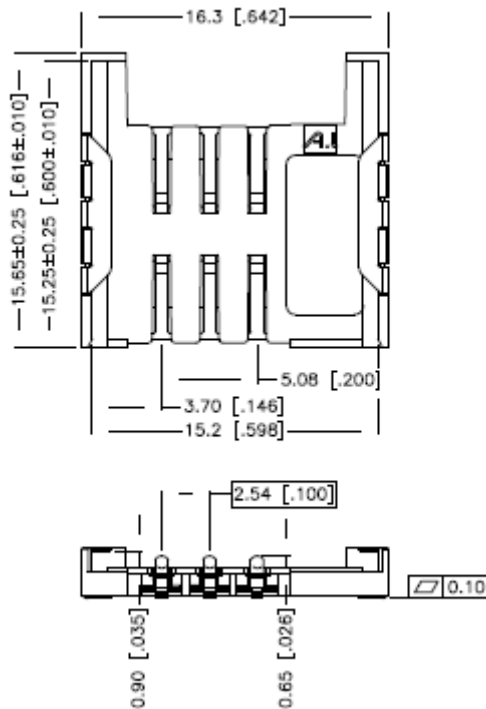
Pro zpracování signálů ze sběrnice LIN jsem použil součástku TPIC 1021 od firmy Texas Instruments. Součástka je především pro automobilový průmysl, napájení z autobaterie je přímo doporučováno. Rozhraní UART umožňuje snadnou komunikaci s mikroprocesorem. Je dodávána v běžném pouzdře SOIC 8. Obvod je také vybaven ochranou proti zpětnému proudu a na vstupu LIN sběrnice zvládne napětí až  $\pm 40$  voltů.



Obrázek 18. Zapojení pinů TPIC1021

### 3.6. SIM karta

Pro komunikaci přes GSM síť je nezbytná komunikace se sprostředkovatelem služeb. Zprostředkovatel služeb se v tomto případě nazývá operátor. Aby uživatel mohl platit za služby operátora potřebuje předplacený kredit na SIM kartě nebo tarif. SIM karta má vlastní jedinečné číslo a bez ní se do sítě operátora nelze přihlásit, to znamená, že i v našem případě bude nezbytná. Prozatím se vyrábí tři velikosti SIM karet, standardní rozměr, microSIM a nanoSIM. Ve funkčnosti není rozdíl, proto jsem zvolil kompromis mezi cenou a velikostí a do svého návrhu jsem použil microSIM slot od firmy Attend, který je běžně dostupný v České republice.



Obrázek 19. Výrobní výkres držáku SIM karty



## 4. Výroba modulu

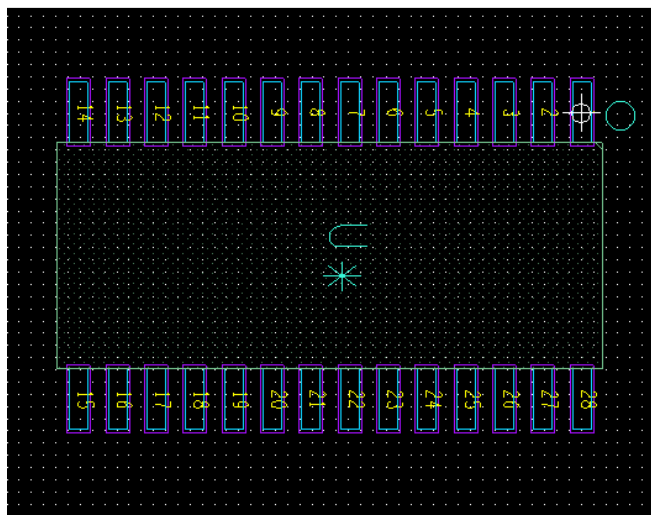
### 4.1. Deska plošných spojů

Základním rozhodnutím před výrobou DPS je výběr programu pro tvorbu schématu a výsledného návrhu. Na výběr jsem měl z několika možností, při mém předchozím studiu jsem měl možnost se seznámit se třemi návrhovými programy. S programem Eagle jsem přišel do styku již na střední škole. Program, který s přehledem zvládne pokrýt potřeby mého návrhu a má dobré výukové materiály. Dále jsem se seznámil s programem Formica, který mi přišel zastaralý a bez intuitivního ovládání. Ten jsem zavrhnul prakticky okamžitě. S jako posledním jsem se seznámil s programem OrCad, profesionální nástroj na výrobu DPS s velkou internetovou podporou a špičkovou literaturou v češtině. Navíc jsem absolvoval předmět zaměřený na návrh DPS právě v tomto programu. Také proto padla volba právě na tento program.

DPS vyráběla vyráběla pražská firma Pragoboard. Protože se jednalo o můj první návrhářský počín, se DPS neobešla bez základních návrhářských chyb. Nejzákladnější chybou byl špatný footprint anténního konektoru. Chyba vznikla mým špatným pochopením výrobního výkresu. Doměrování rozměru součástky pomocí posuvky se ukázalo jako špatný nápad. Právě tam vznikla malá nepřesnost, kterou jsem přenesl i na mou desku plošných spojů. Dalšími chybami byl špatný footprint usměrňovacích diod a místy nevyhovující potisk. Při návrhu jsem u některých součástek použil místo obrysu součástek obrys s vyplněnou plochou, to způsobilo překrytí některých doplňujících textů na DPS. Z důvodu uvolnění místa na DPS bych také zaměnil nějaké elektrolytické kondenzátory za keramické a co nejvíce sjednotil velikost osazených pouzder.

### 4.2. Footprinty součástek

Footprinty všech součástek jsem vytvářel v Package Designeru. Mikroprocesor a součástky s více vývody jsem generoval pomocí nástroje Wizard. Hotové pouzdro viz. Obrázek 20. Jednoduchý nástroj, do kterého se pouze opisují rozměry z výrobního výkresu. U méně vývodových součástek jsem již musel uvažovat i budoucí technologii osazení mikropájkou. I z tohoto důvodu jsem si musel navrhovat pájecí plošky. Některé datasheety mají doporučené velikosti, některé ne. Vzhledem k tomu že jsem striktně nepotřeboval malou DPS, jsem si pájecí plošky mohl navrhovat velkoryse, což se mi při osazování prototypu osvědčilo.

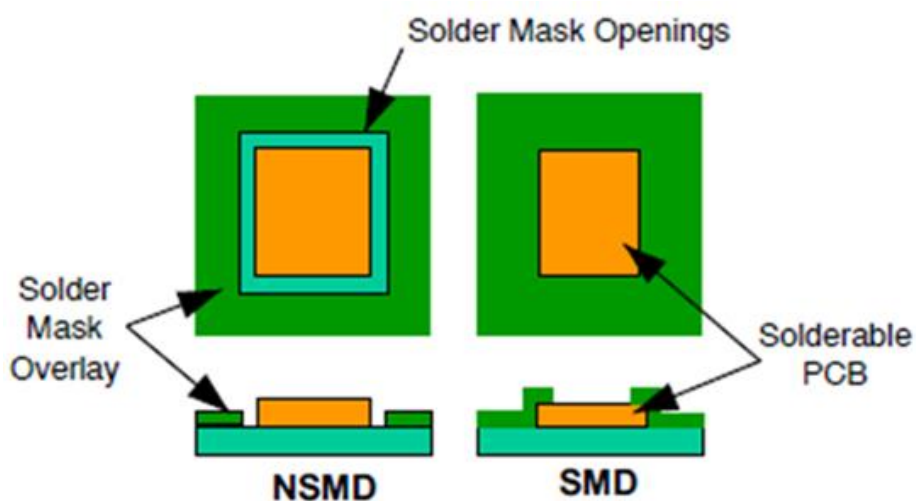


Obrázek 20 Footprint mikroprocesoru z vývojového prostředí

Při návrhu pájecích plošek, neboli padů, je důležité rozhodnout jaký typ plošek použít.

První varianta je NSMD pad. V této variantě nepájivá maska nedosahuje hrany padu a vytváří mezi nimi mezeru. Výhodou této varianty je, že pad nemusí mít takovou velikost jako v druhém případě. Menší pájecí plošky nám umožní natrasovat širší spoj mezi sousedními pady. Naopak nevýhodou této varianty je větší náchylnost ke strhnutí plošky při pájení. Tento typ padů jsem také ve své práci použil.

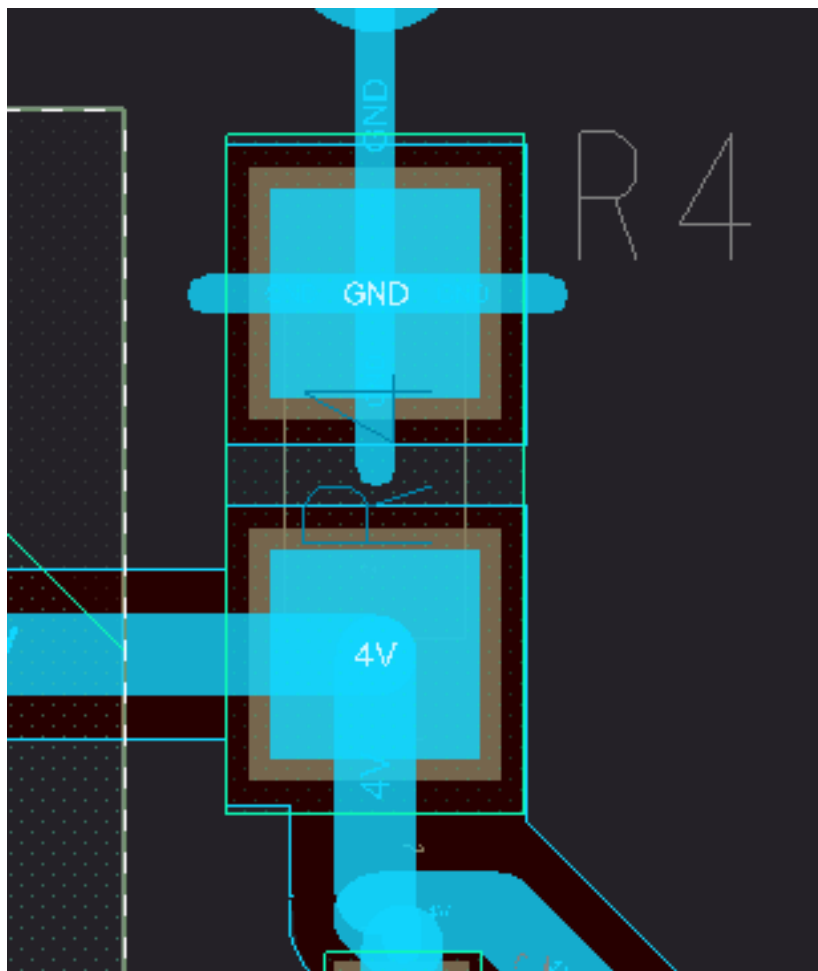
Druhá varianta je typ SMD, kde nepájivá maska částečně překrývá měděnou plošku. V tomto případě nepájivá maska pomáhá udržet pad na svém místě, tudíž je méně náchylná k mechanickému nebo tepelnému poškození. Nevýhodou je že zabírá větší plochu na DPS.



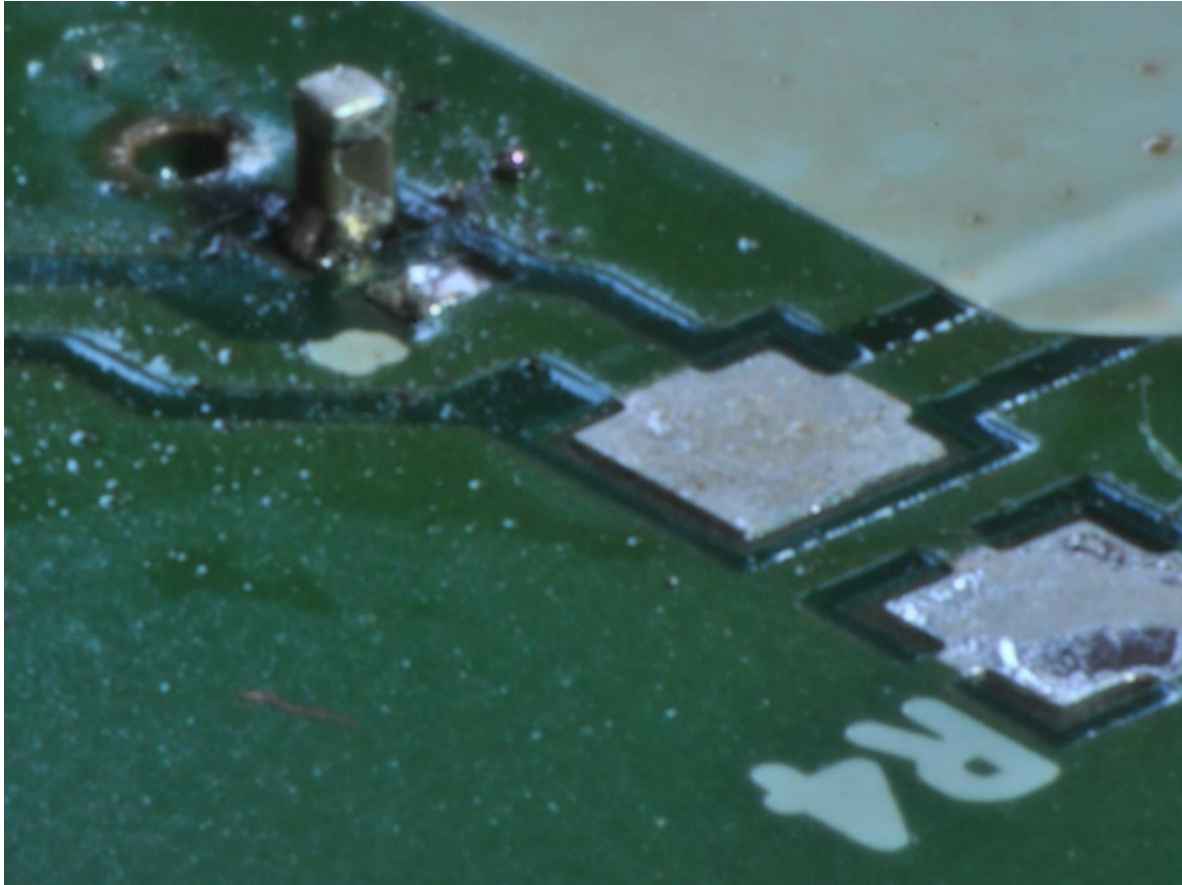
Obrázek 21. Porovnání NSMD a SMD padů [13]

Při osazování plošného spoje hrozí, že se vlivem přenosu tepla odpájí již zapájené nožičky součástek. Z tohoto důvodu jsem pinům nadefinoval termální reliéf. To znamená, že v případě, kdy pad sousedí s rozlitou mědí ve stejné síti je s touto plochou spojen pouze jakýmsi mosty namísto plného kontaktu.

Na obrázku pad GND sousedí s rozlitou mědí na stejném potenciálu. Za normálních okolností by byl spojen celou svou plochou k rozlité mědi. V tomto případě má ale nadefinovaný termální reliéf (viz. Obrázek 22), ten zajišťuje spojení s rozlitou mědí pouze pomocí čtyř přechodů. Toto opatření udrží teplo při pájení na padu a nevznikne tepelný most do rozlité mědi.



Obrázek 22. Termální reliéf padu



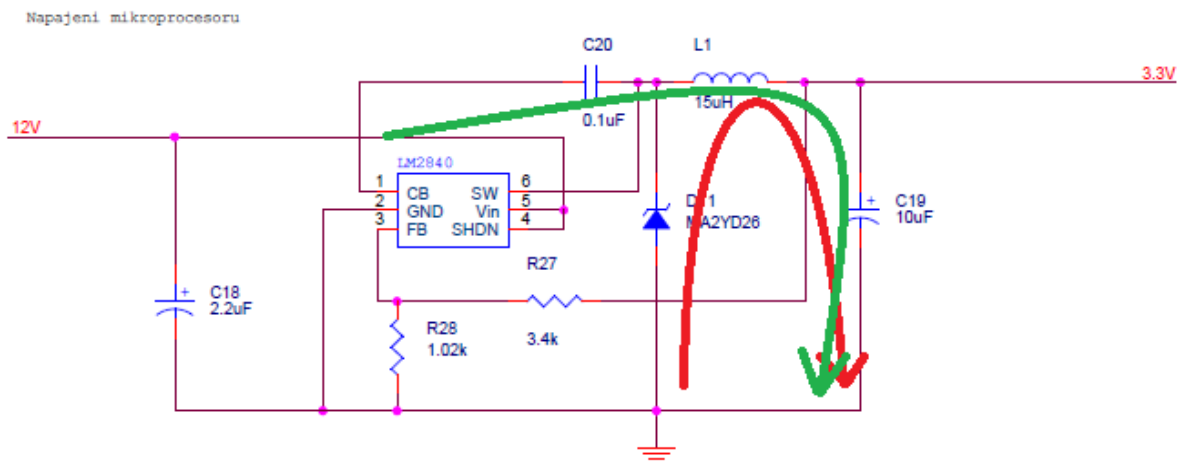
Obrázek 23. Makrofotografie termálního reliéfu(vpravo)

### 4.3. Návrh jednotlivých bloků

#### 4.3.1. Napájení mikroprocesoru

Napájení mikroprocesoru je tvořeno spínaným zdrojem napětí. Regulace výstupního napětí probíhá střídavým spínáním vstupního napětí. Při přivedení napětí na výstup se sytí cívka (zelená smyčka, viz. Obrázek 24), ta dodává proud i po zbytek času co není vstup přiveden na výstup a nabíjí kondenzátor. Aby byl obvod uzavřen, je potřeba rychlé Schottkyho diody, která propouští proud, když je spínaný zdroj vypnutý (červená smyčka).

Z hlediska návrhu DPS je tedy nutné, aby obě dvě proudové smyčky byly co nejkratší a aby se překrývaly.



Obrázek 24. Spínaný zdroj

Zapojení spínaného zdroje je přesně tak, jak doporučuje referenční design v datasheetu. Podle vzorce je výstupní napětí nastaveno odpory R27 a R28 na 3,3V.

$$V_{out} = 0,765V \left(1 + \frac{R1}{R2}\right)$$

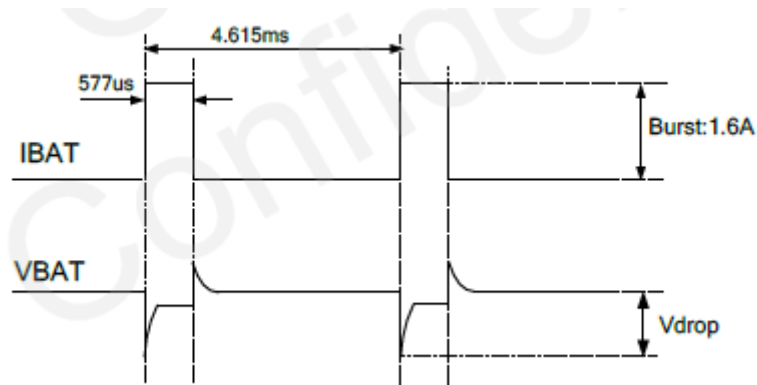
$$V_{out} = 0,765V \left(1 + \frac{3400}{1020}\right)$$

$$V_{out} = 3,315V$$

Maximální možný dodávaný proud spínaným zdrojem je 100mA. To s přehledem pokryje spotřebu mikroprocesoru.

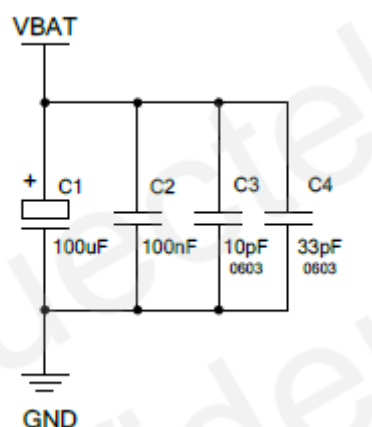
#### 4.3.2. Napájení GSM modulu

Obvod napájení je nezbytný pro správnou funkci modulu. Výrobce garantuje správnou funkci součástky při napájecím napětí 3.3 – 4.6V. Špičkový proud, který se opakuje každých 4.615mS, může být podle datasheetu až 1.6A a trvá 577µS, přičemž zvlnění napájecího napětí nesmí být větší než 400mV a nesmí klesnout pod 3.3V jinak by hrozilo restartování modulu (viz. Obrázek 25).



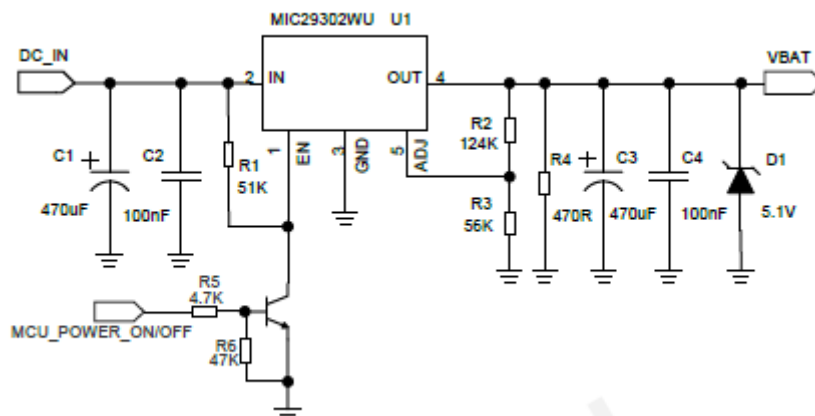
Obrázek 25. Proudové špičky GSM modulu

Dále jsou také doporučovány blokovací kondenzátory (viz. Obrázek 26) v blízkosti pinu VBAT modulu Quectel M66. 100 $\mu$ F kondenzátor je doporučován tantalový, ostatní mají být keramické. Tyto kondenzátory pokrývají špičkový proud, který by měl za následek velký pokles napájecího napětí. Je důležité aby tyto kondenzátory byly co nejbližší pinů VBAT a GND, aby byla dráha proudu co nejkratší.



Obrázek 26. Blokovací kondenzátory

Napájení GSM modulu jsem řešil, jak bylo doporučené v datasheetu. (viz. Obrázek 27)

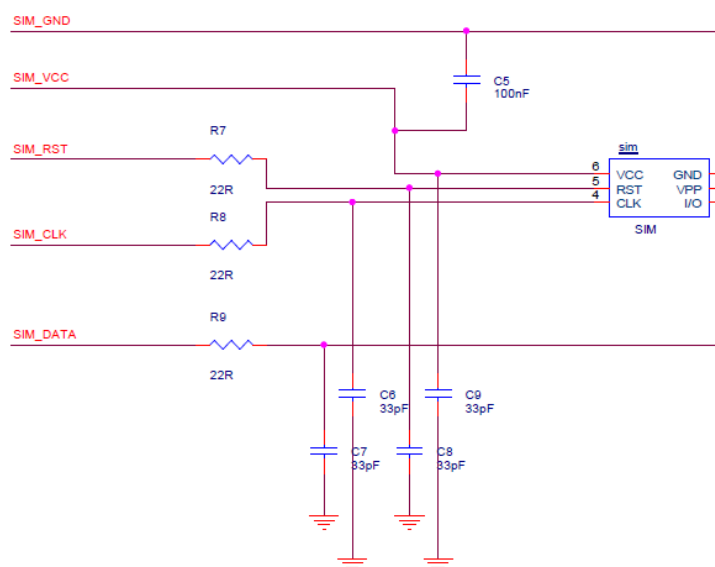


Obrázek 27. Napájecí obvod GSM modulu

#### 4.3.3. SIM karta

Zapojení SIM karty do obvodu GSM modulu jsem udělal, jak bylo doporučováno v datasheetu k modulu Quectel M66. (viz. Obrázek 28)

Při montáži modulu do vozidla se sim karta jednou zasune a nepředpokládá se časté vyjímání z modulu, proto jsem z důvodu maximální úspory ceny jsem vynechal pole ochranných Zenerových diod proti elektrostatickému napětí.



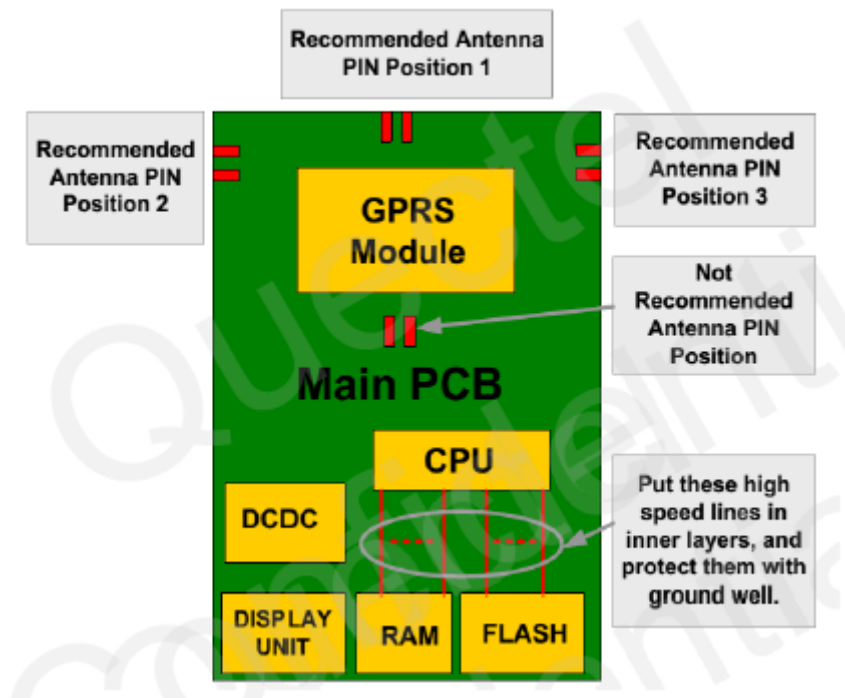
Obrázek 28. Obvod zapojení SIM karty

#### 4.3.4. Anténa

Problematika spojená s návrhem antény přímo na DPS by vydala na několik takovýchto prací. Proto jsem již od začátku návrhu počítal se zakoupením vhodné antény pro GSM komunikaci. Výrobce GSM modulu doporučoval anténu s impedancí 50Ω a ziskem větším než 1dBi.

Použil jsem tedy standartní anténu s SMA konektorem vhodnou pro GSM komunikaci od výrobce Pulse. Impedance odpovídá  $50\Omega$  a zisk antény se mění s použitým frekvenčním pásmem od 1 – 2,5dBi.

Výrobce dále doporučuje i umístění antény na DPS (viz. Obrázek 29). Nedoporučuje se pozice antény ve středu DPS a také blízko rychlých signálů, například od procesoru nebo RAM.



Obrázek 29. Doporučené umístění antény na DPS

#### 4.3.5. Ochrana proti proudovým špičkám z autobaterie

Vzhledem k možným rušivým vlivům z autobaterie jsem modul vybavil LC článkem, který by tyto vlivy měl potlačit.

#### 4.4. Osazení DPS

Vzhledem ke špatně zvoleným velikostem součástek a faktu, že je toto můj první návrhářský počín, bylo osazování veliký problém. Osazování jsem začal v okolí slotu pro SIM kartu. Samotný slot nešel zapájet běžně dostupnou pájecí stanicí, proto jsem osazoval v přetavovací peci. Ručně jsem nanesl na pady pájecí pastu a do pasty vtisknul součástku. V přetavovací peci proběhlo zapájení i špatně dostupných pinů ve středu součástky.



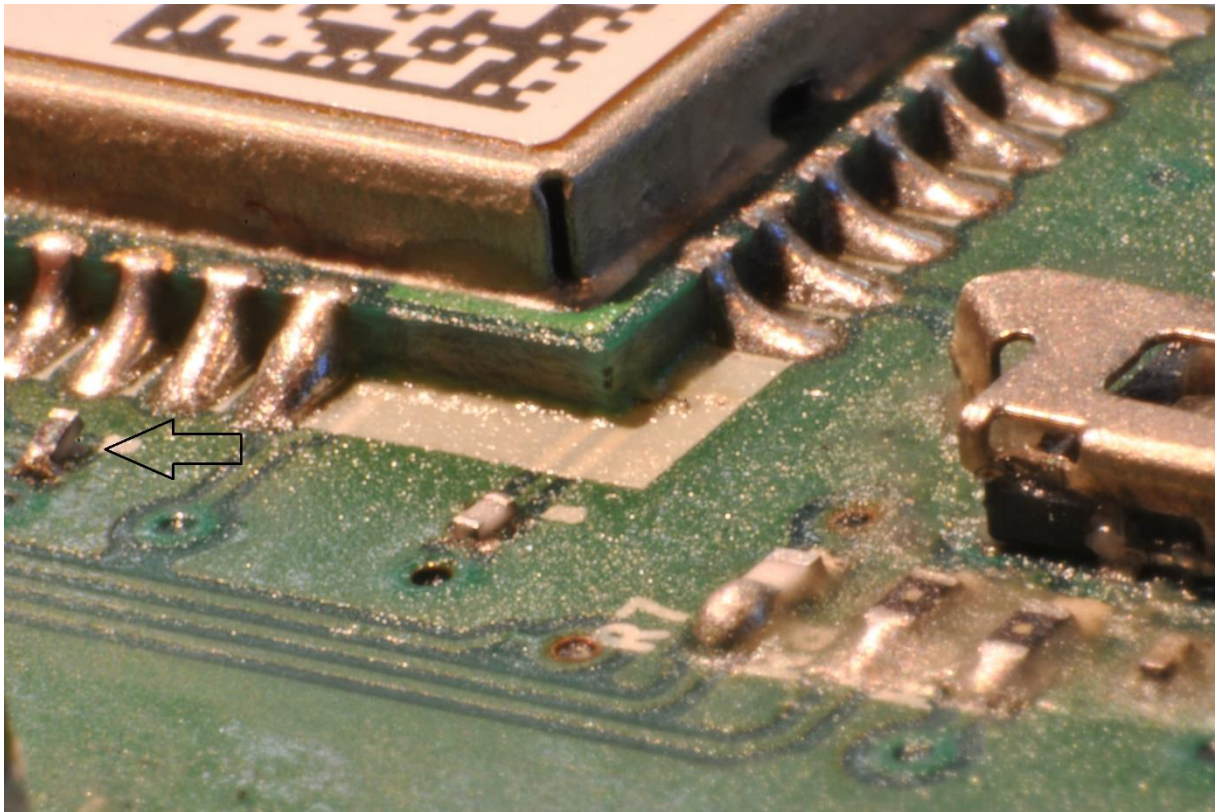


*Obrázek 30 Přetavovací pec ERSA Hotflow*

Dále jsem postupoval od menších součástek ke kterým byl špatný přístup, až po konektory a velké elektrolytické kondenzátory.

S osazením mikroprocesoru a GSM modulu jsem čekal, až budou oživené obvody napájení. Tyto součástky jsem si nejprve cínem přichytil v rozích. To mi zajistilo, že se mi součástka nebude pohybovat při pájení ostatních pinů.

Při osazování součástek v přetavovací peci se projevil efekt zvedání součástek, každá součástka se pak musela ručně dopájet na příslušnou pozici. Na obrázku můžeme vidět makro fotografii osazených součástek na DPS, šipka v levé části obrázku ukazuje na zvednutou součástku. (viz. Obrázek 31. Makro fotografie osazeného DPSObrázek 31 a Obrázek 23)

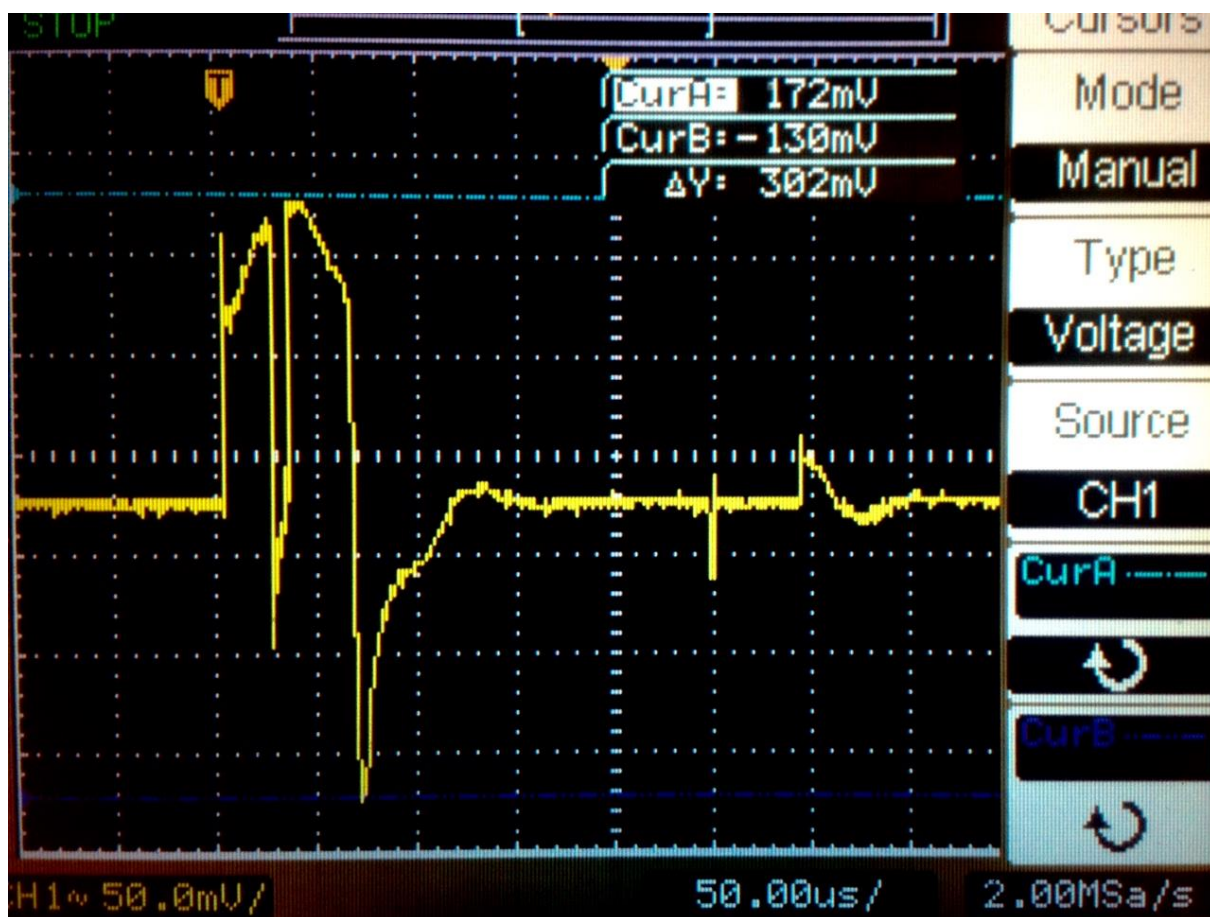


Obrázek 31. Makro fotografie osazeného DPS

## 5. Oživování měření a testování modulu

Abych předešel případnému zničení součástek, oživoval jsem nejprve obvody napájení. Tady se ukázala první chyba, kdy jsem zapájel opačně spínaný zdroj pro mikroprocesor. Díky tomu, že jsem měl více součástek než bylo potřeba a DPS nebyla poškozená, bylo vyměnění zdroje otázkou pěti minut. Nově zapájený zdroj poté ukazoval hodnotu 3,34V.

Napájecí zdroj pro GSM modul byl v pořádku, ale vlivem velkých výrobních tolerancí odporů, které nastavují výstupní napětí, bylo napětí 3,39V, což se blíží spodní hranici doporučeného napájecího napětí. Dále podle datasheetu nesmí napájecí napětí poklesnout o 400mV. To jsem si ověřil pomocí digitálního osciloskopu, který nám ukázal pokles napájecího napětí o 302mV.



Obrázek 32 Pokles napětí při zapnutí GSM modulu

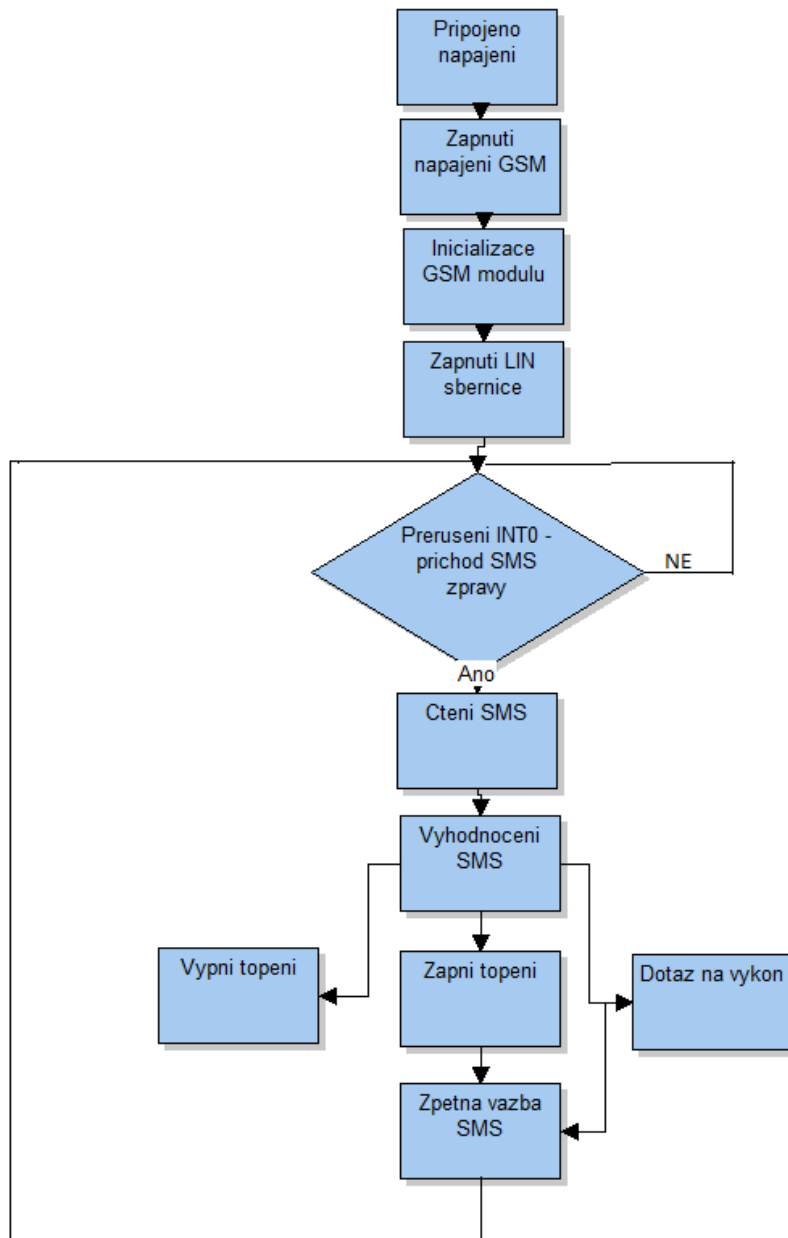


Obrázek 33. Oživování DPS

## 6. Software

Jako vývojové prostředí jsem použil Mikro E PRO. Hlavní předností programu bych viděl snadnou inicializaci a spoustu dostupných příkladů.

### 6.1. Vývojový diagram navrhovaného SW

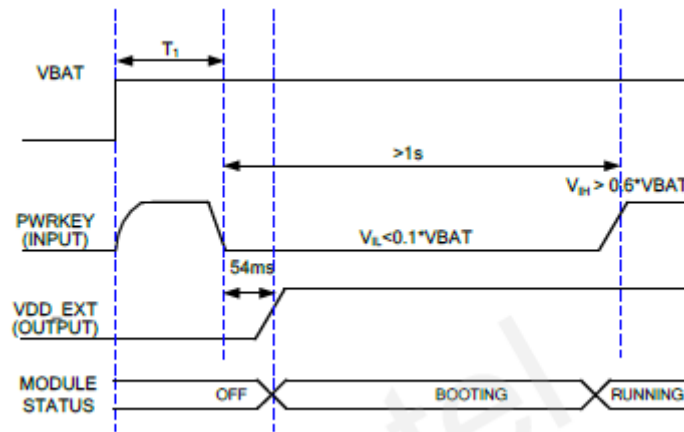


Obrázek 34 Vývojový diagram

V první řadě jde ověřit funkčnost zapojení. Navrhovaný program by měl po inicializaci periférií čekat na přerušení od GSM modulu. Po přerušení následuje čtení a vyhodnocení SMS příkazu a odesílání pokynu na LIN sběrnici.



## 6.2. Komunikace s GSM modulem

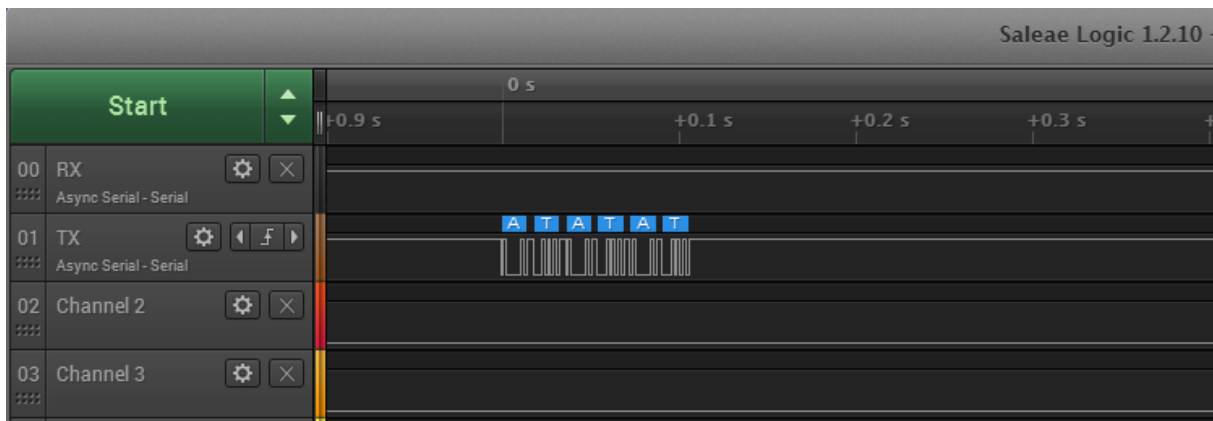


Obrázek 35 Doporučený postup pro zapnutí GSM

```
void main() {  
    TRISA = 0b00000000; // nastaveni portu A na vystup  
    // zapnutí GSM modulu dle datasheetu  
    LATA = 0b00001101;  
    LATA = 0b00001001;  
    Delay_ms(100);  
    LATA = 0b00001101;  
    Delay_ms(1000);  
    LATA = 0b00001001;  
    Delay_ms(3000);  
    UART1_Init(9600); // inicializace UART1  
    while(1) {  
        LATA = 0b00001100;  
        Delay_ms(500);  
        UART1_Write_Text("AT");  
        UART1_Write_Text("AT");  
        UART1_Write_Text("AT");  
        while(1) { // nekonecna smycka v prubehu ktere se monitoruje odpoved GSM modulu  
        }  
    }  
}
```

Obrázek 36 Zapnutí GSM modulu a odeslání tří AT příkazů

Odeslání tří, po sobě jdoucích, AT příkazů synchronizuje baud rate modulu s mikroprocesorem. [17] - Napětí 2,8V na výstupu VDD\_EXT ukazuje, že GSM modul je zapnutý a s dostačujícím napájecím napětím. Modul by měl poté odpovědět „OK“. To se nedokázalo ověřit a ani na jiné doporučené příkazy modul nereagoval. (viz. Obrázek 37)



Obrázek 37 Výstup logického analyzáru připojeného na UART GSM modulu

### 6.3. Odesílání dat na LIN sběrnici

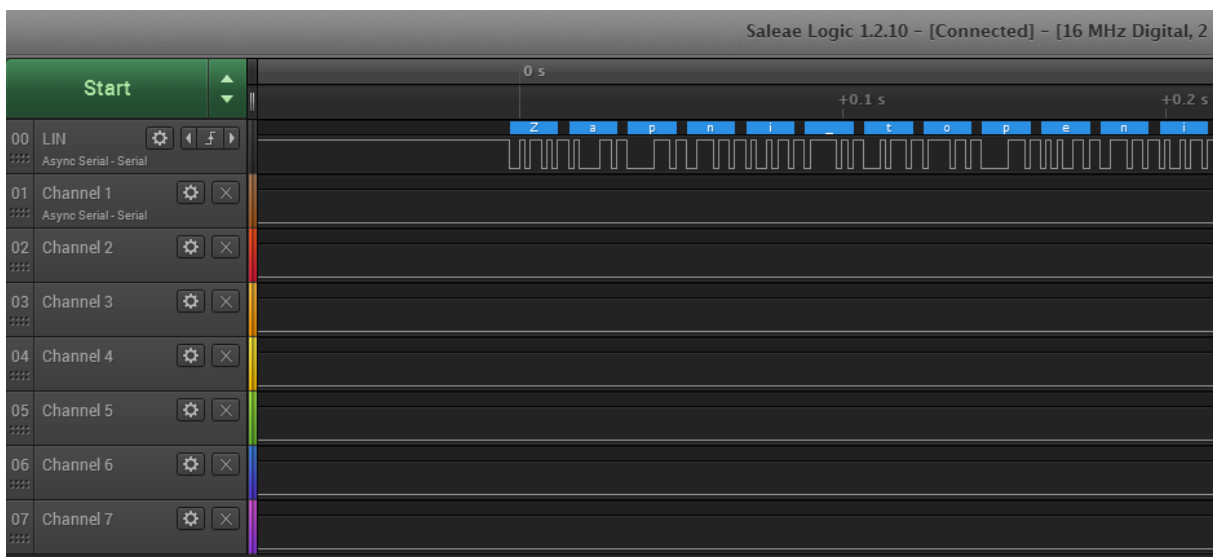
Obvod pro zpracování signálů z LIN sběrnice pracoval správně, to ostatně dokázal výstup z logického analyzáru připojený na vývod sběrnice.

```

void main() {
    UART2_Init(9600);      // Inicializace UART - baudrate 9600
    TRISA = 0b00000000;   // nastaveni portu A na vystupy
    TRISB = 0b11110000;   // nastaveni portu B na vstupy
    LATA = 0b00001101;    // RA0-zapnuti signalizacni diody, RA2-Zapnuti GSM modulu, RA3-Zapnuti LIN sbernice
    UART2_Write_Text("Zapni_topeni"); //Poslani prikazu na LIN sbernici
}

```

Obrázek 38 Zdrojový kód pro odesílání příkazů na LIN sběrnici



Obrázek 39 Výstup LIN sběrnice pořízený logickým analyzárem

## 7. Závěr

Cílem práce bylo navrhnout a realizovat ovládání nezávislého topení na LIN sběrnici prostřednictvím GSM sítě. Zadání práce se nepovedlo zcela splnit. Z neznámého důvodu byl nefunkční GSM modul Quectel, který i přes signalizaci o zapnutí nereagoval na jakýkoliv AT příkaz.

V tuto chvíli bych již návrh modulu realizoval z velké části jinak. Zejména bych zvolil modul od jiného výrobce, který má větší internetovou podporu v případě problémů. Také bych kladl větší důraz na praktičnost návrhu. Vzhledem k nízkým nárokům na prostor, bych si mohl dovolit jednak větší a druhak i levnější součástky. Při návrhu bych také více dbal na problematiku osazování, kdy bylo mnohdy nadlidským úkolem zapájet některé bloky. Tato práce mi také pomohla si lépe osvojit problematiku spojenou parametry jednotlivých použitých součástek. I přes nesplnění zadání byla tato práce pro mě obrovským přínosem. Výsledkem je tedy osazená a oživená deska plošných spojů, která by po vyřešení problému s modulem Quectel mohla splňovat zadaný účel.

## Zdroje

- [1] - Brano [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.brano.eu/>
- [2] - Nezávislé topení. In: *Levné topení kvalitně* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://levne-topeni.kvalitne.cz/images/nezavisle-topeni-obrazek.png>
- [3] - FEL CVUT: *Struktura GSM* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: [http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK05\\_semestralky/Struktura\\_GSM\\_Ondrej\\_Dudek.pdf](http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK05_semestralky/Struktura_GSM_Ondrej_Dudek.pdf)
- [4] - Elektrorevue: Lin sběrnice. *Elektrorevue.cz* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/04012/index.html>
- [5] - CL1-GSM. In: *Alicdn.com* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: [https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1DyXVJVXXXXvXpXXq6xXFXXg/CL1-GSM-Smart-Switch-GSM-SMS-Remote-Controller-Home-Alarm-Security-System-Relay-Switch-Quad-Band.jpg\\_640x640.jpg](https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1DyXVJVXXXXvXpXXq6xXFXXg/CL1-GSM-Smart-Switch-GSM-SMS-Remote-Controller-Home-Alarm-Security-System-Relay-Switch-Quad-Band.jpg_640x640.jpg)
- [6] - Monitoring. In: *Alicdn.com* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <https://sc01.alicdn.com/kf/HTB1x5rtLVXXXXaIXpXXq6xXFXXY/200616466/HTB1x5rtLVXXXXaIXpXXq6xXFXXY.jpg>
- [7] - GSM meteo. In: *Wixstatic.com* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: [http://static.wixstatic.com/media/742d6f\\_2106bd6c34844f17981cc0f0a8574051~mv2.jpg\\_srz\\_671\\_575\\_85\\_22\\_0.50\\_1.20\\_0.00\\_jpg\\_srz](http://static.wixstatic.com/media/742d6f_2106bd6c34844f17981cc0f0a8574051~mv2.jpg_srz_671_575_85_22_0.50_1.20_0.00_jpg_srz)
- [8] - EXEO-DESKTOP-GSM dálkové ovládání. *EXEO-DESKTOP-GSM dálkové ovládání* [online]. [cit. 2017-02-12]. Dostupné z: <https://www.jabloshop.cz/exeo-desktop-gsm>
- [9] - GD-04K Univerzální GSM komunikátor a ovladač Jablotron. *GD-04K Univerzální GSM komunikátor a ovladač Jablotron* [online]. [cit. 2017-02-12]. Dostupné z: <https://www.jabloshop.cz/jablotron-gd-04k-univerzalni-gsm-komunikator-a-ovladac>
- [10] - CAN BUS modul GSM. *CAN BUS modul GSM* [online]. [cit. 2017-02-12]. Dostupné z: <http://www.alarmy-vanura.cz/CAN-BUS-modul-GSM-d2186.htm>
- [11] - Microchip: pic18f23k22. *Microchip.com* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC18F23K22>

- [12] - Quectel: M66. In: Positrontech [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://positrontech.in/product/quectel-m66-quad-band-gsmgprs-module/>
- [13] - NSMD SMD [online]. In: . [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <https://abm-website-assets.s3.amazonaws.com/ecnmag.com/s3fs-public/legacyimages/ECN/Articles/2011/08/ONSAR2516-fig5-web.jpg>
- [14] - ZÁHLAVA, Vít. Návrh a konstrukce desek plošných spojů: Principy a pravidla praktického návrhu. BEN - technická literatura, 2013. ISBN 978-80-7300-266-4 9788073002664.
- [15] - Microchip. Microchip [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.microchip.com/>
- [16] - Quectel M66. Dl.btc.pl [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: [http://dl.btc.pl/kamami\\_wa/quectel\\_m66\\_1.pdf](http://dl.btc.pl/kamami_wa/quectel_m66_1.pdf)
- [17] - MALINČÍK, Ondřej. *Otevřená platforma mobilního telefonu*. Brno, 2015. Diplomová práce. Brno university of technology. Vedoucí práce Ing Ladislav Macháň.

## Slovníček

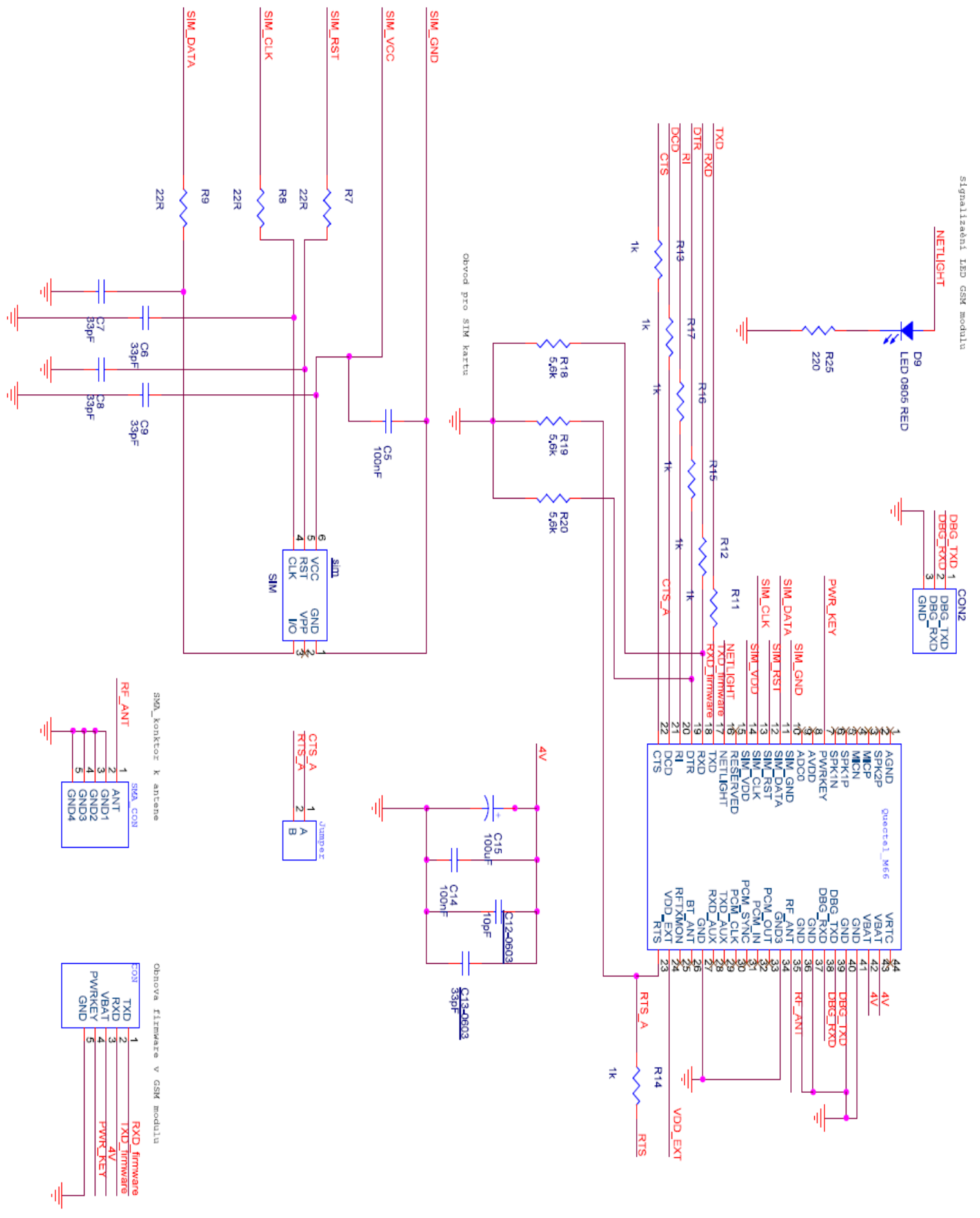
DPS	Deska plošných spojů
PCB	Printed Circuit Board – Deska plošných spojů
Pin	Nožička nebo vodivá ploška součástky
Pad	Měděná ploška na DPS sloužící k připájení pinu součástky
GSM	Groupe Spécial Mobile – Globální systém pro mobilní komunikaci
LIN	Local Interconnect Network – průmyslová sběrnice podobná sběrnici CAN
Datasheet	Katalogový list součástky
SIM	Subscriber Information Module - Účastnická identifikační karta, která slouží k identifikaci účastníka v mobilní síti.
SOIC	Small Outline Integrated Circuit – Integrované obvody v pouzdrech pro povrchovou montáž.
Nepájivá maska	Odolná krycí vrstva, nanesená na povrch DPS tak, aby odkryté zůstaly pouze pájecí a kontaktní plošky
SMA	SubMiniature version A – Koaxiální konektor s impedancí 50Ω
RAM	Random Access Memory - Elektronická polovodičová paměť
Baud rate	Přenosová rychlost
UART	Asynchronní sériové rozhraní

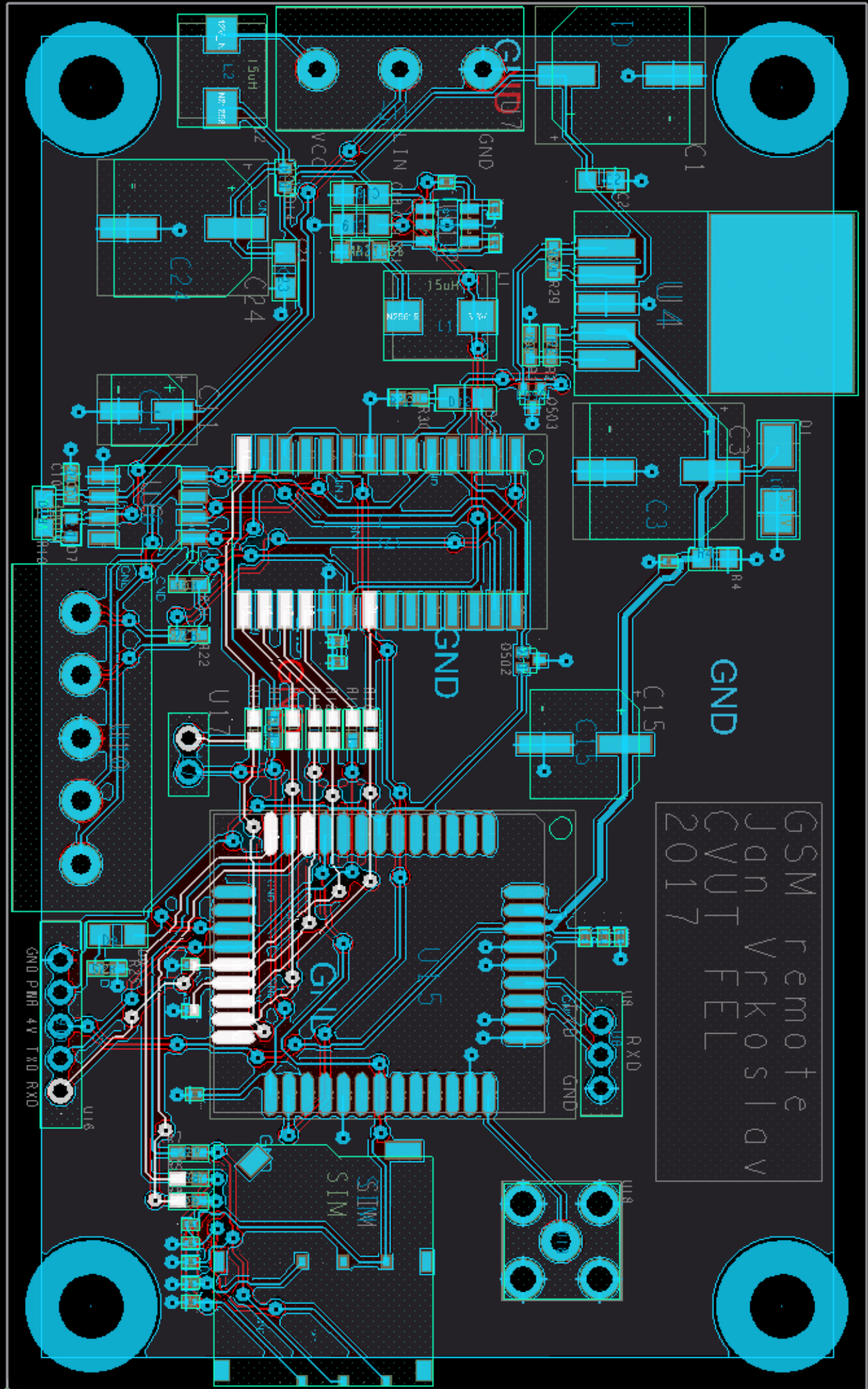


## Seznam příloh

- I. Schéma
- II. DPS







GSM Remote  
Jagan Vrkostlav  
CVUT FEL  
2017