

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2018

Aleš Ryška



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## PŘENOS DAT PO NAPÁJECÍM VEDENÍ

POWER LINE DATA TRANSFER

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Aleš Ryška

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Dobesch, Ph.D.

BRNO 2018

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**  
Ústav radioelektroniky

**Student:** Aleš Ryška

**ID:** 186176

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2017/18

**NÁZEV TÉMATU:**

## Přenos dat po napájecím vedení

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s problematikou přenosu dat po DC napájecím vedení (PowerLine). Prozkoumejte rychlostní a kapacitní limity přenosu a ověřte možnost použití standardního CAN komunikačního protokolu. Provéřte vlivy rušení a nestabilit-odchylek v napájecím napětí na kvalitu a spolehlivost přenosu CAN dat. Navrhněte schéma zapojení a topologii systému s více koncovými body využívajícími stejné napájecí vedení a použité komponenty pro fyzickou realizaci. Návrh zapojení z předchozího bodu zrealizujte a ověřte měřením teoretické parametry přenosu. Vytvořte demonstrační uspořádání ukazující možnosti přenosu dat mezi jednotlivými zařízeními.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] CORRIGAN, Steve. Introduction to the Controller Area Network (CAN) [online]. In: . 2002, s. 1-17 [cit. 2017-05-29]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/sloa101b/sloa101b.pdf>

[2] SINGH, Ajinder a Dave HERMANN. DC Power-Line Communication Reference Design [online]. 2013 [cit. 2017-05-29]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ug/tidu160/tidu160.pdf>

**Termín zadání:** 5. 2. 2018

**Termín odevzdání:** 24. 5. 2018

**Vedoucí práce:** Ing. Aleš Dobesch, Ph.D.

**Konzultant:** Ing. Jan Kratochvíl



*[Signature]*  
prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.  
předseda oborové rady

### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č.121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Práce se věnuje komunikaci po napájecím vedení a jejím využití v předním světlometu automobilu. V práci se srovnávají různá komerčně dostupná řešení uvedená na trh, zejména pak modem firmy Qualcomm QCA7000.

Dále se práce zabývá návrhem prototypu a prozkoumáním použitelnosti u stávající kabeláže v automobilu.

Cílem je sestavení prototypu, který umožní komunikaci po napájecím vedení automobilu s přední lampou po napájecím vedení.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Komunikace po napájecím vedení, QCA7000, prototyp, nosná frekvence, digitální modulace, přední světlomet, OFDM

## **ABSTRACT**

This thesis deals with powerline communication and application its use in headlamp. In thesis are compared various commercial available solutions, especially the Qualcomm QCA7000 modem.

Furthermore, the work deals with the design and the prototype for exploring the applicability of the existing wiring in automobile.

The aim of the thesis is to construct a prototype that allows the communication with the front lamp of the car via the power line.

## **KEYWORDS**

Powerline communication, QCA7000, protype, carrier frequency, digital modulation, headlamp, OFDM

RYŠKA, Aleš. *Přenos dat po napájecím vedení*. Brno, 2018, 51 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky. Vedoucí práce: Ing. Aleš Dobesch, Ph.D

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Přenos dat po napájecím vedení“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

podpis autora

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu Ing. Janu Kratochvílovi, manažerovi R&D oddělení předních světlometů z firmy Varroc Lighting Systems, který mi umožnil zpracovat toto téma pod jeho vedením. Bez šance, kterou mi dal, by tato práce nikdy nevznikla.

Můj dík patří Ing. Květoslavu Odstrčilíkovi, který mi významně pomáhal jak po technické stránce práce, tak s výrobou a objednáním všech komponent.

K závěru bych chtěl projevít dík Ing. Aleši Dobeschovi Ph.D., který mi věnoval spoustu svého času a pomáhal mi se všemi náležitostmi, které se týkaly formální stránky práce.

Zvláštní poděkování patří mé rodině, která mi poskytla zázemí a velkou míru podpory, umožnila mi studium na vysoké škole.

Bez ní bych se k elektronice a tomu, čemu se dnes věnuji nikdy nedostal.

Díky.

Brno .....

.....

podpis autora



Faculty of Electrical Engineering  
and Communication  
Brno University of Technology  
Purkynova 118, CZ-61200 Brno  
Czech Republic  
<http://www.six.feec.vutbr.cz>

## PODĚKOVÁNÍ

Výzkum popsany v této bakalářské práci byl realizován v laboratořích podpořených z projektu SIX; registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operační program Výzkum a vývoj pro inovace.

Brno .....

.....

podpis autora



EVROPSKÁ UNIE  
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ  
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



# Obsah

<b>1</b>	<b>Komunikace po napájecím vedení</b>	<b>11</b>
1.1	Popis technologie PLC . . . . .	11
1.2	Historie . . . . .	12
1.3	Průzkum trhu . . . . .	12
1.4	Výsledek průzkumu trhu . . . . .	13
1.4.1	PLC Stamp mini 2 . . . . .	14
1.4.2	PLC Stamp 1200 micro . . . . .	15
1.4.3	Yamar SIG60 . . . . .	16
1.5	Motivace . . . . .	19
<b>2</b>	<b>Návrh hardware</b>	<b>20</b>
2.1	Návrh hardware . . . . .	20
2.2	Schéma zapojení prototypové desky . . . . .	20
2.3	Komunikační protokol . . . . .	22
2.4	Popis sběrnice . . . . .	22
2.4.1	Datová zpráva (Data Frame): . . . . .	24
2.5	Komunikace mezi modemy . . . . .	26
2.6	Home Plug Green PHY . . . . .	26
2.6.1	Modulace . . . . .	27
<b>3</b>	<b>Software</b>	<b>29</b>
3.1	Software . . . . .	29
3.1.1	Instalace nástroje open-plc-utils . . . . .	29
3.1.2	Nástroj plctool . . . . .	31
3.1.3	Nástroj plcrate . . . . .	32
3.1.4	Nástroj plcstat . . . . .	33
3.1.5	Nástroj plctone . . . . .	33
<b>4</b>	<b>Experimentální výsledky</b>	<b>34</b>
4.1	Experimentální výsledky . . . . .	34
4.1.1	Spektrální analýza modemů . . . . .	36
4.1.2	Implementace CAN protokolu . . . . .	40
<b>5</b>	<b>Závěr</b>	<b>42</b>
	<b>Literatura</b>	<b>44</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>46</b>



Seznam příloh	47
A Komunikační protokol	48
B Desky plošného spoje	50

# Seznam obrázků

1.1	Blokové schéma modemu QCA7000 [1]	14
1.2	Vývojová deska z produkce I2SE [1]	15
1.3	Modem QCA7500 [2]	16
1.4	Schéma zapojení modemu SIG60	17
1.5	Osazené prototypy s čipem SIG60	17
1.6	Zdroj 3V3/1A s TPS62152	18
2.1	Schéma zapojení modemu QCA7000	20
2.2	Zapojení jumperů pro konfiguraci modemu	21
2.3	Deska plošného spoje osazená modulem QCA7000	21
2.4	Realizace logického součinu pomocí tranzistorů	22
2.5	Realizace připojení uzlu na sběrnici	23
2.6	Rámec zprávy typu CAN	24
4.1	Rozvržení experimentu	34
4.2	Spektrum signálu - žádný datový tok	36
4.3	Spektrum signálu - maximální datový tok	36
4.4	Spektrum signálu s pomocí funkce persist - žádný datový tok	37
4.5	Spektrum signálu s pomocí funkce persist - maximální datový tok	37
4.6	Spektrum typu waterfall - žádný datový tok	38
4.7	Spektrum typu waterfall - maximální datový tok	38
4.8	Zapnutý světlomet	41
4.9	Prototypový světlomet "matrix", model Ford Mondeo	41
A.1	Struktura zápisu dat přes SPI sběrnici	48
A.2	Režimy přenosu dat	48
A.3	Struktura příkazu čtení ze zásobníku přes SPI sběrnici	48
A.4	Struktura SPI příkazu pro čtení dat ze zásobníku	48
A.5	Struktura SPI příkazu pro zápis dat	49
A.6	Struktura SPI příkazu pro zápis dat	49
B.1	Spodní strana mědi testovací DPS pro modem QCA7000	50
B.2	Vrchní strana mědi testovací DPS pro modem QCA7000	51
B.3	Osazovací plán testovací DPS pro modem QCA7000	51

# Seznam tabulek

1.1	Porovnání vybraných modemů [3] [2] [4] . . . . .	13
2.1	Význam jednotlivých částí zprávy typu CAN 2.0 . . . . .	24
2.2	Vlastnosti systému HomePlug AV PHY [5] . . . . .	26
2.3	Vlastnosti systému HomePlug Green PHY [5] . . . . .	27
2.4	Srovnání standardu AV a GreenPHY [5] . . . . .	27
2.5	Závislost rychlosti komunikace na počtu redundantních dat [5] . . . . .	28
4.1	Experimentální měření na vozidle . . . . .	34
4.2	Komunikační protokol světlometu . . . . .	40
4.3	Komunikační protokol světlometu . . . . .	40

# 1 Rozbor zadání

Práce se zabývá problematikou přenosu dat po napájecím vedení (PLC), zejména pak po stejnosměrném rozvodu v automobilu.

Problém kterým se práce zabývá vyvstal ze snahy snížení množství datových vodičů v automobilu, s čímž se váže podstatná úspora místa pro další technologie. Jedním ze stěžejních bodů práce je průzkum trhu, který srovnává dostupná řešení. Tvoří tak přehled perspektivních technologií na trhu, s ohledem na implementaci CAN protokolu.

Výstupem průzkumu trhu je volba vhodné technologie a návrh hardware pro prototypové modemy. Na ty jsou kladeny požadavky zejména praktických rozměrů a jednoduchosti použití.

Rozsáhlou kapitolu pak tvoří software, který slouží k ovládní modemů po SPI sběrnici za pomoci Raspberry Pi.

Tato kapitola popisuje jak nastavení software, tak základy jeho používání a možnosti vybraných nástrojů poskytovaných výrobcem.

Celá práce je poté ověřena implementací komunikačního protokolu na prototypovém světlometu.

Výstupem práce je srovnání dvou odlišných technologií a nastínění dalšího směru výzkumu.

## 1.1 Popis technologie PLC

PLC je technologie pro přenos dat, který využívá silového rozvodu pro napájení zařízení.

Pokud jsme dodnes chtěli "čistou" napájecí linku bez rušení, tak se v tomto případě snažíme o pravý opak, přesně definované rušení (amplituda a frekvence), které slouží k přenosu dat a negativně neovlivní funkčnost napájeného zařízení.

Obrovskou výhodou je eliminace datových vodičů, které tvoří další článek v technologickém řetězci, což může způsobovat závady.

Pokud závady nezpůsobuje, pak se mu dá vytknout například cena a hmotnost. Tato práce nemá za cíl způsobit revoluci v automobilovém průmyslu, nýbrž se snaží o prozkoumání dosud nevyužitých technologií v oblasti automotive průmyslu a snaží se najít její využití v aplikaci předních světlometů.

## 1.2 Historie

První pokusy o vůbec první ovládání na dálku byly provedeny koncem 19. století na území Anglie.

Ve třicátých letech se objevily první pokusy na území Francie a Německa pro střídavou soustavu.

S příchodem tranzistorů se tato oblast výzkumu otevřela novému bádání a nic nestálo v cestě prvním úspěšným aplikacím této technologie. Velkým průlomem pro tuto oblast sdělovací techniky byl příchod mikroprocesorů a integrovaných obvodů.

Pokud odbočím od mé práce, která se týká komunikace po DC vedení, nejvíce je tato komunikace využívána v distribuční síti jako HDO.

HDO, tedy hromadné dálkové ovládání, je technologie, která zaopatřuje distribuční síť [9].

První použití této technologie na území České Republiky proběhlo ve městě Cheb, kde v roce 1960 vytvořili první rozvodnu, která využívala HDO.

Frekvence nosné byla 1050 Hz a kromě indikace vysokého či nízkého tarifu měla za úkol i řízení městského osvětlení.

Zajímavostí může být, že se zpočátku využívaly jako generátory signálu HDO rotační měniče.

Jako přijmače se používaly filtry z pasivních prvků zakončené akčním členem.

Velkým problémem u přenosu HDO je délka vedení a výrazné rušení.

Modulovaný signál bývá těmito vlivy zpravidla velmi zarušený, a tak se nezřídká využívá číslicového zpracování signálu.

V dnešní době se pro HDO na území ČR používá frekvence 183,3 Hz, 283,3Hz a 216,6 Hz [9].

## 1.3 Průzkum trhu

Řešení komunikace po napájecím vedení nabízí řada výrobců. Při průzkumu trhu se mi podařilo najít řešení od firem I2SE, STmicroelectronics, Maxim Integrated, Texas Instruments a firmy Yamar. Mezi nabízenými sběrnicemi existují varianty podporující LIN, SPI, UART a RMII/RGMII s bitratem řádově od kilobitů až po gigabitová řešení.

Kromě firmy I2SE nenabízí žádný výrobce modem, který by umožňoval implementaci CAN protokolu a zároveň byl dostatečně komplexním řešením pro budoucí aplikaci.

Porovnání dostupných řešení na trhu, je v následující tabulce:

<b>Název čipu</b>	SIG60	QCA7000	QCA7500
<b>Výrobce</b>	Yamar	Qualcomm	Qualcomm
<b>Pouzdro</b>	QFN-28	QFN-68	QFN-68
<b>Napájení</b>	3V3	3V3	3V3
<b>Baudrate</b>	< 115.2 kbps	< 10 Mbps	< 1200 Mbps
<b>Typ sběrnice</b>	UART, LIN	UART, SPI	UART, SPI, RMII, RGMII
<b>Modulace</b>	-	OFDM (ROBO)	OFDM (ROBO)

Tab. 1.1: Porovnání vybraných modemů [3] [2] [4]

## 1.4 Výsledek průzkumu trhu

Na počátku práce stálo zajímavé řešení firmy Texas Instruments postavené na procesoru řady C2000. K řešení je dostupná velmi obsáhlá dokumentace a ovládací software, nicméně součástková základna a celková dostupnost použitých komponent nebyly nijak zvláště příznivé pro účel zkoumání této technologie. Z hlediska další modifikace bylo toto řešení velmi zajímavé.

Řešení firem ST microelectronics a Maxim Integrated nebylo kvůli jejich složitosti a nevyhovujícímu komunikačnímu protokolu příliš vhodné, modemy těchto výrobců se vyznačovaly poměrně širokou škálou dalších periférií, obsahovaly kryptografické jednotky a spoustu GPIO pinů.

Pro účel prozkoumání možností šlo o zbytečně složitě řešení, na trhu byla další řešení, která nabízela lepší možnosti a jednodušší implementaci.

Modem firmy Yamar se v počátku jevil jako vhodný kandidát na zkoumání PLC technologie, nicméně se jednalo o úzkopásmový modem, který není z hlediska spolehlivosti příliš vhodný pro automotive aplikaci.

Po pečlivém uvážení padla volba pro řešení firmy I2SE a jejich modemy postavené na čípech od firmy Qualcomm QCA7000 a QCA7500.

Motivace pro použití těchto obvodu byla následující.

Jednalo se o širokopásmové modemy pracující na standardu HomePlug AV/Green PHY, což s sebou nese větší robustnost komunikace a vyšší propustnost. K použití těchto modemů přispěl fakt, že tyto modemy používají jako komerční řešení výrobci D-Link a TP-LINK. Distributor poskytuje velmi obsáhlou dokumentaci a podporu pro firmware.

## 1.4.1 PLC Stamp mini 2

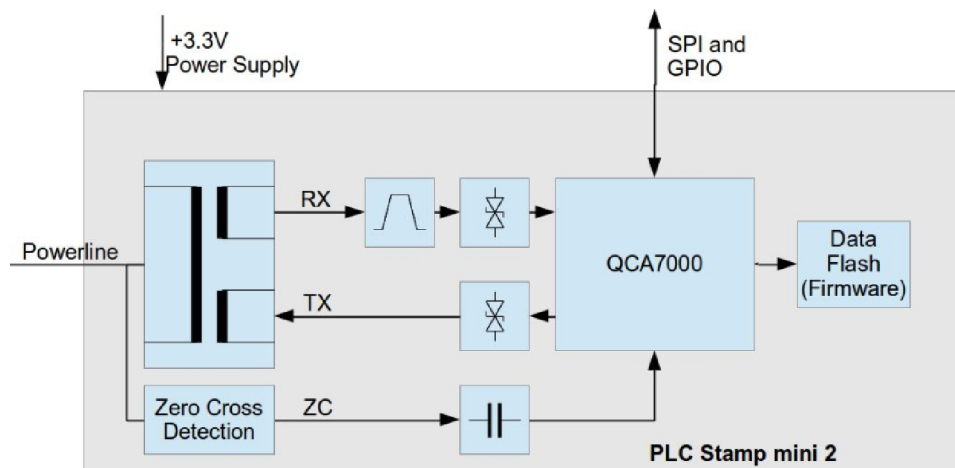
Modem pracuje na bázi standardu HomePlug®Green PHY™.

Základem je čip QCA7000 od firmy Qualcomm. Rychlost komunikace na fyzické vrstvě činí až 10 Mbps. Komunikace může být povahy point to point či multipoint. Toto řešení tedy umožňuje připojení více vysílačů a přijmačů na jednu linku. Data jsou vysílána pod standardem ethernet, což umožňuje využití TCP/IP protokolu.

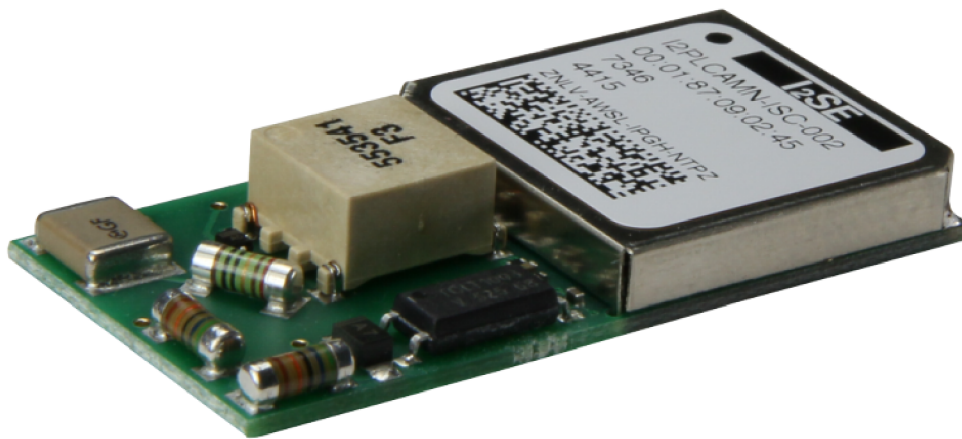
Modem je navržen pro použití na lince 230 VAC, 110 VAC a DC. Oddělení linky od modemu zajišťuje vazební člen, ať už induktivní či kapacitní vazbou.

Dosažitelná komunikační vzdálenost [10]:

- 600m koaxiální kabel
- 400m po kroucené dvojlince
- 300m po napájecím vedení



Obr. 1.1: Blokové schéma modemu QCA7000 [1]



Obr. 1.2: Vývojová deska z produkce I2SE [1]

Sériová komunikace s modemem pomocí SPI či UARTu je možná, avšak vyžaduje dodržení maskování komunikace, které udává výrobce v katalogovém listu.

V případě použití UART sběrnice dosahuje maximální rychlost 115,2 Kbps, v případě SPI až 10 Mbps.

Z důvodu aplikace CAN protokolu se nabízí využití SPI sběrnice, pro kterou je dostupná knihovna pro raspberry pi na githubu.

### 1.4.2 PLC Stamp 1200 micro

Modem pracuje na bázi standardu HomePlug®AV2. Základem je čip QCA7500 od firmy Qualcomm. Dosažitelná rychlost komunikace na fyzické vrstvě činí až 1200 Mbps.

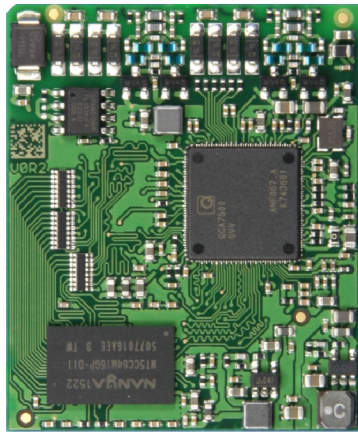
Implementace a možnosti použití jsou shodné s QCA7000.

Výhodou oproti QCA7000 je možnost využití funkce *tonemap*, která je rozebrána v další části práce.

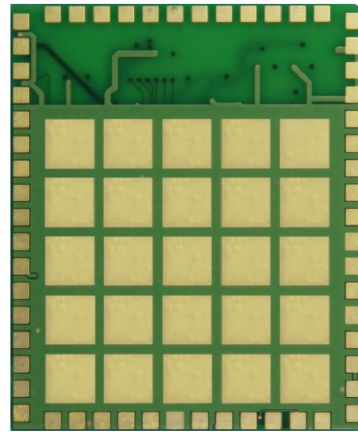
Dosažitelná komunikační vzdálenost [10]:

- 600m koaxiální kabel
- 400m po kroucené dvojlince
- 300m po napájecím vedení





(a) Horní část modemu



(b) Spodní část modemu

Obr. 1.3: Modem QCA7500 [2]

Sériová komunikace s modemem pomocí SPI či UARTu je možná, avšak vyžaduje dodržení maskování komunikace, které udává výrobce v katalogovém listu.

V případě použití UART sběrnice je maximální rychlost 115,2 Kbps, v případě RMII/RGMII až 1200 Mbps.

Pro použití RMII/RGMII je třeba využití ethernetového transceiveru.

### 1.4.3 Yamar SIG60

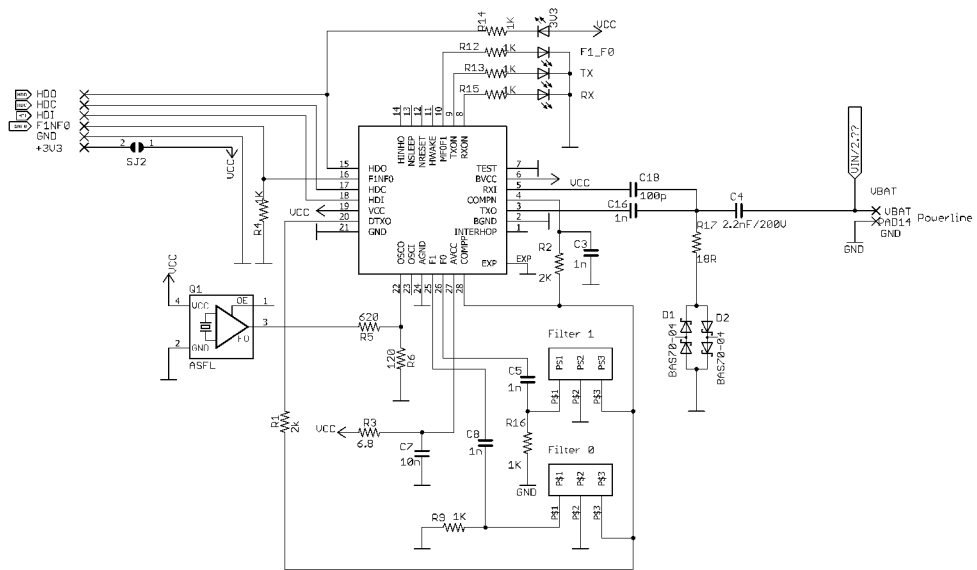
V úvodu bakalářské práce byl zvolen jako vhodný modem SIG60 od Izraelské firmy Yamar.

Nicméně po nezdarech s navázáním spolehlivé komunikace od něj bylo upuštěno.

Problémem byla rovněž nízká komunikační rychlost. Dalším problémem návrh modemu samotný, pracuje na principu úzkopásmové komunikace, což není pro automotive aplikaci příliš vhodné řešení z hlediska odolnosti vůči rušení.

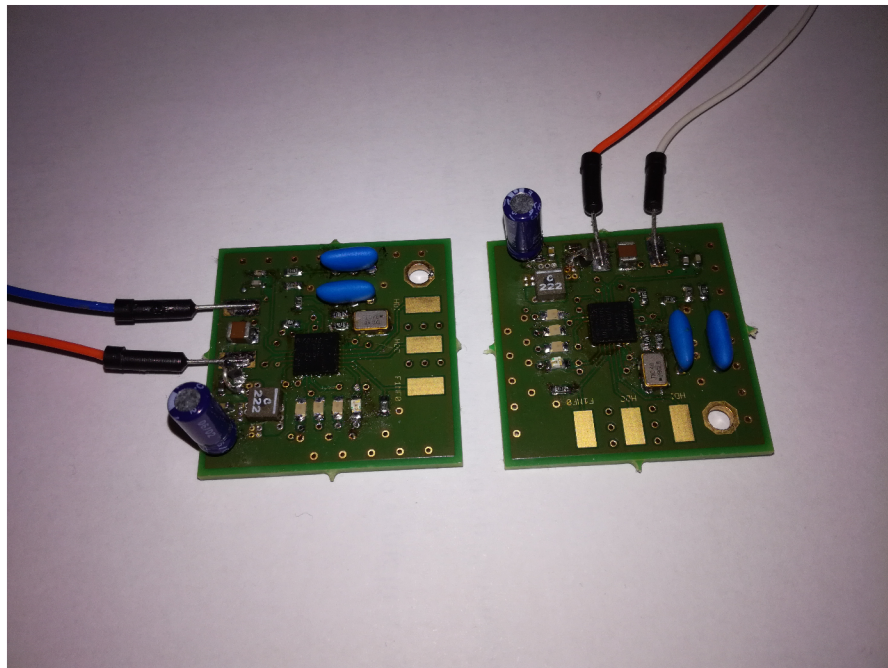
K dispozici je strohá dokumentace a velmi malá podpora na internetu.

Toto řešení se mi pro nasazení do nové technologie jeví jako překonané, nicméně do jednodušších aplikací stále použitelné.

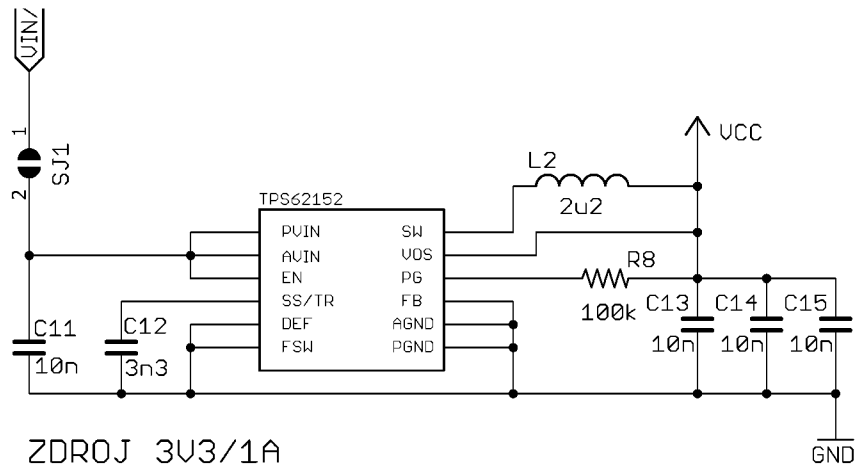


MODEM

Obr. 1.4: Schéma zapojení modemu SIG60



Obr. 1.5: Osazené prototypy s čipem SIG60



Obr. 1.6: Zdroj 3V3/1A s TPS62152

K vytvoření napájecího napětí pro jádro modemu jsem využil řešení firmy Texas Instruments a jejich stepdown měnič TPS62152. Pro použití tohoto měniče jsem se rozhodl na základě zkušeností z minulých projektů, kdy byl obvod velmi spolehlivý a fungoval již na první zapojení.

K návrhu napájecího zdroje jsem využil referenčního zapojení, které výrobce uvádí v katalogovém listu. Po sestavení prototypu jsem uvážil změnu měniče za měnič s vyšším dovoleným vstupním napětím, jelikož v dnešních době je v automotive snaha zvýšit palubní napětí a tím snížit průřez kabeláže.

## 1.5 Motivace

Důvodem, proč má smysl zabývat se komunikací po napájecím vedení je, že v dnešní době jde technologie velmi rychle kupředu a rostou nároky hned v několika oblastech.

První oblastí je ekologie, která razí cestu nízkého zatížení přírody a maximálního využití přírodních zdrojů. Ruku v ruce jde s první oblastí oblast druhá a to jsou nároky na účinnost celkového zařízení, kdy i po datových vodičích teče proud, ohmické ztráty se mění na teplo, účinnost tím klesá a zvyšuje se tak spotřeba energie.

A pak je tu oblast třetí, tou je miniaturizace.

Probíhají snahy o maximální zmenšení, a maximální využití prostoru v zařízeních.

V dnešní době je velkou motivací také to, že zejména v automobilech jsou dnes desítky kilometrů vodičů, které tvoří zejména datové vodiče.

To se posléze odráží na výsledné ceně elektroinstalace a managementu kabeláže, kdy probíhá snaha o využití každého centimetru volného prostoru.

Během konzultací s odborníky v automotive průmyslu a odborníky přes PLC jsem shledal v PLC zajímavou možnost vyřešení alespoň několika výše zmíněných problémů.

V hlavní řadě se pak jedná o nepříliš prozkoumanou technologii v rámci automotive průmyslu.

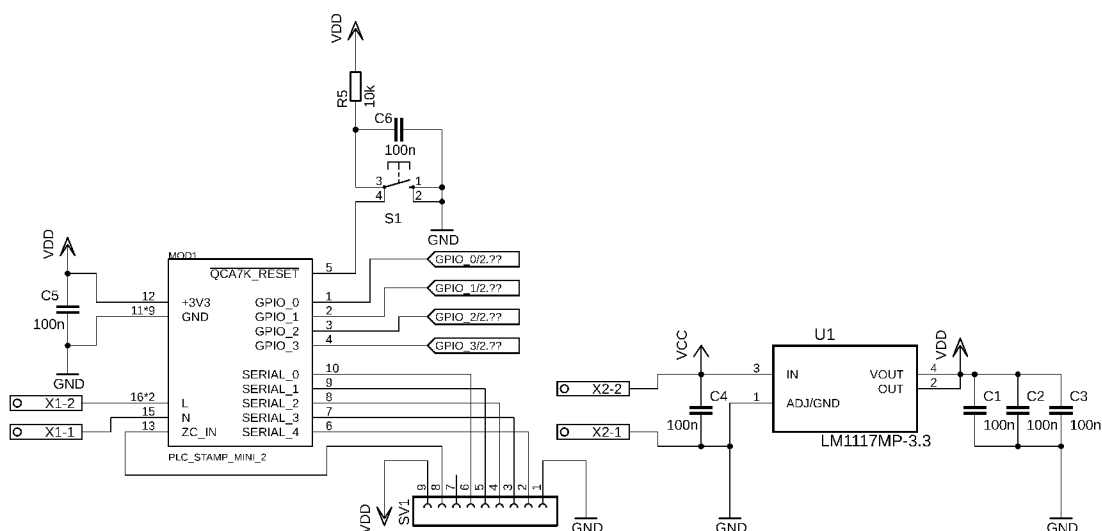
## 2 Návrh hardware

### 2.1 Návrh hardware

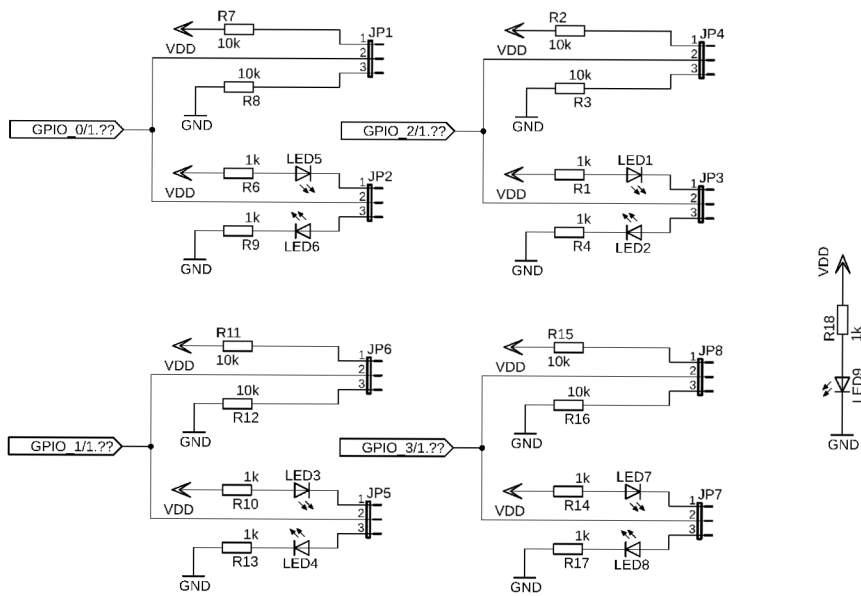
Navržená deska plošného spoje (DPS) vychází z aplikační noty k modemu QCA7000 a rovněž i katalogového listu obvodu [3] [12]. Návrh je založen na několika tzv. jumpech, které zajišťují přepínání režimů modemu. Rovněž je deska osazena celkem devíti LED diodami. Osm z nich detekuje pin HIGH/LOW a jedna slouží pro detekci aktivního napájení.

Modul QCA7000 je koncipovaný jako deska plošného spoje, která se zapájí na nadřazený modul. Proto jsem se snažil navrhnout tuto DPS se vstupními periferiemi, co nejvíce uživatelsky přívětivou pro obsluhu s ohledem na manipulaci s jumpery.

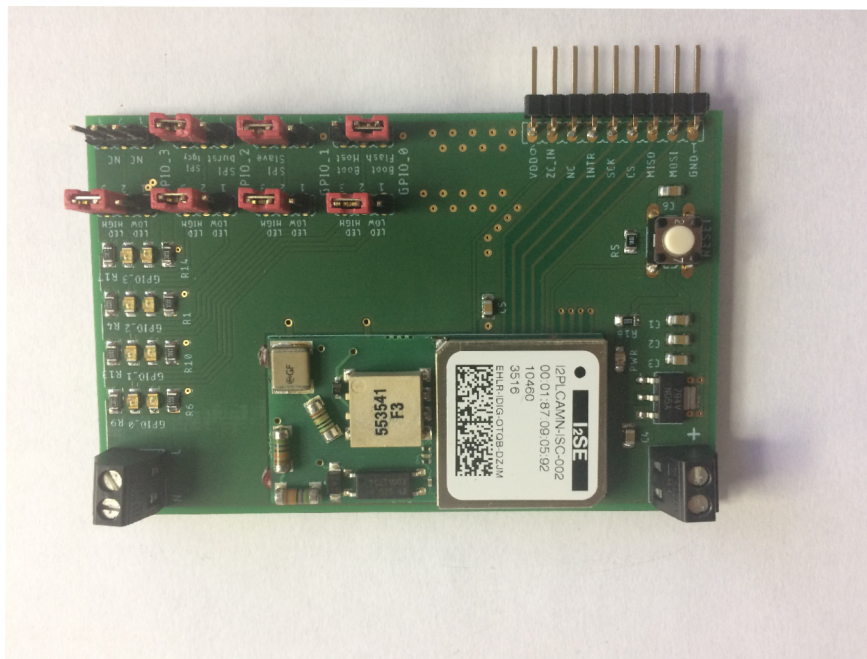
### 2.2 Schéma zapojení prototypové desky



Obr. 2.1: Schéma zapojení modemu QCA7000



Obr. 2.2: Zapojení jumperů pro konfiguraci modemu



Obr. 2.3: Deska plošného spoje osazená modulem QCA7000

## 2.3 Komunikační protokol

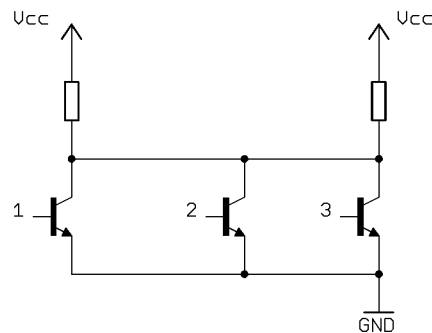
## 2.4 Popis sběrnice

Sběrnice CAN obstarává komunikaci jednotlivých řídicích jednotek a subsystémů v automobilu. CAN se používá u řídicích jednotek počínaje motorovou částí až po komunikaci např. se světlomety.

Protokol byl navržen s důrazem na bezpečnost komunikace, což přímo vyžaduje jeho aplikace [13] [14]. Účelem použití této sběrnice je zajištění bezpečné komunikace mezi jednotlivými jednotkami tak, aby nedocházelo k velkému zatížení centrálního procesoru. Jedná se o sériový protokol typu multi-master, kde každý uzel sběrnice může být master a řídí tak chování jiných uzlů.

Zprávy vysílané po sběrnici protokolem CAN neobsahují žádnou informaci o cílovém uzlu, kterému jsou určeny, a jsou přijímány všemi ostatními uzly připojenými ke sběrnici. Každá zpráva je uvozena identifikátorem, který udává význam přenášené zprávy a její prioritu [13] [14].

Protokol zajišťuje, aby zpráva s vyšší prioritou byla v případě kolize dvou zpráv doručena přednostně a dále je možné na základě identifikátoru zajistit, aby uzel přijímal pouze ty zprávy, které se ho týkají. Základním požadavkem na fyzické přenosové médium protokolu CAN je, aby realizovalo funkci logického součinu [14].



Obr. 2.4: Realizace logického součinu pomocí tranzistorů

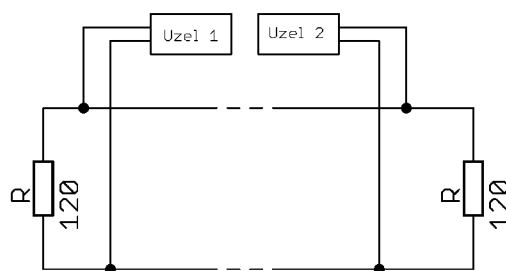
Za účelem zvýšení rychlosti a odolnosti proti rušení je účelné, aby byl spoj symetrický. Standard protokolu CAN definuje dvě vzájemně komplementární hodnoty bitů na sběrnici - dominant a recessive. Vysílají-li všechny uzly sběrnice recessive bit, pak na sběrnici je úroveň recessive [15] [13] [14].

Vysílá-li alespoň jeden uzel dominant bit, je na sběrnici úroveň dominant.

Dalším příkladem může být sběrnice buzená hradly s otevřeným kolektorem, kde stavu dominant bude odpovídat logická nula na sběrnici a stavu recessive logická jednička.

Sběrnici tvoří dva vodiče (označované CAN-H a CAN-L), kde dominant či recessive úroveň na sběrnici je definována rozdílovým napětím těchto dvou vodičů.

Dle nominálních úrovní uvedených v normě je pro úroveň recessive velikost rozdílového napětí  $V_{diff} = 0$  V a pro úroveň dominant  $V_{diff} = 2$  V. Pro eliminaci odrazů na vedení je sběrnice na obou koncích přizpůsobena zakončovacími odpory o velikosti  $120 \Omega$  [14] [15].



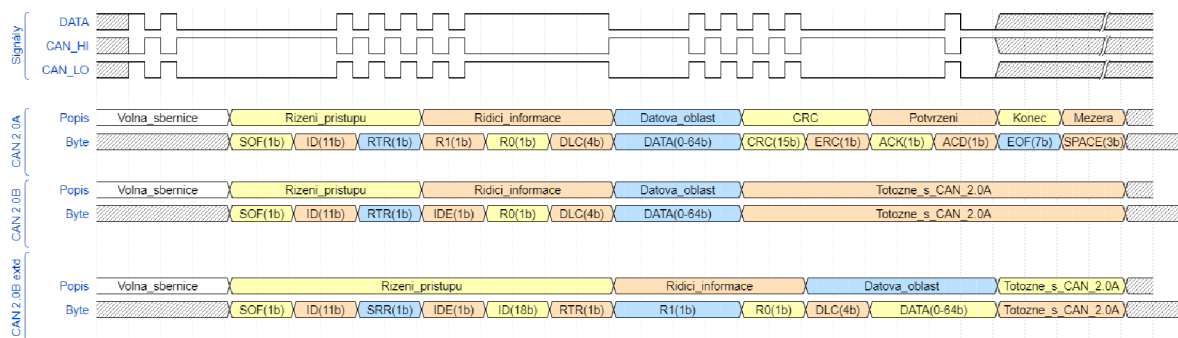
Obr. 2.5: Realizace připojení uzlu na sběrnici

Ke sběrnici může být teoreticky připojen libovolný počet uzlů, ale s ohledem na zatížení sběrnice je počet připojených uzlů podstatně nižší a uvádí se kolem 64 zařízení na segment.



## 2.4.1 Datová zpráva (Data Frame):

CAN používá dva typy datových zpráv. První typ je definován specifikací 2.0A a je v literatuře označován jako standardní formát zprávy (Standard Frame), zatímco specifikace 2.0B definuje navíc tzv. rozšířený formát zprávy (Extended Frame).



Obr. 2.6: Rámec zprávy typu CAN

Zkratka	Název	Velikost	Popis
SOF	Start of Frame	1bit	Začátek zprávy
ID	Identificator	11bit	Identifikátor zprávy
RTR	Remote Request	1bit	Typ zprávy data x přístup ke sběrnici
R1	Reserved	1bit	-
R0	Reserved	1bit	-
DLC	Data length code	4b	Délka dat
-	Data	0-64b	Data
CRC	Control checksum	15b	Kontrolní součet zprávy
ERC	-	1b	Oddělovač CRC
ACK	Acknowledge	1b	Potvrzení
ACD	Acknowledge delimiter	1b	Oddělovač ACK
EOF	End of Frame	7b	Konec rámce
IS	Interframe space	3b	Mezera mezi zprávami
SRR	Substitute remote request	1b	-
IDE	Identifier extension bit	1b	-

Tab. 2.1: Význam jednotlivých částí zprávy typu CAN 2.0

Jediný podstatný rozdíl mezi oběma formáty je v délce identifikátoru zprávy, která činí 11 bitů pro standardní formát a 29 bitů pro rozšířený formát.

Identifikátor je rozdělen na 11 a 18bitový identifikátor.

Oba dva typy zpráv mohou být používány na jedné sběrnici, pokud je použitým řadičem podporován protokol 2.0B. [14]

Specifikace CAN 2.0B definuje dva formáty datové zprávy - standardní a rozšířený.

Standardní zpráva (Standard Frame) je převzata ze specifikace 2.0A, má délku identifikátoru zprávy 11 bitů. Jediným rozdílem je zde využití bitu R1 na indikaci, zda se jedná o rámeček standardní nebo rozšířený.

Rozšířený rámeček (Extended Frame) používá celkem 29bitový identifikátor zprávy [16].

Bit RTR (Remote Request) je zde nahrazen bitem SRR (Substitute Remote Request), který má v rozšířeném formátu vždy hodnotu recessive. To zajišťuje, aby při vzájemné kolizi standardního a rozšířeného formátu zprávy na jedné sběrnici získal vyšší prioritu standardní rámeček.

Bit IDE (Identifier Extended) má vždy recessive hodnotu [13].

Bit (RTR) udávající, zda se jedná o datovou zprávu, či žádost o data je umístěn na konec druhé části identifikátoru. Jakmile libovolný uzel na sběrnici detekuje v přenášené zprávě chybu (chyba bitu, chyba CRC, chyba vkládání bitů, chyba rámce), vygeneruje ihned na sběrnici chybový rámeček. Tento způsob využívají zpravidla zařízení, která nejsou schopna kvůli svému vytížení přijímat a zpracovávat další zprávy [14] [17].

## 2.5 Komunikace mezi modemy

## 2.6 Home Plug Green PHY

HomePlug GP byl vytvořen zejména k účelu podpory Smart Grid aplikací v domácích sítích (HAN). Důraz byl pak kladen na výslednou cenu při dodržení rozumné rychlosti a hlavně robustnosti celého systému.

Tento typ architektury vychází ze systému HomePlug AV PHY [5].

<b>Šířka pásma</b>	2 MHz až 30 MHz
<b>Modulační technika</b>	OFDM
<b>Počet nosných</b>	1155
<b>Vzdálenost nosných</b>	24.414 kHz
<b>Modulace nosných</b>	BPSK, QPSK, 16 QAM 64 QAM, 256 QAM, 1024 QAM
<b>Datový tok</b>	<b>ROBO:</b> 4 Mbps až 10Mbps <b>Adaptive bit loading:</b> 20 Mbps až 200 Mbps

Tab. 2.2: Vlastnosti systému HomePlug AV PHY [5]

Základem komunikace je modulační technika OFDM, která ji realizuje za pomoci několika nosných.

V případě využití Adaptive bit loadingu může každá nosná využívat jinou modulaci, v závislosti na jejím vztahu vůči systému. Například pokud je v pásmu dané nosné silné rušení, pak systém zvolí spíše méně stavovou modulaci (např. BPSK), která zaručí nižší chybovost dat, pokud ovšem nosná zarušená není a je to možné, pak systém zvolí vícestavovou modulaci (např. 1024 QAM). Adaptive bit loading tedy umožňuje v závislosti na charakteru rušení upravit modulace nosných tak, aby docházelo k nejvyššímu možnému datovému toku při zachování nízké chybovosti.

<b>Šířka pásma</b>	2 MHz až 30 MHz
<b>Modulační technika</b>	OFDM
<b>Počet nosných</b>	1155
<b>Vzdálenost nosných</b>	24.414 kHz
<b>Modulace nosných</b>	QPSK
<b>Datový tok</b>	<b>ROBO:</b> 4 Mbps až 10Mbps

Tab. 2.3: Vlastnosti systému HomePlug Green PHY [5]

Systém Green PHY má oproti AV PHY značně omezený datový tok. Neumožňuje například adaptive bit loading, jelikož je k dispozici pro modulaci nosné jen QPSK. Využití QPSK jako jediné modulace zajišťuje poměrně vysokou míru robustnosti a ve spojení s OFDM a ROBO činí systém velmi odolným vůči rušení.

### 2.6.1 Modulace

Využití QPSK sice přináší omezení z hlediska datového toku, nicméně zajišťuje poměrně vysokou míru robustnosti. QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) je modulace založená celkem na čtyřech stavech jejichž hodnotu reprezentuje fáze nosné. Optotí tomu 1024 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) je modulace založená na změně amplitudy a dokáže za jednu změnu přenést až 10 bitů.

Nicméně čím více má modulace stavů, tím je náchylnější k zarušení.

Proto je vhodné volit do prostředí, kde se může vyskytovat poměrně silné rušení, modulaci s nižším počtem stavů, například výše zmíněnou QPSK [5].

<b>Modulace nosné</b>	<b>Počet bitů na symbol</b>	<b>HomePlug AV</b>	<b>HomePlug GP</b>
BPSK	1	X	-
QPSK	2	X	X
16 QAM	4	X	-
64 QAM	6	X	-
256 QAM	8	X	-
1024 QAM	10	X	-

Tab. 2.4: Srovnání standardu AV a GreenPHY [5]

Režim ROBO je založený na opakování zpráv, sníží se tím pak chybovost a vzroste robustnosti komunikace. Zároveň není možné využít plnou kapacitu komunikačního kanálu, a dosáhnout tak maximální rychlosti.

Pokud není využit systém ROBO, tak může nastat problém při vyhodnocení paketu, kdy vlivem rušení či interferencí, které na lince vzniknou dorazí paket poškozený, nebo se úplně ztratí.

ROBO modulace tomuto problému zamezuje metodou redundantních dat, kdy s počtem opakování klesá pravděpodobnost chyby či úplné ztráty dat.

Na rozdíl od režimu adaptive bit loading se ROBO nespolehá na pokročilou znalost komunikačního kanálu, ale jednoduše porovnává rozdíly mezi přijatými daty. Není třeba například znát tzv. tonemap, který určuje rozložení jednotlivých nosných v komunikačním kanálu (ne všechny nosné mohou být z hlediska rušení využity) [18].

<b>Režim</b>	<b>Rychlost</b>	<b>Počet duplicitních zpráv</b>
Mini-ROBO	3.8 Mbps	5
Standard ROBO	4.9 Mbps	4
High Speed ROBO	9.8 Mbps	2

Tab. 2.5: Závislost rychlosti komunikace na počtu redundantních dat [5]

ROBO je poměrně jednoduchá technika, která umožňuje spolehlivou a robustní komunikaci při nízkém nároku na hardware a výpočetní výkon systému.

## 3 Software

### 3.1 Software

K ovládání modemů QCA7000 a QCA7500 lze využít opensource vývojový nástroj `open-plc-utils` dostupný na githubu <https://github.com/qca/open-plc-utils>. Software je primárně určen pro linuxové prostředí a ovládání se realizuje skrze terminál. K dispozici je i řešení pro Windows, kdy je potřeba zkompileovat balíčky např. VisualStudiem. Software se pak ovládá rovněž z příkazové řádky jako v Linuxu. Zvolil jsem verzi pro Linux, jelikož mám s tímto systémem zkušenosti, a vývoj byl tak rychlejší.

#### 3.1.1 Instalace nástroje `open-plc-utils`

Software je dostupný s otevřeným zdrojovým kódem na githubu <https://github.com/qca/open-plc-utils.git>. Balíček je třeba zkompileovat a ručně nainstalovat následující sekvencí příkazů:

```
$ git clone https://github.com/qca/open-plc-utils.git
$ sudo make
$ sudo make install
$ sudo make manuals
```

Poté je možno v adresáři `/usr/local/bin` pomocí příkazu `ls -sl` zobrazit všechny nainstalované programy k obsluze modemu.

Software je rovněž dostupný i pro Raspberry pi a distribuci raspbian. Ovládání modemů QCA7000 je již zabudované v kernelu systému (*kernel 4,4+*). Ty pak lze nastavit v souboru `/boot/config.txt`, například příkazem:

```
$ sudo nano /boot/config.txt
```

Poté je potřeba upravit konfigurační soubor přidáním řádku `dtoverlay=qca7000` [19].

Pro komunikaci je potřeba mít zapnutou SPI periférii.

To lze realizovat pomocí řádku `dtoverlay=spi=on` [19].

Výstup při správné inicializaci vypadá následovně:

```
$ dmesg |grep qca
[7.446514] qcaspi spi0.0: ver=0.2.7-i, clkspeed=12000000, burst_len=5000
[7.446566] qcaspi spi0.0: Using random MAC address 76:ca:cd:1f:07:31
```

System při úspěšné inicializaci detekuje novou síťovou kartu:

```
eth0: flags=4099<UP,BROADCAST,MULTICAST> mtu 1500
ether xx:xx:xx:xx:xx:xx txqueuelen 1000 (Ethernet)
RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

eth1: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST> mtu 1500
inet 169.254.189.208 netmask 255.255.0.0 broadcast 169.254.255.255
inet6 fe80::1abb:6611:118b:577c prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
ether 76:ca:cd:1f:07:31 txqueuelen 100 (Ethernet)
RX packets 7523 bytes 546104 (533.3 KiB)
RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
TX packets 14550 bytes 21866409 (20.8 MiB)
TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0
```

Dále je v práci často zmíněn takzvaný **Parameter Information Block**. Konfigurační soubor PIB je součástí firmwaru a je uložen ve flash paměti. Úpravou souboru je pak možné měnit např. MAC adresu zařízení, název zařízení v síti, klíče ke generování šifrované komunikace a další funkcionality.

### 3.1.2 Nástroj plctool

Nástroj plctool pracuje díky implementaci komunikace předepsané výrobcem přímo s hardwarovou vrstvou modemu. Díky tomu se stává mocným nástrojem k ovládní modemu, jeho diagnostice či případně úpravě firmwaru.

K ovládní programu je třeba mít oprávnění správce a volbou přepínačů lze nastavit přesnou diagnostiku modemu [20].

```
$ sudo plctool -aILr
eth1 00:B0:52:00:00:01 Request Version Information
eth1 00:01:87:09:2A:17 1
eth1 00:B0:52:00:00:01 Request Version Information
eth1 00:01:87:09:2A:17 QCA7000 MAC-QCA7000-1.1.3.1531-
00-20150204-CS
eth1 00:B0:52:00:00:01 Fetch Device Attributes
eth1 00:01:87:09:2A:17 QCA7000-MAC-QCA7000-1.1.3.1531-
00-20150204-CS (1mb)
    PIB 0-0 8660 bytes
    MAC 00:01:87:09:2A:17
    DAK 1A:E9:52:83:72:AF:8C:24:D7:69:04:65:6A:9E:53:A9
    NMK 50:D3:E4:93:3F:85:5B:70:40:78:4D:F8:15:AA:8D:B7
    (HomePlugAV)
    NID B0:F2:E6:95:66:6B:03
    NET Qualcomm Atheros Enabled Network
    MFG I2SE GmbH
    USR I2PLCAMN-ISC-002
    CCo Auto
    MDU N/A
```

Je třeba zmínit alespoň některé vlastnosti přepínačů:

- -a zobrazí verzi firmwaru modemu a jeho MAC adresu
- -I zobrazí hlavičku PIB souboru, který nastavuje vlastnosti zařízení
- -L zobrazí na výstupu status zařízení na lince
- -r zobrazí verzi firmwaru a hardwaru, v podstatě stejné jako -a, nicméně často pracuje lépe než parametr -a
- -B simuluje hardwarové tlačítko, například parametr *join* způsobí párování



### 3.1.3 Nástroj plcrate

Plcrate je program k změřením a výpočtu rychlosti komunikace na fyzické vrstvě. Výstupem jsou příchozí i odchozí rychlosti a kapacita linky.

Struktura příkazu je následující [20] :

```
o plctool [přepínače] <MAC 1st> <MAC 2nd>
```

```
$sudo plcrate 00:01:87:09:2A:17 00:01:87:09:05:92
eth1 00:01:87:09:2A:17 00:01:87:09:05:92 TX 009 mbps Primary
eth1 00:01:87:09:2A:17 00:01:87:09:05:92 RX 009 mbps Primary
eth1 00:01:87:09:05:92 00:01:87:09:2A:17 TX 009 mbps Primary
eth1 00:01:87:09:05:92 00:01:87:09:2A:17 RX 009 mbps Primary
```

Jak lze z výstupu vidět, program změří nejdříve rychlosti (RX a TX) z prvního modemu do druhého a následně z druhého do prvního.

Pokud je třeba test prodloužit či měřit přesně definovaný počet cyklů, pak lze využít přepínače `-l`, který zopakuje měření dle argumentu funkce.

### 3.1.4 Nástroj plcstat

Plcstat je program, jehož výstupem je například topologie sítě, informace o dalších zařízeních nebo například rychlostech v síti.

Je to nástroj vhodný k diagnostice a zjištění dalšího zařízení včetně chování v síti [20].

```
$ sudo plcstat -mt 00:01:87:09:2A:17 00:01:87:09:05:92
P/L NET TEI ----- MAC ----- BDA ----- TX RX CHIPSET
FIRMWARE
LOC STA 002 00:01:87:09:2A:17 76:CA:CD:1F:07:31 n/a n/a QCA7000
MAC-QCA7000-1.1.3.1531-00-20150204-CS
REM CCO 001 00:01:87:09:05:92 16:E4:AE:66:6C:B7 009 009 QCA7000
MAC-QCA7000-1.1.3.1531-00-20150204-CS

NID B0:F2:E6:95:66:6B:03 SNID 013
STA TEI 002 MAC 00:01:87:09:2A:17 BDA 76:CA:CD:1F:07:31
CCO TEI 001 MAC 00:01:87:09:05:92 BDA 16:E4:AE:66:6C:B7 TX 009 RX 009

P/L NET TEI ----- MAC ----- BDA ----- TX RX CHIPSET
FIRMWARE
LOC STA 002 00:01:87:09:2A:17 76:CA:CD:1F:07:31 n/a n/a QCA7000
MAC-QCA7000-1.1.3.1531-00-20150204-CS
REM CCO 001 00:01:87:09:05:92 16:E4:AE:66:6C:B7 009 009 QCA7000
MAC-QCA7000-1.1.3.1531-00-20150204-CS
NID B0:F2:E6:95:66:6B:03 SNID 013

CCO TEI 001 MAC 00:01:87:09:05:92 BDA 76:CA:CD:1F:07:31
STA TEI 002 MAC 00:01:87:09:2A:17 BDA 76:CA:CD:1F:07:31 TX 009 RX 009
```

Z výstupu lze vyčíst vysílací rychlost (TX), příjmací rychlost (RX), MAC adresy, typ zařízení a firmware.

### 3.1.5 Nástroj plctone

Program plctone je určen k výpisu nosných frekvencí, které využívá OFDM.

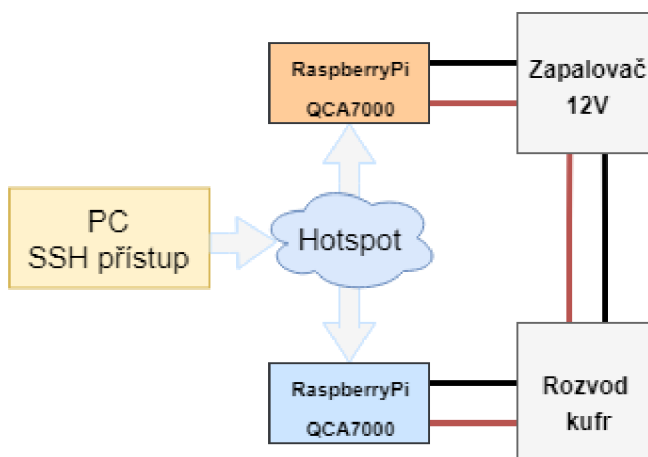
Z hlediska diagnostiky sítě může být zásadní znalost využitých nosných a tím pak daná rychlost komunikace. Nástroj umí vypsat na standardní výstup všech 916 nosných, jejich zastoupení a sílu. Zároveň umí provést diagnostiku linky a spočítat odstup signál-šum (SNR) či útlum. U testovaného modemu se mi nepodařilo získat validní výsledky [20].

## 4 Experimentální výsledky

### 4.1 Experimentální výsledky

Experimentální ověření propustnosti, odezvy a celkové funkcionality bylo ověřeno na testovacím voze Audi A6 3.0 TDI v provedení combi.

K měření byl využit jako první bod konektor zapalovače, který je připojen na 12V rozvod vozidla, druhý bod byl pak vyveden v kufru, kde se nachází testovací řídicí jednotka, která slouží právě k vývojovým účelům.



Obr. 4.1: Rozvržení experimentu

		Vypnutý motor	Zapnutý motor	Zapnutý motor + blinkry	Propojení vodiči
plcrate -l 100	TX [Mbps]	9	9	9	9
	RX [Mbps]	9	9	9	9
ping (100)	min [ms]	5,091	5,110	5,232	4,870
	max [ms]	7,101	7,060	8,590	7,050
	avg [ms]	5,470	5,433	5,519	5,210
iperf [TCP/IP]	data [MB]	22,3	10,5	9,88	10,5
	tok [Mbps]	4,58	4,55	4,38	4,58

Tab. 4.1: Experimentální měření na vozidle

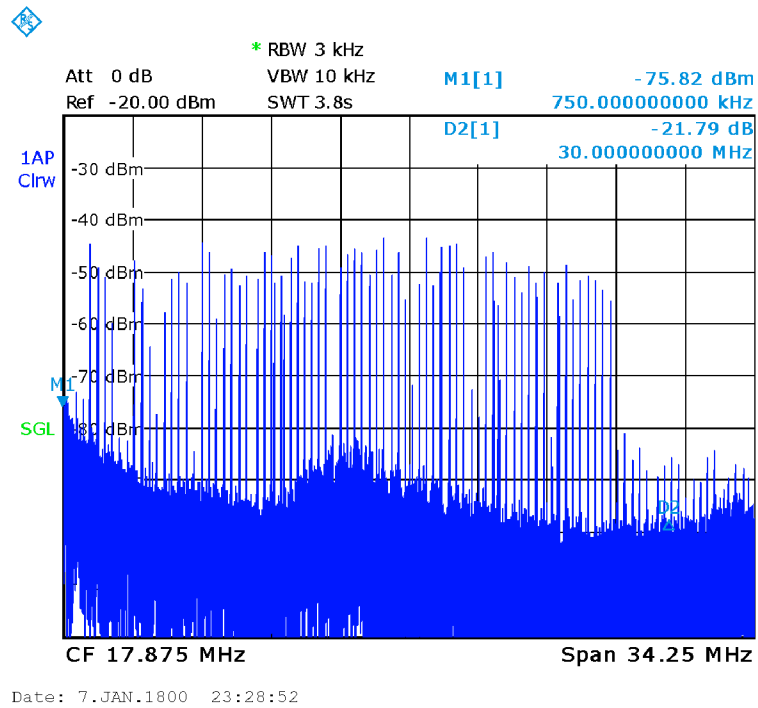
Tabulka naměřených hodnot se skládá celkem ze tří měření. První proběhlo na voze s nenastartovaným motorem, druhé měření pak bylo provedeno již se zapnutým motorem, poslední měření bylo realizováno s nastartovaným motorem, zapnutými předními světlomety a výstražnými blinkry. K přístupu do konzole Raspberry Pi jsem využil vzdáleného přístupu přes SSH, kdy byl můj počítač připojený na hotspot společný pro RaspberryPi.

Rychlosti odezvy na ping byly srovnatelné s čistou linkou, kterou tvořil pár kroucených vodičů.

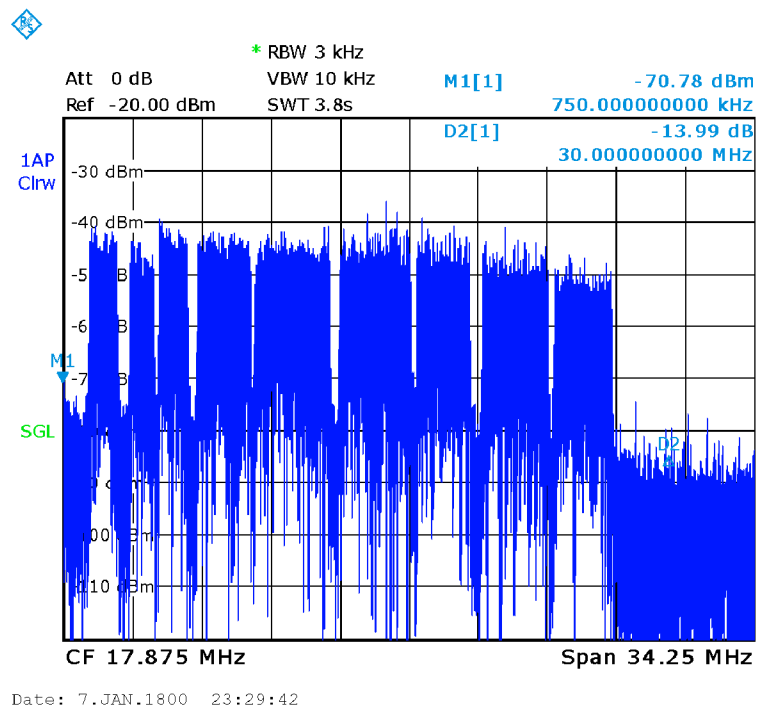
Celkově je znatelný vliv více zapnutých systémů na propustnost systému, nicméně se zde nedá hovořit o zásadním vlivu na komunikaci. Rychlosti na aplikační vrstvě, které jsem změřil pomocí programu **iperf** jsou víceméně poloviční oproti těm na vrstvě fyzické. Důvodem je využití ROBO, čímž se datový tok sice sníží, ale zároveň razantně poklesne chybovost.

Propustností systém překvapil (4,5 Mbps), na aplikační vrstvě jsme očekávali rychlosti do 3 Mbps. Měření bylo kvůli eliminaci jakékoliv chyby v nastavení systému provedeno ještě několikrát (např. s vypnutou Wi-Fi, poté se nedal využít vzdálený přístup) a výsledky byly totožné.

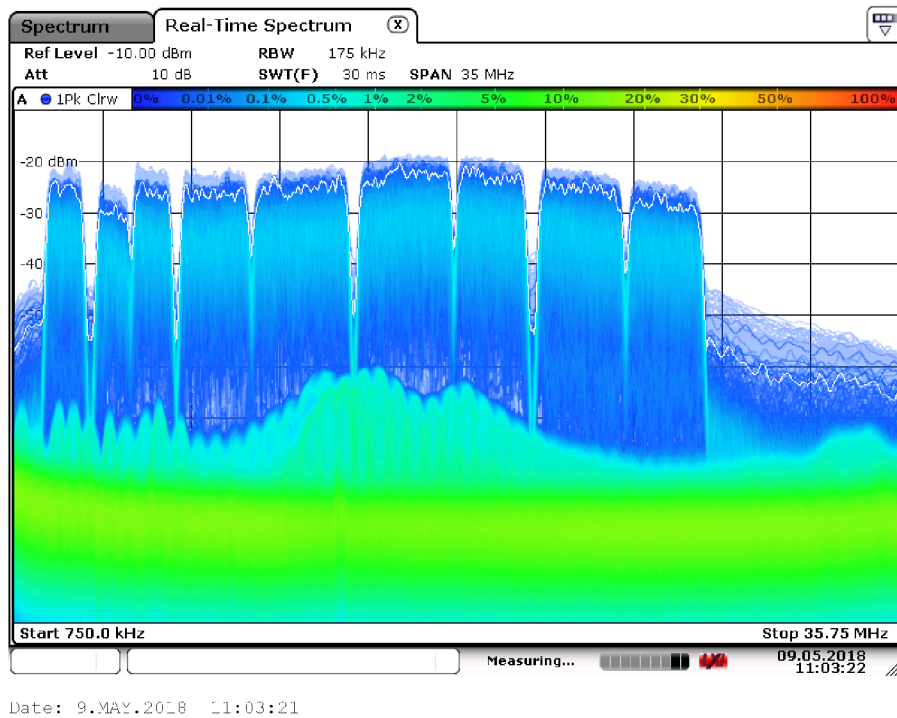
## 4.1.1 Spektrální analýza modemů



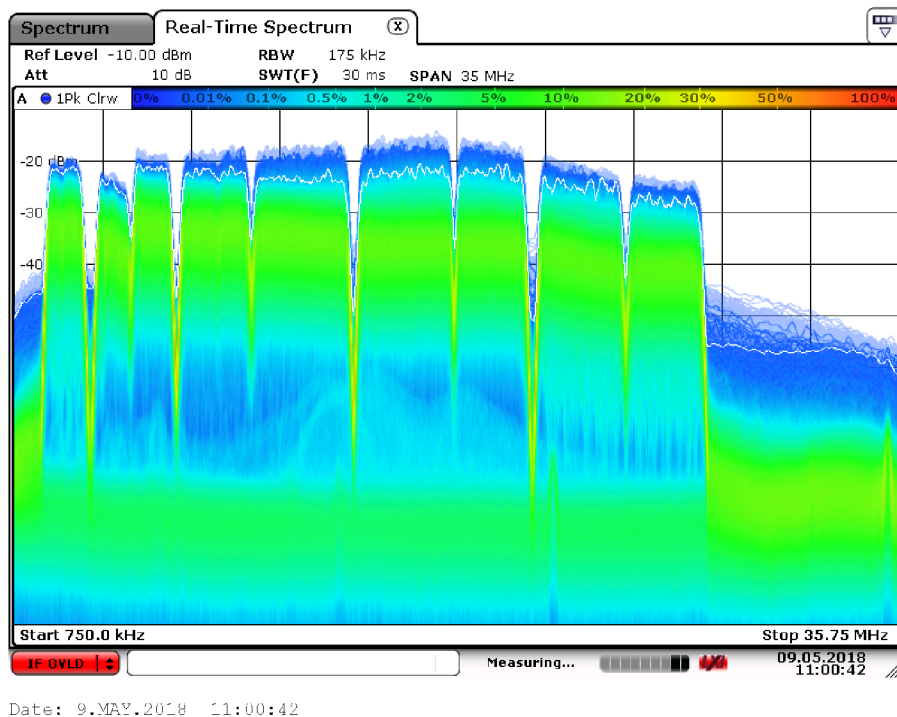
Obr. 4.2: Spektrum signálu - žádný datový tok



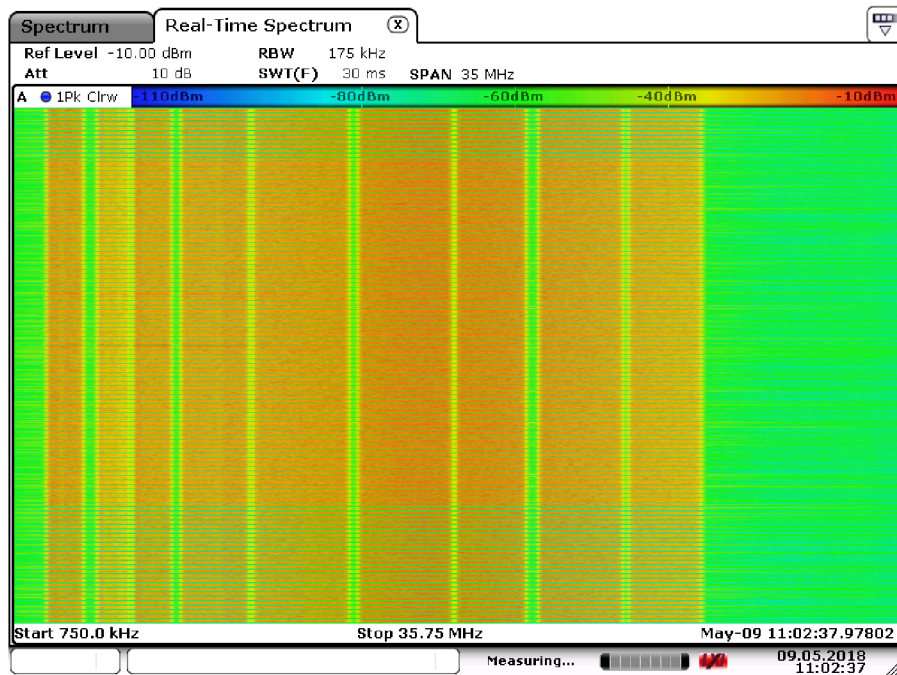
Obr. 4.3: Spektrum signálu - maximální datový tok



Obr. 4.4: Spektrum signálu s pomocí funkce persist - žádný datový tok

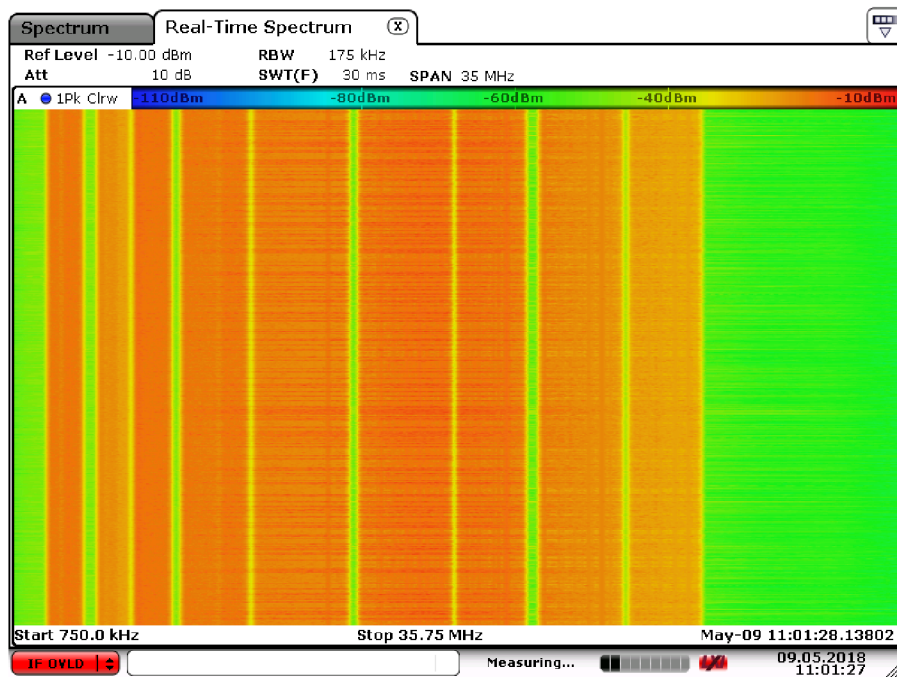


Obr. 4.5: Spektrum signálu s pomocí funkce persist - maximální datový tok



Date: 9.MAY.2018 11:02:37

Obr. 4.6: Spektrum typu waterfall - žádný datový tok



Date: 9.MAY.2018 11:01:28

Obr. 4.7: Spektrum typu waterfall - maximální datový tok

Měření spekter bylo provedeno pomocí spektrálního analyzátoru od výrobce Rhode & Schwarz. Výstupem jsou tedy celkem 3 typy spekter. Obr. 4.2, 4.3 měření v režimu

single, kdy analyzátor jednou navzorkuje spektrum a nedochází tak k překreslování původního spektra. Obr. 4.2 měření bez datového toku, nicméně určitá komunikace mezi modemy stále probíhá, už jen z důvodu zjišťování dalších zařízení v síti a kontroly přístupu.

Obr. 4.3 měření již s plným datovým tokem.

Spektrum na obr. 4.4, 4.5 měřeno pomocí funkce persist, kdy spektrální analyzátor zaznamenává výkon jednotlivých složek signálu a barevnými přechody zobrazuje procentuální rozložení spektrálního výkonu.

Spektra na obr. 4.7, 4.6 jsou měřena za pomoci funkce waterfall. Tato funkce pracuje na principu vynesení jednotlivých složek spektra do řádku a posunutí o časovou jednotku.

Měření proběhla ve dvou případech, tedy pro linku bez datového toku a s maximálním datovým tokem generovaným programem **iperf**.

Z výstupů měření si lze povšimnout volných frekvencí a hlavně zvýšení spektrálního výkonu při plném vytížení linky.

Pro měření byl použit 20dB atenuátor.



## 4.1.2 Implementace CAN protokolu

CAN protokol jsem fyzicky řešil pomocí modulu MCP2515. Dále jsem využil programu **can-utils**, kdy jsem příkazem **cansend can0 <DATA>** poslal CAN příkaz pro světlomet. Pro experiment byl zvolen prototypový světlomet v vlastním CAN protokolem, který slouží k vývojovým účelům.

Na 4.8 jsou rozsvíceny všechny segmenty na 5% výkonu. K přenosu dat mezi modemy jsem využil telnet. Kdy client poslal serveru byte, který byl následně zpracován programem cansend a odeslán po sběrnici do světlometu.

ID: 0x180									
byte	7	6	5	4	3	2	1	0	POS
7	AHB4 L [0x00 - 0xFF]								LEFT
6	AHB3 L [0x00 - 0xFF]								LEFT
5	AHB2 L [0x00 - 0xFF]								LEFT
4	AHB1 L [0x00 - 0xFF]								LEFT
3	AHB4 R [0x00 - 0xFF]								RIGHT
2	AHB3 R [0x00 - 0xFF]								RIGHT
1	AHB2 R [0x00 - 0xFF]								RIGHT
0	AHB1 R [0x00 - 0xFF]								RIGHT

Tab. 4.2: Komunikační protokol světlometu

ID: 0x181									
byte	7	6	5	4	3	2	1	0	POS
7	SB3 L [0x00 - 0xFF]								LEFT
6	SB2 L [0x00 - 0xFF]								LEFT
5	SB1 L [0x00 - 0xFF]								LEFT
4	AHB5 L [0x00 - 0xFF]								LEFT
3	SB3 R [0x00 - 0xFF]								RIGHT
2	SB2 R [0x00 - 0xFF]								RIGHT
1	SB1 R [0x00 - 0xFF]								RIGHT
0	AHB5 R [0x00 - 0xFF]								RIGHT

Tab. 4.3: Komunikační protokol světlometu

- AHB - Adaptive Head Beam
- SB - Static Beam



Obr. 4.8: Zapnutý světlomet



Obr. 4.9: Prototypový světlomet "matrix", model Ford Mondeo

## 5 Závěr

**Yamar SIG60** Použití modemu SIG60 se nesetkalo s úspěchem. Byť byl komunikační protokol jednoduchý, tak absence propracované dokumentace a příklady použití vedly k upuštění od tohoto řešení.

Modem je vhodný pro přenos nižších datových toků, než kterými se tato práce zabývá. Navíc jeho koncepce jakožto úzkopásmového komunikačního kanálu je velmi nepraktická jak pro point to point komunikaci, tak pro multipoint komunikaci. Rovněž absence pevných MAC adres by vedla k velkým problémům se vzájemným rušením.

**QCA7000** Modemy byly z důvodu časové tísně navrženy s ohledem na splnění základních požadavků, a to zejména s ohledem na dostupnost jumperů a celkovou velikost.

Osazení proběhlo ve firmě Varroc za pomoci zkušenějšího kolegy, který má bohaté zkušenosti s reflow technikou (byla potřeba k zapájení modemu). Prototypy fungovaly na první zapojení a během testování jsem neodhalil žádný problém, kvůli kterému bych musel návrh měnit.

Z hlediska další použitelnosti a aplikace řešení, bude třeba DPS zmenšit a využít jiné pouzdro modemu.

Vývoj jako takový musel probíhat v poměrně rychlém tempu, proto byl využit jednodeskový počítač Raspberry Pi, pro který byl již hotový software k obsluze čipu po SPI sběrnici.

Příčinou časové tísně byly administrativní potíže, které pozdržely doručení modemů o celé dva měsíce. Implementace pomocí jednodeskového počítače s linuxem byla velmi pohodlná, nicméně jsem byl odkázán na cizí kód a architekturu, která oplývá velkou mírou abstrakce. Chování modemu tak nebylo vždy plně pod kontrolou. Zároveň jsem u této platformy narazil na zásadní problém ohledně tzv. *device tree*, kdy byt výrobce sliboval podporu ze strany kernelu i pro nejnovější verzi systému raspbian, tak po vzájemné komunikaci přiznal, že z nejnovější verze systému byla podpora odstraněna.

Použití CAN sběrnice bylo u tohoto jednodeskového počítače poměrně nešťastné a pro příště bych se mu rád vyvaroval. Nakonec se sběrnici povedlo zprovoznit, ovšem z mého vlastního pohledu jsem s její funkcionalitou na této platformě nebyl vůbec spokojený. Baudrate nesouhlasil s nastavenými hodnotami, systém neodpovídal v nedefinovaných intervalech, případně se přerušilo SSH spojení, čemuž předcházelo samovolné vypnutí Wi-Fi.

Co se týče měření propustnosti, tak bylo docíleno hodnot které předčily naše očekávání.

Dosažené rychlosti komunikace se pohybovaly kolem hodnoty 4,3 Mbps a příliš nezávisely na aktivaci dalších subsystémů v testovacím vozidle.

Během vývoje jsem usoudil, že dalším směrem, kterým chci práci posunout je vlastní implementace na procesor.

Velkou výhodou, kterou nabízí vlastní implementace je možnost mít vývoj plně pod kontrolou a zabezpečit tak spolehlivé chování systému, jaké se od zařízení pro automotive průmysl vyžaduje.

Výrobce uvolnil obsáhlou dokumentaci včetně komunikačních protokolů, což je pro další postup zásadní vývojový materiál.

V komunikaci po napájecím vedení vidím velký potenciál. Pokud se podaří implementovat systém na vlastní platformu a nevyvstanou problémy s elektromagnetickou kompatibilitou jednotlivých subsystémů, tak věřím, že půjde docílit razantního snížení datových vodičů a docílí se tím velké úspory prostoru ve vozidlech.

## Literatura

- [1] I2SE GmbH. *PLC Stamp mini 2 Datasheet*, October 26, 2017. rev. 5.
- [2] I2SE GmbH. *PLC Stamp 1200 micro Datasheet*, January 15, 2017. rev. 10.
- [3] Qualcomm Atheros, Ocala FL USA. *QCA7000 HomePlug Green PHY Single Chip Solution*, October, 2012. MKG-15723 Ver. 11.0.
- [4] Yamar. *SIG60 - UART over Powerline, for AC/DC Multiplex Network*, May. DS-SIG60 R103.
- [5] HomePlug Powerline Alliance, Inc. *Home Plug Green PHY The Standard For In-Home Smart Grid Powerline Communications*, June 14, 2010. version 1.00.
- [6] Dave Hermann Ajinder Singh. Truck-trailer redundant powerline can communication. Technical report, Texas Instruments.
- [7] Ofer Amrani Yair Maryanka. Dc power-line communication reference design. Technical report, Yamar Electronics Ltd., October 2014.
- [8] Pedro Silva, Luis Almeida, Daniele Caprini, Tullio Facchinetti, Francesco Benzi, and Thomas Nolte. Experiments on timing aspects of dc-powerline communications. *2009 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, 2009. doi:10.1109/etfa.2009.5347222.
- [9] Hdo – smart grid fungující již půl století, Apr 2015. URL: <http://oenergetice.cz/elektrina/hdo-smart-grid-fungujici-jiz-pul-stoleti/>.
- [10] Devolo AG. *dLAN Green PHY Module*, 2012. rev. 1.9.
- [11] Texas Instruments Inc. *TPS62152-Q1 Automotive Wide Input, Fixed 3-V Output Voltage, 1-A Step-Down Converter*, July. slcsc52b.
- [12] I2SE GmbH. *PLC Stamp micro Evaluation Kit Datasheet*, December 11, 2015. rev. 3.
- [13] C. Bouguet, N. Ginot, and C. Batard. A can network architecture for gate drivers dedicated to wide band gap components. pages 565–570, Feb 2018. doi:10.1109/ICIT.2018.8352239.
- [14] Karel Polak. Sběrnice can. URL: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/03021/index.html>.

- [15] A. A. Salunkhe, P. P. Kamble, and R. Jadhav. Design and implementation of can bus protocol for monitoring vehicle parameters. pages 301–304, May 2016. doi:10.1109/RTEICT.2016.7807831.
- [16] D. Kraus, E. Leitgeb, T. Plank, and M. Löschnigg. Replacement of the controller area network (can) protocol for future automotive bus system solutions by substitution via optical networks. pages 1–8, July 2016. doi:10.1109/ICTON.2016.7550335.
- [17] Steve Corrigan. Introduction to the controller area network (can). Technical report, Texas Instruments, August 2002.
- [18] Christina Vlachou, Albert Banchs, Julien Herzen, and Patrick Thiran. Analyzing and boosting the performance of power-line communication networks. pages 1–12, 12 2014.
- [19] Michael Heimpold. An6 using raspberry pi with homeplug green phy tm power-line evaluation kit. Technical report, I2SE GmbH, January 13 2017.
- [20] Qualcomm Atheros, Ocala FL USA. *Qualcomm Atheros Open Powerline Toolkit*, 2012. rev. 1.9.
- [21] Tomáš Sutory. LIN (local interconnect network), Mar 2004. URL: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/04012/index.html>.
- [22] Zdeněk Macháček and Pavel Nevřiva. *Modulované signály*. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, 1 edition, 2012.
- [23] Patrik Stránský. *Digitální bezdrátová komunikační jednotka pro přenos audio-signálu*. 2015.
- [24] Jan Spáčil. *Komunikační systémy s digitálními modulacemi*. 2008.
- [25] Josef Žižka. *Digitální modulátor pro vícecestavové modulace*. 2012.
- [26] Christian Aurich Stefan Wahren. How to customize the qca7000 via open-plc-utils. Technical report, I2SE GmbH, August 19 2013.

## Seznam symbolů, veličin a zkratk

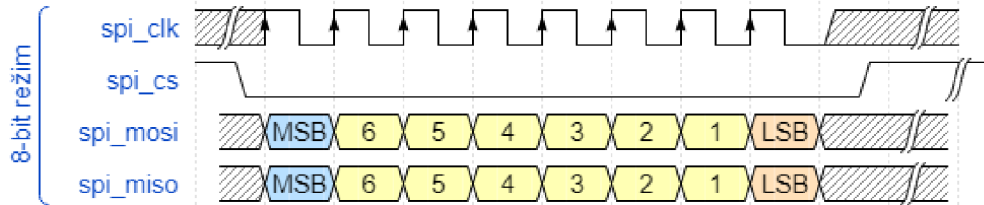
<b>PLC</b>	Power Line Communication Komunikace po napájecím vedení
<b>OFDM</b>	Orthogonal Frequency Division Multiplexing Ortogonální multiplex s frekvenčním dělením
<b>BPSK</b>	Binary Phase Shift Keying Binární fázové klíčování
<b>QAM</b>	Quadrature Amplitude Modulation Kvadrurní amplitudová modulace
<b>ROBO</b>	<b>R</b> obust <b>M</b> odulation Robustní modulace
<b>CAN</b>	Controlled Area Network Sběrnice rozšířená zejména v automotive aplikacích
<b>DC</b>	Direct Current Stejnoseměrný proud
<b>LIN</b>	Local Interconnect Network Sběrnice navržená pro automotive průmysl
<b>SPI</b>	Serial Peripheral Interface Sériová sběrnice, skládající se z vodičů MISO, MOSI, SCLK, CS
<b>UART</b>	Universal Asynchronous Receiver Transmitter Sériová asynchronní sběrnice, hodně využívaná v mikroprocesorové technice
<b>RMI</b>	Reduced Media Independent Interface Sběrnice pro vysokorychlostní přenos dat
<b>AC</b>	Alternating Current Střídavý proud
<b>CRC</b>	Cyclic Redundancy Check Kontrolní součet, technologie pro kontrolu správnosti přenosu dat
<b>HAN</b>	Home Area Network Domácí síť
<b>SoC</b>	System On Chip
<b>RX</b>	Receiver - Příjmač
<b>TX</b>	Transmitter - Vysílač
<b>DPS</b>	Deska Plošného Spoje

# Seznam příloh

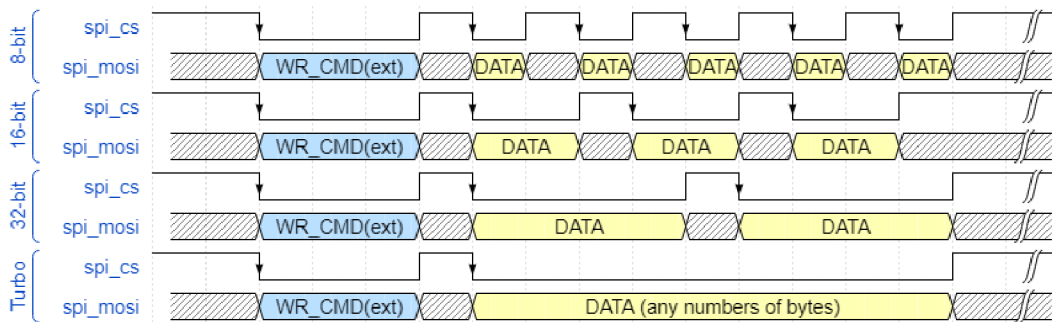
A Komunikační protokol	48
B Desky plošného spoje	50



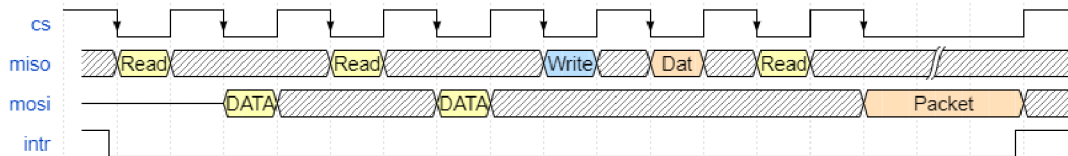
# A Komunikační protokol



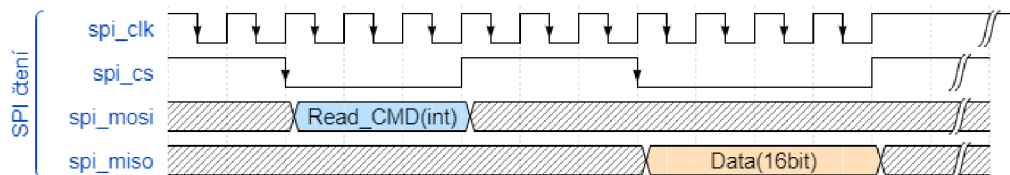
Obr. A.1: Struktura zápisu dat přes SPI sběrnici



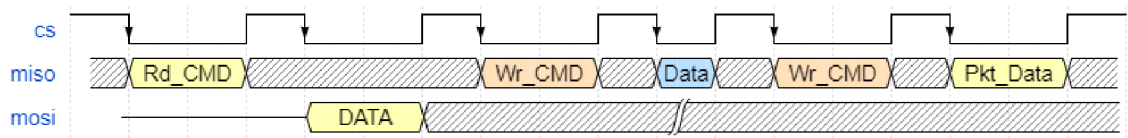
Obr. A.2: Režimy přenosu dat



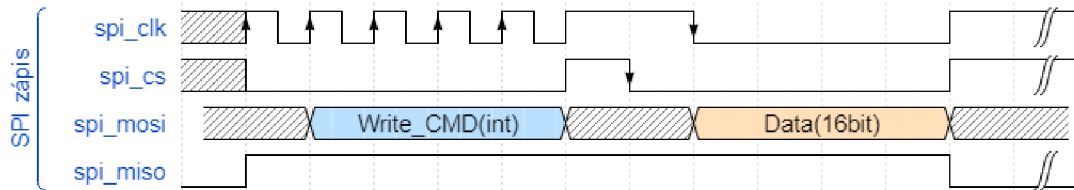
Obr. A.3: Struktura příkazu čtení ze zásobníku přes SPI sběrnici



Obr. A.4: Struktura SPI příkazu pro čtení dat ze zásobníku

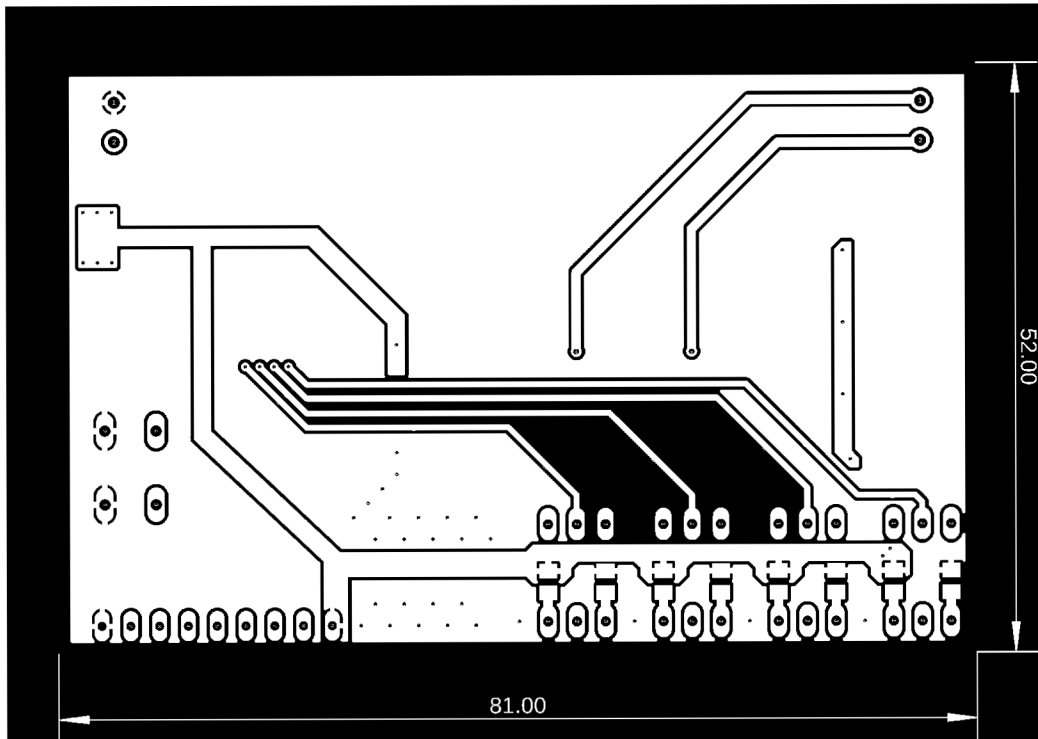


Obr. A.5: Struktura SPI příkazu pro zápis dat

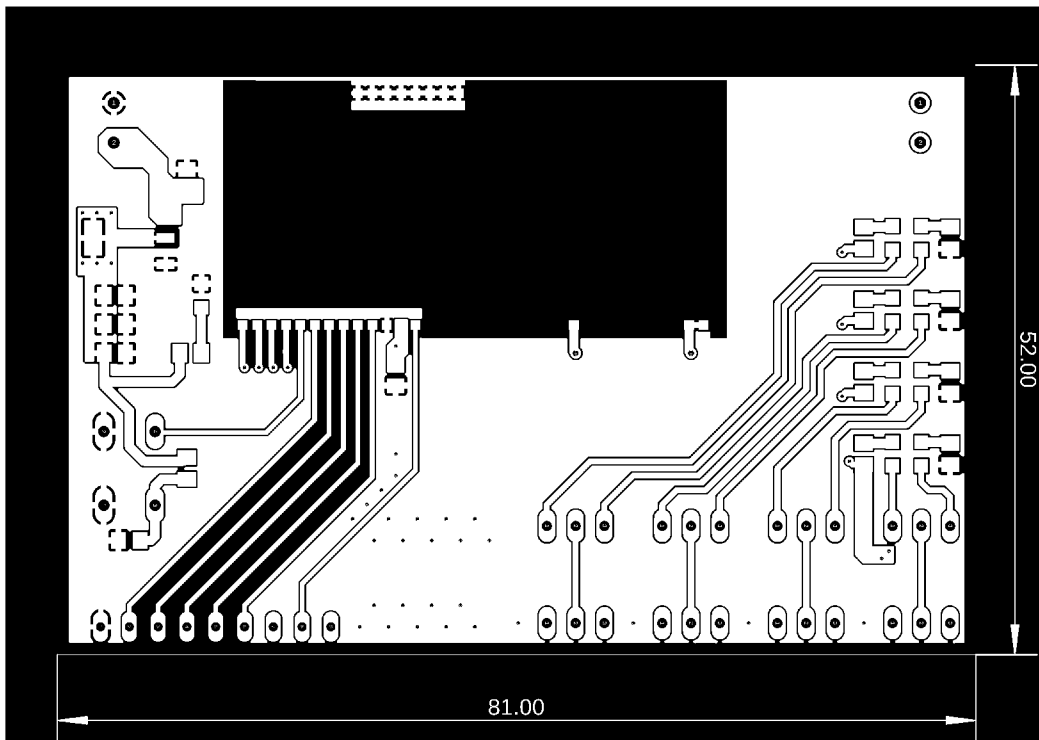


Obr. A.6: Struktura SPI příkazu pro zápis dat

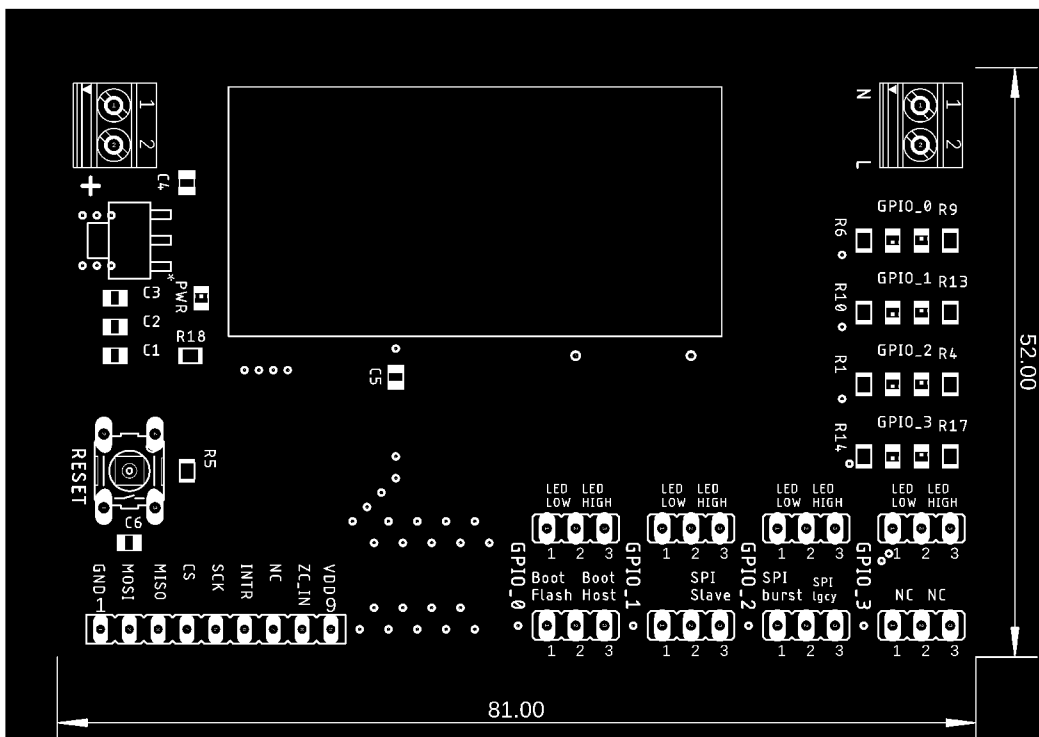
## B Desky plošného spoje



Obr. B.1: Spodní strana mědi testovací DPS pro modem QCA7000



Obr. B.2: Vrchní strana mědi testovací DPS pro modem QCA7000



Obr. B.3: Osazovací plán testovací DPS pro modem QCA7000