

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

UNIVERZÁLNÍ KOMUNIKAČNÍ JEDNOTKA

UNIVERSAL COMMUNICATION UNIT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Ružička

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ján Sláčík

BRNO 2018

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Teleinformatika**

Ústav telekomunikací

Student: Michal Ružička

ID: 186174

Ročník: 3

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Univerzální komunikační jednotka

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Realizujte univerzální komunikační zařízení, které kombinuje několik komunikačních rozhraní. Univerzální komunikační jednotka bude sloužit pro část přístupové sítě a bude uvažovat dva typy komunikace: PLC (Power Line Communication) a radiový kanál. Primární komunikaci uvažujte po napájecí síti 230VAC a radiový kanál uvažujte jako záložní (redundantní). Zařízení má umožnit výběr koncových rozhraní.

Cílem bakalářské práce je tedy navrhnout a oživit dvojici vytvořených zařízení, která implementují technologie PLC a RF 868MHz i volitelná koncová rozhraní (Ethernet, RS485, UART, USB). Vytvořte také potřebný software pro ověření funkčnosti.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Power line communications: theory and applications for narrowband and broadband over power lines. 1st ed. Editor Hendrik Ferreira. Chichester: John Wiley, 2010, 507 s. ISBN 978-047-0740-309

[2] VRBA, K.; HANÁK, P. Vybrané problémy konstrukce elektronických přístrojů pro integrovanou výuku VUT a VŠB- TUO. Technická 12, 616 00 Brno: Vysoké učení technické v Brně, FEKT, UTKO, 2014. s. 1-110. ISBN: 978-80-214-5071- 4.

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 29.5.2018

Vedoucí práce: Ing. Ján Sláčík

Konzultant:

prof. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
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

Táto bakalárska práca sa venuje komunikácií po napájacej sieti. Jej úlohou je priblížiť túto problematiku a využiť získané znalosti pre návrh vlastnej komunikačnej jednotky. V práci sú popísané základné parametre napájacej siete, ktoré majú vplyv na tento typ komunikácie. Je vytvorený koncept univerzálnej komunikačnej jednotky. Pre tento koncept sú zvolené obvodové riešenia z ktorých sa bude výsledné zariadenie skladať. Na jeho základe je vytvorená vlastná komunikačná jednotka, ktorej funkčnosť je v práci testovaná.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

PLC, komunikácia, napájacia sieť, CENELEC, úzkopásmový, modem, bezdrôtový

ABSTRACT

This bachelor thesis is going to deal with communication over the power network. Aim of this project is to clarify this issue and consequently to use the acquired knowledge for designing own communication unit. The basic parameters of power network which influence this type of communication are being described in this thesis. The concept of universal communication unit is created. Peripheral solutions are chosen for this concept and the given device will be made of them. The custom communication unit is created on this basis. The functionality of this unit is tested in the work.

KEYWORDS

PLC, communication, power supply network, CENELEC, narrowband, modem, wireless

RUŽIČKA, Michal. *Univerzální komunikační jednotka*. Brno, 2017, 67 s. Bakalárska práca. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Vedúci práce: Ing. Ján Sláčík

VYHLÁSENIE

Vyhlasujem, že som svoju bakalársku prácu na tému „Univerzální komunikační jednotka“ vypracoval(a) samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce, využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor(ka) uvedenej bakalárskej práce ďalej vyhlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil(a) autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol(-la) nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý(-á) následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona Českej republiky č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákoníka Českej republiky č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval vedúcemu bakalárskej práce pánovi Ing. Jánovi Sláčikovi za odborné vedenie, poskytnuté konzultácie, nesmiernu trpezlivosť a podnetné návrhy k práci.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

POĎAKOVANIE

Výzkum popsaný v tejto bakalárskej práci bol realizovaný v laboratóriách podporených projektom SIX; registračné číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operačný program Výzkum a vývoj pro inovace.

Brno

.....
podpis autora(-ky)

OBSAH

Úvod	11
1 Teoretický úvod	12
1.1 Komunikácia po silnoprúdom vedení	12
1.1.1 Impedancia	12
1.1.2 Rušenie	12
1.1.3 Útlm	12
1.2 Pásmo	13
1.2.1 Úzkopásmové modemy - Narrowband	13
1.2.2 Širokopásmové - Broadband	14
1.2.3 CENELEC	14
1.3 Modulácia dát	14
1.4 Prehľad dostupných PLC čipov	17
1.4.1 Narrowband	17
1.4.2 Broadband	18
2 Návrh jednotky	20
2.1 Blokové zapojenie	20
2.1.1 Mikrokontrolér	21
2.1.2 Prístupové rozhrania	21
2.1.3 Koncové rozhrania	22
2.1.4 Konfiguračné rozhranie	22
2.2 Výber použitých prvkov	24
2.2.1 Riadiaca jednotka	24
2.2.2 PLC modem	24
2.2.3 Vývojové kity	24
2.2.4 Rádiový kanál	26
2.2.5 RS-232	26
2.2.6 USB	27
2.2.7 Bluetooth	27
2.2.8 Ethernet	27
3 Schémy zapojenia	29
3.1 Napájací zdroj	29
3.1.1 Zdroj pre digitál	29
3.1.2 Zdroj pre AFE	30
3.2 Hlavný kontrolér	31

3.2.1	Tlačidlá	31
3.3	PLC	32
3.3.1	Vysielací filter	32
3.3.2	Väzobný člen	33
3.4	Rádiové rozhranie	33
3.5	UART prepínač	34
3.6	RS-232	34
3.7	USB	34
3.8	Bluetooth	35
3.9	Ethernet	35
4	Návrh plošného spoju	36
4.1	Konštrukčná trieda	36
4.2	Kritické oblasti	36
4.3	Výsledný návrh	36
4.4	Rozloženie	37
5	Firmware	38
5.1	Základ zdrojového kódu	38
5.2	Komunikácia s PLC	39
5.3	Práca s UART	40
5.4	Výber aktívneho prístupového rozhrania	40
5.5	Ovládanie UART prepínaču	41
5.6	Ošetrenie zákmitu tlačidla	41
6	Výroba a overenie funkčnosti	43
6.1	Test a meranie	44
6.2	Koncové rozhrania	44
6.3	Prístupové rozhrania	45
7	Záver	47
	Literatúra	48
	Zoznam symbolov, veličín a skratiek	50
	Zoznam príloh	51
A	Schémy zapojenia	52
B	Doska plošných spojov	58

ZOZNAM OBRÁZKOV

1.1	Závislosť útlmu rôznych vedení na frekvencií [2]	13
1.2	Vizuálne znázornenie ASK	16
1.3	Vizuálne znázornenie FSK	16
1.4	Vizuálne znázornenie PSK	16
2.1	Bloková schéma komunikačnej jednotky.	20
2.2	Zisťovanie dostupnosti PLC	22
2.3	Vývojový kit pre kontrolér STMF401RE	25
2.4	Shield PLM01A1	25
2.5	Bloková schéma rádio-frekvenčného modulu [19]	26
2.6	Bloková schéma USB/UART prevodníku [21]	27
2.7	Modul STMicroelectronics SPBT3.0DP2	28
2.8	Modul WIZnet107SR	28
3.1	Ochrana a odrušenie napájacieho napätia	29
3.2	Schematické zapojenie regulovateľného zdroju	30
3.3	Schematické zapojenie tlačidla s ochranou a LED	32
3.4	Amplitúdovo-frekvenčná charakteristika vysielacieho filtru	32
3.5	Zapojenie filtrov a väzobného členu	33
3.6	Zapojenie modulu bezdrôtového rozhrania	34
4.1	Rozloženie funkčných častí na doske plošného spoju	37
6.1	Fotografia osadenej jednotky	43
6.2	Terminálové okno v PC	44
6.3	Aplikácia terminálu v mobile	45
6.4	Meranie útlmu väzobného členu v závislosti na frekvencií	45
6.5	Zobrazenie spektra komunikačnej frekvencie	46
A.1	Schématické zapojenie 1/6	52
A.2	Schématické zapojenie 2/6	53
A.3	Schématické zapojenie 3/6	54
A.4	Schématické zapojenie 4/6	55
A.5	Schématické zapojenie 5/6	56
A.6	Schématické zapojenie 6/6	57
B.1	Spoje strana Top	58
B.2	Spoje strana Bottom	59
B.3	Rozloženie súčiastok strana Top	60
B.4	Rozloženie súčiastok strana Bottom	61

ZOZNAM TABULIEK

1.1	Rozdelenie pásiem podľa CENELEC	15
1.2	Prehľad Narrowband čipov	18
B.1	Zoznam súčiastok 1/6	62
B.2	Zoznam súčiastok 2/6	63
B.3	Zoznam súčiastok 3/6	64
B.4	Zoznam súčiastok 4/6	65
B.5	Zoznam súčiastok 5/6	66
B.6	Zoznam súčiastok 6/6	67

ÚVOD

Počiatky komunikácie po napájacej sieti (PLC) siahajú až do polovice 20. storočia. Jedná sa o dátový prenos využívajúci ako prenosové médium napájacie vedenie. Jeho hlavná výhoda spočíva vo využití napájacej siete bez potreby realizácie ďalšej dátovej siete. Je preto jednoduchá na inštaláciu.

Používa sa v poslednej dobe ako alternatíva domácich LAN sietí. To je umožnené zdokonalením technológie vysokorýchlostného prenosu prebiehajúceho na frekvenciách rádovo desiatky MHz a rozdeleného do stoviek dátových tokov. Nazývané sú ako BroadBand (BB) modemy. Prenosová rýchlosť dosahuje rýchlostí až niekoľko Gbps. Nevýhoda je však veľmi krátka vzdialenosť, na ktorú sú tieto modemy schopné komunikovať (desiatky metrov).

Ďalšia možnosť uplatnenia je použitie v automatizácii a vzdialenom meraní spotreby energií. Tu je potrebná vysoká spoľahlivosť prenosu. Je totiž veľmi často realizovaný na vzdialenosti niekoľko kilometrov. S výhodami sa tu uplatňujú tzv. Narrowband (NB) modemy, ktoré komunikujú v spektre do 500 kHz. Nedosahujú však také prenosové rýchlosti ako BB modemy predstavené vyššie. Pri tomto druhu použitia to však nie je potrebné brať ako nevýhodu, keďže sú prenášané malé množstvá dát.

Vytvárané zariadenie bude mať za úlohu sprostredkovanie komunikácie pomocou sériovej linky koncovým rozhraniam. Bude na sebe niesť viacero rozhraní, ktorými je možné koncové zariadenie pripojiť ku jednotke.

V kapitole 1 sa práca venuje problematike prenosu dát po napájacom vedení. Popísané je rušenie tohto signálu pochádzajúce od spotrebičov pripojených k sieti, modulácia signálu, ale aj samotná charakteristika napájacej siete. Ďalej sú zhrnuté prenosové pásma CENELEC pre použitie NB modemov.

Ďalšie kapitoly pojednávajú o návrhu zariadenia umožňujúceho prepojenie koncových staníc. Toto zariadenie bude následne vytvorené a otestované na skúšobnom zapojení. To bude slúžiť ako predloha pre vytvorenie vlastnej komunikačnej jednotky.

1 TEORETICKÝ ÚVOD

1.1 Komunikácia po silnoprúdom vedení

Napájacia sieť je elektrický rozvod určený k dodávke elektrickej energie spotrebičom. V Európe sú elektrické rozvody trojfázové a jednofázové. Majú striedavý charakter s frekvenciou 50 Hz. Pre napájanie nízkonapäťových zariadení sa však používa jedna fáza. Túto sieť je možné využiť ako prenosové médium pre systémy nazývané PLC (Power Line Communication). Z toho vyplýva, že nie je pre ich fungovanie potrebné budovať ďalšiu sieťovú infraštruktúru, ako v prípade Ethernetu, telefónnych liniek a iných.

Signál z PLC modemov je do napájacej siete injektovaný pomocou väzobných členov. Používané sú kapacitné a induktívne injektory. Stanice pomocou frekvenčného filtru oddeľujú nosný signál od frekvencie napájacieho napätia a ostatných rušení. Komunikácia v tejto topológii predstavuje zbernicu a prebieha vždy len jedným smerom (Half-duplex). Je preto treba riešiť metódy prístupu ku zdieľanému médiu.

1.1.1 Impedancia

Napájacia sieť nie je stavaná na prenos vysokofrekvenčných signálov. Prvým jej nedostatkom je rôzna impedancia. Toto neprispôsobenie vedenia záťaži má za následok odraz signálu. Závisí na pripojených spotrebičoch, dĺžke vedenia a odbočkách. Pohybuje sa v rozmedzí niekoľko $m\Omega$ až $k\Omega$. [1]

1.1.2 Rušenie

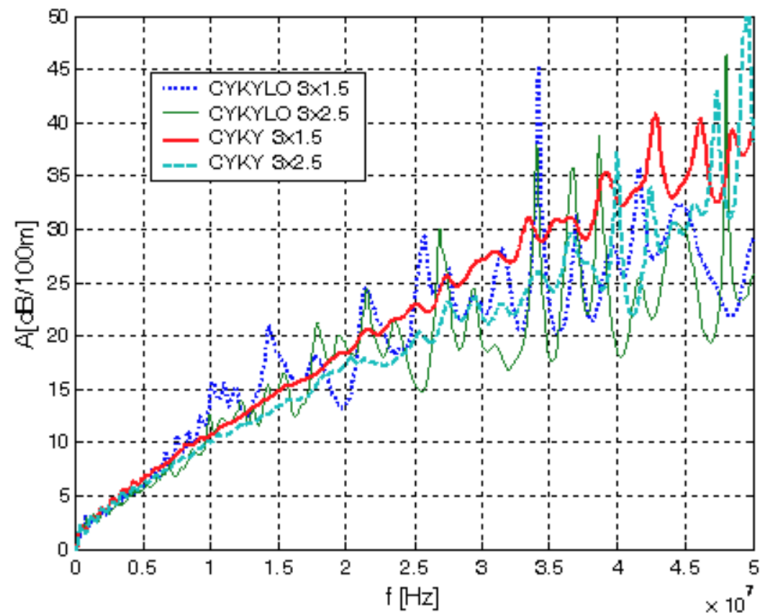
Nemenej podstatným problémom prenosu je aj rušenie objavujúce sa na vedení. Do siete sa dostáva z najrôznejších zdrojov. Existuje niekoľko typov rušenia. Úzkopásmové rušenie pochádzajúce napríklad od spínaných zdrojov a žiaroviek. Frekvencia sa pohybuje medzi 50 kHz až po 200 kHz. Môže spôsobiť úplnú stratu signálu v prípade blízkosti nosnej frekvencie.

Motory, tyristorové regulátory a ďalšie podobné zariadenia generujú impulzné rušenie. Trvanie týchto impulzov je zhruba 10-100us. Jeho vplyvom dochádza ku strate jedného alebo viac bitov v pri prenose. [1]

1.1.3 Útlm

Vzdialenosť, na ktorú vieme uskutočniť dátový prenos nám limituje útlm. Napájacia sieť je stavaná na prenos o frekvencií 50 Hz. Pre vyššie frekvencie nie je tak vhodná

ako na to určené kabeláže (krútený pár, koaxiál a iné). Podľa reálnych meraní je možné na obrázku 1.1 vidieť priebeh útlmu v závislosti na frekvencií. Pre frekvencie do 500 kHz je útlm nižší ako 5 dB/100m. So zvyšujúcou sa frekvenciou signálu narastá aj útlm. [2]



Obr. 1.1: Závislosť útlmu rôznych vedení na frekvencií [2]

1.2 Pásma

PLC modemy sú delené podľa šírky frekvenčného pásma, v ktorom sú schopné komunikovať. Sú nimi širokopásmové a úzkopásmové modemy. Existujú aj modemy pracujúce vo veľmi úzkom pásme (ultra narrowband) s nosnou frekvenciou len niekoľko kHz. Ich výhoda je, že takto nízke frekvencie nie sú blokované transformátormi. Ale ich prenosová rýchlosť je maximálne pár desiatok až stoviek b/s.

1.2.1 Úzkopásmové modemy - Narrowband

Modemy v tomto pásme komunikujú v rádoch desiatok až stoviek kHz. Ich horná hranica je daná približne rozhlasovým AM (amplitúdová modulácia) vysielaním. V Európe to je maximálne cca 150 kHz. USA určuje maximálnu hranicu vysielanie na dlhých vlnách - LW (long wave). Približne do 450 kHz. [3]

Low Data Rate (LDR)

Prevažná časť úzkopásmových modemov nedosahuje vysoké prenosové rýchlosti. Maximálne jednotky až desiatky kb/s. Je to dané využívaním jednej nosnej frekvencie. Využíva sa v automatizácií, pre dodávateľov elektrickej energie na prenos dát z inteligentných elektromerov a iné aplikácie. Ich prednosťou je však spoľahlivý prenos aj vo výraznejšie zrušenom prostredí.

High Data Rate (HDR)

Modemy využívajú OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Ide o komunikáciu na viacerých nosných frekvenciách. Ich prenosové rýchlosti dosahujú desiatky až stovky kb/s. Používajú niektorý zo štandardov PRIME, G3-PLC, G.hnem.

1.2.2 Širokopásmové - Broadband

Širokopásmová modulácia využíva na prenos frekvencie od 1 MHz až po 30 MHz. Prenosová rýchlosť týchto systémov je v rádoch desiatok až stoviek Mb/s. K tomu prispieva použitie OFDM s až stovkami nosných frekvencií. Využíva aj pokročilejšie techniky kľúčovania dovoľujúce kľučovať v jednom symbole viac bitov. Napríklad xPSK (fázové kľúčovanie), xQAM (kvadraterná amplitúdová modulácia).

Tento štandard je využívaný prevažne v domácnostiach a malých kanceláriách. Je ním nahradzovaná klasická LAN kabeláž a dovoľuje vytvoriť mosty medzi rôznymi sieťami a podsieťami, prípadne priame prepojenie zariadení. Pre zjednotenie protokolov existujú aj pre BB štandardy ako HomePlug AV a HomePlug Green PHY.

1.2.3 CENELEC

Prenos PLC prebieha po zdieľanom médiu podobne ako mobilná komunikácia, rozhlasové vysielanie a iné. Je potrebné regulovať a normou zjednotiť jeho parametre. Pre NB to definuje norma ČSN EN 50065. Frekvenčné pásmo rozdeľuje do 5 skupín. Zobrazené je v tabuľke 1.1. [3] [4]

1.3 Modulácia dát

Prenos v PLC je realizovaný, ako u väčšiny dátových systémov, v tzv. preloženom pásme. Bitové stavy sú modulované na nosný analógový signál zmenou niektorej z jeho charakteristík (amplitúda, frekvencia, fáza). Prípade kombináciou charakteristík. Tento analógový nosný signál má výrazne vyššiu frekvenciu, ako je frekvencia základného pásma signálu. [5]

Tab. 1.1: Rozdelenie pásiem podľa CENELEC

Pásmo	Frekvenčný rozsah	Poznámka
-	3 až 9 kHz	Len pre dodávateľov el. energie
A	9 až 95 kHz	Pre dodávateľov el. energie a po ich súhlase aj pre odberateľov
B	95 až 125 kHz	Len pre odberateľov el. energie
C	125 až 140 kHz	Len pre odberateľov el. energie - vyžaduje protokol o prístupe
D	140 až 148,5 kHz	-

Amplitúdové klúčovanie - ASK

Najjednoduchší spôsob klúčovania pravouhlého signálu reprezentujúceho dátový tok je využiť ASK. Toto klúčovanie mení amplitúdu signálu. Amplitúdové klúčovanie spočíva vo vynásobení logickej hodnoty a nosného signálu. Jeho výhodou je jednoduchá realizácia modulátoru aj demodulátoru. Je však náchylnejší voči aditívnemu šumu. Priebeh signálov tejto metódy je možné si prezrieť v grafe na obrázku 1.2.

Frekvenčné klúčovanie - FSK

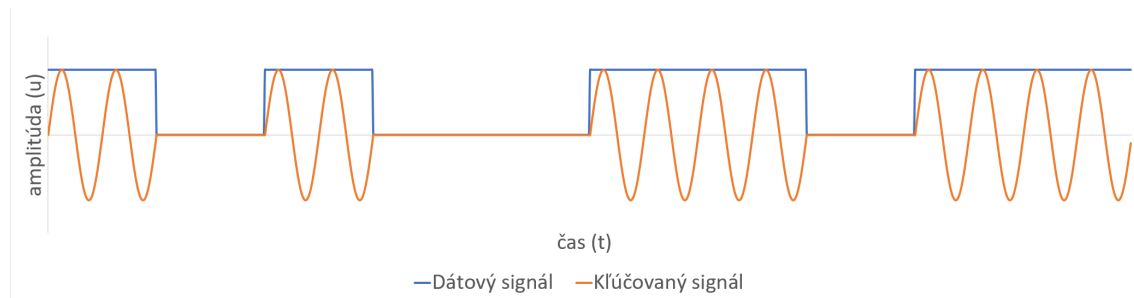
Existujú dve možnosti ako realizovať frekvenčné klúčovanie. Prvá spočíva v prepínaní dvoch generátorov s rôznou frekvenciou. V tomto prípade dochádza ku skokovej zmene fázy signálu. Výhodnejšie je použiť generátor s napäťovým riadením frekvencie. To má výhodu, že fáza sa nemení skokovo, ale ostáva spojitá. Narozdiel od ASK pri demodulácii signálu nemá vplyv zmena amplitúdy na výsledný získaný dátový tok. Je preto odolnejší a v praxi veľmi často používaný spôsob klúčovania. Priebeh signálov tejto metódy je možné si prezrieť v grafe na obrázku 1.3.

Fázové klúčovanie - PSK

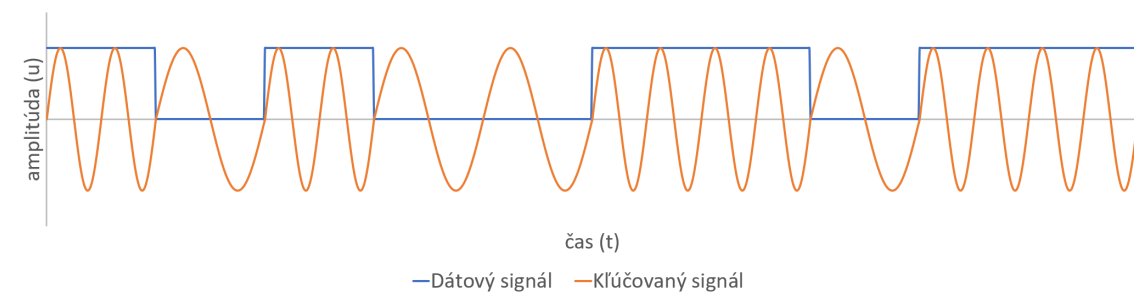
Toto klúčovanie využíva na prenos informácie zmenu fázy nosného signálu. Znázorňovaný je najčastejšie pomocou konštalačného diagramu. Je to znázornenie signálu v komplexnej rovine. Potom jednotlivé fázové posuny sú vyjadrené uhlom na kružnici tohto diagramu s počiatkom v priesečníku jeho osí. Napríklad pre dvoj stavové klúčovanie je možný zápis týchto hodnôt tak, že ležia na reálnej osi. To znamená, že ich vzájomný posun je 180° .

Existujú však dva spôsoby demodulácie. Prvým je demodulátor porovnávajúci prijímaný signál s referenčným signálom. Vtedy ide o koherentný demodulátor. Je náročnejší na konštrukciu. Používannejším je diferenčný demodulátor (DPSK). Nerozoznáva absolútny fázový posun, ale len jeho zmenu oproti predchádzajúcemu stavu.

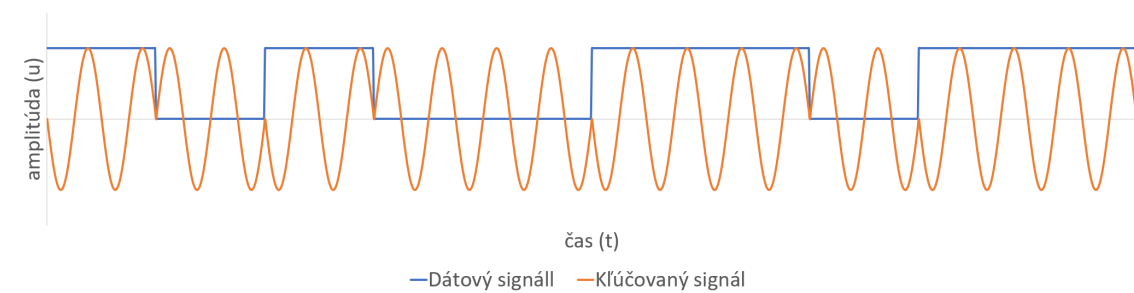
Jeho diferenciu. Je výrazne jednoduchší. Nevýhodou však je jeho vyššia náchylnosť ku chybám. Priebeh signálov tejto metódy je možné si prezrieť v grafe na obrázku 1.4.



Obr. 1.2: Vizuálne znázornenie ASK



Obr. 1.3: Vizuálne znázornenie FSK



Obr. 1.4: Vizuálne znázornenie PSK

1.4 Prehľad dostupných PLC čipov

V nasledujúcej kapitole je prehľad riešení modemov od rôznych výrobcov. Popísané sú modemy ako pre úzkopásmovú komunikáciu, tak aj pre širokopásmovú.

1.4.1 Narrowband

STMicroelectronics ST7580

Modem od spoločnosti ST integrujúci v sebe AFE (analogový front-end). Nie je viazaný na žiaden komunikačný protokol. S maximálnou rýchlosťou komunikácie pri modulácii xPSK 28,8 kb/s. [7]

- Detekcia chýb
- Modulácie: BFSK, BPSK, QPSK, 8PSK
- Integrovaný AFE
- Hardwarová podpora šifrovania AES 128

STMicroelectronics ST7590

Jedná sa o čip od spoločnosti ST využívajúci úzkopásmový OFDM. Spája v sebe dva samostatné procesory pre PHY vrstvu a pre PRIME protokol. [8]

- Prenosová rýchlosť až 128 kb/s
- 96 nosných v pásme CENELEC A
- Modulácie: BDPSK, QDPSK, 8DPSK
- Integrovaný AFE
- Hardwarová podpora šifrovania AES 128

Texas Instruments TMS320F28PLC84

Úzkopásmový čip od známej firmy TI. Podporuje protokoly PRIME, G3-PLC, ako aj ITU G.9903 a 4. Je optimalizovaný pre spojenie s externým AFE AFE031. Ten podporuje štandardy CENELEC A, B, C a D. [10]

- Frekvencia v CENELEC 35-90 kHz
- OFDM
- 2x UART, 2x SPI, 2x I²C

Maxim Integrated MAX2992

PLC modem od tejto spoločnosti poskytuje polo-duplexný prenos pri maximálnej rýchlosti 300 kb/s. Jeho prenosová frekvencia je 10-490 kHz. Podporuje navyše detekciu chýb FEC. [11]

- OFDM, DBPSK, DQPSK, D8PSK
- Externý AFE MAX2991
- Podporovaný protokol G3-PLC
- 2x UART a SPI
- FEC a CRC16
- Šifrovanie AES 128

Yitran IT700

Čip výrobcu Yitran disponuje svojou vlastnou metódou kľúčovania DCKS (Differential Code Shift Keying). Využíva externý AFE. Podporuje extrémne odolný mód (ERM) umožňujúci komunikáciu aj v silne rušenom prostredí. Ten v sebe spája viacero metód na jeho dosiahnutie. [12]

- Rýchlosť 2,5 kb/s alebo 0,625 kb/s v ERM
- Modulácia DCSK
- Pásmo 9-95 kHz pre CENELEC A
- Pásmo 95-125 kHz pre CENELEC B

Zhrnutie a porovnanie parametrov popísaných modemov je možné si prehliadnúť v nasledujúcej tabuľke č. 1.2

Tab. 1.2: Prehľad Narrowband čipov

	ST7580	ST7590	TMS320F28	MAX2992	IT700
Rýchlosť	28,8 kb/s	128 kb/s	neudáva sa	300 kb/s	2,5 kb/s
Frekvencia	až 250 kHz	až 95 kHz	35-90 kHz	10-490 kHz	9-125 kHz
Modulácia	BPSK BPSK 8PSK	BDPSK QDPSK 8DPSK	FSK S-FSK	BDPSK QDPSK 8DPSK	DCSK
Int. AFE	áno	áno	nie	nie	nie
Cena/1ks	10,09	10,73	10,74	20,36	21,64

1.4.2 Broadband

STMicroelectronics ST2100

Širokopásmový čip od spoločnosti ST disponuje mnohými rozhraniami, ktoré je možné uplatniť naprieč celým spektrom multimedialných služieb. Integruje v sebe AFE ako aj nadradený mikrokontrolér ARM926EJ-S pracujúci na 333MHz. [13]

- HomePlug AV, HomePlug 1.0, HomePlug Green PHY
- Integrovaný AFE
- Rýchlosť až 200 MBd
- Ethernet 10/100 (MII), USB 2.0, PCI Express, S-ATA
- LCD kontrolér (1024x768px)
- I²S, I²C, 40x GPIO, 2x UART, JTAG

Maxim Integrated MAX2982

Zástupcom širokopásmových modemov je aj čip od firmy Maxim Integrated. Spája v sebe MAC a PHY kontrolér. Pre jeho funkčnosť je ku nemu potrebné pripojiť externý analógový front-end MAX2981. Využíva OFDM s 84 nosnými s automatickou adaptáciou kanálov v rozmedzí 4,49-20,7 MHz. [14]

- HomePlug 1.0
- Externý AFE
- Modulácie DQPSK a DBPSK
- Rýchlosť až 14 Mb/s
- Ethernet 10/100 (MII), USB 1.1
- 24x GPIO, UART

Broadcom BCM60321

Spoločnosť Broadcom je známa svojimi chipsetmi pre rôzne komunikačné zariadenia. Broadcom je jedným zo sponzorov a členov HomePlug Powerline Alliance. Ponúka preto aj riešenie pre PLC. Podporuje HomePlug AV1.1. Tento čip je určený pre vytvorenie mostov medzi LAN sieťami. Obsahuje totiž jediné rozhranie, ktorým je Ethernet. [15]

- HomePlug AV 1.1
- Integrovaný AFE
- Modulácie OFDM 1024/256/64/16/8 QAM, QPSK, BPSK
- Rýchlosť až 200 Mb/s
- Ethernet 10/100

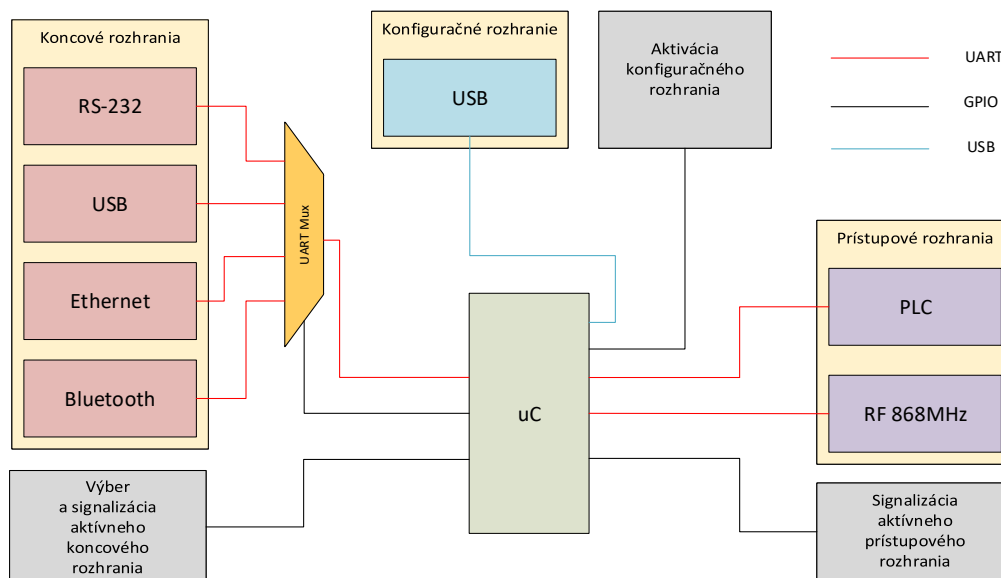
2 NÁVRH JEDNOTKY

Kapitola popisuje kroky komunikačného zariadenia, ktoré v sebe spája dva rôzne prístupové kanály, ktorými sú PLC a rádiový. Sú navzájom nezávislé a komunikujú po rôznych médiách. Primárnym rozhraním je PLC. Sekundárnym komunikačným kanálom je rádiové rozhranie. Takto je zabezpečená redundancia spojenia. V prípade straty komunikácie sa využije záložný rádiový kanál. Strata spojenia PLC môže nastať v dôsledku zvýšenia rušenia v silnoprúdovom vedení. Použitie výhradne rádiového rozhrania tiež nie je vždy možné, pretože pásmo 868 MHz je rôznymi diaľkovými ovládaniami a inými zariadeniami rušené.

Ku komunikačnej jednotke je možné koncové zariadenie pripojiť viacerými rozhraniami, ktoré umožňujú komunikáciu prostredníctvom sériovej linky. Pri návrhu boli uvažované rozhrania: RS-232, USB, Ethernet a bezdrôtové pripojenie zabezpečuje Bluetooth.

Zariadenie je možné použiť na vytvorenie spoľahlivej komunikácie dvoch vzdialených staníc. Napríklad spojenie počítača v kancelárii so zariadením vo výrobnéj hale. Tu sa v dôsledku používania ťažkých strojov objavujú spomínané rušenia opísané v kapitole 1.1.2. Vtedy je možné využiť bezdrôtové spojenie jednotiek.

2.1 Blokové zapojenie



Obr. 2.1: Bloková schéma komunikačnej jednotky.

2.1.1 Mikrokontrolér

Ústredným prvkom v konštrukcii komunikačnej jednotky je mikrokontrolér. V blokovej schéme na obr. 2.1 označený ako „ μC “. Spája a riadi všetky ostatné moduly a prvky v našom návrhu. Bloková schéma pozostáva z ďalších troch logických celkov, ktorými sú prístupová časť, koncová časť a konfiguračná časť. Žltá podfarbené skupiny sú jednotlivé bloky rozhraní. Pri nich sa nachádzajú šedé bloky zabezpečujúce ich výber, aktiváciu a signalizáciu.

Hlavnou úlohou mikrokontroléru je preposielať užívateľské dáta zo zvoleného koncového rozhrania na rozhrania prístupové. Týmto prístupovými rozhraniami nadväzovať a udržiavať spojenie s druhou komunikačnou jednotkou. V nasledujúcich častiach sú bližšie popísané jednotlivé časti návrhu.

2.1.2 Prístupové rozhrania

Moduly prístupových rozhraní zabezpečujú komunikáciu medzi dvoma jednotkami. Ak je možné nadviazať spojenie jednotiek po silnoprúdom vedení, tak ich komunikácia prebieha po ňom. V prípade, že nie je možné uskutočniť spojenie pomocou tohto rozhrania, tak sa prechádza na záložné rádiové spojenie. O tom, ktoré z rozhraní je aktívne informujú dve LED.

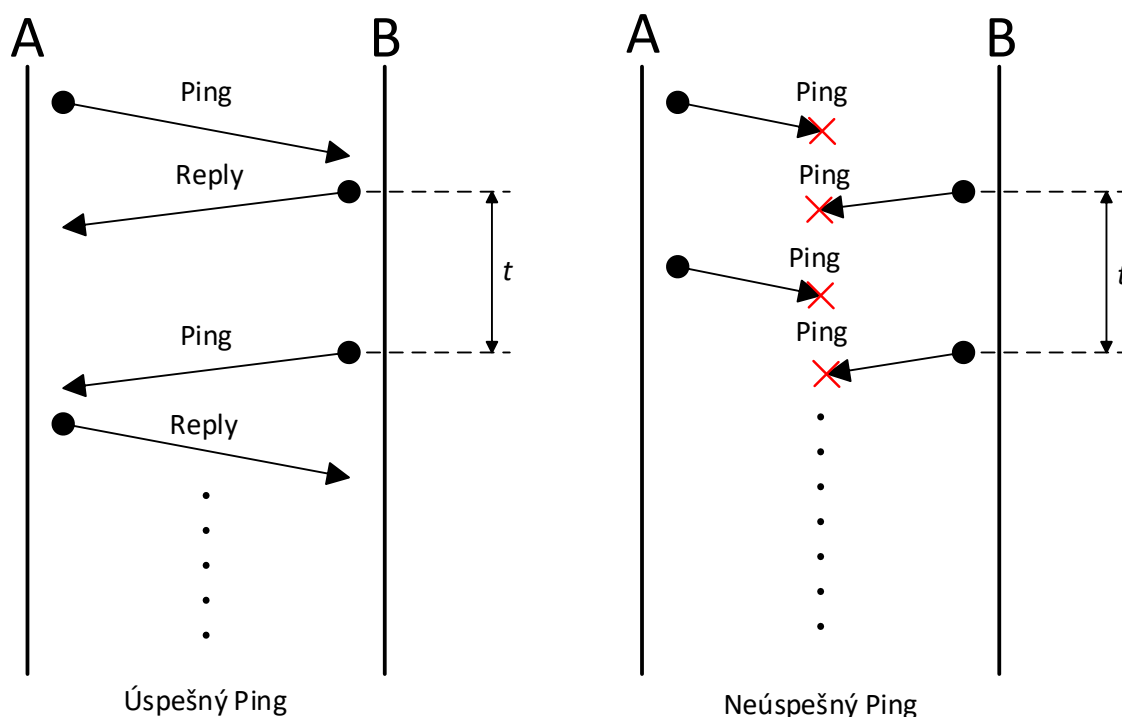
Dozorný algoritmus bude monitorovať úspešnosť komunikácie uskutočnenej prostredníctvom PLC. Podľa toho sa bude rozhodovať, ktorým rozhraním budú posielané užívateľské dáta. Jeho možná logika je nasledovná. Pracuje v dvoch režimoch. Prvým je prípad, kedy sú prenášané dáta užívateľom. Vtedy algoritmus indikuje úspešnosť prípadne neúspešnosť komunikácie týmto rozhraním. Podľa výsledku zostáva na tomto rozhraní, alebo prechádza na záložné.

Na druhý režim sa prechádza v prípade, že z koncového rozhrania nie sú prijímané žiadne dáta, alebo prebieha komunikácia rádiovým kanálom. Vtedy bude naďalej monitorovať PLC kanál. Monitoring bude uskutočnený vysielaním ping paketov.

- **Spojenie neúspešné-** každá jednotka v náhodne zvolenom čase vyšle prvý ping. Čakajú na odpoveď a odosielanie opakujú v pravidelných intervaloch. Ak sa spojenie obnoví, tak sa prechádza na prípad komunikácie popísaný nižšie. Po uskutočnení určitého počtu úspešných ping dotazov sa volí opäť PLC ako aktívne rozhranie.
- **Spojenie úspešné-** ak je spojenie funkčné, ale ustala užívateľská komunikácia, tak na oboch jednotkách sa spustí časovač s náhodným intervalom a po jeho vypršaní posiela prvý ping. Ak medzitým jednotka dostane ping od druhej jednotky, tak odosiela odpoveď. Po vyslaní odpovede jednotka čaká

a posiela svoj ping. Takto sa medzi sebou striedajú. Algoritmus ponecháva PLC ako aktívne rozhranie.

Vizuálne znázornenie je na obrázku 2.2.



Obr. 2.2: Zisťovanie dostupnosti PLC

2.1.3 Koncové rozhrania

Pomocou koncových rozhraní sa užívateľ bude môcť pripojiť ku komunikačnej jednotke. Na výber bude mať jednu zo štyroch možností. Rozhranie ktoré je aktívne sa vyberá pomocou tlačidla s ktorým sa cyklicky prepína medzi nimi. Informáciu o práve aktívnom rozhraní poskytuje informačná LED.

Pre úsporu prostriedkov kontroléru je použitý na ich pripojenie UART Universal asynchronous receiver-transmitter) multiplexer. Pomocou neho sa volí práve jedno aktívne koncové rozhranie. Prepojí ho s kontrolérom a je umožnený prenos medzi nimi. Ku multiplexeru je potrebné priviesť dve GPIO General-purpose input/output) rozhrania v režime výstupu na riadenie výberu aktívneho rozhrania.

2.1.4 Konfiguračné rozhranie

Nastavenie jednotky zabezpečuje realizované konfiguračné USB rozhranie. Je preň použitá interná periféria mikrokontroléru. K tomuto rozhraniu prislúcha aktivačné

tlačidlo, ktoré prepne jednotku do konfiguračného režimu. Toto riešenie je použité pre zefektívnenie práce jednotky v prenosovom režime. Mikrokontroléru odpadá nutnosť pracovať a zťažovať sa riadením USB. Sleduje iba aktivitu na vstupnom GPIO pripojenom na tlačidlo.

Po aktivovaní konfiguračného režimu sa USB rozhranie po pripojení do počítača správa ako virtuálny COM port (VCP). Vtedy bude užívateľovi prostredníctvom sériovej linky umožnené nastavenie jednotlivých rozhraní. Napríklad ich adresy, modulácie, prenosové rýchlosti atď. Celú túto konfiguráciu sprostredkováva kontrolér v konfiguračnom dialógu.

Dialóg bude začínať vypísaním úvodnej správy v terminálovom okne, ktorú pošle jednotka. Ďalej jednotka ponúkne možné oblasti konfigurácie a užívateľa navádza pri samotnej konfigurácii. Jednotlivé rozhrania sa konfigurujú rozdielne, napríklad pomocou AT príkazov, alebo špecifickým tvarom rámcov. Takto bude umožnené zjednotenie konfigurácie na jeden spôsob pre všetky rozhrania. Takýto proces bol zvolený aj pre jeho užívateľskú jednoduchosť. Užívateľ preto nepotrebuje poznať žiadne konkrétne príkazy. Kontrolér sám zadáva získané hodnoty do kontrolérov rozhraní.

2.2 Výber použitých prvkov

Základným krokom pred samotným návrhom komunikačnej jednotky je výber komponentov, ktoré bude obsahovať. Pri tom je potrebné brať v úvahu ich kompatibilitu. Pre overenie návrhu našej jednotky slúžia vývojové kity, na ktorých je možné si vyskúšať zapojenie našej koncepcie.

2.2.1 Riadiaca jednotka

Hlavným prvkom, ktorý zastrešuje ostatné prvky a periférie je mikrokontrolér. Jeho úloha spočíva vo vykonávaní implementovaného programového riešenia, ktoré má za úlohu obsluhovať jednotlivé periférne rozhrania a spravovať komunikáciu.

Kontrolér zvolený pre naše riešenie je STM32F401RE. Jedná sa o mikrokontrolér založený na jadre ARM Cortex M4 s 32-bit architektúrou. Jeho maximálna frekvencia môže byť až 84 MHz. Operačné napätie je možné zvoliť z rozsahu 1,7-3,6 V.

Podstatným parametrom pri výbere tohto mikrokontroléru bolo aby disponoval dostatočným množstvom UART rozhraní. Nimi komunikuje s ostatnými modulmi. Prenášajú sa prostredníctvom nich nielen užívateľské dáta ale aj konfiguračné príkazy pre ne.

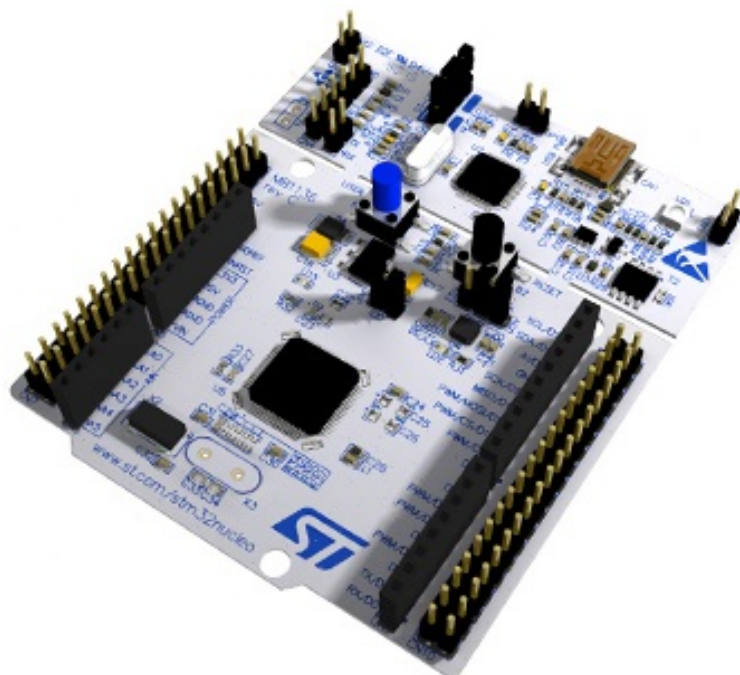
2.2.2 PLC modem

V našom návrhu komunikačnej jednotky bol zvolený na základe porovnania v kapitole 1.4 PLC modem od spoločnosti ST. Konkrétne sa jedná o ST7580. Je to plne integrované zariadenie spájajúce v sebe protokolový kontrolér, kontrolér pre fyzickú vrstvu a analógový front-end. Dosahuje maximálnu rýchlosť 28,8 kb/s. Táto rýchlosť je pre účel nášho zariadenia plne dostačujúca.

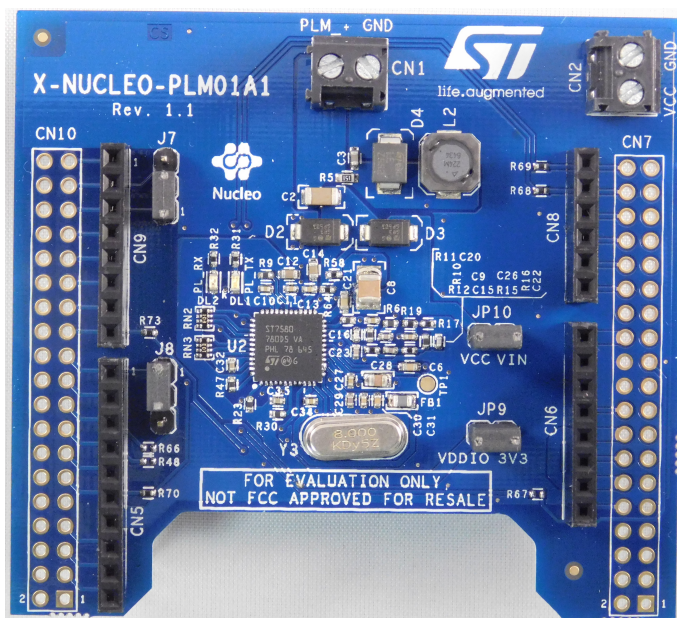
2.2.3 Vývojové kity

Veľkou výhodou oboch vybraných prvkov je, že existujú vo forme vývojových kitov. Základná doska na sebe nesie mikrokontrolér. Tá obsahuje potrebné súčiastky. Okrem iného aj jedno tlačidlo a jednu LED. Tie je možné využiť pri návrhu projektov. Všetky ostatné piny vyhradené pre vstup a výstup logických stavov sú vyvedené do konektorových lišt. Do nich sú vyvedené aj všetky ostatné piny ako sú analógové vstupy, výstupy a všetky rozhrania. Navyše doska na sebe nesie aj tlačidlo určené pre reset procesoru. Fotografiu tohto kitu je možné si prehliadnúť na obrázku č. 2.3. [16]

Velkou výhodou této dosky je, že v sebe přímo obsahuje programátor pro kontrolér. Na připojení s počítačem využívá USB. Prostřednictvím něho je možné do kontroléru nahrát nami vytvořený firmware.



Obr. 2.3: Vývojový kit pro kontrolér STM401RE



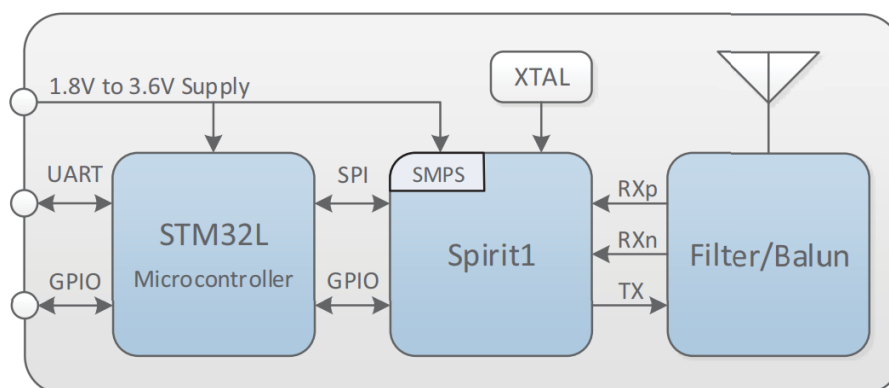
Obr. 2.4: Shield PLM01A1

Pre dosku s mikrokontrolérom existuje rozširujúca doska (shield) s modemom pre PLC. Názov tohto shieldu je PLM01A1. Na ňom sa nachádza predovšetkým samotný modem ST7580 a potrebné obvody pre jeho spoľahlivé fungovanie. Piny určené pre komunikáciu s nadradeným procesorom sú vyvedené do konektorových líšt. Táto doska je zobrazená na fotografii obr. 2.4.

2.2.4 Rádiový kanál

Tento modul, SP1ML od firmy STMicroelectronics, rádio-frekvenčného rozhrania je schopný pracovať v dvoch pásmach. Tými sú 868 MHz a 915 MHz podľa verzie. V našej jednotke bude použitá verzia pracujúca na 868 MHz. Toto frekvenčné pásmo je vyčlenené ako voľné pre Európu. Prednosťou tohto modulu je jeho jednoduchosť a minimálne rozmery. Obsahuje v sebe mikrokontrolér STM32L1, vysielateľ SPIRIT1, integrovaný filter, balun a anténu. Blokovú schému je možné si prehliadnuť na obrázku č. 2.5. [19]

- Modulácie: 2-FSK, GFSK, GMSK, OOK, ASK
- Rýchlosť 500 kb/s
- Konfigurácia pomocou AT príkazov



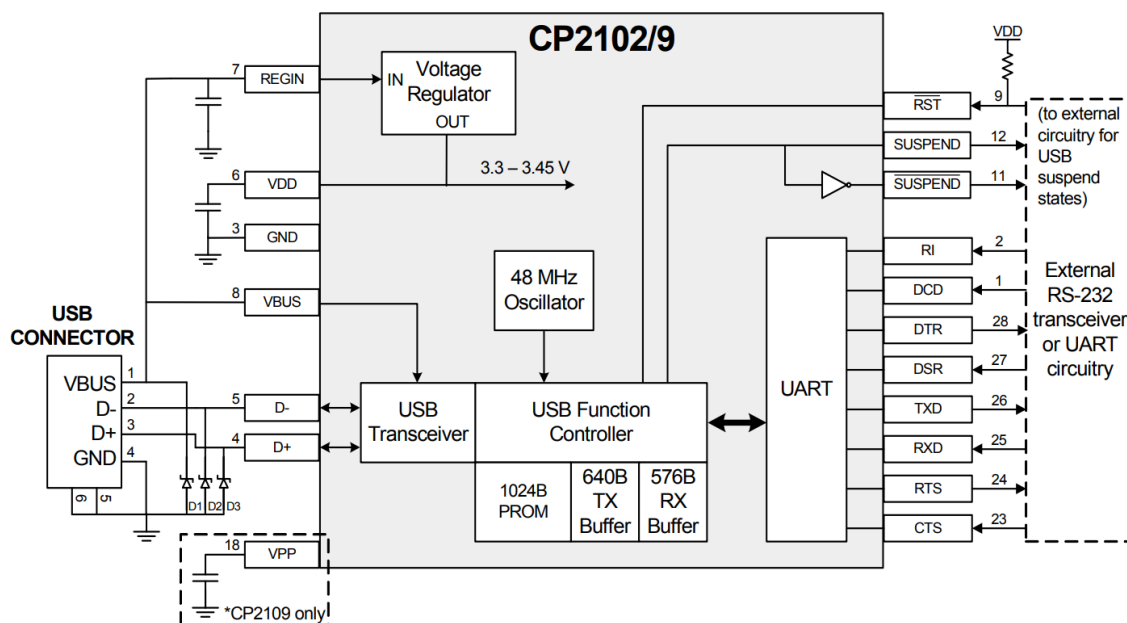
Obr. 2.5: Bloková schéma rádio-frekvenčného modulu [19]

2.2.5 RS-232

Pre prevod medzi rozhraním RS-232 a UART bude využitý driver od firmy Texas Instruments MAX232. Ten zabezpečuje prevod úrovni medzi TTL logikou a RS-232 konektorom. Poskytuje možnosť prepojiť až dva konektory. V našom prípade bude využitá len jeho jedna časť. Vstupné piny nevyužitých hradiel budú uzemnené. [20]

2.2.6 USB

V návrhu bude pre vytvorenie USB rozhrania použitý prevodník od firmy SILICON LABS, CP2102/9. Ide o plne integrovaný čip vyžadujúci minimum súčiastok poskytujúci USB-UART premostenie. V počítači sa toto rozhranie objaví ako virtuálny COM port. Jeho konfigurácia spočíva v nastavení COM portu v operačnom systéme pripojeného počítača. Poskytuje rýchlosť 300 b/s až 1 Mb/s. Bloková schéma čipu a schém potrebných periférnych súčiastok je zobrazená na obrázku 2.6. [21]



Obr. 2.6: Bloková schéma USB/UART prevodníku [21]

2.2.7 Bluetooth

Posledným rozhraním, ktorého činnosť bude zabezpečovať kompletný modul je Bluetooth. Dosahuje prenosovú rýchlosť až 1500 kB/s. Je schopný komunikovať v dvoch profiloch: SPP (sériová linka) a HID (human interface device-zamerané na minimálnu latenciu). Konfigurácia prebieha obdobne ako pri RF module pomocou AT príkazov. Na priloženom obrázku číslo 2.7 je možné vidieť fotografiu tohto modulu. [22]

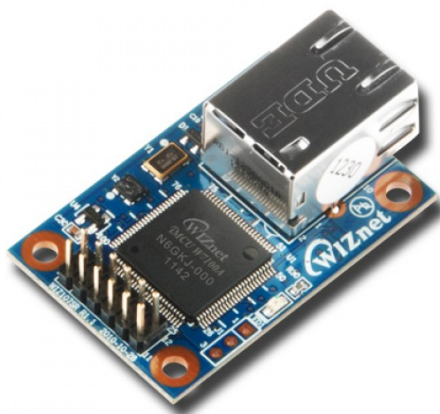
2.2.8 Ethernet

Pre rozhranie zabezpečujúce IP sieťové pripojenie bol zvolený modul od spoločnosti WIZnet. Konkrétny model je WIZ107SR-TTL postavený na integrovanom obvode



Obr. 2.7: Modul STMicroelectronics SPBT3.0DP2

W7100A. Ide o UART/Ethernet bránu. Obsahuje len najzákladnejšie súčasti a zachováva si malé rozmery. Maximálna rýchlosť pre sériové rozhranie je 230 kb/s a Ethernet vo verzií 10/100 Mbps. Podporuje ako statickú, tak aj dynamickú IP adresu priradenú od DHCP serveru. Jeho konfigurácia prebieha cez Ethernet pomocou utility s grafickým rozhraním. Alebo cez UART pomocou daných príkazov. Fotografia tohto modulu je na obrázku 2.8. [23]



Obr. 2.8: Modul WIZnet107SR

3 SCHÉMY ZAPOJENIA

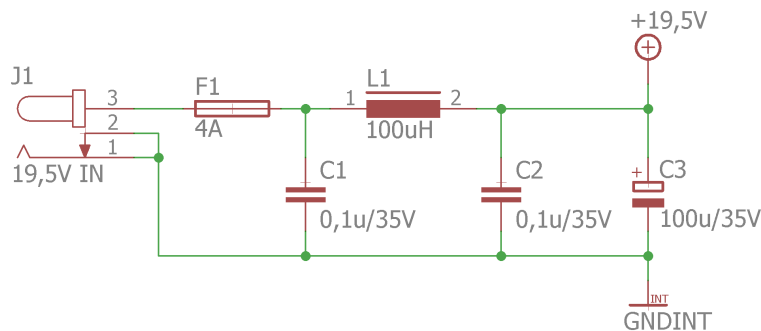
Nasledujúca kapitola popisuje funkčné bloky, ktoré sú obsiahnuté v schematickom návrhu komunikačných jednotiek. Pre návrh schematického zapojenia a návrh plošného spoju bol použitý software CAD Eagle 8.4.1.

Ich návrh je podriadený tomu, aby na následne navrhovanej doske bolo možné jednoducho sledovať a pripájať vstupno-výstupné piny hlavného kontroléru a jeho komunikačné linky s ostatnými časťami zariadenia. Takýto postup pri návrhu bol zvolený z dôvodu jednoduchšieho overovania funkčnosti ako samotnej dosky, tak aj navrhovaného firmwaru.

3.1 Napájací zdroj

Napájanie jednotiek je navrhnuté pre použitie napájacieho adaptéru s napätím 19,5 V. Vstup je chránený tavnou poistkou F1 s hodnotou 4 A. Nasleduje za ňou odrušovací filter, ktorý zamedzuje prenikaniu rušení s vyššou frekvenciou nasledovaný elektrolytickým filtračným kondenzátorom.

Podľa simulácie z programu bolo zistené, že po prechode týmto filtrom dosahuje rušenie o frekvencii cca 3 kHz polovičnú amplitúdu. Toto zapojenie je možné si prezrieť na obrázku 3.1.



Obr. 3.1: Ochrana a odrušenie napájacieho napätia

3.1.1 Zdroj pre digitál

Pri výbere meniču vhodného pre náš návrh sa kládli požiadavky na jeho maximálne prúdové zaťaženie a efektívnosť. V neposlednom rade aj na jeho spínaciu frekvenciu, ktorá by nemala narušovať komunikačné pásmo PLC modemu, ktoré je v našom prípade 107 kHz.

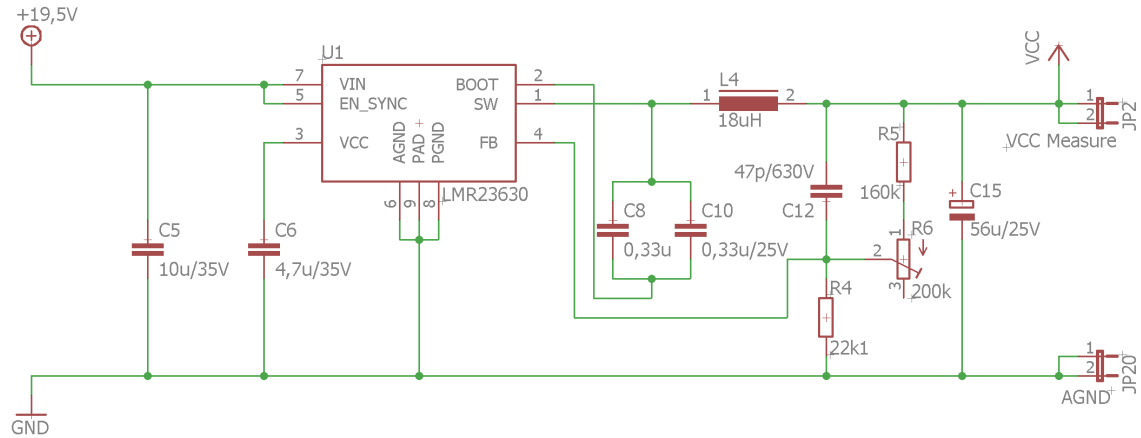
Na základe týchto požiadaviek bol zvolený menič od spoločnosti Texas Instruments LMR23630. Jeho maximálny prúd je 4 A, účinnosť sa pohybuje cez 90

Pre návrh tohto meniču bol použitý online designer priamo od spoločnosti TI Webench. Ku meniču je pridaný jumper JP1 na ktorého kontakty je privedené výstupné napätie pre jeho jednoduchú kontrolu. V tabuľke vidíme maximálne možné odbery jednotlivých komponentov jednotky pre napájacie napätie 3,3 V.

3.1.2 Zdroj pre AFE

Napájacia vetva z tohto meniču je použitá výhradne pre zosilňovač PLC modemu. Jeho rozsah vstupného napätia je v rozmedzí 8 V až 18 V. Regulovateľný napájací zdroj bol zvolený pre možnosť skúmania vplyvu na parametre kvality komunikácie prostredníctvom tohto modemu.

Požadované napätie je možné meniť pomocou trimru R6. Jeho jednoduché sledovanie nám umožňuje opäť jumper. Konkrétne JP2. Hodnoty pre L4, C15 a R4-6 zapojené v spätnej väzbe boli vypočítané za pomoci vzorcov, ktoré sú dostupné v datasheete.



Obr. 3.2: Schematické zapojenie regulovateľného zdroju

Výstupné napätie meniču je dané pomerom rezistorov v spätnej väzbe. Tvoria ju R4 ako R_{FBB} a R5 + R6 ako R_{FBT} . Z dostupného vzorca boli ďalej zvolené hodnoty pre R5 a R6, ktoré nám dávajú rozsah výstupného napätia:

$$R_{FBT} = \frac{V_{OUT} - V_{REF}}{V_{REF}} R_{FBB},$$

$$\frac{R_{FBT} V_{REF}}{R_{FBB}} + V_{REF} = V_{OUT},$$

$$\frac{(0\Omega + 160\text{ k}\Omega) 1\text{ V}}{22,1\Omega} + 1\text{ V} = 8,29\text{ V} \text{ (ľavá krajná poloha pre R6),}$$

$$\frac{(200\Omega + 160\text{ k}\Omega) 1\text{ V}}{22,1\Omega} + 1\text{ V} = 17,33\text{ V} \text{ (pravá krajná poloha pre R6).}$$

Z týchto vzťahov je možné vidieť, že pri krajných polohách trimru je napájacie napätie v rozmedzí minimálnych a maximálnych hodnôt.

3.2 Hlavný kontrolér

Samotné základné zapojenie kontroléru je veľmi jednoduché. Obsahuje filtračné a odrušovacie kondenzátory pre jednotlivé napájacie piny. Pre zabezpečenie funkčnosti USB rozhrania vyvedeného priamo z kontroléru bolo nutné použiť externý kryštál s frekvenciou 8MHz.

Ďalšími časťami patriacimi ku kontroléru je tlačidlo reset a programovací konektor SV1. Ten nám umožňuje nahráť doňho nami vytvorený firmware pomocou externého programátoru ST-LINK/V2. S jeho pomocou je možné návrh debugovať a sledovať priebeh programu. Napríklad sledovať hodnoty jednotlivých premenných v reálnom čase.

Všetky piny komunikačných blokov sú pripojené ku kontroléru pomocou jump-prov. To nám umožňuje jednoducho sledovať ich stav. Navyše je umožnené overenie funkčnosti týchto blokov pri osadzovaní a oživovaní dosky, kedy sa dá pripojiť konkrétny blok ku externému kontroléru.

3.2.1 Tlačidlá

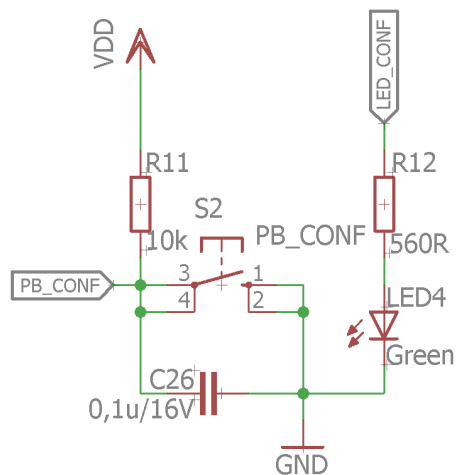
Tlačidlá a spínacie prvky, ktoré obsahuje návrh sú ošetrené voči zákmitom. Tie vznikajú pri mechanickom spojení kontaktov a spôsobujú viacnásobné zaregistrovanie stlačenia kontrolérom. K odstráneniu tohto javu slúži v prípade tlačidla s pull-up rezistorom kondenzátor, ktorý tlačidlom skratujeme, ako je možné vidieť na zapojení v obrázku. Čas za ktorý napätie dosiahne takú úroveň, že vstupný pin zaregistruje logickú 1 získame použitím vzorca pre výpočet napätia nabíjaného kondenzátoru. Doňho dosadíme prahové napätie pre detekciu logickej 1:

$$0,45 * V_{DD} + 0,3 V = 0,45 * 0,33 V + 0,3 V = 1,785 V.$$

Čas, za ktorý napätie na kondenzátore dosiahne toto napätie určíme dosadením tohto napätia a konštanty τ do upraveného vzorca:

$$u^c = U_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}),$$
$$t = -\tau \ln(1 - \frac{u^c}{U_0}) \doteq 0,78 ms.$$

V schéme na obrázku 3.3 je možné vidieť aj zapojenie signalizačnej LED na výstupný pin hlavného kontroléru.



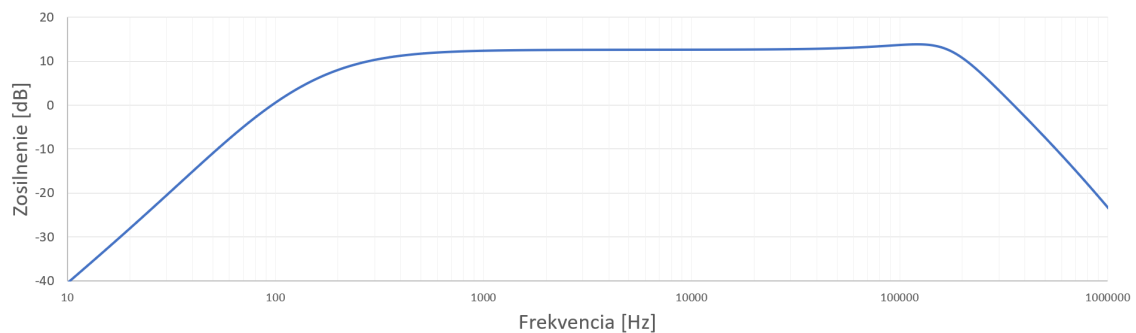
Obr. 3.3: Schematické zapojenie tlačidla s ochranou a LED

3.3 PLC

Zapojenie PLC modemu je štandardné zapojenie popisované v dokumentácii čipu.

3.3.1 Vysielač filter

Vysielač aktívny filter integrovaný v modeme pre svoju činnosť vyžaduje presné prvky hlavne v spätnej väzbe, ktoré udávajú rozsah tohto filteru. Jeho rozsah sme si overili v zapojení s ideálnym operačným zosilňovačom. Z grafu je možné vidieť, že ide o filter typu pásmová priepusť. Zosilnenie filteru je cca 13 dB a rozsah 346 Hz až 199,5 kHz pri záťaži $100\ \Omega$



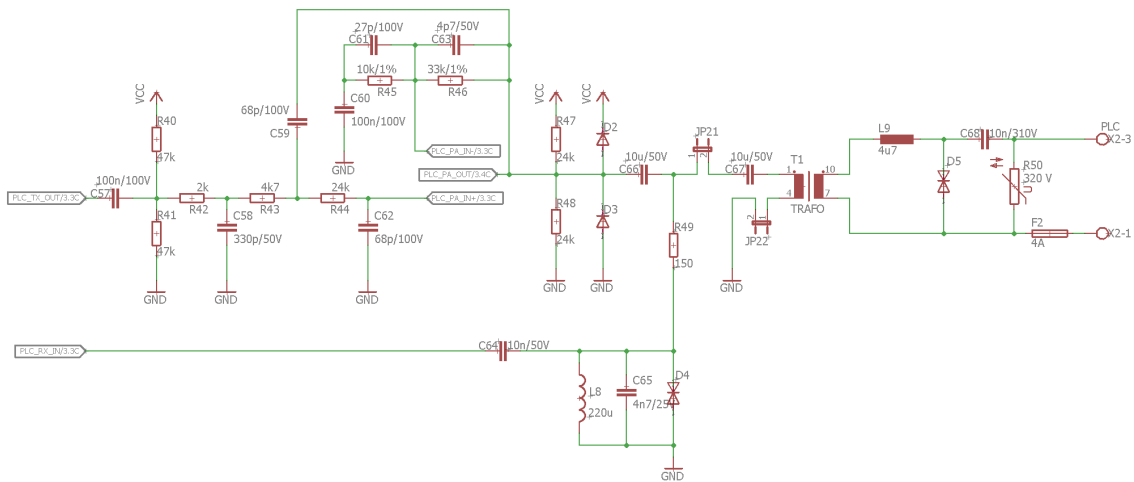
Obr. 3.4: Amplitúdovo-frekvenčná charakteristika vysielačieho filteru

3.3.2 Vázobný člen

Pre bezpečné namodulovanie signálu na napätie v rozvodnej sieti je použitý oddelovací transformátor T1. Sériový rezonančný obvod tvorený cievkou L9 a kondenzátorom C68 slúži na oddelenie prenášaného signálu od frekvencie napájacieho napätia a rušení. Jeho rezonančnú frekvenciu je možné vypočítať:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{4,7\mu H * 470nF}} \doteq 107 kHz.$$

Ako ochrana proti prepätiu slúži varistor R50 a transil D5. Pre bezpečné overenie funkčnosti a možnosti sledovania komunikácie sú medzi oddelovacím transformátorom a zvyškom zapojenia modemu vložené jumpre JP21 a JP22.

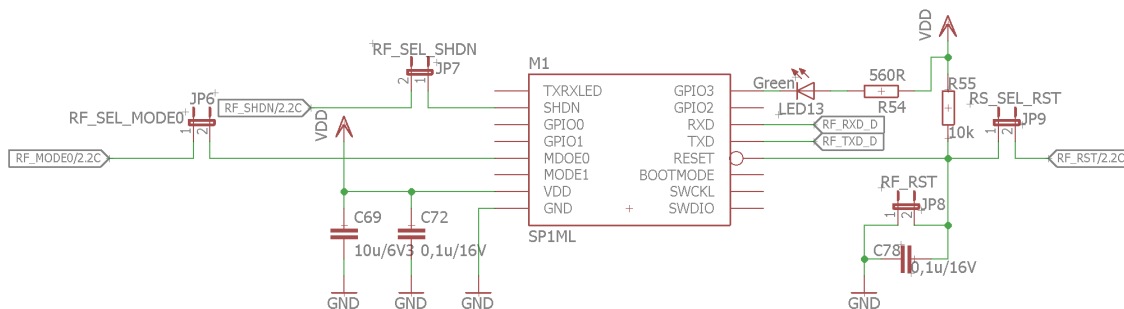


Obr. 3.5: Zapojenie filtrov a väzobného členu

3.4 Rádiové rozhranie

Modul rádiového rozhrania okrem štandardných kondenzátorov pre napájací pin obsahuje aj signalizačnú LED a pripájacie jumpre ku procesoru. Prepojením JP6 umožníme pomocou výstupu hlavného kontroléru nastaviť režim v ktorom rozhranie pracuje. Ak je privedená logická 1, alebo je jumper nezopnutý, tak je modul v operačnom móde. V ňom preposiela dáta medzi druhým modulom a UART rozhraním. Zmenou logickej hodnoty na tomto pine do 0, uvedieme modul do konfiguračného režimu. Doň je možné vstúpiť aj zaslaním preddefinovanej sekvencie znakov.

Obdobne je riešená aj zmena stavu modulu, kde je možné ho privedením logickej 0 pri prepojení JP7 uviesť do režimu spánku. Jumper JP8 navyše ponúka vykonať fyzicky v prípade nutnosti reset modlu jeho prepojením. To bez potreby vykonania tohto úkonu prostredníctvom nadriadeného kontroléru.



Obr. 3.6: Zapojenie modulu bezdrôtového rozhrania

3.5 UART prepínač

Pre prepojenie viacerých užívateľských rozhraní s nadradeným kontrolérom bola zvolená koncepcia za použitia analógového multiplexeru SN74HC4852. Jeho funkcia však neumožňuje synchronnú komunikáciu so všetkými rozhraniami súčasne ako by sa mohlo zdať. Po privedení určitej kombinácie hodnôt na vstupy A a B vyberieme práve jedno rozhranie, ktorému bude umožnená komunikácia prostredníctvom UART s kontrolérom. Obsahuje v sebe 2 multiplexre 4:1, čo nám umožňuje prostredníctvom jediného čipu vykonávať prepínanie Rx aj Tx kanálu.

Prepínač je s nadriadeným kontrolérom spojený cez jumpre, ktoré je potrebné spojiť pre jeho správnu funkciu. Konkrétne ide o dvojité jumpre JP3 pre komunikačné Rx a Tx linky a JP5 pre rozhrania A a B zabezpečujúce výber aktívneho rozhrania.

3.6 RS-232

Prevod pre toto rozhranie má za úlohu MAX3232. Je v ňom obsiahnutá nábojová pumpa pre prevod na RS-232 a prevodník úrovni naspäť na TTL logiku s ktorou pracuje UART. Elektrolytické kondenzátory C70 a C71 sú súčasťou nábojovej pumpy, ktorá z napätia 3,3V vytvára ± 15 V potrebných pre komunikáciu prostredníctvom RS-232.

3.7 USB

Pre funkčnosť tohto rozhrania je potrebné minimum súčiastok pri integrovanom obvode CP2102. Základ tvorí odporový delič z R51 a R52, ktorý napätie 5V získaného z konektoru vytvára 3,3V pre indikáciu prepojenia s nadriadeným zariadením, pretože tento obvod je v stave device.

Napájanie mu však zabezpečuje doska komunikačnej jednotky. Za vstupným konektorom je možné nájsť ochranu proti prepätiu v podobe trojitej TVS diódy.

3.8 Bluetooth

Zapojenie modulu Bluetooth SPBT3.0DP2 v sebe obsahuje jumpre JP11 a JP14 pre pripojenie pinu stavu a resetu k nadriadenému kontroléru. Rovnako aj JP16 pre vykonanie reset prepojením tohto jumpru priamo na doske.

3.9 Ethernet

Ku tomuto modulu od WIZnet sú zapojené jumpre JP12, ktorý pripája Trig pin ku kontroléru a JP13, ktorým je tento pin zopnutý na doske. Trig umožňuje vstup do konfiguračného módu.

Prepojenie reset pinu s kontrolérom je umožnené prostredníctvom jumpru JP17 a pomocou JP18 je možné vykonať reset prepojením na doske. Pre uvedenie modulu do výrobných nastavení slúži jumper JP15. Táto funkcia však nie je umožnená prostredníctvom nadriadeného kontroléru.

4 NÁVRH PLOŠNÉHO SPOJU

Ako bolo spomenuté v predchádzajúcej kapitole 3, software Eagle nám umožňuje aj návrh plošného spoju. Vygeneruje nám všetky súčiastky, ktoré následne prepojí virtuálnymi spojmi. Tieto virtuálne spoje naznačujú, ktoré vývody na súčiastkach majú byť spolu spojené. To nám výrazne zjednodušuje návrh. Jeho ďalšou prednosťou je kontrola chýb plošnom spoji. Sleduje napríklad prípadné skraty, nepoložené spoje, minimálne rozmery vodivých ciest a izolačných medzier.

4.1 Konštrukčná trieda

Pre návrh plošného spoju bola zvolená VI. konštrukčná trieda. Tá dovoľuje minimálnu šírku vodivej cesty a izolačnej medzery 0,15 mm. Cesty boli však zvolené širšie a rovnako aj väčšina medzier. Táto trieda bola potrebná pre použitie malých puzdier mikročipov napríklad kontrolér s puzdrom LQFP, ktorých rozmery túto triedu vyžadujú. Jeho rozteč vývodov dosahuje iba 0,5 mm a ich šírka je 0,3 mm. Izolačná medzera medzi nimi je teda 0,15 mm, čo presne spĺňa zvolenú konštrukčnú triedu. [6]

4.2 Kritické oblasti

Zvlášť pozor si bolo treba dávať pri návrhu väzobného členu. Je to jediné miesto, kde sa vyskytuje pripojenie na fázové napätie 230 V. Z toho dôvodu bolo nutné použiť väčšie izolačné medzery, aby nehrozil prípadný skrat.

Ďalšími časťami, na ktoré sa bolo treba pri návrhu zamerať bol rozvod napájania. Pre zabezpečenie jeho spoľahlivosti bola zvolená väčšia hrúbka cesty aby nedochádzalo ku nadmerným úbytkom napätia pri väčšom prúdovom zaťažení. Rovnako tak aj každý vstupný napájací pin obsahuje svoj odrušovací a filtračný kondenzátor v čo najbližšej možnej miere.

Podobne bolo nutné obmedziť vzdialenosť a tým vplyv ciest na parametre pri zapojení súčiastok, ktoré sú použité pre správnu funkciu výstupného vysielacieho filtra pre PLC.

4.3 Výsledný návrh

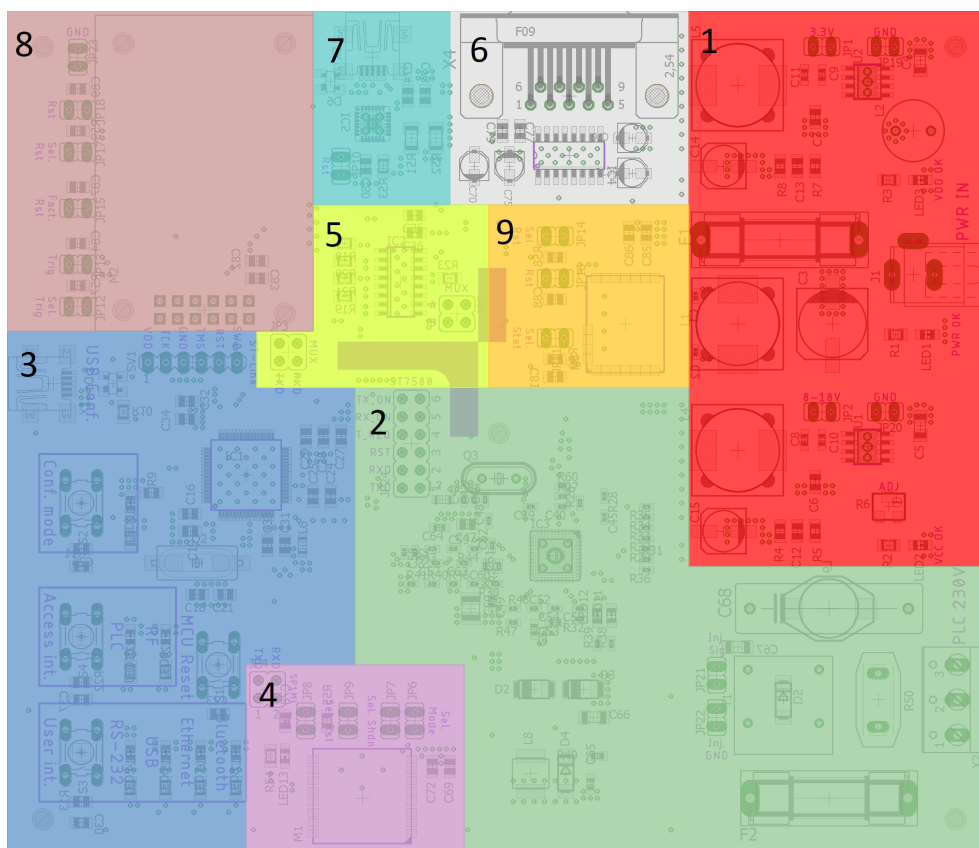
Po aplikovaní všetkých zmienovaných požiadaviek má výsledný plošný spoj rozmery 120 x 140 mm. Ide o dvojvrstvovú dosku, ktorá má prevažnú časť súčiastok osadenú v hornej strane. Pre zlepšenie elektromagnetickej kompatibility je v oboch vrstvách

rozliata zemniaca plocha. Súčiastky boli volené v SMD prevedení pre čo najväčšiu možnú mieru minimalizácie rozmerov dosky.

4.4 Rozloženie

Na znázornení rozloženia plošného spoju v obrázku 4.1 je možné si prezrieť usporiadanie jednotlivých blokov.

1. napájanie
2. PLC
3. kontrolér
4. Modul bezdrôtovej komunikácie
5. UART prepínač
6. RS-232
7. USB
8. Ethernet
9. Bluetooth



Obr. 4.1: Rozloženie funkčných častí na doske plošného spoju

5 FIRMWARE

Neoddeliteľnou súčasťou zariadenia založeného na mikrokontroléroch je softwarová časť. Bol vytvorený firmware, ktorý má demonštrovať funkčnosť vytvorenej komunikačnej jednotky. To znamená, že má obsluhovať všetky časti, ktoré sú mikrokontrolérom riadené. Jedná sa o:

- lokálnu komunikáciu s PLC modemom,
- komunikácia s rádiovým modulom,
- ovládanie UART prepínaču,
- komunikácia s koncovým zariadením,
- Obsluha tlačidiel a signalizačných LED,
- komunikácia cez konfiguračné rozhranie.

Pre prácu so zdrojovým kódom pre kontrolér slúži vývojové prostredie. V našom prípade sa jedná o Keil uVision 5. Spája v sebe editor zdrojového kódu, kompilátor a debugger.

Ďalším programom, ktorý nám uľahčuje prácu je nástroj STM32 Cube pre grafickú konfiguráciu periférií mikrokontroléru od spoločnosti ST, ktorá vyrába aj samotný kontrolér. S jeho pomocou vieme jednoducho graficky definovať konfiguráciu pinov kontroléru, nastavenie hodín a mnoho iného. Následne nám vygeneruje základnú štruktúru projektu s predkonfigurovaným kontrolérom.

5.1 Základ zdrojového kódu

Ako predloha pre vytváranie firmwaru slúži vzorové riešenie pre riadenie PLC modemu. Tento example v sebe obsahuje inicializácie pinov, BSP (Board Support Package) pre komunikáciu s modemom. BSP v sebe obsahuje základné funkcie, ktoré je možné volať a tie následne vykonávajú požadované úlohy. Sú nimi napríklad odoslanie paketu a kontrola fronty prijatých paketov v modeme.

Nachádzajú sa tu aj funkcie s ukážkou jednoduchého príkladu na prácu s modemom. Ten však v našom prípade nie je potrebný a definujeme si svoje vlastné funkcie.

Pomocou nástroju CubeMX je nastavená konfigurácia ostatných rozhraní potrebných pre správne fungovanie nášho zariadenia. Tieto konfigurácie sú vložené do vzorového projektu a následne inicializované.

Vytvorené funkcie boli testované na vývojových kitoch. Po overení ich funkčnosti bol zdrojový kód následne upravený pre funkčnosť v našej komunikačnej jednotke. Následne boli pridané funkcie pre výber rozhrania na UART prepínači a ovládanie pomocou tlačidiel.

5.2 Komunikácia s PLC

Príjem

Pre príjem paketov z modemu slúži funkcia, ktorá tieto pakety ihneď po prečítaní z modemu odosiela na užívateľské rozhrania. Jej funkcia spočíva v priradení prijatého paketu štruktúre „RxFrame“. Pokiaľ v modeme nie je žiaden prijatý paket, tak táto štruktúra ostáva prázdna.

Táto skutočnosť sa overuje v podmienke, po splnení ktorej je vynulované počítadlo a vstupuje sa do cyklu čítania dát z prijatého rámcu. Číta sa dovtedy, než sa nenarazí na prázdne pole. Zápis prečítaných znakov sa prepisuje do „buffru lastIDRcv“. Tento buffer je následne odoslaný na UART s dĺžkou, na ktorom skončilo počítadlo.

```
RxFrame = BSP_PLM_Receive_Frame();
if (RxFrame != NULL){
i=0;
while(RxFrame->data[i+4] != NULL){
lastIDRcv[i] = RxFrame->data[i+4];
i++;
}
HAL_UART_Transmit( &pUartMsgHandle, (uint8_t*) &lastIDRcv, (i), 500 );
}
```

Odosielanie

Táto funkcia je výrazne jednoduchšia. Kontroluje sa v nej premenná počítadla „sendCnt“, ktorá je zvyšovaná pri každom prijatom znaku z koncového rozhrania. To znamená, že ak nie je nulová, tak v buffri „send“ čakajú znaky na odoslanie. Preto sa čaká na doplnenie tohto buffru a následne je buffer „send“ odoslaný do modemu s dĺžkou, ktorú práve dosahuje a počítadlo vynulované.

```
if(sendCnt != 0){
HAL_Delay(10);
BSP_PLM_Send_Data(DATA_OPT, send, (sendCnt), NULL);
sendCnt = 0;
}
```

5.3 Práca s UART

Prijem

Plnenie buffru prijímanými znakmi z UART prebieha v Callback funkcií volanej po úspešnom prijatí znaku. Pod textom je príklad príjmu z rádiového modulu. Príjem z koncových rozhraní prebieha obdobne.

Do buffru „RFrec“ je zapísaný prijatý znak na pozíciu označenú premennou „RFsendCnt“. Po zapísaní znaku na túto pozíciu je premenná o jednu zvýšená a opäť sa zavolá funkcia pre príjem jedného znaku z UART v neblokujúcom režime.

```
RFrec[RFsendCnt] = RFbuff[0];  
RFsendCnt++;  
HAL_UART_Receive_IT(&UartRFHandle, RFbuff, 1);
```

Odosielanie

Odosielanie dát prostredníctvom UART rozhraní funguje rovnako pre rádiový modul aj pre koncové rozhrania. Ich princíp je totožný ako odoslanie prostredníctvom PLC. Jediný rozdiel je vo volanej funkcií, ktorej zavolaním je obsah buffru odoslaný prostredníctvom konkrétneho UART rozhrania.

```
if(sendCnt != 0){  
    HAL_Delay(100);  
    HAL_UART_Transmit(&UartRFHandle, (uint8_t*) &send, (sendCnt), 500);  
    sendCnt = 0;  
}
```

5.4 Výber aktívneho prístupového rozhrania

Výber ktorým rozhraním budú prijaté dáta zaslané je realizovaný tlačidlom. Je v režime externého prerušenia. To znamená, že po jeho stlačení sa vykoná potrebná časť kódu, nech je práve v ktorejkoľvek časti.

V boolean dvojstavovej premennej rozhranie je uložená hodnota, ktoré z rozhraní je aktívne. Ak je hodnota 0, komunikácia prebieha prostredníctvom PLC. Ak je hodnota 1, komunikácia prebieha bezdrôtovo. V sekvencií nasledovanej po stlačení tlačidla sa skontroluje stav premennej „acc“. Ak je 0, nastaví sa na 1 a prepne sa LED informujúca o zvolenom rozhraní. Ak je však hodnota tejto premennej 1, zmení sa na 0 a prepne sa aj aktívna LED.

```

if(acc == 0)
{
HAL_GPIO_WritePin(LED_rf_GPIO_Port, LED_rf_Pin, 0);
HAL_GPIO_WritePin(LED_plc_GPIO_Port, LED_plc_Pin, 1);
acc = 1;
rozhranie = 1;
}
else if(acc == 1)
{
HAL_GPIO_WritePin(LED_plc_GPIO_Port, LED_plc_Pin, 0);
HAL_GPIO_WritePin(LED_rf_GPIO_Port, LED_rf_Pin, 1);
acc = 0;
rozhranie = 0;
}

```

Samotná zmena prístupového rozhrania prebieha v hlavnej main funkcii firmwaru. V nej sú na základe premennej rozhranie volané konkrétne funkcie umožňujúce komunikáciu zvoleným rozhraním.

5.5 Ovládanie UART prepínaču

Nastavenie požadovaného koncového rozhrania je realizované podobne ako voľba komunikačného rozhrania. Po stlačení tlačidla je prepnutá LED a zavolaná funkcia, ktorá samotné nastavenie prepínaču realizuje. Očakáva vstup „int“ v rozsahu 1-4, na základe ktorého switch nastaví kombináciu na adresné piny multiplexeru reprezentujúcu zvolené rozhranie.

5.6 Ošetrenie zákmitu tlačidla

Pre zamedzenie viacnásobného stlačenia tlačidla vo veľmi krátkom čase sú ošetrené vyvolané prerušenia debouncingom. Jeho úloha spočíva v preskočení vykonávania inštrukcií, ktoré sú vykonávané bezprostredne po zavolaní prerušenia, ak boli pred zvolenou dobou vykonané.

Nasledujúca konštrukcia je použitá pre ošetrenie tlačidla pre výber prístupového rozhrania. Funkcie, ktoré sa majú vykonať po stlačení tlačidla sú vložené do podmienky, ktorá na základe premennej „PB ACC“ vykonáva uzamknutie inštrukcií. Ak je premenná v stave True, tak do podmienky sa smie vstúpiť. Vykoná sa uzamknutie a nastaví sa časovač v premennej „PB ACCa“ na 300 ms.

Časovač je v prerušení volanom každú milisekundu postupne znižovaný až na 0. Po dosiahnutí tejto hodnoty je premenná uzamykajúca inštrukcie tlačidla nastavená na True a následné stlačenie tlačidla opäť môže vykonať svoje inštrukcie.

Vo funkcií prerušania tlačidla:

```
if(PB_ACC == true)
{
PB_ACC = false;
PB_ACCa = 300;
...
}
```

V „SysTick Handler“:

```
if(PB_ACCa > 0)
{
PB_ACCa--;
if(PB_ACCa == 0)
{
PB_ACC = true;
}
}
```

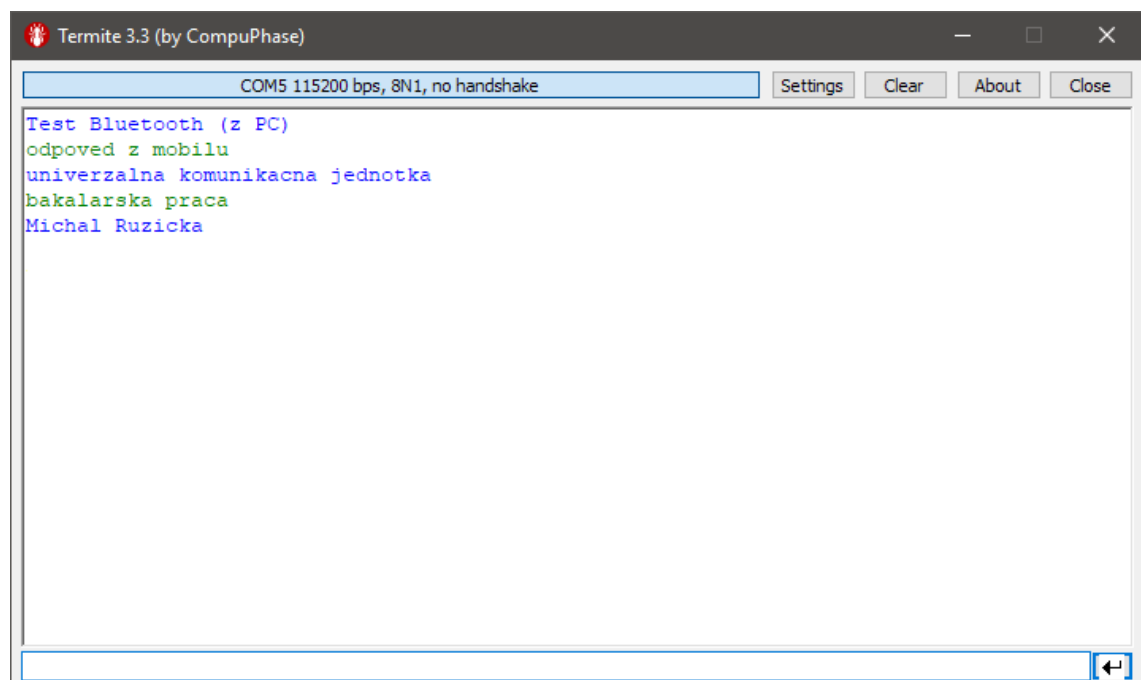

6.1 Test a meranie

Po úspešnom oživení celej jednotky, bol do hlavného kontroléru zavedený firmware. Ako programátor slúžil integrovaný ST-Link/v2.1 na vývojovom kite. Pre testovanie funkčnosti jednotlivých rozhraní bol okrem počítača ako koncového zariadenia použitý aj mobilý telefón s operačným systémom Android a aplikáciou umožňujúcou komunikáciu sériovým rozhraním cez Bluetooth.

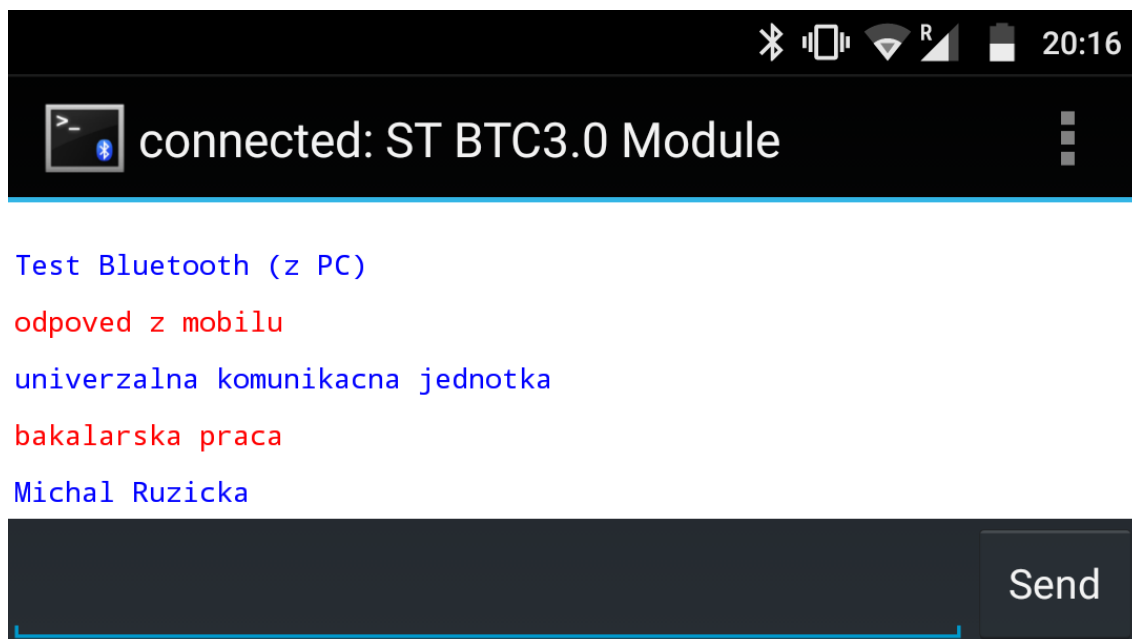
6.2 Koncové rozhrania

Overenie funkčnosti koncových rozhraní prebiehalo pripojením pomocou externého USB/UART prevodníku na pozíciu rádiového modulu. Postupne boli otestované všetky osadené rozhrania. Na screenoch 6.3 a 6.2 je zachytená komunikácia prostredníctvom Bluetooth.

Do výsledného návrhu firmwaru, nebolo zakomponované USB vyvedenom z hlavného mikrokontroléru. Jeho funkčnosť bola overená samostatným skúšobným kódom. V pravidelných intervaloch na toto rozhranie posielalo definované slovo.



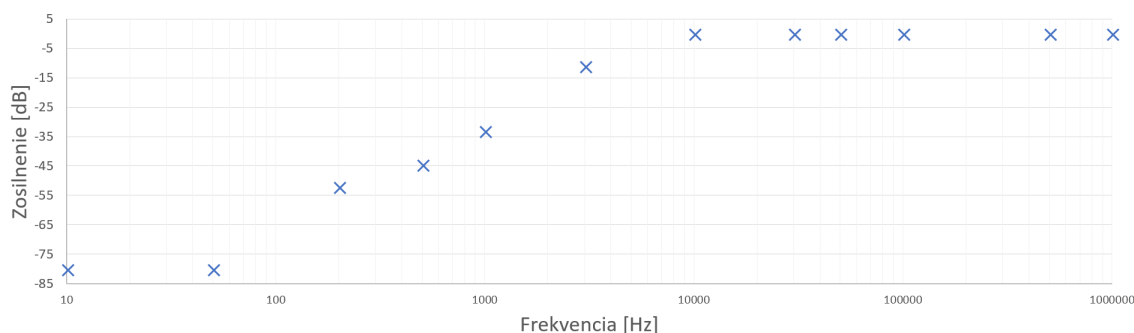
Obr. 6.2: Terminálové okno v PC



Obr. 6.3: Aplikácia terminálu v mobile

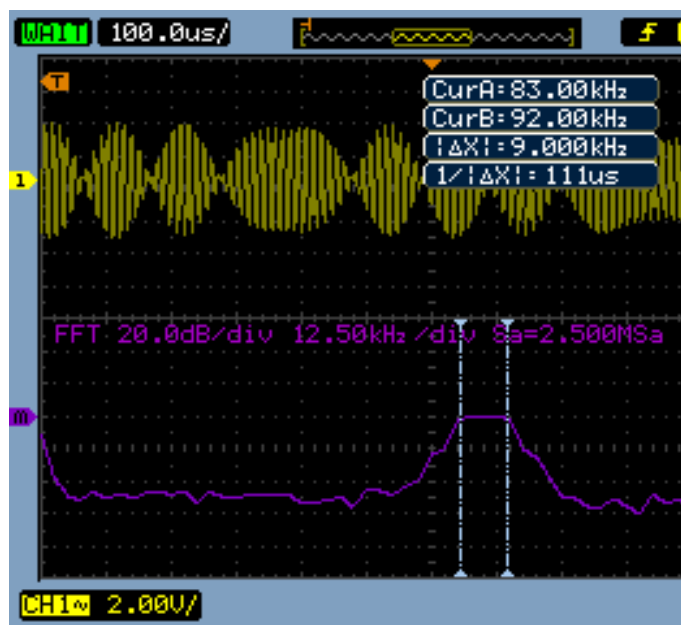
6.3 Prístupové rozhrania

Pre PLC rozhranie je vstup signálu tvorený väzobným členom. Jeho meranie amplitúdovo-frekvenčnej charakteristiky je zobrazené na grafe 6.4. Z neho je vidieť, že v oblasti 50 Hz je jeho prenos v podstate nulový. Avšak od 10 kHz až po 1 MHz prenesie na výstup plnú úroveň vstupného signálu. Na vstup väzobného člena bol generovaný signál s amplitúdou $10 V_{pp}$.



Obr. 6.4: Meranie útlmu väzobného člena v závislosti na frekvencií

Spojenie pomocou PLC bolo testované s jednotkou postavenou na vývojovom kite. Vysielanie z vývojového kitu naša jednotka zaznamenala a správne interpretovala na zvolené koncové rozhranie. Z testov bolo zistené, že rozhranie na nami



Obr. 6.5: Zobrazenie spektra komunikačnej frekvencie

vytvorenej komunikačnej jednotke nie je schopné vysielat signál. Príčina nebola zistená. Signál nebol nameraný ani na vysielacom pine pred vstupom do AFE. Chyba však nebola na strane firmwaru, nakoľko pri použití shieldu PLM01A1 pripojenom externe jednotka plne komunikovala.

Na vstupe našej komunikačnej jednotky bolo merané spektrum prijímaného signálu. Tento priebeh je možné vidieť na zobrazení osciloskopu v obrázku 6.5.

Rádiový modul však po osadení na dosku prestal pracovať. Pri použití externého modulu je jeho funkčnosť v poriadku. Vysvetlenie tohto stavu je pravdepodobné poškodenie pri osádzaní. Schopnosť komunikovať pomocou tohto rozhrania bola overená prepojením našej jednotky s vývojovým kitom priamo UART rozhraním, ktorým komunikujú rádiové moduly.

7 ZÁVER

Úlohou tejto bakalárskej práce bolo vytvoriť zariadenie umožňujúce univerzálne spojenie koncových staníc. V návrhu je zabezpečená redundancia prístupových rozhraní. Je riešená pomocou PLC modemu, komunikujúceho po napájacej sieti a záložného rádiového spojenia. V práci je navrhnutý a popísaný aj možný princíp softwarového dozoru nad touto redundanciou, ktorý nie je v testovacom firmware obsiahnutý.

Na základe porovnania rôznych dostupných PLC modemov bol zvolený práve jeden, ktorý bol zakomponovaný do našej komunikačnej jednotky. Veľkou výhodou zvoleného PLC modemu bola jeho dostupnosť vo forme rozširujúceho komunikačného modulu pre vývojový kit. Z týchto súčastí bola vytvorená testovacia zostava pre overenie funkčnosti komunikácie a vývoj testovacieho softwaru.

Koncové rozhrania boli zvolené tak, aby umožnili vzájomnú komunikáciu pomocou navrhovanej jednotky rôznym druhom koncových zariadení. Rozhrania sú z hlavného mikrokontroléru komunikačnej jednotky vyvedené pomocou jediného UART. Následne je využitý multiplexer, ktorým vyberú práve jedno rozhranie, ktorým je možné komunikovať. Pre rozhrania sú použité hotové riešenia v podobe modulov ako prevodníkov medzi UART a konkrétnym rozhraním pre Bluetooth. Prípadne vlastný návrh a zapojenie špecializovaných integrovaných obvodov pre RS-232 a USB.

Návrh jednotky spočíval vo vytvorení schematického zapojenia a vytvorení dosky plošných spojov. Po navrhnutí a vytvorení výsledného zariadenia bola otestovaná jeho funkčnosť. Pre ňu bol upravený firmware použitý v testovacom zapojení, ktorého funkčnosť bola overená. V testovacom firmwari nie je obsiahnutá konfigurácia rozhraní ani popisovaný návrh algoritmu pre zabezpečenie redundancie spojenia medzi jednotkami.

Nami vytvorené zariadenie je schopné využiť pre pripojenie koncovej stanice všetky rozhrania okrem Ethernet, ktoré nie je osadené. Funkčnosť týchto zariadení bola testovaná pomocou rôznych zariadení.

Prístupové rozhrania boli testované za pomoci druhej dosky realizovanej na vývojovom kite. Bolo zistené, že nami vytvorená doska nie je schopná vysielat signál pomocou PLC modemu. Príčina závady však nebola odhalená. Prijem však prebieha bez problémov. Podobne nie je funkčný ani rádiový modul, ktorého nefunkčnosť príkladám chybe pri osádzaní. Kedy bolo nutné tento modul prepájať.

Ďalšie testy však dokazujú funkčnosť nášho testovacieho firmwaru, ktorý po nahradení nefunkčných častí externými zariadeniami pracoval podľa predpokladov.

LITERATÚRA

- [1] MIŠUREC, Jiří, Petr MRÁKAVA a Daniel ADAMKO. Interference in power lines and data communication over narrow-band PLC. *Elektrorevue*. 2011, **2011**(3), 63-67. ISSN 1213-1539.
- [2] VODRÁŽKA, Jiří. Modelování vlastností silových vedení. In: *Access server* [online]. České vysoké učení technické v Praze, FEL, 2006 [cit. 2017-11-18]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2006012901>
- [3] PAVELKA, Ondřej. Internet ze zásuvky ? Ano, ale.. *Elektrorevue* [online]. 2000, **2000**(34) [cit. 2017-11-16]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/00034/index.html>
- [4] Standard: CENELEC - EN 50065-1. *IEEE GlobalSpec* [online]. 2011 [cit. 2018-05-23]. Dostupné z URL: <http://standards.globalspec.com/std/1379982/cenelec-en-50065-1>.
- [5] ŠILHAVÝ, Pavel. *Datová komunikace*. Brno, 2011.
- [6] VRBA, K. a P. HANÁK. *Vybrané problémy konstrukce elektronických přístrojů pro integrovanou výuku VUT a VŠB- TUO* [online]. Technická 12, 616 00 Brno: Vysoké učení technické v Brně, FEKT, UTKO, 2014 [cit. 2018-04-23]. ISBN 978-80-214-5071-4.
- [7] *FSK, PSK multi-mode power line networking system-on-chip: ST7580*. 2016. Dostupné také z: <http://www.st.com/resource/en/datasheet/st7580.pdf>
- [8] *Narrow-band OFDM power line networking PRIME compliant system-on-chip: ST7590*. 2011. Dostupné také z: <http://www.st.com/resource/en/datasheet/st7590.pdf>
- [9] *Powerline communication and application system-on-chip: STCOM*. 2017. Dostupné také z: <http://www.st.com/resource/en/datasheet/stcom.pdf>
- [10] *TMS320F28PLC8x Power Line Communications (PLC) Processors*. 2014. Dostupné také z: <http://www.ti.com/lit/gpn/tms320f28plc84>
- [11] *G3-PLC MAC/PHY Powerline Transceiver: MAX2992*. 2014. Dostupné také z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX2992.pdf>
- [12] *Powerline Communication Modem Advanced Information — Product Brief: IT700*. 2008. Dostupné také z: <http://www.yitran.com/Common/FilesBinaryWrite.aspx?id=904>

- [13] *Broadband powerline communication SoC optimized for audio/video streaming and consumer applications: ST2100*. 2014. Dostupné také z: <http://www.st.com/resource/en/datasheet/st2100.pdf>
- [14] *Industrial Broadband Powerline Modem: MAX2982*. 2013. Dostupné také z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX2982.pdf>
- [15] *200 Mbps HomePlug AV1.1 Powerline Adapter: Broadcom BCM60321*. Dostupné také z: http://www.hkmjd.com/Attachments/201312/20131209_221758_184.pdf
- [16] *STM32F401xD STM32F401xE*. 2015. Dostupné také z: <http://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f401re.pdf>
- [17] *The serial communication driver between the ST7580 and the STM32Fx*. 2013. Dostupné také z: http://www.st.com/resource/en/application_note/dm00079431.pdf
- [18] *ST7580 - User manual*. 2013. Dostupné také z: http://www.st.com/resource/en/user_manual/cd00270292.pdf
- [19] *SPIRIT1 868 and 915 MHz low power RF modules with integrated microcontroller*. 2017. Dostupné také z: <http://www.st.com/resource/en/datasheet/sp1ml.pdf>
- [20] *AX232x Dual EIA-232 Drivers/Receivers*. 2014. Dostupné také z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf>
- [21] *SINGLE-CHIP USB-TO-UART BRIDGE*. 2017. Dostupné také z: <https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/CP2102-9.pdf>
- [22] *Bluetooth Classic module: SPBT3.0DP2*. 2017. Dostupné také z: <http://www.st.com/resource/en/datasheet/spbt3.0dp2.pdf>
- [23] *WIZ107SR User Manual*. 2015. Dostupné také z: http://www.wiznet.io/wp-content/uploads/wiznethome/S2E%20Module/WIZ107_108SR/Document/WIZ107SR_UM.pdf

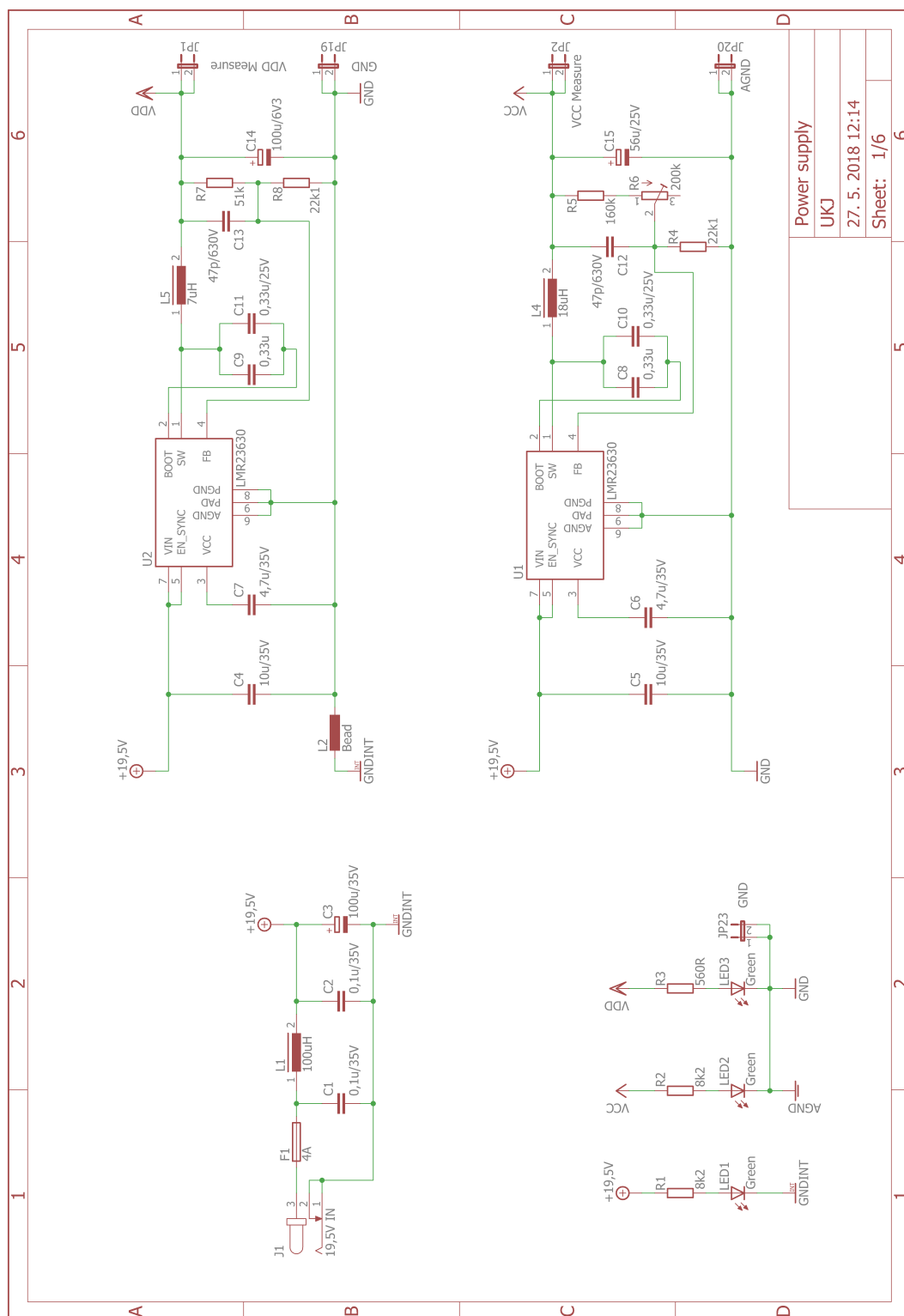
ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

PLC	Power line communication – Komunikácia po napájacej sieti
LAN	Local area network – Lokálna sieť
NB	Narrowband – Úzke pásmo
BB	Broadband – Široké pásmo
AM	Amplitúdová modulácia
LW	Long wave – Dlhé vlny
HDR	High data rate
LDR	Low data rate
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing – Ortogonálny multiplex s frekvenčným delením
ASK	Amplitude-shift keying – Amplitúdové kľúčovanie
PSK	Phase-shift keying – Fázové kľúčovanie
FSK	Frequency-shift keying – Frekvenčné kľúčovanie
DPSK	Differential phase-shift keying – Diferenciálne fázové kľúčovanie
ARM	Acorn RISC Machine (procesorová architektúra)
AFE	Analógový front-end
AES	Advanced encryption standard – štandardizovaný šifrovací algoritmus
GPIO	General-purpose input/output – Vstupný/výstupný pin (pre procesor)
UART	Universal asynchronous receiver-transmitter – Sériový komunikačný protokol
DPS	Doska plošných spojov
BSP	Board Support Package

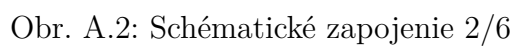
ZOZNAM PRÍLOH

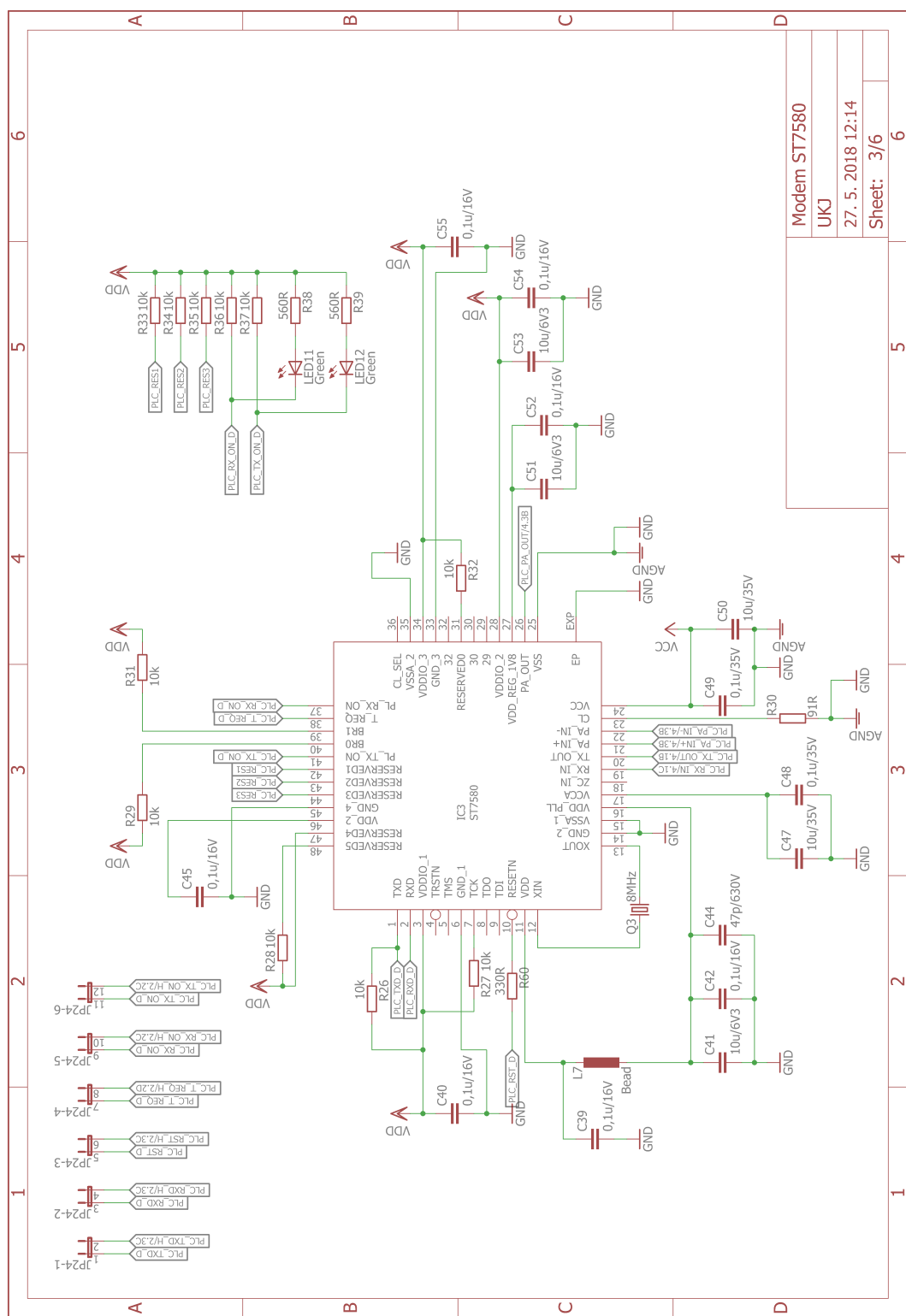
A Schémy zapojenia	52
B Doska plošných spojov	58

A SCHÉMY ZAPOJENIA

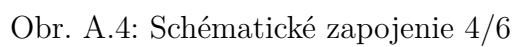


Obr. A.1: Schématické zapojenie 1/6





Obr. A.3: Schématické zapojenie 3/6



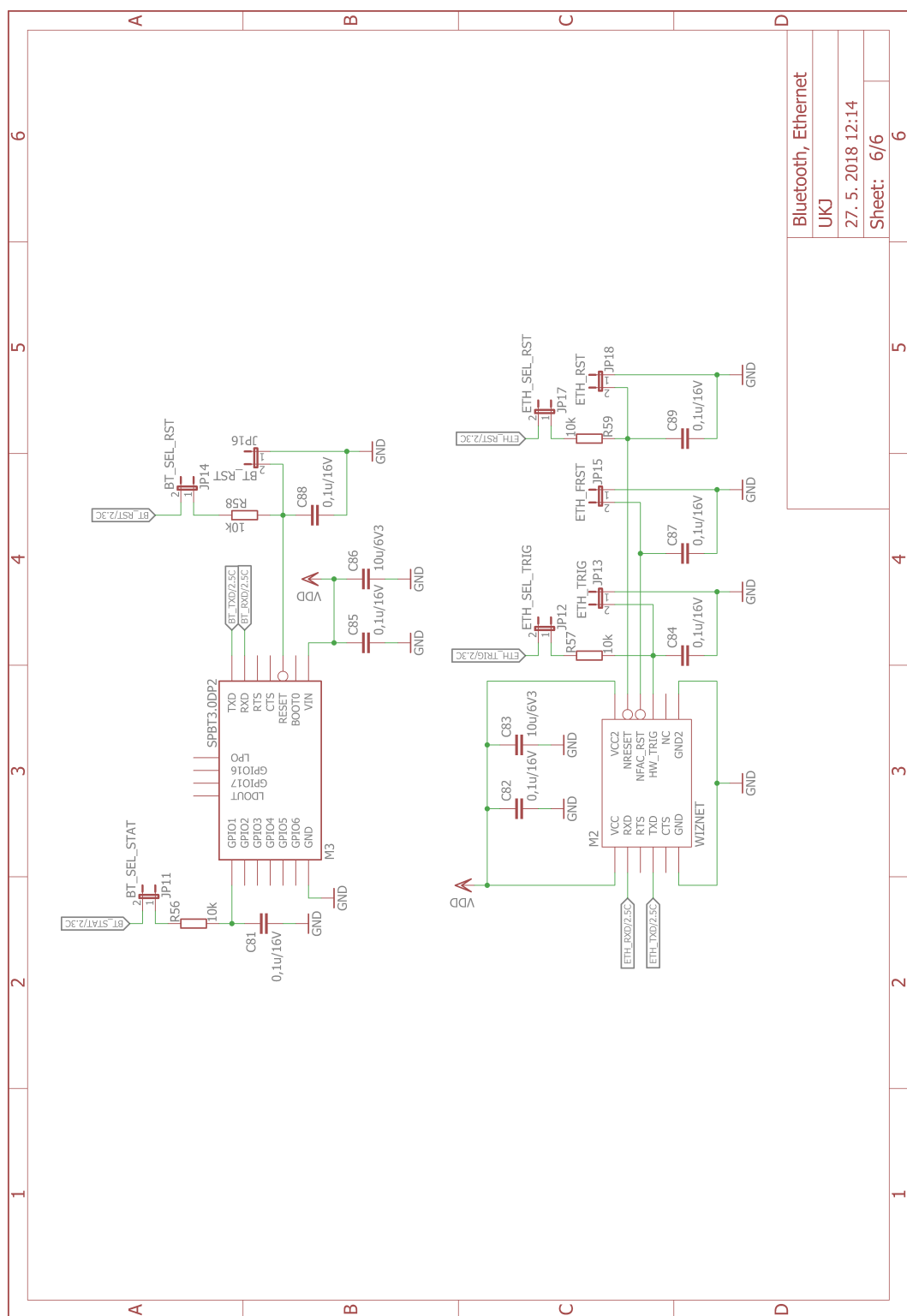


UKJ

27. 5. 2018 12:14

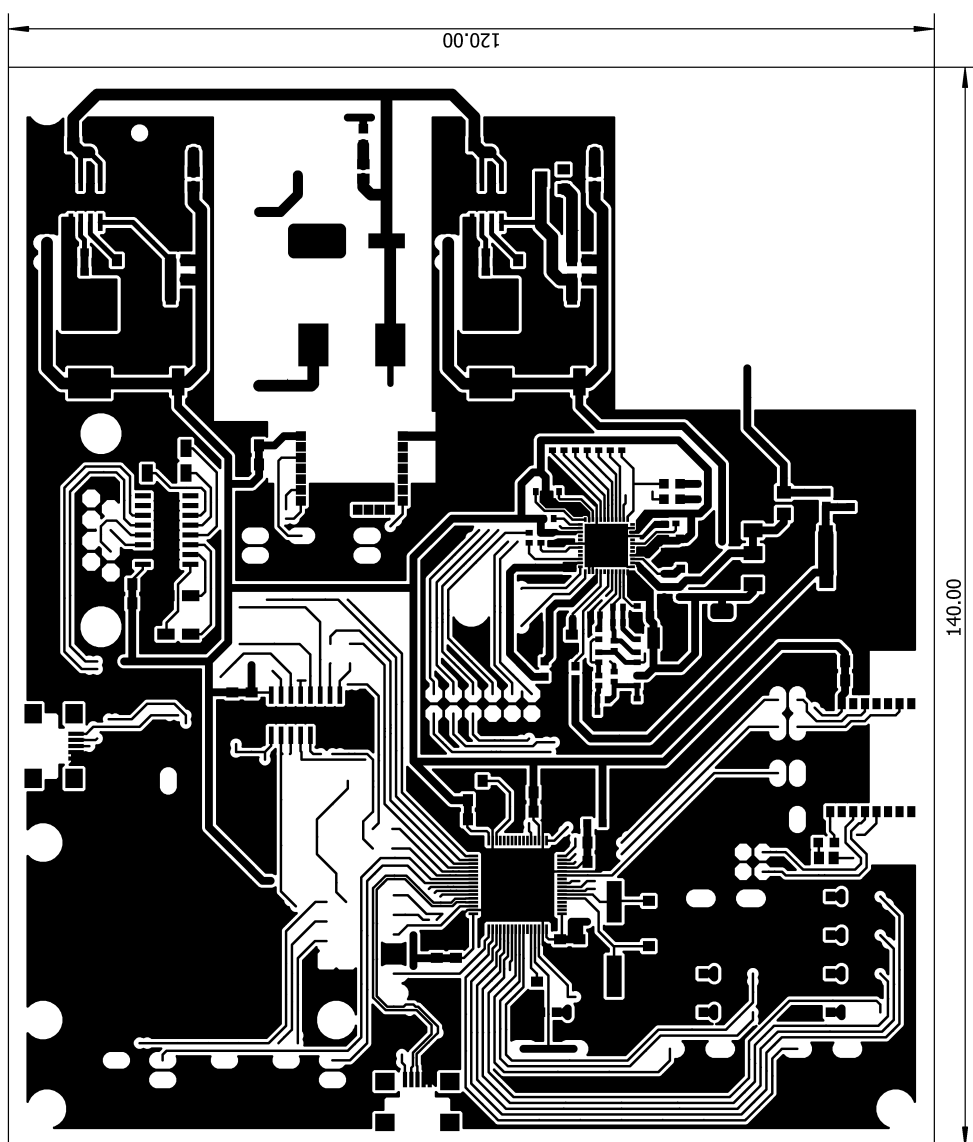
Sheet: 5/6

56

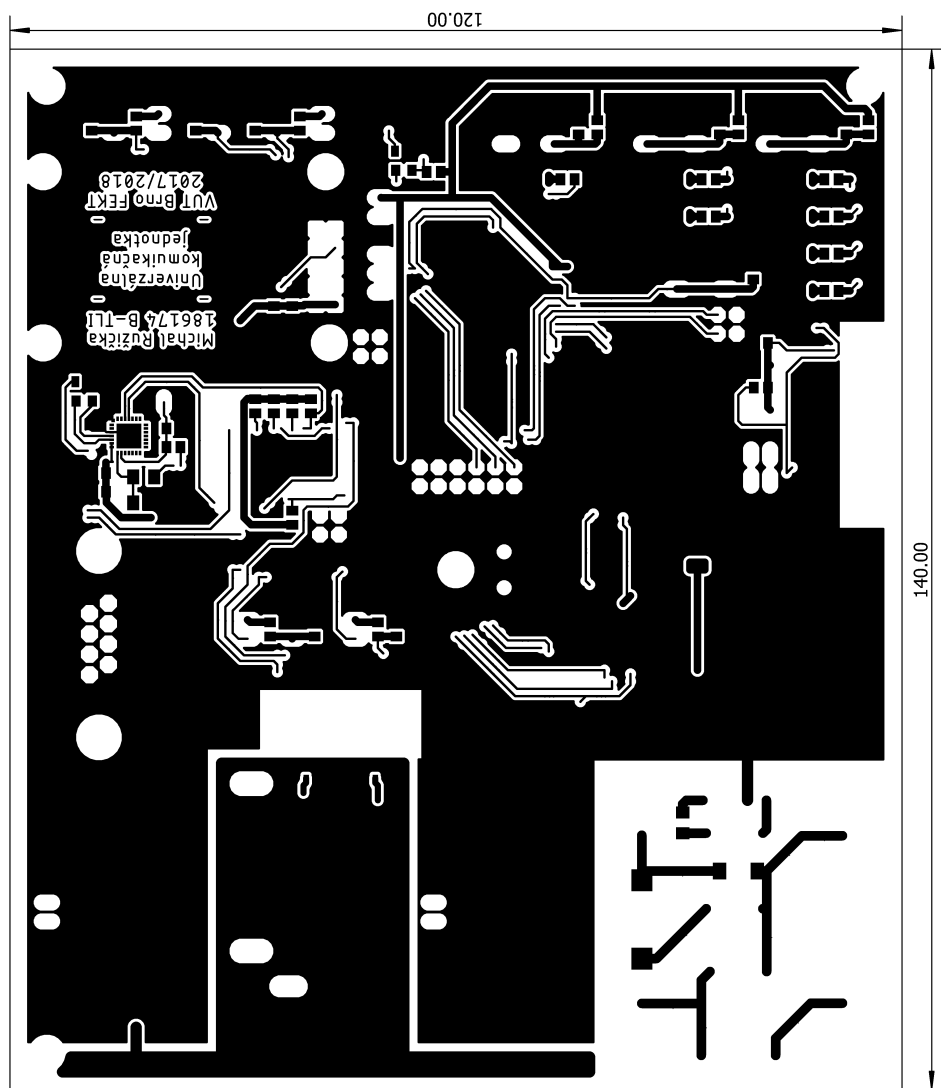


Obr. A.6: Schématické zapojenie 6/6

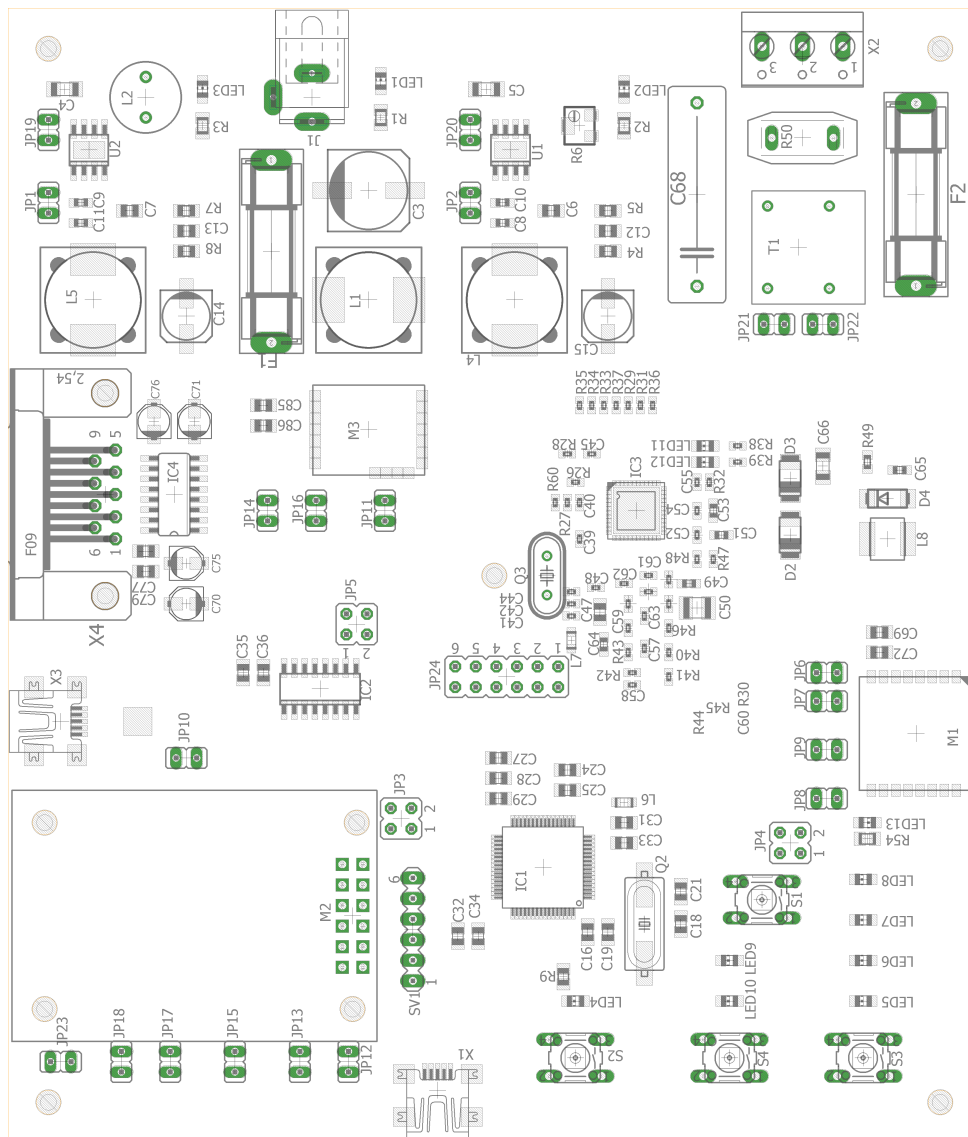
B DOSKA PLOŠNÝCH SPOJOV



Obr. B.1: Spoje strana Top



Obr. B.2: Spoje strana Bottom



Obr. B.3: Rozloženie súčiastok strana Top

	Part	Value	Device	Package
1	C1	0,1u/35V	C-EUC0402	C0402
2	C2	0,1u/35V	C-EUC0402	C0402
3	C3	100u/35V	CPOL-EU_SMD_F12	SMD_F12
4	C4	10u/35V	C-EUC1206	C1206
5	C5	10u/35V	C-EUC1206	C1206
6	C6	4,7u/35V	C-EUC0805	C0805
7	C7	4,7u/35V	C-EUC0805	C0805
8	C8	0,33u	C-EUC0603	C0603
9	C9	0,33u	C-EUC0603	C0603
10	C10	0,33u/25V	C-EUC0603	C0603
11	C11	0,33u/25V	C-EUC0603	C0603
12	C12	47p/630V	C-EUC0805	C0805
13	C13	47p/630V	C-EUC0805	C0805
14	C14	100u/6V3	CPOL-EU_SMD_C6	SMD_C6
15	C15	56u/25V	CPOL-EU_SMD_C6	SMD_C6
16	C16	0,1u/16V	C-EUC0805	C0805
17	C18	20p/50V	C-EUC0805	C0805
18	C19	10u/6V3	C-EUC0805	C0805
19	C21	20p/50V	C-EUC0805	C0805
20	C23	0,1u/16V	C-EUC0805	C0805
21	C24	10u/6V3	C-EUC0805	C0805
22	C25	0,1u/16V	C-EUC0805	C0805
23	C26	0,1u/16V	C-EUC0805	C0805
24	C27	10u/6V3	C-EUC0805	C0805
25	C28	10u/6V3	C-EUC0805	C0805
26	C29	0,1u/16V	C-EUC0805	C0805
27	C30	0,1u/16V	C-EUC0805	C0805
28	C31	10u/6V3	C-EUC0805	C0805
29	C32	10u/6V3	C-EUC0805	C0805
30	C33	0,1u/16V	C-EUC0805	C0805
31	C34	0,1u/16V	C-EUC0805	C0805
32	C35	10u/6V3	C-EUC0805	C0805
33	C36	0,1u/16V	C-EUC0805	C0805
34	C37	0,1u/16V	C-EUC0805	C0805
35	C39	0,1u/16V	C-EUC0402	C0402
36	C40	0,1u/16V	C-EUC0402	C0402

Tab. B.1: Zoznam súčiastok 1/6

37	C41	10u/6V3	C-EUC0402	C0402
38	C42	0,1u/16V	C-EUC0402	C0402
39	C44	47p/630V	C-EUC0402	C0402
40	C45	0,1u/16V	C-EUC0402	C0402
41	C47	10u/35V	C-EUC0805	C0805
42	C48	0,1u/35V	C-EUC0402	C0402
43	C49	0,1u/35V	C-EUC0603	C0603
44	C50	10u/35V	C-EUC1210	C1210
45	C51	10u/6V3	C-EUC0603	C0603
46	C52	0,1u/16V	C-EUC0402	C0402
47	C53	10u/6V3	C-EUC0603	C0603
48	C54	0,1u/16V	C-EUC0402	C0402
49	C55	0,1u/16V	C-EUC0402	C0402
50	C57	100n/100V	C-EUC0402	C0402
51	C58	330p/50V	C-EUC0402	C0402
52	C59	68p/100V	C-EUC0402	C0402
53	C60	100n/100V	C-EUC0402	C0402
54	C61	27p/100V	C-EUC0402	C0402
55	C62	68p/100V	C-EUC0402	C0402
56	C63	4p7/50V	C-EUC0402	C0402
57	C64	10n/50V	C-EUC0603	C0603
58	C65	4n7/25V	C-EUC0603	C0603
59	C66	10u/50V	C-EUC1206	C1206
60	C67	10u/50V	C-EUC1206	C1206
61	C68	470n/310V	C-EU225-074X268	C225-074X268
62	C69	10u/6V3	C-EUC0805	C0805
63	C70	1u/35V	CPOL-EUB	PANASONIC_B
64	C71	1u/35V	CPOL-EUB	PANASONIC_B
65	C72	0,1u/16V	C-EUC0805	C0805
66	C73	10u/6V3	C-EUC0805	C0805
67	C74	0,1u/16V	C-EUC0805	C0805
68	C75	1u/35V	CPOL-EUB	PANASONIC_B
69	C76	1u/35V	CPOL-EUB	PANASONIC_B
70	C77	10u/6V3	C-EUC0805	C0805
71	C78	0,1u/16V	C-EUC0805	C0805
72	C79	0,1u/16V	C-EUC0805	C0805
73	C80	0,1u/16V	C-EUC0805	C0805

Tab. B.2: Zoznam súčiastok 2/6

74	C81	0,1u/16V	C-EUC0805	C0805
75	C82	0,1u/16V	C-EUC0805	C0805
76	C83	10u/6V3	C-EUC0805	C0805
77	C84	0,1u/16V	C-EUC0805	C0805
78	C85	0,1u/16V	C-EUC0805	C0805
79	C86	10u/6V3	C-EUC0805	C0805
80	C87	0,1u/16V	C-EUC0805	C0805
81	C88	0,1u/16V	C-EUC0805	C0805
82	C89	0,1u/16V	C-EUC0805	C0805
83	D1	SP05	SP05	SOT143-W
84	D2	D2	DIODE-DO-214AC	DO-214AC
85	D3	D3	DIODE-DO-214AC	DO-214AC
86	D4	D4	DIODE-DO214AA	DO214AA
87	D5	D5	DIODE-DO214AA	DO214AA
88	D6	SP05	SP05	SOT143-W
89	F1	4A	SH22,5	SH22,5
90	F2	4A	SH22,5	SH22,5
91	IC1	STM32F401REB	STM32F401REB	LQFP64
92	IC2	MUX	MUX	SOIC16N
93	IC3	ST7580	ST7580	VFQFPN48
94	IC4	MAX3232ESE	MAX3232ESE	SO16
95	IC5	CP2102	CP2102	MLP28
96	J1	19,5V IN	JACK-PLUG1	SPC4078
97	JP1	VDD Measure	JP1E	JP1
98	JP2	VCC Measure	JP1E	JP1
99	JP3	MUX UART	JP2QE	JP2Q
100	JP4	RF UART	JP2QE	JP2Q
101	JP5	MUX Addr	JP2QE	JP2Q
102	JP6	RF_SEL_MODE0	JP1E	JP1
103	JP7	RF_SEL_SHDN	JP1E	JP1
104	JP8	RF_RST	JP1E	JP1
105	JP9	RS_SEL_RST	JP1E	JP1
106	JP10	USB_RST	JP1E	JP1
107	JP11	BT_SEL_STAT	JP1E	JP1
108	JP12	ETH_SEL_TRIG	JP1E	JP1
109	JP13	ETH_TRIG	JP1E	JP1
110	JP14	BT_SEL_RST	JP1E	JP1

Tab. B.3: Zoznam súčiastok 3/6

111	JP15	ETH_FRST	JP1E	JP1
112	JP16	BT_RST	JP1E	JP1
113	JP17	ETH_SEL_RST	JP1E	JP1
114	JP18	ETH_RST	JP1E	JP1
115	JP19	GND	JP1E	JP1
116	JP20	AGND	JP1E	JP1
117	JP21	Cpl Signal	JP1E	JP1
118	JP22	Cpl Gnd	JP1E	JP1
119	JP23	GND	JP1E	JP1
120	JP24	PLC to MCU	JP6QE	JP6Q
121	L1	100uH	DR127	DR127
122	L2	Bead	L-EU6000-XXX-RC	6000-XXXX-RC
123	L4	18uH	DR127	DR127
124	L5	7uH	DR127	DR127
125	L6	Bead	L-EUL2012C	L2012C
126	L7	Bead	L-EUL2012C	L2012C
127	L8	220u	L-USL5650M	L5650M
128	L9	4u7	DO3316P	DO3316P
129	LED1	Green	LEDCHIP-LED0805	CHIP-LED0805
130	LED2	Green	LEDCHIP-LED0805	CHIP-LED0805
131	LED3	Green	LEDCHIP-LED0805	CHIP-LED0805
132	LED4	Green	LEDCHIP-LED0805	CHIP-LED0805
133	LED5	Green	LEDCHIP-LED0805	CHIP-LED0805
134	LED6	Green	LEDCHIP-LED0805	CHIP-LED0805
135	LED7	Green	LEDCHIP-LED0805	CHIP-LED0805
136	LED8	Green	LEDCHIP-LED0805	CHIP-LED0805
137	LED9	Green	LEDCHIP-LED0805	CHIP-LED0805
138	LED10	Green	LEDCHIP-LED0805	CHIP-LED0805
139	LED11	Green	LEDCHIP-LED0805	CHIP-LED0805
140	LED12	Green	LEDCHIP-LED0805	CHIP-LED0805
141	LED13	Green	LEDCHIP-LED0805	CHIP-LED0805
142	M1	SP1ML	SP1ML	SP1ML
143	M2	WIZNET	WIZNET	WIZNET
144	M3	SPBT3.0DP2	SPBT3.0DP2	SPBT3.0DP2
145	Q2	8MHz	CRYSTALHC49UP	HC49UP
146	Q3	8MHz	CRYSTALHC49S	HC49/S
147	R1	8k2	R-EU_M0805	M0805

Tab. B.4: Zoznam súčiastok 4/6

148	R2	8k2	R-EU_M0805	M0805
149	R3	560R	R-EU_M0805	M0805
150	R4	22k1	R-EU_R0805	R0805
151	R5	160k	R-EU_R0805	R0805
152	R6	200k	R-TRIMM3214W	RTRIM3214W
153	R7	51k	R-EU_R0805	R0805
154	R8	22k1	R-EU_R0805	R0805
155	R9	10k	R-EU_R0805	R0805
156	R10	4k7	R-EU_M0805	M0805
157	R11	10k	R-EU_R0805	R0805
158	R12	560R	R-EU_M0805	M0805
159	R13	10k	R-EU_R0805	R0805
160	R14	560R	R-EU_M0805	M0805
161	R15	560R	R-EU_M0805	M0805
162	R16	560R	R-EU_M0805	M0805
163	R17	560R	R-EU_M0805	M0805
164	R18	4k7	R-EU_M0805	M0805
165	R19	4k7	R-EU_M0805	M0805
166	R20	4k7	R-EU_M0805	M0805
167	R21	4k7	R-EU_M0805	M0805
168	R22	10k	R-EU_R0805	R0805
169	R23	4k7	R-EU_M0805	M0805
170	R24	560R	R-EU_M0805	M0805
171	R25	560R	R-EU_M0805	M0805
172	R26	10k	R-EU_R0402	R0402
173	R27	10k	R-EU_R0402	R0402
174	R28	10k	R-EU_R0402	R0402
175	R29	10k	R-EU_R0402	R0402
176	R30	91R	R-EU_R0402	R0402
177	R31	10k	R-EU_R0402	R0402
178	R32	10k	R-EU_R0402	R0402
179	R33	10k	R-EU_R0402	R0402
180	R34	10k	R-EU_R0402	R0402
181	R35	10k	R-EU_R0402	R0402
182	R36	10k	R-EU_R0402	R0402
183	R37	10k	R-EU_R0402	R0402
184	R38	560R	R-EU_R0402	R0402

Tab. B.5: Zoznam súčiastok 5/6

185	R39	560R	R-EU_R0402	R0402
186	R40	47k	R-EU_R0402	R0402
187	R41	47k	R-EU_R0402	R0402
188	R42	2k	R-EU_R0402	R0402
189	R43	4k7	R-EU_R0402	R0402
190	R44	24k	R-EU_R0402	R0402
191	R45	10k/1%	R-EU_R0402	R0402
192	R46	33k/1%	R-EU_R0402	R0402
193	R47	24k	R-EU_R0402	R0402
194	R48	24k	R-EU_R0402	R0402
195	R49	150R	R-EU_R0603	R0603
196	R50	320 V	P594	P594
197	R51	33k	R-EU_M1206	M1206
198	R52	47k	R-EU_M1206	M1206
199	R53	4k7	R-EU_M0805	M0805
200	R54	560R	R-EU_M0805	M0805
201	R55	10k	R-EU_R0805	R0805
202	R56	10k	R-EU_R0805	R0805
203	R57	10k	R-EU_R0805	R0805
204	R58	10k	R-EU_R0805	R0805
205	R59	10k	R-EU_R0805	R0805
206	R60	330R	R-EU_R0402	R0402
207	S1	PB_Reset_MCU	10-XX	B3F-10XX
208	S2	PB_CONF	10-XX	B3F-10XX
209	S3	PB_IO	10-XX	B3F-10XX
210	S4	PB_TRANS	10-XX	B3F-10XX
211	SV1	STLink	MA06-1	MA06-1
212	T1	Trafo	TRAFO	PE-65612
213	U1	LMR23630	LMR2630ADDA	SOIC8
214	U2	LMR23630	LMR2630ADDA	SOIC8
215	X1	MINI USB	MINI-USB-UX60A-MB	UX60A-MB-5ST
216	X2	PLC	W237-103	W237-103
217	X3	MINI USB	MINI-USB-UX60A-MB	UX60A-MB-5ST
218	X4	RS-232	F09H	F09H

Tab. B.6: Zoznam súčiastok 6/6