

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2016

Bc. Pavel Novák



# 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

**ÚZKOPÁSMOVÝ PLC MODEM**

NARROWBAND PLC MODEM

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Pavel Novák**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Petr Mlýnek, Ph.D.**

**BRNO 2016**



# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Telekomunikační a informační technika**

Ústav telekomunikací

**Student:** Bc. Pavel Novák

**ID:** 125565

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2015/16

**NÁZEV TÉMATU:**

## Úzkopásmový PLC modem

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Prostudujte úzkopásmovou technologii Power Line Communication (PLC). Prověřte základní členění hardwarových prostředků pro realizaci úzkopásmového PLC modemu. Dle vybraného řídicího obvodu navrhnete a realizujete dva PLC modemy. Proveďte ověření komunikace a měření v reálné zástavbě.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

[1] FERREIRA, H. 2010. Power line communications: theory and applications for narrowband and broadband communications over power lines. Hoboken, NJ: Wiley, xxvii, 507 p. ISBN 978-047-0740-309.

[2] GALLI, Stefano, Anna SCAGLIONE a Zhifang WANG. 2011. For the Grid and Through the Grid: The Role of Power Line Communications in the Smart Grid. Proceedings of the IEEE. 99(6): 998-1027. DOI:

10.1109/JPROC.2011.2109670. ISSN 0018-9219. Dostupné také z:

<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5768099>

**Termín zadání:** 1.2.2016

**Termín odevzdání:** 17.8.2016

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Petr Mlýnek, Ph.D.

**Konzultant diplomové práce:**

**doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc., předseda oborové rady**

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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 je zaměřena na využití technologie PLC. Cílem je sestavení zařízení, které bude komunikovat v oblasti úzkopásmového přenosového frekvenčního pásma. Přenos komunikace mezi PLC prvky probíhá skrze nn síťové rozvody. Ke změně charakteru datového signálu je zde využito frekvenční a fázové modulace. Vysílací a přijímací parametry jsou podrobeny standardu CENELEC. V práci se dostává větší pozornosti hardwarové oblasti sestavení komunikačního prvku nežli oblasti programové.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Komunikace po silovém vedení, úzkopásmová přenos, frekvenční modulace, fázová modulace, PLC modem, nosná frekvence, CENELEC

## **ABSTRACT**

The theses is focused on the use of PLC technology. The aim of the thesis is creating device which communicates in a narrowband transmission frequency band. Transmission of communication between PLC elements runs through the low voltage distribution network. The frequency and phase modulations are used in order to change the character of data signal. Transmitter and receiver parameters are subjects to the CENELEC standard. The theses gives more attention to the area of hardware build communication element rather than the area of programming.

## **KEYWORDS**

Power-line communication, narrowband transmission, frequency modulation, phase modulation, PLC modem, carrier frequency, CENELEC

NOVÁK, Pavel *Úzkopásmový modem PLC*: diplomová práce. BRNO: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2016. 65 s. Vedoucí práce byl Ing. Petr Mlýnek, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Úzkopásmový modem PLC“ jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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(ka) uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil(a) autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl(a) nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom(a) 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(-ky)

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Petru Mlýnkovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

BRNO .....

.....

podpis autora(-ky)



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 diplomové 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(-ky)



EVROPSKÁ UNIE  
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ  
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



# OBSAH

Úvod	12
1 Datová komunikace po silnoproudém vedení	13
2 Historie a vývoj datové komunikace po síti	14
3 Širokopásmový a úzkopásmový přenos dat	16
4 Standardy a normy pro datovou komunikaci po síti	17
4.1 CENELEC . . . . .	17
4.2 FCC . . . . .	18
4.3 ARIB . . . . .	18
5 Přehled dostupných čipů a kitů	19
5.1 ČIPY . . . . .	19
5.1.1 AMIS-49587 . . . . .	19
5.1.2 ST7538 . . . . .	19
5.1.3 TDA5051 . . . . .	20
5.1.4 IT700 . . . . .	20
5.1.5 ST7580 . . . . .	20
5.1.6 ST7590 . . . . .	20
5.1.7 SIG60 . . . . .	20
5.1.8 SIG61 . . . . .	21
5.1.9 MAX2992 . . . . .	21
5.1.10 AC-PLM-1 . . . . .	21
5.2 KITY . . . . .	21
5.2.1 EVALKITST7580-1 . . . . .	23
5.2.2 EVALKITST7590-Q1 . . . . .	23
5.2.3 CY3274-HV . . . . .	23
5.2.4 PLC-UART-12V . . . . .	23
5.2.5 SIG60 a SIG61 vývojový kit . . . . .	24
5.2.6 PLM-24 . . . . .	24
5.2.7 Cool Phoenix 2 (CPX2) . . . . .	24
5.3 Čip ST7580 a Demonstrační kit EVALKITST7580 . . . . .	25



5.3.1	Čip ST7580 . . . . .	25
5.3.2	EVALKITST7580 . . . . .	25
<b>6</b>	<b>Realizace PLC modemu</b>	<b>27</b>
6.1	Návrh a realizace obvodu pro napájení . . . . .	27
6.1.1	Návrh desky napájecího zdroje . . . . .	28
6.1.2	Regulace výstupního napětí zdroje . . . . .	28
6.2	Návrh a realizace obvodů pro zpracování signálu a řídicí jednotku . . . . .	29
6.2.1	Obvod pro zpracování signálu . . . . .	30
6.2.2	Řídicí obvod . . . . .	30
6.2.3	Přijímací a vysílací obvody . . . . .	32
6.2.4	Obvod pro synchronizaci . . . . .	34
6.2.5	Převodník USB - UART rozhraní . . . . .	34
6.2.6	Navržení desky PLC modemu . . . . .	35
6.3	Výroba DPS . . . . .	37
6.4	Funkce pinů, tlačítek a propojek na zařízení . . . . .	38
6.4.1	Tlačítka . . . . .	40
6.4.2	Propojky . . . . .	40
6.4.3	LED diody . . . . .	40
6.4.4	Piny . . . . .	42
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>44</b>
	<b>Literatura</b>	<b>46</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>49</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>50</b>
	<b>A Schéma napájecího zdroje a modemu</b>	<b>51</b>
	<b>B DPS napájecího zdroje a plc modemu</b>	<b>58</b>
	<b>C Seznam použitých součástek</b>	<b>62</b>
	<b>D Obsah CD</b>	<b>65</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

2.1	Pohled na možné rozdělení telekomunikačních služeb na silnoproudých vedeních [3]	15
4.1	Grafické rozdělení frekvenčního pásma pro úzkopásmovou komunikaci [3]	17
6.1	Schématické zapojení napájecího modulu	28
6.2	Návrh DPS napájecího modulu	28
6.3	Schématické zapojení regulace napětí na 3.3 V	29
6.4	Návrh DPS pro regulaci napětí	29
6.5	Návrh DPS pro regulaci napětí - plánek osazení	30
6.6	Schématické zapojení IO ST7580	31
6.7	Schématické zapojení mikrokontroléru STM32	32
6.8	Schématické zapojení přenosového, přijímacího filtru a vazebního obvodu	34
6.9	Schématické zapojení obvodu pro detekci nulového napětí	34
6.10	Schématické zapojení převodníku USB/UART	35
6.11	Návrh desky modemu - vrchní strana	36
6.12	Návrh desky modemu - spodní strana	38
6.13	DPS modemu	39
6.14	DPS napájecího modulu	39
6.15	PLC modem - pohled shora	43
A.1	Schématické zapojení zdroje	51
A.2	Schématické zapojení obvodu ST7580	52
A.3	Schématické zapojení obvodu STM32	53
A.4	Schématické zapojení obvodu převodníku USB-UART	54
A.5	Schématické zapojení obvodu pro detekování nuly	55
A.6	Schématické zapojení vazebního a filtračního obvodu	56
A.7	Schématické zapojení regulátoru napětí 3.3 V	57
B.1	Spodní strana DPS zdroje	58
B.2	Osazovací plán DPS zdroje	58
B.3	Vrchní strana DPS PLC modemu	59
B.4	Osazovací plán DPS PLC modemu - vrchní strana	59
B.5	Spodní strana DPS PLC modemu	60
B.6	Osazovací plán DPS PLC modemu - spodní strana	60
B.7	Spodní strana DPS regulátoru napětí	61
B.8	Osazovací plán DPS regulátoru napětí	61

## SEZNAM TABULEK

3.1	Přehled vlastností úzkopásmového a širokopásmového přenosu dat . . .	16
5.1	Přehled vlastností jednotlivých integrovaných obvodů . . . . .	22
6.1	Funkce propojek . . . . .	41
6.2	Způsoby načtení zavaděče . . . . .	41
6.3	Popis funkcí jednotlivých pinů . . . . .	42
C.1	Soupis součástí zdroje napájení . . . . .	62
C.2	Soupis součástí PLC modemu . . . . .	62
C.3	Soupis součástí regulátoru napětí . . . . .	64

# ÚVOD

Společnost si už začala uvědomovat možné následky nevhodného zacházení s neobnovitelnými zdroji energie jako je ropa, uhlí apod., bez kterých se dnešní svět zatím nedokáže obejít. A v blízké budoucnosti tomu určitě nebude jinak. Je potřeba začít využívat tyto zdroje s rozvahou a co možná nejvíce úsporně. Proto se dnešní doba začíná vydávat směrem k efektivnosti, úsporám a automatizaci snad ve všech odvětvích. Mezi tato odvětví můžeme zařadit automobilový průmysl (např. snižování spotřeby paliva při zachování stejné výkonnosti motoru), dále pak energetický průmysl (např. využití obnovitelných zdrojů energie, levná drahá energie) nebo i oblast elektronických přístrojů a výpočetní techniky (snižování nákladů na výrobu, delší životnost zařízení, nižší příkon).

Vše co bylo zmíněno výše se samozřejmě odráží i v oblasti komunikačních technologií. V této oblasti se vývojové společnosti zejména snaží snížit energetickou spotřebu komunikačních prvků, využívat technologie, které jsou již zaběhlé, ověřené a funkční a zároveň je propojit do celku s novými metodami a technologiemi, což bude i záměrem mé diplomové práce.

Zadáním mé diplomové práce je vytvoření komunikačního přijímače a vysílače, které budou ke své vzájemné komunikaci využívat běžné silové rozvody nízkého napětí. Jde vlastně o propojení běžné technologie s technologií moderní do jednoho celku. Běžnou neboli ověřenou technologií je zde myšlena rozvodná síť nízkého napětí. Moderní technologii představuje power-line integrovaný obvod, díky kterému je umožněná úzkopásmová komunikace.

V mé diplomové práci budu zkoumat veškeré dnes dostupné a známé komunikační modemy (samotné integrované obvody i modemy jako celistvé zařízení), které na principu komunikace po energetickém vedení pracují. Nejznámější a nejvíce nám dostupné modemy (pouze integrované obvody) uvedu ve své práci a vytvořím přehledné srovnání mezi nimi. Vybrané IO ale i modemová zařízení mi pak budou vzorem při vytváření vlastního komunikačního zařízení. Dalším krokem v mé práci bude sestavení schématického zapojení komunikačního modulu včetně periferních obvodů pro komunikaci s externími zařízeními a napájení. Z vytvořeného schématického nákresu bude sestaven návrh desky plošného spoje. Úroveň desky by měla být navržena tak, aby bylo možné vyrobit desku u některého z výrobců plošných spojů.

Po úspěšném osazení a proměření zařízení bude mým úkolem vytvoření jednoduchého programu pro obsluhu plc zařízení. Díky kterému bych měl být schopen přijímat a odesílat data mezi dvěma mnou vytvořenými modemy. Završením celé moji diplomové práce by pak mělo být provedení úspěšné komunikace mezi jednotlivými modemy v reálném prostředí nějaké zástavby.

# 1 DATOVÁ KOMUNIKACE PO SILNOPROUDÉM VEDENÍ

PLC neboli Power-line Communication, Power-line Carrier, Power-line Digital Subscriber Line (PDSL), Mains Communication, Power-line Telecommunications či Power-line Networking (PLN) - všemi těmito výrazy lze označit datové přenosy po silovém vedení, a to jak širokopásmové tak i úzkopásmové. V češtině se pak asi nejvíce užívá onen výraz „Datová komunikace po silnoproudém vedení“. Tento druh datové komunikace má velkou výhodu v tom, že není potřeba vytvářet žádné komunikační kanály. K přenosu zpráv a dat se totiž využívá stávající síť energetického napětí. Nepotřebnost vytváření dalších komunikačních rozvodů pak v mnohých případech dokáže ušetřit nepatrné finanční částky, což je hlavní předností tohoto typu komunikace. Nevýhodou pro tuto formu komunikace je silné zarušení v síti, zvýšená náročnost kvůli nutnosti dodržení elektromagnetické kompatibility a vysoký útlum signálu, který navíc není v čase konstantní. Existují dva typy rušení elektrických sítí. Prvním typ rušení je úzkopásmové rušení. To vzniká zapojením elektrických zařízení do sítě (např. při spuštění TV, rozhlasu či sepnutí zářivek). Druhým typem rušení je rušení impulsní, které je vytvářeno např. stmívači osvětlení, tyristorovými regulátory apod. Rušení je také zapříčiněno šumem, který je v síti stále a je tvořeno součtem dílčích malých rušení jednotlivých zařízení.

Této technologii pro přenos dat po silovém vedení se využívá v nejvyšší míře v oblastech energetiky, kde se tato technologie používá k dálkovému sběru dat z energetických zařízení (aktuální stavy elektroměrů, plynoměrů apod.) Další oblastí, kde se s PLC lze setkat, jsou domácnosti a bytové jednotky, v nichž lze za pomoci PLC vytvořit tzv. HAN - Home Area Network. Jedná se o domácí počítačovou síť, která nahrazuje použití wifi zařízení či ethernetové kabeláže. Poslední oblastí, kde se PLC technologie vyskytují je tzv. HDO neboli Hromadné dálkové ovládání. Pomocí HDO se přenáší jednoduché příkazy pro určitou skupinu zařízení v síti (sepnutí skupiny kotlů, veřejného osvětlení apod.).

Samotný princip přenosu dat spočívá v použití modulačních technik, které jsou vhodné pro širokopásmový i úzkopásmový přenos. Data, která jsou určena pro přenos, jsou nejprve pomocí modulační techniky (PSK, FSK, OFDM apod.) namodulována na nosnou frekvenci 50 Hz a poté jsou takto namodulovaná data přenesena skrze energetickou síť až k příjemci. Ten je díky vazebnímu obvodu (frekvenční filtr) oddělí od nosné frekvence a dostane tak zpátky původní data.

## 2 HISTORIE A VÝVOJ DATOVÉ KOMUNIKACE PO SÍTI

Datová komunikace není žádným novým objevem posledních let. Ba naopak! První přenosy dat po silovém vedení byly uskutečněny již začátkem druhé poloviny 19. století. V té době v Londýně, jistý Edward Davy zkonstruoval systém pro vzdálené monitorování stavu baterií na bezobslužných místech telekomunikačního systému. V roce 1920 byl zprovozněn přenos hlasu po vysokonapěťovém vedení. V té době neexistovalo dobré pokrytí měst telefonními sítěmi, a proto se využilo již vybudovaných energetických sítí. Jednalo se o obousměrný komunikační kanál, kterého lidé využívali pro správu zařízení a monitorování stavů mezi trafostanicemi a elektrárnami. Roku 1930 byl německou firmou Siemens vybudován systém RCS – Ripple carrier signalling pro nás známý pod zkratkou HDO neboli Hromadné dálkové ovládní. HDO byl oproti předchozímu systému pouze jednosměrným komunikačním kanálem, který byl využíván výhradně ke spínacím úkonům (sepnutí a vypnutí vytápění). Tento systém byl provozován na nízkonapěťových systémech a například u nás je tento systém stále hojně využíván. Výhodou tohoto systému je schopnost projít signálu skrze distribuční transformátory do rozvodné sítě. To je umožněno díky nízké frekvenci datového signálu, která je řádově v desítkách Hz.

Další vývoj se uskutečnil v oblastech středních a nízkých distribučních sítí. Objevují se efektivnější modulační techniky, díky nimž dochází k nárůstu datového přenosu spolu s navýšením hodnoty pracovní frekvence. V roce 1984 byl uveden do provozu systém Melko. Jednalo se o obousměrnou datovou komunikaci ve středních a nízkých napěťových distribučních sítích. Přenosová rychlost dosahovala 50 b/s za použití PSK modulace při pracovní frekvenci 3 – 4,8 kHz. Melko systém se využíval pro dálkový odečet dat a správu určitých zařízení. Systém je i v dnešní době stále využíván, ovšem pouze jen v konečných distribučních systémech.

Prudký rozvoj v oblasti PLC nastal v letech 1959, kdy společnosti Texas Instruments a Semiconductor začali vyrábět nízko-nákladové integrované obvody. Následně roku 1971 přišla společnost Intel na trh s mikročipy. Prvním nízko-nákladovým přenosovým PLC modulem pro domácnosti se stalo zařízení od firmy Pico Electronics v roce 1979. Jednalo se o tzv. X-10 moduly se svým vlastním komunikačním protokolem X-10 a datovou rychlostí 120 b/s. Dnes X-10 nahradily sofistikovanější systémy od společností LonWorks či CEBus. [2]

V 90. letech vzrostl zájem o využívání elektrické domácí distribuční sítě díky masovému rozšíření internetu. Vývoj PLC komunikačních kanálů, modulačních technik a komunikačních protokolů se tímto prudce rozšířil.

V dnešní době je PLC vývoj zase o krok dále. Velký rozvoj je v oblasti kon-

cových distribučních energetických sítí a to jak v širokopásmových, tak i v úzkopásmových přenosech. Jako modulační techniky se používají nejen různé modifikace PSK a FSK modulací, ale také složitější modulační techniky s rozprostřeným spektrem OFDM. Spolu s propracovanějšími modulačními technikami stoupá i přenosová rychlost a odolnost vůči rušení v síti. S propracovanějším zpracováním signálu se zvyšuje i pracovní frekvence přenosových systémů. Problémem však je, že datové signály o vysokých frekvencích již neprojdou skrze distribuční transformátory. V koncových sítích je pak nutné, aby vzdálenost koncového zařízení od distribučního transformátoru nebyla delší jak 2 km, jinak je zapotřebí na trase použít opakovač. [3]



Obr. 2.1: Pohled na možné rozdělení telekomunikačních služeb na silnoproudých vedeních [3]

### 3 ŠIROKOPÁSMOVÝ A ÚZKOPÁSMOVÝ PŘENOS DAT

Úzkopásmové PLC systémy pracují na nižších frekvencích 3 – 500 kHz, čímž dosahují nižší datové rychlosti cca 100 kb/s. Nicméně úzkopásmové technologie mají dosah až několik kilometrů a při použití opakovačů je pak tento dosah ještě větší.

Širokopásmové PLC systémy fungují na frekvencích vyšších jak úzkopásmové a to v rozmezí 1,8 – 250 MHz. Rychlost datového přenosu pak může dosahovat až 100 Mb/s, ale vzdálenost dosahu je kratší.

V poslední době se úzkopásmovému přenosu dat dostává více pozornosti a to díky aplikacím pro tzv. Smart Grid. Další oblastí, kde se úzkopásmová technologie prosazuje, je Smart Energy Generation. V této oblasti se prosazuje zejména v podobě mikro-měničů u solárních panelů.

Hlavní uplatnění pro širokopásmové PLC systémy je v oblasti nazývané last-mile. V této oblasti jsou PLC systémy užívány pro internetovou distribuci a pro vytvoření domácích sítí (HAN - Home Area Network). Společně s vyšší datovou rychlostí a bez nutnosti zřizování další kabelové infrastruktury jsou PLC systémy brány jako efektivní a levná technologie pro domácnosti.

Tabulka tab.3.1 zobrazuje vlastnosti obou přenosů v přehledné podobě.

Tab. 3.1: Přehled vlastností úzkopásmového a širokopásmového přenosu dat

Typ přenosu	Úzkopásmový	Širokopásmový
Frekvence [kHz]	3 – 500	1800 – 250000
Rychlost přenosu [Mb/s]	0,1	100
Dosah vzdálenosti	méně jak 1 km	jednotky km
Oblast využití	Smart grid	internetová distribuce, HAN



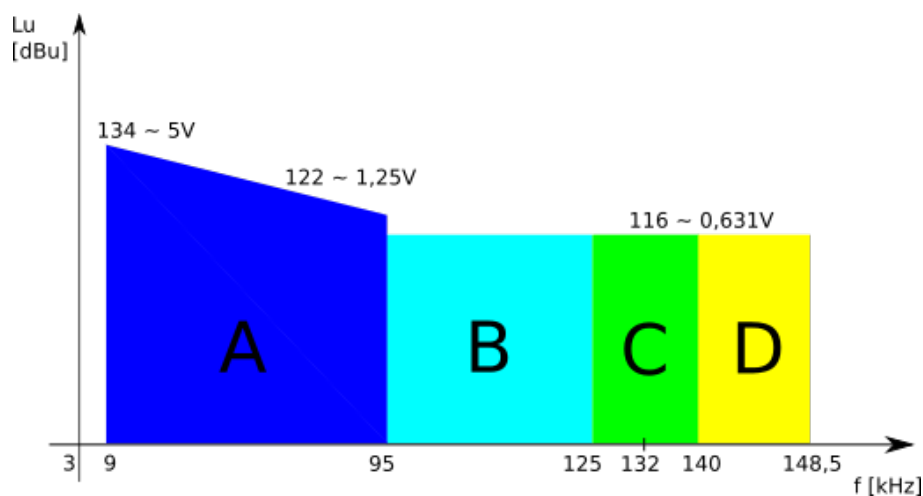
## 4 STANDARDY A NORMY PRO DATOVOU KOMUNIKACI PO SÍTI

Standardy pro datovou komunikaci na nízkonapětových (dále jen nn) elektrických instalacích se v různých částech světa liší. Neexistuje žádný ucelený standard pro celosvětové použití. V Evropě, USA či Japonsku je v každé z těchto oblastí stanovena jiná norma, podle které je nutno se řídit. V této kapitole bude něco málo zmíněno o jednotlivých regulích pro získání základního přehledu v oblasti PLC úzkopásmových standardů.

### 4.1 CENELEC

Pro Evropskou Unii, Švýcarsko a Norsko je regulace pro signály na nn instalacích prezentována v Evropském standardu CENELEC - EN 50 0651-1(EN, 1991) dále jen CENELEC, který je zobrazen na obr.4.1 Standard je významně odlišný od standardů používaných v USA a Japonsku, kde mají vyhrazené frekvenční pásmo skoro až 500 kHz pro PLC komunikaci na nn sítích. CENELEC nahrazuje všechny dřívější normy, které byly specifické pro jednotlivé země. Tento standard stanovuje kmitočtová pásma pro různé aplikační použití, určuje limitní hodnoty výstupních napětí přenosu a hodnoty možného vyzařovaného rušení. Co standard nespecifikuje jsou modulační techniky. [2]

Frekvenční pásmo podle normy CENELEC je rozděleno na 4 pásma označená písmeny A až D. Pásmo A je v rozmezí 9 – 95 kHz a je rezervováno pro distribuční společnosti. Pásma B, C a D jsou rezervovány pro privátní účely odběratelů. V pásmu C je vyžadován protokol o přistoupení k médiu CSMA.



Obr. 4.1: Grafické rozdělení frekvenčního pásma pro úzkopásmovou komunikaci [3]

## 4.2 FCC

FCC (Federal Communications Commission) má na starosti regulaci elektromagnetických emisí v zemích USA. Do normy FCC v části 15 jsou zahrnuty stanovy a podmínky pro přístup PLC systémů k nízkonapětovému elektrickému vedení. Frekvenční pásmo vyhrazené pro úzkopásmovou PLC komunikaci dle FCC je v rozmezí 10 – 490 kHz.

## 4.3 ARIB

V oblasti Asie, konkrétně pak v Japonsku se o řízení a stanovení norem stará organizace ARIB (Association of Radio Industries and Businesses), která pro úzkopásmovou komunikaci po nn sítích povolila frekvenční rozsah 10 – 450 kHz.

## 5 PŘEHLED DOSTUPNÝCH ČIPŮ A KITŮ

V této kapitole jsou rozebrány jednotlivé čipy a kity určené pro oblast PLC. V první části budou probrány samotné čipy s jejich základními vlastnostmi. Poté následuje druhá část kapitoly zabývající se rozбором demonstračních desek tzv. kitů. Demonstrační deska (kit) je zařízení obsahující nejen samotný PLC modem, ale i napájecí moduly, komunikační rozhraní apod. Řazení IO je od nejstarších, jednodušších až po nejnovější, složitější. Na základě rozboru, dle nejvíce vhodných parametrů (jako cena, dostupnost, programová složitost a jiné) pak vyberu jeden čip pro tvorbu PLC modemu. Tomuto čipu pak bude věnován detailnější rozbor. Při výběru bude kladen důraz na úzkopásmový přenos, cenu a dostupnost zařízení.

Na konci podkapitoly o čipech je uvedena přehledná tabulka 5.1 se všemi integrovanými obvody, které byly v této kapitole probrány. Tabulka znázorňuje technické informace, které jsou pro zvolení vhodného obvodu, s nímž budeme dále pracovat, zásadní.

### 5.1 ČIPY

V této kapitole bude probráno několik čipů, které nejvíce vyhovovali požadavkům pro zpracování signálu přes silové vedení.

Postupně budou popsány tyto čipy: AMIS-49587, ST7538, TDA5051, IT700, ST7580, ST7590, SIG60, SIG61, MAX2992, AC-PLM-1.

#### 5.1.1 AMIS-49587

Výrobek americké firmy ON Semiconductor, který využívá S-FSK modulace pro robustní přenos s nízkou datovou rychlostí. AMIS-49587 je postaven na ARM 7TDMI procesoru. Díky řadě integrovaných služeb zajišťuje fyzickou vrstvu MAC. Přenos dat je poloduplexního typu. Možnost programového nastavení nosné frekvence v rozmezí 9 – 95 kHz. Přenosová rychlost dosahuje až 2400 Bd/s. Výrobek splňuje normy IEC 61334-5 CENELEC EN 50065-1. [4]

#### 5.1.2 ST7538

Zařízení od Francouzsko-italské společnosti STMicroelectronics. Přenos dat v poloduplexním režimu s využitím FSK modulace. Rychlost přenosu dat až 4800 Bd/s. Programovatelná nosná frekvence v rozmezí 60 až 132.5 kHz. Volba synchronní a asynchronní komunikace. Splňuje normy EN 50065 CENELEC. [5]

### 5.1.3 TDA5051

TDA5051 je PLC modem od nizozemské firmy NXP Semiconductors. Vyhovuje normám EN50065-1. Tento obvod pracuje v asynchronním módě při ASK modulaci. Obvod umí plně generovat nosnou vlnu a její tvar. Přenosová rychlost až 1.2 kb/s a nosná frekvence je v rozmezí 95 až 148,5 kHz. [6]

### 5.1.4 IT700

Tento modem od společnosti Yitran má vysoce robustní a spolehlivou fyzickou vrstvu. Disponuje vlastním síťovým protokolem Y-Net. Obsahuje mikroprocesor 8051, AES 128 metodu pro šifrování přenosu a CSMA/CA metodu přístupu k médiu. Zařízení vyhovuje normám FCC, ARIB a CENELEC. U posledně zmíněné normy je rychlost přenosu dat v rozmezí 0,625 – 2,5 kb/s. Frekvenční rozsah je pak od 9 kHz až do 400 kHz. Pracuje s DCSK modulací signálu. K tomuto modemu byla špatně dohledatelná dokumentace. [7]

### 5.1.5 ST7580

Další z obvodů od Francouzsko-italské společnosti STMicroelectronics. Jedná se o plně integrovaný úzkopásmový modem na jednom integrovaném obvodu. Komunikuje s externími zařízeními v poloduplexním režimu. Podporuje AES-128 autentizační službu. Navíc obsahuje plně integrovaný AFE (analog front end). Signál může být modulován pomocí FSK či PSK modulace. Rychlost přenosu může dosahovat až 28.8 kb/s. Nosná frekvence zařízení je programovatelná až do 250 kHz. Splňuje normy CELENEC. Tento obvod bude později v kapitole 5.3 „Čip ST7580 a Demonstrační kit EVALKITST7580“. [8]

### 5.1.6 ST7590

Další z řady obvodů od Francouzsko-italské společnosti STMicroelectronics. Plně integrovaný úzkopásmový modem na jednom integrovaném obvodu. Využívá OFDM modulace. Na výběr je až 96 nosných frekvencí v pásmu CENELEC A. Všechny modulace jako BDPSK, QDPSK, 8DPSK jsou programovatelné a bitová rychlost dosahuje hodnot až 128 kb/s. Vhodné pro aplikace splňující normy CENELEC EN50065 a FCC. Fyzická vrstva plně vyhovuje PRIME standardu. [9]

### 5.1.7 SIG60

Jedná se o druhou generaci modemu pro digitální komunikaci přes bateriovou síť od izraelské společnosti Yamar Electronics. Více zařízení SIG60(61) tvoří multiplexní

sít s přístupem Master – Slave. Zařízení SIG60 může zastávat jak Master, tak Slave funkci. Dále modem disponuje tzv. Sleep módem, pro snížení spotřeby energie. Rychlost přenosu v rozmezí 9,6 až 115,2 kb/s při nosných frekvencích od 1,75 až 13 Mhz. Pracovní frekvence SIG60 je v rozmezí 1,75 Mhz až 13 Mhz a nesplňuje tudíž podmínky CELENEC. [10]

### **5.1.8 SIG61**

SIG61 je zařízení firmy Yamar Electronics. Modem SIG61 je určen jako Slave zařízení v SIG60 sítích. Jedná se o zařízení, jež je ovládané pomocí nadřazeného prvku SIG60. Až na možnost řízení komunikace modem disponuje stejnými vlastnostmi jako předchozí zařízení. [11]

### **5.1.9 MAX2992**

Modem vyrobený americkou společností Maxim Integrated vyhovuje standardům G3-PLC, CENELC, ARIB a FCC. Pracovní frekvence obvodu je v rozmezí 10 až 490 kHz. Datová rychlost dosahuje hodnot až 300 kb/s. Šifrování přenosu je uskutečněno pomocí AES-128 metody. Díky korekci chyb FEC a redundantní kontrole CRC16 se zvyšuje spolehlivost přenášených dat. Data mohou být modulována modulacemi typu OFDM, DBPSK, DQPSK či 8DPSK. [12]

### **5.1.10 AC-PLM-1**

Jedná se o úzkopásmový modem s poloduplexním režimem komunikace od kanadské společnosti Ariane Controls. Komunikace se sítí probíhá pomocí přístupové metody CSMA/CD. Dále je k dispozici MAC vrstva a možnost nastavení priority paketů. Pomocí SPI rozhraní může komunikovat s jakýmkoliv mikrokontrolérem nebo s PC pomocí paralelního portu. Nosná frekvence zařízení je programovatelná a to v rozmezí 50 až 500 kHz. Programovatelná je i rychlost přenášených dat a to od 100 do 30000 Bd/s. Modem využívá modulace FSK. Možnost nakonfigurování priority pro přenášené pakety. Detekce a korekce chyb pomocí CRC 16 a FEC. [13]

## **5.2 KITY**

Druhá část kapitoly je věnována kompletním demonstračním kitům (též nazývané vývojové kity). Tyto kity jsou plně funkčními zařízeními. Jsou tvořeny napájecí modulem, různými filtry pro přenos či zachytávání signálu, vhodným čipem pro zpracování signálu a mikrokontrolérem, který řídí komunikaci celého modemu, dále

Tab. 5.1: Přehled vlastností jednotlivých integrovaných obvodů

Modem	Společnost	Modulace	Rychlost přenosu	Přenos	Pracovní frekvence	Normy	Pouzdro	Cena
AMIS-49587	ON Semiconductor	S-FSK	až 2400 Bd/s	poloduplex	9 - 95 kHz	EN50065-1, IEC 61334-5-1	PLCC-28	7,28 \$
ST7538	STMicroelectronics	FSK	4800 Bd/s	poloduplex	60 - 132,5 kHz	EN50065-1, FCC	TQFP-44	7,24 \$
TDA5051	NXP Semiconductors	ASK	1,2 kb/s	poloduplex	95 - 148,5 kHz	EN50065-1	SO16	5,20 \$
IT700	Yitran	DCSK	0,625 - 2,5 kb/s	poloduplex	9 - 400 kHz	EN50065-1, FCC part 15, ARIB	QFN-56	10,24 \$
ST7580	STMicroelectronics	FSK, PSK	až 28,8 kb/s	poloduplex	až 250 kHz	EN50065, FCC part 15, ARIB	VFQFPN-48	11,07 \$
ST7590	STMicroelectronics	OFDM	až 128 kb/s	poloduplex	96 subkanálu	EN50065, FCC, CENELEC	VFQFPN-48	12,25 \$
SIG60(61)	Yamar Electronics	??	9,6 - 115,2 kb/s	??	1,75 - 13 MHz	??	QFN28	7,45 \$
MAX2992	Maxim Integrated	OFDM, DBPSK, DQPSK, 8DPSK	až 300 kb/s	poloduplex	10 - 490 kHz	CENELEC, FCC, ARIB	64-LQPF	6,99 \$
AC-PLM-1	Ariane Controls	FSK	30000 Bd/s	poloduplex	50 - 500 kHz	??	PQFP-44	??

pak disponuje rozhraním pro komunikaci s okolními zařízeními a pro konfiguraci samotného kitu.

V této části bude probráno 8 vývojových kitů: EVALKITST7580-1, EVALKITST7590-Q1, CY3274-HV, PLC-UART-12V, SIG60 a SIG61 vývojový kit, PLM-24, Cool Phoenix 2 (CPX2).

### **5.2.1 EVALKITST7580-1**

Demonstrační kit navržený firmou STMicroelectronics . Jedná se o dvoudeskové provedení, kdy jedna deska tvoří samostatný napěťový zdroj a druhá deska je tvořena FSK/PSK úzkopásmovým systémem a modemem ST7850. O komunikaci se stará mikrokontrolér STM32. Externí přístup je řešen pomocí rozhraní typu: USB, SPI, I2C, USART a JTAG. Kit splňuje podmínky pro CENELEC EN50065 a FCC část 15. Součástí kitu je i GUI pro OS Windows. Cena kitu se pohybuje okolo 245 \$. [14]

### **5.2.2 EVALKITST7590-Q1**

Tento vývojový kit je od STMicroelectronics. Zařízení tvoří dvě desky. Jednu desku tvoří 7.5 W zdroj napětí a na druhé desce se nachází PLC systém s modemem ST7590 a mikrokontrolérem STM32. Kit poskytuje I/O rozhraní jako USB, I2C, UART. Součástí kitu je také jednoduché uživatelské grafické rozhraní. Splňuje normy CENELEC EN60065 a FCC 15. Cena zařízení je 245 \$. [15]

### **5.2.3 CY3274-HV**

Jedná se o vývojový kit, který je navržený americkou společností Cypress Semiconductor Corporation a je určen pro práci s datovou komunikací po silovém vedení (110 - 240 V). Zařízení má galvanicky oddělenou silovou a datovou část. Samotné zpracování signálu pomocí modemu CY8CPLC20. RS-232 a RJ-45 rozhraní pro komunikaci s kitem a pro komunikaci kitu s externím zařízením je určeno I2C. Data jsou přenášeny po silovém vedení rychlostí dosahující až 2.4 kb/s. Vývojový kit CY3274-HV splňuje standardy FCC pro Severní Ameriku a CENELEC pro Evropu. Součástí je GUI pro OS Windows 7. Cena zařízení je 390 \$. [16]

### **5.2.4 PLC-UART-12V**

Kit od firmy SparkFun Electronics komunikující po silovém vedení (po AC i DC vedení). Komunikace probíhá obousměrně rychlostí až 19,2 kb/s. Kit je potřeba napájet 12 V DC. Pro bezdrátovou komunikaci je možné přidat modul PLC-UART Xbee, kdy se komunikace po vedení mezi externími zařízeními nahradí komunikací

bezdrátovou. Pro přenos dat na větší vzdálenosti slouží modul LinkSprite (opakováč). Na fyzické vrstvě se pracuje s FSK modulací. Pro nakonfigurování hlavní desky je určeno rozhraní USB, RS232 a RS485. Cenu kitu nelze dohledat. [17]

### 5.2.5 SIG60 a SIG61 vývojový kit

SIG60 vývojová deska firmy Yamar Electronics slouží společně s dalšími SIG zařízeními k rychlému sestavení komunikační sítě. Komunikace s externími zařízeními je uskutečněna pomocí UART rozhraní. Ke zpracování PLC komunikace je použit modem SIG60. Součástí zařízení je i testovací software. [18]

Vývojový kit SIG61 má stejné technické parametry. Jediné v čem se od SIG60 kitů liší je omezení postavení v komunikační síti, kdy prvky SIG61 jsou pouze zařízeními typu slave. Cenově se obě tyto zařízení pohybují kolem 365 \$ za jeden kus. [18]

### 5.2.6 PLM-24

Jedná se o jednoduché a levné řešení PLC modemu pro příjem a vysílání sériových dat s rychlostí až 2,4 kb/s. Kit je kompatibilní s jakýmkoliv PC nebo mikrokontrolérem. Mezi doporučené mikrokontrolory patří: BASIC Stamp's, SX, PIC, 8051, AVR, 68HC11, COP. Kit PLM-24 je plně kompatibilní s protokolem X10. K modulování signálu je použita metoda FSK. Cenu a dostupnost zařízení nebylo možné zjistit. [19]

### 5.2.7 Cool Phoenix 2 (CPX2)

Kit druhé generace, který je vytvořen společností Renesas Electronics. Oproti první generaci disponuje větší pamětí a širší podpoře nosných frekvencí. Splňuje podmínky standardů CENELEC, FCC a ARIB. Šifrování komunikace je pomocí AES, ECB, CBC v klíčových délkách 128, 192 a 256 bitů. Součástí je i jednoduché GUI pro konfiguraci a analýzu komunikace, rozhraní USB pro komunikaci s externími zařízeními. Využívá řady modulačních technik signálu jako např. DCSK, FSK, SFSK či OFDM. Cenu zařízení nebylo možno dohledat. [20]



## 5.3 Čip ST7580 a Demonstrační kit EVALKITST7580

### 5.3.1 Čip ST7580

Jedná se o tzv. narrow-band power line networking system-on-chip neboli úzkopásmový PLC komunikační systém na jednom integrovaném zařízení. ST7580 vyniká propracovanou fyzickou vrstvou dobré kvality. Měření veličin je prováděno v pásmu CENELEC A, vzdálená správa a řízení aplikace je v pásmech CENELEC B a D. Jinak ovšem splňuje i normy FCC, které pro nás nejsou nijak zásadní. Pracuje s modulacemi signálu B-FSK, s nimiž dosahuje rychlosti přenosu dat až 9,6 kb/s. S modulacemi B-PSK, Q-PSK a 8-PSK pak rychlostí až 28,8 kb/s. Šifrování přenosu je zajištěno AES-128 autentizační metodou. UART rozhraní pro externí připojení přenáší data rychlostí 57,6 kb/s. Komunikační nosná frekvence, na které IO pracuje, je programovatelná, maximálně však do 250 kHz.

Modem má v sobě integrován AFE modul, což je analogový modul, který se skládá z A/D a D/A převodníků. AFE modul umí digitálně nastavit úroveň vysílání a automaticky nastavit nulu. Jedná se o velmi citlivý přijímač.

Modem ST7580 vyžaduje dva externí zdroje napětí. Jeden s napěťovým rozsahem 3 – 5 V pro digitální část, druhý s rozsahem od 8 do 18 V, který bude napájet analogovou oblast zařízení a zesilovač.

Fyzická vrstva poskytuje u ST7580 tyto služby: Bitovou modulaci a demodulaci přes FSK a PSK režimy, možnost zvolení nosné frekvence až do úrovně 250 kHz, schopnost synchronizace bitů díky trénovací sekvenci a hlavičky fyzické vrstvy. [8]

### 5.3.2 EVALKITST7580

Celek demonstračního kitu je sestaven z desky zdroje napájení a z desky pro digitální zpracování signálu a řízení samotného kitu. Napěťová část je realizována pomocí modulu EVALTAIR900-M1. Jedná se o zdroj napětí o výkonu 7.5 W s velkým rozsahem výstupního napětí 3 – 13 V. Tento typ zdroje je vhodný, protože umožní napájení jak pro digitální část kitu, kde se zpracovává signál v digitální podobě, tak i pro analogovou část, pro kterou je zapotřebí 13 V vstupního napětí. Na desce napěťového zdroje jsou také umístěny svorky pro přívod střídavého nízkého napětí ze sítě pro přenos užitečného signálu. EVALST7580-1 je deska, na které se nachází PLC modem ST7580 pro úzkopásmovou síťovou komunikaci. STM32 mikrokontroler řídí činnost modemu a několika rozhraní pro komunikaci s externími zařízeními. Rozhraní pro mikro SD-kartu slouží k příležitostnému navýšení kapacity paměti mikrokontroléru. USB, SPI, I2C, JTAG poskytují možnost pro připojení koncových externích prvků

a pro konfiguraci kitu pomocí grafického softwaru spuštěného na počítači, v případě kdy kit neslouží jako samostatný prvek. Grafický program je podle dokumentace výrobce kompatibilní s OS Windows.

Komunikace přes silové napětí po síti je typu "poin-to-multipoint". Typické je připojení více EVALKITů k jedné hlavní silové lince, kdy je každý prvek kontrolován počítačem přes GUI software. [14]

## 6 REALIZACE PLC MODEMU

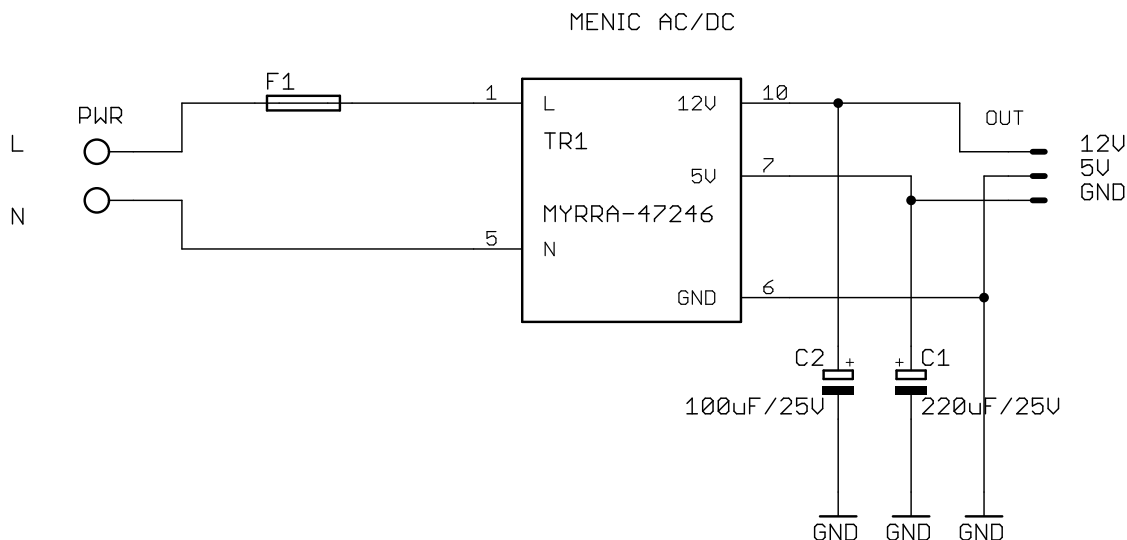
Navržení PLC modemu bude rozděleno do dvou částí uvedených níže. U obou částí se zaměřím na popis významu dané specifické části včetně obvodového schématu konkrétního zapojení. Zároveň v této kapitole přiblížím své postupy při realizaci desek plošných spojů jak u napájecího modulu, tak i u samotného plc modemu.

- 6.1 Návrh a realizace obvodu pro napájení
  - Návrh desky napájecího zdroje
- 6.2 Návrh a realizace obvodu pro zpracování signálu a řízení samotného zařízení
  - Navržení desky PLC modemu

### 6.1 Návrh a realizace obvodu pro napájení

Obvod pro napájení slouží společně s řídicí jednotkou a převodníkem rozhraní k přivodu energie do modulu zařízení pro zpracování signálu. Napěťová část musí zajistit dvě úrovně výstupního stejnosměrného napětí. Jedno výstupní napětí musí být v rozsahu 8 – 18 V pro napájení analogové části IO ST7580 a 3.3 V pro digitální prvky zařízení. Napájecí zdroj je určen pro zapojení do sítě nn s parametry 230 V o frekvenci 50 Hz. Zdroj bude měnit střídavé vstupní napětí na výstupní stejnosměrné.

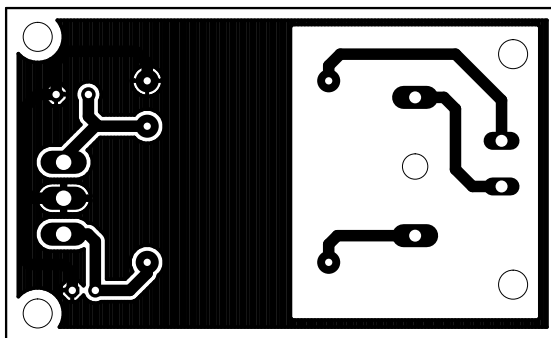
Hlavním prvkem celého napájecího modulu je obvod měniče napětí. Tento prvek má na starost změnu střídavého napětí na napětí stejnosměrné. V modulu jsem použil konkrétně měnič od francouzské společnosti Myrra - AC/DC MYRRA-47246. Součástí jsem vybral kvůli malým rozměrům a nízké spotřebě energie v pohotovostním režimu. Měnič funguje na základě zpětnovazebního transformátoru a disponuje dvěma úrovněmi výstupního stejnosměrného napětí - a to 5 V a 12 V stejnosměrného napětí. Výstup s nižší hodnotou napětí bude použit pro napájení digitálních obvodů modemu a výstup s vyšší hodnotou napětí bude dodávat energii analogovým obvodům. Měnič pracuje na frekvenci 50/60 Hz a může tedy pracovat s napětím ze sítě nn. K ochraně před nadměrným elektrickým proudem použiji tavnou pojistku o velikosti 500 mA. Elektrolytické kondenzátory 220  $\mu\text{F}$  a 100  $\mu\text{F}$  jsem na výstupech použil z důvodu vyhlazení výstupních napětí. Parametry zvoleného měniče by měly být dostačující. Dokumentace ke kitu EVALST7580-1 říká, že v přijímacím módu modemu je odběr proudu maximálně 65 mA. K vyššímu odběru proudu dochází při vysílání dat v krátkých časových intervalech. V tento moment může proudová zátěž vzrůst až na 500 mA.



Obr. 6.1: Schématické zapojení napájecího modulu

### 6.1.1 Návrh desky napájecího zdroje

Navržení desky pro napájecí modul nebylo nijak složité. Pouze bylo nutné dodržet dostatečné izolační mezery mezi samotnými vodiči síťového napětí a zemnicí plochou desky. V případě nedodržení dostatečných izolačních mezer by mohlo dojít vzájemného ovlivnění oblastí či dokonce ke zkratu mezi spoji.

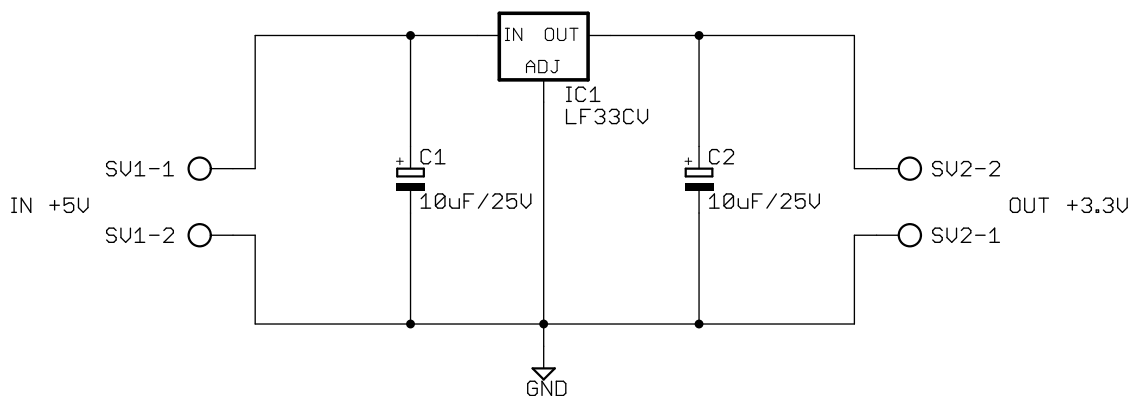


Obr. 6.2: Navrh DPS napájecího modulu

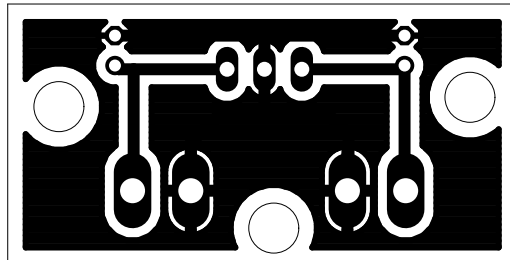
### 6.1.2 Regulace výstupního napětí zdroje

Jelikož integrovaný obvod STM32 je potřeba napájet 3.3 V a nikoliv 5 V, je nutné zařadit mezi zdroj napětí a plc modul regulační článek. Tento regulační článek zajistí právě snížení napětí, požadované nejen samotným mikrokontrolérem, ale i ostatními digitálními prvky, z 5 V na 3,3 V.

Obvod regulace napětí je tvořen stabilizátorem napětí LF33CV a tantalovými kondenzátory pro vyhlazení napětí. Schématické zapojení je vidět na obr. 6.3. Stabilizátor LF33V disponuje fixním napětím 3.3 V na výstupu a maximálním výstupním proudem 500 mA. Jeví se tedy jako dostačující pro tuto aplikaci.



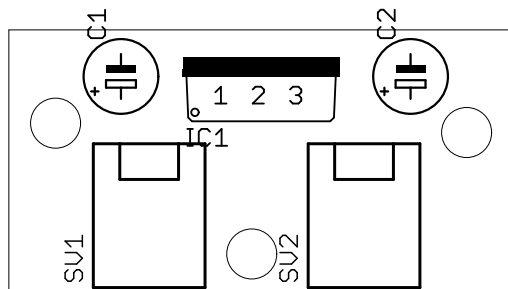
Obr. 6.3: Schématické zapojení regulace napětí na 3.3 V



Obr. 6.4: Návrh DPS pro regulaci napětí

## 6.2 Návrh a realizace obvodů pro zpracování signálu a řídicí jednotku

Tato kapitola, věnovaná návrhu a realizaci obvodů pro zpracování signálu a mikrokontroléru, bude rozdělena na několik podkapitol. Nejprve se budu věnovat zapojení s IO ST7580, který je v modemu potřeba pro zpracování užitečného signálu získaného ze sítě nn. V další podkapitole rozeberu proces vytvoření obvodu pro řízení a naprogramování modemu prostřednictvím mikrokontroléru STM32. V následující podkapitole se zaměřím na důležitou součást PLC modemu, kterou jsou přijímací



Obr. 6.5: Návrh DPS pro regulaci napětí - plánek osazení

a vysílací obvody vhodné pro odfiltrování nepotřebných frekvenčních rozsahů. V neposlední řadě se budu věnovat oblasti synchronizace signálu a v poslední podkapitole objasním problematiku komunikačního rozhraní, jež je potřebné pro připojení modemu k PC za účelem nahrání firmwaru.

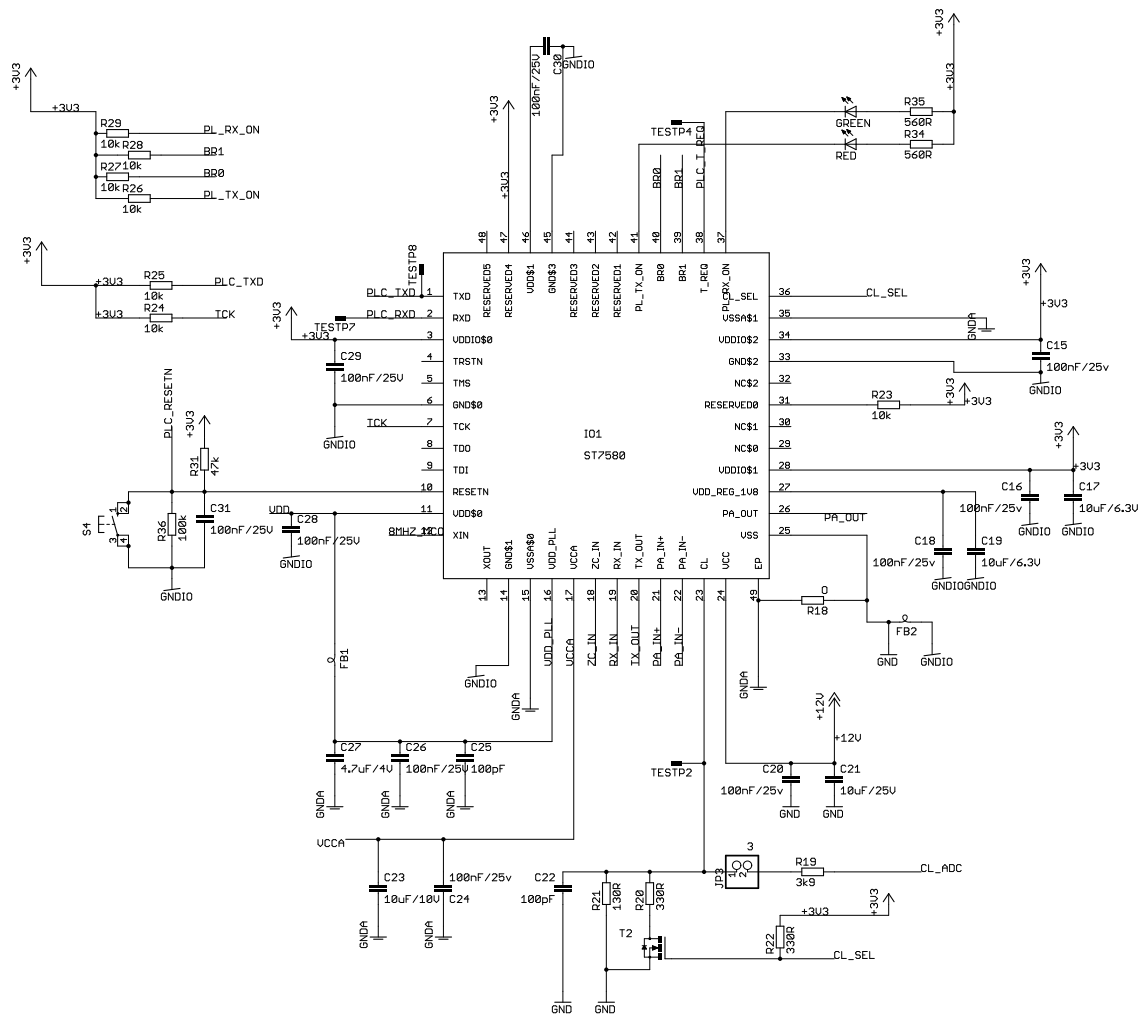
Sestavení zapojení a výpočty potřebných obvodů k vytvoření funkčního modemu jsem vytvořil na základě průvodce evaluačního kitu EVALKITST7580 [22]. Zapojení jsem upravil tak, aby lépe vyhovovalo specifickým podmínkám.

### 6.2.1 Obvod pro zpracování signálu

Část pro zpracování signálu sestavím z IO ST7580, díky kterému můžeme provádět úpravy datového signálu a jeho namodulování na nosnou frekvenci síťového napětí. Schématické zapojení obvodu znázorňuje obr. 6.6. K IO jsou externě připojeny filtrační obvody a vazební člen, o jejich přesném nastavení se zmíním později v kapitole 6.2.3. Tlačítko S4 v zapojení je určeno pro manuální reset IO v případě potřeby zresetování IO. CL pin určuje omezení výstupního proudu na výstupu pinu TX\_OUT. LED diody informují o aktivní komunikaci, kdy červená LED signalizuje vysílání dat a zelená LED příjem dat.

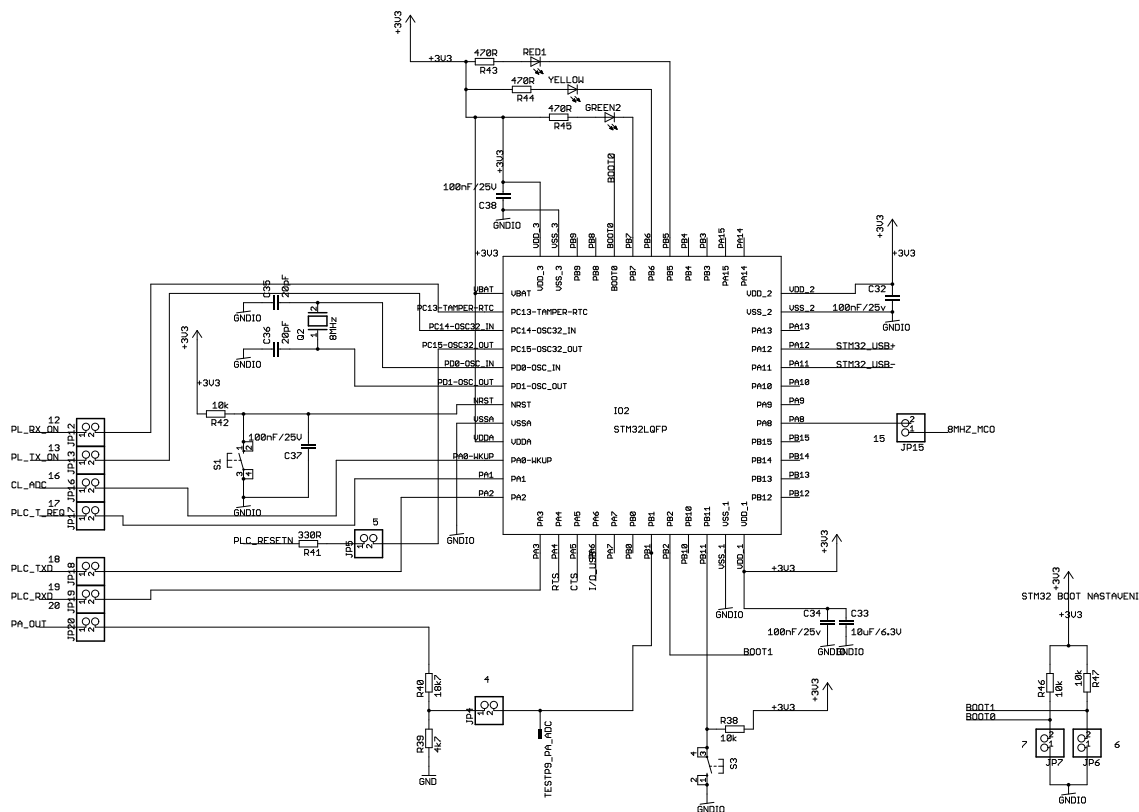
### 6.2.2 Řídící obvod

Řízení celého zařízení je řešeno zapojením ARM 32-bitového mikrokontroléru STM32F103CBT6. Na desce je mikrokontrolér STM32 přímo propojen s IO ST7580 a za pomoci nahraného firmwaru určuje, jak se má ST7580 zařízení chovat. Skrze mikrokontrolér a k němu připojený převodník UART/USB jsme schopni komunikace mezi modemem a externím zařízením. Speciální 8 MHz krystal poskytuje správnou rezonanční frekvenci a to jak pro STM32 mikrokontrolér, tak i pro IO ST7580. LED



Obr. 6.6: Schématické zapojení IO ST7580

diody jsou zde pro účely signalizace a pomocí tlačítka se manuálně generují události určené firmwarem. Zapojení mikrokontroléru je vidět na obr. 6.7.



Obr. 6.7: Schématické zapojení mikrokontroléru STM32

### 6.2.3 Přijímací a vysílací obvody

V této podkapitole proberu nutné obvody pro filtrování přijímaného a vysílaného signálu. Popíši zde také postup výpočtů jednotlivých filtračních obvodů.

#### Přijímací filtr

Přijímací filtr je vlastně pásmovým pasivním filtrem a je tvořen sériovým zapojením rezistoru a k němu paralelně zapojeným L-C článkem. Jedná se tedy o pásmovou propust 2. řádu. Přenosová funkce filtru může vypadat takto:

$$R(s) = \frac{s \cdot L_1 + R_L}{s^2 + s \cdot \frac{R_{17} \cdot R_L \cdot C_9 + L_1}{R_{17} \cdot L_1 \cdot C_9} + \frac{R_{17} + R_L}{R_{17} \cdot L_1 \cdot C_9}}, \quad (6.1)$$

kde  $R_L$  je parazitní odpor cívky cca  $2 \Omega$ . Střední frekvence a činitel jakosti lze spočítat dle vzorců níže:



$$f_c = \frac{1}{2\pi} \cdot \omega_c = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{R_{17} + R_L}{R_{17} \cdot L_1 \cdot C_9}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 \cdot C_9}} = 80 \text{ kHz}, \quad (6.2)$$

$$Q = \frac{R_{17} \cdot L_1 \cdot C_9}{R_{17} \cdot R_L \cdot C_9 + L_1} \cdot \omega_c = 1,3. \quad (6.3)$$

Jak si lze všimnout činitel jakosti a selektivita filtru závisí jednak na hodnotě  $R_{17}$ , ale i na  $R_L$ . Navyšováním hodnoty odporu  $R_3$  se zvýší selektivita, zatímco při zvyšování  $R_L$  dochází ke snižování selektivity.

### Přenosový filtr

Přenosový filtr jsem sestavil ze dvou filtrů. První filtr je jednoduchý RC článek, kdy  $R_1$  s  $C_4$  tvoří filtraci typu dolní propusti. Na první filtr navazuje Sallen-Key aktivní filtr 2. řádu, který je postaven na zesilovači integrovaném v ST7580 a tvoří zde pásmovou propust. Protože integrovaný OZ je potřeba napájet symetricky je zapotřebí  $R_5$  a  $R_2$ . Díky nim bude napětí na obou vstupech OZ stejné. Přenosové funkce pásmové propusti 2. řádu Sallen-Key jsou:

$$A(s) = \frac{A_0}{\frac{s^2}{\omega_c^2} + \frac{s}{\omega_c \cdot Q} + 1}, \quad (6.4)$$

$$A(0) = \left(1 + \frac{R_7}{R_3}\right) = 4,3 = 12,7 \text{ dB}, \quad (6.5)$$

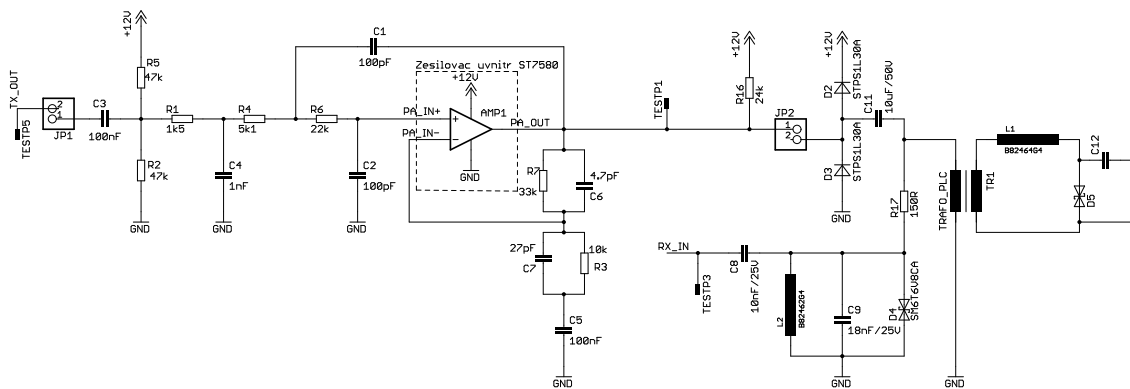
$$f_c = 2\pi \cdot \frac{1}{\sqrt{R_4 \cdot R_6 \cdot C_1 \cdot C_2}} = 150 \text{ kHz}, \quad (6.6)$$

$$Q = \frac{\sqrt{R_4 \cdot R_6 \cdot C_1 \cdot C_2}}{R_6 \cdot C_1 + R_4 \cdot C_2 + R_4 \cdot C_1 \cdot (1 - A_0)} = 1,03. \quad (6.7)$$

### Vazební obvod

Kondenzátor v tomto obvodě  $C_{12}$  odstraňuje stejnosměrnou složku signálu. Transformátor je zde kvůli galvanickému oddělení od sítě nn. Za pomoci součástky transilu je hodnota napětí přicházející ze sítě snížena z 230 V na 15 V. Kondenzátor  $C_{12}$  společně s výkonovou cívkou  $L_1$  tvoří rezonanční obvod, jehož rezonanční frekvence je 85 kHz. Tuto hodnotu jsem dostal po dosazení do vzorce 6.8. Schématické zapojení filtračních obvodů a vazebního členu je znázorněn na obr. 6.8.

$$f_c = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \sqrt{L_1 \cdot C_{12}} = 85 \text{ kHz}. \quad (6.8)$$

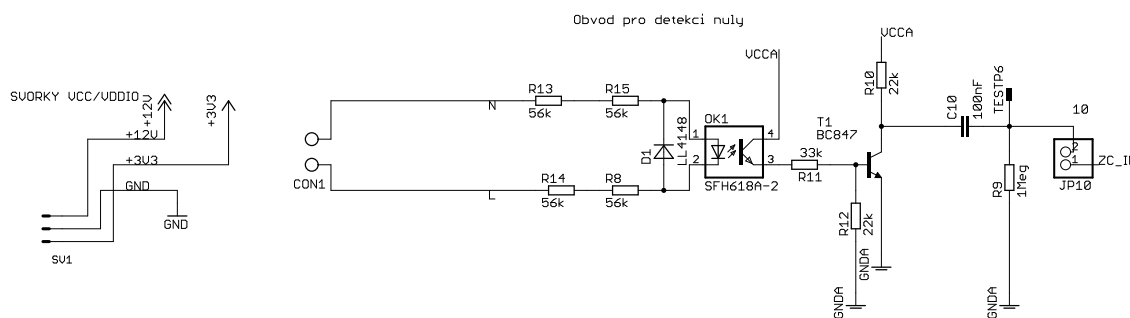


Obr. 6.8: Schématické zapojení přenosového, přijímacího filtru a vazebního obvodu

## 6.2.4 Obvod pro synchronizaci

Synchronizační obvod je zde proto, aby byla zaručena stálá synchronizace mezi signálem přicházejícím ze sítě nn a signálem PLC modemu. Toto nám zaručuje obvod pro detekci nulového napětí. Zapojení takového obvodu je znázorněno na obr.6.9.

Jakmile se dostane nulová hodnota síťového napětí na vstup detekčního obvodu, v optočlenu se tranzistor rozeptne díky poklesu napětí na bázi a tím se na vstup báze druhého tranzistoru nedostane potřebné napětí, které by dostalo tranzistor do sepnutého stavu. To zapříčiní změnu hodnoty napětí na vstupu pinu ZC\_IN, který tak rozpozná, že síťové napětí na vstupu má právě nulovou hodnotu.



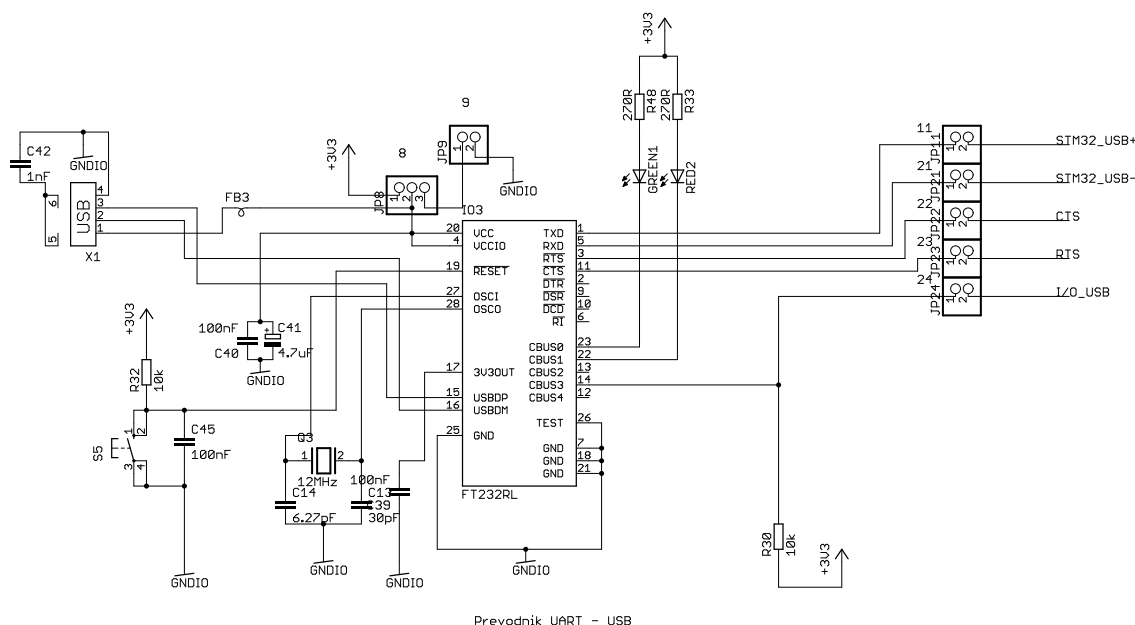
Obr. 6.9: Schématické zapojení obvodu pro detekci nulového napětí

## 6.2.5 Převodník USB - UART rozhraní

Pro připojení PC k modemu a nastavení mikroprocesoru i modemu použijí běžné rozhraní USB. Mikrokontrolér však tímto rozhraním nedisponuje. Má zavedené rozhraní typu UART, kvůli němuž je nutné vytvořit obvod, který umožní připojení USB kabelu k modemu. Tento převodník dokáže převést UART rozhraní na rozhraní USB. Pro vytvoření převodníku rozhraní použijí integrovaný obvod FT232RL,

který je k tomu určený. Blokové schéma celého zapojení převodníku je zobrazeno na obr. 6.10. Hodnoty součástek zvolím dle doporučení v dokumentaci pro IO FT232RL. [21]

Obvod FT232RL umožňuje využití jak interního, tak externího krystalu. Při využití externího krystalu je požadováno napájecí napětí pro FT232RL 3,3 V avšak při zapojení interního krystalu je zapotřebí 4 V. V moji práci využiji první možnosti zapojení a to s externím krystalem. Důvodem k tomuto rozhodnutí je napájení všech ostatních digitálních částí na DPS modemu stejnou úrovní napětí. Použití externího krystalu musí být přenastaveno v programu IO FT232RL po připojení IO k PC, neboť jako základní nastavení je vždy zvolen interní krystal. Ačkoliv propojky č. 8 a č. 9 umožňují i připojení napětí 4 V k IO, zde slouží pouze k testovacím účelům.



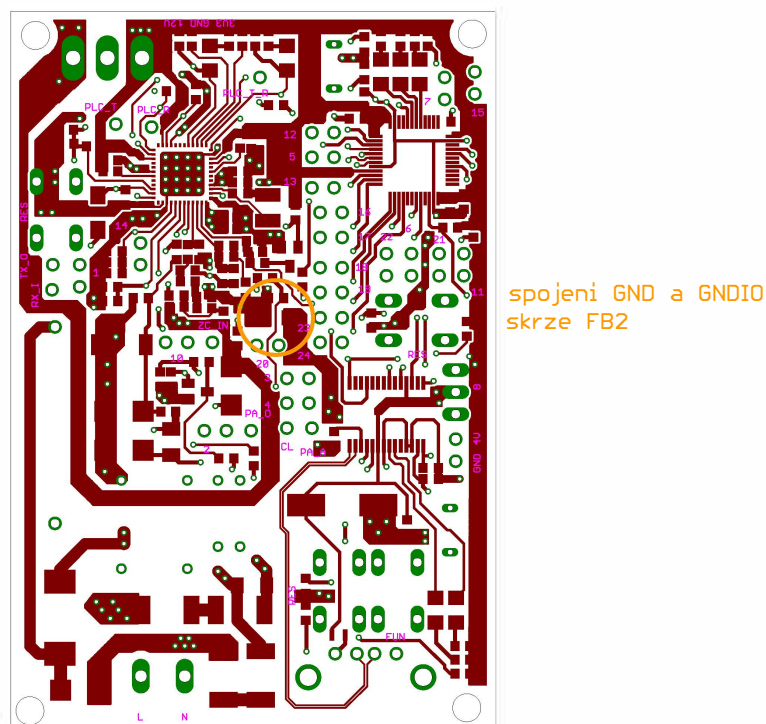
Obr. 6.10: Schématické zapojení převodníku USB/UART

## 6.2.6 Navržení desky PLC modemu

Všechny navržené obvody (obvod pro hledání nuly, zpětnovazební a filtrační obvod, převodník rozhraní UART-USB, IO ST7580 a IO STM32 pro řízení celého modemu) byly zpracovány do jedné desky plošného spoje.

Pro návrh desky plošného spoje modemu byl, jako i pro návrh zdroje, zvolen software Eagle, který je pro tyto účely používán i v profesionální sféře. Při návrhu desky jsem kladl vysoké požadavky na malé rozměry desky plošného spoje. Celé zařízení by nemělo být zbytečně objemné. Se zařízením malých rozměrů se snadněji manipuluje a má lepší skladnost, může tak být umístěno i v malých prostorách.

Velikost napájecího modulu jsem nemohl z důvodu použití měniče nijak extrémně ovlivnit. Pro malé rozměry desky modemu jsem zvolil použití SMD součástek, které dokáží celé zařízení dostatečně zminimalizovat. Konečné rozměry desky plošného spoje modemu jsou 77 mm na 50 mm. Společně s DPS zdroje (DPS napájecího zdroje má rozměry 35 mm na 60 mm), pak rozměry celého zařízení dosahují přibližně 80 mm na 80 mm s výškou 45 mm (nejvyšší použitá součástka kondenzátor C12 má na výšku 30 mm).



Obr. 6.11: Návrh desky modemu - vrchní strana

## Chlazení IO

Mnou použitý integrovaný obvod ST7580 s typem pouzdra QFN je vyrobený s kovovou ploškou na spodní straně pouzdra. Tato kovová ploška je určena pro odvod tepla z těla součástky během jejího provozu. Je zřejmé, že díky svým miniaturním rozměrům se součástka nestačí ochlazovat vlivem okolního vzduchu působícího na pouzdro. Proto je nutné teplo odvádět pomocí uměle vytvořených polygonů na DPS. Součástka je chladicí ploškou připájena k polygonu na desce. Polygon, který se rozprostírá přes velkou plochu desky, dokáže vysokou teplotu ze součástky roznést do celé své plochy a tímto dojde k efektivnímu snížení teploty na specifické součástce. IO obvod ST7580 využívá pro své chlazení polygony zemí. Polygony těchto ploch se

rozprostírají jak na vrchní straně, tak i na spodní straně DPS. Propojení mezi jednotlivými stranami jsem zajistil vložением dostatečného počtu prokovů. Na obrázcích 6.11 a 6.12 jsou vidět ve vyznačených oblastech místa určená pro chladicí plošky IO, které jsou pokryta prokvy, která tak odvádí teplo na spodní stranu DPS.

## **Polygony**

Polygonům jsem při návrhu desky věnoval velkou pozornost. Polygony jsou rozlité měděné plochy. Opomíjení polygonů by mohlo mít za následky např. přehřívání spojů při vyšší zátěži, což by mohlo vést až k následnému zkratu na spoji. Já jsem je využil při návrhu napájecích cest, zemnicích ploch a na spojích, které díky přeměně na polygony můžeme využít pro chlazení jako chladicí plošky. Polygony jsem vytvořil i na spojích, které prochází z jedné strany DPS skrze ní na druhou stranu desky. Polygony v případě zemnicích ploch mají tu výhodu, že je lze použít i jako stínící plochy. Polygony díky jejich velké ploše dobře odvádí teplo do okolí a tak se využívají jako chladicí plošky. U napájecích spojů použití polygonu zaručuje vyšší zabezpečení proti zkratům (u polygonů nejsou tenké spoje). V případech, kdy spoje vedou skrze desku, je potřeba vytvořit spolehlivé přechody a to pomocí tzv. prokovů, které zaručí vodivost spoje i skrze desku.

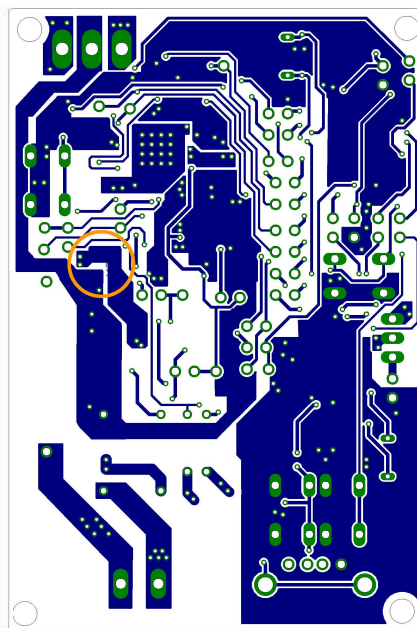
## **Zemnicí plochy**

Na desce PLC modemu se nachází tři druhy zemí: GNDA, GNDIO a GND. Rozdělení zemi jsem zvolil záměrně, abych snížil vlivy vířivých proudů v oblastech uzemnění, které mohou negativně ovlivňovat určité prvky v zapojení. V této práci používám zkratku GNDA jako označení pro analogovou zemnicí oblast, GNDIO pro zem digitální oblasti a GND pro hlavní zemi, ke které bude analogová zem GNDA a digitální zem GNDIO připojena pouze v jednom místě. Každá země je tvořena na DPS svým polygonem. Polygon analogové země GNDA je se zemí GND propojen pomocí rezistoru R18 s nulovou hodnotou, jak je vidět na obr. 6.12. Digitální zem je pak s hlavní zemí GND propojena skrze feritovou perličku FB2, jež je vyznačena na obr. 6.11, jak je uvedeno v dokumentaci pro IO ST7580.[8] Použitím feritové perličky by mělo být zamezeno šíření rušení z oblasti digitální zemnicí plochy GNDIO do zemní oblasti GND. Na digitální zemnicí ploše navíc dochází k rušení ve větší míře než u analogové oblasti.[23]

## **6.3 Výroba DPS**

Dokončené návrhy desek pro plc modem a napájecí zdroj jsem nechal vyrobit u specializované firmy pro výrobu desek plošných spojů. Desky vyrobila konkrétně pražská

spojení GND a GNDA  
skrze R18



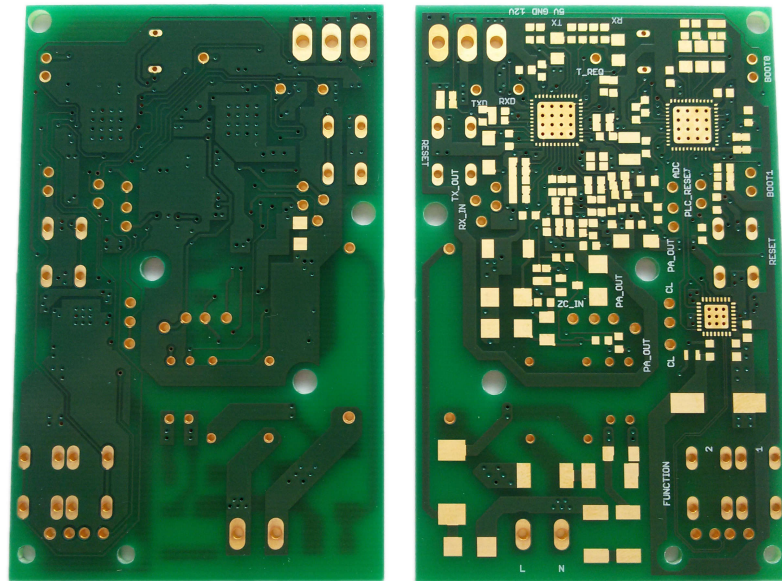
Obr. 6.12: Návrh desky modemu - spodní strana

firma PragoBoard s.r.o. DPS byly vyrobeny s pozlacenými kontakty pro zlepšení pájecích vlastností při osazování desek součástkami. Plošné spoje jsou měděné, tloušťky  $18 \mu\text{m}$  a před vnějšími vlivy jsou chráněny nepájivou maskou zelené barvy. DPS jsou opatřeny také servisním potiskem pro zlepšení orientace na desce. DPS zdroje je vytvořena jako jednovrstvá deska a DPS modemu je vytvořena jako deska dvouvrstvá, kdy se kvůli komplikovanosti jejího zapojení musely vést cesty po obou stranách desky. Celková tloušťka dvouvrstvé desky je 1,5 mm.

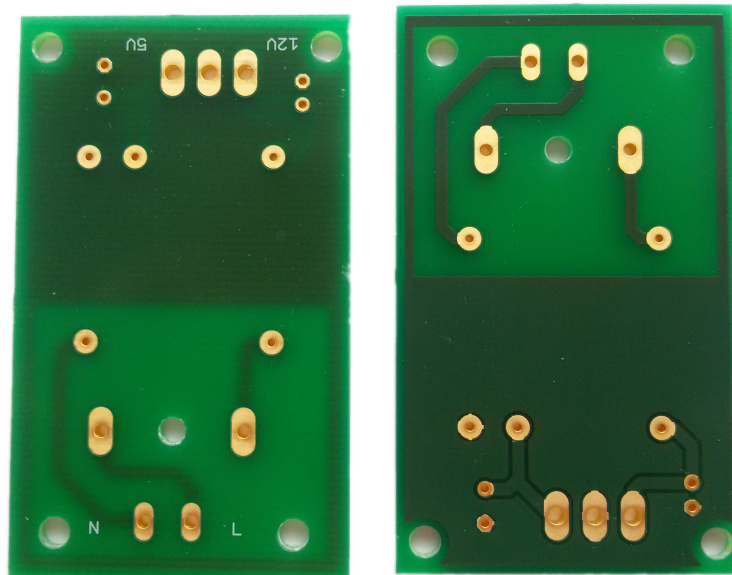
Na obrázcích 6.13 a 6.14 jsou vidět pozlacené kontakty včetně servisního potisku, který by měl zajistit přehlednost zařízení.

## 6.4 Funkce pinů, tlačítek a propojek na zařízení

V této kapitole popíši význam a využití tlačítek, propojek, LED diod a pinů použitých na DPS. Nejprve rozeberu účel jednotlivých tlačítek, dále se zmíním o využití propojek a několika slovy přiblížím LED diody. Na závěr kapitoly se pak budu věnovat pinům a jejich funkci na zařízení.



Obr. 6.13: DPS modemu



Obr. 6.14: DPS napájecího modulu

### 6.4.1 Tlačítka

Na DPS modemu jsou k dispozici 4 tlačítka. Tlačítko S1 je vidět na obr. 6.7 v zapojení obvodu STM32 a slouží k resetování IO STM32 - po stisknutí tohoto tlačítka dojde ke změně hodnoty na vstupu pinu NRST na IO STM32, čímž se provede resetování obvodu. Tlačítko je připojeno přes pull-up rezistor ke vstupu negovaného resetu NRST. Po stisku tlačítka se na vstupu NRST objeví log.0 a dojde tak ke zresetování. Tlačítko S4 v zapojení převodníku na obr. 6.10 a tlačítko S5 v zapojení s ST7580 obr. 6.6 slouží také ke zresetování dílčích IO. Poslední tlačítko S3 je určeno k manuálnímu spuštění určité funkce, jež mu bude později v programu pro STM32 přidána.

### 6.4.2 Propojky

Propojky nebo-li jumpery jsem použil pro manuální odpojování a připojování určitých částí obvodu k celistvému zařízení. Na desce modemu je použito značného množství takovýchto propojek. Obrázek 6.15 zobrazuje rozložení propojek na desce plošného spoje. Jednotlivé propojky jsou na desce označeny číslovkou v rozmezí hodnot 1-24.

Propojky JP6 a JP7 určují způsob načtení zavaděče programu pro IO STM32. V tabulce 6.2 jsou uvedeny tři možnosti načtení. První způsob je načtení zavaděče přes rozhraní UART (tedy z pc pomocí USB). Aby se tomu tak stalo, je potřeba propojku JP7 (BOOT0) propojit a JP6 (BOOT1) může být propojena nebo otevřena. Pro načtení systémového zavaděče přímo z IO STM32 je použito nastavení propojky JP7 na stav propojeno a JP6 na stav nepropojeno. Třetí stav, kdy zavaděč je načten z externího úložiště SRAM, v tomto případě neplatí. Žádné externí úložiště není u mého výrobku k IO připojeno.

Zbytek propojek má funkci oddělení cest mezi jednotlivými elektronickými obvody. Význam jednotlivých oddělovacích propojek je pak vysvětlen v tabulce 6.1.

### 6.4.3 LED diody

Existence LED diod je zde pro jasnou identifikaci, že zařízení je aktivní. Rozmístění LED diod je vidět na obrázku 6.15. Skupina LED diod ozn. LED1 nám určuje, zda modem právě přijímá (svítí zelená LED) či vysílá (svítí červená LED) data.

Skupina LED diod označených na obrázku 6.15 jako LED2 je připravena pro informování, že byla provedena určitá akce, která bude specifikována ve firmwaru STM32.



Tab. 6.1: Funkce propojek

Číslo prpojky	Funkce
1	propoj mezi výstupem TX-OUT a přenosovým filtrem
2	propoj mezi přenosovým filtrem a vazebním členem
3	propojení CL signálu mezi ST7580 a STM32
5	propoj Reset f-ce mezi STM32 a ST7580
6	nastavení zavaděče programu
7	nastavení zavaděče programu
8	přívod napětí 4V
9	přepínání mezi 4V a 3,3V na FT232
10	propoj ZC-IN mezi ST7580 a ob. detekce nuly
11	propoj STM32-USB+ mezi FT232 a STM32
12	propoj PL-RX-ON mezi STM32 a ST7580
13	propoj PL-TX-ON mezi STM32 a ST7580
14	propoj mezi přijímacím filtrem a RX-IN vstupem
15	propoj signál z krystalu mezi STM32 a ST7580
16	propoj CL-ADC mezi STM32 a ST7580
17	propoj PLC-T-REQ mezi STM32 a ST7580
18	propoj PLC-TXD mezi STM32 a ST7580
19	propoj PLC-RXD mezi STM32 a ST7580
20	propoj PA-OUT mezi STM32 a přenosovým filtrem
21	propoj STM32-USB- mezi FT232 a STM32
22	funkce propoj CTS mezi FT232 a STM32
23	funkce propoj DTS mezi FT232 a STM32
24	funkce propoj I/O USB mezi FT232 a STM32

Tab. 6.2: Způsoby načtení zavaděče

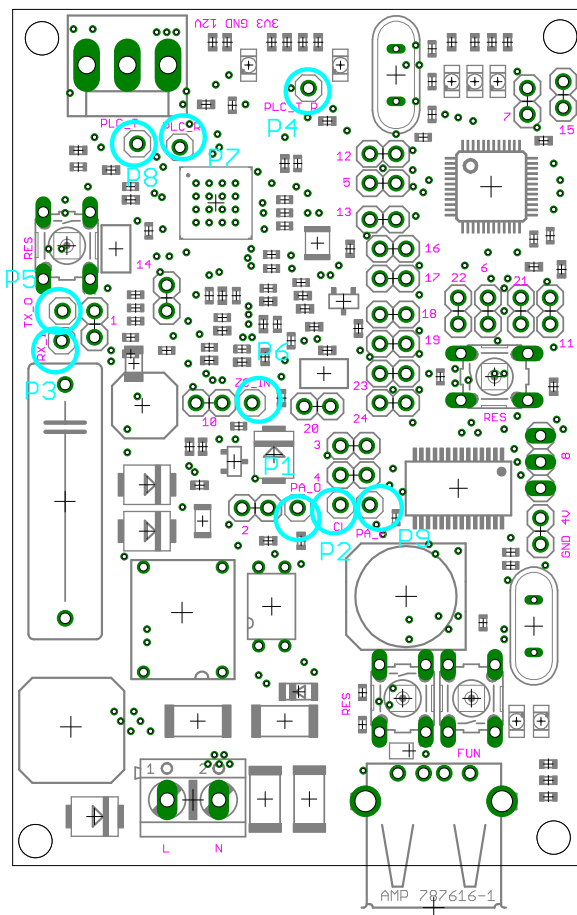
BOOT1	BOOT0	Mód
x	0	Načtení zavaděče z UART
0	1	Načtení systémového zavaděče
1	1	Načtení zavaděče z ext. SRAM

#### 6.4.4 Piny

Zavedení pinů na desce modemu je především z důvodu usnadnění proměření specifických částí zařízení. V případě nekorektního chodu modemu umožní lepší dohledat zdroj možného problému. Na plc modulu jsem použil celkem 9 pinů. Jako součástka pinu je zde myšlen neizolovaný kolík z vodivého materiálu, ke kterému lze připojit sondu osciloskopu, díky čemuž můžeme na potřebných úsecích modemu provádět měření průběhů napětí v čase. V tabulce 6.3 je popsáno, jaké průběhy lze naměřit na konkrétních pinech. Rozmístění jednotlivých pinů na DPS modemu je pak zobrazeno v obr. 6.15.

Tab. 6.3: Popis funkcí jednotlivých pinů

Označení	Název	Funkce pinu
P1	PA_OUT	Hodnota na výstupu zesilovače ST7580
P2	CL	Měření hodnot napětí na CL pinu v módu vysílání
P3	RX_IN	Měření analogového kanálu pro příjem
P4	PLC_T_REQ	Měření na kontrolním kanále UART
P5	TX_OUT	Měření analogového kanálu pro vysílání
P6	ZC_IN	Určení průchodu signálu nulou
P7	PLC_RXD	Přijatá data na kanále UART
P8	PLC_TXD	Data pro vysílání na kanále UART
P9	PA_ADC	Hodnota na vstupu PB1 z výstupu PA_OUT



Obr. 6.15: PLC modem - pohled shora

## 7 ZÁVĚR

V první části své diplomové práce jsem popsal technologii PLC komunikace, její historii a základní členění této technologie. Sestavil jsem přehled firem, jež vytvořily elektronické obvody či kity pro PLC komunikaci, které jsou dnes dostupné na trhu. Z tohoto přehledu jsem podle požadovaných vlastností zvolil jeden obvod, který bude tvořit základ pro mnou vytvořený PLC modem, jenž bude splňovat požadavky pro evropskou normu EN 500651-1 v CENELEC pásmu A.

Po vybrání vhodného IO ST7580 od firmy STMicroelectronics, na němž je založena stavba mého komunikačního modemu, jsem tento obvod doplnil o potřebné elektronické obvody, jež jsou pro sestavení celého zařízení nezbytné. Zařízení je tvořeno dvěma hlavními moduly - z modulu napájecího a z modulu pro úpravu signálu. Napájecí modul je tvořen napájecím zdrojem, jenž vstupní střídavé napětí ze sítě nn transformuje na napájení stejnosměrné. Napěťový zdroj je opatřen dvěma výstupy o různých hodnotách napětí. Vstupní napětí analogových obvodů je odlišné od napájecích napětí potřebných pro digitální části u modulů STM32, ST7580 a FT232. Modul pro úpravu signálu obsahuje obvody pro příjem, zpracování, úpravu a vysílání datového signálu. Tyto obvody jsou tvořeny PLC integrovaným obvodem ST7580, externě připojenými filtry, vazebním členem a obvodem pro detekci nulové úrovně napětí. Řízení celého modemu má na starost elektronické zapojení mikrokontroléru STM32. Aby byla možná komunikace s externím zařízením, a aby bylo možné vůbec nakonfigurovat systémové funkce obvodu pro úpravu signálu a řízení celého zařízení, bylo nutné vytvořit převodník UART na USB rozhraní. Převodník je tvořen IO FT232RL.

Po dokončení návrhů všech potřebných obvodů pro správné fungování modemu jsem přikročil k navržení desek plošných spojů pro PLC zařízení. Návrh DPS jsem zpracoval v softwaru CADSoft Eagle 7.5.0 Light. Desku napájecího modulu jsem pro její jednoduchost navrhl jako jednostrannou. Vytvoření desky pro modem bylo však dosti náročným a zdlouhavým procesem, při němž jsem musel řešit správné rozvržení celé řady komplikovaných spojů mezi obvody. Komplikace při návrhu také ztěžoval fakt, kdy jsem si dal za cíl mít všechny součástky pouze na vrchní straně desky. Na spodní straně desky je pouze nulový odpor sjednocující rozdílné typy zemí. U návrhu DPS jsem také bral v potaz význam tvorby desky co nejmenších rozměrů s určitou úrovní profesionality. U desek musely být přizpůsobeny jisté parametry (např. minimální velikost prokovů apod.) tomu, aby mohly být vyrobeny u profesionálního výrobce DPS.

Průběh práce se samozřejmě neobešel bez menších i větších problémů. První problém se vyskytl u napájecího zdroje, kdy výstupní hodnota napětí napájecího zdroje pro digitální prvky má být 3.3 V a nikoliv 5 V. Bylo potřeba vytvořit mezičlánek

regulátoru napětí, který usměrní 5 V na 3.3 V. A ten poté umístít mezi výstup zdroje a napájecí vstup pro digitální obvody na desce modemu. Toho jsem docílil sestavením jednoduchého obvodu se stabilizátorem LF33CV. Při osazování desek integrovanými obvody se vyskytl hůře řešitelný problém. Zde se projevilo nedostatečné promyšlení při návrhu desek. Jako pouzdra jsem totiž u všech integrovaných obvodů zvolil typ QFN, což přineslo značné komplikace při pájení, tato chyba se poté stala chybou kritickou. Neboť připájení těchto IO nebylo dokonalé. Mezi kontakty zůstaly mikro-zkraty, které ovšem nebyly při kontrole pod lupou patrné a společně s tím že IO byly na desce osazeny jako poslední součástky nebylo možné správné proměření vývodů. Při ožívování PLC modulu již při nízkých hodnotách napětí docházelo ke zkratu mezi napěťovou a zemnicí částí. Příčinu zkratu se mi nepodařilo odhalit. Jediným možným řeším, jak se v práci posunout dále, bylo vrátit se zpět - k návrhu elektronického schématu. Upravit jej takovým způsobem, aby modul byl osazován a ožívován po částech a nikoliv jako celek. Toho jsem docílil vložením propojek do cest mezi jednotlivé funkční bloky, díky kterým lze izolovat či propojovat jednotlivé cesty a obvody na DPS. Dalším krokem, jež sem musel učinit, byla změna pouzder u použitých IO. IO STM32 a FT232 byly nahrazeny pouzdry větších velikostí a to typem LQFP a SSOP pro snadnější zapájení. Pouze IO ST7580 musel zůstat stejný, protože pouzdro větších rozměrů neexistuje.

Se změnou elektrického schématu jsem musel pozměnit také návrh desky plošného spoje a desky modemů pak nechat znovu vyrobit. Při osazování desky jsem nyní postupoval po částech. Mým prvotním cílem bylo osazení části převodníku USB na UART a následně jeho oživení tak, abych po jeho zprovoznění a připojení modemu k pc byl schopen s modemem komunikovat. Bohužel již zde se vyskytl problém, kdy při připojení potřebného napětí na blok převodníku a připojení USB kabelu k pc nedošlo k žádnému vytvoření komunikace mezi zařízeními. Na vinně je zřejmě špatné zapojení elektronického obvodu s převodníkem.

Má diplomová práce je ve stavu, kdy jsem zrealizoval funkční napěťový modul stejnosměrného napětí pro napájení plc modemu a částečně jsem osadil desku PLC modemu s nefunkčním převodníkem rozhraní.

## LITERATURA

- [1] BERGER, Lars Torsten, Andreas SCHWAGER a J. Joaquín ESCUDERO-GARZÁS. Power Line Communications for Smart Grid Applications. *Journal of Electrical and Computer Engineering* [online]. 2013, 2013: 1-16 [cit. 08. 12. 2015]. DOI: 10.1155/2013/712376. ISSN 2090-0147. Dostupné z URL: <<http://www.hindawi.com/journals/jece/2013/712376/>>.
- [2] AHOLA, Jero. *Applicability of power-line communications to data transfer of on-line condition monitoring of electrical drives*. Vyd. 1. Lappeenranta: Lappeenranta Teknillinen Yliopisto, 2003. ISBN 95-176-4783-2.
- [3] SVOBODA, Jaroslav. *Využívání silnoproudých vedení a sítí pro přenos zpráv*. Vyd. 1. V Praze: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2012, 229 s. ISBN 9788001051689.
- [4] AMIS-49587 - Power Line Carrier Modem, *ON Semiconductor*, 2015. 56 s. [cit. 08. 12. 2015]. Dostupné z URL: <[http://www.onsemi.com/pub\\_link/Collateral/AMIS-49587-D.PDF](http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/AMIS-49587-D.PDF)>.
- [5] ST7538 - FSK Power Line Transceiver, *STMicroelectronics*, 2015. 30 s. [cit. 08. 12. 2015]. Dostupné z URL: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/23813/STMICROELECTRONICS/ST7538.html>>.
- [6] TDA5051 - Home automation modem, *NXP Semiconductors*, 1997. 28 s. [cit. 08. 12. 2015]. Dostupné z URL: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/19368/PHILIPS/TDA5051.html>>.
- [7] IT700 - PLC Modem IC, *Yitran*, 2 s. [cit. 08. 12. 2015]. Dostupné z URL: <[https://www.terraelectronica.ru/show\\_pdf.php?pdf=/pdf/YITRAN/IT700.pdf](https://www.terraelectronica.ru/show_pdf.php?pdf=/pdf/YITRAN/IT700.pdf)>.
- [8] ST7580 - FSK, PSK multi/mode Power Line networking system-on-chip, *STMicroelectronics*, 2012. 33 s. [cit. 08. 12. 2015]. Dostupné z URL: <<http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/DM00045903.pdf>>.
- [9] ST7590 - Narrow-band OFDM Power Line networking system-on-chip, *STMicroelectronics*, 2011. 24 s. [cit. 08. 12. 2015]. Dostupné z URL: <<http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00294970.pdf>>.

- [10] SIG60 - Power Line Transceiver, *YAMAR Electronics Ltd.*, 2015. 16 s. [cit. 08. 12. 2015]. Dostupné z URL: <<http://yamar.com/product/sig60/>>.
- [11] SIG61 - Power Line independent remote I/O, *YAMAR Electronics Ltd.*, 2015. 15 s. [cit. 08. 12. 2015]. Dostupné z URL: <<http://yamar.com/product/sig61/>>.
- [12] MAX2992 - G3-PLC Powerline Transceiver, *Maxim Integrated*, 2011. 28 s. [cit. 08. 12. 2015]. Dostupné z URL: <<http://www.intertek.com.br/pdf/MAX2992.pdf>>.
- [13] AC-PLM-1 - Powerline Modem, *Ariane Controls*, 2005. 7 s. [cit. 08. 12. 2015]. Dostupné z URL: <<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/126584/ETC1/AC-PLM-1.html>>.
- [14] EVALKITST7580-1 - Power line networking system-on-chip kit, *STMicroelectronics*, 2012. 4 s. [cit. 08. 12. 2015]. Dostupné z URL: <[http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/data\\_brief/DM00048571.pdf](http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/data_brief/DM00048571.pdf)>.
- [15] EVALKITST7590-Q1 - PRIME Power line communication demonstration kit, *STMicroelectronics*, 2013. 4 s. [cit. 08. 12. 2015]. Dostupné z URL: <[http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/data\\_brief/DM00097575.pdf](http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/data_brief/DM00097575.pdf)>.
- [16] CY3274 - PRIME Power line communication development kit, *Cypress perform*, 86 s. [cit. 08. 12. 2015]. Dostupné z URL: <<http://www.cypress.com/file/133716/download>>.
- [17] PLC-UART-12V - PRIME Powerline Communication Modem, *LinkSprite Technologies*, 2009. 27 s. [cit. 08. 12. 2015]. Dostupné z URL: <<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/PLC-UART-II-3.pdf>>.
- [18] SIG60 - Evaluation Board, *YAMAR Electronics Ltd.*, 2014. 2 s. [cit. 08. 12. 2015]. Dostupné z URL: <<http://www.yamar.com/datasheet/PO-SIG60EVB.pdf>>.
- [19] PLM-24 - Power Line Modem, *PLM-24*, 1998. 3 s. [cit. 08. 12. 2015]. Dostupné z URL: <<http://www.hth.com/filelibrary/plm-24/plm-24.pdf>>.
- [20] CPX2 - Flexible PLC Modem, *Renesas Electronics Europe*, 2015. [cit. 08. 12. 2015]. Dostupné z URL: <<http://www.renesas.eu/press/news/2015/news20150325.jsp>>.

- [21] FT232RL - USB UART integrovaný obvod, *FTDI CHIP*, 2005. 29 s. [cit. 10. 12. 2015]. Dostupné z URL: <[https://www.sparkfun.com/datasheets/IC/FT232R\\_v104.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/IC/FT232R_v104.pdf)>.
- [22] ST7580 - Power line communication system-on-chip design guide, *STMicroelectronics*, 2012. 63 s. [cit. 10. 12. 2015]. Dostupné z URL: <[http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/application\\_note/DM00050178.pdf](http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/application_note/DM00050178.pdf)>.
- [23] VRBA, Kamil. *Vybrané problémy konstrukce elektronických přístrojů pro integrovanou výuku VUT a VŠB-TUO*. Vyd. 1. V Brně: nakladatelství VUT, 2014, 110 s. ISBN 9788021450714.



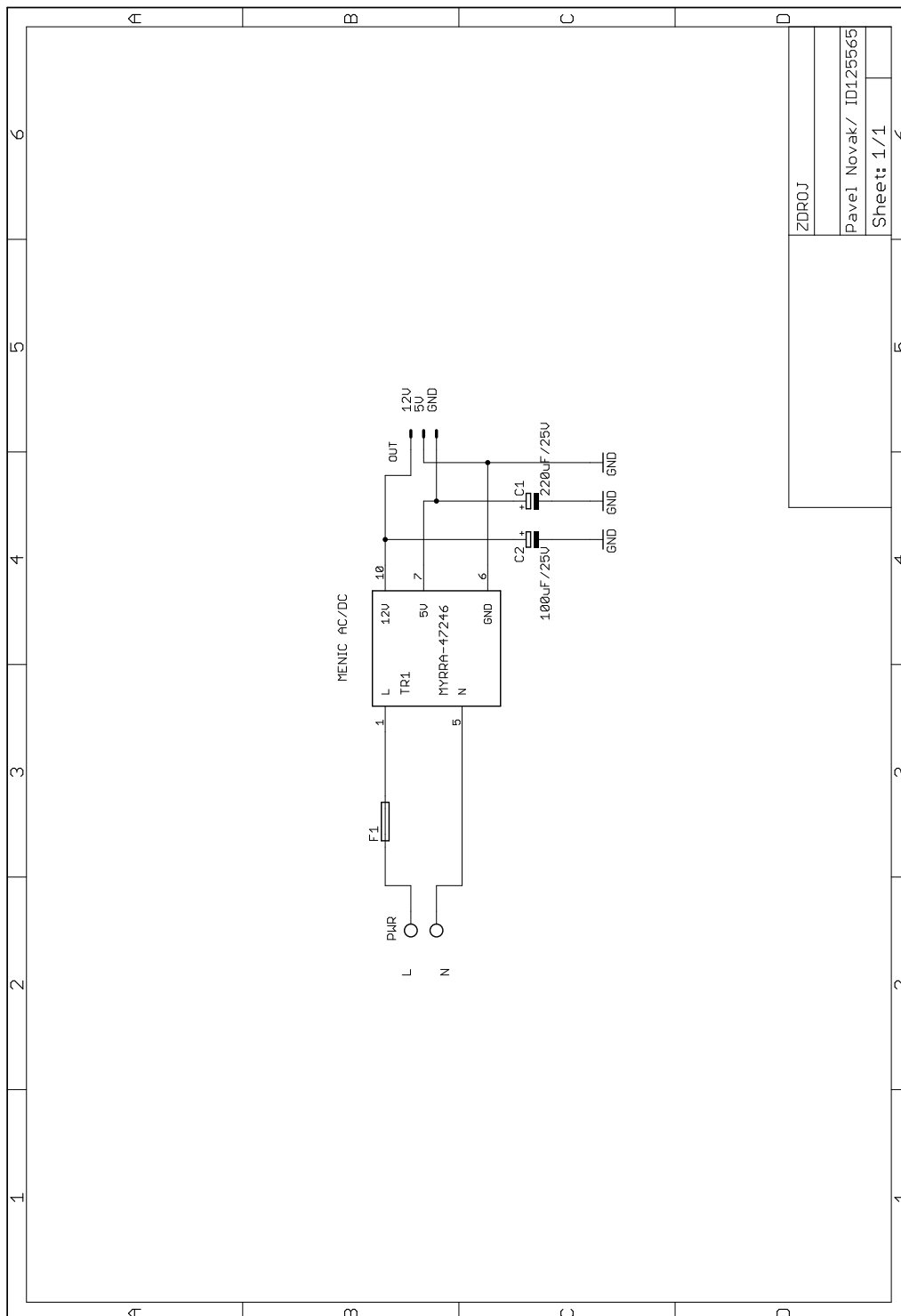
## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

ARIB	The Association of Radio Industries and Businesses
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Électrotechnique
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
DPS	deska plošného spoje
FCC	The Federal Communications Commission
FSK	Frequency-shift keying
HAN	Home Area Network
HDO	Hromadné dálkové ovládání
IO	integrováný obvod
mn	nízké napětí
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexing
PDSL	Power-line Digital Subscriber Line
PLC	Power-line Communication
PLN	Power-line Networking
PSK	Phase-shift keying
RCS	Ripple Carrier Signalling
vn	vysoké napětí
vvn	velmi vysoké napětí

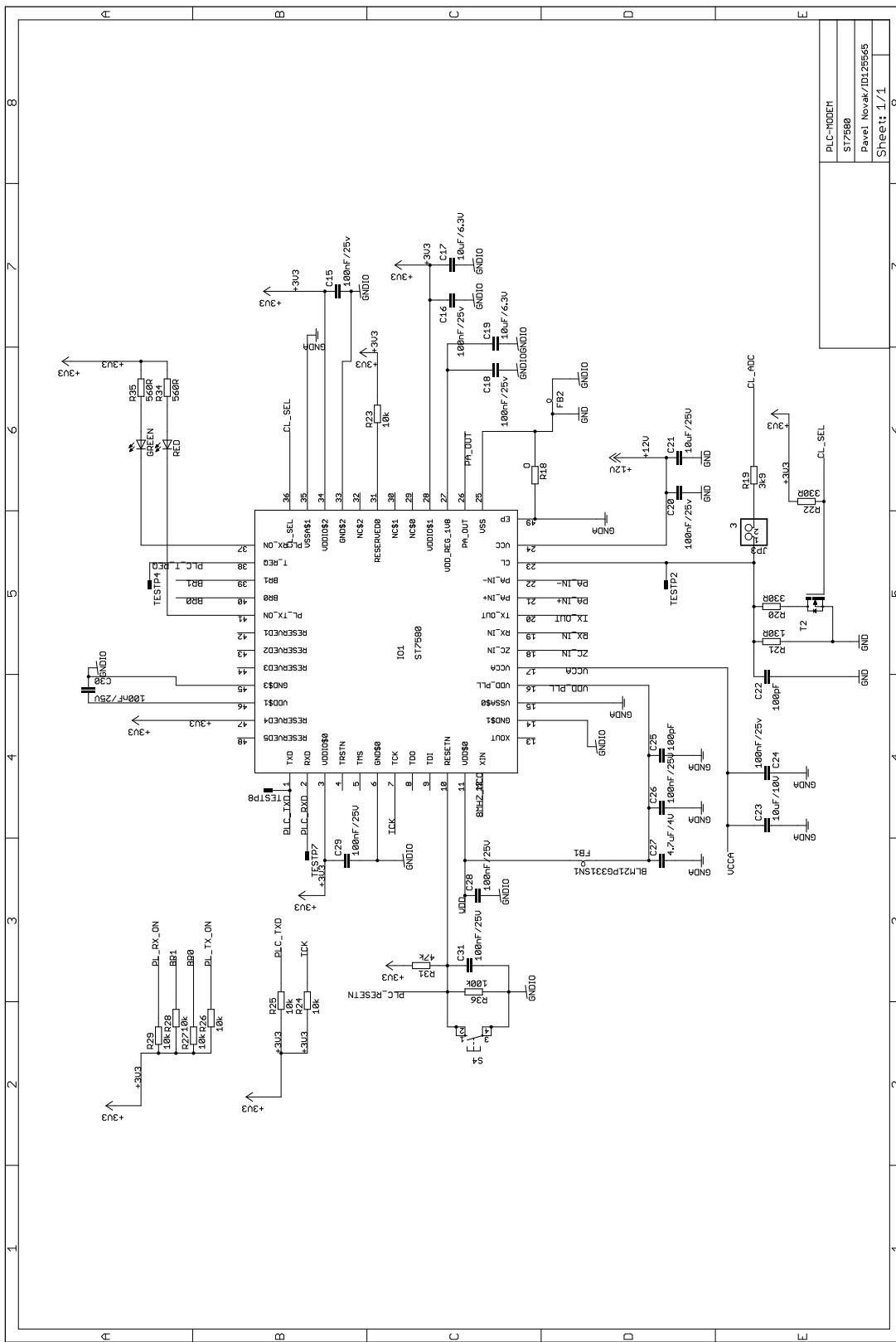
## SEZNAM PŘÍLOH

A Schéma napájecího zdroje a modemu	51
B DPS napájecího zdroje a plc modemu	58
C Seznam použitých součástek	62
D Obsah CD	65

# A SCHÉMA NAPÁJECÍHO ZDROJE A MODEMU

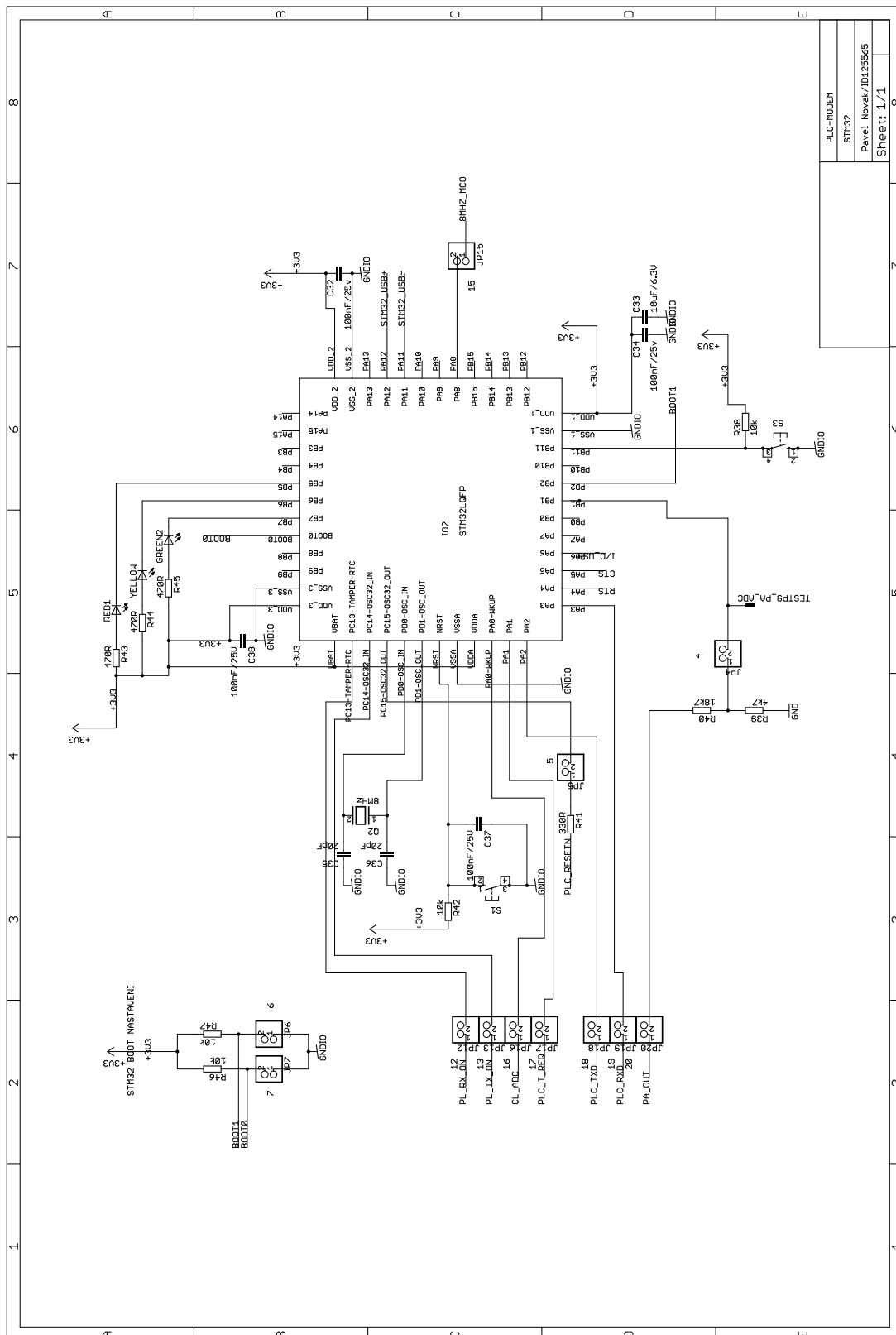


Obr. A.1: Schématické zapojení zdroje

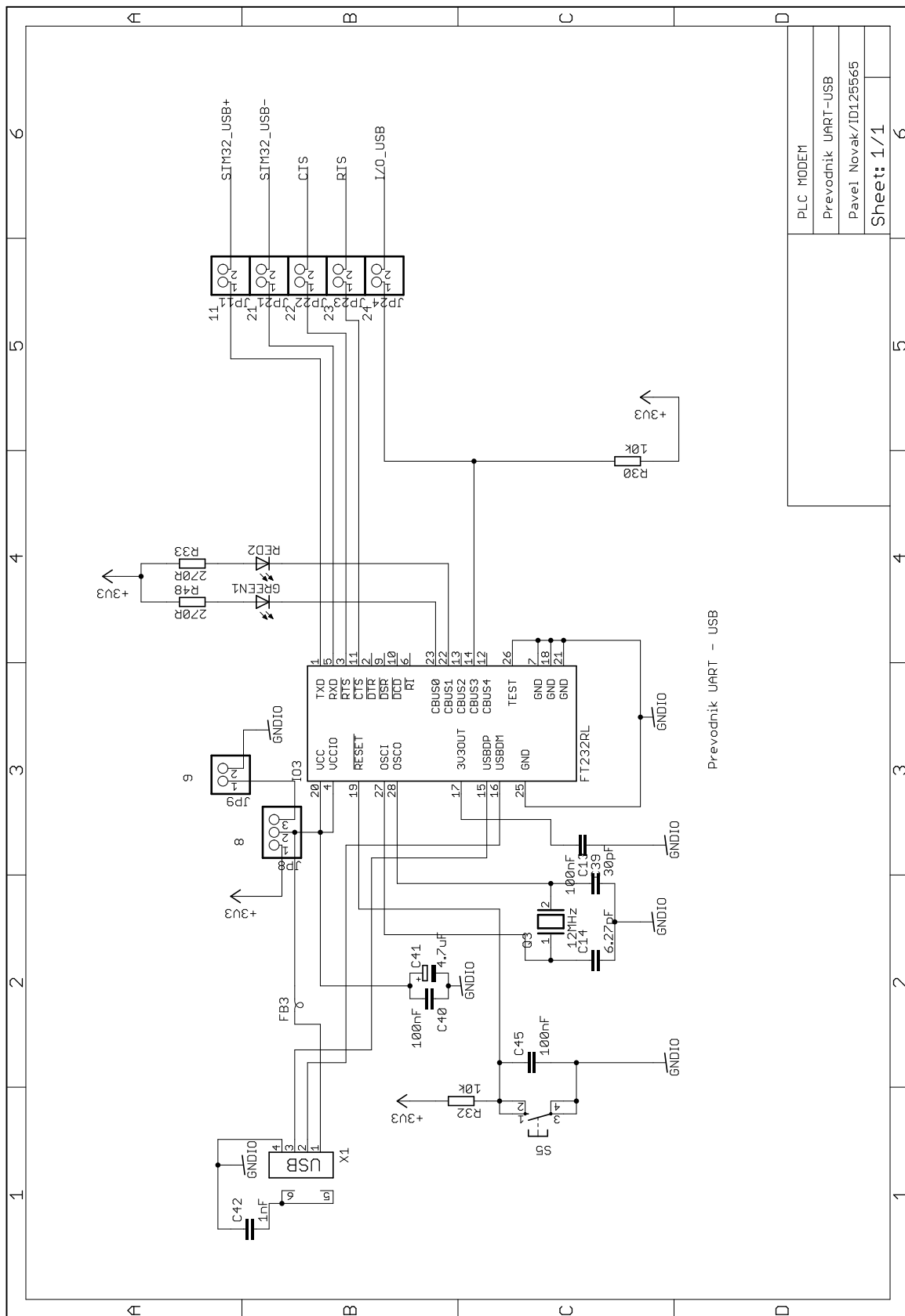


PLC-MODEM
ST7580
Pavel Novak/ID129565
Sheet 1/1

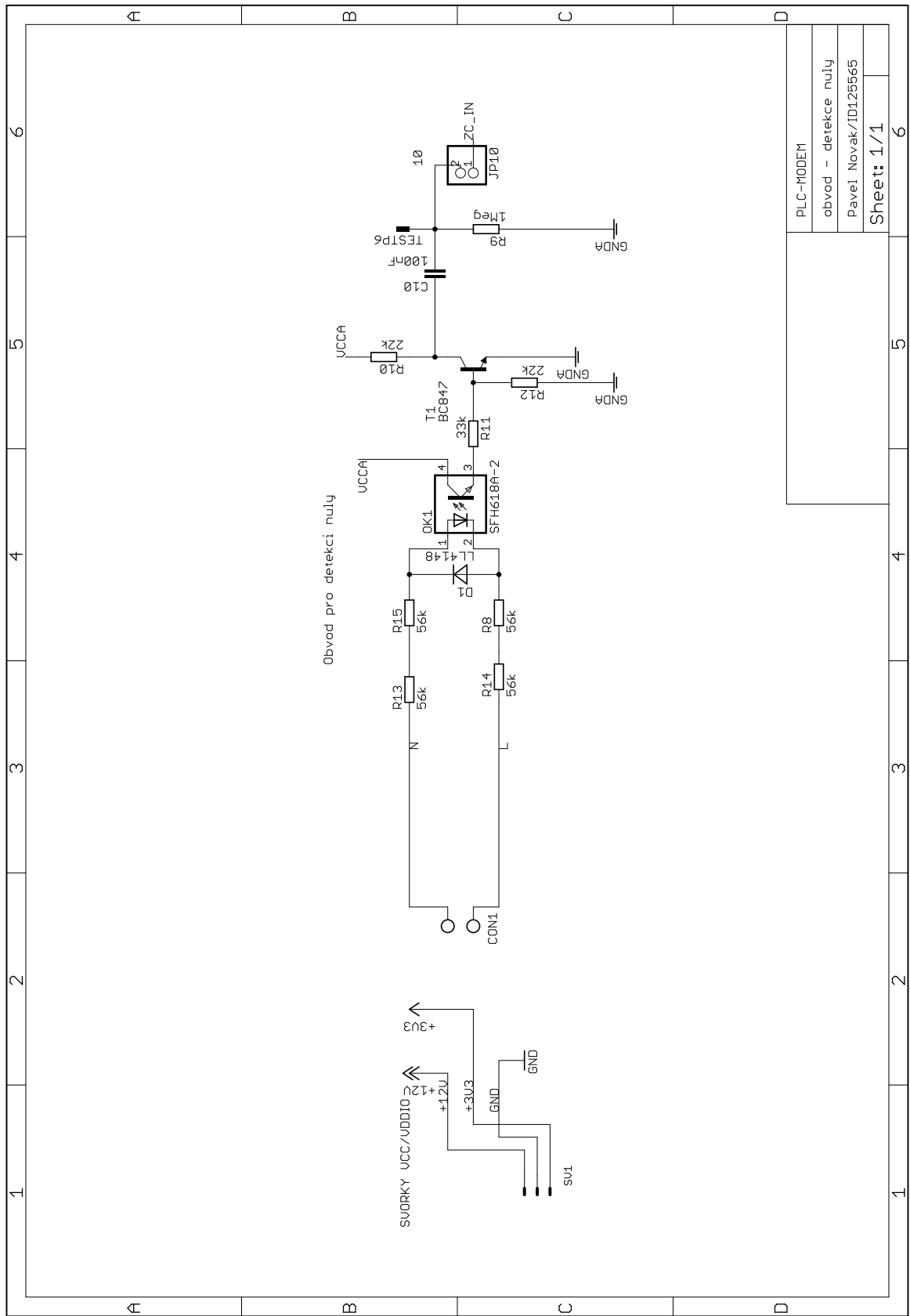
Obr. A.2: Schématické zapojení obvodu ST7580



Obr. A.3: Schématické zapojení obvodu STM32

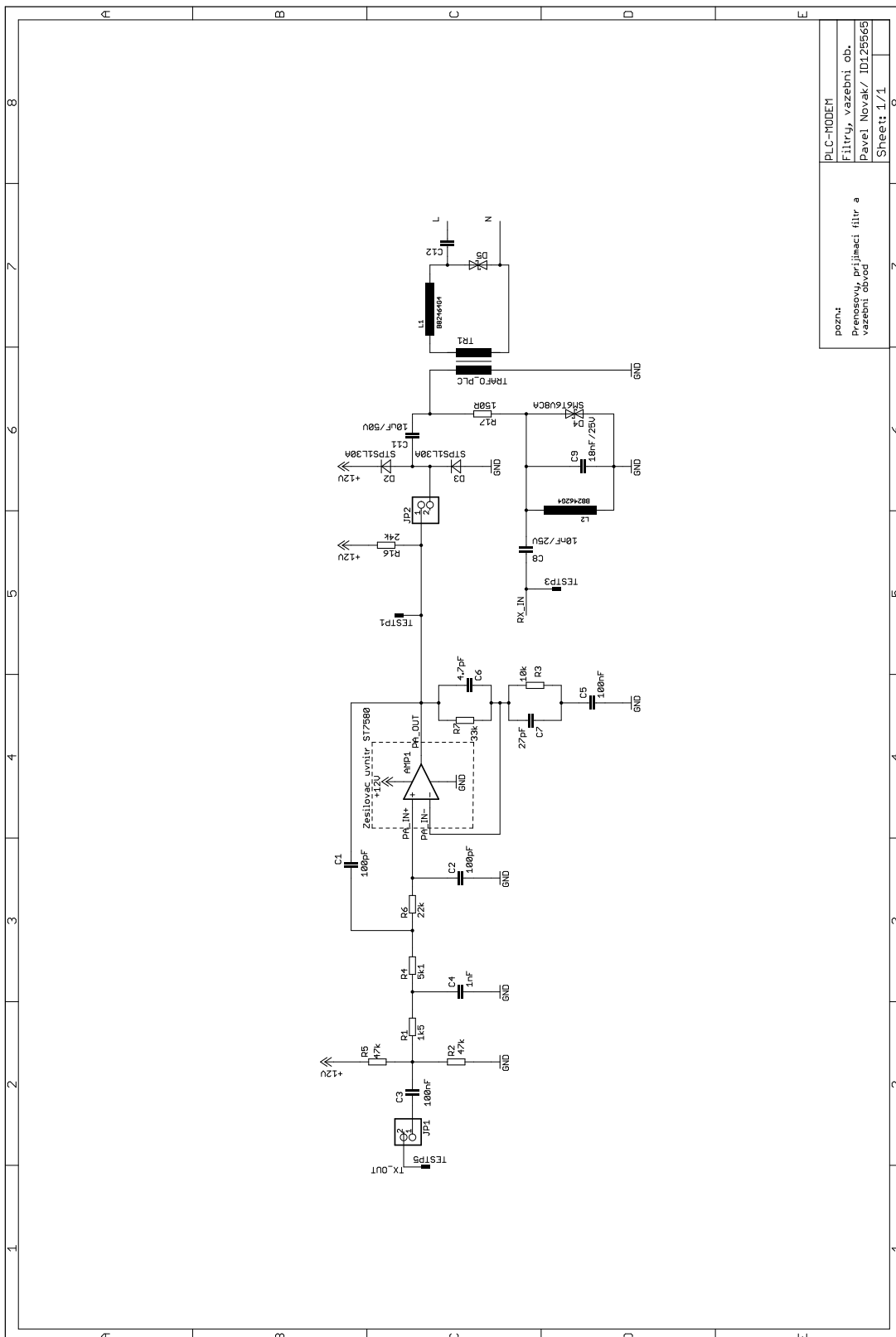


Obr. A.4: Schématické zapojení obvodu převodníku USB-UART



PLC-MODEM	6
obvod - detekce nuly	6
Pavel Novak/ID125665	6
Sheet: 1/1	6

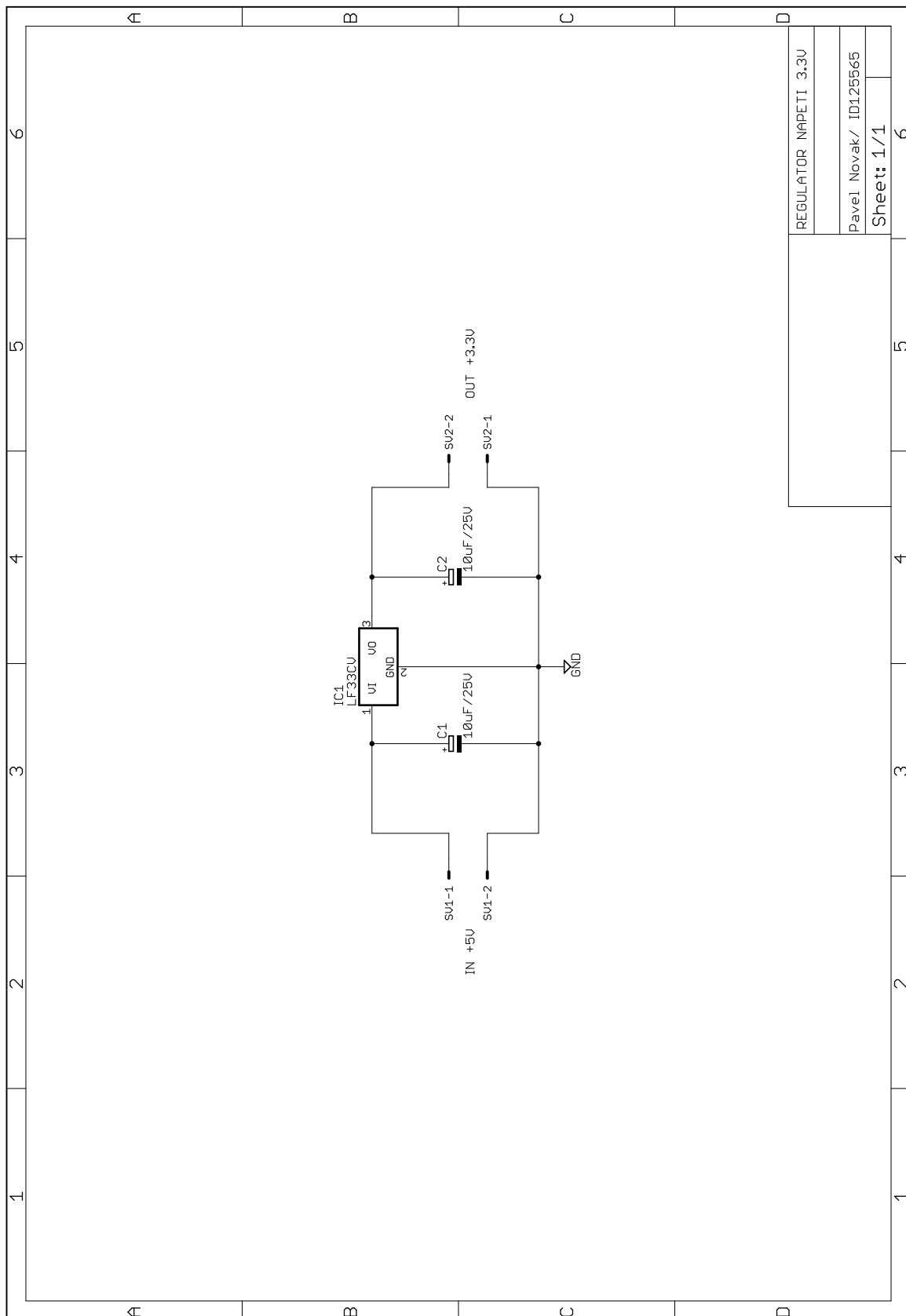
Obr. A.5: Schématické zapojení obvodu pro detekování nuly



PLC-RS485  
 Filtr, vazební ob.  
 Pavel Novák / ID125565  
 Sheet 1/1

Obr. A.6: Schématické zapojení vazebního a filtračního obvodu

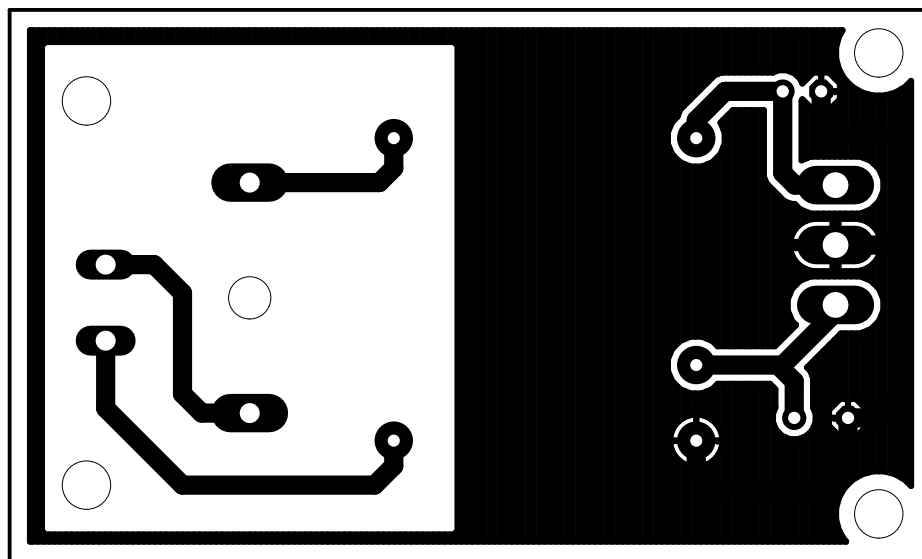




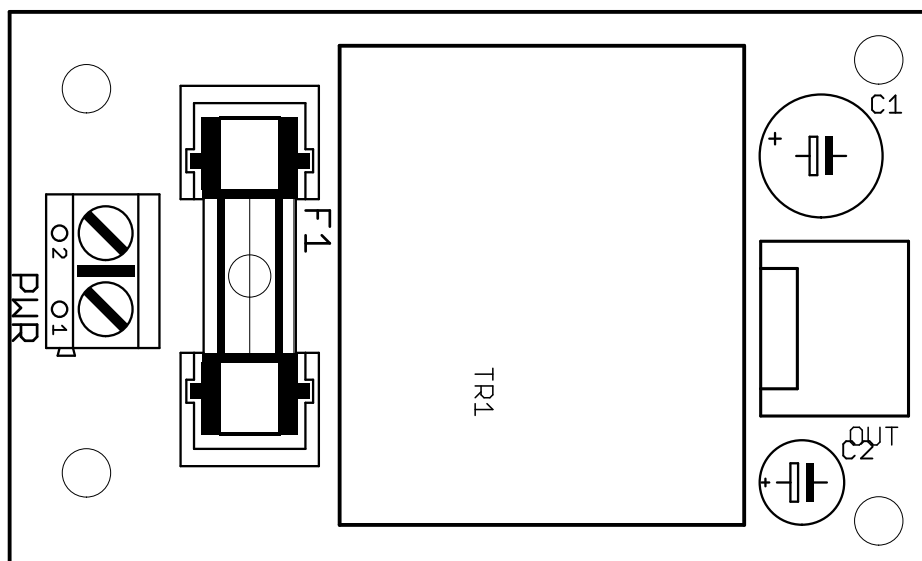
REGULATOR NAPĚTI 3.3V	6
pave1 Novak/ ID125565	6
Sheet: 1/1	6

Obr. A.7: Schématické zapojení regulátoru napětí 3.3 V

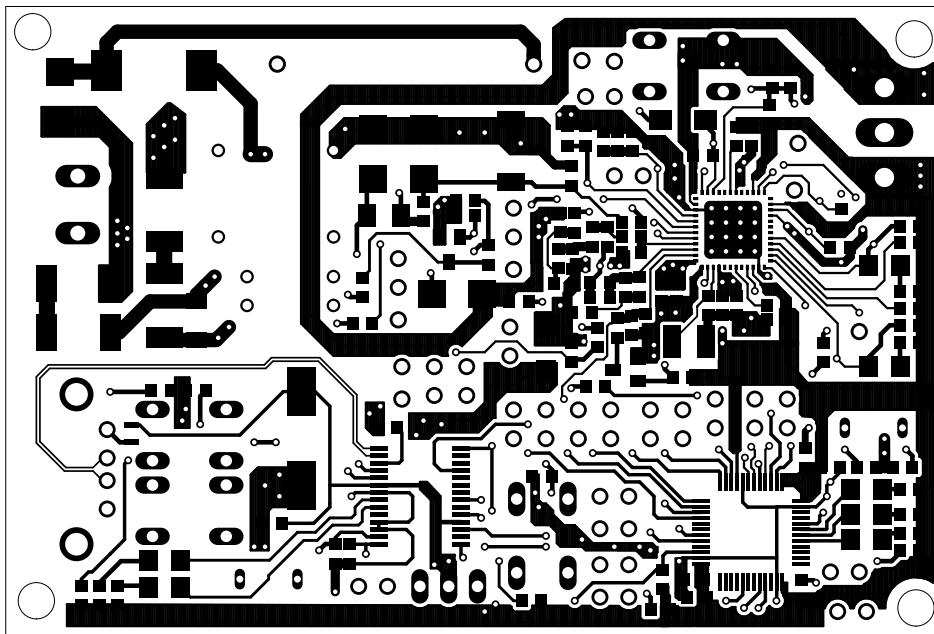
## B DPS NAPÁJECÍHO ZDROJE A PLC MODEMU



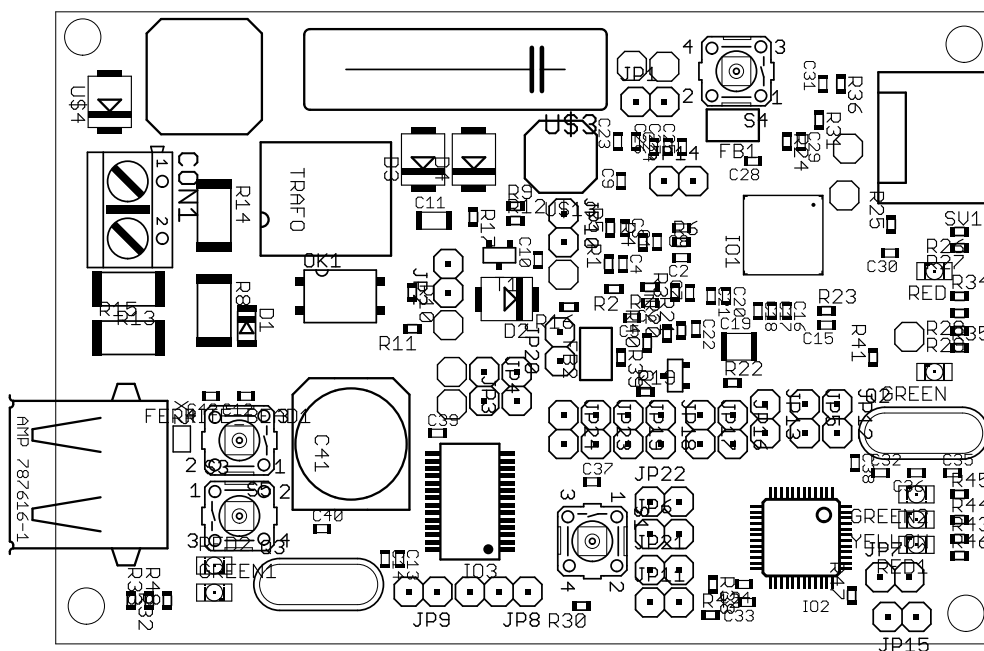
Obr. B.1: Spodní strana DPS zdroje



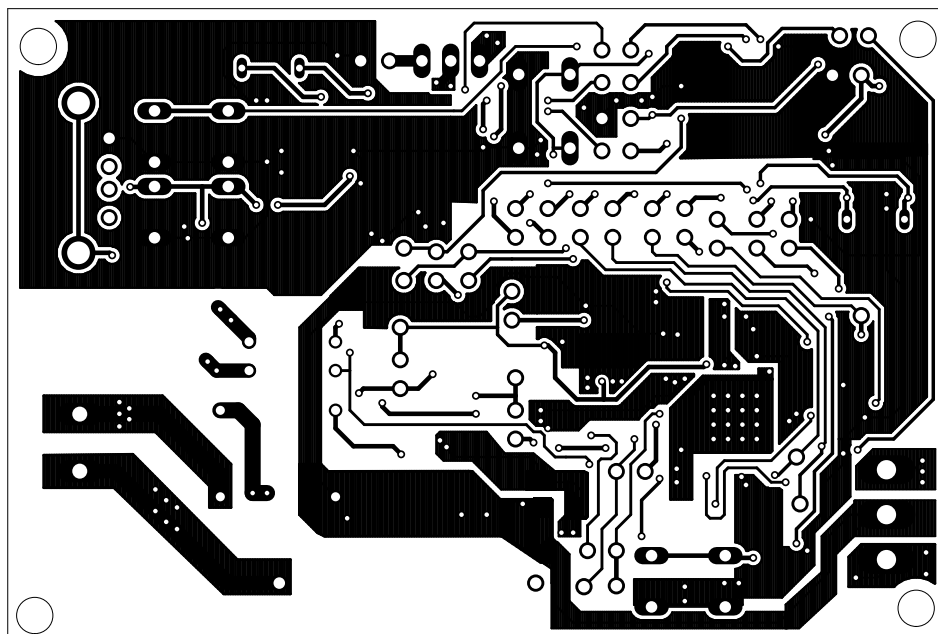
Obr. B.2: Osazovací plán DPS zdroje



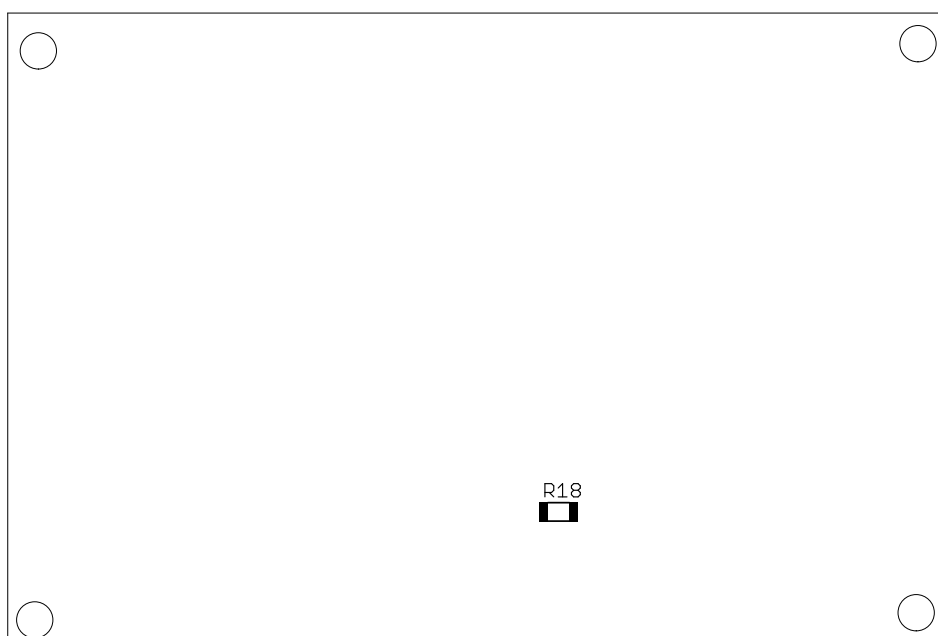
Obr. B.3: Vrchní strana DPS PLC modemu



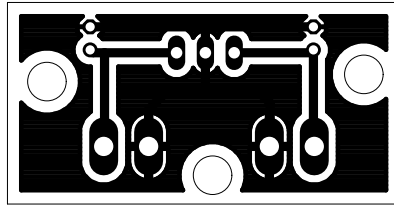
Obr. B.4: Osazovací plán DPS PLC modemu - vrchní strana



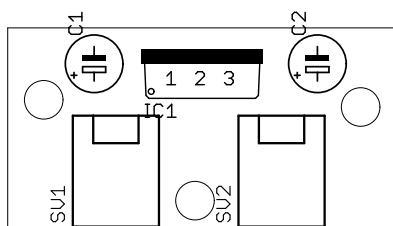
Obr. B.5: Spodní strana DPS PLC modemu



Obr. B.6: Osazovací plán DPS PLC modemu - spodní strana



Obr. B.7: Spodní strana DPS regulátoru napětí



Obr. B.8: Osazovací plán DPS regulátoru napětí

## C SEZNAM POUŽITÝCH SOUČÁSTEK

Tab. C.1: Soupis součástek zdroje napájení

Označení	Hodnota	Poznámka	Ks
C1	220uF/25V	elektrolyt, roz-3.5mm, prům-8mm	1
C2	100uF/25V	elektrolyt, roz-2.5mm, prům-6.3mm	1
F1		pojistkové pouzdro, 20x5mm	1
OUT	KRM 03	svorkovnice 3-pinová	1
PWR	KRM 02	svorkovnice 2-pinová	1
TR1	MYRRA-47246	měníč AC/DC, out 5V/12V	1

Tab. C.2: Soupis součástek PLC modemu

Označení	Hodnota	Poznámka	Ks
C1,C2,C22,C25	100pF/50V	SMD0603	4
C3,C5,C10,C15,C16, C18,C20,C24,C26,C28, C29,C30,C31,C32,C34, C37,C38,C39,C40,C45	100nF/25V	SMD0603	20
C4,C42	1nF/50V	SMD0603	2
C6	4.7pF/50V	SMD0603	1
C7	27pF/50V	SMD0603	1
C8	10nF/50V	SMD0603	1
C9	18nF/50V	SMD0603	1
C9	6,27pF/25V	SMD0603	1
C10,C21,C23	10uF/50V	SMD1206	3
C12	220nF/250V	MKP3361 X1, svitkový	1
C17,C19,C33	10uF/6.3V	SMD0603	3
C27	4.7uF/6.3V	SMD0603	1
C35,C36,C13	20pF/50V	SMD0603	3
C41	4.7uF/63V	elektrolyt, prům-5mm, SMD	1
CON1	KRM02	konektor,roz-5mm, 2-piny	1
D1	LL4148	SOD80C	1
D2,D3	STPS1L30A	SMB	2
D4	SM6T6V8CA	Transil, SMB	1

D5	SM6T15CA	transil,DO-214AA	1
FB1	BLM21PG331SN1	ferit. kroužek, 100MHz, 0805	1
FB2	BLM21PG300SN1	ferit. kroužek, 100MHz, 0805	1
FB3	MI0805K400R-10	ferit. kroužek, 100MHz, 0805	1
IO1	ST7580	VFQFPN48	1
IO2	STM32F103CBT6	VFQFPN48	1
IO3	FT232RQ	VFQFPN48, USB na UART	1
JP8		PINHD-1X3	1
JP1 - JP24		PINHD-1X2	23
LED		SMD1206, 2xžlutá, 2xzelená, 3xčervená	5
L1	B82464G4153M	induktor,15 $\mu$ H,3.1A	1
L2	B82462G4224M	induktor,1.35 ohm,350 mA	1
OK1	TLP781	optočlen,D4-GB.F	1
PIN		piny	9
Q1	2N7002	MOSFET tranzistor,SOT23	1
Q3	12MHZ	krystal,10.77mm x 4.34mm	1
R1	1k5	SMD0603	1
R2,R5,R31	47k	SMD0603	3
R3,R23,R24,R25,R26, R27,R28,R29,R30,R37, R38,R42,R46,R47,R32	10k	SMD0603	15
R4	5k1	SMD0603	1
R6,R10,R12	22k	SMD0603	3
R7,R11	33k	SMD0603	2
R8,R13,R14,R15	56k	SMD2512	4
R9	1Meg	SMD0603	1
R16	24k	SMD0603	1
R17	150R	SMD0603	1
R18	0R	SMD1206	1
R19	3k9	SMD0603	1
R20,R22,R41	330R	SMD0603	3
R21	130R	SMD0603	1
R34,R35	560R	SMD0603	1
R36	100k	SMD0603	1
R39	4k7	SMD0603	1
R40	18k7	SMD0603	1

R48,R33	270R	SMD0603	2
R43,R44,R45	470R	SMD0603	3
S1,S5,S3,S4	MC32860	tlacitko,SPST-NO,50mA	4
SV1	KRM03	konektor,roz-3.5mm, 3-piny	1
T1	BC847	tranzistor,SOT-23	1
T2	8MHZ	krystal,10.77mm x 4.34mm	1
TR1	T60403-K4081-X004	PLC transformator	1
X2	292303-1	USB 2.0 konektor, TYP A	1

Tab. C.3: Soupis součástek regulátoru napětí

Označení	Hodnota	Poznámka	Ks
C1,C2	10uF/25V	elektrolyt,tantal roz-2.5mm	2
IC1	LF33CV	stabilizátor napětí 3.3V, TO220	1
SV1,SV2	KRM 02	svorkovnice 2-pinová	2



## **D OBSAH CD**

- Diplomová práce
- Návrhy DPS v Eagle
- Datasheety