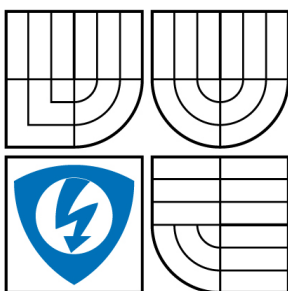


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## NETWORK VOICE MESSAGE BOX

NETWORK VOICE MESSAGE BOX

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

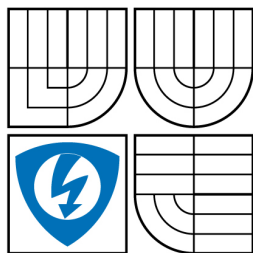
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. MIROSLAV DÍTĚ

VEDOUcí PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. VÁCLAV ZEMAN, Ph.D.

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

# Diplomová práce

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

**Student:** Bc. Miroslav Dítě

**ID:** 83819

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2008/2009

**NÁZEV TÉMATU:**

## Network Voice Message Box

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte technické řešení dílčího zařízení, které má sloužit k předávání hlasových zpráv po napájecím síťovém rozvodu veřejné distribuční soustavy 230V AC. Zařízení musí komunikovat po distribuční soustavě přes tzv. síťový modem. Součástí zařízení bude mikrofon pro nahrávání, reproduktor pro přehrávání a flash paměťové médium pro ukládání zpráv. Při návrhu se zaměřte především na, zvolení vhodného způsobu komunikace, způsob modulace a kódování, simulaci komunikačního protokolu a zabezpečení v programu Matlab, zvolení vhodného modemu a ostatních komponent, návrh schématu, DPS, výrobu zařízení, vytvoření firmware pro aplikaci, zpracování hlasu, uložení dat na flash médium, přenos dat a testování zařízení v reálných podmínkách. Projekt řešte ve spolupráci s vývojovými pracovníky firmy ProAutoma.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Mann, B. : C pro mikrokontroléry, BEN, 2003. ISBN 80-7300-077-6

[2] Kirwan, S., South, G. Power Line Networking Technologies Broadband Potential. Dostupné na <http://glasnost.itcarlow.ie/~net4/kirwans/bband.html>. 2003.

**Termín zadání:** 9.2.2009

**Termín odevzdání:** 26.5.2009

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Václav Zeman, Ph.D.

**prof. Ing. Kamil Vrba, 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

## **Abstrakt**

V diplomové práci je z počátku proveden stručný rozbor problematiky komunikace po silovém vedení a následně proveden návrh komunikačního zařízení. Zařízení má název NVMB, což je zkratka slov Network Voice Message Box. Toto zařízení je určeno k přenosu hlasových zpráv po silovém vedení. Umožňuje jejich nahrávání, přehrávání a odesílání. V diplomové práci je proveden postup návrhu, realizace a zhodnocení funkčnosti. Část je věnována i programovému vybavení tohoto zařízení.

## **Klíčová slova:**

silové vedení, přenos hlasových zpráv, komunikační zařízení, PLC, ST7540

## **Abstract**

In this Master's thesis a power line communication is shortly described and the scheme of the communication system is realized. The communication device is called NVMB. This abbreviation means Network Voice Message Box. It should be used for transfer of the voice message via power line. It enables its recording, playback and sending. A process of the scheme design is created, functionality of the device is realized and reviewed in the main part of the Master's thesis. The other chapter of the thesis is devoted to the software communication system.

## **Keywords**

Power line, voice transfer, communication device, PLC, ST7540

**Citace práce**

DÍTĚ, M. *Network Voice Message Box*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 74 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Václav Zeman, Ph.D.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Network Voice Message Box jsem vypracoval 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 uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne .....

.....

podpis autora

# Obsah

Obsah.....	6
Seznam tabulek.....	7
Seznam obrázků.....	8
1 Úvod.....	9
2 Obecný popis komunikace po silovém vedení.....	10
3 Technické možnosti řešení komunikace.....	11
3.1 Volba kmitočtu a kmitočtového pásma pro komunikaci .....	11
3.2 Volba vhodné modulace.....	14
3.3 Používané standardy pro komunikaci .....	14
4 Návrh komunikačního zařízení NVMB01.....	15
4.1 Zpracování hlasové zprávy a její uložení.....	15
4.2 Výběr vhodné modulace a PLC modemu.....	16
4.3 Výběr mikrokontroleru.....	17
5 Návrh schématu zapojení.....	18
5.1 Komunikační část s PLC modemem ST7540.....	19
5.2 Řídící část s mikrokontrolerem.....	24
5.3 Zdroje napětí.....	30
6 Návrh desek plošných spojů a mechanická konstrukce.....	33
6.1 Návrh desek plošných spojů.....	33
6.2 Mechanická konstrukce zařízení.....	34
7 Programové vybavení zařízení.....	36
7.1 Klávesnice.....	36
7.2 Displej.....	37
7.3 Funkce reálného času.....	38
7.4 Komunikace s počítačem.....	38
7.5 Komunikace s PLC modemem .....	39
7.5.1 Asynchronní komunikace .....	40
7.5.2 Synchronní komunikace.....	41
7.6 Komunikace mezi zařízeními.....	42
7.7 Komunikace s datovou pamětí.....	43
7.8 Nahrávání zvukového signálu.....	44
7.9 Přehrávání zvukového signálu.....	45
8 Ožívování, testování a funkčnost zařízení.....	46
8.1 Oživení základních částí zařízení.....	46
8.2 Oživení části s PLC modemem.....	47
8.3 Oživení obvodů pro zpracování zvukového signálu.....	51
9 Závěr.....	53
Seznam použité literatury.....	55
Seznam příloh.....	58

## Seznam tabulek

Tab. 3.1: Rozdělení kmitočtového pásma určeného pro datovou komunikaci .....	12
Tab. 4.1: Porovnání PLC modemů ST7538 a ST7540 .....	16
Tab. 5.1: Popis zemních a napájecích svorek.....	18
Tab. 5.2: Popis pinů konektoru mezi řídicí a PLC komunikační částí.....	23
Tab. 5.3: Popis řídicích signálů připojených k displejové části.....	25
Tab. 5.4: Vstupní veličiny pro návrh kmitočtového filtru .....	28
Tab. 7.1: Popis komunikačních signálů PLC modemu a mikrokontroleru.....	40
Tab. 8.1: Naměřené výsledky komunikace – rozhraní UART.....	48
Tab. 8.2: Naměřené výsledky komunikace – rozhraní SPI.....	51

## Seznam obrázků

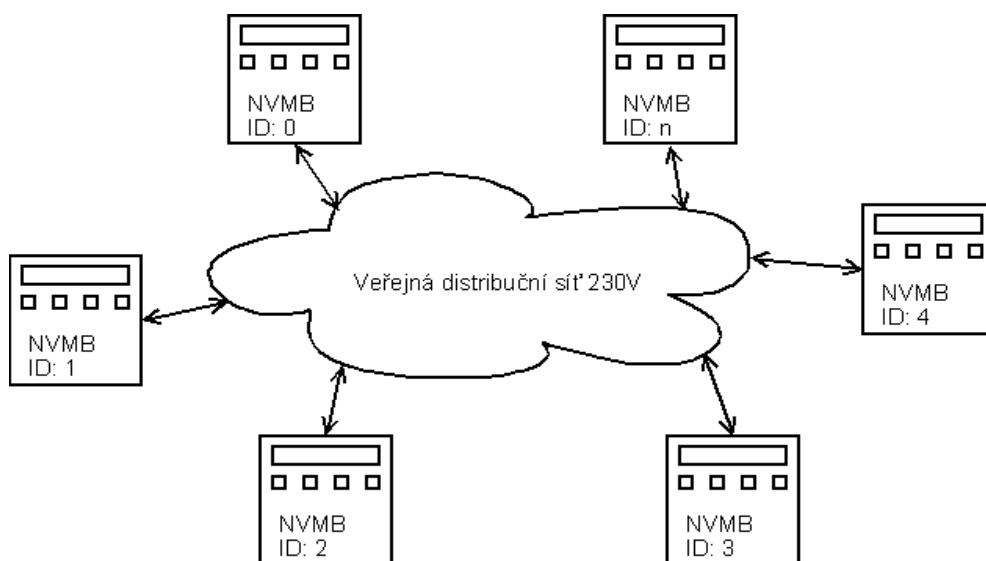
Obr. 1.1: Rozmístění jednotlivých zařízení.....	9
Obr. 3.1: Průběh přenosu na silovém vedení od 1 MHz do 30 MHz [6].....	11
Obr. 3.2: Průběh přenosu na silovém vedení od 75 kHz do 1 MHz [6].....	12
Obr. 4.1: Blokové schéma zařízení.....	15
Obr. 5.1: Schéma PLC modemu ST7540.....	19
Obr. 5.2: Schéma filtrů určených pro vysílání.....	21
Obr. 5.3: Schéma pasivních filtrů určených pro příjem i vysílání.....	22
Obr. 5.4: Obvody pro nastavení výstupního napětí a proudu.....	22
Obr. 5.5: Zapojení konektorů mezi řídicí a PLC komunikační částí.....	23
Obr. 5.6: Způsob připojení klávesnice.....	24
Obr. 5.7: Způsob připojení displejové části.....	25
Obr. 5.8: Způsob připojení paměťového média.....	26
Obr. 5.9: Převodník na úroveň RS232.....	27
Obr. 5.10: Připojení mikrofonu se zesilovačem 50 dB.....	27
Obr. 5.11: Zapojení jednoho bloku vstupního kmitočtového filtru.....	29
Obr. 5.12: Výstupní audio zesilovač.....	30
Obr. 5.13: Schéma zapojení transformátoru a usměrňovacího můstku.....	30
Obr. 5.14: Schéma napájecího zdroje pro PLC modem a audio obvody .....	31
Obr. 5.15: Schéma napájecího zdroje pro číslicové obvody a paměť.....	31
Obr. 6.1: Rozmístění součástek na desce NVMB01_PS.....	33
Obr. 6.2: Rozmístění součástek a konektorů na desce NVMB01_CTR.....	34
Obr. 6.3: Rozměry desek a jejich vzájemné spojení.....	35
Obr. 7.1: Funkční zobrazení připojené klávesnice.....	37



# 1 Úvod

Výstupem diplomové práce by měl být celkový návrh komunikačního zařízení a jeho praktická realizace. Toto zařízení s názvem Network Voice Message Box (NVMB01) by mělo předávat hlasové zprávy prostřednictvím veřejné distribuční soustavy 230 V. Těchto zařízení bude v síti existovat více a každé by mělo mít svoje jedinečné identifikační číslo (obr. 1.1). Pro uložení hlasových zpráv by měla sloužit data flash paměť s možností rozšíření o micro SD kartu. Cílem zařízení a diplomové práce není uskutečnit komunikaci co nejvyšší přenosovou rychlostí, ale pokusit se o dosažení komunikace na co největší vzdálenost. Zařízení pro komunikaci po silovém vedení je celá řada, ale i přes tuto skutečnost bylo rozhodnuto o vývoji vlastního zařízení. Hlavním důvodem je vytvoření relativně jednoduchého zařízení pro úzkopásmovou komunikaci po silovém vedení, které zároveň zahrnuje rozhraní pro nahrávání a odesílání hlasových zpráv.

V diplomové práci je proveden celkový návrh zařízení, popsány jeho jednotlivé části včetně rozboru praktické realizace a shrnuta funkčnost zařízení. Taktéž jsou rozebrány a porovnány jednotlivé možnosti realizace s výběrem té nejvhodnější pro dané zařízení a jeho použití.



Obr. 1.1: Rozmístění jednotlivých zařízení

## 2 Obecný popis komunikace po silovém vedení

Jelikož komunikace po silovém vedení je jednou z hlavních problematik návrhu daného zařízení, uvedu zde její stručný popis. Komunikace po silovém vedení se označuje anglickým názvem Power Line Communications a zkratkou PLC [1]. Tento typ datové komunikace se používá zejména tam, kde by bylo příliš nákladné budování nové kabeláže nebo není možné z důvodu stavebních úprav (např. u historických památek). Tento problém lze samozřejmě řešit pomocí bezdrátové komunikace, ale nabízí se otázka, proč nevyužít již vybudovanou síť primárně určenou pro přenos elektrické energie.

Tento typ datové komunikace může být použit pro distribuci internetového připojení, řízení elektrických spotřebičů nebo pro lokální počítačovou síť. V těchto případech není nutné budovat novou kabeláž, protože většina komunikujících zařízení je napájena ze síťového vedení 230 V a tudíž i datová komunikace může probíhat přímo po tomto vedení. Jedním z problémů je, že pokud chceme pomocí silového vedení vytvářet např. počítačovou síť, tak patrně budeme požadovat co nejvyšší přenosovou rychlost, která se neobejde bez širokopásmové komunikace. Naopak využití pro řízení elektrických spotřebičů po silovém vedení nevyžaduje vysokou přenosovou rychlost, ale spíše vysokou spolehlivost (např. řízení topných těles, klimatizace aj.).

Mezi firmy zabývající se PLC především patří :

- Yitran - [2] nabízí řadu řešení pro úzkopásmovou i širokopásmovou komunikaci. Specializují se především na kompletní řešení pro tzv. Smart house (chytré domy), ve kterých jsou veškeré elektrické spotřebiče řízeny právě po silovém vedení.
- Intellon - [3] firma zabývající se především standardem HomePlug, který je popsán níže.
- DS2 - [4] tato firma se specializuje na vysokorychlostní komunikaci po silovém vedení. Je tvůrce řešení komunikace s rychlostí 200 Mb/s.

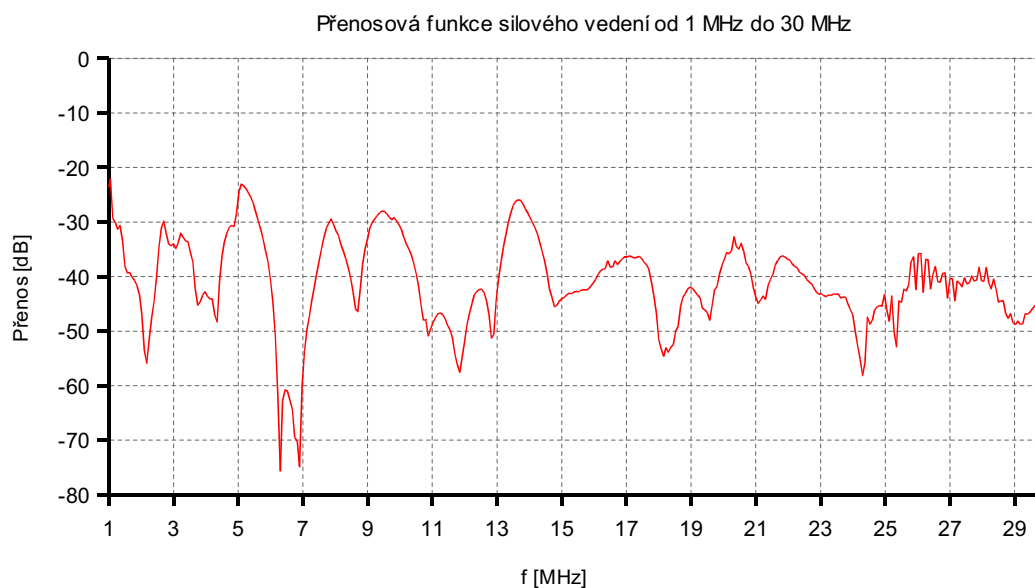
### 3 Technické možnosti řešení komunikace

Technické řešení každého zařízení je vždy dáno účelem použití, požadovanou přenosovou rychlostí a spolehlivostí komunikace, ale také dodržáním příslušných norem. Na základě těchto požadavků musíme vybrat odpovídající kmitočtové pásmo, ve kterém bude komunikace probíhat, způsob modulace a kódování přenášených dat. Poté teprve přichází na řadu vhodná volba hardwarových prostředků pro realizaci zařízení.

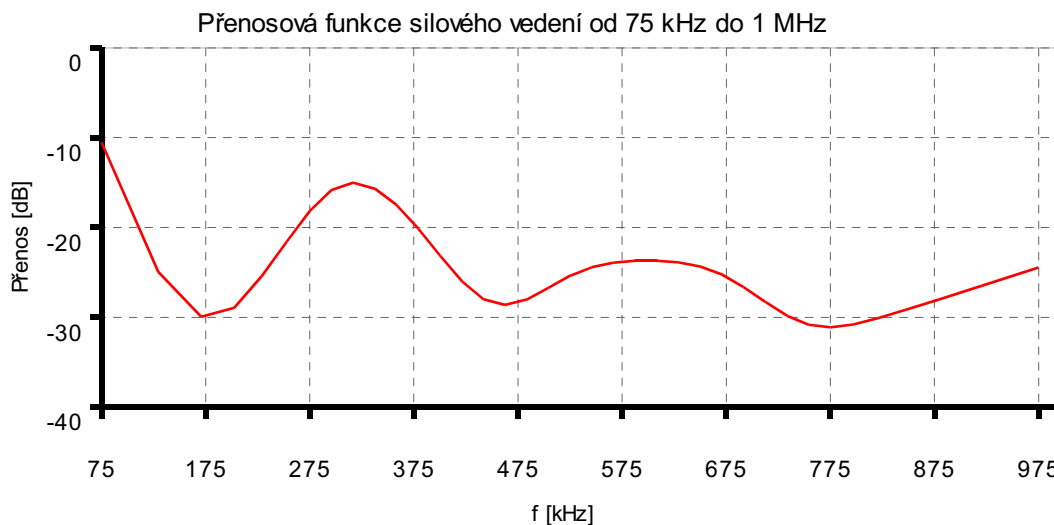
#### 3.1 Volba kmitočtu a kmitočtového pásma pro komunikaci

Úroveň a charakter rušení na silovém vedení je velice obtížně určitelný parametr, který se navíc často mění v čase. Firma Intellon se zabývá i měřením útlumových kmitočtových charakteristik silových vedení, čímž zjišťuje na jakých kmitočtech je útlum vedení nejnižší a na těchto kmitočtech poté komunikaci provádí.

Na obrázku 3.1 je zobrazena typická přenosová funkce silového vedení na vysokých kmitočtech, kterou firma Intellon změřila na mnoha silových vedeních v domácnostech. Pro porovnání je na obrázku 3.2 zobrazena stejná funkce jen pro kmitočty do 1 MHz. Je patrné, že na těchto kmitočtech je útlum výrazně nižší než na kmitočtech nad 1 MHz. Pokud ale požadujeme vysokou přenosovou rychlost, je nutné využívat pro komunikaci vyšších kmitočtů. Z obrázků je vidět, že velikost útlumu je značně proměnná a pohybuje se přibližně od 10 dB do 75 dB. Pokud tedy zvolíme kmitočtové pásmo pro komunikaci špatně, např. 6 – 7 MHz, tak daná komunikace bude patrně neúspěšná, protože v tomto kmitočtovém rozsahu je útlum nejvyšší. Jako jedním z řešení tohoto problému je použití vhodné modulace, která je popsána v další kapitole.



Obr. 3.1: Průběh přenosu na silovém vedení od 1 MHz do 30 MHz [6]



Obr. 3.2: Průběh přenosu na silovém vedení od 75 kHz do 1 MHz [6]

V Evropě jsou pro datovou komunikaci po energetické síti povoleny pouze kmitočty od 9 do 148,5 kHz. Toto pásmo je rozděleno do čtyřech subpásem (tab. 3.1) a pro každé platí určitá pravidla daná normou EN 50065 [5].

Tab. 3.1: Rozdělení kmitočtového pásma určeného pro datovou komunikaci

Subpásmo	Rozsah kmitočtů	Popis
A	3 – 95 kHz	Pro dodavatele elektrické energie.
B	95 – 125 kHz	Pro odběratele; bez jakéhokoliv přístupového protokolu.
C	125 – 140 kHz	Pro odběratele, ale je vyžadován protokol o přistoupení k dohodě (viz. popis níže).
D	140 – 148,5 kHz	Specifikované pro zabezpečovací systémy, ale bez nutnosti jakéhokoliv přístupového protokolu.

Z uvedené tabulky plyne, že se použitelné kmitočtové pásmo zúžilo pouze na třídu C, protože pouze zde je definován přístupový protokol, který musí všechna zařízení dodržovat. Pro přenosy vyšší rychlostí by bylo nutné použít vícecestavovou modulaci, která je ovšem na takto zarušeném komunikačním kanále, jakým energetická síť je, téměř nemožná. Nicméně firmy zabývající se vysokorychlostní komunikací po silovém vedení (např. Intellon, DS2 aj.) používají kmitočty v řádech MHz a tím dosahují potřebných přenosových rychlostí.

Pokud chceme provozovat komunikaci v subpásmu C, musíme dodržet tzv. protokol o přistoupení k dohodě. Zde jsou uvedeny důležité body [5]:

- všechny systémy musí použít kmitočet 132,5 kHz k upozornění pokračujícího vysílání
- je vyžadován přístupový protokol CSMA/CA = Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance – mnohonásobný přístup s vyhýbáním se kolizím.
- žádný vysílač nesmí spojitě vysílat po dobu přesahující 1 s a po každém vysílání nesmí vysílat znovu po dobu alespoň 125 ms.

Navíc komunikaci značně znepríjemňuje skutečnost, že většina spotřebičů připojených do napájecí sítě produkuje rušení. Velikým zdrojem rušení jsou spínané zdroje, tyristorové regulátory, univerzální sériové elektromotory nebo také komunikace rozvodných závodů (především HDO).

### **3.2 Volba vhodné modulace**

Volbou vhodné modulace jsme schopni eliminovat některé nedostatky přenosového kanálu, v našem případě silového vedení. Používané modulace v oblasti komunikace po silovém vedení jsou amplitudová (AM), pulsně polohová (PPM), kmitočtová (FM) a ortogonální multiplex s kmitočtovým dělením OFDM.

Amplitudová modulace je první modulace, která byla použita při komunikaci po silovém vedení a je výhodná především tam, kde je malé množství transformátorů. Amplitudově modulovaný signál totiž mnohem hůře prochází transformátory než kmitočtově modulovaný signál.

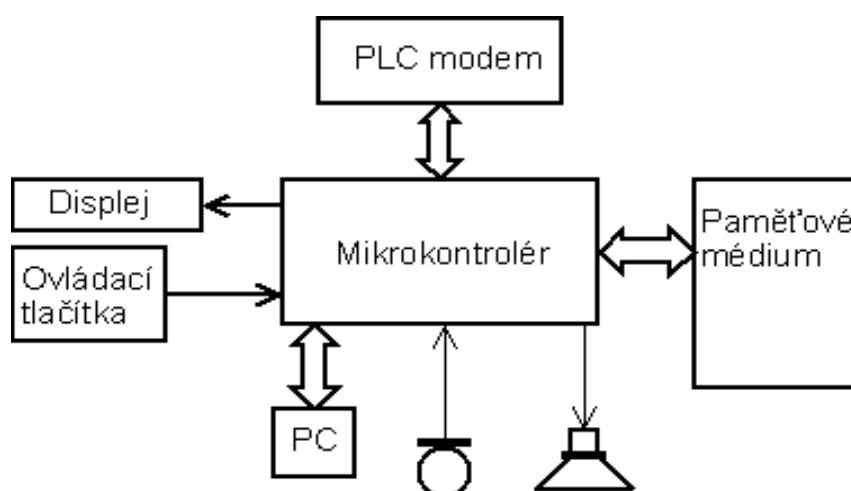
Jako velice výhodná modulace pro dosažení vysokorychlostní komunikace je OFDM. Tato modulace rozdělí komunikační kanál na větší počet kmitočtových kanálů, z nichž každý je ortogonální. To znamená, že minimum nosné jednoho se překrývá s maximem nosné druhého kanálu. Během komunikace je sledována chybovost na jednotlivých komunikačních kanálech a pokud některý vykazuje příliš vysokou chybovost, je vyřazen z komunikace a není nadále používán. Modulací OFDM jsme schopni dosáhnout vysokých přenosových rychlostí (např. firma DS2 až 200 Mb/s).

### 3.3 Používané standardy pro komunikaci

- **HomePlug** – zahrnuje v sobě více standardů, které byly postupně vytvořeny skupinou téměř 50 firem pod názvem Home Plug Powerline Alliance. Všechny standardy používají OFDM modulaci [7].
  - **HomePlug 1.0** – prvním uvolněným standardem v roce 2001 s maximální přenosovou rychlostí 14 Mb/s.
  - **HomePlug 1.0 Turbo** – neoficiální standard s rychlostí až 85 Mb/s.
  - **HomePlug AV** – standard uvolněný v roce 2005, který byl navržen především pro přenos HDTV a VoIP s přenosovou rychlostí na fyzické vrstvě 189 Mb/s.
  - **HPCC** – zkratka HomePlug Command & Control. Standard vytvořený pro nízko rychlostní komunikaci určený pro řízení elektrických spotřebičů v domácnosti.
  - **HomePlug Access BPL** – stále vyvíjený standard pro připojení domácností (tzv. last-mile access networks).
- **X-10** – tento standard byl vytvořen v roce 1975 pro řízení elektrických spotřebičů v domácnosti. Jedná se o velice pomalý přenos informace typu zapnuto / vypnuto nepoužitelný pro přenos větších objemů dat. Datový signál je modulován na kmitočtu 120 kHz a přenos synchronizován se síťovým kmitočtem 50, případně 60 Hz. Používá pulsně polohovou modulaci [8].

## 4 Návrh komunikačního zařízení NVMB01

Jak již bylo řečeno v úvodu, zařízení s názvem Network Voice Message Box (NVMB01) by mělo sloužit pro přenos hlasových zpráv po síti elektrického vedení. Mělo by obsahovat mikrofon pro nahrávání, reproduktor pro přehrávání hlasových zpráv a paměťové médium, na kterém budou hlasové zprávy uloženy. Součástí zařízení bude displej a několik ovládacích tlačítek. Pro ožívování a servisní účely bude zařízení vybaveno komunikačním rozhraním pro připojení k počítači. Blokové schéma navrhovaného zařízení je na obrázku 4.1.



Obr. 4.1: Blokové schéma zařízení

### 4.1 Zpracování hlasové zprávy a její uložení

Hlasová zpráva by měla být uložena na paměťovém médiu, které bude k mikrokontroleru připojeno přes sériové rozhraní SPI. Jako paměťové médium byla zvolena data flash paměť, kterou bude v budoucnu možno rozšířit o mikro SD kartu. Data flash paměť byla zvolena od firmy Atmel a to typ AT45DB081B s kapacitou 8Mb. Protože tato kapacita paměti není nikterak veliká, bude na desce plošných spojů umožněno osadit i slot pro micro SD kartu, která již dostatečnou kapacitu má. Micro SD karta má ale nevýhodu v složité programové obsluze, proto je v diplomové práci řešeno pouze její fyzické připojení.

Samotné zpracování hlasové zprávy bude zabezpečovat mikrokontroler. Ten přes analogově číslicový převodník převede hlasovou zprávu na digitální data a uloží na paměťové médium. Signál z mikrofonu bude kmitočtově omezen dolní propustí 6. řádu s mezním kmitočtem 3000 Hz a vzorkován s kmitočtem 8000 Hz. Tím zabezpečíme dodržení vzorkovacího teorému, že vzorkovací kmitočet musí být minimálně dvojnásobný, než je maximální kmitočet vzorkovaného signálu.

Přehrávání hlasové zprávy bude prováděno pomocí PWM kanálu mikrokontroleru a kmitočtového filtru 6. řádu.

## 4.2 Výběr vhodné modulace a PLC modemu

Volba vhodné modulace závisela především na požadované přenosové rychlosti a myšlence dosáhnout přenosu na co nejdelší vzdálenost. Amplitudová modulace je pro přenos po zarušeném přenosovém kanále méně vhodná, nežli kmitočtová modulace a taktéž výběr součástek pro kmitočtovou modulaci je širší. Modulace OFDM je pro tuto aplikaci zbytečně složitá a v závislosti na dostupných PLC modemech by musela být komunikace volena na kmitočtech v řádu MHz. Pulsně polohová modulace použitá např. u systému X-10 [8] je nepoužitelná pro přenos většího objemu dat.

Jako nejlepší volba se tedy jeví použití kmitočtové modulace, kterou jsme schopni dosáhnout přijatelné přenosové rychlosti a snad i komunikace na dostatečnou vzdálenost.

Musíme tedy vybrat PLC modem, který podporuje kmitočtovou modulaci. Mezi tyto modemy patří např. ST7538 nebo ST7540 od firmy ST Microelectronic. Jejich stručné porovnání je uvedeno v tabulce 4.1.

Tab. 4.1: Porovnání PLC modemů ST7538 a ST7540

<b>Funkce</b>	<b>ST7538</b>	<b>ST7540</b>
Použitá modulace	Kmitočtová	Kmitočtová
Komunikace	Plně duplexní	Polo duplexní
PLC rozhraní	Dvojitě zakončení (pro přijímač a vysílač zvlášť)	Jednoduché zakončení
Detektor průchodu nulou síťového napětí	Ano	Ne
Přenosová rychlost	Volitelná do 4800 b/s	Volitelná do 4800 b/s
Kmitočet nosné	Volitelný od 60 do 132,5 kHz	Volitelný od 60 do 132,5 kHz
Pouzdro	TQFP 44	HTSSOP28

Oba výše zmiňované PLC modemy jsou výrobcem doporučovány pro domácí automatizaci a do aplikací pro automatické měření stavu elektroměrů. Tyto modemy zajišťují pouze fyzickou vrstvu komunikačního protokolu, zbylé vrstvy musí být řešeny připojeným mikrokontrolerem. Oba PLC modemy jsou velice podobné a používají stejné jádro pro kmitočtovou modulaci. ST7538 je složitější, ale nabízí navíc plně duplexní komunikaci.

Protože v naší aplikaci bude postačovat polo duplexní komunikace a požadujeme co nejjednodušší komponenty, bude použit PLC modem ST7540.



## 4.3 Výběr mikrokontroleru

Požadavky na rozhraní mikrokontroleru:

- UART – pro komunikaci s PC
- SPI – pro komunikaci s PLC modemem ST7540
- SPI – pro komunikaci s paměťovým médiem
- PWM výstup pro přehrávání hlasových zpráv
- minimálně 25 obecně použitelných portů pro připojení displeje, klávesnice a kontrolních signálů pro PLC modem

Z uvedených požadavků vyplývá, že budou potřeba dvě SPI rozhraní. Takový mikrokontroler, ale v přiměřené složitosti a cenové kategorii neexistuje, tudíž bude třeba použít jedno softwarové rozhraní SPI.

Tím se nám výběr značně rozšířil a můžeme použít běžně dostupné mikrokontrolery od firmy Atmel. Jako nejvhodnější bude použit některý z mikrokontrolerů řady megaAVR. Do té patří například ATmega32, ATmega64, ATmega128 a jejich klony. Všechny tyto mikrokontrolery vyhovují z hlediska požadovaných rozhraní, jen ATmega32 má malý počet obecně použitelných portů. Z tohoto důvodu byl výběr proveden mezi ATmega64 a ATmega128, které se liší pouze velikostí vnitřní paměti. Cena obou mikrokontrolerů je podobná, proto je zvolen mikrokontroler ATmega128 s vyšší kapacitou paměti.

## 5 Návrh schématu zapojení

Schéma zapojení je kresleno v programu Eagle a celkové je uvedeno v příloze. Zde jsou uvedeny a popsány pouze jednotlivé části. Schéma se skládá z řídicí části, která je tvořena především mikrokontrolerem ATmega128 společně s filtry pro zpracování zvukového signálu, a z komunikační části tvořené PLC modemem ST7540 společně se zdroji napájecího napětí. Celé zařízení bude realizováno na dvou oddělených deskách plošných spojů. Jedna s řídicí částí a druhá se zdroji napětí a komunikační částí. Tyto desky plošných spojů budou navzájem propojeny pomocí konektorů bez použití kabeláže.

Tab. 5.1: Popis zemních a napájecích svorek

Označení ve schématu	Popis
+12V ⇒⇒	Výstupní napětí z transformátoru po jeho usměrnění.
VCC ➤	Napájení pro PLC modem a audio obvody o velikosti 9 V.
+5V ⊕	Napájecí napětí o velikosti 5 V použité pro napájení digitálních obvodů.
+3V3 ➤	Napájecí napětí pro paměťové médium o velikosti 3,3 V.
VCC_SW —	Napájecí napětí pro audio obvody. Zapínání tohoto napájecího napětí je ovládáno mikrokontrolerem.
VDC —○	Napájecí napětí generované vnitřním regulátorem PLC modemu ST7540 o velikosti 5 V.
⊥ AGND	Zemní svorka pro připojení obvodů určených ke komunikaci.
⊥ GND	Zemní svorka pro připojení ostatních obvodů.

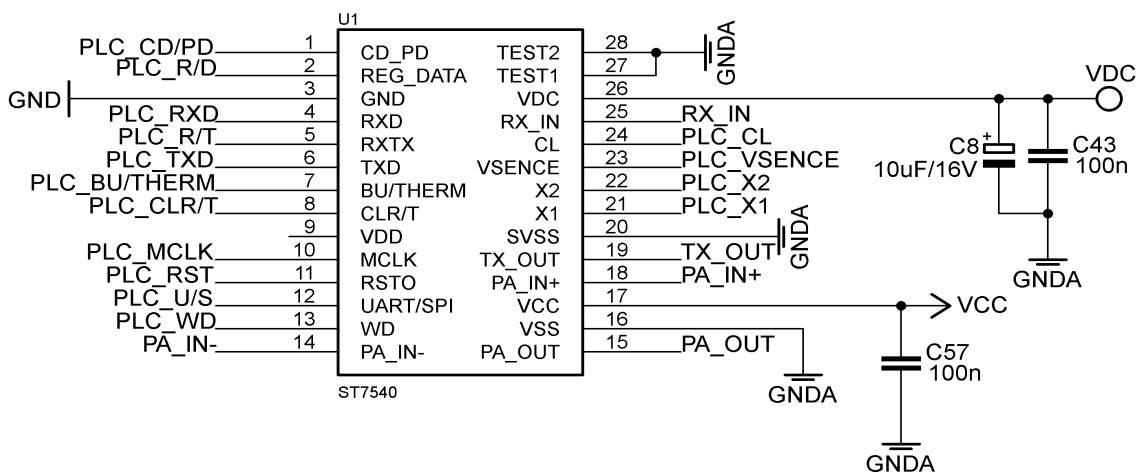
## 5.1 Komunikační část s PLC modemem ST7540

Na obrázku 5.1 je zobrazeno schéma zapojení PLC modemu ST7540. Zde je uvedena pouze vlastní součástka s popisem pinů. Ostatní obvody jsou popsány níže.

Jak již bylo zmíněno v předešlé kapitole, jako komunikační modem byl zvolen PLC modem ST7540 od firmy ST Microelectronic. Tento modem má pouzdro s 28 vývody s označením HTSSOP28. Na osazování nejsou kladeny zvláštní požadavky, až na doporučení připájení i chladičí plošky pouzdra. Toto není při ručním osazování proveditelné, proto je případný problém s chlazením řešen dodatečnou montáží chladiče, pro který je na desce plošných spojů vytvořen montážní otvor.

PLC modem je napájen ze zdroje napětí o velikosti 9 V (pin číslo 16 – VCC). Tento modem má vnitřní regulátory napětí s vyvedenými výstupy na piny číslo 9 o velikost 3,3 V a pin číslo 26 o velikosti 5 V. Tato napětí by bylo možné použít jako napájecí napětí např. pro mikrokontroler nebo paměť, ale z důvodu menšího tepelného zatížení tohoto modemu jsou použity vlastní regulátory napětí. Napětí VDC o velikosti 5 V je využito pouze jako zdroj reference pro ochrannou diodu v přijímací části. Napětí o velikosti 3,3 V z pinu číslo 9 není využito vůbec.

Napájecí napětí jsou blokována připojenými kondenzátory a to pomocí 10  $\mu$ F tantalového a 100 nF keramického kondenzátoru. Jako zdroj hodinového signálu je použit SMD krystal s kmitočtem 16 MHz. Popis vybraných pinů modemu je uveden v tabulce 5.2.



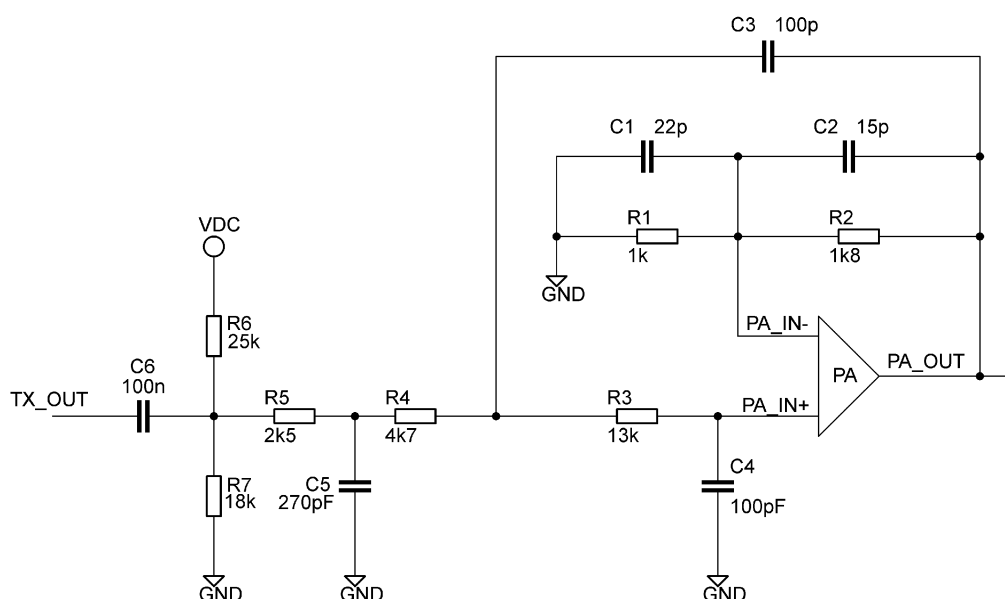
Obr. 5.1: Schéma PLC modemu ST7540

Tab. 5.2: Popis pinů PLC modemu ST7540

Číslo pinu a jeho název	Popis
1, 2, 4 – 8, 10 – 13	Piny použité pro komunikaci s mikrokontrolerem. Popis uveden níže.
3 – GND	Signálová zem použitá pro komunikaci s mikrokontrolerem.
14 – PA_IN –	Invertující vstup výkonového operačního zesilovače umístěného uvnitř modemu.
15 – PA_OUT	Výstup výkonového operačního zesilovače umístěného uvnitř modemu.
18 – PA_IN+	Přímý vstup výkonového operačního zesilovače umístěného uvnitř modemu.
19 – TX_OUT	Výstupní datový signál.
21, 22 – X1, X2	Piny pro připojení krystalového oscilátoru.
23 – VSENSE	Napěťový vstup pro kontrolu velikosti napětí na datovém výstupu.
24 – CL	Vstup pro nastavení maximálního proudu datového výstupu.
25 – RX_IN	Vstupní datový signál.

Na obrázku 5.2 je zobrazeno schéma zapojení filtrů, které jsou použity pro filtraci a zesílení výstupního kmitočtově modulovaného signálu. Základem filtru je výkonový operační zesilovač (PA), který je umístěn uvnitř PLC modemu a má vyvedeny oba vstupy i výstup. Hodnoty součástek jsou pro komunikační kmitočet 132,5 kHz, čili mezní kmitočet těchto filtrů (celkem 3. řádu) musí být vyšší. V tomto případě byl dle doporučení [9] zvolen kmitočet přibližně 200 kHz. Filtr se skládá z kaskádního zapojení pasivního filtru 1. řádu (tvořen prvky  $R_5$  a  $C_5$ ) a aktivního filtru 2. řádu v zapojení Sallen-Key s přenosem v propustném pásmu + 9 dB.

Pomocí rezistorů  $R_6$  a  $R_7$  je nastavena stejnosměrná složka výstupního datového signálu na hodnotu 2,1 V. Pomocí kondenzátoru  $C_6$  je zajištěno, aby se tato stejnosměrná složka nedostávala k výstupnímu pinu modemu.



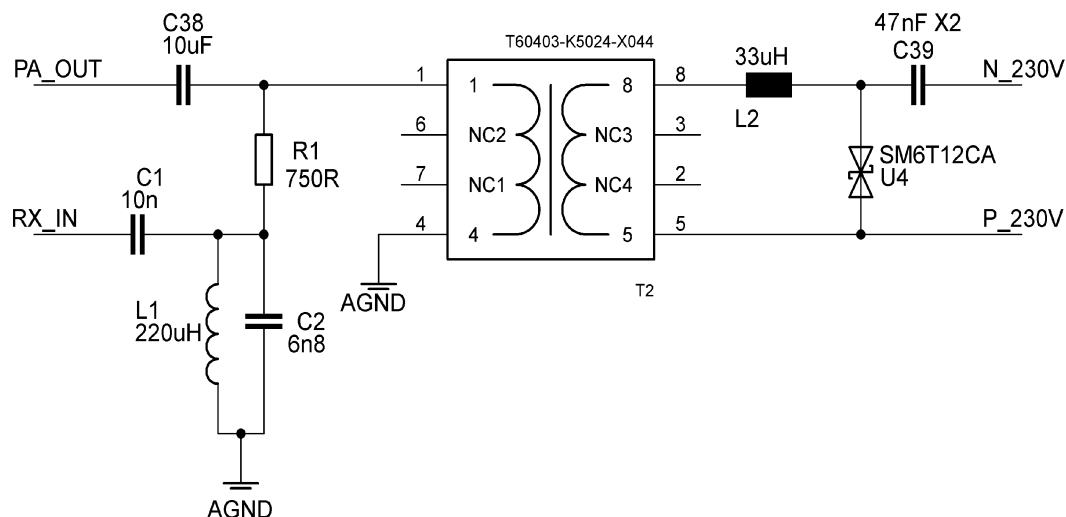
Obr. 5.2: Schéma filtrů určených pro vysílání

Na obrázku 5.3 je zobrazeno schéma pasivních filtrů. Filtr určený pro vysílání tvoří prvky  $C_{38}$ ,  $L_2$ ,  $C_{39}$  a oddělovací transformátor  $T_2$ . Hodnoty těchto prvků jsou voleny na základě doporučení [9] a přizpůsobeny součástkám, které jsou běžně dostupné. Indukčnost cívky  $L_2$  je volena na základě požadavků na velikost ekvivalentního sériového odporu ( $< 0,2 \Omega$ ) a saturačního proudu ( $> 1 \text{ A}$ ). Po volbě velikosti indukčnosti se určí podle vztahu (1) velikost kondenzátoru  $C_{39}$ . Jedná se o odrušovací kondenzátor třídy X2. Pasivní filtr pro vysílání tvoří s aktivním filtrem pásmovou propust se středním kmitočtem na zvoleném komunikačním kmitočtu.

$$C_{39} = \frac{1}{L_2 \cdot (2\pi \cdot f_c)^2} = \frac{1}{33 \cdot 10^{-6} \cdot (2\pi \cdot 132,5 \cdot 10^3)^2} = 43 \text{ nF} = 47 \text{ nF} \quad . \quad (1)$$

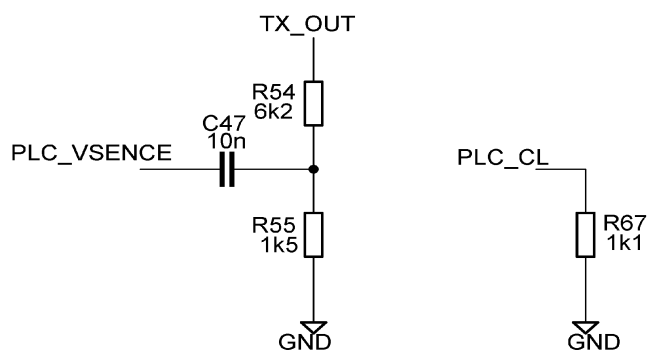
Pasivní filtr pro příjem je tvořen prvky  $R_1$ ,  $C_2$  a  $L_1$ . I v tomto případě jsou hodnoty prvků použity dle doporučení [9] a nalezeny ekvivalentní náhrady, které jsou běžně dostupné. Tento filtr tvoří pásmovou propust se středním kmitočtem na komunikačním kmitočtu. Hodnoty součástek jsou voleny obdobným způsobem jako v předchozím případě, čili volba indukčnosti  $L_1$  a následný výpočet velikosti kondenzátoru  $C_2$  dle vztahu (2).

$$C_2 = \frac{1}{L_1 \cdot (2\pi \cdot f_c)^2} = \frac{1}{220 \cdot 10^{-6} \cdot (2\pi \cdot 132,5 \cdot 10^3)^2} = 6,5 \text{ nF} = 6,8 \text{ nF} \quad . \quad (2)$$



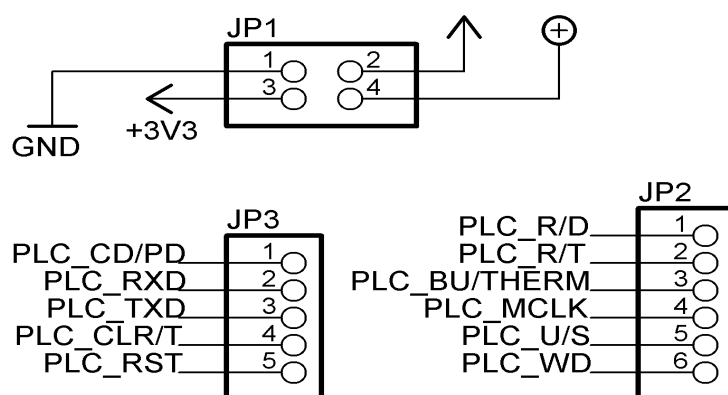
Obr. 5.3: Schéma pasivních filtrů určených pro příjem i vysílání

Na obrázku 5.4 je zobrazen obvod smyčky zpětné vazby pro regulátor výstupního napětí. Uvedené hodnoty jsou pro výstupní napětí  $2\text{ V}_{\text{RMS}}$ . Na obrázku 5.4 je také zobrazeno připojení rezistoru  $R_{56}$ , který je využit pro nastavení maximálního výstupního proudu výkonového zesilovače PA umístěného uvnitř PLC modemu. Uvedená hodnota  $1,1\text{ k}\Omega$  je pro maximální výstupní proud  $500\text{ mA}_{\text{RMS}}$ .



Obr. 5.4: Obvody pro nastavení výstupního napětí a proudu

Komunikace mezi řídicí a komunikační částí je uskutečňována prostřednictvím pěti a šesti pinového konektoru JP2 a JP3. Konektor JP1 je využit pro propojení napájecích napětí a země (obr. 5.5 a tab. 5.2). Názvy všech signálů jsou shodné s celkovým schématem zapojení, které je uvedeno na konci diplomové práce v příloze.



Obr. 5.5: Zapojení konektorů mezi řídicí a PLC komunikační částí

Tab. 5.2: Popis pinů konektoru mezi řídicí a PLC komunikační částí

Číslo a název pinu	Popis
JP2.1 – PLC_R/D	Signál pro volbu přístupu do konfiguračního registru PLC modemu nebo pro datovou komunikaci.
JP2.1 – PLC_R/T	Volba mezi přijímacím a vysílacím režimem PLC modemu.
JP2.3 – PLC_BU/THERM	Signál detekce nosné v přijímacím režimu. Signál vypnutí z důvodu překročení povolené teploty.
JP2.4 – PLC_MCLK	Hodinový signál pro mikrokontroler.
JP2.5 – PLC_U/S	Volba mezi UART a SPI komunikací.
JP2.6 – PLC_WD	„Watch dog“ vstup. Sestupnou hranou na tomto pinu je nulován časovač „Watch dog“ modemu.
JP3.1 – PLC_CD/PD	Signál detekce nosné nebo hlavičky rámce.
JP3.2 – PLC_RXD	Signál přijímaných dat.
JP3.3 – PLC_TXD	Signál odesílaných dat.
JP3.4 – PLC_CLR/T	Hodinový signál pro sériovou komunikaci.
JP3.5 – PLC_RST	Reset mikrokontroleru při přetečení časovače „Watch dog“.

## 5.2 Řídící část s mikrokontrolerem

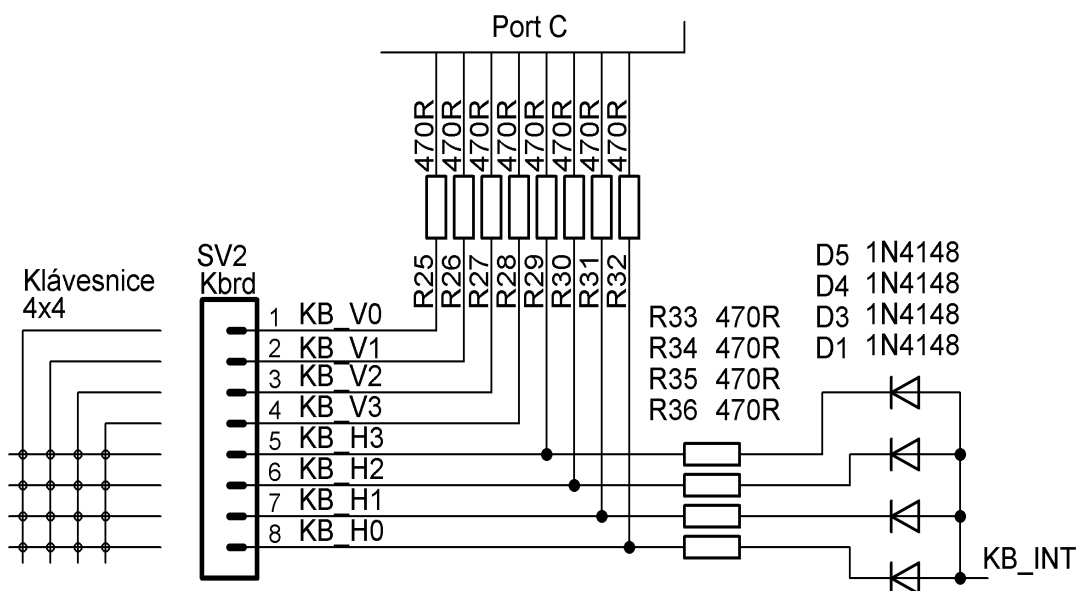
Řídící část zařízení je umístěna na samostatné desce plošných spojů a dala by se rozdělit na dvě části. První je část s mikrokontrolerem ATmega128 s připojenými obvody pro komunikaci s uživatelem (klávesnice, displej, sériové rozhraní) nebo PLC modemem. Do této části by se dalo zahrnout i paměťové médium. Druhou částí jsou obvody pro zpracování zvukového signálu.

Mikrokontroler ATmega128 je napájen ze zdroje napětí o velikosti 5 V a jako zdroj hodinového signálu je použit krystal s kmitočtem 16 MHz. Druhý použitý krystal s kmitočtem 32,768 kHz je využit jako reference pro zdroj reálného času (RTC). K mikrokontroleru je připojena prostřednictvím sériového rozhraní SPI data flash paměť s možností rozšíření o micro SD kartu, pro kterou je na desce plošných spojů nachystána osazovací varianta.

Pro potřeby oživování a ladění celého zařízení jsou vyvedena rozhraní JTAG a SPI, přes která lze uvedený mikrokontroler programovat. Dalším vyvedeným rozhraním je univerzální sériové rozhraní UART, přes které může být zařízení připojeno k počítači.

K mikrokontroleru je připojena maticová klávesnice s 4 x 4 tlačítky, dvouřádkový displej a kontrolní LED.

Na obrázku 5.6 je nakreslen způsob připojení klávesnice. Jedná se o 4 x 4 tlačítka zapojená do matice, tudíž při správném programovém ošetření postačuje k rozpoznání stisknutého tlačítka 8 portů mikrokontroleru. Signál s označením KB\_INT je využit pro rozpoznávání stisknutí některé z šestnácti kláves. Podrobnější popis funkce a způsob rozpoznávání stisknuté klávesy je uveden níže.



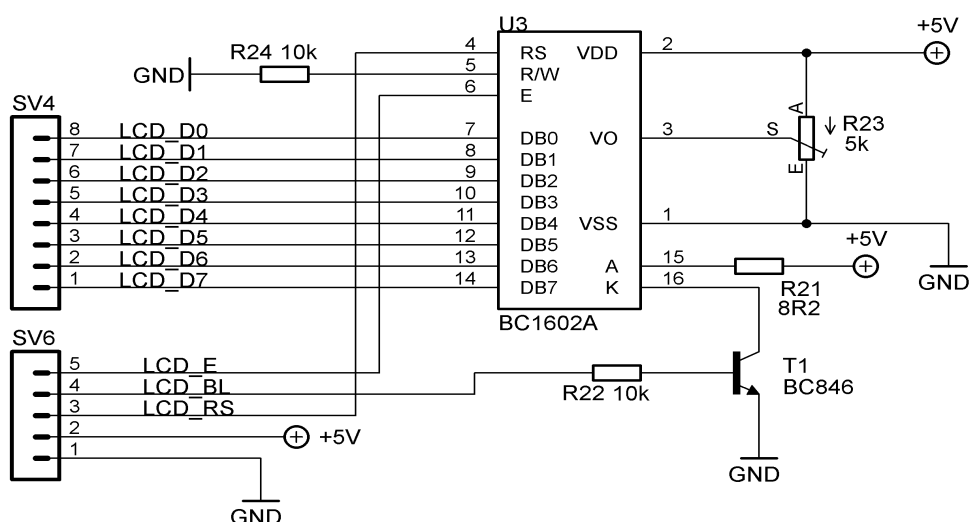
Obr. 5.6: Způsob připojení klávesnice



Na obrázku 5.7 je nakreslen způsob připojení displeje. Displej byl zvolen dvouřádkový s šestnácti znaky na řádku. Pro komunikaci je zapotřebí 8 portů pro přenos dat, 2 porty pro řízení komunikace a jeden port pro ovládání podsvícení displeje (tab. 5.3). Displej je napájen zdrojem napětí o velikosti 5 V. Pomocí trimru  $R_{23}$  je řízen kontrast displeje. Protože směr toku dat je v našem případě vždy z mikrokontroleru do displeje, je řídicí vstup displeje s označením R/W držen stále v logické nule pomocí rezistoru  $R_{24}$ . Rezistor  $R_{21}$  je použit pro omezení proudu tekoucího do LED diodového podsvícení displeje.

Tab. 5.3: Popis řídicích signálů připojených k displejové části

Označení signálu	Popis
LCD_BL	Signál ovládající zapnutí nebo vypnutí podsvícení displeje.
LCD_E	Signál použitý pro inicializaci komunikace.
LCD_RS	Signál pro výběr přístupu do kontrolního registru.

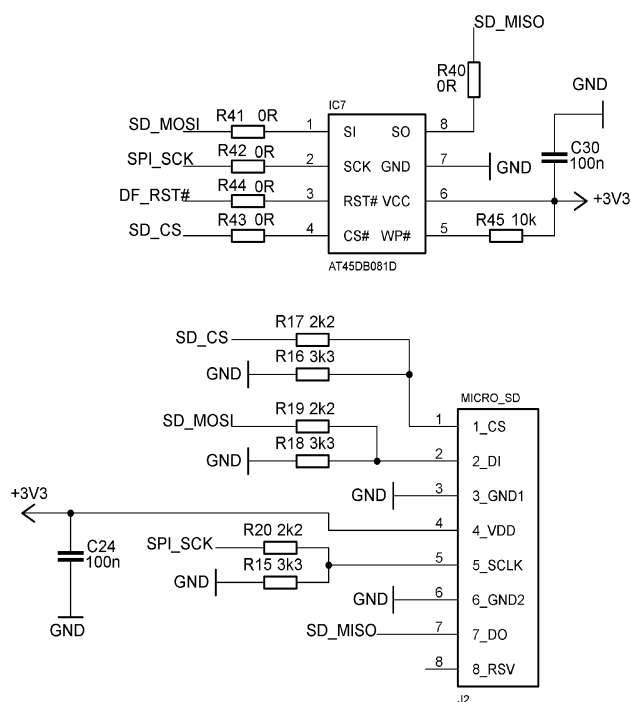


Obr. 5.7: Způsob připojení displejové části

K mikrokontroleru je připojena datová paměť, na kterou budou ukládána data zvukového signálu. Máme možnost volit ze dvou variant a to připojení data flash paměti o velikosti 8 MB nebo micro SD karty. Obě tato paměťová média jsou připojena pomocí sériového rozhraní SPI.

Na obrázku 5.8 je zobrazen způsob připojení pamětí. Při osazení rezistorů  $R_{40} - R_{44}$  bude použita data flash paměť. Při této konfiguraci je ale nutné neosadit rezistory  $R_{17}$ ,  $R_{19}$ ,  $R_{20}$  a tím vyřadit z použití micro SD kartu. Připojení micro SD karty se provede opačným osazením nebo neosazením rezistorů.

Data flash paměť i SD karta má rozsah napájecího napětí 2,7 – 3,6 V [13],[14]. SD karta vyžaduje stejný rozsah napětí i pro datové a řídicí vodiče. Proto jsou tyto signály micro SD karty opatřeny děliči napětí a tím je tento rozsah splněn. Mikrokontroler má výstupy s napětím logické jedničky 5 V. Při použití děličů napětí, např. pomocí rezistorů  $R_{16}$  a  $R_{17}$ , bude napětí logické jedničky 3 V, čímž jsou splněny požadavky ve specifikaci. Data flash paměť má vstupy tolerantní k 5V logice, tudíž zde problém s napěťovým přizpůsobením odpadá.



Obr. 5.8: Způsob připojení paměťového média

Propojení s počítačem je provedeno pomocí sériového rozhraní UART, které je k dispozici v mikrokontroleru. Toto rozhraní je nutno napěťově přizpůsobit úrovní RS232, aby bylo možné zařízení připojit ke standardnímu sériovému portu počítače. K tomuto napěťovému přizpůsobení je určen obvod MAX232 od firmy Maxim. Schéma zapojení je uvedeno na obrázku 5.9.

Pro účel zařízení postačují signály RXD a TXD, které představují vstupní a výstupní datový tok. Komunikace probíhá asynchronně, tudíž není zapotřebí ani hodinový signál. Pin číslo 13 výše zmiňovaného převodníku je vstup s napěťovými úrovněmi RS232, proto je zde připojen signál pro příjem dat z počítače RXD. Tento signál je následně převeden na 5V napěťové úrovně a přiveden na pin 2 mikrokontroleru, který představuje datový vstup rozhraní UART. Obdobně pin 3 mikrokontroleru představuje výstup tohoto rozhraní a po převodu na napěťové úrovně RS232 je vyveden na konektor pro připojení do počítače.



Dále je signál z mikrofonu zesilován zesilovačem se zesilením 50 dB (obr. 5.10). Tento zesilovač je tvořen operačním zesilovačem v invertujícím zapojení s nastavenou stejnosměrnou složkou pomocí rezistorů  $R_{58}$  a  $R_{59}$ . Tato stejnosměrná složka má velikost 4,5 V a zabezpečuje stejnosměrný posun signálu tak, aby nedocházelo k jeho ořezání.



Aby nedocházelo k aliasingu při převodu analogového zvukového signálu na číslicový, musí být tento signál kmitočtově omezen. Pro zachování srozumitelnosti řeči postačuje zachovat kmitočty přibližně do 3 kHz. Z tohoto parametru vychází vzorkovací kmitočet, kterým bude zvukový signál vzorkován na velikost 8 kHz. Tato volba zabezpečí dostatečnou rezervu ve vzniku aliasingu a zároveň přiměřený datový tok při analogově číslicovém převodu.

Kmitočtové omezení je prováděno kmitočtovým filtrem typu dolní propust 6. řádu s mezním kmitočtem 2 kHz. Snížení oproti výše zmiňovaným 3 kHz je z důvodu předešlého zesílení signálu o 50 dB. Mezní kmitočet je totiž udáván pro pokles o 3 dB a to by v tomto případě nestačilo a mohl by vzniknout aliasing.

Při návrhu kmitočtového filtru bylo zvoleno kaskádní zapojení třech filtrů 2. řádu v zapojení Sallen – Key a Butterworthova aproximace přenosové funkce. Stručný postup návrhu pro poslední třetí blok je uveden níže [11]. Pro ostatní bloky je obdobný.

Tab. 5.4: Vstupní veličiny pro návrh kmitočtového filtru

Název a popis veličiny	Hodnota
$Q_1$ – činitel jakosti prvního bloku [15]	0,5176
$Q_2$ – činitel jakosti druhého bloku [15]	0,7071
$Q_3$ – činitel jakosti třetího bloku [15]	1,9319
$f_m$ – celkový mezní kmitočet	2 kHz
$C_{62}$ – Zvolená kapacita kondenzátoru $C_{62}$ pro třetí blok	15 nF

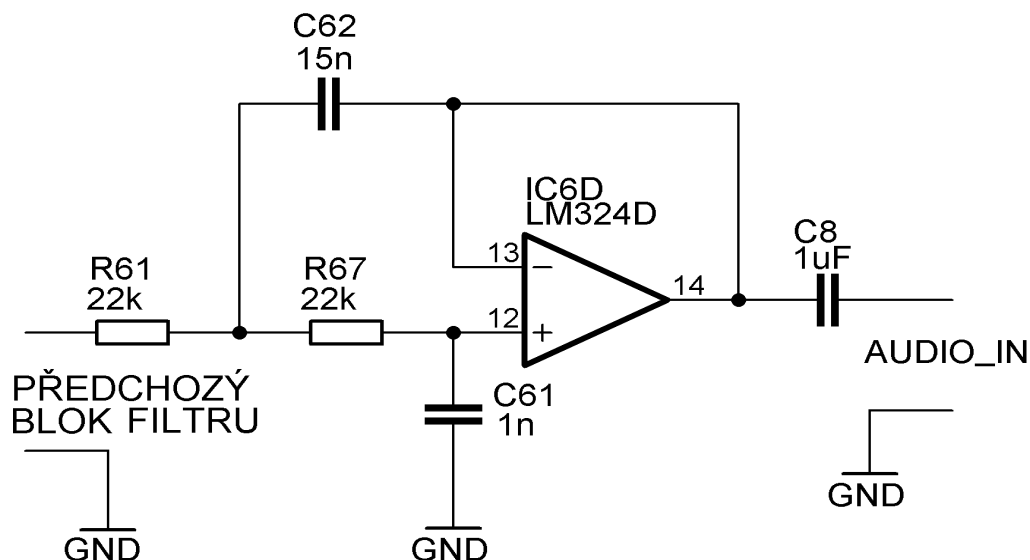
Nejprve vypočteme pomocné veličiny  $m, k, n$  :

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{1}{4 \cdot Q_3^2} = \frac{1}{4 \cdot 1,9319^2} = 0,067 \\
 k &= \frac{1}{2 \cdot m \cdot Q_3^2} - 1 = \frac{1}{2 \cdot 0,067 \cdot 1,9319^2} - 1 = 1,000 \\
 n &= k + \sqrt{k^2 - 1} = 1 + \sqrt{1^2 - 1} = 1,000 \quad .
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Pomocí těchto koeficientů a vstupních hodnot vypočteme hodnoty rezistorů  $R_{61}, R_{67}$  a kondenzátoru  $C_{61}$ :

$$\begin{aligned}
 C_{61} &= m \cdot C_{62} = 0,067 \cdot 15 \cdot 10^{-9} = 1,01 \cdot 10^{-9} \sim 1 \text{ nF} \\
 R_{61} &= \frac{1}{\omega_m \cdot C_{62} \cdot \sqrt{m \cdot n}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 2000 \cdot 15 \cdot 10^{-9} \cdot \sqrt{0,067 \cdot 1}} = 20,5 \cdot 10^3 \sim 22 \text{ k} \Omega \\
 R_{67} &= n \cdot R_{61} = 1 \cdot 22 \cdot 10^3 = 22 \text{ k} \Omega \quad .
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

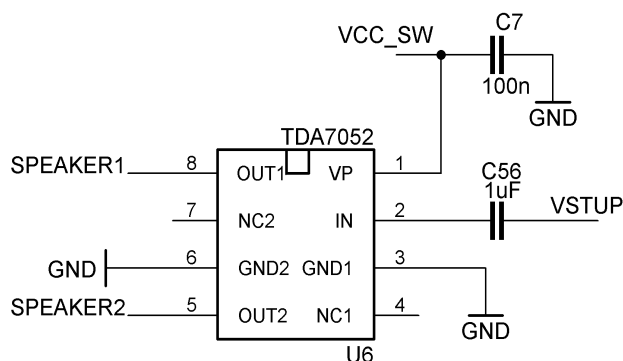
Na obrázku 5.11 je zobrazeno schéma zapojení posledního (třetího) bloku kmitočtového filtru určeného pro filtraci vstupního zvukového signálu. Protože se stejnosměrná složka signálu nesmí dostat k analogově číslicovému převodníku, je k jejímu odstranění použit kondenzátor  $C_8$  o velikosti  $1\text{ }\mu\text{F}$ . Napájecí napětí operačních zesilovačů je blokováno pomocí jednoho tantalového kondenzátoru o velikosti  $1\text{ }\mu\text{F}$  a dvou keramických kondenzátorů o velikostech  $100\text{ nF}$  a  $10\text{ nF}$ .



Obr. 5.11: Zapojení jednoho bloku vstupního kmitočtového filtru

Výstupní zvukový signál je generován pomocí PWM kanálu mikrokontroleru [12]. Tento signál je nutné taktéž kmitočtově omezit, aby nebyl zkreslen vysokofrekvenčními kmitočty, které PWM signál obsahuje. Kmitočet PWM kanálu by měl být minimálně dvojnásobný oproti maximálnímu kmitočtu generovaného signálu a přibližně čtyřnásobný oproti meznímu kmitočtu výstupního filtru. Z toho plyne použití PWM kanálu s minimálním kmitočtem  $16\text{ kHz}$  a výstupním filtrem s mezním kmitočtem  $4\text{ kHz}$ .

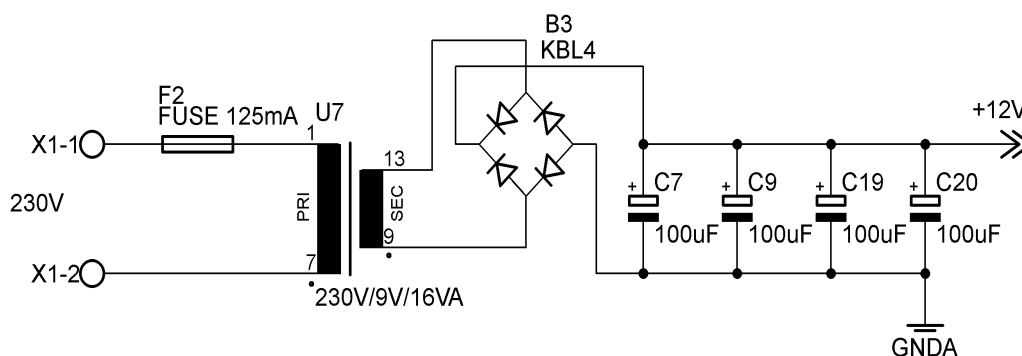
K filtraci je použit aktivní kmitočtový filtr 6. řádu, který byl navržen obdobným způsobem jako antialiasingový filtr pro kmitočtové omezení vstupního zvukového signálu. Výstup tohoto filtru je doplněn o audio zesilovač TDA7052 od firmy Philips Semiconductors (obr. 5.12). Jedná se o  $1\text{ W}$  zesilovač, který používá buzení připojeného reproduktoru pomocí přímého a invertovaného signálu. Tím dosáhneme většího výstupního výkonu při zachování napájecího napětí pouze  $9\text{ V}$ .



Obr. 5.12: Výstupní audio zesilovač

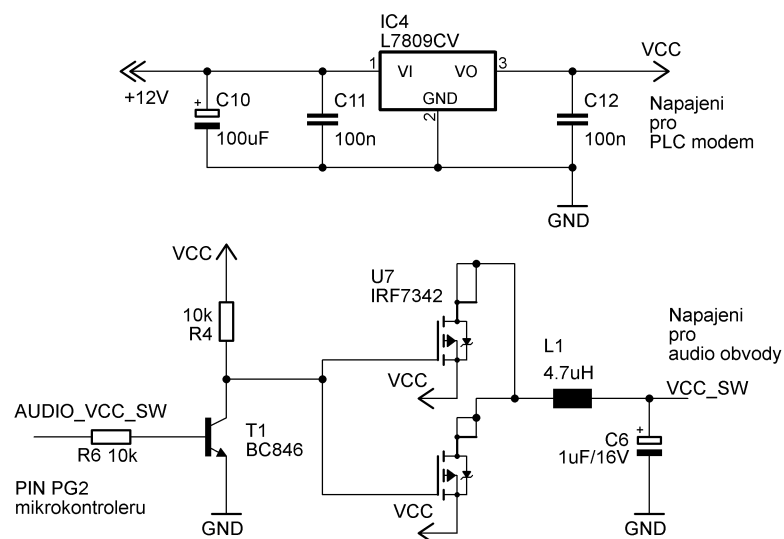
### 5.3 Zdroje napětí

Celé zařízení je napájeno ze síťového napětí 230V. Prostřednictvím transformátoru 230 V / 9 V, 16 VA je vytvořeno střídavé napětí o velikosti 9 V a z něho pomocí usměrňovacího můstku napětí stejnosměrné o velikosti 12 V. Zvlnění napětí po usměrnění je minimalizováno prostřednictvím čtyř elektrolytických kondenzátorů s kapacitou 100 µF (obr. 5.13).



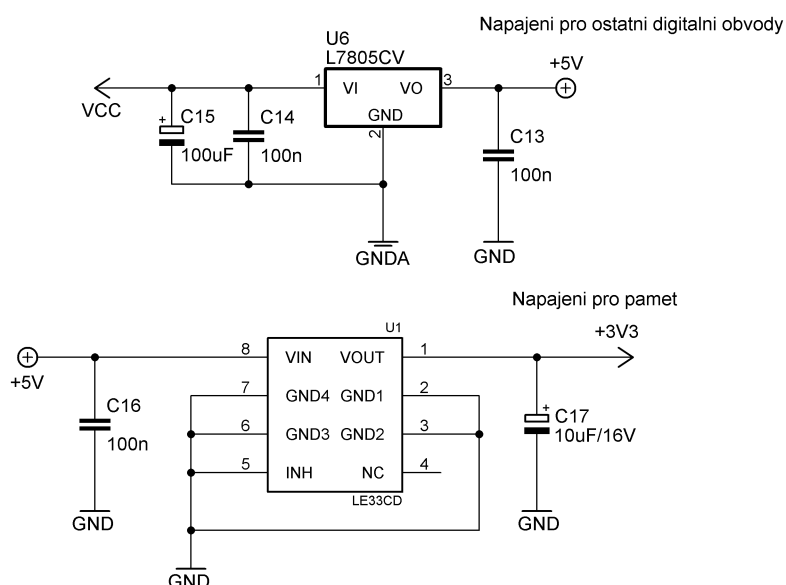
Obr. 5.13: Schéma zapojení transformátoru a usměrňovacího můstku

Z usměrněného napětí o velikosti 12 V je pomocí stabilizátoru L7809CV vytvořeno napětí o velikosti 9 V (označeno VCC), které je využito jako napájecí napětí PLC modemu. Toto napájecí napětí je rovněž využito pro napájení obvodů zpracovávajících zvukový signál. Protože při činnosti zařízení budou tyto obvody využity minimálně (pouze při nahrávání nebo přehrávání zvukové zprávy), je jejich napájení řízeno pomocí unipolárního tranzistoru s P – kanálem. Tento tranzistor je ovládán mikrokontrolerem pomocí přídavného bipolárního tranzistoru z důvodu přizpůsobení napětí o velikosti 9 V, které je nutné spínat unipolárním tranzistorem (obr. 5.14).



Obr. 5.14: Schéma napájecího zdroje pro PLC modem a audio obvody

Z napájecího napětí VCC o velikosti 9 V je pomocí stabilizátoru L7805CV vytvořeno napájecí napětí o velikost 5 V s označením +5V. Toto napětí je využito pro napájení mikrokontroleru, displeje a převodníku RS232 úrovní. Z tohoto napětí je dále pomocí stabilizátoru LE33CD od firmy ST Microelectronic vytvořeno napětí o velikosti 3,3 V, které je využito pro napájení paměťového média (obr. 5.15). Tento stabilizátor má funkci vypnutí (pin číslo 5 s označením INH = inhibit). Tento vstup by se dal s výhodou využít pro ovládání napájení pro paměť a tím by se spotřeba celého zařízení opět snížila. Vzhledem k umístění tohoto stabilizátoru na jiné desce plošných spojů, nežli je umístěn mikrokontroler, bylo od této myšlenky upuštěno.



Obr. 5.15: Schéma napájecího zdroje pro číslicové obvody a paměť

Všechna napájecí napětí jsou blokována elektrolytickými, tantalovými a keramickými kondenzátory pro minimalizování jejich zvlnění. U každého obvodu jsou umístěny přídavné kondenzátory pro minimalizování proudových špiček vznikajících při náhlých změnách odběru (týká se především číslicových obvodů). V blízkosti napájecích zdrojů je rovněž provedeno spojení zemních svorek GND a GNDA. Toto je provedeno pouze v tomto jednom místě z důvodu odstranění zemních smyček, které mohou být zdrojem rušení.



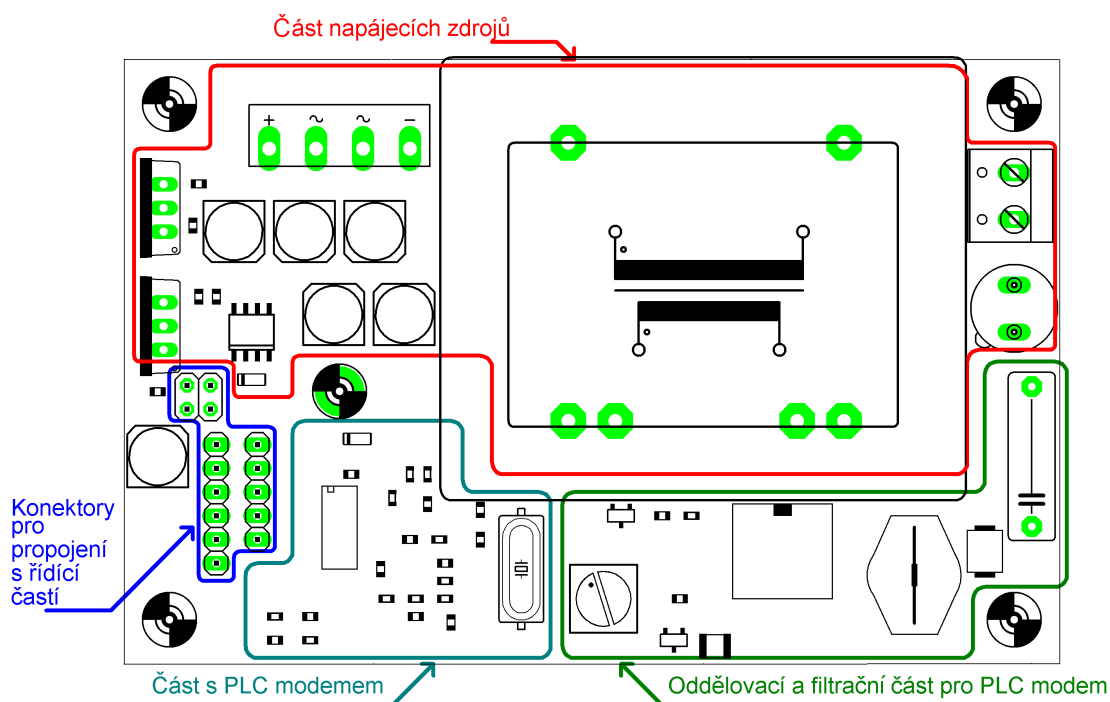
## 6 Návrh desek plošných spojů a mechanická konstrukce

Návrh desky plošných spojů byl proveden v programu Eagle. Tento program byl zvolen z důvodu své relativní jednoduchosti a především volné dostupnosti. Jak již bylo nastíněno v předešlých kapitolách, celé zařízení je realizováno na dvou deskách plošných spojů. První s obvody napájecích zdrojů a PLC modemu (označována jako NVMB01\_PS) a druhá pro řízení a ovládání zařízení (označována jako NVMB01\_CTR). Obě desky jsou v zařízení umístěny nad sebou a vzájemné propojení je realizováno pomocí standardních pinových konektorů s roztečí pinů 2,54 mm.

### 6.1 Návrh desek plošných spojů

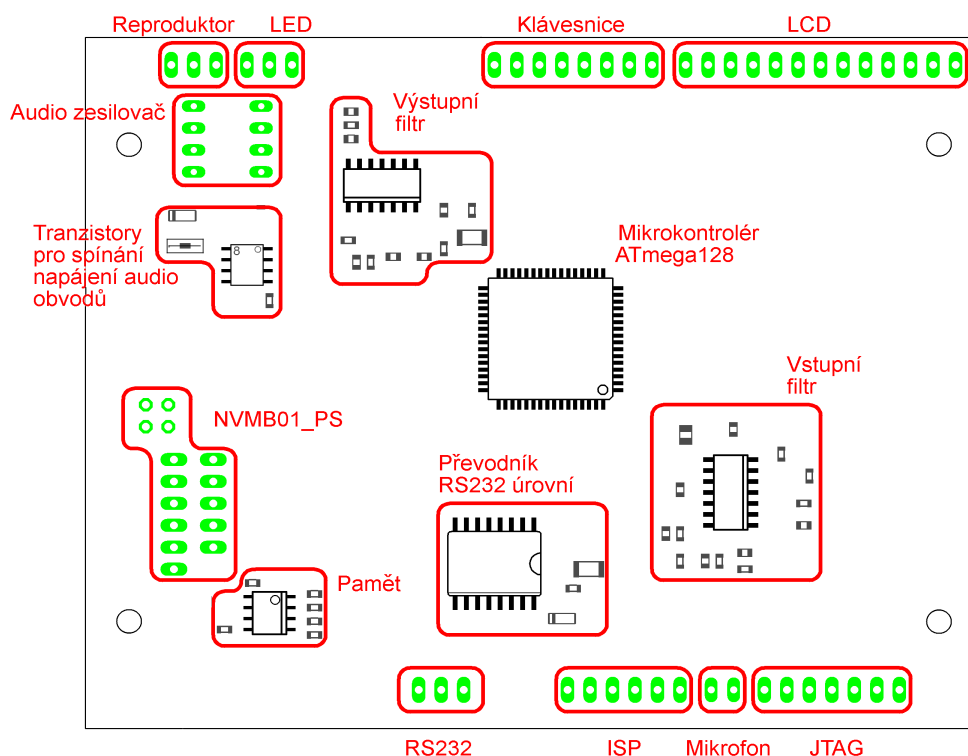
Obě desky plošných spojů jsou navrženy jako oboustranné. Tím se značně snižují náklady na jejich výrobu. Prvním krokem při návrhu každé desky plošných spojů je rozmístění jednotlivých součástek podle jejich funkčnosti nebo požadavků na umístění (např. chlazení). Při výběru pouzder součástek byla vždy dáвана přednost SMD pouzdrům. Většina rezistorů a kondenzátorů má pouzdra o velikosti 0603.

Na obrázku 6.1 je zobrazeno rozmístění součástek pro první desku určenou k tvorbě napájecích napětí a umístění PLC modemu (NVMB01\_PS). Na této desce jsou všechny součástky osazeny z vrchní strany.



Obr. 6.1: Rozmístění součástek na desce NVMB01\_PS

Na obrázku 6.2 je zobrazeno rozmístění bloků součástek na řídicí desce, která má označení NVMB01\_CTR. Na této desce jsou součástky osazeny z obou stran, přičemž na obrázku 6.2 jsou zobrazeny součástky osazené pouze na spodní straně. Na vrchní straně jsou osazeny pouze filtrační kondenzátory, krystaly pro zdroj hodinového signálu a diody použité pro připojení klávesnice.

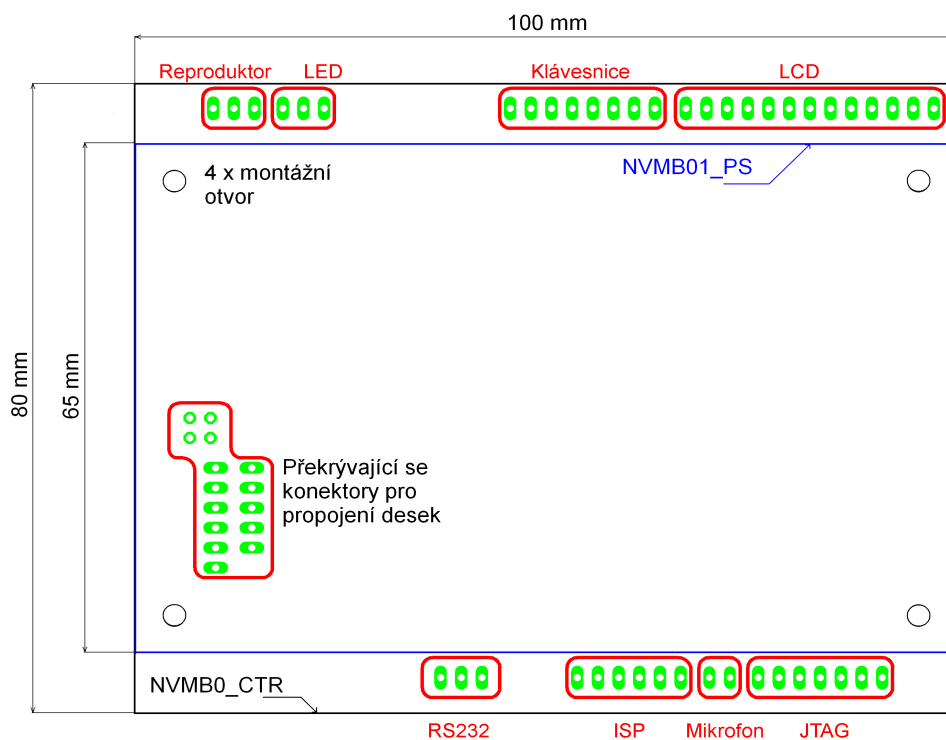


Obr. 6.2: Rozmístění součástek a konektorů na desce NVMB01\_CTR

## 6.2 Mechanická konstrukce zařízení

Jak již bylo řečeno v předchozí kapitole, jsou obě desky plošných spojů umístěny nad sebou. Tím je snížen celkový plošný prostor, který budou v zařízení zabírat. Z důvodu osazení síťového transformátoru na napájecí desce je tato deska zvolena jako vrchní. Aby bylo možné tyto desky spojit přímým konektorem, musí být omezena výška osazených součástek a tu by transformátor zcela jistě nesplňoval. Vrchní deska je konstruována tak, aby byla na své vrchní i spodní straně o 7,5 mm užší oproti spodní desce. Tím je vytvořen prostor pro připojení konektorů umístěných na spodní desce NVMB01\_CTR (obr. 6.3).

Obě tyto desky jsou navzájem spojeny pomocí čtyř šroubů se závity M3. Jejich vzájemný odstup je vymezen použitím čtyř 10 mm distančních sloupků.



Obr. 6.3: Rozměry desek a jejich vzájemné spojení

Celé zařízení je umístěno v plastové krabici o rozměrech 69 x 90 x 110 mm. Ve vrchní části této krabice je vyříznut otvor pro displej a klávesnici. V zadní stěně se nachází hlavní vypínač síťového napětí a konektor pro jeho připojení. Jako síťový konektor byla zvolena standardní síťová vidlice, která je běžně použita u počítačů. Z důvodu chlazení bude v budoucnu toto zařízení umístěno v hliníkové utěsněné krabici, která zajistí i vyšší mechanickou odolnost.

## 7 Programové vybavení zařízení

Celé zařízení je řízeno pomocí mikrokontroleru ATmega128, který je programován pomocí ISP nebo JTAG rozhraní. Použití JTAG rozhraní je výhodné z důvodu možnosti tzv. krokování programu v počítači a tím možnosti odladění napsaného programu. K programování byl používán programátor od firmy PK Design s označením UniProg USB v1.0, který podporuje oba způsoby programování. Samotný program je psán v jazyce C pro mikrokontrolery AVR. Využíval jsem prostředí programu AVR Studio s integrovaným překladačem pro C/C++ WinAVR. Celý zdrojový kód je uložen na přiloženém CD. Program je rozdělen podle obsluhovaných funkcí do více souborů a tyto jsou vzájemně propojeny pomocí hlavičkových souborů, kde jsou uvedeny prototypy jednotlivých funkcí.

Kompletní program nahraný do mikrokontroleru umožňuje:

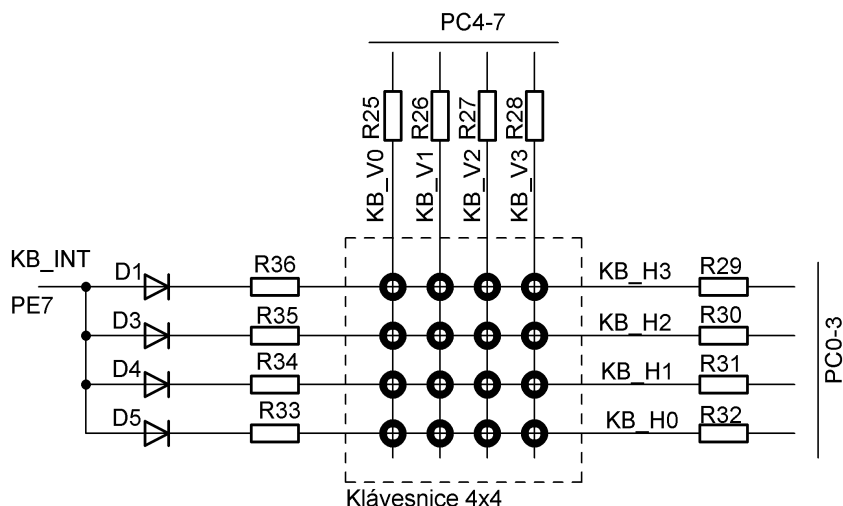
- čtení stisknutých kláves maticové klávesnice
- ovládání displeje
- podporu reálného času RTC
- komunikaci s počítačem
- komunikaci s PLC modemem ST7540
- prostřednictvím PLC modemu komunikaci s ostatními zařízeními
- komunikaci s připojenou datovou pamětí
- nahrávání zvukového signálu
- přehrávání nahraného zvukového signálu

### 7.1 Klávesnice

Jak již bylo řečeno v předchozí kapitole, k zařízení je připojena maticová klávesnice s 4 x 4 tlačítka. Toto uspořádání je výhodné především z nutnosti použití pouze 8 portů mikrokontroleru pro rozpoznání stisknutého tlačítka. Pro informování mikrokontroleru o stisknutí jakéhokoliv tlačítka je použit signál s označením KB\_INT. Tento signál je přiveden na pin číslo 7 portu E a je ho možné využít jako zdroj vnějšího přerušení včetně probuzení mikrokontroleru z úsporného režimu.

Metoda vyhledávání stisknuté klávesy je založena na postupném určení řádku a poté nalezení sloupce, ve kterém je daná klávesa stisknuta (obr. 7.1). V klidovém stavu jsou piny, na které jsou připojeny řádky klávesnice, nastaveny jako vstupy s aktivovanými pull-up rezistory. Na těchto pinech je tedy úroveň logické jedničky. Piny připojené na sloupce klávesnice jsou nastaveny jako výstupy v logické nule. Pin s připojeným signálem KB\_INT je nastaven jako vstup s aktivovaným pull-up rezistorem.

Pokud stiskneme libovolnou klávesu, objeví se na příslušném řádku logická nula. Logická nula se taktéž objeví na vstupu KB\_INT (přes příslušnou diodu). V programu je nyní nalezen řádek, ve kterém se nachází stisknutá klávesa, tedy pin, na kterém je nulová hodnota. Po nalezení řádku je tento řádek označen jako aktivní a je hledán sloupec. To je prováděno pomocí postupného nastavování výstupních pinů připojených k sloupcům a sledování změny na řádcích. Pokud po nastavení logické hodnoty některého ze sloupců je na řádku, kde byla před tímto nastavením čtena nula, přečtena logická jednička, je tento sloupec označen za aktivní. Tím jsme našli aktivní řádek i sloupec a můžeme určit, která klávesa byla stisknuta.



Obr. 7.1: Funkční zobrazení připojené klávesnice

## 7.2 Displej

Vybraný dvouřádkový displej s šestnácti znaky na řádek má v sobě integrovaný kontrolér KS0066U, se kterým je nutné komunikovat. Připojení je provedeno pomocí osmi datových (LCD\_D0 – LCD\_D7) a třech řídících (LCD\_E, LCD\_RS, LCD\_BL) signálů. Signál LCD\_E (Enable) je použit pro potvrzování platných dat na datové sběrnici (aktivní v logické jedničce). Signál LCD\_RS (Register Select) je použit pro výběr registru, do kterého chceme přistupovat. Logická jednička znamená datový registr a logická nula kontrolní registr použitý pro konfiguraci. Signál LCD\_BL (Back Light) je použit pro řízení podsvícení displeje. Při logické jedničce je displej podsvícen, při logické nule nikoliv.

Po každém startu zařízení je nutné displej inicializovat. To je prováděno pomocí zápisu do konfiguračního registru. Displej je konfigurován s následujícími parametry: osmi bitový mód komunikace, dvouřádkový displej s šestnácti znaky na řádek, znak o velikosti 5x7 bodů a nastaveno automatické zvyšování adresy pro zápis dalšího znaku. Tím je zajištěno, že nemusíme nastavovat adresu každého znaku, ale stačí zadat adresu počátku a poté již zapisovat znaky do datové paměti. Datová paměť (označovaná DDRAM – Display Data RAM) je paměť, ve které je uložen obsah displeje, proto zápisem do tohoto registru měníme zobrazované znaky.

## 7.3 Funkce reálného času

Funkce reálného času je označována zkratkou RTC (Real Time Clock) a v tomto zařízení bude použita např. pro odložené odesílání dat, měření doby odesílání dat nebo pro zobrazení aktuálního času a data. K tomuto účelu je k mikrokontroleru připojen krystal s kmitočtem 32,768 kHz. Tento kmitočet je použit, protože při dělení hodnotou  $2^{15} = 32768 = 256 \cdot 128$  dostaneme přesně kmitočet o velikosti 1 Hz.

Výše zmíněný krystal je připojen na piny číslo 18 a 19 mikrokontroleru. Tyto piny jsou přímo určeny pro připojení krystalu (výstup a vstup). Tím získáme v mikrokontroleru další hodinový signál, který je možné vnitřně použít jako zdroj hodinového signálu pro čítač/časovač číslo 0.

Pro správnou funkci je nutné nastavit v konfiguračních registrech asynchronní běh připojeného oscilátoru vzhledem k systémovému času (registr ASSR), děličku kmitočtu (registr TCCR0) a povolení přerušení od čítače/časovače číslo 0 (registr TIMSK).

Protože nastavujeme tento čítač/časovač do asynchronního režimu, musíme dodržet postup zápisu do konfiguračních registrů tak, jak je uveden v datasheetu mikrokontroleru [16]. Prvním krokem je zakázání přerušení od tohoto čítače/časovače. Poté můžeme nastavit asynchronní mód pomocí registru ASSR a bitu AS0 a nastavit nové hodnoty děličky kmitočtu, registru použitého pro čítání a registru použitého pro porovnávání maximální hodnoty. Nyní musíme počkat až budou tyto registry obnoveny a to pomocí cyklického čtení registru ASSR a jeho třech nejnižších bitů. Když jsou tyto bity nulové jsou registry správně nastaveny a můžeme povolit přerušení.

Přerušení je povoleno pouze pro přetečení čítače/časovače. Protože je tento časovač osmi bitový, dojde k přetečení po dosažení hodnoty 255 (v následujícím 256. cyklu). Z toho vyplývá, že je nutné nastavit děličku kmitočtu na hodnotu  $32768 / 256 = 128$ . Tímto nastavením docílíme, že k přetečení dojde přesně jednou za sekundu. V obslužné rutině je pak obsažen program, který zvyšuje příslušnou proměnnou obsahující informaci o sekundách. Tato proměnná je nulována při dosažení hodnoty 60 a zároveň je zvýšena proměnná s počtem minut. Tento postup je obdobný i pro hodiny, dny, měsíce a roky. V programu jsou ošetřeny rozdílné počty dnů v měsících včetně přestupného roku.

## 7.4 Komunikace s počítačem

Komunikace s počítačem je řešena pomocí sériového rozhraní UART, které je hardwarově implementováno v mikrokontroleru. V tomto případě je využíváno rozhraní UART0, protože UART1 je využito pro asynchronní komunikaci s PLC modemem.

Pro komunikaci je využíváno pouze dvou portů a to pro příjem (signál RS232\_RXD) a pro vysílání (signál RS232\_TXD). Tyto signály jsou převáděny na napěťové úrovně rozhraní RS232 a přes konektor vedeny do počítače.

Komunikace probíhá asynchronně, tudíž není nutný hodinový signál, ale je nutné nastavení přenosové rychlosti. Konfigurace je prováděna opět pomocí konfiguračních registrů. Je nutné nastavit asynchronní přenos, přenosovou rychlost a dodatečné vlastnosti komunikace (délku dat, paritní bit a počet stop bitů).

Postup inicializace je následující. Nejprve nastavíme přenosovou rychlost. Ta byla zvolena 9600 b/s. V tomto případě musíme do registru UBRR0 vložit příslušnou hodnotu, která je vypočítána podle vztahu (5).

$$UBRR0 = \frac{f_{osc}}{16 \cdot R} - 1 = \frac{16 \cdot 10^6}{16 \cdot 9600} - 1 \approx 103 \quad , \quad (5)$$

kde  $f_{osc}$  je kmitočet hodinového signálu mikrokontroleru a  $R$  přenosová rychlost.

Registr UBRR0 je 16 bitový a skládá se ze dvou částí UBRR0L a UBRR0H. V případě přenosové rychlosti 9600 b/s je třeba zapsat hodnotu 103. To znamená, že horní část registru UBRR0 bude nulová a spodní UBRR0L bude obsahovat tuto hodnotu. V dalším kroku je aktivován přijímač a vysílač rozhraní UART, nastavena délka dat na 8 bitů, jeden dodatečný stop bit a zakázáno použití paritního bitu. Tím je konfigurace hotova a můžeme zahájit komunikaci. Ta je prováděna pomocí programu Putty, ve kterém je nutné nastavit stejnou přenosovou rychlost a počty bitů.

## 7.5 Komunikace s PLC modemem

Komunikace s PLC modemem s označením ST7540 je možná pomocí asynchronního nebo synchronního přenosu. V prvním případě se jedná o komunikaci pomocí rozhraní UART a v druhém pomocí SPI. Jedna z nevýhod použití UART rozhraní je nemožnost přístupu do konfiguračního registru a tudíž nemožnost jakékoliv konfigurace modemu. Jen doplním že PLC modem ST7540 plní funkci pouze fyzické vrstvy a chová se obdobně jako kmitočtový modulátor a demodulátor.

Protože mikrokontroler ATmega128 má pouze jedno hardwarové rozhraní SPI, které je využito pro komunikaci s pamětí, je nutné komunikovat pomocí rozhraní UART nebo napsat program pro softwarovou emulaci rozhraní SPI. PLC modem při komunikaci s mikrokontrolerem plní vždy úlohu master. Čili má na starosti řízení přenosu, které zahrnuje především generování hodinového signálu při synchronní komunikaci.

Popis signálů použitých pro komunikaci mikrokontroleru a modemu jsou uvedeny v tabulce 7.1. Jako první bylo třeba vyřešit generování signálu pro tzv. „watch dog“ signál. Tento signál má za úkol kontrolovat, že mikrokontroler je schopen komunikace a standardně běží. Na tomto signálu je potřeba maximálně každých 1,5 s vygenerovat sestupnou hranu, která vynuluje čítač v modemu. Pokud by se tak nestalo a čítač v modemu přetekl (přibližně po 1,5 s), byl by mikrokontroler resetován pomocí signálu AVR\_RST. Tyto impulzy jsou generovány pomocí čítače/časovače číslo 1. Ten je nastaven do PWM módu s výstupem směřovaným na pin 16 mikrokontroleru, kde je připojen signál PLC\_AVR\_WD.

Tab. 7.1: Popis komunikačních signálů PLC modemu a mikrokontroleru

Jméno signálu	Směr ze strany mikrokontroleru	Popis
PLC_AVR_RXD	Vstup	Přijímaná data.
PLC_AVR_TXD	Výstup	Vysílaná data.
PLC_AVR_CLR/T	Vstup	Hodinový signál pro synchronní komunikaci.
PLC_AVR_R/T	Výstup	Řízení směru komunikace.
PLC_AVR_R/D	Výstup	Řízení přístupu na síť nebo do konfiguračního registru.
PLC_AVR_BU/THERM	Vstup	Signál informující o použití komunikačního pásma.
PLC_AVR_CD/PD	Vstup	Signál informující o detekci nosné.
PLC_AVR_U/S	Výstup	Volba mezi UART nebo SPI komunikací.
PLC_AVR_WD	Výstup	Tzv. „Watch Dog“ signál.

Při synchronní komunikaci pomocí SPI rozhraní plní mikrokontroler úlohu slave. Signálem PLC\_AVR\_R/D řídíme přístup do konfiguračního registru nebo na síť, přičemž přístupem na síť je myšlen přístup ke komunikačnímu kanálu. Signálem PLC\_AVR\_R/T je řízen směr komunikace (čtení / zápis) a signál PLC\_AVR\_CLR/T je hodinový signál generovaný PLC modemem. Časování komunikace je prováděno pomocí PLC modemu, který při vysílání generuje hodinové impulsy podle nastavené přenosové rychlosti a při příjmu obnovuje hodinový signál z přenášených dat. Platná data jsou vždy při náběžné hraně hodinového signálu.

Při asynchronní komunikaci pomocí UART rozhraní není použit hodinový signál a proto veškeré časování má na starosti mikrokontroler. V tomto módu musí být signál PLC\_AVR\_U/S nastaven a PLC\_AVR\_R/D nulován, protože není umožněna komunikace s řídicím registrem.

### 7.5.1 Asynchronní komunikace

V první fázi ožívování zařízení bylo použito rozhraní UART a PLC modem ponechán v defaultním nastavení. Při komunikaci pomocí UART rozhraní a vysílání, je logická úroveň signálu PLC\_AVR\_TXD přímo kmitočtově modulována na výstup. Při příjmu je hodnota z kmitočtového demodulátoru přímo posílána signálem PLC\_AVR\_RXD k mikrokontroleru.



Konfigurace rozhraní UART1 je obdobná, jako při konfiguraci UART0 použitého pro komunikaci s počítačem. Přenosová rychlost musí být nastavena na hodnotu, která je v rozsahu podporovaných rychlostí PLC modemu, což je od 600 b/s do 4800 b/s. Ve vysílacím stavu se může modem nepřetržitě nacházet pouze po dobu maximálně 1 s. Tento čas je dán specifikací CENELEC [5]. V klidovém stavu se tedy bude zařízení nacházet v přijímacím režimu. Při odesílání dat je nulován signál PLC\_AVR\_R/T a je čekáno přibližně 10 ms nežli jsou aktivovány výstupní obvody PLC modemu. Po této době je započata komunikace. Ta probíhá již standardním zápisem do výstupního datového registru rozhraní UART a na protější straně komunikačního kanálu čtením tohoto registru. Komunikace je nejpozději po 1 s ukončena a zařízení, které vysílalo, nastaveno na minimálně 125 ms do přijímacího režimu. Po uplynutí této doby může být započato další vysílání stejného zařízení. Vysílání zařízení, které bylo při předchozím přenosu v přijímacím režimu, je možné ihned po uvolnění komunikačního kanálu.

### 7.5.2 Synchronní komunikace

Protože asynchronní komunikace neumožňuje přístup do konfiguračního registru a tím nelze měnit parametry PLC modemu, byla vytvořena softwarová emulace SPI rozhraní. Hodinový signál generovaný PLC modemem PLC\_AVR\_CLR/T je připojen na pin 7 mikrokontroleru, který lze využít jako zdroj vnějšího přerušení. Toto je základ obslužného programu.

Při inicializaci je prováděno nastavení směru příslušných portů, nulování signálu PLC\_AVR\_U/S pro nastavení SPI komunikace a nakonec modem uveden do přijímacího módu. Jak již bylo v úvodu této kapitoly naznačeno, je při komunikaci využíváno vnější přerušení číslo 5. Toto přerušení je nutné nastavit tak, aby při požadavku na příjem dat, bylo generováno při náběžné hraně hodinového signálu PLC\_AVR\_CLR/T. V tomto okamžiku je totiž na datovém signálu PLC\_AVR\_RXD platný jeden bit sériových dat. Naopak ve vysílacím režimu je přerušení generováno při sestupné hraně hodinového signálu. V tomto okamžiku je nutné nastavit nebo nulovat výstupní datový signál PLC\_AVR\_TXD.

Protože se jedná o sériovou komunikaci, jsou data přijímána bit po bitu. Proto je nutné tyto bity skládat do bajtů, nebo naopak při vysílání bajt rozdělit a vysílat ho postupně po bitech. Tyto operace jsou prováděny pomocí logického součtu a součinu s bitovou maskou. Ta má při vysílání hodnotu 1000 0000<sub>b</sub>. Touto maskou jsou násobena vysílaná data a je zjišťována hodnota nejvýznamnějšího bitu. Při výsledku násobení různém od nuly je výstupní datový signál nastaven, při nulovém výsledku je nulován. Před dalším násobením maskou jsou odesílaná data (pomocný bajt) rotována vlevo. Tím se na hodnotu nejvýznamnějšího bitu dostane další bit. Při příjmu je čten vstupní datový signál PLC\_AVR\_RXD a na základě jeho hodnoty jsou přijímaná data (pomocný bajt) násobena maskou 1111 1110<sub>b</sub> při nulovém vstupním signálu nebo sčítána s 0000 0001<sub>b</sub> při nastaveném vstupním signálu. Před dalším příjmem je přijímaný pomocný bajt rotován doleva. Tím se posuneme na příjem dalšího bitu. Komunikace je tedy prováděna s prvním vysílaným nejvýznamnějším bitem. Po každé bitové rotaci je zvýšena pomocná proměnná, která počítá kolik bitů je již přijato. Pokud tato proměnná dosáhne hodnoty 8, je nulována a pomocný bajt je prohlášen za platná data a přehrán do jiné pomocné proměnné. Tím máme čas 8 hodinových pulzů na vyzvednutí těchto platných dat. Po 8. pulzu je tato proměnná přepsána novými daty.

Jelikož je hodinový signál generován stále, je nutné po provedení komunikace zakázat vznik přerušení od vnějšího zdroje číslo 5. To je prováděno pomocí zápisu do registru EIMSK, což je maskovací registr vnějších přerušení. Pomocí tohoto registru je přerušení opět povoleno a tím pokračováno v komunikaci.

Softwarové rozhraní SPI bylo vytvořeno hlavně z nutnosti přístupu do konfiguračního registru PLC modemu. Konfigurační registr obsahuje 24 bitů v normálním módu a 48 bitů při rozšířeném módu. Při čtení tohoto registru jsou jednotlivé bity vysílány po signálu určeném pro příjem dat s označením PLC\_AVR\_RXD a PLC modemem generován hodinový signál. Nejvýznamnější bit je přenášen jako první a je přeneseno všech 24 nebo 48 bitů. Při zápisu v normálním módu může být z mikrokontroleru přeneseno více bitů, ale pouze posledních 24 je zapsáno do konfiguračního registru. Pokud zapíšeme méně než 24 bitů, je zápis neúspěšný. Zápis bude neúspěšný i v případě rozšířeného módu a zapsáním jiného počtu než 24 nebo 48 bitů. V tomto módu tedy musíme zapsat přesný počet bitů.

V normálním módu konfiguračního registru je možné měnit přenosovou rychlost, kmitočtový zdvih, povolit nebo zakázat „watch dog“ časovač, volit způsob přístupu na síť, mód citlivosti přijímače a zapnout nebo vypnout vstupní filtr. Toto jsou pouze nastavení, která jsou důležitá pro navrhované zařízení a jejich bližší popis a reálný vliv je popsán v následující kapitole. Celkový popis bitů konfiguračního registru je uveden v datasheetu PLC modemu ST7540 [10].

## 7.6 Komunikace mezi zařízeními

Komunikace mezi jednotlivými zařízeními je prováděna pomocí PLC modemu s označením ST7540. Teto modemem zajišťuje pouze fyzickou vrstvu komunikačního modelu. Má na starosti převod sérových číslicových dat na kmitočet a obráceně. Každé zařízení je ve výchozím stavu v přijímacím režimu. Tedy signál s označením PLC\_AVR\_R/T je nastaven a všechna zařízení čekají buď na příchozí spojení po síti, nebo na pokyn od obsluhy.

Při prvních pokusech o komunikaci byla jednotlivá zařízení ovládána ručně a komunikace byla prováděna bez jakéhokoli komunikačního protokolu. Zařízení vždy čekalo na příchozí spojení a pokud nastalo, začalo přímo přijímat a zpracovávat data. Tím bylo docíleno, že všechna zařízení připojená na síť přijímala a zpracovávala data, která byla na síti k dispozici. Tento typ komunikace byl výhodný zejména při měření chybovosti v jednotlivých místech této sítě. Jen upřesním, že pojmem síť je myšlena veřejná distribuční soustava 230 V. Tato komunikace byla prováděna vždy asynchronně, a proto musí být na obou stranách komunikace nastaveny stejné přenosové rychlosti.

V dalším kroku byl vytvořen jednoduchý komunikační protokol, při kterém dochází k navazování komunikace s vybraným zařízením. Všechna zařízení připojená na síť jsou nastavena na přijímací režim, a pokud je detekována nosná signálu, jsou přijata data. Pokud jde o data inicializující spojení, jedná se o dva bajty. První je unikátní značka, která je použita pouze pro potvrzování nebo navazování komunikace a druhý bajt je adresa zařízení, se kterým má být komunikace prováděna. Každé zařízení má vlastní adresu, a pokud je tato adresa shodná s přijatou hodnotou, tak toto zařízení odpoví. Odpověď je provedena opět dvěma bajty, z nichž první je unikátní značka a druhý je adresa odpovídajícího zařízení.

Pokud zařízení, které inicializovalo spojení, přijme potvrzení, je po tomto přijetí započat přenos dat. Tento přenos je ukončen pomocí odeslání unikátních značek. Příjímací zařízení přijímá data tak dlouho, dokud tuto unikátní značku nepřijme.

V programu je implementováno vypršení doby přenosu. To znamená, že inicializující zařízení čeká pouze po dobu 3 s. Pokud do této doby nepřijme potvrzení přenosu, pokusí se o navázání přenosu ještě dvakrát. Pokud ani po trojnásobném pokusu inicializovat přenos s daným zařízením není přijato potvrzení, je zařízení prohlášeno za nedostupné.

Uživatel má možnost pomocí klávesnice volit přenosovou rychlost a adresu zařízení, se kterým má být komunikace navázána.

## 7.7 Komunikace s datovou pamětí

Datová paměť je připojena na hardwarovém rozhraní SPI mikrokontroleru. Tato paměť má kapacitu 8 Mb s velikostí jedné stránky 256 nebo 264 B. Celková paměť je rozdělena na 16 sektorů, každý sektor na 32 bloků a každý blok na 8 stránek. Tato paměť tedy stačí pro nahrání přibližně 2 minut zvukového signálu, při zvoleném vzorkovacím kmitočtu 8 kHz a počtu 8 bitů na vzorek. Kromě této paměti jsou v čipu umístěny dva buffery o velikosti 256 B. V programu je vždy využíván pouze buffer číslo 1, buffer číslo 2 by se využíval při nutnosti rychlého zápisu do paměti přes buffery. Při ukládání jednoho bufferu do paměti by se dalo již zapisovat do druhého bufferu. Rychlost zápisu je ale v našem případě relativně pomalá, protože tato paměť dovoluje kmitočet hodinového signálu až 66MHz.

Komunikace s pamětí je prováděna pomocí datových signálů SD\_MISO a SD\_MOSI, hodinového signálu SPI\_SCK a signálu inicializujícího přenos SD\_CS. Data flash paměť je ovládána pomocí příkazů (tzv. opcode), které jsou posílány po datovém signálu a mají délku jeden bajt. Pro každou operaci (např. čtení z bufferu, mazání sektoru) je vyčleněn jiný příkaz a každý příkaz má přesně danou posloupnost po něm následujících bitů. Zde uvedu pouze stručný popis zápisu dat do bufferu, jeho uložení do paměti a následné přečtení.

Před používáním data flash paměti bylo nutné nastavit velikost stránky na velikost 256 B. Toto nastavení se provádí zapsáním čtyř příkazů za sebou (0x3D, 0x2A, 0x80, 0xA6). Po zapsání posledního příkazu je nutné nastavit signál SD\_CS a poté vypnout napájení. Po následném zapnutí napájení je paměť nastavena na požadovanou velikost stránky. Toto nastavení je nevratné a lze provést pouze jednou.

Inicializace rozhraní pro data flash paměť je vcelku jednoduchá. Stačí nastavit směr portů a provést inicializaci SPI rozhraní. To je nastaveno na kmitočet hodinového signálu 4 MHz aktivního při nástupné hraně a master mód. Vstupní port je pouze SD\_MISO a ostatní jsou nastaveny jako výstupy.

Před začátkem každého přenosu je prováděna inicializace komunikace pomocí sestupné hrany na signálu SD\_CS. Po této sestupné hraně je vždy zapsán příkaz, kterým říkáme, co bude prováděno. V prvním případě tedy chceme zapsat data do prvního bufferu. Odešleme tedy příkaz s hodnotou 0x84. Za tímto příkazem následuje 16 nevýznamných bitů a 8 bitů adresy, která určuje počáteční bajt zápisu (většinou 0x00 což znamená začátek). Po odeslání této sekvence jsou další příchozí data zapisována do bufferu. Zápis je ukončen pomocí náběžné hrany na signálu SD\_CS. Tímto jsou data uložena v bufferu a ten následně uložíme do paměti.

Zápis bufferu do paměti je prováděn příkazem s hodnotou 0x83. Za tímto příkazem následují 4 nevýznamné bity a 12 bitů adresy určujících adresu stránky v paměti, kam se má buffer uložit. Pro dokončení příkazu je nutné zapsat ještě 8 nevýznamných bitů a po náběžné hraně SD\_CS signálu je buffer nahrán do paměti.

Při čtení dat z paměti je zaslán příkaz s hodnotou 0xD2. Tímto příkazem určujeme, že se bude číst z paměti pouze jedna stránka. Po tomto příkazu následují 4 nevýznamné bity, 16 bitů adresy určující adresu stránky a 8 bitů adresy určující adresu prvního čteného bajtu. Pro dokončení tohoto příkazu je nutné zapsat 32 nevýznamných bitů. Po zapsání posledního nevýznamného bitu je již v dalším hodinovém cyklu čten první bit z paměti. Takto je čteno všech 256B stránky a pokud budeme ve čtení pokračovat, vrátíme se opět na začátek stránky a ta je čtena znovu.

## 7.8 Nahrávání zvukového signálu

Zvukový analogový signál je po kmitočtovém a úrovněm upravení, převáděn na číslicový pomocí analogově číslicového převodníku, který obsahuje mikrokontroler. Tento převod je prováděn s kmitočtem 8 kHz a každý vzorek má osm bitů.

Ke generování kmitočtu 8 kHz, je využito čítače číslo 3. Tento čítač je nastaven tak, aby každých 125 μs vyvolal přerušení. Toto přerušení je vyvoláno, když čítač dočítá do přednastavené hodnoty. Při dosažení této hodnoty je vynulován a počítá opět od nuly. Dělička kmitočtu je nastavena na dělení číslem 64. I v tomto případě je dělen hodinový signál mikrokontroleru o velikosti 16 MHz. Aby bylo dosaženo kmitočtu 8 kHz, musí být správně nastavena hodnota, do které má čítač čítat. Toto bylo provedeno pomocí vztahu (6). Vypočtená hodnota je zapsána do registru s označením OCRA3, který je 16bitový, čili číslo 32 je zapsáno do nižšího bajtu OCR3AL a do vyššího OCR3AH je zapsána nula.

$$OCR3A = \frac{16 \cdot 10^6}{64} \cdot \frac{1}{8 \cdot 10^3} = 31,25 \approx 32 \quad . \quad (6)$$

Analogově číslicový převodník je nastaven pro jednorázové převody, které musíme vždy ručně zapnout. Výhoda tohoto rozhodnutí je patrná z popisu, který je uveden níže. V maskovacím registru přerušení je povoleno přerušení od tohoto převodníku i od časovače číslo 3.

Samotné nahrávání je prováděno následovně. Nejprve je provedena inicializace čítače zapsáním do jeho konfiguračních registrů, ale tento čítač zůstává vypnut. Inicializace je prováděna i pro analogově číslicový převodník. Teprve při požadavku nahrání zvuku, je čítač spuštěn a při vzniku přerušení je v obslužné rutině spuštěn převod převodníku. Při dokončeném převodu je vyvoláno opět přerušení, ale tentokrát od převodníku. Toto přerušení vznikne vždy dříve, nežli vzniká další přerušení od čítače číslo 3. V obslužné rutině je přečtena převedená hodnota a ta je uložena do paměti. Určení adresy, kam daný vzorek uložit, je prováděno v programové části určené pro obsluhu data flash paměti. Při převodu se o tuto věc tedy nemusíme starat.

## 7.9 Přehrávání zvukového signálu

Přehrávání zvukového signálu je prováděno pomocí PWM kanálu mikrokontroleru. Jedná se o nejjednodušší číslicově analogový převod. Princip spočívá v nastavování komparačního registru PWM kanálu, který je stále porovnáván se zvyšující se hodnotou registru čítače. PWM kanál je nastaven tak, aby byl výstup v logické jedničce při nižší nebo nulové hodnotě registru čítače oproti komparačnímu registru a nulován v opačném případě. Pokud tedy do komparačního registru uložíme malou hodnotu (např. 20), tak bude výstup po větší část periody v logické nule.

Musíme tedy provést inicializaci PWM kanálu, který je součástí čítače číslo 2. Ten je nastaven do tzv. fast PWM módu s neinvertující logikou. Toto nastavení zaručuje výše popsané chování.

Při přehrávání zvukového signálu je opět využíváno kmitočtu 8 kHz, který generuje čítač číslo 3. Při vyvolání přerušení od tohoto čítače je provedeno čtení hodnoty vzorku z paměti a tato hodnota přesunuta do komparačního registru, kde je cyklicky porovnávána s registrem čítače číslo 2. Při vzniku dalšího přerušení od čítače číslo 3, je hodnota v komparačním registru opět aktualizována.

## 8 Oživování, testování a funkčnost zařízení

Celé zařízení se skládá z několika funkčních bloků, které byly osazovány a ožiovány postupně. V této kapitole je stručně shrnuto, jak bylo při ožiování postupováno a jakých výsledků bylo dosaženo. V závěru této kapitoly jsou rovněž uvedeny dosažené výsledky.

### 8.1 Oživení základních částí zařízení

Mezi základní části zařízení by se daly zařadit zdroje napájecího napětí, mikrokontroler spolu s připojenou klávesnicí, displejem, data flash pamětí, zdrojem reálného času a částí pro komunikaci s počítačem.

V prvním kroku byla osazena část s napájecími zdroji. Tyto zdroje se nacházejí na desce s označením NVMB01\_PS. Nejprve byl osazen síťový transformátor a pojistka. Po připojení na síťové napětí bylo změřeno výstupní napětí, které mělo velikost 11,5 V. Jedná se o střídavé napětí a jeho efektivní hodnotu. Transformátor má mít výstupní napětí 9 V, ale protože v tomto stavu nebyl zatížen, bylo napětí vyšší. Další osazenou součástkou byl usměrňovací můstek, na jehož výstupu bylo naměřeno 15 V. I tato hodnota je správná. Po ověření správné polaroty napětí byly osazeny filtrační elektrolytické kondenzátory a stabilizátory napětí. Na jejich výstupu bylo naměřeno správné napětí 9 V, 5 V a 3,3 V.

Následně byl osazen mikrokontroler společně s obvody pro připojení displeje. Displej byl zprovoznován jako první, aby bylo možné při ožiování dalších částí zařízení vypisovat kontrolní hlášky o stavu programu a zařízení. Při ožiování displejové části byly problémy pouze se správným časováním prováděných kroků inicializace. Po vyřešení těchto problémů funguje displej bez sebemenších problémů.

Aby bylo možné zařízení ovládat a ovlivňovat běžící program, byla jako další část připojena klávesnice. Po napsání obslužného programu, bylo zjištěno náhodné rozpoznávání stisknutých kláves. Toto bylo způsobeno rychlým zápisem na výstupní piny a následným čtením vstupních pinů portu, na kterém je klávesnice připojena. Tento postup je prováděn při vyhledávání sloupce, ve kterém je stisknuta klávesa. Na výstupním pinu se totiž při zápisu logické jedničky musí tato úroveň ustálit. Z tohoto důvodu bylo nutné doplnit obslužný program o patřičná zpoždění a klávesnice fungovala bez potíží.

Dalším krokem bylo oživení komunikace s počítačem. Ta se dá využít taktéž pro výpisy kontrolních stavů programu. A to i opakovaně, protože vypisované hodnoty nejsou přepisovány dalšími, jako tomu je v případě displeje. Tyto výpisy jsou tedy vhodné pro vypisování většího počtu hodnot. Byl osazen převodník na RS232 úrovně, napsán obslužný program a vše fungovalo bez větších obtíží.

Část zajišťující zdroj reálného času se skládá pouze z krystalu s kmitočtem 32,768 kHz a dvou kondenzátorů. Po připojení těchto součástek a napsání příslušného obslužného programu fungovalo zobrazování času bez problémů. Protože však mikrokontroler při vypnutí napájení nemůže tento čas aktualizovat, je nutné vždy po startu zařízení čas nastavit.

Pro ukládání většího počtu dat, bylo třeba osadit a oživit data flash paměť. Před prvním použitím této paměti bylo nutné nastavit velikost stránek paměti na 256 B. Toto nastavení bylo prováděno pouze jednou a je nevratné. Při psaní obslužného programu se vyskytovaly problémy spojené především s adresováním dat v paměti. Po vyřešení těchto problémů je data flash paměť plně funkční.

## 8.2 Oživení části s PLC modemem

V dalším kroku byl ožívován PLC modem. Nejprve byl osazen pouze samotný obvod ST7540 s nejnutnějšími součástkami a vyzkoušena prvotní komunikace s mikrokontrolerem. Tato základní komunikace spočívala v generování watch dog signálu a zjištění, že PLC modem přestal restartovat mikrokontroler. Tím je ověřeno, že i PLC modem určitým způsobem pracuje.

Poté již byly osazeny filtrační prvky určené pro oddělení PLC modemu od síťového napětí a komunikační filtry, které vymezují komunikační pásmo. K uskutečnění testů s PLC modemem bylo zapotřebí osadit a oživit i druhé zařízení. Po uvedení tohoto druhého zařízení do stejného stavu v jakém bylo první zařízení, byla zkoušena komunikace pomocí asynchronního přístupu na síť a komunikace mezi PLC modemem a mikrokontrolerem pomocí rozhraní UART.

To v prvních fázích bylo prováděno pouze pomocí nepřetržitého vysílání jednoho zařízení a zjišťování použití komunikačního kanálu pomocí druhého zařízení. Testování bylo prováděno v rámci bytu umístěného v centru Brna. Bylo zjištěno, že po připojení druhého zařízení do kterékoliv zásuvky je označován komunikační kanál za využívaný.

Po tomto zjištění byly započaty testy přenosu s již platnými daty. Z důvodu nemožnosti konfigurace PLC modemu přes rozhraní UART byl modem v defaultním režimu. V tomto režimu nedovoloval změnu kmitočtového zdvihu (defaultně 0,5), citlivosti (defaultně normální) ani zapnutí nebo vypnutí vstupního interního filtru (defaultně vypnut). Toto je hlavní důvod, proč bylo později vytvářeno softwarové rozhraní SPI.

Komunikace byla nejprve prováděna na vzdálenost do 10 m, čili v rámci jednoho pokoje. Zde jsou zásuvky jištěny jedním jističem. Při testu bylo přenášeno vždy 50 kB dat a měřen počet správně a špatně přijatých bajtů. Při těchto přenosech byla chybovost celkem nízká. Počet špatně přijatých bajtů byl vždy do 1 % z celkových odeslaných. Poté byla komunikace uskutečňována mezi dvěma pokoji. Zásuvky v každém pokoji jsou jištěny jiným jističem, tudíž vzdálenost se tím ještě prodlouží. Odhadovaná vzdálenost je asi 35 m. V tomto případě již komunikace vykazovala značnou chybovost. V průměru bylo přijato vždy 50 % chybných bajtů z celkového počtu odeslaných.

Tyto výsledky byly neuspokojivé, proto bylo vytvořeno softwarové rozhraní SPI, pomocí kterého byl PLC modem překonfigurován. Při psaní a zkoušení programu vznikaly problémy s časováním a posunem dat v jednotlivých bajtech. Po vyřešení všech problémů byl modem nakonfigurován a vybrány nastavitelné položky, které jsou pro tuto aplikaci důležité. Jedná se o volbu kmitočtového zdvihu (1 nebo 0,5), citlivosti přijímače (vysoká nebo normální) a zapnutí nebo vypnutí přídavné filtrace vstupního signálu vnitřním filtrem. Kmitočtový zdvih je v tomto případě závislý i na nastavené přenosové rychlosti a vypočten podle vztahu (7).

$$\Delta F = B_D \cdot R \quad , \quad (7)$$

kde  $B_D$  označuje nastavenou hodnotu (1 nebo 0,5) a  $R$  přenosovou rychlost.

Nyní byly nastavovány jednotlivé kombinace těchto konfiguračních bitů a hledáno nejvhodnější nastavení. Například dodatečná filtrace vstupního signálu zvyšuje chybovost. Nakonec se ukázalo jako nejvhodnější nastavení s kmitočtovým zdvihem nastaveným na hodnotu 1 a mód vysoké citlivosti. Při tomto nastavení docházelo při komunikaci mezi pokoji k chybovosti do 1%. Což je oproti defaultnímu znatelné zlepšení. Komunikace probíhala i nyní přes rozhraní UART, jen před komunikací byl modem patřičně nakonfigurován pomocí rozhraní SPI a poté předána komunikace opět rozhraní UART. Shrnuté výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 8.1, přičemž symbol X označuje jakékoliv nastavení.

Tab. 8.1: Naměřené výsledky komunikace – rozhraní UART

<b>Citlivost</b>	<b>Kmitočtový zdvih</b>	<b>Vstupní filtr</b>	<b>Odhadovaná vzdálenost</b>	<b>Přenosová rychlost [b/s]</b>	<b>Chybovost bajtů</b>
Normální	0,5	Vypnut	~ 10 m	2400	< 1 %
Normální	0,5	Vypnut	~ 35 m	2400	~ 50 %
X	1	X	~ 10 m	2400	~ 0 %
Normální	1	Zapnut	~ 35 m	2400	< 1,2 %
Vysoká	1	Vypnut	~ 35 m	2400	~ 0 %
Vysoká	1	Vypnut	~ 35 m	4800	< 3 %



Po vypsání všech přijatých testovacích dat bylo zjištěno, že naprostá většina chyb je způsobena pouze bitovým posunem a nikoli chybným rozpoznáním logické úrovně v datech. Tento bitový posun je způsoben chybným rozpoznáním start a stop bitů použitých při komunikaci pomocí rozhraní UART. Bylo zjištěno, že občas PLC modem vyšle start bit, aniž by za ním následovala platná data. Rozhraní UART je v klidovém stavu drženo v logické jedničce, čili po výše zmíněném start bitu je přijato osm jedniček a tyto jsou následně prohlášeny za platná přijatá data. Pokud jsou v průběhu čtení tohoto chybného bajtu přijata některá platná data, jsou standardně přijata, ale dojde k bitovému posunu a tím k znehodnocení dat a ztrátě synchronizace.

Tento problém byl řešen pomocí zapínání a vypínání přijímacích a vysílacích obvodů rozhraní UART mikrokontroleru v přestávkách mezi přenosy. Došlo k určitém zlepšení, ale i nadále vzniká chybné rozpoznávání začátků jednotlivých bajtů a tím i k vzniku chybovosti. Tato chybovost není způsobena chybou na komunikačním kanálu, ale špatnou synchronizací přijímače a vysílače. Protože se jedná o hardwarové rozhraní UART, které pracuje asynchronně, není žádná možnost, jak ovlivnit jeho chování a zajistit lepší synchronizaci. K ověření, že k chybám opravdu dochází vlivem bitových posunů, byla použita komunikace zařízení s počítačem, ve kterém byly vypisovány všechny přijaté bity. Zde byly všechny datové bity správné, pouze se mezi nimi občas vyskytovaly shluky logických jedniček. Tyto shluky jsou patrně způsobeny držením UART rozhraní v logické jedničce při neaktivním stavu.

Z tohoto důvodu bylo rozšířeno softwarové rozhraní SPI o možnost komunikace mezi zařízeními. To vyžadovalo vytvoření funkcí pro odesílání a příjem dat ze sítě a úpravu funkcí, ve kterých jsou přijímané bity slučovány do bajtů. Byla snaha o celkové zjednodušení obslužného programu tak, aby bylo možné využívat i nejvyšší přenosovou rychlost PLC modemu, tedy 4800 b/s. Je totiž nutné každý příchozí nebo odchozí bit zpracovávat programově zvlášť.

Jako velice výhodné je, že PLC modem generuje a obnovuje hodinový signál z přijímaných dat a tím je zajištěna bitová synchronizace. Bajtová synchronizace je ale opět na mikrokontroleru. Protože SPI rozhraní je řešeno pouze programově, máme nad chováním tohoto rozhraní určitou kontrolu a vhodnou modifikací je možné dosáhnout i bajtové synchronizace.

Nejprve byla zjištěna chybovost přenosu sériových dat, bez jejich dělení na bajty. Zde bylo překvapivě zjištěno, že nedochází k téměř žádným chybám při komunikaci v rámci bytu. Po tomto zjištění byla vytvořena vcelku jednoduchá synchronizace, prováděná na základě vysílání a příjmu synchronizačních značek. Tyto značky jsou vysílány vždy na začátku přenosu a po nich jsou teprve vysílána data. Tato synchronizační značka má hodnotu 96<sub>H</sub> což je 1001 0110<sub>B</sub>. Volba této značky byla provedena tak, aby značka nebyla při svém jakémkoliv bitovém posunu nahraditelná.

Při každém začátku přenosu je zařízení prohlášeno za nezasynchronizované. Když je poté prováděna obslužná rutina vnějšího přerušení při příjmu, je nejprve prováděna synchronizace pomocí hledání synchronizační značky v přijímaných datech. Přijímané bity jsou postupně čteny do pomocné osmi bitové proměnné. Tato proměnná je při každém novém přijatém bitu rotována vlevo. Pokud se její hodnota rovná synchronizační značce, je zařízení prohlášeno za synchronizované. Následující příchozí bity jsou vždy prohlášeny za celý bajt po příjmu osmého bitu.

Tím by mělo být zajištěno, že vždy po správné synchronizaci budou data přijata se správným bajtovým rozdělením a nebude docházet k bitovým posunům a tím vzniku chyb.

Pokud je na začátku přenosu provedena synchronizace nesprávně, budou všechna následující data čtena chybně. Nebo lépe řečeno přijata správně, ale chybně rozdělena do bajtů, čímž jsou znehodnocena. Tato skutečnost byla opět ověřena pomocí výpisu všech přijatých dat do počítače, kde byla bit po bitu vypsána a kontrolována.

Testy při komunikaci mezi PLC modemem a mikrokontrolerem pomocí rozhraní SPI byly prováděny obdobným způsobem jako testy s rozhraním UART. Pouze nyní jsou navíc přenášeny synchronizační značky. Testování je prováděno pomocí odesílání rámců o velikosti 100 bajtů, přičemž každý tento rámec je opatřen synchronizační značkou. Těchto rámců se v jednom testu odesílalo 200. Čili celkový objem dat v jednom testu činil 20 kB.

Měření bylo provedeno v rámci bytu v centru Brna a k dispozici byla tři zařízení. Tato zařízení byla rozmístěna po bytě tak, aby každé bylo připojeno na jiném jističi a vzdálenost mezi nimi byla přibližně 35 m. Komunikace probíhala na jedné fázi. Vždy vysílalo jedno zařízení a zbylá dvě přijímala. Po příjmu bylo možné vypsát přijatá data do připojeného počítače a z nich určit typ vznikajících chyb. Počty špatně přijatých rámců byly vždy pro rychlou kontrolu vypisovány na displej zařízení.

Při těchto testech bylo zjištěno, že pokud dojde k nějaké chybě, je vždy chybně přijat celý rámec. Tudíž vzniklá chyba je již v počáteční synchronizaci a poté jsou všechna data přijata s chybou. Opět nastává situace, že bitově jsou data správná, jen dochází k bitovému posunu v rámci bajtů.

Při prováděném měření v rámci bytu v centru Brna bylo vždy přijato maximálně 2 % chybných rámců z celkového počtu odeslaných. Tato měření byla prováděna na odhadovanou vzdálenost asi 35 m. Při testech komunikace v rodinném domě v příměstské části Brna byla komunikace prováděna na vzdálenost přibližně 80 m s průchodem přes dva jističe. Jednalo se o přenos dat z druhého nadzemního podlaží rodinného domu do garáže, která je umístěna odděleně od domu. Vzdálenost mezi garáží a domem je přibližně 30 m. Při těchto testech byl počet chybných rámců přibližně 3 % z celkového počtu odeslaných. Tyto hodnoty chybovosti jsou pro nejvyšší přenosovou rychlost 4800 b/s.

Při všech testech s rozhraním SPI bylo zkoušeno různé nastavení konfiguračního registru a tím parametrů komunikace. Téměř nulové chybovosti bylo docíleno při komunikaci nižší rychlostí než 4800 b/s. Vliv ostatních parametrů komunikace (kmitočtový zdvih, citlivost přijímače a dodatečná filtrace) na chybovost nebyl zaznamenán. Shrnutí naměřených výsledků je uvedeno v tabulce 8.2. Symbol X znamená jakékoliv nastavení.

Tab. 8.2: Naměřené výsledky komunikace – rozhraní SPI

Citlivost	Kmitočtový zdvih	Vstupní filtr	Odhadovaná vzdálenost	Přenosová rychlost [b/s]	Chybovost rámců
X	X	X	~ 35 m	4800	< 2 %
X	X	X	~ 35 m	600, 1200, 2400	~ 0 %
X	X	X	~ 80 m	4800	< 3 %
X	X	X	~ 80 m	600, 1200, 2400	~ 0 %

### 8.3 Oživení obvodů pro zpracování zvukového signálu

Po osazení operačních zesilovačů a všech okolních součástek byl v prvním kroku testován vstupní zesilovač se zesílením 50 dB a vstupní kmitočtové filtry. Nejprve byl z počítače generován akustický signál s kmitočtem 1 kHz, který byl snímán mikrofonom. Pomocí analogově číslicového převodníku byl tento signál kvantován a vzorky ukládány na data flash paměť. Vždy po nahrání několika sekund bylo nahrávání přerušeno a do počítače postupně odesílány hodnoty z paměti. Z průběhu změn těchto hodnot bylo kontrolováno, zda nahrávání probíhá správně. Protože byl snímán harmonický signál, tak se tyto hodnoty mění periodicky a lze ve vypisovaných datech najít informaci o periodě a amplitudě signálu. Po tomto ověření byl snímán již řečový signál. Ten sice nemá periodický charakter, ale podle změřených amplitud bylo možné přesně nastavit zesílení vstupního zesilovače tak, aby nedocházelo k přebuzení signálu ale zároveň byl využit co největší rozsah analogově číslicového převodníku.

Funkce výstupního kmitočtového filtru a zesilovače byla testována a ověřena pomocí zvukového signálu generovaného z počítače. Tento signál byl připojen místo PWM kanálu mikrokontroleru. Generovaný signál byl nastavován s různými kmitočty (opět harmonický signál) a kontrolován, které kmitočty jsou slyšitelné na připojeném reproduktoru. Tímto byla ověřena funkčnost i propustnost výstupního filtru.

Poté již byl prováděn test s generováním zvukového signálu pomocí PWM kanálu. V první fázi byl registr PWM kanálu v každém cyklu zvýšen o jedničku. Tím bylo docíleno generování harmonického signálu. Tento postup byl výhodný tím, že nebylo třeba řešit obsluhu paměti a z ní vyčítat vzorky signálu, ale bylo jisté jaké hodnoty se do registru PWM kanálu zapisují.

Po úspěšném generování harmonického signálu, bylo již prováděno nahrávání řečového signálu do paměti a jeho generování pomocí PWM kanálu. Zde se vyskytovaly problémy zejména se šumem, který je způsoben analogově číslicovým převodníkem. Ten i při odpojeném mikrofону občas převede vstupní hodnotu nikoli jako nulovou, ale s hodnotou 1 (celý rozsah převodníku je 256 kvantovacích úrovní). Tato hodnota při zápisu do PWM kanálu způsobuje krátké špičky o velikosti 5 V. Toto chování vychází z podstaty PWM kanálu, který při nenulové hodnotě komparačního registru nastaví výstupní pin. Tento pin je nulován, pokud čítač dočítá do nastavené hodnoty. Tím vzniká v generovaném signálu výrazný šum.

Při pokusech o odstranění tohoto šumu bylo výhodné sledovat obsah paměti jejím vypisováním do počítače. Zde bylo patrné, že tyto špičky vznikají náhodně a dosahují maximální úrovně třetí kvantovací hladiny. Při prostém nulování všech vzorků s hodnotou nižší než 3, docházelo k neúnosnému zkreslení hlasového signálu a zhoršení jeho srozumitelnosti. K tomuto jevu docházelo i při nastaveném nulovacím prahu na hodnotu 1 a při porovnávání třech po sobě jdoucích vzorků. Tyto vzorky byly porovnávány za účelem zjištění, jaký signál bude následovat. Pokud se velikost vzorků nezvyšovala a klesla opět na nulovou hodnotu, nebo setrvala na hodnotách pod zvoleným prahem, byly tyto vzorky nulovány. Naopak, pokud například po dvou vzorcích s hodnotou pod zvoleným prahem následoval vzorek vyšší, byly i tyto vzorky ponechány. Touto metodou byl šum sice snížen, ale srozumitelnost byla stále slyšitelně horší nežli v případě neupravovaného signálu. Protože je požadována především srozumitelnost přenášené zprávy, byla tato filtrace vypuštěna.

## 9 Závěr

V diplomové práci byl v úvodních kapitolách proveden stručný rozbor problematiky komunikace po silovém vedení, shrnuty současné možnosti řešení této komunikace a uvedeny použité standardy. Další kapitoly jsou výhradně věnovány návrhu zařízení s názvem Network Voice Message Box (NVMB01).

Návrh zařízení se skládal z několika částí. První částí bylo vybrání vhodné metody komunikace a následné vybrání příslušných součástek. Zejména se jedná o PLC modem s označením ST7540 od firmy ST Microelectronics, který zajišťuje fyzickou vrstvu komunikačního rozhraní pomocí kmitočtové modulace. Pro řízení celého zařízení byl zvolen mikrokontroler s označením ATmega128 od firmy Atmel, jehož hodinový signál byl zvolen s kmitočtem 16 MHz.

Dalším krokem byl návrh schématu zapojení. Zde bylo již nutné uvažovat především programové možnosti mikrokontroleru a navrhnout celkovou koncepci zařízení. Poté byly navrženy jednotlivé části zařízení, mezi které především patří klávesnice, displej, paměť, část pro nahrávání a přehrávání zvukového signálu, komunikace s počítačem, zdroj reálného času, část s PLC modemem a napájecí zdroje.

Po navržení schématu zapojení byl proveden návrh konstrukčního řešení zařízení. To je realizováno na dvou deskách plošných spojů, které jsou navzájem spojeny pomocí konektorů a sešroubovány. První deska byla označena NVMB01\_PS a obsahuje napájecí zdroje, PLC modem ST7540 a filtrační a oddělovací obvody pro komunikaci po silovém vedení. Druhá deska s označením NVMB01\_CTR obsahuje mikrokontroler a všechny ostatní části zařízení.

V dalších kapitolách je popsán postup oživování zařízení a testy jednotlivých částí. Při oživování nedošlo k žádnému zásadnímu problému nebo odhalení chyb v návrhu.

Důležitou součástí tohoto zařízení je programové vybavení mikrokontroleru. Program byl psán v jazyce C pro mikrokontrolery AVR a celkově má rozsah přes 3500 řádků. Podle prováděných funkcí je program rozdělen do více souborů a tyto poté při překladu sloučeny i se svými hlavičkovými soubory, ve kterých jsou převážně uvedeny prototypy funkcí a definice konstant.

V programu jsou vytvořeny funkce pro obsluhu maticové klávesnice s šestnácti tlačítky, která je připojena k osmi pinům mikrokontroleru. Při určování stisknuté klávesy je použita metoda založená na nalezení sloupce a řádku, ve kterém se nachází stisknutá klávesa. Dále následují funkce pro ovládání displeje a komunikace s počítačem pomocí sériového rozhraní UART.

Zdroj reálného času je řešen pomocí připojení druhého krystalu s kmitočtem 32 768 Hz. Tento kmitočet byl zvolen z důvodu možnosti jeho dělení číslem  $2^{15} = 32\,768$ , což je v mikrokontroleru realizováno postupným dělením 256 a 128. Po tomto dělení vznikají pulsy s kmitočtem přesně jedné sekundy. V programu je řešen rozdílný počet dní v měsících i přestupné roky.

Data flash paměť byla zvolena s kapacitou 8 Mb a je rozdělena na 16 sektorů, přičemž každý sektor na 32 bloků a každý blok na 8 stránek o velikosti 256 B. Zapisování dat probíhá vždy do bufferu a po jeho naplnění je tento buffer přesunut do paměti. Čtení dat je prováděno po stránkách, přičemž je možné zvolit, od kterého bajtu se bude daná stránka číst. Na desce plošných spojů je umožněno osadit slot pro micro SD kartu, čímž je rozšířena paměťová kapacita zařízení.

Nahrávání zvukového signálu je prováděno pomocí analogově číslicového převodníku umístěného v mikrokontroleru. Před tímto převodem je signál z mikrofону zesílen a kmitočtově omezen filtrem typu dolní propust 6. řádu, aby nedocházelo ke vzniku aliasingu. Vzorkovací kmitočet je zvolen 8 kHz s osmi bity na vzorek. Vzorky jsou ukládány do paměti a za poslední vzorek nahrávané zprávy je uložena speciální značka pro rozpoznání konce zprávy.

Přehrávání zvukového signálu je uskutečněno pomocí PWM kanálu mikrokontroleru, jehož komparační registr je s kmitočtem 8 kHz aktualizován hodnotou přečtenou z paměti. PWM signál je filtrován kmitočtovým filtrem typu dolní propust 6. řádu s mezním kmitočtem 4 kHz. Tímto jsou číslicové vzorky signálu převedeny zpět na analogové.

Komunikace mezi PLC modemem a mikrokontrolerem je možná buď asynchronně pomocí hardwarového rozhraní UART, nebo synchronně pomocí softwarového rozhraní SPI. Při použití asynchronní komunikace není umožněn přístup do konfiguračního registru PLC modemu, a tím není možné měnit jeho parametry. Z tohoto důvodu byly napsány funkce pro softwarové rozhraní SPI.

Při testech komunikace po silovém vedení bylo zjištěno, že k vzniku chyb dochází především díky chybnému rozpoznání začátku bajtů. Rozhraní UART je hardwarové a není možná žádná kontrola nad start a stop bity, které jsou použity pro označování začátků a konců bajtů. Proto byly funkce pro rozhraní SPI rozšířeny o možnost komunikace mezi zařízeními a doplněna synchronizace. Přenos je prováděn pomocí rámců o délce 100 bajtů a vždy před přenosem každého rámce je provedena synchronizace pomocí synchronizačních značek.

Měřením bylo zjištěno, že bitová chybovost při komunikaci na vzdálenost přibližně 80 m s průchodem přes dva jističe je téměř nulová. Ale přibližně v 3% případech vzniká chyba v synchronizaci, což způsobuje, že správný bitový datový tok je chybně rozdělen do bajtů. Tím je celý rámec znehodnocen. K výskytu těchto chyb docházelo zejména při komunikaci nejvyšší přenosovou rychlostí 4800 b/s. Při použití nižších rychlostí byla rámcová chybovost téměř nulová.

Nahrané hlasové zprávy je možné odesílat na ostatní zařízení. Uživatel pomocí klávesnice zvolí identifikační číslo koncového zařízení a zprávu mu odešle. Zařízení se s tímto koncovým zařízením spojí a po přijetí potvrzení o připravenosti přijímat, začne odesílat hlasovou zprávu. Tu je po jejím přenosu možno na koncovém zařízení přehrát.

V rámci diplomové práce byly vytvořeny tři prototypy zařízení a s nimi provedeny všechny testy. Jak tyto testy ukázaly, zařízení je použitelné pro přenos dat po silovém vedení, proto bude v tomto projektu pokračováno i nadále. V dalším postupu tohoto projektu bude zejména zlepšena synchronizace jednotlivých zařízení a vylepšen komunikační protokol.

## Seznam použité literatury

- [1] ŠILHAVÝ, P., ZEMAN, V. *Datová komunikace : Laboratorní cvičení*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2007. 85 s.
- [2] *Domovská stránka firmy Yitran* [online]. [1996] [cit. 2008-11-04]. Anglicky. Dostupný z WWW: <<http://yitran.com/>>.
- [3] *Domovská stránka firmy Intellon* [online]. c2007 [cit. 2008-11-04]. Anglicky. Dostupný z WWW: <<http://www.intellon.com/>>.
- [4] *Domovská stránka firmy DS2* [online]. c2008 [cit. 2008-11-04]. Anglicky. Dostupný z WWW: <<http://www.ds2.es/>>.
- [5] DOMOLOGIC Home Automation GmbH. *Konnex PL132 - Power-Line-Communication using the CENELEC-C-Band* [online]. c2000-2003 [cit. 2008-11-06]. Dostupný z WWW: <[http://www.domologic.de/download/pdf/konnex\\_pl132\\_en.pdf](http://www.domologic.de/download/pdf/konnex_pl132_en.pdf)>.
- [6] *Intellon. Intellon High Speed Power Line Communications* [online]. [2003] [cit. 2008-11-11]. Anglicky. Dostupný z WWW: <<http://www.hoti.org/archive/hoti8papers/015.doc>>.
- [7] *HomePlug Powerline Alliance : Wikipedia* [online]. [2003] , 25 November 2008, [cit. 2008-11-12]. Anglicky. Dostupný z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/HomePlug\\_Powerline\\_Alliance](http://en.wikipedia.org/wiki/HomePlug_Powerline_Alliance)>.
- [8] *X10 (industry standard) : Wikipedia* [online]. [2000] [cit. 2008-11-12]. Anglicky. Dostupný z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/X10\\_\(industry\\_standard\)](http://en.wikipedia.org/wiki/X10_(industry_standard))>.
- [9] ST Microelectronics. *AN2451 Application Note : ST7540 FSK powerline transceiver design guide for AMR* [online]. 2008 [cit. 2008-12-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.st.com/stonline/products/literature/an/12791.pdf>>.
- [10] ST Microelectronics. *ST7540: FSK power line transceiver* [online]. 2006 [cit. 2009-15-3]. Anglicky. Dostupný z WWW: <<http://www.st.com/stonline/products/literature/ds/12176/st7540.pdf>> .
- [11] DÍTĚ, M. *Kmitočtové filtry s operačními zesilovači*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2007. XY s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Schimmel, Ph.D.
- [12] Atmel. *AVR335 : Digital Sound Recorder with AVR and DataFlash* [online]. 2005 [cit. 2008-12-12]. Dostupný z WWW: <[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc1456.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc1456.pdf)>.
- [13] Atmel. *AT45DB081D* [online]. 2009 [cit. 2009-11-5] Dostupný z WWW: <[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc3596.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc3596.pdf)>
- [14] SD Group. *SD Specifications* [online]. 2006 [cit. 2009-30-4] Dostupný z WWW: <[http://www.sdcard.org/developers/tech/sdcard/pls/Simplified\\_Physical\\_Layer\\_Spec.pdf](http://www.sdcard.org/developers/tech/sdcard/pls/Simplified_Physical_Layer_Spec.pdf)>
- [15] DOSTÁL, T., AXMAN, V. *Elektrické filtry*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 144 s.

- [16] Atmel. *ATmega128* [online]. 2008 [cit. 2009-11-5] Dostupný z  
WWW: <[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2467.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2467.pdf)>



## **Seznam použitých zkratk a symbolů:**

<i>AM</i>	– Amplitudová modulace
<i>BPL</i>	– Broadband over Power Lines – datový přenos po napajecí soustavě pro přístup k síti Internet
<i>FM</i>	– Kmitočtová modulace
<i>HDO</i>	– Hromadné dálkové ovládání – používané pro regulaci velikosti odběru elektrické energie
<i>HDTV</i>	– High-Division Television – vysílání televizního signálu ve vysokém rozlišení
<i>NVMB</i>	– Network Voice Message Box – navrhované zařízení
<i>OFDM</i>	– Orthogonal Frequency Division Multiplexing - česky ortogonální multiplex s kmitočtovým dělením
<i>PWM</i>	– Pulse – Width Modulation – pulsně šířková modulace
<i>RTC</i>	– Real Time Clock – zdroj reálného času
<i>SPI</i>	– Serial Peripheral Interface – sériové periferní rozhraní
<i>SD</i>	– Secure Digital – paměťová karta
<i>UART</i>	– Universal Addresable Receiver Transmitter – sériové komunikační rozhraní
<i>VoIP</i>	– Voice over IP – přenos hlasu po IP sítích

## **Seznam příloh**

### **A Celkové schéma zapojení**

- A.1 Schéma napájecích obvodů
- A.2 Schéma části s PLC modemem
- A.3 Řídící část – mikrokontroler
- A.4 Řídící část – paměť
- A.5 Obvody pro zpracování zvuku

### **B Navržené desky plošných spojů**

- B.1 Strana TOP desky NVMB01\_CTR
- B.2 Strana BOTTOM desky NVMB01\_CTR
- B.3 Strana TOP desky NVMB01\_PS
- B.4 Strana BOTTOM desky NVMB01\_PS
- B.5 Rozmístění součástek na desce NVMB01\_CTR strana TOP
- B.6 Rozmístění součástek na desce NVMB01\_CTR strana BOTTOM
- B.7 Rozmístění součástek na desce NVMB01\_PS

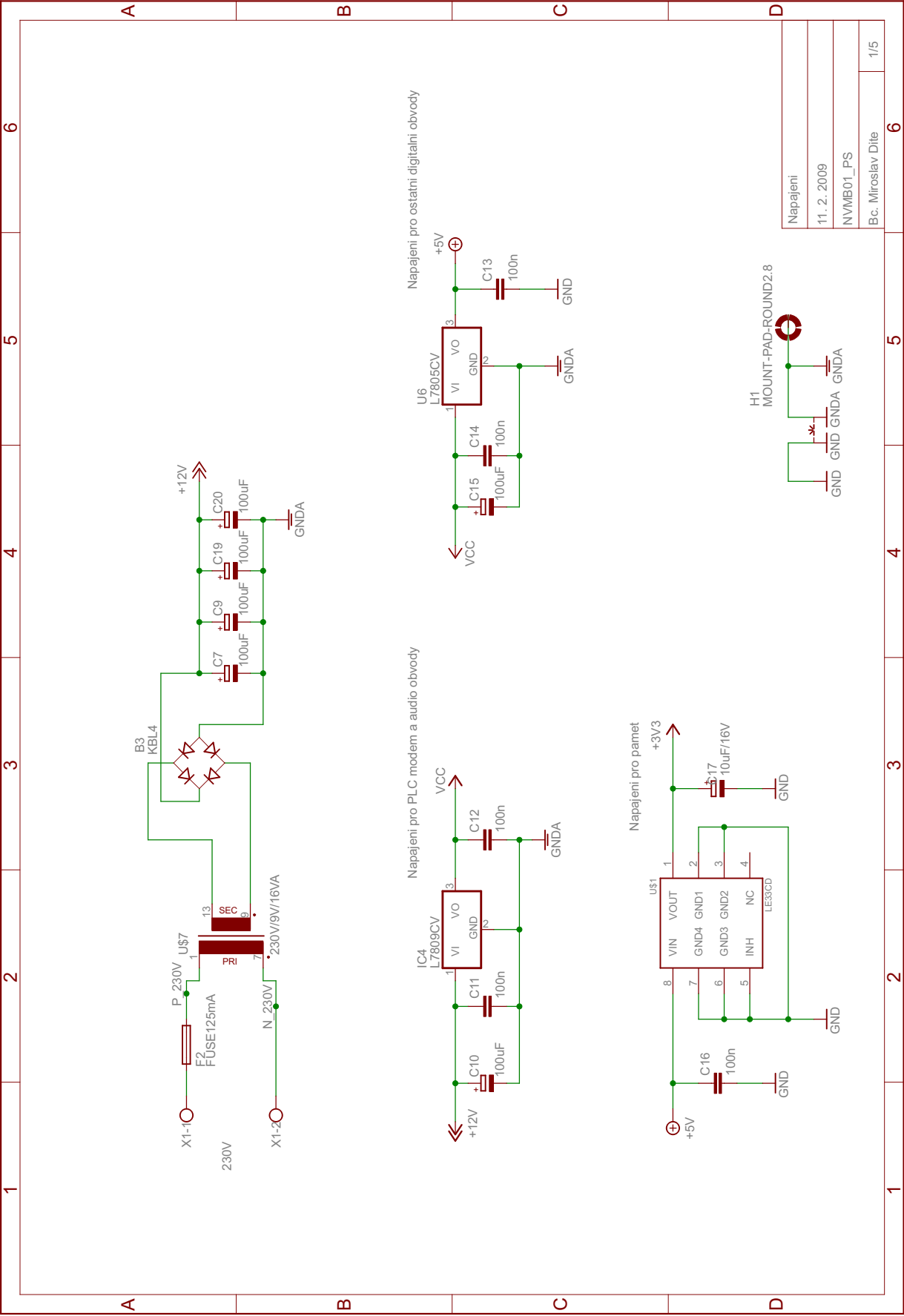
### **C Seznamy součástek**

- C.1 Seznam součástek pro NVMB01\_CTR
- C.2 Seznam součástek pro NVMB01\_PS

### **D Ukázkové fotografie zařízení**

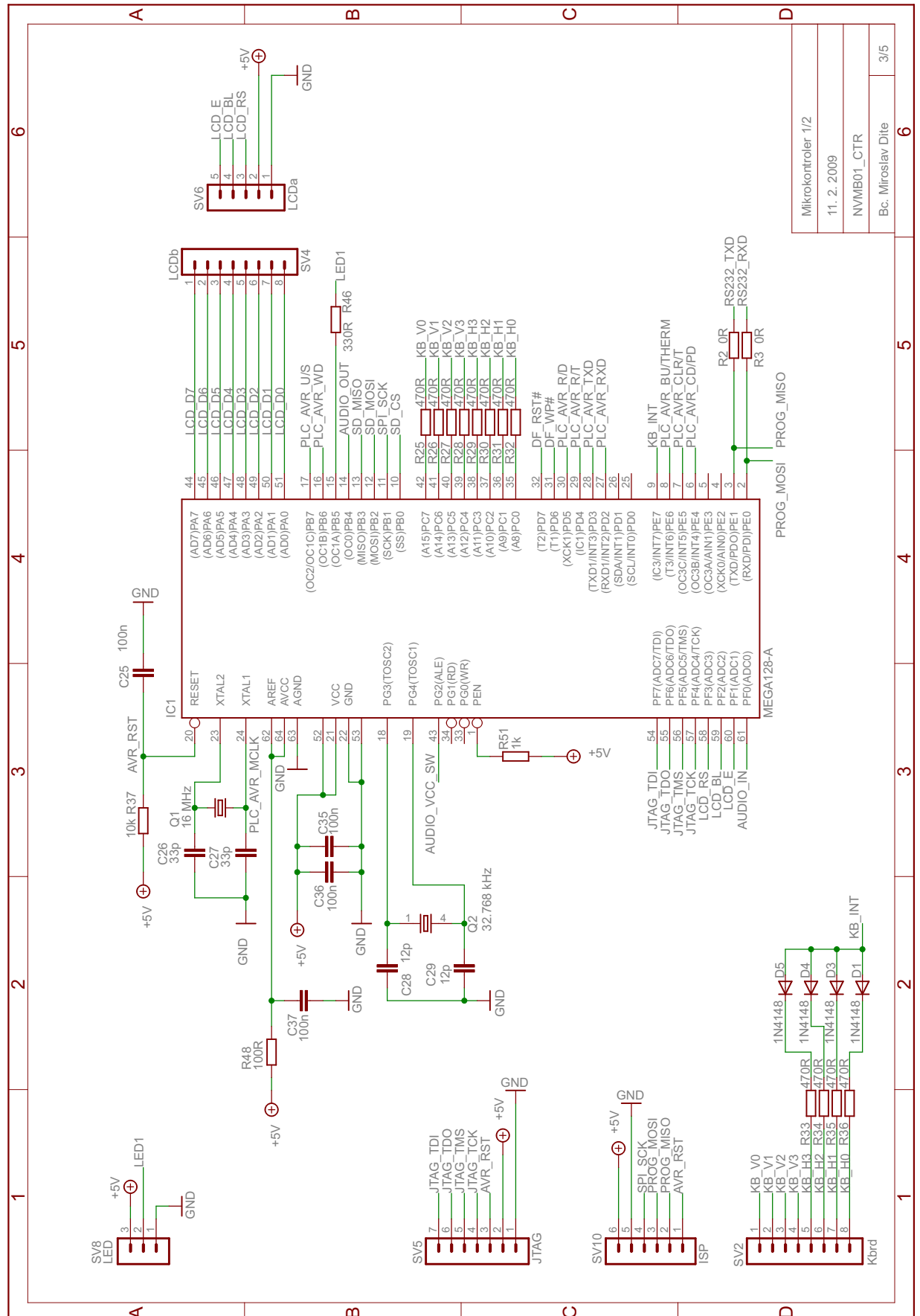
- D.1 Detailní zobrazení konstrukce zařízení
- D.2 Zařízení s připojenými periferiemi
- D.3 Umístění zařízení v krabici

A.1 Schéma napájecích obvodů

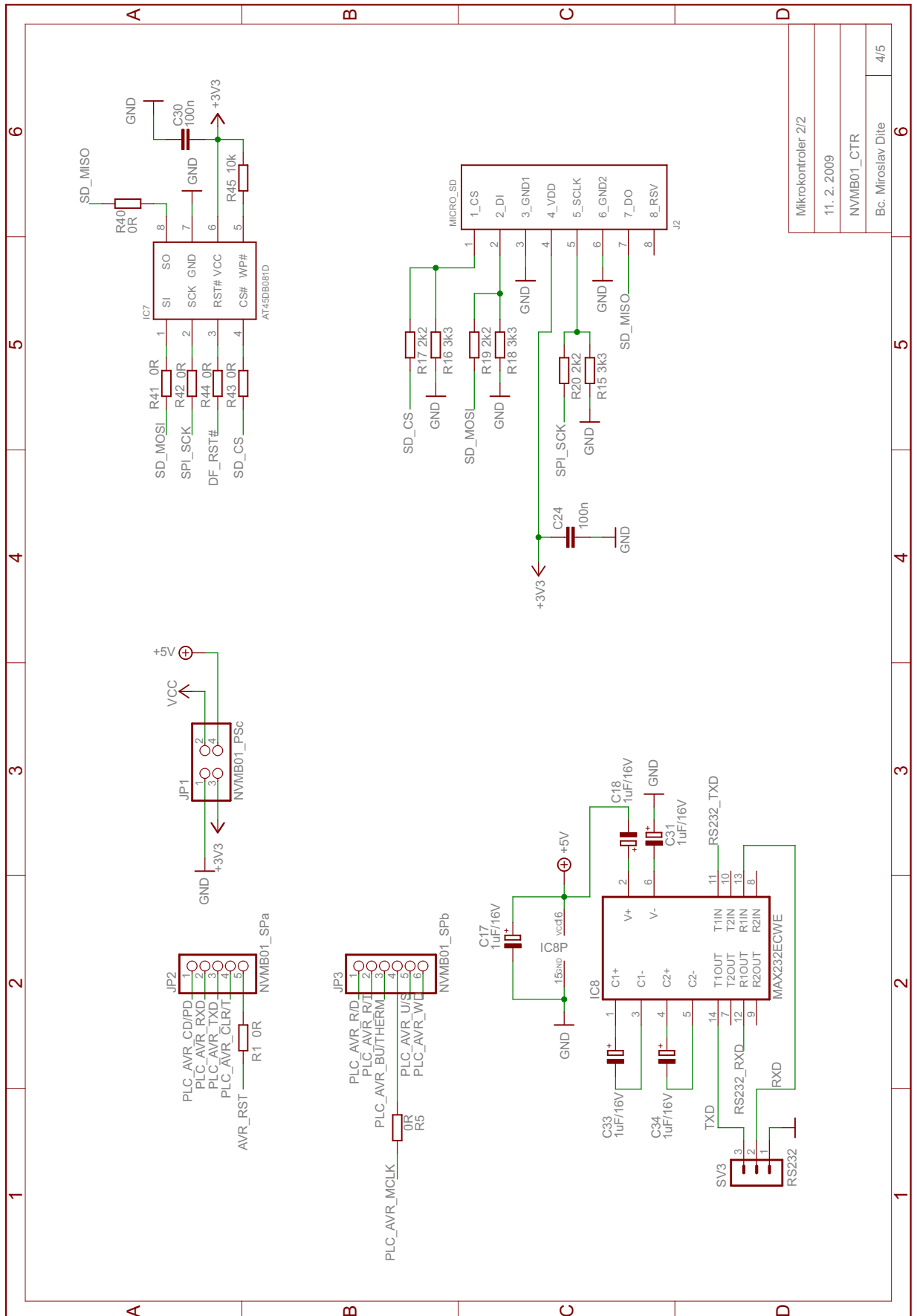


[illegible]

### A.3 Řídicí část - mikrokontroler



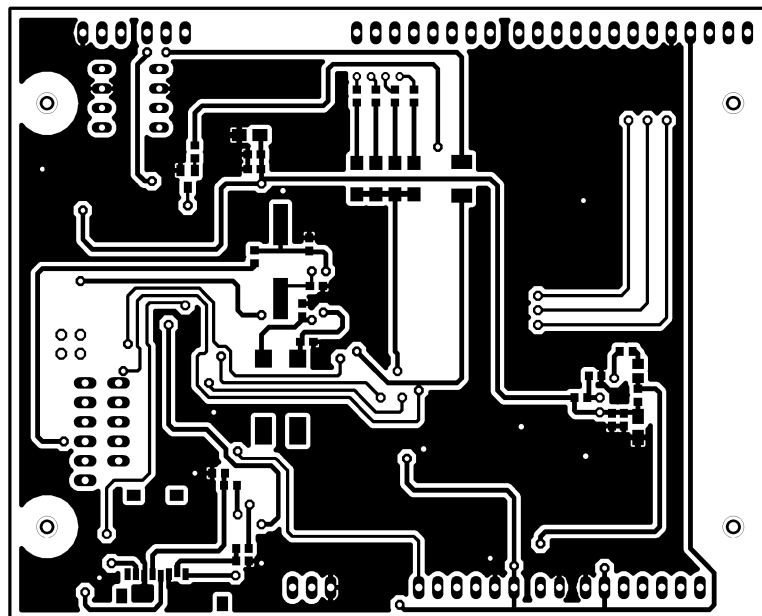
## A.4 Řídicí část - paměť



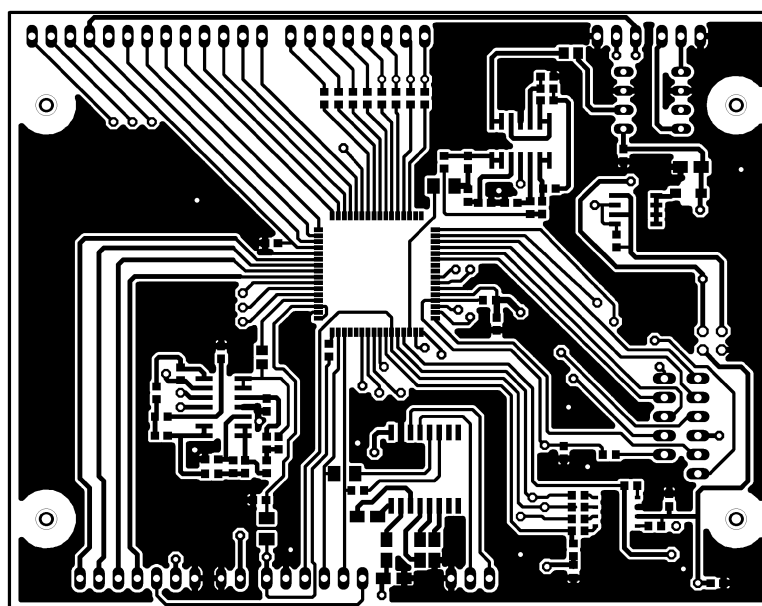


## B Navržené desky plošných spojů

### B.1 Strana TOP desky NVMB01\_CTR

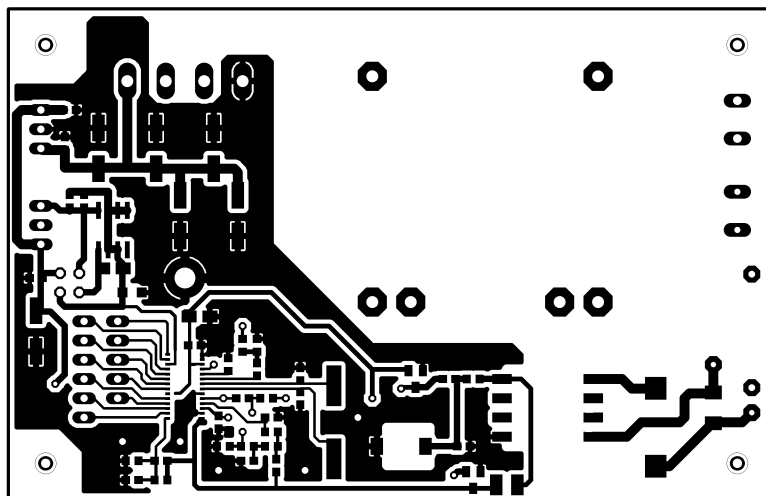


### B.2 Strana BOTTOM desky NVMB01\_CTR

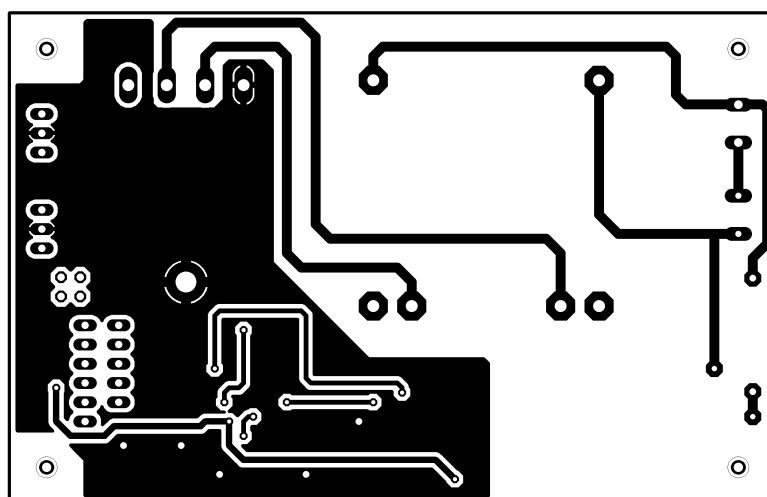




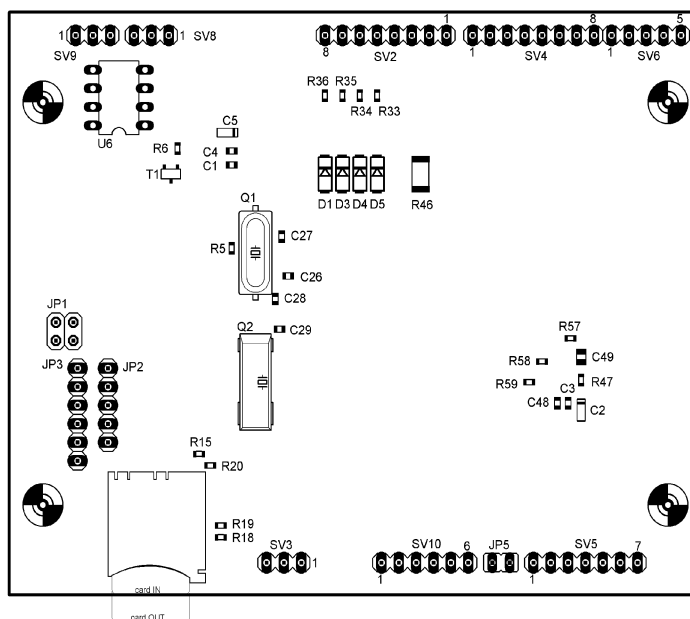
### B.3 Strana TOP desky NVMB01\_PS



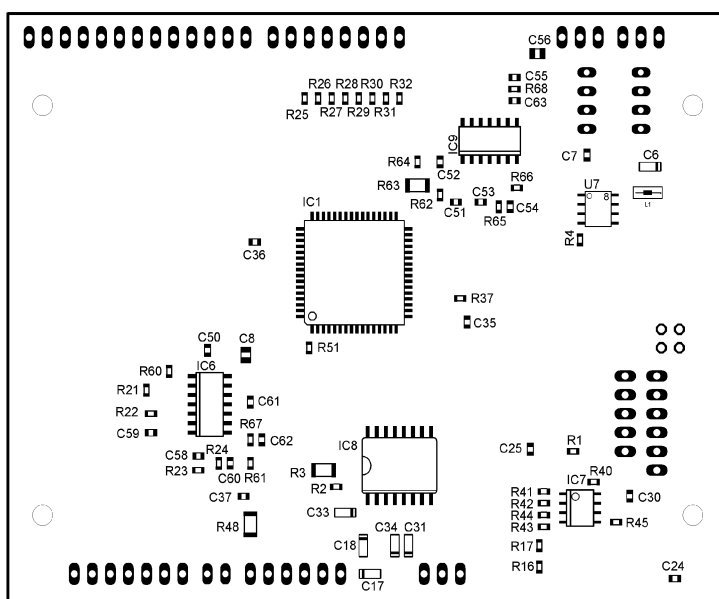
### B.4 Strana BOTTOM desky NVMB01\_PS



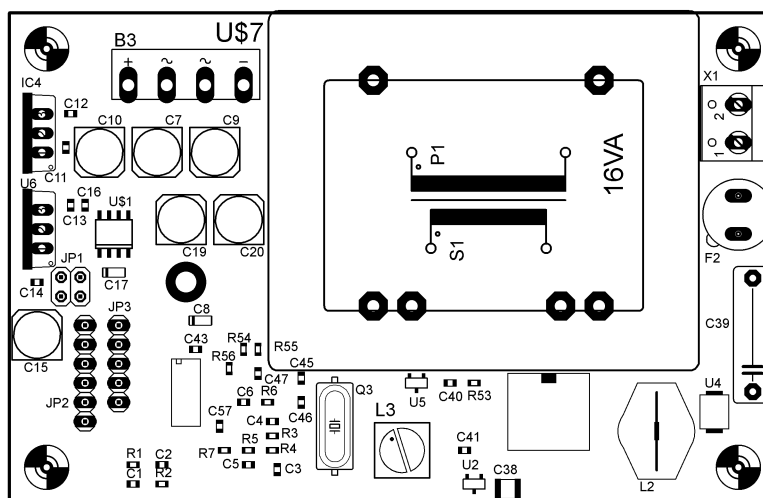
## B.5 Rozmístění součástek na desce NVMB01\_CTR strana TOP



## B.6 Rozmístění součástek na desce NVMB01\_CTR strana BOTTOM



## B.7 Rozmístění součástek na desce NVMB01\_PS



## C Seznamy součástek

### C.1 Seznam součástek pro desku NVMB01\_CTR

SMD rezistory, velikost 0603		
Reference	Hodnota	Počet
R <sub>1</sub> – R <sub>3</sub> , R <sub>5</sub> , R <sub>40</sub> – R <sub>45</sub>	0 Ω	10
R <sub>48</sub>	100 Ω	1
R <sub>46</sub>	330 Ω	1
R <sub>25</sub> – R <sub>36</sub>	470 Ω	12
R <sub>16</sub>	330 Ω	1
R <sub>47</sub> , R <sub>51</sub> , R <sub>57</sub>	1 kΩ	3
R <sub>19</sub> , R <sub>20</sub> , R <sub>17</sub>	2,2 kΩ	3
R <sub>15</sub> , R <sub>16</sub> , R <sub>18</sub>	3,3 kΩ	3
R <sub>64</sub> , R <sub>65</sub>	5,6 kΩ	2
R <sub>62</sub> , R <sub>63</sub>	8,2 kΩ	2
R <sub>4</sub> , R <sub>6</sub> , R <sub>37</sub> , R <sub>58</sub> – R <sub>60</sub> , R <sub>66</sub> , R <sub>68</sub>	10 kΩ	7
R <sub>23</sub> , R <sub>24</sub>	12 kΩ	2
R <sub>21</sub> , R <sub>22</sub>	18 kΩ	2
R <sub>61</sub> , R <sub>67</sub>	22 kΩ	2

SMD keramické kondenzátory, velikost 0603		
Reference	Hodnota	Počet
C <sub>28</sub> , C <sub>29</sub>	12 pF	2
C <sub>26</sub> , C <sub>27</sub>	33 pF	2
C <sub>55</sub> , C <sub>61</sub>	1 nF	2
C <sub>50</sub> – C <sub>53</sub> , C <sub>58</sub> , C <sub>59</sub>	4,7 nF	6
C <sub>1</sub> , C <sub>48</sub> , C <sub>54</sub> , C <sub>60</sub>	10 nF	3
C <sub>62</sub> , C <sub>63</sub>	15 nF	2
C <sub>3</sub> , C <sub>4</sub> , C <sub>7</sub> , C <sub>24</sub> , C <sub>25</sub> , C <sub>30</sub> , C <sub>35</sub> – C <sub>37</sub>	100 nF	9
SMD keramické kondenzátory, velikost 0805		
C <sub>49</sub> , C <sub>56</sub>	1 μF	2
SMD tantalové kondenzátory, velikost A		
C <sub>2</sub> , C <sub>5</sub> , C <sub>6</sub> , C <sub>17</sub> , C <sub>18</sub> , C <sub>31</sub> , C <sub>33</sub> , C <sub>34</sub>	1 μF/16V	8

## Pokračování seznamu součástek pro NVMB01\_CTR

<b>Ostatní součástky</b>			
<b>Reference</b>	<b>Označení</b>	<b>Počet</b>	<b>Poznámka</b>
D <sub>1</sub> , D <sub>3</sub> , D <sub>4</sub> , D <sub>5</sub>	1N4148	4	SMD diody
IC <sub>1</sub>	ATmega128	1	Mikrokontroler
IC <sub>6</sub>	LM324D	2	Operační zesilovače
IC <sub>7</sub>	AT45DB081D	1	Data flash paměť
IC <sub>8</sub>	MAX232ECWE	1	Převodník RS232 úrovní
Q <sub>1</sub>	16 MHz	1	SMD krystal
Q <sub>2</sub>	32,768 kHz	1	SMD krystal
U <sub>1</sub>	IRF7342	1	Tranzistor FET – P
T <sub>1</sub>	BC846B	1	Bipolární tranzistor
U <sub>6</sub>	TDA7052	1	Audio zesilovač
L <sub>1</sub>	220 $\mu$ H	1	SMD cívka

## C.2 Seznam součástek pro desku NVMB01\_PS

<b>SMD rezistory, velikost 0603</b>		
<b>Reference</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Počet</b>
R <sub>53</sub>	750 $\Omega$	1
R <sub>1</sub>	1 k $\Omega$	1
R <sub>56</sub>	1,1 k $\Omega$	1
R <sub>55</sub>	1,5 k $\Omega$	1
R <sub>2</sub>	1,8 k $\Omega$	1
R <sub>5</sub>	2,5 k $\Omega$	1
R <sub>4</sub>	4,7 k $\Omega$	1
R <sub>54</sub>	6,2 k $\Omega$	1
R <sub>3</sub>	13 k $\Omega$	1
R <sub>7</sub>	18 k $\Omega$	1
R <sub>6</sub>	25 k $\Omega$	1

Pokračování seznamu součástek pro NVMB01\_PS

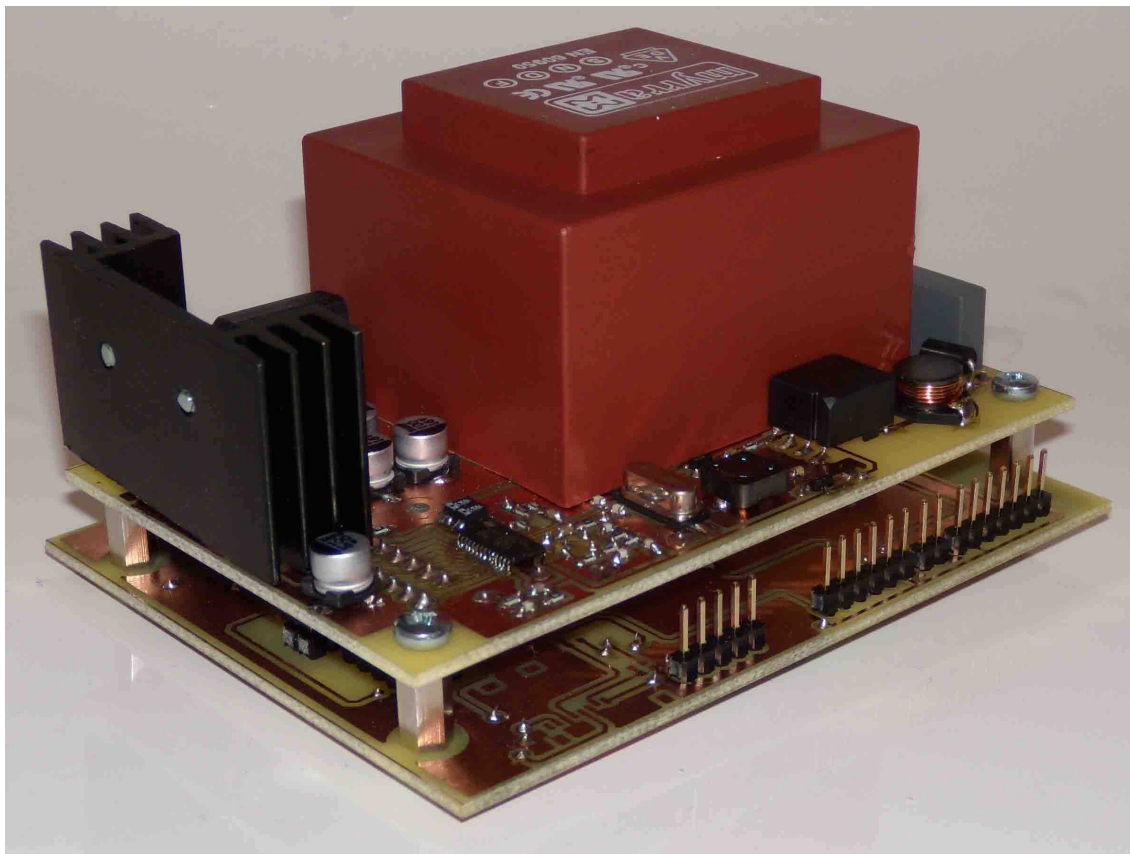
<b>SMD keramické kondenzátory, velikost 0603</b>		
<b>Reference</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Počet</b>
C <sub>2</sub>	15 pF	1
C <sub>1</sub>	22 pF	1
C <sub>45</sub> , C <sub>46</sub>	33 pF	2
C <sub>3</sub> , C <sub>4</sub>	100 pF	2
C <sub>5</sub>	270 pF	1
C <sub>41</sub>	6,8 nF	1
C <sub>40</sub> , C <sub>47</sub>	10 nF	2
C <sub>6</sub> , C <sub>11</sub> – C <sub>14</sub> , C <sub>16</sub> , C <sub>43</sub> , C <sub>57</sub>	100 nF	8
<b>SMD keramické kondenzátory, velikost 0805</b>		
C <sub>38</sub>	10 µF	1
<b>SMD fóliové kondenzátory, velikost RM15</b>		
C <sub>39</sub>	47 nF X2	1
<b>SMD tantalové kondenzátory, velikost A</b>		
C <sub>8</sub> , C <sub>17</sub> , C <sub>42</sub>	10 µF/16V	3
<b>SMD elektrolytické kondenzátory, velikost D6,3xV5,3 mm</b>		
C <sub>7</sub> , C <sub>9</sub> , C <sub>10</sub> , C <sub>15</sub> , C <sub>19</sub> , C <sub>20</sub>	100 µF/16V	6

Pokračování seznamu součástek pro NVMB01\_PS

<b>Ostatní součástky</b>			
<b>Reference</b>	<b>Označení</b>	<b>Počet</b>	<b>Poznámka</b>
B <sub>3</sub>	B250C4000	1	Usměrňovací můstek
F <sub>2</sub>	MSF250	1	Pojistka
IC <sub>4</sub>	L7809CV	1	LDO stabilizátor
U <sub>6</sub>	L7805CV	1	LDO stabilizátor
U <sub>s1</sub>	LE33CD	1	LDO stabilizátor
L <sub>2</sub>	33 µH	1	Cívka SMD
L <sub>3</sub>	220 µH	1	Cívka SMD
Q <sub>3</sub>	16 MHz	1	SMD krystal
T <sub>2</sub>	T60403-K5024	1	Oddělovací transformátor
U <sub>7</sub>	230V/9V/16VA	1	Síťový transformátor
U <sub>1</sub>	ST7540	1	PLC modem
U <sub>2</sub> , U <sub>5</sub>	BAV99	2	Dvojitá dioda
U <sub>4</sub>	SMBJ12CA	1	Transil

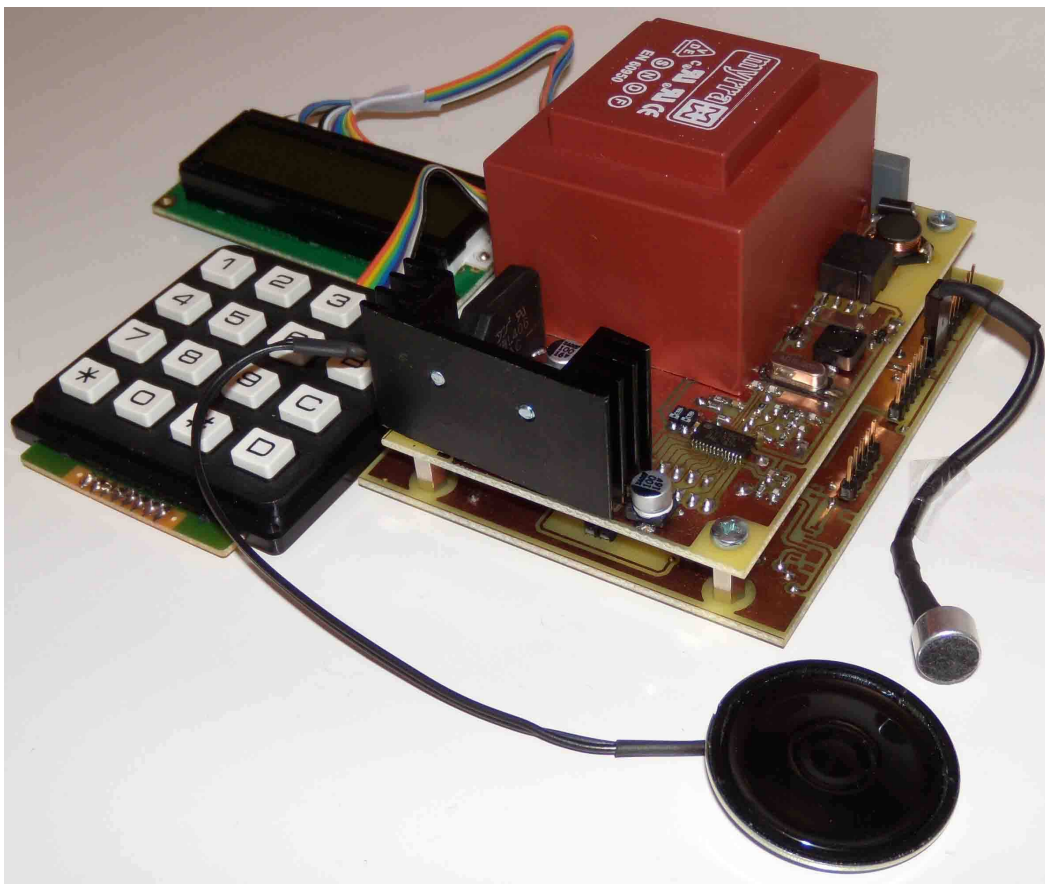
### C.3 D Ukázkové fotografie zařízení

#### D.1 Detailní zobrazení konstrukce zařízení





## D.2 Zařízení s připojenými periferiemi



### D.3 Umístění zařízení v krabičce

