

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

MODEM - OPAKOVAČ PRO ÚZKOPÁSMOVOU KOMUNIKACI
TECHNOLOGIÍ PLC

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

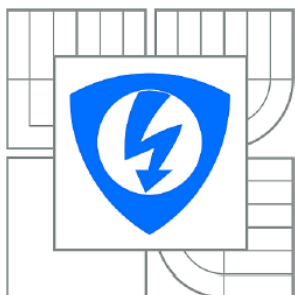
Bc. MICHAL NOVÁK

BRNO 2014



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

MODEM - OPAKOVAČ PRO ÚZKOPÁSMOVOU KOMUNIKACI TECHNOLOGIÍ PLC

MODEM -REPEATER FOR NARROW BAND TECHNOLOGY OF PLC

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

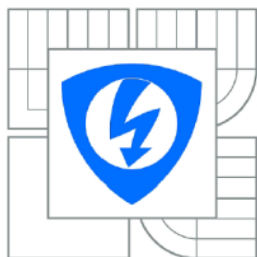
Bc. MICHAL NOVÁK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ MIŠUREC, CSc.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Michal Novák

ID: 119553

Ročník: 2

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Modem - opakovač pro úzkopásmovou komunikaci technologií PLC

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhnete obvodové a případně programové řešení modemu - opakovače pro PLC komunikaci, které umožní datovou komunikaci na větší vzdálenost, resp. aby zařízení sloužilo jako překlenovací modem pro neprůchozí prvky energetické sítě. V rámci řešení provedte kompletní návrh a podle možností i realizaci zařízení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] H. SCHULZRINNE, S. CASNER, R. FREDERICK, V. JACOBSON RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications, Internet Draft, IETF RFC3550, 2003.
- [2] HRASNICA, HAIDINE, LEHNERT. Broadband Powerline Communications Network design, ISBN:0-470-85741-2, 2004
- [3] DOSTERT, Klaus. Powerline Communications. Upper Saddle River, NJ 07458 : Prentice Hall PTR, 2001. 338 s. ISBN 0-13-029342-3.

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 28.5.2014

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

Konzultanti diplomové práce:

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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je navrhnout modem použitý jako opakovač pro úzkopásmovou komunikační technologii PLC, kvůli jejich krátkému dosahu a neschopnosti těchto zařízení překlenout některé prvky elektrické rozvodné sítě. Jsou zde popsány jednotlivé části modemu a možnost jejich sestavení do funkčního celku. Jednotlivé části jsou navrženy podle doporučení výrobce a upraveny pro vybrané frekvence příjmu a vysílání. Dále jsou v ní obsaženy výpočty pro jednotlivé části, simulace a kompletní informace potřebné pro výrobu tohoto opakovače.

KLÍČOVÁ SLOVA

Opakovač, vazební člen, filtr, modem, modulace, synchronizace, převodník.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to design a modem used as a repeater for narrowband PLC communications technologies, due to their short range and the inability of these devices to bridge some elements of the electrical grid. There are all part of the modem and the possibility of their assembly into a functional whole. The components are designed according to the manufacturer's recommendations and adjusted for the selected frequency reception and transmission. Furthermore, in the present calculations for each section, simulation, and complete information required to produce this Repeater.

KEYWORDS

Repeater, couplers, filter, modem, modulation, synchronization, converter.

NOVÁK, M. *Modem - opakovač pro úzkopásmovou komunikaci technologií PLC*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 35 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Modem - opakovač pro úzkopásmovou komunikaci technologií PLC“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce 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 této semestrální práce 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. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Mišurcovi, CSc., vedoucímu Ústavu telekomunikací, za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování diplomové práce.

V Brně dne.....

.....

podpis autora

TADY BUDE PROHLÁŠENÍ SIX

OBSAH

Úvod.....	11
1. Opakovač pro PLC komunikaci	12
1.1. Vazební člen	13
1.2. Filtry.....	15
1.2.1 Příjímací filtr	15
1.2.2 Vysílací filtr	16
1.3. Modem ST7570	18
1.3.1 Modulace	19
FSK modulace	19
Rozprostřené spektrum.....	19
1.3.2 Nastavení modemu	19
1.3.3 Synchronizace.....	20
1.3.4 Převodník UART na USB	21
2. Návrh opakovače.....	23
2.1. Návrh	23
2.2. Výpočty a simulace.....	26
2.2.1 Výpočty pro modem 1	27
2.2.2 Výpočty pro modem 2	29
Závěr.....	33
Seznam literatury.....	34
Seznam zkratek	35

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1: Schéma vazebního členu	14
1.2: Vymezení šířky pásma B z impedanční křivky	15
1.3: Pasivní přijímací filtr – pásmová propust.	16
1.4: Vysílací filtr 2. řádu s PA.....	17
1.5: Blokový diagram ST7570 [8].....	18
1.6: Průběh FSK modulace.....	19
1.7: Synchronizační obvod.	20
1.8: Časování bitů [9].	21
1.9: Převodník USB na UART [8].	22
2.1: Blokové schéma opakovače.	23
2.2: Vymezení propustného pásma.	24
2.3: Blokový diagram přijímací části integrovaného obvodu modemu [9].....	24
2.4: Přepínač s jumpery.	25
2.5: Blokový diagram vysílací části integrovaného obvodu modemu [9].....	25
2.6: Celkové schéma filtrů modemu 1 s hodnotami součástek.	26
2.7: Celkové schéma filtrů modemu 2 s hodnotami součástek.	26
2.8: Frekvenční charakteristika přijímacího filtru 1 s vyznačenou šířkou pásma B	27
2.9: Frekvenční charakteristiky přijímacího filtru 1 s uvážením $\pm 10\%$ tolerance cívky.	28
2.10: Přenosová charakteristika výstupního aktivního filtru 1 s vyznačenými f_1 a f_0	29
2.11: Frekvenční charakteristika přijímacího filtru 2 s vyznačenou šířkou pásma B	30
2.12: Změna šířky pásma B v závislosti na odporu R_1	30
2.13: Frekvenční charakteristiky přijímacího filtru 2 s uvážením $\pm 10\%$ tolerance cívky a s vysokou selektivitou.....	31
2.14: Přenosová charakteristika výstupního aktivního filtru 2 s vyznačenými f_1 a f_0	32

SEZNAM TABULEK

1.1: Specifikace transformátoru [8].....	13
1.2: Nastavení přenosových rychlostí [9].....	18
1.3: Pásmo pro PLC komunikaci [3].	20
1.4: Nastavení frekvencí.....	20
2.1: PGA zesílení podle zpětné vazby [9].	24

ÚVOD

V současné době existuje celá řada způsobů přenosu informace mezi koncovými zařízeními. Základní dělení přenosu informace podle přenosového média je na kabelové a bezdrátové. Další dělení pak závisí na typu přenosového média. U kabelových to jsou metalické a optické kabely a u bezdrátových je to rádiový a optický přenos informací. Každý způsob komunikace má svoje výhody i nevýhody (přenosová kapacita, dosah, chybovost spolehlivost), proto musíme volit nejvhodnější způsob přenosu pro každou aplikaci zvlášť. Jednotlivá koncová zařízení, která využívají tyto přenosové kanály, používají různé druhy modulací, aby zabránila bezchybnému přenosu, případně ztrátě informace při tomto přenosu jelikož ve všech přenosových médiích dochází k rušení.

Tato diplomová práce se zabývá sestavením opakovacího pro úzkopásmovou komunikaci PLC zařízení (Power Line Communication), které využívají k přenosu informací metalické kabely energetické rozvodné sítě. K tomuto typu komunikace se používají tzv. PLC modemy, které se připojují do standardní zásuvky rozvodné sítě. Velkou výhodou tedy je, že odpadá potřeba instalace nové kabeláže. Bohužel při používání PLC modemů na delší vzdálenosti, může nastat problém s jejich dosahem. Definovaný problém je důsledkem rušení, které způsobují ostatní zařízení připojená do rozvodné sítě, například spotřebiče. Z těchto důvodů je někdy zapotřebí použít opakováč. Opakováč je aktivní prvek, který má za úkol rušený signál přijmout, zbavit jej šumu a zesílený ho poslat dál do rozvodné sítě k příjemci.

Většina z těchto modemů obsahuje vazební člen určený k připojení na rozvodnou síť, přijímací a vysílací filtr, integrovaný obvod modemu, rozhraní pro komunikaci s počítačem a okolní prvky potřebné k jeho fungování. Celé schéma tohoto zařízení navrhuje výrobce integrovaného obvodu modemu a podle výrobce se také mění způsoby zapojení. Navrhovaný opakováč vychází z této technické dokumentace, která je k dispozici na stránkách jednotlivých výrobců. Opakováč je tedy sestaven na základě modifikace modemů, které jsou svojí funkcionalitou podobné.

Pro sestavení opakováče lze vycházet z několika variant. První z možných způsobů sestavení spočívá v použití dvou integrovaných obvodů modemu, které by pracovaly současně. Přijatá informace je okamžitě přeposlána do druhého modemu a odeslána do rozvodné sítě. Mezi modemy se nachází rozhraní pro připojení počítače sloužící ke kontrole přenášených dat a nastavení modemů.

1. OPAKOVAC PRO PLC KOMUNIKACI

Opakovač pro PLC komunikaci je zařízení, sloužící k překlenutí neprůchozích částí rozvodné sítě, nebo k prodloužení vzdálenosti mezi dvěma PLC modemy. Hlavní částí opakovače je PLC modem, integrovaný v DPS. PLC modem se skládá z vazebního obvodu, přijímacího a vysílacího filtru a rozhraní pro komunikaci s počítačem. Jelikož funkce opakovače je přijatý signál zesílit a poslat zpět do elektrické rozvodné sítě, musí se skládat minimálně ze dvou vazebních obvodů, přijímacích a vysílacích filtrů a podle způsobu zapojení z jednoho nebo dvou integrovaných obvodů PLC modemu.

Jednou ze základních částí opakovače je vazební člen, který slouží k připojení celého opakovače na elektrickou rozvodnou síť, k příjmu informací a k jejich přenosu zpět na tuto síť. Mezi další důležité funkce patří galvanické oddělení celého zařízení od rozvodné sítě, ochrana proti přepětí a filtrace síťové frekvence 50 Hz pomocí pasivní horní propusti.

Z důvodu připojení dalších zařízení na rozvodnou síť, jsou další důležitou součástí filtry. Základní rozdělení frekvenčních filtrů je na filtry s operačním zesilovačem, tedy aktivní a na frekvenční filtry bez operačního zesilovače, tedy pasivní. Filtry jsou připojeny za vazebním členem a zajišťují odfiltrování nežádoucích šumů a získání užitečného signálu na dané frekvenci, který v případě potřeby zesílí.

Přijímací a vysílací filtry jsou poslední částí před vstupem do PLC modemu. PLC modem signál z frekvenčních filtrů demoduluje a pomocí demodulace získává původní informaci. Opakovač přijatou informaci opět moduluje, ovšem na jinou frekvenci. Signál modulovaný na jinou nosnou frekvenci je poté zesílen v operačním zesilovači výstupního filtru. Vazební obvod následně odesílá modulovaný a zesílený signál zpět do sítě.

Během vývoje PLC modemů se na trhu začalo objevovat stále více výrobců. Tito výrobci byli vázáni normami pro komunikaci PLC, ovšem většina výrobců chtěla odlišit svá zařízení od konkurence. Zmíněná odlišnost se projevila různým zapojením obvodů, napájecím napětím i způsobem připojení a komunikace s počítačem. V návrhu opakovače je uvažován pouze jeden způsob zapojení PLC modemů. V zapojení opakovače jsou uvažovány dva modemy. Každý modem je schopen informace vysílat i přijímat. Pro opakovač bylo využito integrovaného obvodu ST7570 od společnosti STMicroelectronics.

1.1. Vazební člen

První částí opakovače je vazební člen určený ke galvanickému oddělení zařízení od sítě. Galvanické oddělení slouží k napojení na elektrickou rozvodnou síť tak, aby zařízení nebylo propojeno s touto sítí vodičem, ale zároveň docházelo k přenosu signálů mezi opakovačem a touto sítí. Nejčastěji používané galvanické oddělení je provedeno dvěma způsoby a to transformátorovou vazbou, nebo optickou vazbou.

Transformátorová vazba je jedním z nejpoužívanějších způsobů galvanického oddělení zařízení od rozvodné sítě. Princip vazby je založen na elektromagnetické indukci mezi dvěma cívkami. Procházející proud primární cívkou vyvolává magnetický indukční tok Φ , který je veden magnetickým jádrem k sekundární cívce. V sekundární cívce se podle Faradayova indukčního zákona indukuje elektrické napětí. Jelikož tento princip lze využít jen u střídavého napětí, je tento druh vazby ideální pro elektrické rozvodné sítě 230 V.

Optická vazba využívá ke galvanickému oddělení dvou obvodů zdroj světla na jedné straně a fotocitlivé součástky na straně druhé. Zdrojem světla bývá zpravidla polovodičová dioda LED, nebo laserová dioda. Jako fotocitlivá součástka se využívá fototranzistor, fotodioda, nebo fotorezistor. Tato vazba je pro použití v opakovači nevhodná, protože diody nejsou konstruované na střídavé napětí 230 V.

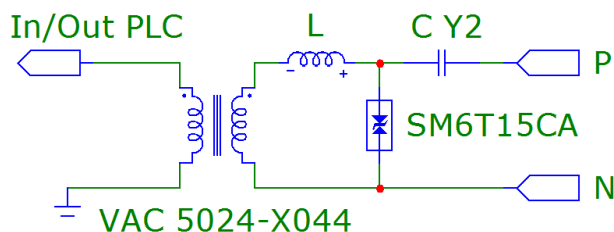
Podle výše zmíněných druhů galvanického oddělení je nejvhodnější použít oddělovací transformátor. Vazební člen tedy obsahuje oddělovací transformátor, ochranu proti přepětí a jednoduchý filtr. Schéma vazebního členu je vidět na obrázku (Obr. 1.1). Oddělovací transformátor musí mít specifické vlastnosti vycházející z Tab. 1.1. Transformátor VAC 5024-X044 se vzhledem k uvedeným parametrům jeví jako nejvhodnější, což potvrzuje i doporučení výrobců.

Tab. 1.1: Specifikace transformátoru [8].

Parametr	Hodnota
Poměr cívek	1 : 1
Primární indukčnost	$\geq 1 \text{ mH}$
Rozptylová indukčnost	$\leq 1,5 \text{ }\mu\text{H}$
DC celkový odpor	$\leq 0,5 \text{ }\Omega$
DC saturační proud	$\geq 15 \text{ mA}$
Kapacita vnitřního vinutí	$< 30 \text{ pF}$
Izolační napětí	$\geq 4 \text{ kV}$

Při využití transformátoru s poměrem závitů 1:1 je potřeba použít i další elektronické součástky protože výstupní napětí je stejné jako síťové a integrovaný obvod modemu na něj není přizpůsobený. Ke snížení napětí je v návrhu použit transil, který zároveň chrání odvod proti přepětí.

Transil slouží k ochraně před napěťovými špičkami a může být jednosměrný, nebo obousměrný, podle toho jestli chrání proti přepětí jedné, nebo obou polarit. Transil se v obvodu neuplatní, pokud bude přivedené napětí menší než prahové. Pokud je prahové napětí překročeno, transil se otevře a sníží napětí na hodnotu prahového napětí. Transil SM6T15CA je zapojen paralelně před oddělovacím transformátorem a snižuje napětí z 230 V na 15 V.



Obr. 1.1: Schéma vazebního členu.

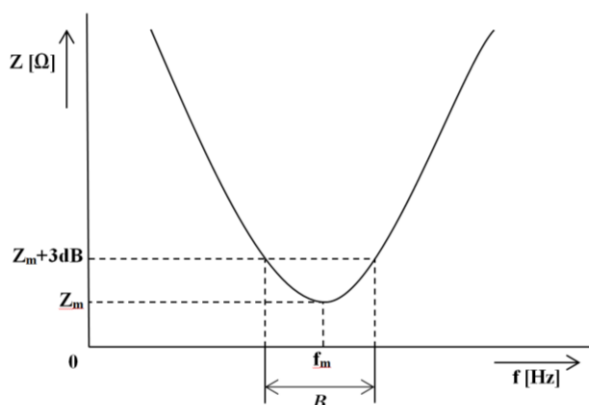
Další částí vazebního členu je bezpečnostní kondenzátor třídy Y2. Rozoznáváme dvě třídy bezpečnostních kondenzátorů, X a Y. Třída X je určena pro zařízení, ve kterých selhání kondenzátoru nemůže vést k úrazu elektrickým proudem. Třída X se dále dělí na třídu X1 a X2. X1 kondenzátory jsou dimenzovány, aby snesly špičkové napětí až 4 kV a X2 kondenzátory pak musí vydržet špičkové napětí až 2,5 kV. Kondenzátory vyráběné v této třídě jsou pouze jako filmové [2].

Třída kondenzátorů Y je určena pro zařízení, ve kterých jejich selhání může způsobit úraz elektrickým proudem v případě ztráty uzemnění. Kondenzátory s označením Y1 jsou testovány na špičkové napětí do 8 kV, a třída Y2 je testována na špičkové napětí do 5 kV. Y kondenzátory se vyrábějí jako filmové a keramické [2].

Za bezpečnostním kondenzátorem se nachází cívka, která musí mít saturační proud vyšší než 2 A a sériový odpor menší než 0,1 Ω kvůli omezení zkreslení signálu a ztrát které způsobuje. Tato cívka L, společně s primární cívkou vazebního transformátoru L_{T1} , jejíž udávaná kapacita se pohybuje okolo 1 μF a s bezpečnostním kondenzátorem C, tvoří filtr zapojený jako pásmová propust. Filtr slouží pro odfiltrování síťového kmitočtu a dalších rušení z rozvodné sítě. Sériové spojení $L + L_{T1} = L'$ a C vytváří sériový rezonanční obvod, jehož rezonanční frekvenci můžeme vypočítat podle Thomsonova vzorce:

$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{L'C}} \quad [\text{Hz}] \quad (1.1)$$

Sériový rezonanční obvod má při rezonančním kmitočtu nejmenší impedanci a obvodem protéká největší proud, který je v celém obvodu konstantní. Nárůst impedance Z_m o 3 dB, vymezuje šířku pásma rezonančního obvodu, jak můžeme vidět na obrázku (Obr. 1.2). Šířka pásma rezonančního obvodu je nepřímo úměrná jeho činiteli jakosti Q . Čím větší bude šířka pásma, tím menší bude činitel jakosti.



Obr. 1.2: Vymezení šířky pásma B z impedanční křivky.

1.2. Filtry

Jak už bylo zmíněno v úvodu, je zapotřebí dvou druhů filtrů, přijímací a vysílací a podle doporučení výrobce jsou filtry s operačním zesilovačem, nebo bez něj. Výhoda pasivních filtrů bez operačního zesilovače spočívá v jednoduchosti celého filtru a v jeho ceně. Jejich nevýhodou je však maximálně jednotkový přenos v propustném pásmu. Na druhou stranu filtry s operačním zesilovačem jsou složitější a dražší, ale vykazují zesílení v propustném pásmu a jsou základem při stavbě filtrů vyšších řádů.

1.2.1 Přijímací filtr

Jako přijímací filtr je využit pasivní filtr druhého řádu a je složený z odporu sériově spojeného s paralelním zapojením cívky a kondenzátoru viz obrázek (Obr. 1.3). Toto spojení vytváří pásmovou propust, jejíž nosná frekvence je nastavena na frekvenci přijímaného signálu z rozvodné sítě.

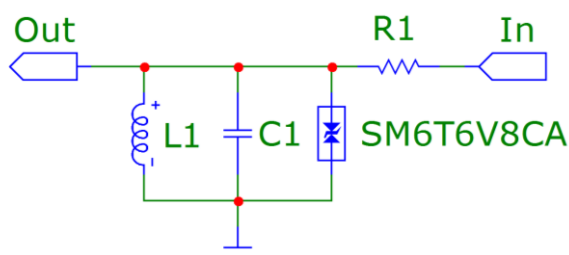
Pro výpočet její nosné frekvence bude opět použit Thomsonův vzorec a kvůli zjednodušení může být hodnota odporu cívky R_L zanedbána, protože se pohybuje do 2 Ω . Pokud by však tato hodnota byla větší, už ji zanedbat nelze. Hodnota C'_1 vznikne paralelním spojením kondenzátoru C_1 s reverzní kapacitou transilu SM6T6V8CA, která je přibližně 2 nF. Tato hodnota nemůže být zanedbána, jelikož sníží nosnou frekvenci řádově v kHz. Transil v tomto filtru snižuje vstupní napětí integrovaného obvodu modemu na 6,8 V což je dostatečně nízké napětí.

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \omega_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{R_1 + R_L}{R_1 L_1 C'_1}} \cong \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 C'_1}} \quad [Hz] \quad (1.2)$$

Důležitým parametrem pásmové propusti je selektivita. Selektivita udává schopnost filtru vyselektovat určité frekvenční pásmo okolo nosné frekvence. Vyselektované frekvenční pásmo neboli šířka pásma filtru, je rozdíl mezi minimální a maximální přenosovou frekvencí filtru. Tyto frekvence jsou dány poklesem útlumu o 3 db od nosné frekvence. Šířku pásma filtru můžeme vypočítat pomocí činitele jakosti Q [5].

$$Q = \frac{R_1 L_1 C'_1}{R_1 R_L C'_1 + L_1} \omega_c \quad [-] \quad (1.3)$$

Při výpočtu činitele jakosti musí být započten i parazitní odpor sériově připojené cívky vazebního transformátoru R_L , protože je zřejmé, že činitel jakosti a selektivita filtru závisí nejen na odporu R_1 , ale také na tomto odporu R_L . Čím nižší bude odpor R_L , tím vyšší bude činitel jakosti a strmější rezonanční křivka, zatím co vyšší odpor R_1 povede k vyšší selektivitě a k minimalizaci ztrát. Bohužel díky vyššímu činiteli jakosti má filtr i vyšší citlivost na toleranci součástek, proto je zapotřebí volit vhodný kompromis při jejich výběru [8].



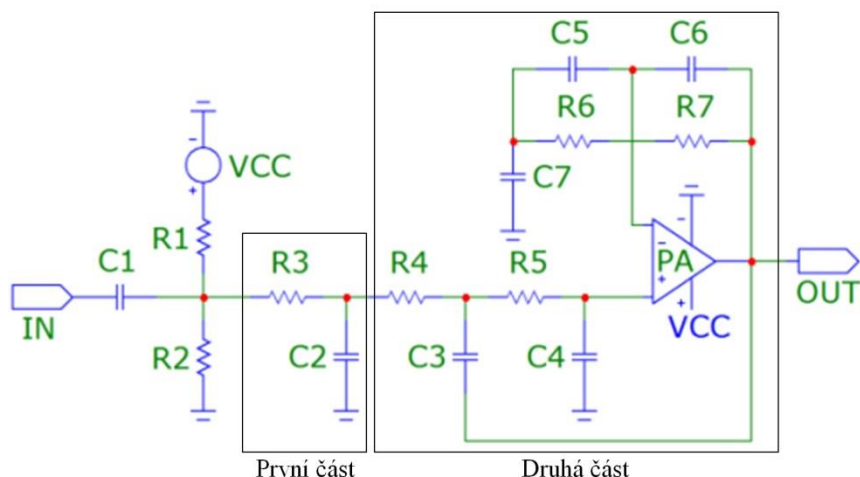
Obr. 1.3: Pasivní přijímací filtr – pásmová propust.

1.2.2 Vysílací filtr

V integrovaném obvodu modemu ST7570 se nachází operační zesilovač PA sloužící pro zesílení výstupního signálu z filtru. Vysílací filtr může být konstruován rozličnými způsoby, protože jsou svorky zesilovače vyvedeny z pouzdra modemu nezávisle na vnitřní struktuře modemu. Zapojení operačního zesilovače v této diplomové práci však bylo voleno dle doporučení výrobce, viz obrázek (Obr. 1.4). Filtr použitý v návrhu opakovacího je složen ze dvou dolních propustí. Hodnoty použitých součástek jsou upraveny podle zvolené mezní frekvence.

První částí je jednoduchá dolní propust složená z rezistoru R_3 a kondenzátoru C_2 . Mezní frekvence této propusti by měla být nastavena tak, aby odfiltrovala nežádoucí vyšší harmonické složky vysílaného signálu.

Ve druhé části se nachází vysílací filtr druhého řádu zapojený taktéž jako dolní propust s integrovaným operačním zesilovačem PA. Vysílací filtr se skládá z rezistorů R_4 , R_5 a kondenzátorů C_3 , C_4 . Rezistor R_6 a R_7 nastavuje zesílení neinvertujícího operačního zesilovače a k nim jsou připojeny kompenzační kondenzátory C_5 a C_6 . Odpor R_1 a R_2 tvoří odporový dělič vytvářející vhodné předpětí kvůli nesymetrickému napájení [6] [8].



Obr. 1.4: Vysílací filtr 2. řádu s PA.

Pro výpočet zesílení operačního zesilovače, mezní frekvence a činitele jakosti tohoto filtru, budou použity následující vzorce [8]:

Vzorec pro výpočet zesílení:

$$A_{OZ} = \left(1 + \frac{R_7}{R_6}\right) \quad [dB] \quad (1.4)$$

Vzorec pro výpočet mezní frekvence:

$$f_m = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_4 R_5 C_3 C_4}} \quad [Hz] \quad (1.5)$$

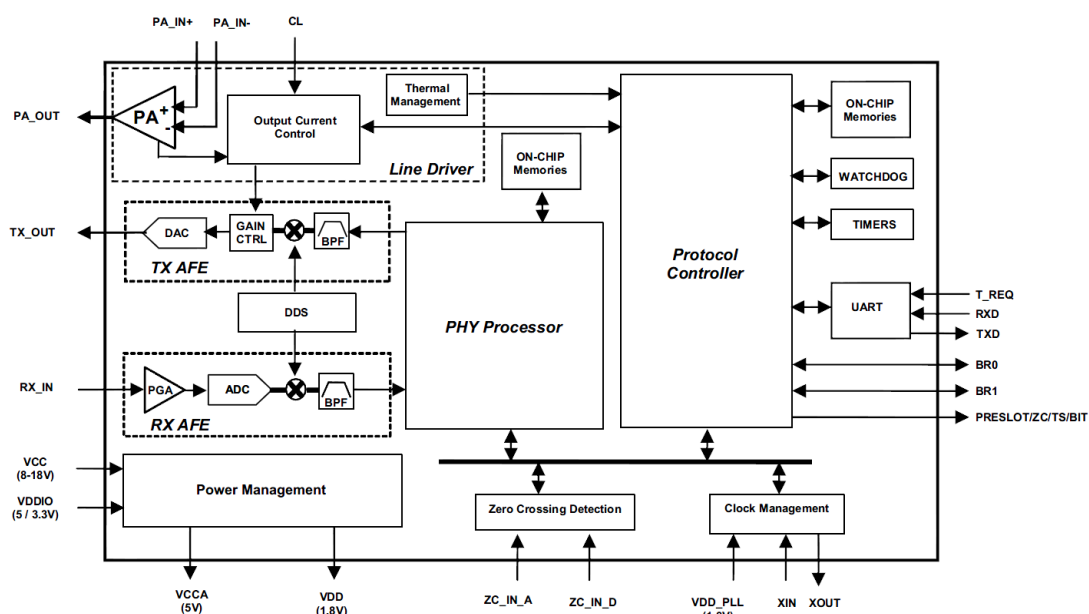
Vzorec pro výpočet činitele jakosti:

$$Q = \frac{\sqrt{R_4 R_5 C_3 C_4}}{R_5 C_4 + R_4 C_3 + R_5 C_3 (1 - A_{OZ})} \quad [-] \quad (1.6)$$

1.3. Modem ST7570

Stěžejní částí opakovače je integrovaný obvod modemu (Obr. 1.5), který zajišťuje demodulaci přijaté informace, modulaci odesílané informace a komunikaci s počítačem pomocí komunikačního rozhraní. Pro návrh opakovače byl zvolen modem ST7570 kvůli jeho vhodným vlastnostem, jednoduchosti návrhu opakovače, dostupnosti a nízké ceně.

ST7570 je poloduplexní modem, s nastavitelnou nosnou frekvencí s krokem po 1 Hz a to až do frekvence 148,5 kHz, s programovatelnou přenosovou rychlostí, integrovaným A/D a D/A převodníkem, integrovaným operačním zesilovačem pro zesílení výstupního signálu, obvodem pro automatické řízení zisku z přijímače a detekčním obvodem pro průchod síťového napětí nulou [8] [9].



Obr. 1.5: Blokový diagram ST7570 [8].

Nastavení přenosové rychlosti se provádí pomocí pinů BR1 a BR2 přivedením logické „0“, nebo „1“ na jejich vstup. Přenosová rychlost a způsob jejího nastavení je v Tab. 1.2.

Tab. 1.2: Nastavení přenosových rychlostí [9].

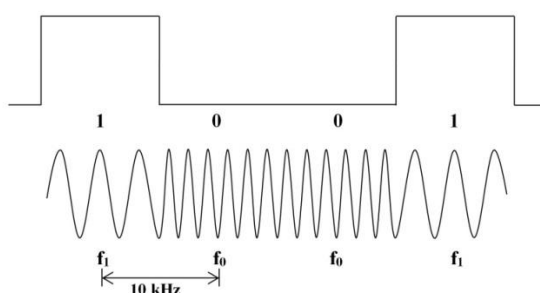
BR1	BR0	Baud rate
0	0	9600
0	1	19200
1	0	38400
1	1	57600

1.3.1 Modulace

Modem ST7570 využívá S-FSK modulaci, která kombinuje výhody FSK modulace, tedy malou složitost, s výhodami rozprostřeného spektra, což je odolnost proti úzkopásmovému rušení. Navíc jsou pro snížení pravděpodobnosti rušení, frekvence pro přenos logické „0“ a „1“ od sebe odděleny minimálně 10 kHz pásmem.

FSK modulace

Princip FSK modulace spočívá ve změně frekvence nosného signálu v závislosti na modulačním signálu. Pokud je modulačním signálem binární signál s logickou „1“ a „0“, je těmto hodnotám přiřazena rozdílná frekvence viz obrázek (Obr. 1.6).



Obr. 1.6: Průběh FSK modulace.

Rozprostřené spektrum

Princip rozprostřeného spektra spočívá v tom, že úzkopásmový užitečný signál se na vysílací straně kóduje (rozprostírá) daným rozprostíracím kódem a je přenášén jako širokopásmový. Širokopásmový signál má širší spektrum a tím i nižší spektrální výkonovou hustotu než původní úzkopásmový signál. Po přenosu se na přijímací straně širokopásmový signál dekóduje stejným rozprostíracím kódem a získá se z něj původní úzkopásmový signál. Na přijímací straně se objevuje nejen širokopásmový signál, ale i další signály, které jsou při dekódování ještě více rozprostřeny, tudíž původní úzkopásmový signál ovlivní jen minimálně. Rozprostřením signálu dochází k navýšení objemu dat na vysílací straně, což vede ke kvalitnějšímu příjmu informace, než jaký by byl bez rozprostírání [4] [7].

1.3.2 Nastavení modemu

Protože nemůžeme zajistit, že se přenášený signál dané frekvence nedostane z jedné strany rozvodné sítě na druhou, například přes elektroměr formou rušení, musí být přijímaný a vysílaný signál modemu nastaven na rozdílné frekvence pro oba modemy. Modem je možné nastavit v celém rozsahu všech pásem, viz tabulka 1.3.

Tab. 1.3: Pásmo pro PLC komunikaci [3].

Pásmo	Frekvenční rozsah (kHz)	Max. amplituda (V)	Poznámka
A	9–95	10	Pro dodavatele
B	95–125	1,2	Pro odběratele
C	125–140	1,2	Pro odběratele

Při využití pásma *B* nemůžeme s ohledem na výrobní řady součástek zajistit odstup 10 kHz jednotlivých frekvencí, proto využijeme pásmo *A*. Zde můžeme mezní frekvenci pro příjem a vysílání nastavit na jednom modemu na 57 kHz a pro příjem a vysílání na druhém modemu na 84 kHz. Jednotlivé frekvence pro vysílání a příjem logické „0“ a „1“ pak budou mít mezi sebou rozestup 10 kHz a tím bude dosaženo minimálního ovlivňování jednotlivých signálů.

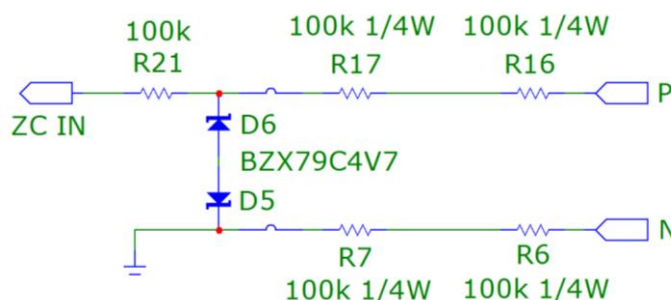
Tab. 1.4: Nastavení frekvencí.

PLC modem 1		PLC modem 2	
Nosná frekv. f_{C1}		Nosná frekv. f_{C2}	
58 kHz		84 kHz	
f_1	f_0	f_1	f_0
53 kHz	63 kHz	79 kHz	89 kHz

1.3.3 Synchronizace

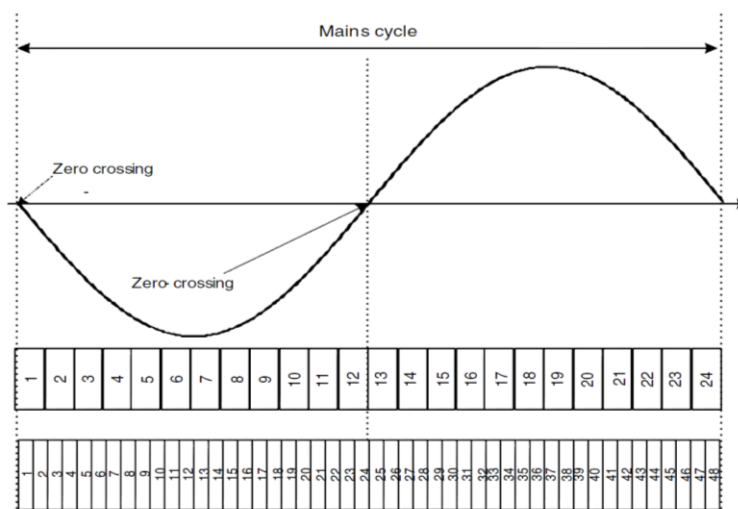
Při provozu musí být ST7570 synchronizován se sinusovým napětím sítě pomocí obvodu, který detekuje průchod signálu nulou. Synchronizace může být provedena pomocí dvou vstupních pinů modemu, ZC_IN_A, nebo ZC_IN_D.

Pro jednoduchost byl použit pin ZC_IN_A (analogový vstup). Obvod na obrázku (Obr. 1.7), je realizován pomocí odporové vazby připojené na P a N vodič. Čtyři sériově spojené odpory, dva pro každý vodič, snižují proud Zenerovými diodami. Ty snižují síťové napětí na $\pm 4,7$ V a udržují stejný sklon napětí jako síťové napětí při průchodu nulou. Tento obvod zavádí zpoždění téměř 30 us mezi síťovou nulou a nulou na vstupním pinu ZC_IN_A [8] [9].



Obr. 1.7: Synchronizační obvod.

S tímto obvodem úzce souvisí časování bitů. To je dynamicky přizpůsobováno tak, aby bylo vždy 24 nebo 48 bitů v každé síťové periodě, v závislosti na konfiguraci. Výsledná přenosová rychlost je tedy závislá na síťové frekvenci viz obrázek (Obr. 1.8) [9]. Pro síťovou frekvenci 50 Hz a pro 24 bitů bude přenosová rychlost 1200 b/s a pro 48 bitů 2400 b/s.

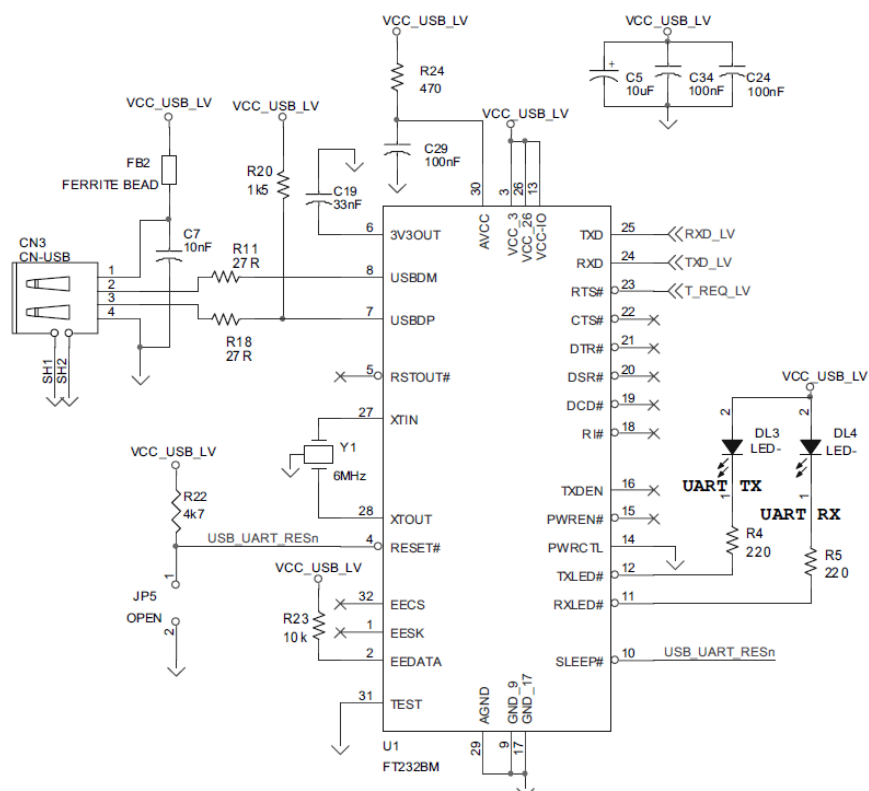


Obr. 1.8: Časování bitů [9].

1.3.4 Převodník UART na USB

Nastavení a komunikace integrovaného obvodu modemu probíhá pomocí USB. Samotný výstup modemu je však přizpůsobený pro připojení UART, proto musí být použit převodník UART na USB, který je v tomto případě řešen pomocí integrovaného obvodu FT232BM. Schéma zapojení převodníku je vidět na obrázku (Obr. 1.9). USB konektor a jeho převodník jsou navíc odděleny od dalších částí modemu digitálním izolátorem HCPL-091J pro lepší ochranu kvůli přepětí. V opakovači je použit jeden převodník, protože přenášené informace nám stačí jen kontrolovat a k danému modemu bude připojen jen tehdy, když bude nastavován.

Nastavování modemu ST7570 se provádí pomocí grafického uživatelského rozhraní (GUI). GUI je softwarový nástroj, umožňující propojení modemu s počítačem. V tomto uživatelském rozhraní můžeme nastavit síťovou frekvenci, přenosovou rychlost, frekvenci pro logickou „1“ a „0“ a spoustu další parametrů jak je uvedeno v příloze [9].



Obr. 1.9: Převodník USB na UART [8].

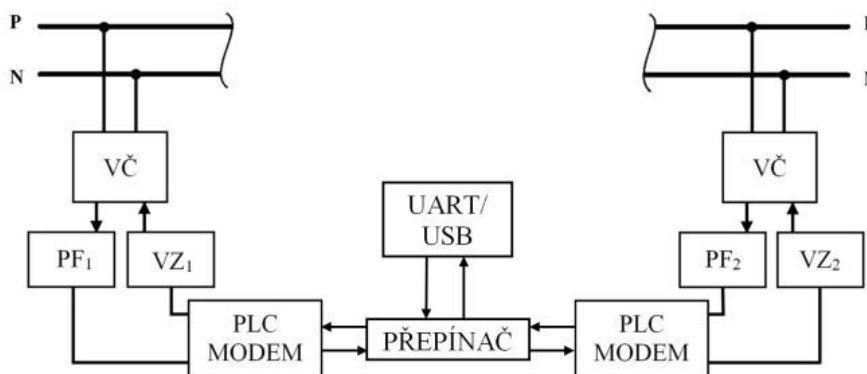
K propojování převodníku a modemů a k propojování modemů mezi sebou, pak postačí jednoduchý přepínač složený z několika jumperů. Pomocí tohoto přepínače připojíme svorky RXD, TXD a T_REQ jednoho z modemů na příslušné svorky převodníku. Po připojení se provede nastavení modemu a následně se svorky rozpojí. Poté už stačí stejným způsobem nastavit druhý modem a po jeho nastavení odpojíme převodník a propojíme příslušné svorky modemů.

2. NÁVRH OPAKOVAČE

V druhé části diplomové práce byl navržen kompletní obvod opakovací sestavený z výše popsaných částí. Byly provedeny výpočty parametrů filtrů, a následně jejich simulace. Filtry jsou citlivé na toleranci součástek. Tolerance jednotlivých součástek byly proto voleny podle doporučení výrobce. Cívka L_1 a L_2 a bezpečnostní kondenzátor Y2 mají toleranci $\pm 10\%$, SMD keramické kondenzátory $\pm 5\%$ a SMD odpory $\pm 1\%$.

2.1. Návrh

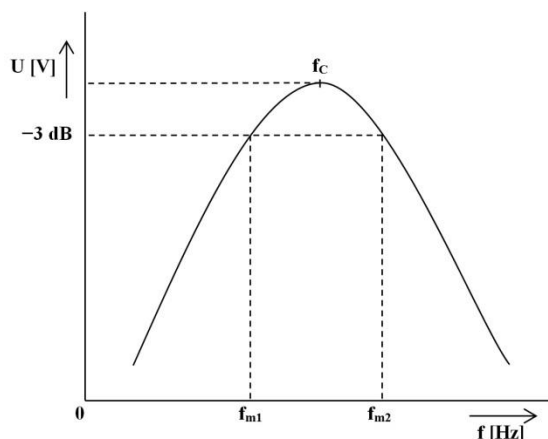
Opakovač byl navržen na základě schémat výrobce modemu. Sestavení opakovací nabízí více možností realizace. Nejjednodušším způsobem je celý modem rozšířit o další integrovaný obvod modemu zapojeným do série viz obrázek (Obr. 2.1), aby každý modem pracoval prakticky samostatně.



Obr. 2.1: Blokové schéma opakovací.

Celý opakovací pracuje tak, že přijatý analogový signál z rozvodné sítě oddělí ve vazebním členu od síťové frekvence a odtud bude veden do přijímacího filtru. Zde jsou pomocí pásmové propusti odděleny redundantní frekvence definované jako šum. Redundantní frekvence jsou všechny, které nespádají do propustného pásma. Mezní kmitočty jsou vymezeny poklesem útlumu o 3dB od nosné frekvence jak je vidět na obrázku (Obr. 2.2). Nosná frekvence je vypočítána dle vztahu:

$$f_c = \frac{(f_{m2} - f_{m1})}{2} + f_{m1} \quad [Hz] \quad (2.1)$$



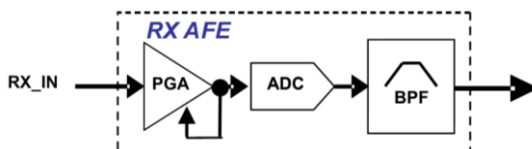
Obr. 2.2: Vymezení propustného pásma.

Z přijímacího filtru je signál veden na vstupní pin RX_IN, což je vstup přijímacího obvodu modemu (Obr. 2.3). Tento obvod má jako svůj první blok uveden obvod pro automatické řízení zisku (PGA). PGA slouží pro úpravu amplitudy napětí vstupního signálu, dle uvedeného kódu ze zpětné vazby viz Tab. 2.1.

Tab. 2.1: PGA zesílení podle zpětné vazby [9].

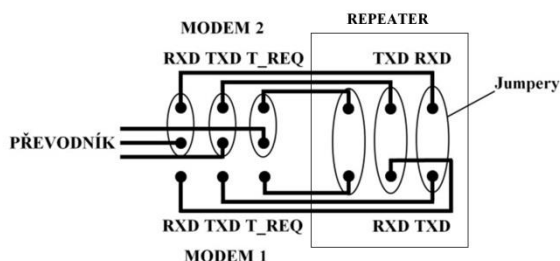
PGA kód zpětné vazby	PGA zesílení [dB]	RX_IN max. rozsah [V p-p]
0	-18	16
1	-12	8
2	-6	4
3	0	2
4	6	1
5	12	0,500
6	18	0,250
7	24	0,125
8	30	0,0625

Po optimalizaci analogového vstupního signálu jsou analogové hodnoty pomocí vzorkování, kvantování a kódování transformovány do digitální podoby. Digitální signál je po zpracování ADC převodníkem odeslán do bloku BPF, který představuje pásmovou propust. Digitální signál je po zpracování dalšími částmi modemu přiveden na výstupní pin TXD, který je zároveň vstupním pinem RXD druhého modemu.



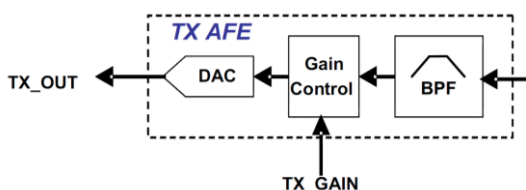
Obr. 2.3: Blokový diagram přijímací části integrovaného obvodu modemu [9].

Mezi těmito piny je umístěn přepínač s převodníkem pro nastavování modemů. Jeho princip je možné vidět na obrázku (Obr. 2.4). Přepínač je složen z jumperů, které jsou podle potřeby propojovány. Kontakty v sekci repeater jsou propojeny jen tehdy, když je opakovač v provozu. Pokud je opakovač v režimu nastavování, jsou kontakty v sekci Repeater rozpojeny a je propojen pouze modem 1, nebo 2 s převodníkem.



Obr. 2.4: Přepínač s jumpery.

Po průchodu digitální informace přepínačem, se tato dostane na digitální vstup RXD. Projde bloky modemu, až se dostane na vstup vysílací části (Obr. 2.5). Na jeho vstupu se nachází pásmová propust BPF. Za pásmovou propustí se nachází blok pro řízení zisku, který umožňuje zmenšit výstupní signál, aby odpovídal požadované úrovni. Amplitudu vysílaného signálu lze nastavit ve 32 krocích s logaritmickým měřítkem prostřednictvím vstupního parametru TX_GAIN. Zavedený útlum má rozmezí od 0 dB až do -31 dB. Poslední částí výstupního obvodu je DAC převodník, ve kterém je digitální signál převeden na analogový. Za DAC převodníkem je už vysílací filtr. Analogový signál pokračuje do první dolní propusti vysílacího filtru, která eliminuje jeho vyšší harmonické frekvence. Za ní je druhá dolní propust s integrovaným operačním zesilovačem PA. Ten signál zesílí a přes vazební člen ho pošle do rozvodné sítě.

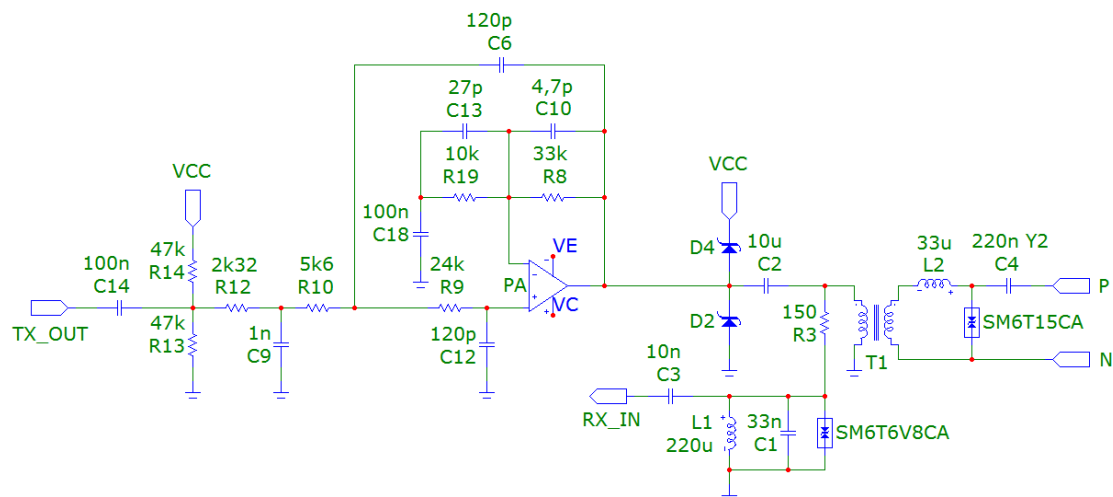


Obr. 2.5: Blokový diagram vysílací části integrovaného obvodu modemu [9].

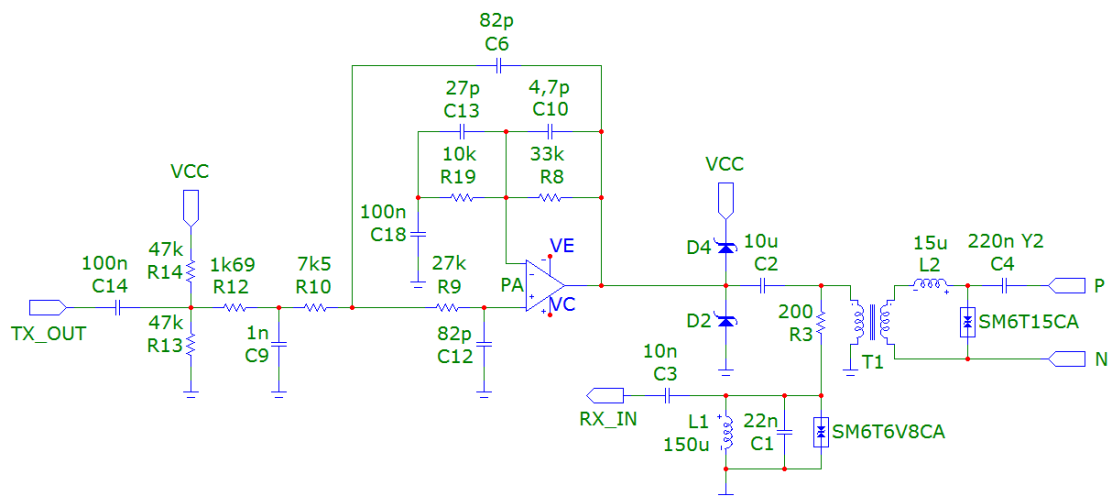
2.2. Výpočty a simulace

Veškeré výpočty byly provedeny pro nosné frekvence $f_{C1} = 58 \text{ kHz}$ a $f_{C2} = 84 \text{ kHz}$. Následně byly jednotlivé filtry odsimulovány v programu Micro-Cap 10.

Na obrázcích (Obr. 2.6 a Obr. 2.7) je propojen přijímací a vysílací filtr s vazebním členem. Celkové schéma zapojení zobrazuje komunikační část opakováče. Jsou v něm uvedeny hodnoty součástek pro výše zvolené nosné frekvence. V textu níže jsou provedeny výpočty jednotlivých částí a jejich simulace.



Obr. 2.6: Celkové schéma filtrů modemu 1 s hodnotami součástek.



Obr. 2.7: Celkové schéma filtrů modemu 2 s hodnotami součástek.

2.2.1 Výpočty pro modem 1

Vazební člen - výpočet nosné frekvence ($L'_2 = L_2 + L_{T1}$).

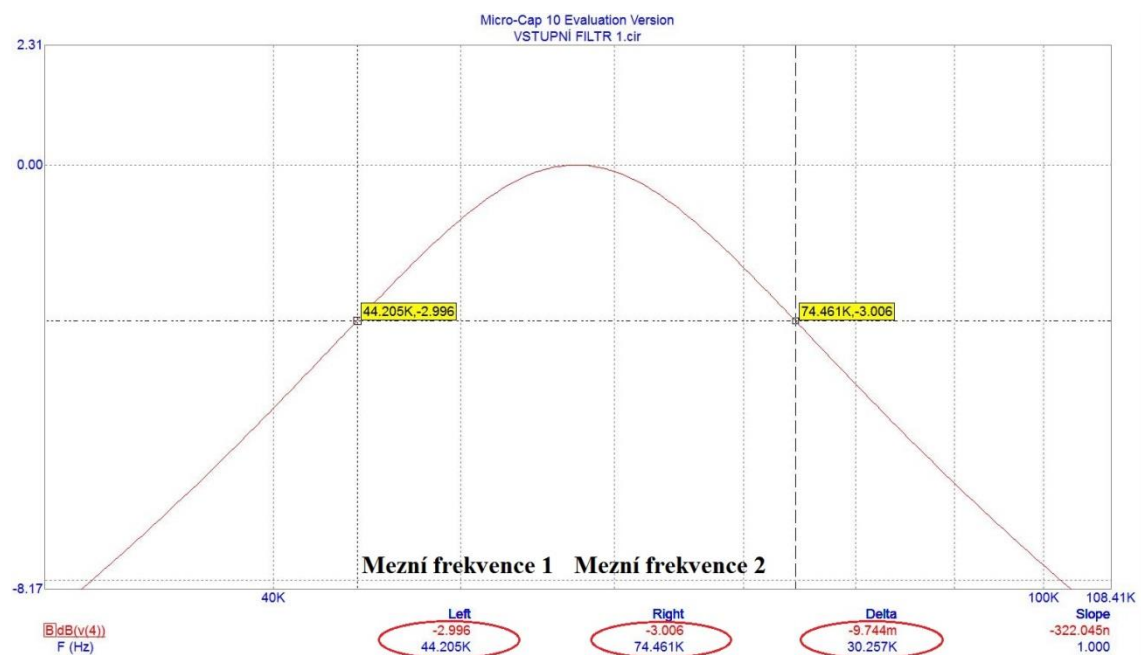
$$f_{c1} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L'_2 C_4}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(33+1)\times 10^{-6} \times 220 \times 10^{-9}}} = 58,2 \text{ kHz}$$

Přijímací filtr - výpočet mezní frekvence ($C'_1 = C_1 + C_{\text{Trans}}$) a simulace pro odpor $R_3 = 150 \Omega$.

$$f_{c1} = \frac{1}{2\pi} \omega_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{R_1 + R_{L1}}{R_1 L_1 C'_1}} \cong \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C'_1}} \quad [\text{Hz}]$$

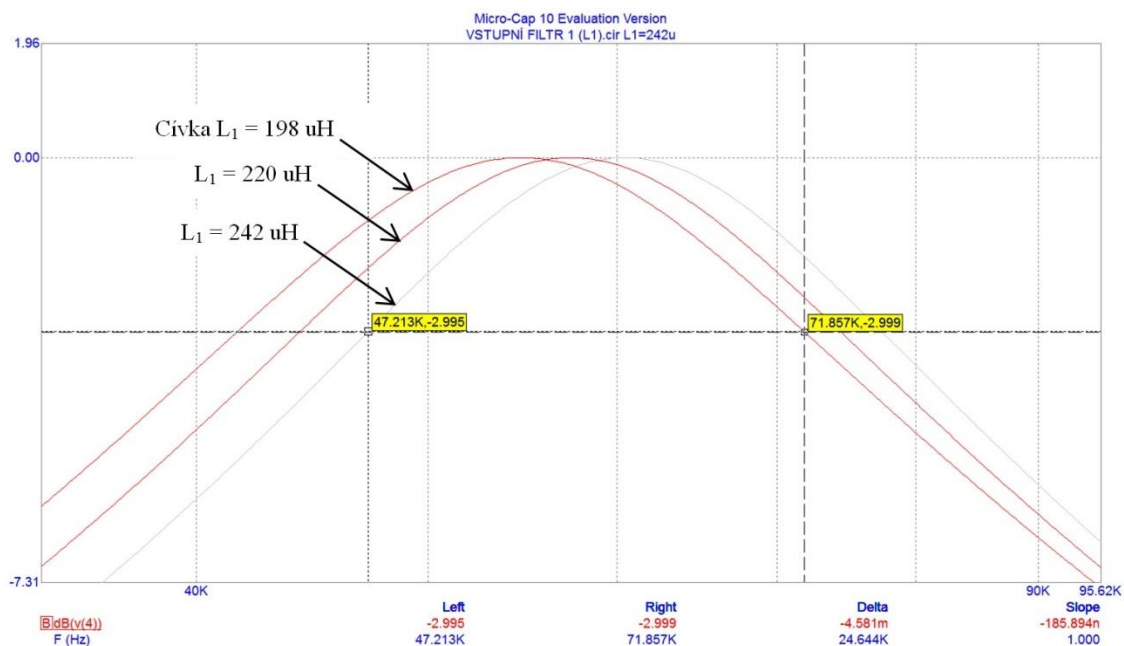
$$f_{c1} \cong \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C'_1}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{220 \times 10^{-6} \times (33+2) \times 10^{-9}}} = 57,4 \text{ kHz}$$

V simulaci na obrázku (Obr. 2.8) jsou znázorněny mezní frekvence f_{m1} a f_{m2} , které vyznačují šířku propustného pásma B při poklesu zisku o 3 dB od nosné frekvence f_{c1} .



Obr. 2.8: Frekvenční charakteristika přijímacího filtru 1 s vyznačenou šířkou pásma B .

Na následujícím obrázku (Obr. 2.9), je znázorněna citlivost frekvenční charakteristiky přijímacího filtru 1 na kolísání indukčnosti cívky $\pm 10\%$. Čím je indukčnost cívky větší, tím je větší nosná frekvence. Ukazatele ukazují mezní frekvence, mezi kterými se musí nacházet frekvence f_1 a f_0 . Není zde ještě znázorněno kolísání kapacity kondenzátoru, což by pásmo mezi mezními frekvencemi ještě více zúžilo.



Obr. 2.9: Frekvenční charakteristiky přijímacího filtru 1 s uvažáním $\pm 10\%$ tolerance cívky.

Vysílací filtr

Výpočet mezní frekvence první dolní propusti.

$$f_{m1} = \frac{1}{2\pi \times R_{12} \times C_9} = \frac{1}{2\pi \times 2320 \times 1 \times 10^{-9}} = 68,6 \text{ kHz}$$

Výpočet zesílení zesilovače PA.

$$A_{PA1} = \left(1 + \frac{R_8}{R_{19}}\right) = \left(1 + \frac{33000}{10000}\right) = 4,3 \Rightarrow 20 \log 4,3 = 12,7 \text{ dB}$$

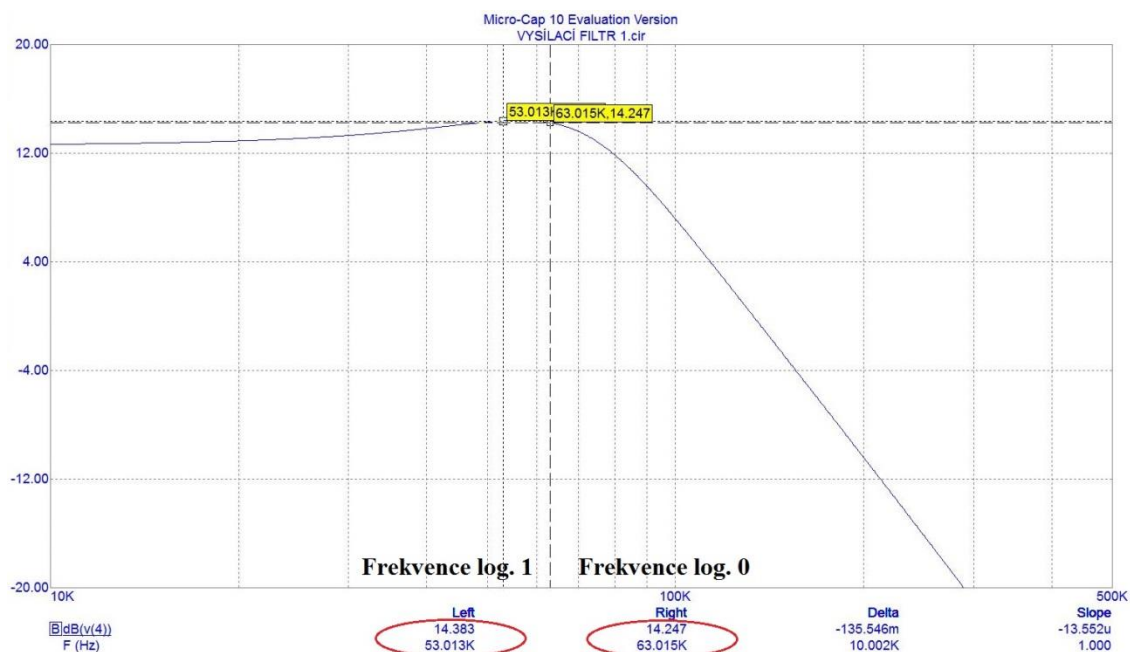
Mezní frekvence druhé dolní propusti s operačním zesilovačem.

$$f_{m1} = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_{10} R_9 C_6 C_{12}}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{5600 \times 24000 \times 120 \times 10^{-12} \times 120 \times 10^{-12}}} = 114,4 \text{ kHz}$$

Činitel jakosti druhé dolní propusti s operačním zesilovačem.

$$Q_1 = \frac{\sqrt{R_{10} R_9 C_6 C_{12}}}{R_{10} C_{12} + R_9 C_6 + R_{10} C_6 (1 - A_{OZ})}$$

$$Q_1 = \frac{\sqrt{5600 \times 24000 \times 120 \times 10^{-12} \times 120 \times 10^{-12}}}{5600 \times 120 \times 10^{-12} + 24000 \times 120 \times 10^{-12} + 5600 \times 120 \times 10^{-12} (1 - 4,3)} = 1,04$$



Obr. 2.10: Přenosová charakteristika výstupního aktivního filtru 1 s vyznačenými f_1 a f_0 .

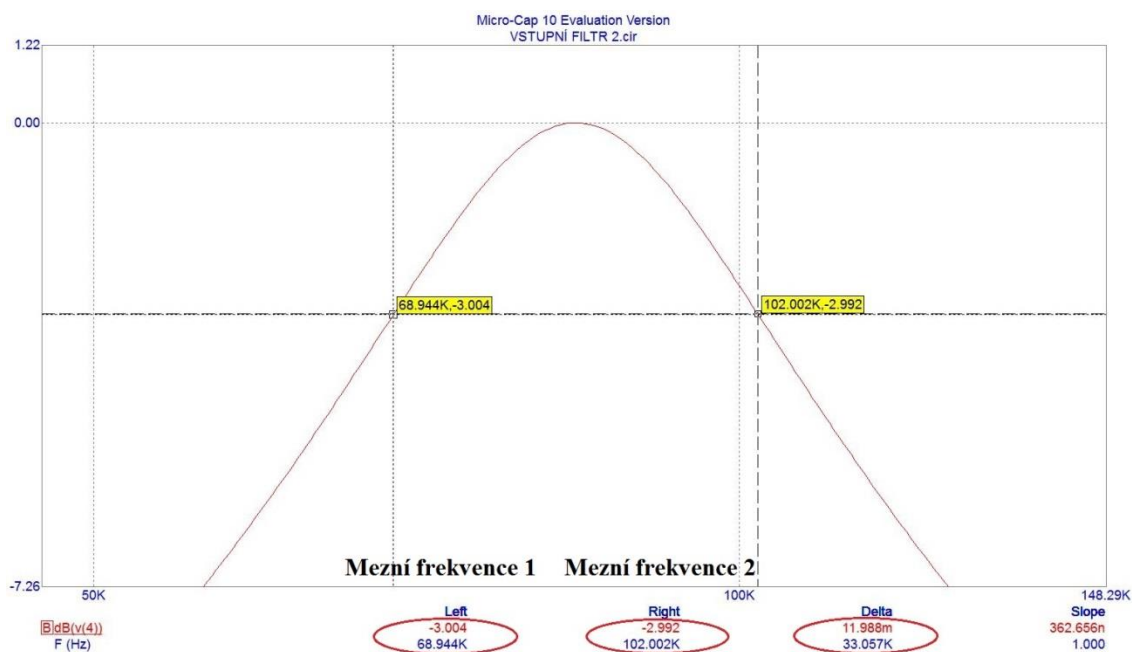
2.2.2 Výpočty pro modem 2

Vazební člen - výpočet nosné frekvence ($L'_2 = L_2 + L_{T1}$).

$$f_{c2} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L'_2 C_4}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(15+1)\times 10^{-6} \times 220 \times 10^{-9}}} = 84,8 \text{ kHz}$$

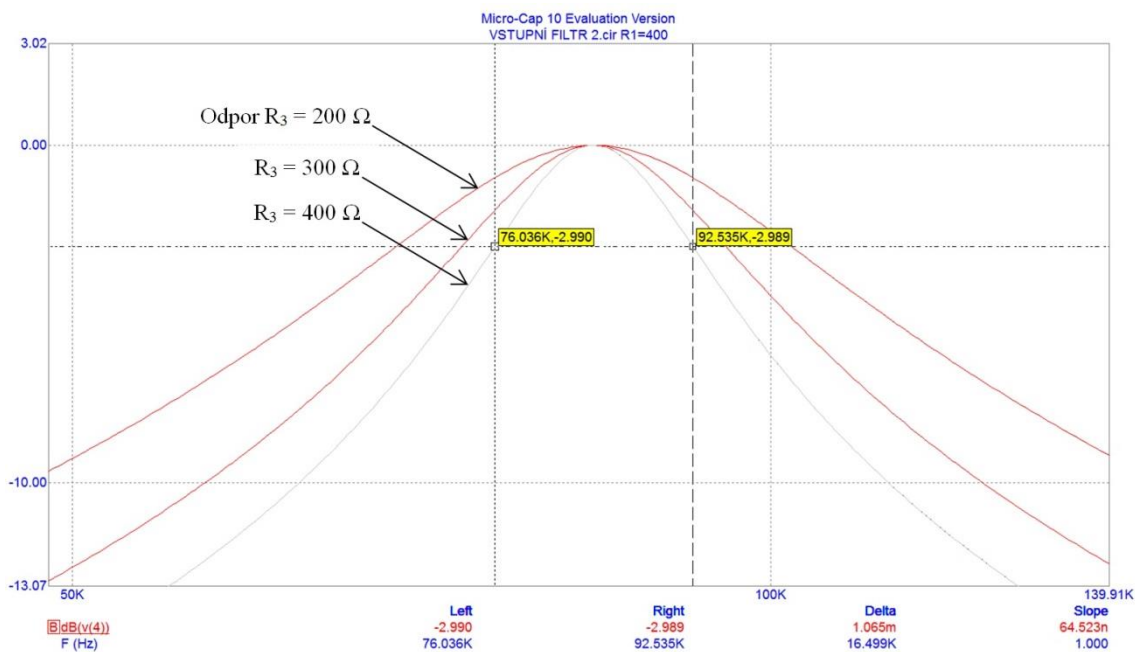
Přijímací filtr - výpočet mezní frekvence ($C'_1 = C_1 + C_{\text{Trans}}$) a simulace pro odpor $R_3 = 200\Omega$.

$$f_{m2} \cong \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C'_1}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{150 \times 10^{-6} \times (22+2) \times 10^{-9}}} = 83,9 \text{ kHz}$$



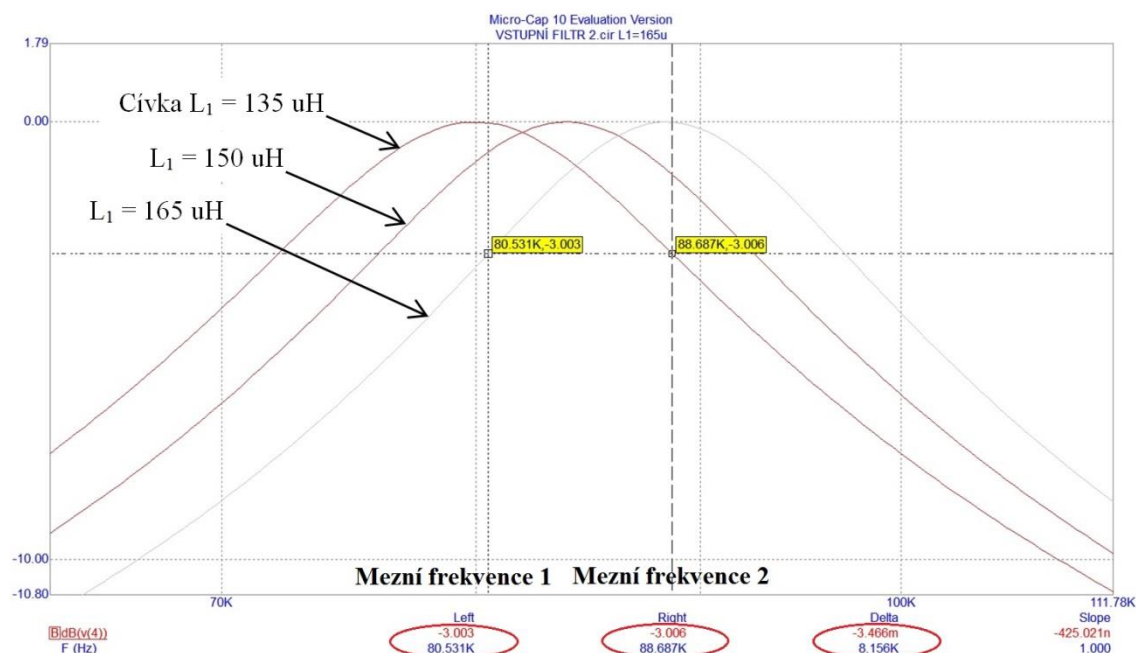
Obr. 2.11: Frekvenční charakteristika přijímacího filtru 2 s vyznačenou šířkou pásma B .

Na obrázku (Obr. 2.12) je znázorněna změna šířky pásma B v závislosti na změně odporu R_1 ($R_1 = 200, 300$ a 400Ω). Při dvojnásobné hodnotě odporu je šířka pásma poloviční.



Obr. 2.12: Změna šířky pásma B v závislosti na odporu R_1 .

Se zvyšující se hodnotou odporu R_3 se zvyšuje selektivita pásmové propusti. Na obrázku (Obr. 2.13) jsou znázorněny frekvenční charakteristiky závislé na kolísání indukčnosti cívky $\pm 10\%$ při hodnotě odporu $R_1 = 400\ \Omega$. Díky vysoké selektivitě dolní propusti a kolísání indukčnosti cívky, je šířka propustného pásma příliš úzká. Frekvence $f_1 = 79\text{ kHz}$ a $f_0 = 89\text{ kHz}$ už leží mimo toto pásmo, kde je pokles útlumu větší než 3 dB .



Obr. 2.13: Frekvenční charakteristiky přijímacího filtru 2 s uvažáním $\pm 10\%$ tolerance cívky a s vysokou selektivitou.

Vysílací filtr

Výpočet mezní frekvence první dolní propusti.

$$f_{m2} = \frac{1}{2\pi \times R_{12} \times C_9} = \frac{1}{2\pi \times 1690 \times 1 \times 10^{-9}} = 94,2\text{ kHz}$$

Výpočet zesílení zesilovače PA.

$$A_{PA2} = \left(1 + \frac{R_8}{R_{19}}\right) = \left(1 + \frac{33000}{10000}\right) = 4,3 \Rightarrow 20 \log 4,3 = 12,7\text{ dB}$$

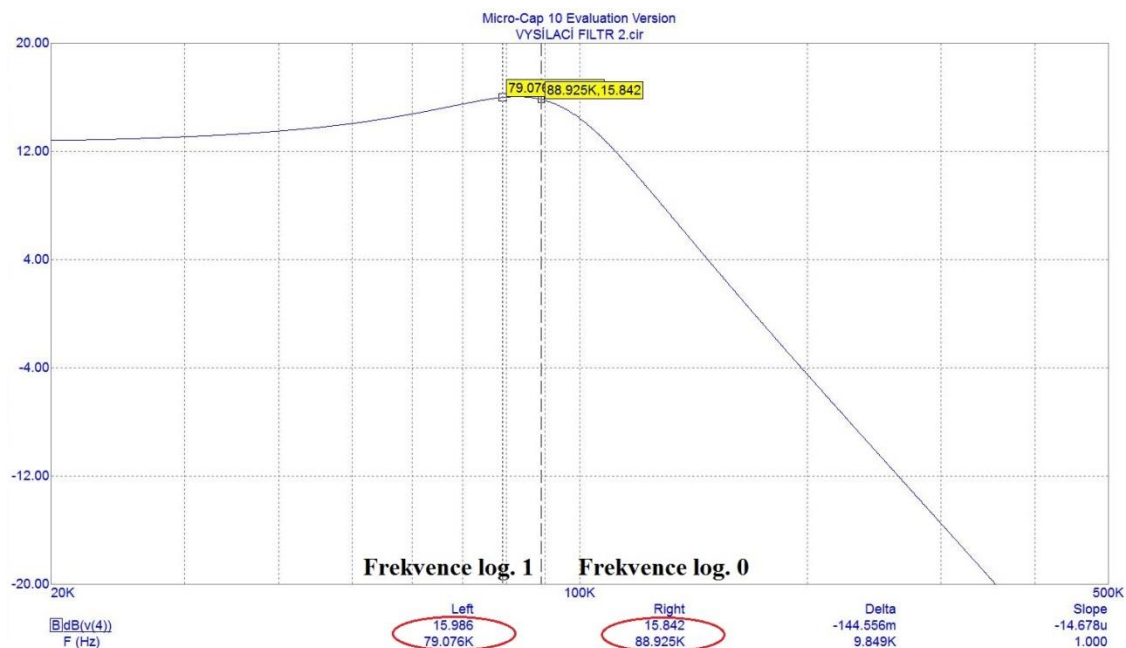
Mezní frekvence druhé dolní propusti s operačním zesilovačem.

$$f_{m2} = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_{10} R_9 C_6 C_{12}}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{7500 \times 27000 \times 82 \times 10^{-12} \times 82 \times 10^{-12}}} = 136,4\text{ kHz}$$

Činitel jakosti druhé dolní propusti s operačním zesilovačem.

$$Q_2 = \frac{\sqrt{R_{10}R_9C_6C_{12}}}{R_{10}C_{12}+R_9C_6+R_{10}C_6(1-A_{0Z})}$$

$$Q_2 = \frac{\sqrt{7500 \times 27000 \times 82 \times 10^{-12} \times 82 \times 10^{12}}}{7500 \times 82 \times 10^{-12} + 27000 \times 82 \times 10^{-12} + 7500 \times 82 \times 10^{-12} (1-4,3)} = 1,46$$



Obr. 2.14: Přenosová charakteristika výstupního aktivního filtru 2 s vyznačenými f_1 a f_0 .

ZÁVĚR

V této diplomové práci byl popsán návrh na sestavení opakováče pro úzkopásmovou komunikaci PLC zařízení (Power Line Communication), které využívají k přenosu informací metalické kabely energetické rozvodné sítě.

K tomuto typu komunikace se používají PLC modemy, které se připojují do standardní zásuvky rozvodné sítě. Zařízení připojená na rozvodnou síť způsobují rušení, následkem čehož dochází ke zkrácení přenosových vzdáleností mezi modemy. Kvůli těmto okolnostem je zapotřebí použít opakováč, který rušený signál přijme, zbaví signál šumu a zesílený ho pošle dál do rozvodné sítě k příjemci.

V teoretické části práce byly popsány jednotlivé prvky modemu, které jsou závislé na zvoleném typu integrovaného obvodu. Jelikož je výrobců celá řada, zapojení jednotlivých prvků se částečně odlišuje, ale princip je u všech stejný. Modem potřebuje vazební člen k připojení na rozvodnou síť, přijímací filtr na filtraci nežádoucích signálů ze sítě, více zmíněný integrovaný obvod na modulaci a demodulaci signálu a vysílací filtr se zesilovačem pro zesílení výstupního signálu. Neméně důležitou částí je rozhraní pro připojení počítače a nastavování modemu. Celý modem pak dále obsahuje podpůrné obvody, které zajišťují jeho standardní provoz.

Aplikovaná část práce se zabývá návrhem opakováče. Návrh opakováče vychází z technické dokumentace zvoleného čipu ST7570 od výrobce STMicroelectronics. Jsou použity dva modemy zapojené do série a každý modem má svůj vazební člen a přijímací a vysílací filtr. Tyto tři části byly navrženy tak, aby každý modem pracoval s jinou nosnou frekvencí. Byly provedeny výpočty hodnot jednotlivých součástek a výsledné zapojení s těmito součástkami simulováno v programu Micro Cap. Výsledkem simulací jsou frekvenční charakteristiky jednotlivých obvodů. V těchto charakteristikách jsou zvýrazněny části, které jsou podstatné pro přenos signálu. Také je v nich znázorněno jak velký vliv na frekvenční charakteristiky má tolerance použitých součástek.

SEZNAM LITERATURY

- [1] Demonstration kit for the ST7570 power line modem with graphical user interface. In: [Http://www.st.com](http://www.st.com) [online]. 2. vyd. STMicroelectronics, © 2011 [cit. 2014-05-12]. Dostupné z: http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/user_manual/CD00286479.pdf
- [2] Differences in X1, X2, Y1 and Y2 Capacitors. KEEN, Dan. *EHow* [online]. Demand Media, © 1999-2014, 17.dubna 2014 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: http://www.ehow.com/info_8649387_differences-x2-y1-y2-capacitors.html
- [3] HRASNICA, Halid, Abdelfatteh HAIDINE a Ralf LEHNERT. *Broadband powerline communications networks: network design*. Chichester: John Wiley & Sons, c2004, xiii, 275 s. ISBN 0-470-85741-2.
- [4] JURAČKA, Jan. *Komplexní zařazení výukového systému TIMS do výuky* [online]. Brno, 2010 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?zp_id=32207. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce doc. Ing. Vladislav Škorpil, CSc.
- [5] KOŠŤÁL, Stanislav. *Selektivní obvody - laboratorní úloha* [online]. Brno, 2011 [cit. 2014-04-05]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/6685>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Tomáš Urbanec, Ph.D.
- [6] KUBÍČEK, Lukáš. *Realizace úzkopásmových PLC modemů* [online]. Brno, 2012 [cit. 2013-11-30]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/9862>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Martin Koutný, Ph.D.
- [7] LEJSKOVÁ, Alena. *Modulátor s rozprostřeným spektrem* [online]. Brno, 2011 [cit. 2014-05-08]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/1471>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce doc. Ing. Roman Maršálek, Ph.D.
- [8] ST7570 S-FSK power line networking system-on-chip design guide for AMR. In: [Http://www.st.com](http://www.st.com) [online]. October 2010 [cit. 2013-11-17]. Dostupné z: http://www.st.com/st-web-ui/static/active/jp/resource/technical/document/application_note/CD00271738.pdf
- [9] ST7570 S-FSK power line networking system-on-chip. In: [Http://www.st.com](http://www.st.com) [online]. 2. vyd. September 2012 [cit. 2013-12-28]. Dostupné z: <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00274120.pdf>

SEZNAM ZKRATEK

DPS - Deska Plošných Spojů

PLC - Power Line Communication

LED - Light Emitting Diode

PA - Power amplifier

FSK - Frequency shift keying

S-FSK - Spread Frequency shift keying

UART - Universal Asynchronous Receiver and Transmitter

USB - Universal Serial Bus

GUI - Graphical User Interface

PGA - Programmable Gain Amplifier

ADC - Analog to Digital Converter

BPF - Band Pass Filter

DAC - Digital to Analog Converter