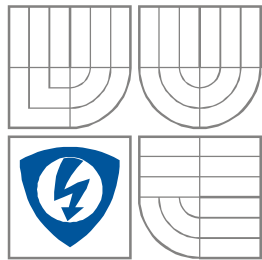


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**  
**ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## **LNA pro radioamatérská pásma**

LNA for radio amateur bands

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

Miroslav Děcký

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

Ing. Aleš Povalač, Ph.D.

BRNO, 2015

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**

Ústav radioelektroniky

**Student:** Miroslav Děcký

**ID:** 164254

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2015/16

**NÁZEV TÉMATU:**

## LNA pro radioamatérská pásma

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Prostudujte problematiku nízkošumových předzesilovačů (LNA) pro radioamatérská pásma 144MHz a 432MHz. Navrhněte základní blokovou koncepci se zesilovačem PGA-103+, ověřte parametry tohoto obvodu na vývojové desce. Vyberte vhodná anténní relé a proveďte měření a vyhodnocení jejich parametrů.

Navrhněte prototypy LNA pro obě pásma včetně vstupních filtrů, anténních přepínačů a sekvenceru. Realizujte vzorky a proveďte jejich měření, zejm. přenosové charakteristiky, bodu zahrazení IP3 a šumového čísla. Otestujte LNA v reálném provozu.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

[1] VÁGNER, P. Vysokofrekvenční technika. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2013.

[2] ROHDE, U. L., NEWKIRK, D. P. RF/Microwave Circuit Design for Wireless Applications. New York: John Wiley & Sons, 2000.

**Termín zadání:** 8.2.2016

**Termín odevzdání:** 26.5.2016

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

**Konzultant bakalářské práce:**

**doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D., předseda oborové rady**

**UPOZORNĚNÍ:**

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

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá návrhem a vřazením nízkošumového předzesilovače – LNA do signálové cesty radioamatérské stanice. Dále se také zabývá měřením, porovnáním a následným výběrem vhodných relé pro VF použití. Pro výsledný systém LNA jsou navrženy pásmové filtry, a také sekvecer pro korektní a bezpečné časování.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Radioamatér, nízkošumový předzesilovač, LNA, vysokofrekvenční relé, izolace portů relé, PGA103+, pásmová propust, sekvecer

## **ABSTRACT**

The thesis deals with a draft and inclusion of a low noise preamplifier – LNA in a signal route of a radioamateur stage. It also deals with measuring, comparing and subsequently choosing suitable relays for HF application. For the resulting LNA system are designed bandpass filters and also sequencer for correct and safe timing.

## **KEYWORDS**

Radio amateur, low noise amplifier, LNA, radio frequency relay, isolation between relay ports, PGA103+, bandpass filter, squencer.

DĚCKÝ, M. *LNA pro radioamatérská pásma*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2016. 37 s., 4 s. příloh Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Aleš Povalač, Ph.D.

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma LNA pro radioamatérská pásma jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících 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

Rád bych poděkoval Ing. Aleši Povalačovi, Ph.D. za rady při vypracovávání bakalářské práce. Dále Petru Kašpárkovi, OK2ULQ, za zapůjčení vzorků VF koaxiálních relé a konzultace ohledně praktických zkušeností s LNA v radioamatérském provozu. Rovněž také Robertu Kučerovi, OK2UWQ za praktické konzultace a rady s použitím zesilovače PGA103+.

Experimentální část této bakalářské práce byla realizována na výzkumné infrastruktuře  
vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0072  
**Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX)**  
operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

# OBSAH

<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>1 Nízkošumové VF zesilovače</b>	<b>2</b>
1.1 Důvody použití LNA v radioamatérském provozu.....	2
1.2 Umístění LNA v RX řetězci .....	2
1.2.1 Vstupní citlivost přijímače a šumový faktor .....	2
1.2.2 Friisův vztah .....	3
1.2.3 Výpočet umístění LNA .....	3
<b>2 Monolitický zesilovač PGA103+</b>	<b>4</b>
2.1 Změřené charakteristiky vývojového prototypu .....	5
2.1.1 Zisk LNA se zesilovačem PGA103+ .....	5
2.1.2 Bod zahrazení IP3 .....	6
2.2 Převodní charakteristika zesilovače – bod $P_{1dB}$ .....	7
2.3 Měření šumového čísla .....	9
<b>3 Vstupní pásmové propusti</b>	<b>10</b>
3.1 Modelování rezonančního filtru.....	10
3.2 Pásmová propust pro pásmo 144MHz .....	11
3.2.1 Konstrukce krabičky .....	11
3.2.2 Parametry pásmové propusti.....	12
3.3 Pásmová propust 432MHz.....	13
<b>4 Vřazení LNA do řetězce</b>	<b>15</b>
4.1 Bloková schémata možností vřazení LNA do řetězce .....	15
4.1.1 Zapojení A a B .....	16
4.1.2 Zapojení C a D – oddělné vedení RX/TX.....	16
4.1.3 Zapojení E – oddělené vedení RX/TX.....	16
<b>5 Výběr vhodného relé</b>	<b>17</b>
5.1 Obecný výběr:.....	17
5.2 Typy relé .....	17
5.2.1 Koaxiální relé s jedním přepínacím kontaktem .....	17
5.2.2 Transfer relé .....	18

5.2.3	Běžná relé .....	19
5.3	Srovnání relé .....	20
5.3.1	Vstupní přizpůsobení relé .....	20
5.3.2	Průchozí útlum relé .....	22
5.3.3	Izolace mezi porty relé.....	23
5.4	Zhodnocení měření relé .....	25
5.4.1	Možnost použití běžných relé pro implementaci LNA.....	25
<b>6</b>	<b>Řízení signálové cesty</b> .....	<b>27</b>
6.1	Časovací sekvence .....	27
6.1.1	Určení času zpoždění relé .....	28
6.2	Vřazení sekvenceru do radioamatérského vysílače .....	28
6.3	Konstrukce sekvenceru .....	29
6.3.1	Blokování koncového stupně TRX.....	30
6.3.2	Testování TX cesty .....	30
6.3.3	Injektáž DC napětí do signálové cesty.....	31
6.4	SW sekvenceru .....	32
6.4.1	Ošetření zákmitů tlačítek .....	32
6.4.2	Úpravy SW uživatelem.....	32
6.4.3	Měřené průběhy řídicích signálů .....	33
<b>7</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>34</b>
	<b>Literatura</b> .....	<b>35</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b> .....	<b>37</b>
<b>A</b>	<b>Návrh zařízení</b> .....	<b>38</b>
A.1	Obvodové zapojení LNA s PGA103+ .....	38
A.2	Deska plošného spoje LNA .....	38
A.3	Osazovací plán LNA.....	38
A.4	Obvodové zapojení sekvenceru .....	39
A.5	Deska plošných spojů sekvenceru .....	39
A.6	Osazovací plán sekvenceru .....	40
A.7	Rozměry pásmové propusti pro 144 MHz [7] .....	41



# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schéma zapojení LNA [4] .....	5
Obr. 2 LNA PGA103+ .....	5
Obr. 3 Přenosová charakteristika PGA103+ .....	6
Obr. 4 Bod zahrazení $IP_3$ 144MHz .....	7
Obr. 5 Bod zahrazení $IP_3$ 432MHz .....	7
Obr. 6 Převodní charakteristika 144 MHz .....	8
Obr. 7 Převodní charakteristika 432 MHz .....	8
Obr. 8 Šumové číslo LNA s PGA103+ .....	9
Obr. 9 Návrh dvouobvodového filtru Helical filtru [5] .....	10
Obr. 10 Pásmová propust 144 MHz .....	11
Obr. 11 Pásmová propust 144 MHz v pásmu 140-150 MHz .....	12
Obr. 12 přenosová charakteristika filtru TOKO A042-920J + přizpůsobení $S_{11}$ .....	13
Obr. 13 Přenosová charakteristika filtru TOKO A042-920J .....	13
Obr. 14 Přenosová charakteristika A042-920J 100MHz-600MHz .....	14
Obr. 15 Blokové schéma zapojení LNA do řetězce [9] .....	15
Obr. 16 Ukázka přepínacích koaxiálních relé [12][13] .....	18
Obr. 17 Schéma transfer relé. ....	18
Obr. 18 Transfer relé H100-WT1903-400[15][16] .....	19
Obr. 19 Zapojení měřeného relé .....	19
Obr. 20 Schéma zapojení testovaných relé .....	20
Obr. 21 $S_{11}$ 144 MHz .....	21
Obr. 22 $S_{11}$ 432 MHz .....	21
Obr. 23 Průchozí útlum 144 MHz .....	22
Obr. 24 Průchozí útlum 432 MHz .....	22
Obr. 25 Izolace mezi vstupním a neaktivním výstupním portem 144 MHz .....	23
Obr. 26 Izolace mezi vstupním a neaktivním výstupním portem 432 MHz .....	24
Obr. 27 Izolace mezi výstupními branami relé 144 MHz .....	24
Obr. 28 Izolace mezi výstupními branami relé 432 MHz .....	25
Obr. 29. Časování klíčování .....	27
Obr. 30 Schéma sekvenceru .....	29
Obr. 31. Měnič napětí ILC7660 .....	30

Obr. 32. Zapojení optočlenu CNY17.....	31
Obr. 33 Injektážní člen.....	31
Obr. 34 Vývojový diagram ošetření zákmitů tlačítek.....	32
Obr. 35. Spínání sekvenceru v časovém módu.....	33
Obr. 36. Spínání sekvenceru při testování DC průchodnosti cesty .....	33

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Výběr vlastností z katalogového listu PGA103+ [3].....	4
Tab. 2 Katalogové hodnoty bodu zahrazení IP3[3] .....	6
Tab. 3 Porovnání parametrů relé CX-600N [14] .....	18
Tab. 4 Měření běžných přepínacích SPDT relé .....	26

# ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a implementací předzesilovačů - LNA pro radioamatérská pásma.

V první části je popsán důvod použití nízkošumových zesilovačů v radioamatérském provozu a důvod, proč jsou LNA umístěvaná na stožáry k anténním systémům. Pro návrh byl zadán monolitický nízkošumový zesilovač PGA103+, který se vyznačuje dobrým zesílením, vysokou hodnotou IP3, je širokopásmový, čímž je výhodný pro použití na více radioamatérských pásmech a má také příznivou cenu.

Druhá část práce se zabývá ověřováním vlastností vyrobených vzorků LNA osazených monolitickým zesilovačem PGA103+.

Třetí část práce popisuje výběr a výrobu pásmových propustí pro radioamatérská 144MHz a 432MHz.

Čtvrtá část popisuje implementaci nízkošumového předzesilovače a jeho součástí do již stávajícího anténního systému radioamatérské stanice, jsou zde rozebrána možná bloková zapojení LNA do signálové cesty. Definiuje požadavky na přepínací relé a jeho umístění v signálové cestě.

V páté části je popsán výběr vhodného relé pro zajištění připojení LNA do signálové cesty. Je zde prezentováno měření jak ověřených VF koaxiálních relé, tak měření běžných SPDT relé.

Šestá část se věnuje časování přechodu RX/TX, zabývá se ochranou LNA a kontaktů relé. Výsledkem je realizace tzv. sekvenceru, který umožňuje jednoduché implementování bloku LNA do stávajícího uspořádání radioamatérské stanice

# 1 NÍZKOŠUMOVÉ VF ZESILOVAČE

## 1.1 Důvody použití LNA v radioamatérském provozu

V radioamatérské praxi se na rozdíl od profesionálních bezdrátových pojiček bod – bod, kde je alespoň teoretická šance odhadu intenzity přijímaného signálu, setkáváme s velkou škálou intenzit přijímaných signálů. Při závodech jsou to na straně jedné signály blízkých stanic s výstupními výkony v řádu kW a velmi vzdálené, tudíž velmi slabé signály, např. při provozu EME – tedy spojení provozovaném odrazem od povrchu Měsíce na straně druhé.

Pokud signál přijímaný anténou je pod hranicí citlivosti přijímače, je nutné jej zesílit. Ovšem slabý signál má také velice malý poměr užitečného signálu k šumu, z tohoto vyplývá, že je naprosto žádoucí, aby zesilovač pro tento slabý signál přidal pouze minimum svého vlastního šumu.

## 1.2 Umístění LNA v RX řetězci

Jedna ze základních otázek okolo vložení bloku LNA do signálové cesty je ta, kam je nejvýhodnější tento blok umístit. Připadá v úvahu umístění jak u antény, tak u přijímače pod stožárem.

### 1.2.1 Vstupní citlivost přijímače a šumový faktor

Jedním z nejzásadnějších parametrů je citlivost přijímače, tedy jeho schopnost zpracovávat signály o velmi malé intenzitě. Tento parametr (stejně jako řadu dalších) ovlivňuje existence šumu v signálu.

Každý prvek signálové cesty do signálu přidává šum, ať už se jedná o prvky pasivní nebo aktivní. Pro lepší představu se jakýkoliv segment signálové cesty nahradí dvojbranem, kterému jsou přisouzeny stejné vlastnosti, jako měla původní cesta. Pokud lze tento dvojbran pokládat za lineární, je prospěšné zavést šumový činitel  $F$ .

Většina takovýchto dvojbranů je složena jak z aktivních, tak z pasivních prvků, každý z těchto prvků je zdrojem termálního nebo jiného šumu. Následkem toho bude na výstupu dvojbranu šum  $i$  v případě, kdy se na vstup žádný signál nepřivádí. Po přivedení reálného signálu z generátoru na vstup dvojbranu bude na výstupu kromě užitečného signálu také součet zesíleného šumu vstupního a šumu vlastního dvojbranu. Šumový činitel je poté definovaný vztahem (1.1) [1]

$$F = \frac{\frac{P_{Si}}{P_{Ni}}}{\frac{P_{So}}{P_{No}}} \text{ nebo } F_{dB} = 10 \log F \quad (1.1)$$

Tento vztah udává, kolikrát se zhorší poměr signál/šum za lineárním dvojbranem oproti vstupní hodnotě, ovšem za podmínky výkonového přizpůsobení. Po přepočtení do [dB] se z něj stává  $NF$  - šumové číslo. Toto šumové číslo je nejčastěji uváděný parametr

rádiových zařízení. Je možné odvodit, že šumový faktor pasivních prvků  $F$  se rovná převrácené hodnotě jejich výkonového zesílení. Šumové číslo  $NF$  v [dB] vyjadřuje jejich útlum  $L$  v [dB], což je záporná hodnota jejich zisku  $-G_{dB}$  v [dB]

$$F = A_p^{-1}, NF = -G_{dB} = L \quad (1.2)$$

## 1.2.2 Friisův vztah

V praxi se musí jednotlivé dvojbrany zapojovat do série (z antény je kabel připojen do LNA, z něj do TRX). Každý dvojbran v této sérii má svůj zisk (respektive útlum), a také svůj šumový faktor  $F$ , respektive šumové číslo  $NF$ . K výpočtu výsledného šumového faktoru série dvojbranů se používá Friisův vztah [1]:

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{A_{p1}} + \frac{F_3 - 1}{A_{p1}A_{p2}} + \dots \quad (1.3)$$

Z Friisova vztahu vyplývá, kam je z hlediska šumových poměrů výhodnější umístit LNA.

## 1.2.3 Výpočet umístění LNA

Na hypotetickém příkladu je demonstrováno, zda-li je výhodnější umístit LNA na stožár v blízkosti antény, nebo postačí jeho umístění do blízkosti vysílače pod anténním stožárem (tedy za delším koaxiálním kabelem).

Je dán zdroj signálu, koaxiální kabel s celkovým útlumem  $L = 3$  dB, zesilovač se ziskem  $G = 10$  dB, šumovým číslem  $NF = 1$  dB [2]. Tento příklad je možné zapojit dvěma způsoby:

**A.** Zapojení: zdroj  $\rightarrow$  kabel  $\rightarrow$  zesilovač  $\rightarrow$  RX

$$F_A = F_1 + \frac{F_2 - 1}{A_{p1}} = \frac{1}{L} + \frac{NF - 1}{L} = \frac{1}{0,5} + \frac{1,259 - 1}{0,5} = 2,518 = 4,01 \text{ dB} \quad (1.3)$$

**B.** Zapojení: zdroj  $\rightarrow$  zesilovač  $\rightarrow$  kabel  $\rightarrow$  RX

$$F_B = F_1 + \frac{F_2 - 1}{A_{p1}} = NF + \frac{1 - 1}{G} = 1,259 + \frac{1 - 1}{10} = 1,259 = 2,66 \text{ dB} \quad (1.4)$$

Z výše popsaného příkladu jasně vyplývá, že je výhodné dát zesilovač co nejbližší ke zdroji signálu. V našem případě k anténě.

## 2 MONOLITICKÝ ZESILOVAČ PGA103+

V zadání byl vybrán monolitický nízkošumový zesilovač PGA103+ od firmy Mini-Circuits. Důvody zvolení monolitického zesilovače PGA103+ jsou ryze praktické.

Zesilovač PGA103+ má oproti diskretnímu návrhu výhodu v integrovaném provedení, které se vyznačuje jednoduchým návrhem zapojení. Odpadají problémy s komplikovaným návrhem DPS a nastavováním pracovních bodů i zajišťováním stability. Pro jeho základní zapojení stačí pouze napájecí filtr do výstupního obvodu, který oddělí napájecí obvody od VF cesty signálu. Jelikož se jedná o širokopásmový zesilovač (viz Tab. 1), bude po osazení patřičnými vstupními filtry vyhovovat jak pro použití na 144 MHz, tak na 432 MHz a případně i v pásmu 1296 MHz.

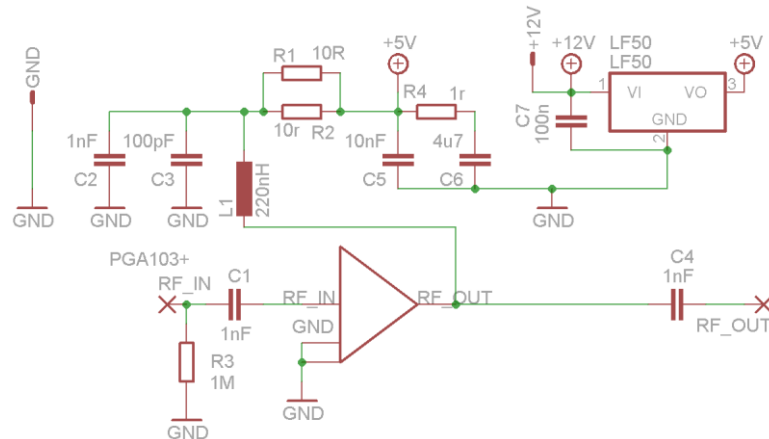
Další nespornou výhodou monolitického LNA je vyřešená stabilita, výborné šumové číslo v kombinaci s velkým dynamickým rozsahem a snadná opakovatelnost výroby celého LNA.

Tab. 1 Výběr vlastností z katalogového listu PGA103+ [3]

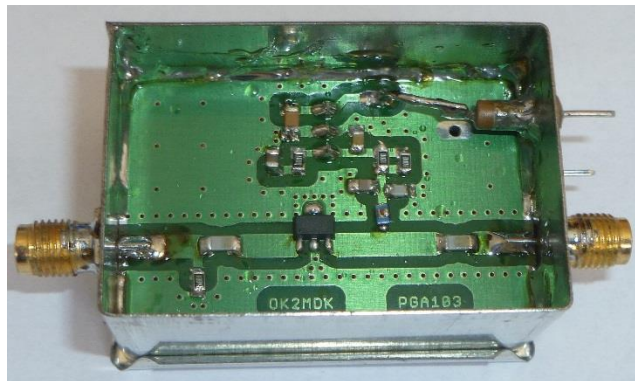
Vlastnost	Frekvence [MHz]	$V_{DD} = 5V$ TYP.
Frekvenční rozsah	50-4000	
Zisk	50	26,5 dB
	400	22,1 dB
	1000	16,2 dB
Šumové číslo	50	0,5 dB
	400	0,5 dB
	1000	0,6 dB
<b>Obvyklé charakteristiky:</b>		
Proudový odběr:	100 mA	
$U_{cc}$	5 V	
<b>Absolutně maximální rozsahy</b>		
Teplotní rozsah	-40 °C až 85 °C	
Proudový odběr	200 mA	
Vstupní odolnost	+21 dBm (50 - 2000 MHz)	
	+26 dBm (2000 - 4000 MHz)	

## 2.1 Změřené charakteristiky vývojového prototypu

V bakalářské práci byl navržen testovací prototyp samotného LNA. Schéma zapojení ověřovacího prototypu je na obr. 1. Jedná se o katalogové zapojení doplněné o napájecí obvody [4]. Prototyp se při ověřování osvědčil a bylo vyrobeno 6 ks DPS pro LNA v profesionální výrobě plošných spojů s prokovením. Celé výsledné LNA je umístěno v plechové krabici AH100 a opatřeno konektory SMA jak je možné vidět na obrázku 2.



Obr. 1 Schéma zapojení LNA [4]

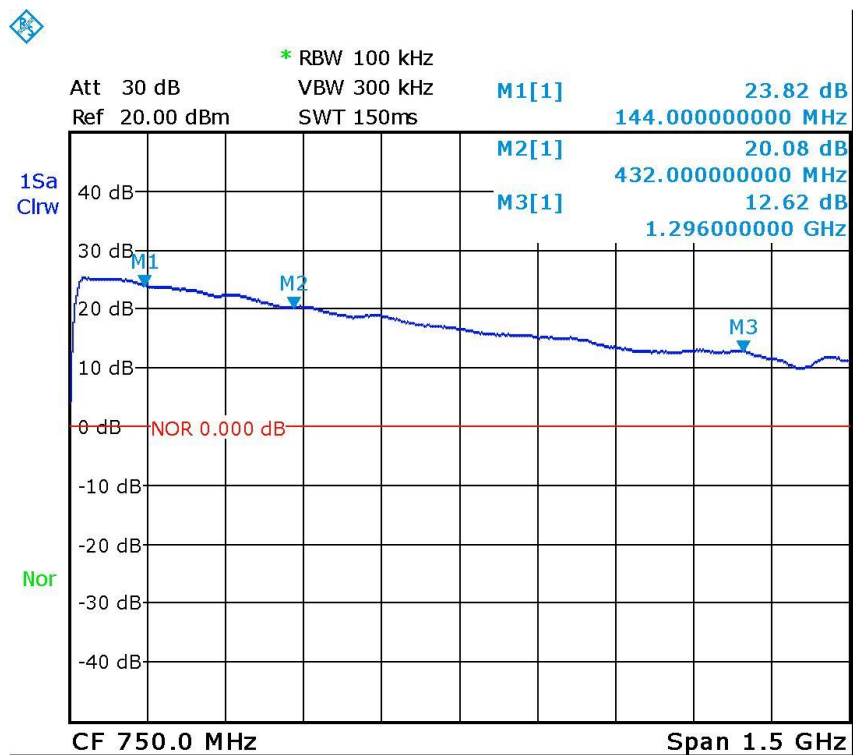


Obr. 2 LNA PGA103+

### 2.1.1 Zisk LNA se zesilovačem PGA103+

Testované LNA bylo měřeno pomocí vektorového obvodového analyzátoru ZVL3. V zadání práce se jedná o LNA pro radioamatérská pásma 144 MHz a 432 MHz, jelikož vektorový analyzátor umožňuje měřit až do 3 GHz bylo provedeno měření zisku i v pásmu 1296 MHz.

Měřené frekvence jsou mimo rastr uvedené v katalogovém listu [3], nicméně naměřená zesílení jsou v blízkosti udávaných hodnot.



Date: 1.DEC.2015 10:39:43

Obr. 3 Přenosová charakteristika PGA103+

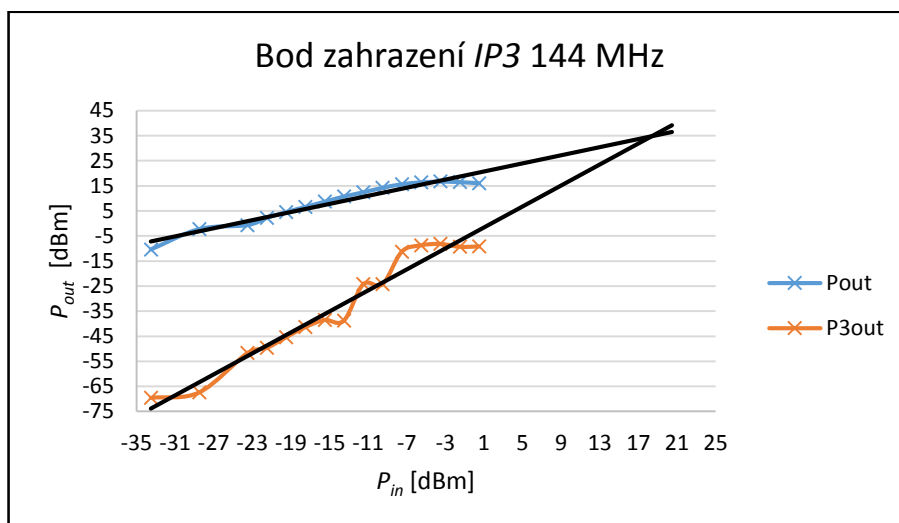
## 2.1.2 Bod zahrazení IP3

Důležitým parametrem zesilovače je potlačení intermodulačních produktů třetího řádu. Při měření LNA byla provedena také dvoutónová zkouška pro ověření velikosti bodu zahrazení IP3. Výsledky měření prezentují grafy na obr. 4 a obr. 5.  $OIP3_{144} = 36$  dBm,  $OIP3_{432} = 34$  dBm.

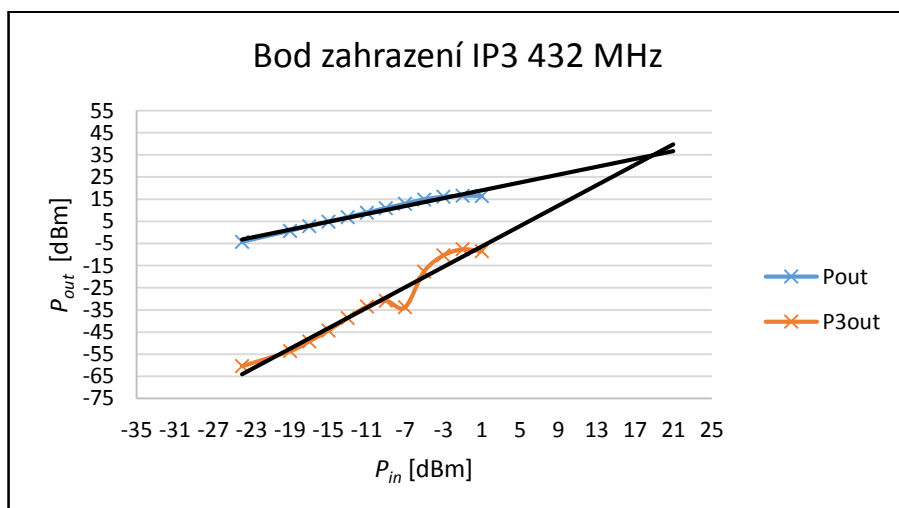
Tab. 2 Katalogové hodnoty bodu zahrazení IP3[3]

$F$ [MHz]	$IP3$ [dBm]
50	36,7
400	39,0
1000	41,9





Obr. 4 Bod zahrazení  $IP_3$  144MHz

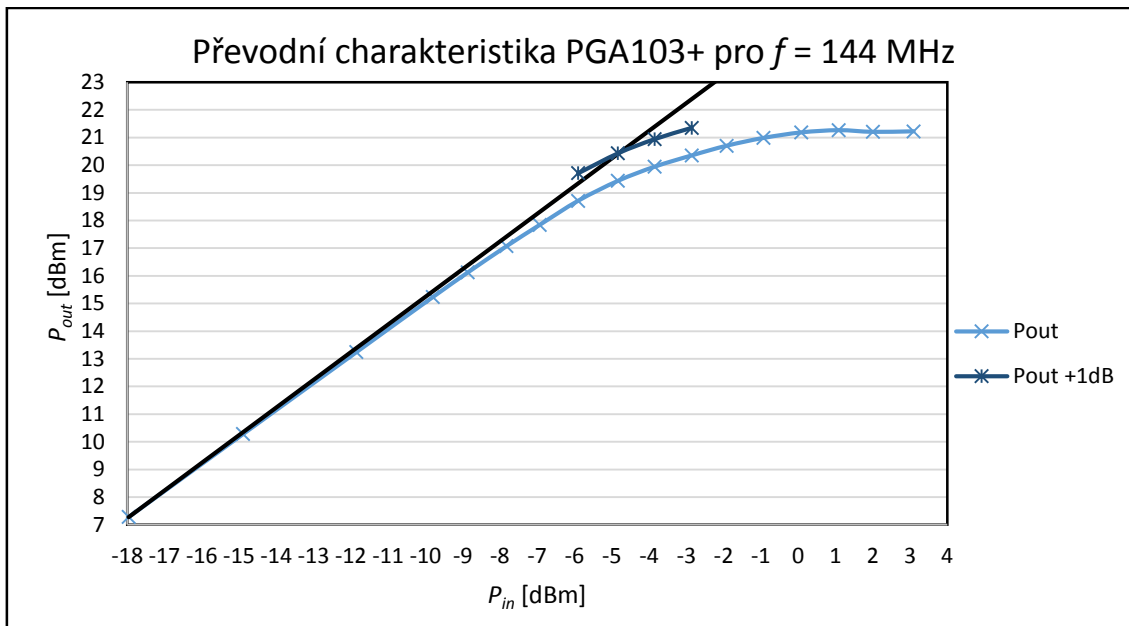


Obr. 5 Bod zahrazení  $IP_3$  432MHz

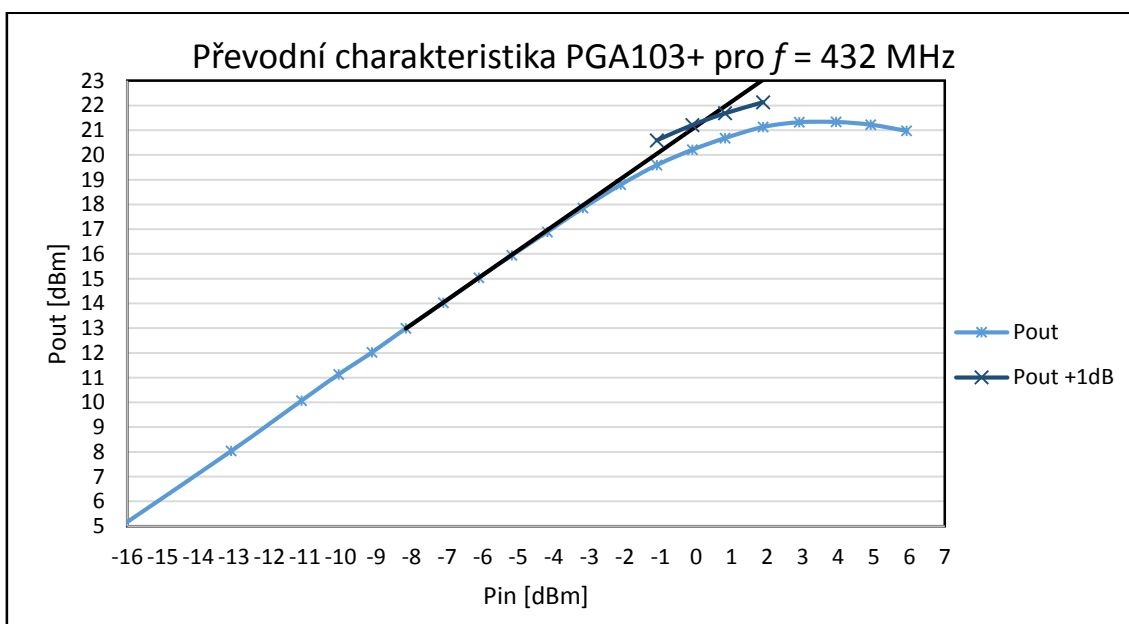
## 2.2 Převodní charakteristika zesilovače – bod $P_{1dB}$

Bod  $P_{1dB}$  značí místo, kde se přenosová funkce odchýlí o 1 dB od lineárního průběhu (naznačen černou přímkou). Tmavě modrá křivka vyjadřuje hodnotu  $P_{out} + 1$  dB. Umožňuje určit bod  $P_{1dB}$ .

Z grafů níže je možné vyčíst  $P_{1dB144}=19,5$  dBm a  $P_{1dB432} = 20,2$  dBm.



Obr. 6 Převodní charakteristika 144 MHz



Obr. 7 Převodní charakteristika 432 MHz

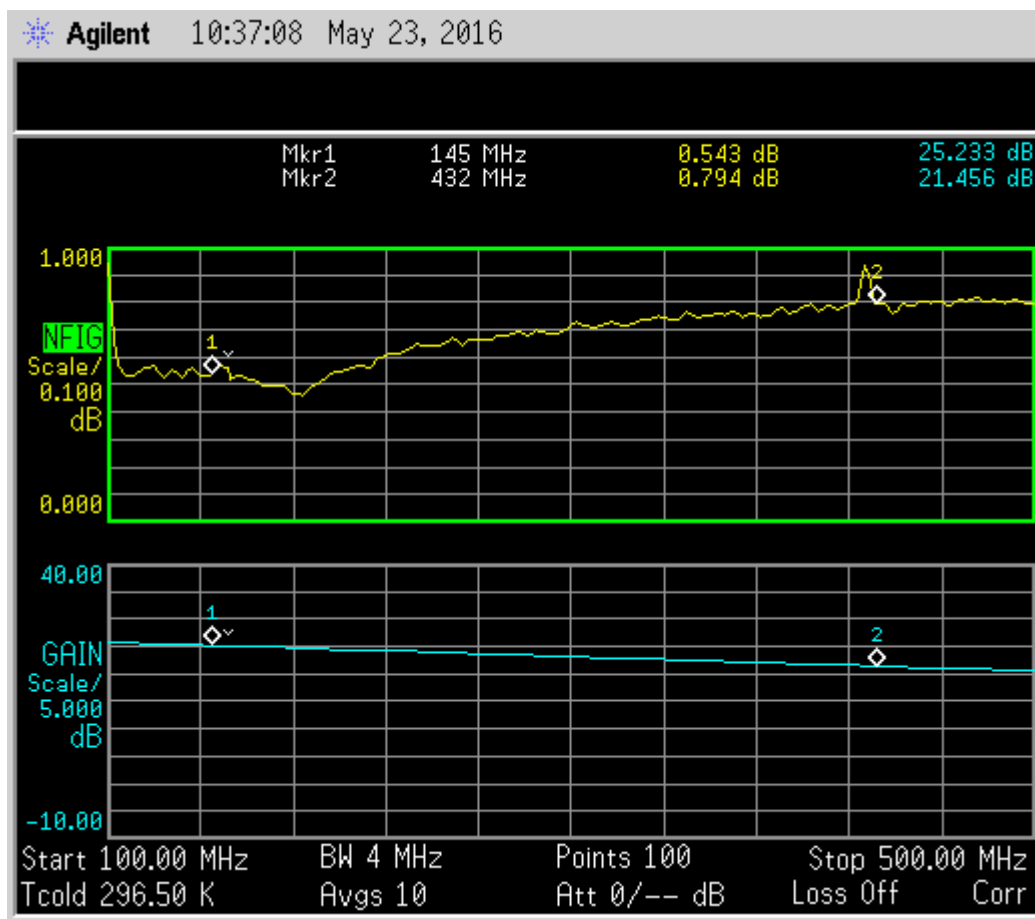
## 2.3 Měření šumového čísla

U výsledného LNA bylo ověřováno jeho šumové číslo. Šumové číslo bylo měřeno na analyzátoru šumového čísla Agilent N8975A.

Výsledky měření zobrazuje obrázek 8. V katalogovém listu zesilovače PGA103+[3] je uvedeno šumové číslo v pásmu do 400 MHz 0,5 dB. Měření testovaného LNA vykazuje hodnoty mírně vyšší, což může být způsobeno chybou měření. Lokální minima a maxima pravděpodobně způsobuje návrh plošného spoje. Obrázek 8 zobrazuje také průběh zesílení v pásmu 100 MHz až 500 MHz.

Naměřené hodnoty:

- 144 MHz:
  - Šumové číslo: 0,54 dB
  - Zesílení: 25,23dB
- 432 MHz
  - Šumové číslo: 0,79 dB
  - Zesílení: 21,46dB



Obr. 8 Šumové číslo LNA s PGA103+

### 3 VSTUPNÍ PÁSMOVÉ PROPUSTI

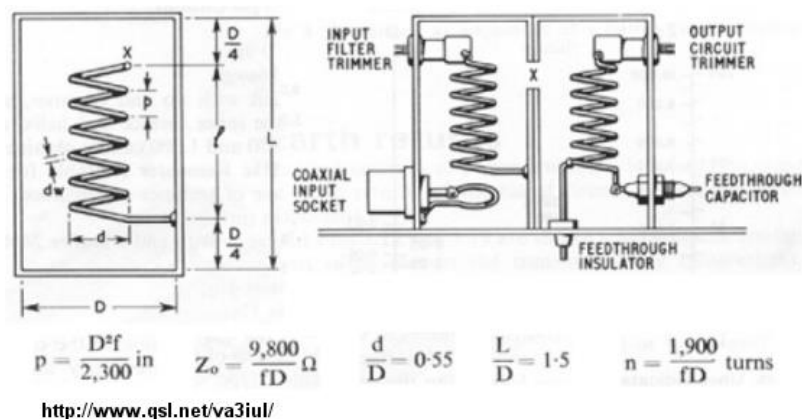
Jak je patrné z katalogového listu zesilovače PGA103+[3], jedná se o zesilovač širokopásmový, což dokládá i průběh zisku měřeného LNA. Blok LNA je určen pro závodní provoz na radioamatérských pásmech 144 MHz a 432 MHz, zisk zesilovače mimo tato pásma je v závodním provozu nežádoucí. Problémem jsou jak profesionální služby v okolí těchto pásem, tak skutečnost, že obě pásma jsou v závodním provozu provozována současně, a v nevelké vzdálenosti anténních systémů. Z důvodu předejití zahlcení vstupních obvodu TRX je nutné vybavit LNA pásmovými propustmi pro každé z pásem.

Klíčovými parametry byl průchozí útlum filtru a jeho přizpůsobení k zátěži 50 Ω. Jako vhodné pásmové propusti byly zvoleny filtry typu Helical.

#### 3.1 Modelování rezonančního filtru

Pro návrh filtru je k dispozici teorie pro výpočet správných rozměrů filtru. Potřebné vzorce jsou zobrazeny na obr. 9. Jako doladovací kapacity se dle následujících obrázků používají doladovací šrouby nebo VF kondenzátory. Pro filtry byly zvoleny laditelné kondenzátory Johanson MAV03F14 1 - 14 pF, jejich nevýhodou je špatná dostupnost.

Na obrázku 9 je vidět dvoukomorové zapojení filtru, které bylo zvoleno pro pásmovou propust na 144MHz.



Obr. 9 Návrh dvouobvodvého filtru Helical filtru [5]

Do vzorců na obrázku 9 se dosazují rozměry v cm, frekvence v MHz, impedance v Ω.

Filtr je možné navrhnout ručně, nebo použít některý z volně dostupných simulačních programů, které jsou dostupné na webu online, či volně stažitelné. Pro simulaci filtru byl použit simulační program „Helical“. Tento je volně ke stažení z adresy [6]. Výhodou programu je výpočet místa odbočky pro vstupní konektor.

## 3.2 Pásmová propust pro pásmo 144MHz

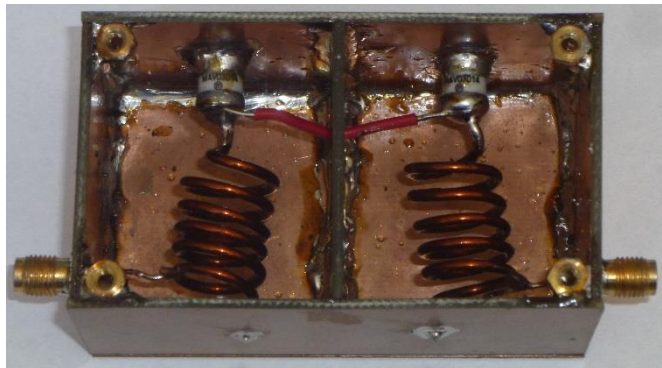
Pásmová propust pro 144MHz byla namodelována v programu Helical. Při průzkumu jaké filtry používají ostatní radioamatéři na poli závodním, byla nalezena konstrukce pásmové propusti od Martina OK1UGA a také Geerta PA3CSG.

Martin OK1UGA zveřejnil na svých webovch stránkách [7] konstrukci pásmové propusti pro pásmo 144 MHz. Martinem prezentované rozměry se lišily od teoreticky namodelované propusti, ovšem jím prezentovaná měření byla přesvědčivá.

Podstaný rozdíl byl ve způsobu vazby, Martin používal vazební plíšek mezi komorami, zatímco program Helical počítá s vazební štěrbinou. Pro vývoj je systém s vazebními plíšky příznivější na výrobu, jelikož je možné jednoduše měnit velikost vazby mezi obvody.

### 3.2.1 Konstrukce krabičky

Vývojový prototyp filtru pro 144MHz je umístěn do krabičky vyrobené z oboustranného kuprextitu tloušťky 1,5 mm. Rozměry krabičky jsou převzaty od Martina OK1UGA [7], celý výkres krabičky je umístěn v příloze této práce, a také dostupný z Martinova webu [7].



Obr. 10 Pásmová propust 144 MHz

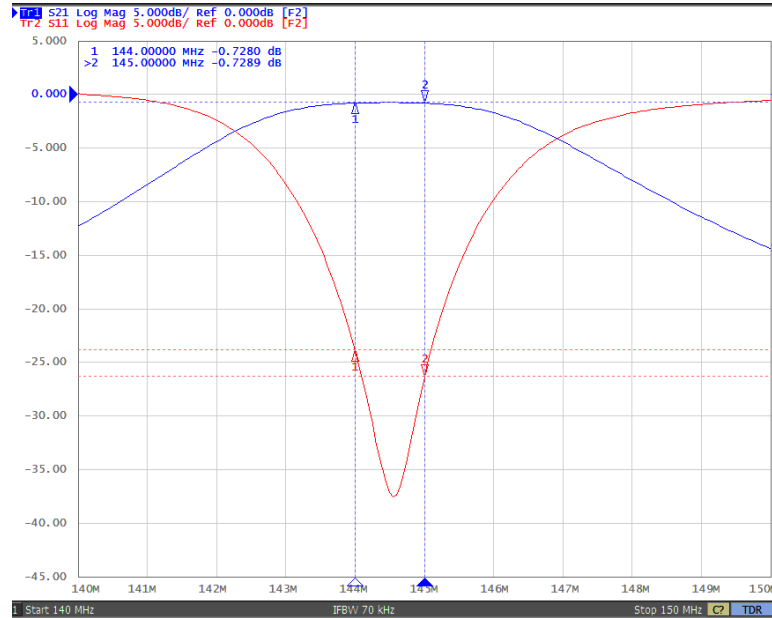
Při realizaci filtru byl upraven vazební člen mezi rezonančními komorami. Inspirací byla konstrukce Greeta PA3CSG[8], oproti konstrukci Martina OK1UGA používá jako vazební člen izolovaný vodič, který je jedním koncem připojen na laditelný kapacitor vstupní propusti, druhým koncem je možné nastavovat vazbu mezi obvody. Viz obr. 10. Výhodou tohoto řešení je relativně snadná opakovatelnost a jednoduchost konstrukce. Krabička má příznivé rozměry pro ruční práci.

### 3.2.2 Parametry pásmové propusti

Výsledná pásmová propust má velice příznivé parametry.

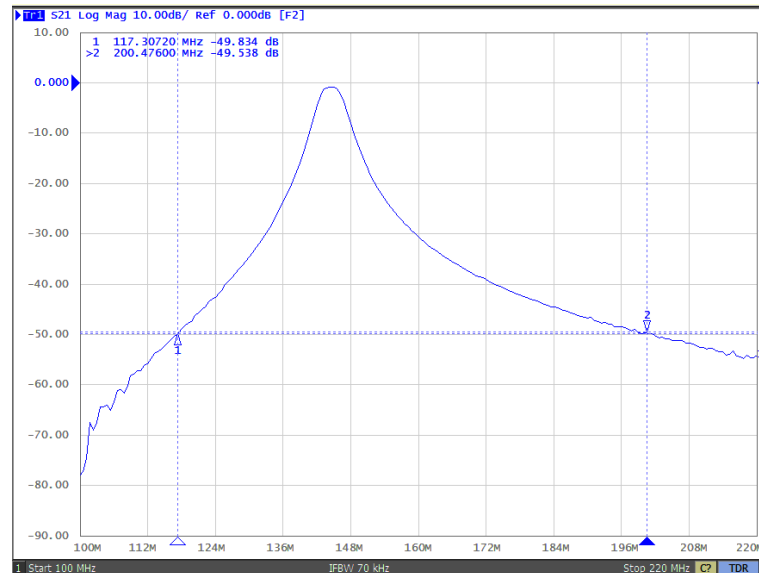
Průchozí útlum v pásmu 144 MHz – 145 MHz <0,8 dB

Přizpůsobení S11 v pásmu 144 MHz – 145 MHz lepší než -23 dB



Obr. 11 Pásmová propust 144 MHz v pásmu 140-150 MHz

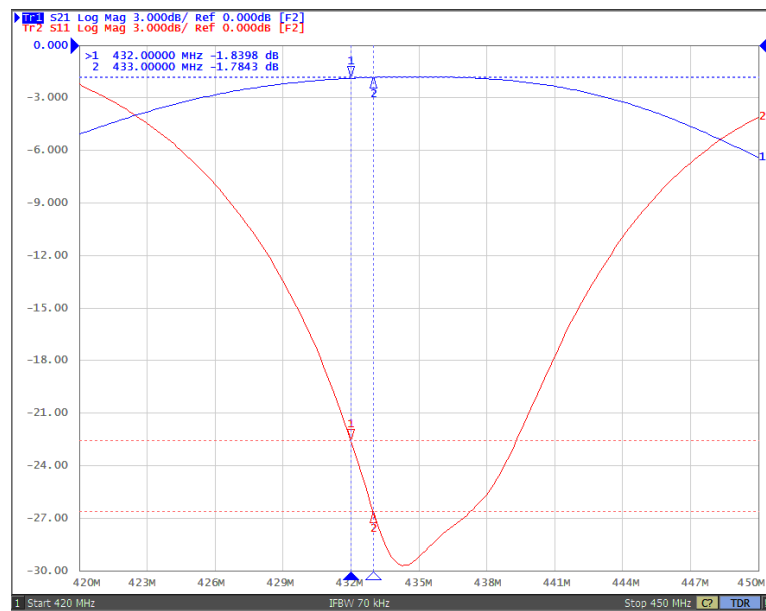
Na obrázku 11 je měření přenosu filtru pro šířku pásma 20MHz. Na obrázku 12 je změřená šířka pásma filtru pro útlum -50dB.



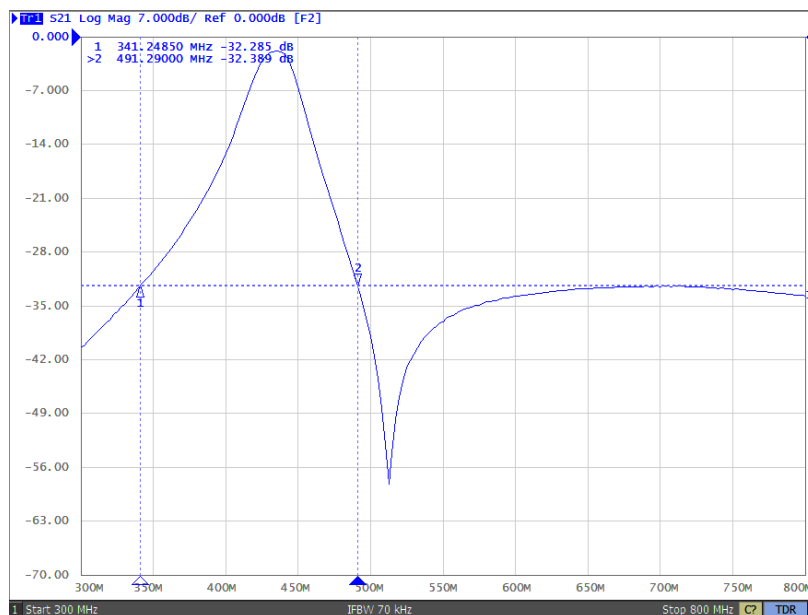
### 3.3 Pásmová propust 432MHz

Pro pásmo 432MHz byl zakoupen filtr od firmy TOKO A042-920J. Jedná se o dvouobvodový helical filtr. Je v provedení pro povrchovou montáž. Filtr je dostatečně malý na to, aby mohl být přímou součástí DPS s LNA. Ovšem pro zachování modulárnosti navrhovaného systému byl umístěn do plechové krabičky AH100 a opatřen konektory SMA.

Obr. 12 zobrazuje, průběh přenosové charakteristiky filtru TOKO A042-920J. Je patrné, že oproti propusti na 144 MHz má výrazně větší šířku pásma, menší strmost a větší útlum v propustném směru.



Obr. 12 přenosová charakteristika filtru TOKO A042-920J + přizpůsobení S11

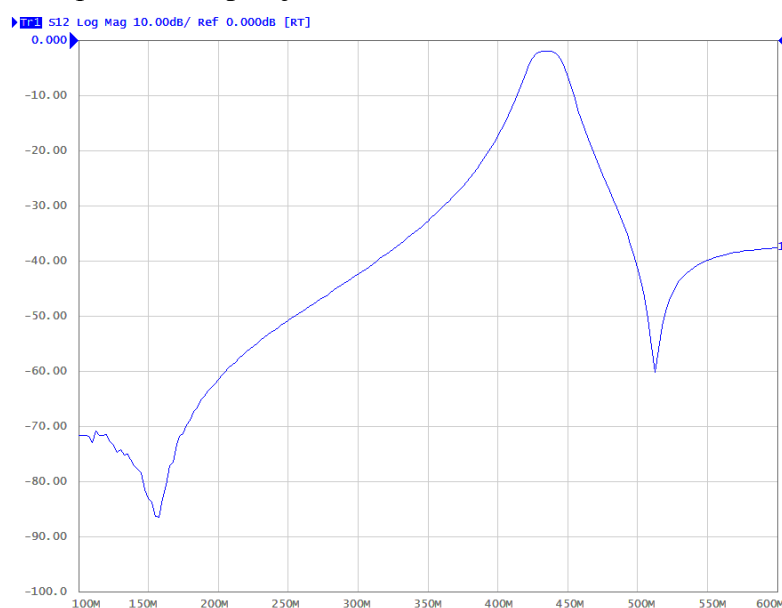


Obr. 13 Přenosová charakteristika filtru TOKO A042-920J

Po ověření vlastností miniaturního filtru byl pokusně nasimulován filtr v programu helical také pro toto pásmo. Problémem se ukázaly být rozměry filtru a nutný průřez vodiče cívky filtru.

Pro autorovi dostupný vodič vyšla krabička malých rozměrů. Výsledný filtr vykazoval příliš velký útlum v propustném směru (cca 5 dB) a také přizpůsobení nebylo uspokojivé.

Pro použití v LNA pro pásmo 432MHz byl nakonec vybrán dvouobvodový filtr TOKO A042-920J, jeho průchozí útlum není ideální, ovšem primárním úkolem pásmových propustí v uvažovaném využití pro radioamatérské závody je vzájemně oddělit pracoviště pro 144MHz a 432MHz. Jak je patrné z širokopásmové přenosové charakteristiky na obrázku 14, filtr se svým útlumem větším než 60 dB v pásmu pod 200 MHz tuto podmínku splňuje.



Obr. 14 Přenosová chrakteristika A042-920J 100 MHz – 600 MHz

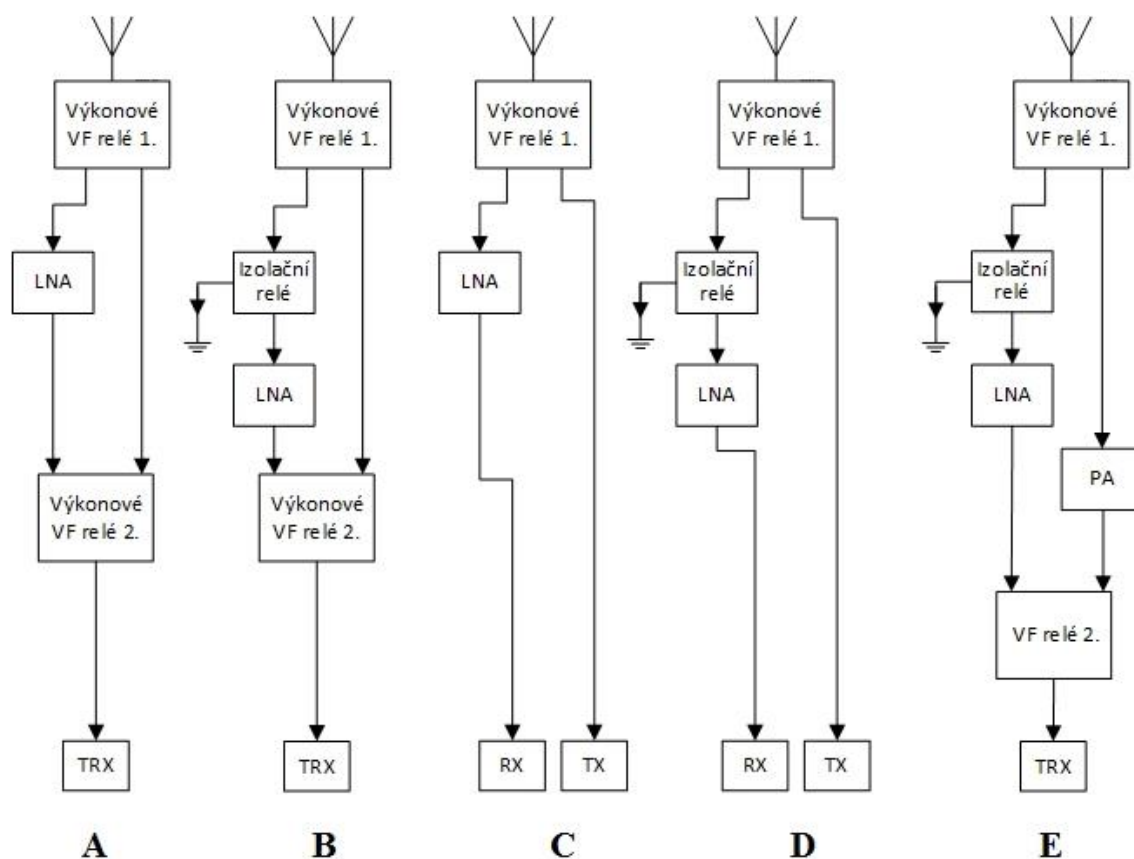


## 4 VŘAZENÍ LNA DO ŘETĚZCE

V radioamatérském provozu se obvykle využívá jeden anténní systém jak pro vysílání, tak pro příjem VF signálů, z tohoto důvodu je nutné se vypořádat s výkonovým rozdílem řádově 150 dB. Z důvodů popsaných výše je nutné minimalizovat délku kabelu od antény ke vstupu LNA, tohoto je docíleno vřazením celého bloku LNA těsně k anténě.

### 4.1 Bloková schémata možností vřazení LNA do řetězce

Jakými způsoby lze vložit LNA do signálové cesty, zobrazuje obr. 15. Jednotlivé způsoby jsou popsány dále v textu.



Obr. 15 Blokové schéma zapojení LNA do řetězce [9]

Je nutné si při návrhu předem rozmyslet, která varianta zapojení bude v řešení použita. Každé řešení přináší výhody a problémy, jejich podrobný popis je uveden dále.

### **4.1.1 Zapojení A a B**

Tato varianta je nejjednodušší pro implementaci do stávajícího systému TRX – koaxiální kabel – anténa. U této konfigurace jsou kladeny vysoké výkonové nároky na obě relé. Musí snést výkonové zatížení z VF vysílače a mít tedy malý průchozí útlum, ale zároveň mít dobrou izolaci neaktivního portu, aby nedošlo ke zničení citlivého vstupu LNA.

V případě, že přeslech do neaktivního portu relé č. 1 nebo 2 je příliš velký, hrozí zničení LNA. Je nutné použít další prvek, který zkratuje vstup LNA a tím zvýší izolaci nad minimálně přípustnou mez. Zapojení s ochranným relé je vyobrazeno na obr. 15, blokové schéma B.

### **4.1.2 Zapojení C a D – oddělné vedení RX/TX**

Pokud zařízení umožňuje vyvést odděleně koaxiální kabel pro RX a TX cestu, získáváme možnost využití zapojení C a D, tím odpadá nutnost užití relé č. 2.

Varianta D obsahuje ještě relé zkratující LNA, které plní ochrannou funkci přidáním dodatečného izolačního útlumu.

### **4.1.3 Zapojení E – oddělené vedení RX/TX**

Varianta E je kombinací předchozích možností. Signál z antény je rozdělen na dvě větve, jednu pro RX a jednu pro TX. Tyto dvě větve se ovšem znovu spojují až za výkonovými zesilovači.

Tato varianta neklade tak vysoké nároky na relé č. 2, které je díky zařazení těsně za transvertor, případně TRX, vystaveno pouze VF výkonu pro buzení výkonových zesilovačů, které jsou umístěny až za relé č.2. Díky tomuto opatření můžeme použít nízkovýkonové relé č.2 a na plný VF výkon dimenzovat pouze relé č.1.

## 5 VÝBĚR VHODNÉHO RELÉ

Pro praktické využití navrhovaného LNA v radioklubu při VUT v Brně OK2KOJ a OK2KZB byly zvoleny varianty zapojení A, respektive B z obr. 15.

### 5.1 Obecný výběr:

Výkonové relé č. 1 je nutné dimenzovat na uvažovaný přenášený výkon, který bude použit pro vysílání signál. Pro radioamatérské VKV závody se uvažují dvě výkonové kategorie, a to:

- **LowPower:** - Kategorie LP je definována jako výstupní výkon vysílače do 100W.
- **HighPower:** - Kategorie HighPower je omezena pouze povolovacími podmínkami na příslušném pásmu. Povolovací podmínky v pásmu 144 MHz a 432 MHz umožňují použít zesilovače o výstupním výkonu do 3 kW [10].

Tento výkon může dodávat buď jeden zesilovač, nebo více koncových stupňů, poté nesmí jejich součet překročit maximální meze jednotlivých kategorií.

V praxi se nejčastěji používá více anténních systémů do různých směrů, které mají jak své výkonové zesilovače, tak LNA. V tomto návrhu jsou uvažovány přenášené výkony max. 200 - 500 W v pásmech 144 MHz a 432 MHz.

Důležitým parametrem vybraného relé je útlum mezi aktivním a neaktivním portem. Tento útlum společně s odolností vstupu LNA definuje maximální použitelný VF výkon při použití konkrétního relé.

### 5.2 Typy relé

V radioamatérské praxi jsou nejčastěji používána koaxiální relé dvou typů, a to koaxiální relé s jedním přepínacím kontaktem a tzv. „transfer“ relé. Transfer relé má dva přepínací kontakty. Oba typy musí mít velice dobrou izolaci mezi porty a vysokou výkonovou zatížitelnost.

#### 5.2.1 Koaxiální relé s jedním přepínacím kontaktem

Jedná se o koaxiální relé s jedním přepínacím kontaktem s konektory dle požadavku zákazníka, nejčastěji N/SMA/SO259 (viz obr. 16). Tato relé se vyrábějí až do výkonů v řádu jednotek kW.

V radioamatérské praxi se používají jak relé nová, např. CX-600 od firmy TohTsu v ceně cca 2990 Kč (u firmy GES jaro 2016 [11]), ovšem jedná se o levné relé a jeho parametry odpovídají ceně. Viz tab. 3.

Mnohem častější je využití použitých relé z vysílačů profesionálních služeb. Nevýhodou těchto relé je jejich napájecí napětí. Většina profesionálních vysílačů funguje na napětí cca 28 V, odpovídají tomu také tato relé. Naproti tomu se v radioamatérském provozu používá napájecí napětí 13,8 V. Další nevýhodou jsou nejisté parametry

použitých relé, ať už kvalita kontaktů nebo časy sepnutí. Výhodou tohoto řešení je, že za cenu low-end koaxiálního relé je možné získat relé s mnohem lepšími parametry.



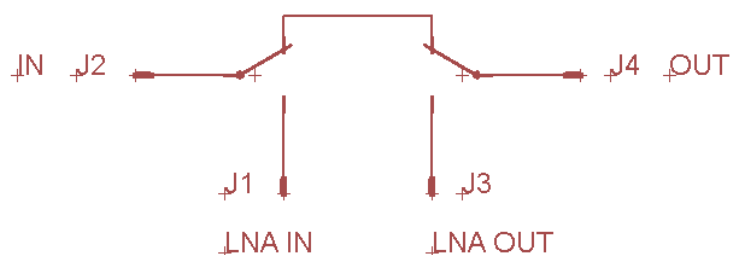
Obr. 16 Ukázka přepínacích koaxiálních relé [12][13]

Tab. 3 Porovnání parametrů relé CX-600N [14]

	Průchozí útlum 150 MHz [dB]	Průchozí útlum 500 MHz [dB]	Izolace portů 150 MHz [dB]	Izolace portů 500 MHz [dB]	Max. výkon 150/500 MHz
Datasheet	0,10	0,15	48,00	37,00	1,0 kW/0,8 kW
Měřeno	0,04	0,18	39,97	29,50	-

## 5.2.2 Transfer relé

Transfer relé jsou nejčastěji čtyřportová relé se dvěma přepínacími kontakty. Toto relé kombinuje relé číslo jedna a dvě v blokovém schématu zapojení LNA, viz obr. 15. Ve vypnutém stavu jsou propojeny konektory J2 a J4, v sepnutém stavu dojde k propojení portů J2 a J1 a naproti tomu J3 a J4. Viz obr. 17 a obr. 18.



Obr. 17 Schéma transfer relé.

Tato konfigurace umožňuje zapojit blok LNA mezi porty J1 a J3, přičemž přímou TX cestu představují konektory J2 a J4. Toto relé je možné zakoupit na ebay.com za cenu cca 1300 Kč včetně poštovního (jaro 2016).



Obr. 18 Transfer relé H100-WT1903-400[15][16]

### 5.2.3 Běžná relé

Jelikož základním aspektem pro návrh každého zařízení je cena, bylo provedeno měření VF vlastností také u běžně dostupných relé s přepínacím kontaktem - SPDT.

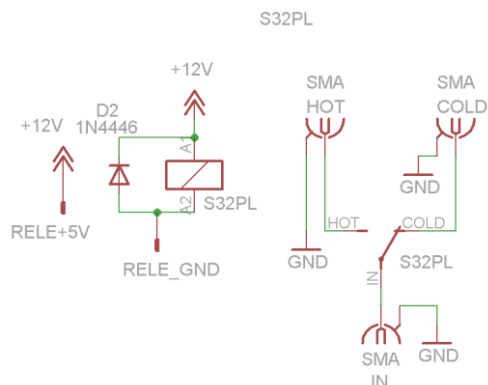
Testům na možnost použití bylo podrobena celkem jedenáct relé. Z toho tři VF koaxiální, jedno SMT vysokofrekvenční a sedm běžných SPDT relé. Tato relé byla vybírána podle údaje v katalogovém listě na základě požadavku na co nejkratší cestu signálu od vstupní na výstupní brány.

Při popisu zapojení v následujícím textu je použito značení kontaktů relé, jak ukazuje následující obr. 19:



Obr. 19 Zapojení měřeného relé

Měření relé bylo provedeno na oboustranných DPS, vyrobených na Ústavu radioelektroniky, které byly ručně prokoveny. Schéma zapojení zobrazuje obr. 20.



Obr. 20 Schéma zapojení testovaných relé

Jednotlivé DPS, na kterých probíhalo testování relé, jsou k dispozici v elektronické příloze.

### 5.3 Srovnání relé

Výsledky měření koaxiálních, vysokofrekvenčních i běžných relé jsou zobrazeny sloupcovými grafy s popisem zobrazovaného parametru a zvolenou požadovanou úrovní konkrétního parametru.

Detailní srovnání poskytují následující grafy. V tabulce pod grafem je prvních sedm relé běžná SPDT, HF3-56 je SMD vysokofrekvenční relé.

CX-600 a „ULQ2“ jsou koaxiální SPDT a H100-WT1903-400 je transfer relé.

#### 5.3.1 Vstupní přizpůsobení relé

Vstupní přizpůsobení vyznačuje činitel odrazu na vstupním portu relé. Parametr  $S_{11}$  je činitel odrazu v dB.

Rovnice (3.1) popisuje vztah mezi činitelem odrazu a poměrem stojatých vln [17]:

$$|\rho| = \frac{PSV-1}{PSV+1} \quad (3.1)$$

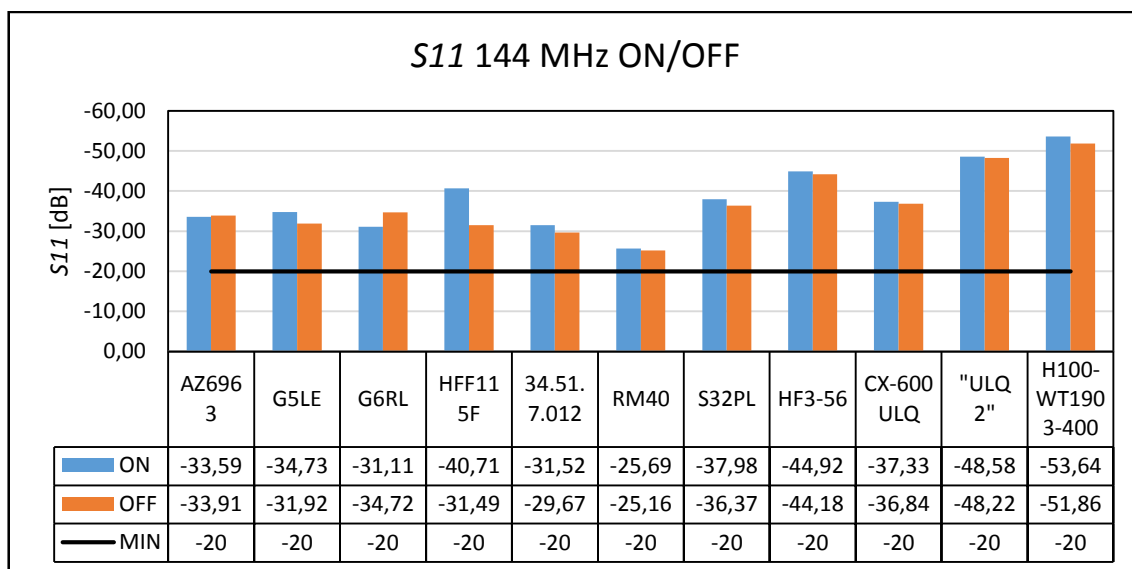
Úpravou 3.1 vzniká vztah pro  $PSV$

$$PSV = \frac{|\rho|+1}{1-|\rho|} \quad (3.2)$$

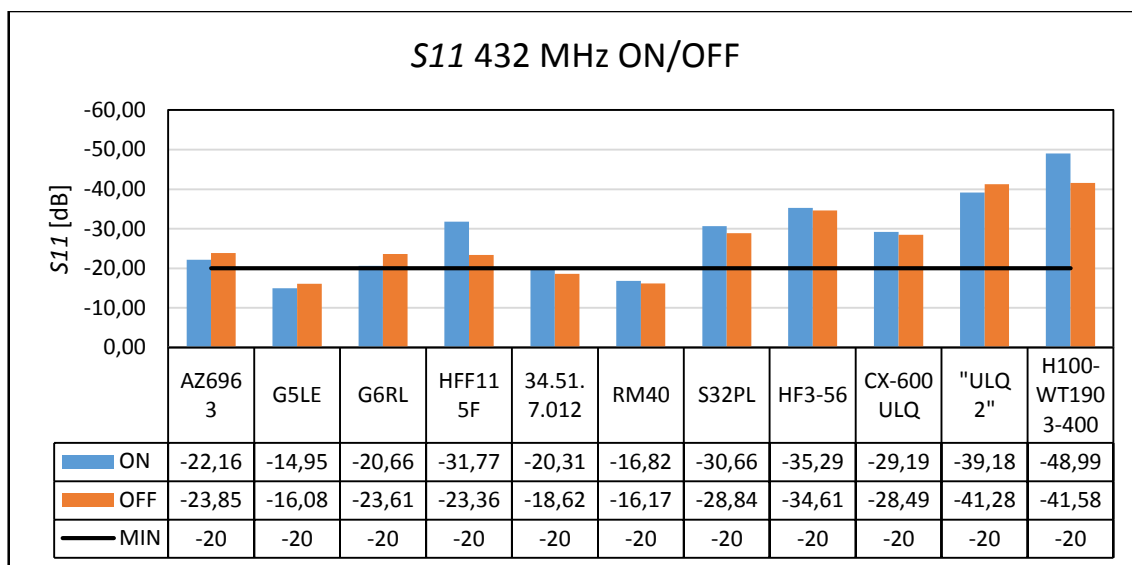
Pokud je zvolená hodnota -20 dB dosazena po odlogaritmování do (3.2), výsledkem je poměr stojatých vln:

$$PSV = \frac{|0,01|+1}{1-|0,01|} = 1,02$$

Tato hodnota je platná pro případ, kdy je k výstupu relé připojena definovaná impedance 50 Ω, v reálném zapojení bude za relé anténa, jejíž  $PSV$  se v ideálním případě pohybuje v hodnotách do 1,5. Relé vhodná pro použití v daném frekvenčním pásmu jsou ta, jež překročí zvolenou hranici. Viz obr. 21 a obr. 22.



Obr. 21 S11 144 MHz



Obr. 22 S11 432 MHz

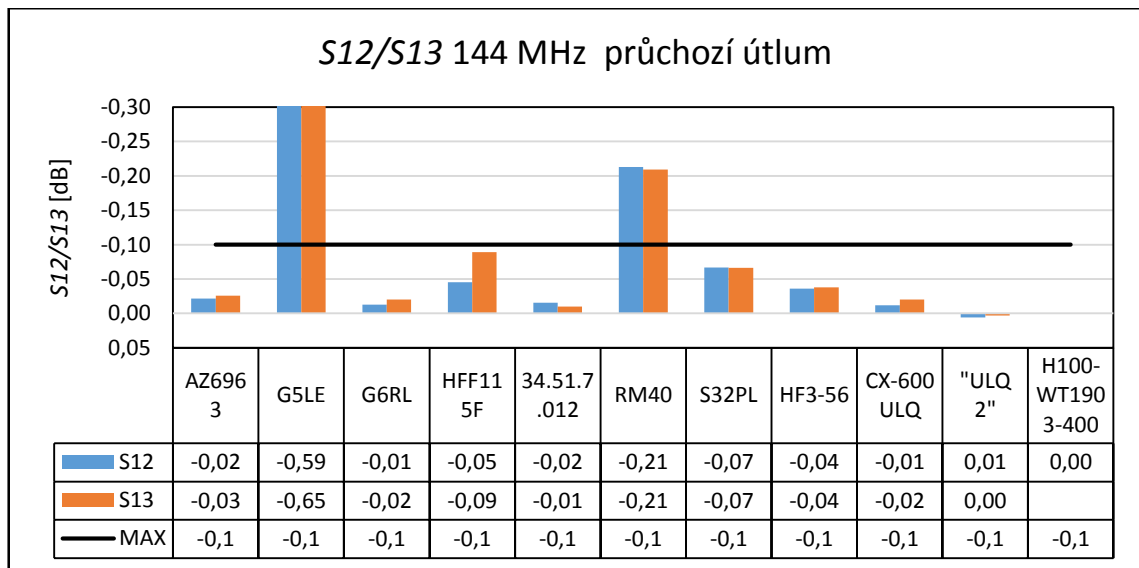
Z obr. 21 a obr. 22 vyplývá, že pro použití v pásmu 144 MHz jsou z hlediska přizpůsobení vhodná všechna testovaná relé.

Pro použití v pásmu 432 MHz jsou již z výběru vyloučena G5LE, RM40 a relé 34.51.7.012.

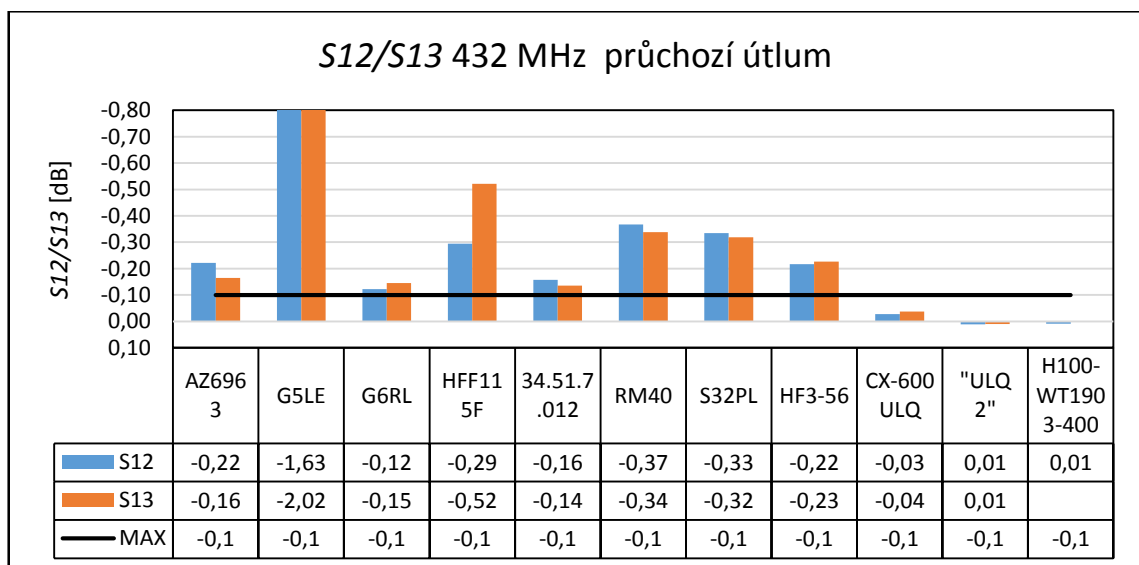
### 5.3.2 Průchozí útlum relé

Průchozí útlum udává ztrátový výkon na relé. Jedná se o důležitý parametr vzhledem k přenášeným výkonům a možným tepelným destrukcím samotného relé při vysílání. Samotné měření průchozího útlumu je z důvodů velmi nízkých výsledných hodnot náročné. Do měření vstupuje kvalita kalibrace a teplotní stálost vektorového analyzátoru, ale také utažení a kvalita jednotlivých konektorů. Z důvodů této chyby měření se v tabulce vyskytují i kladné hodnoty útlumu koaxiálních relé. Tato chyba měření ovšem značí jejich velice dobrý průchozí útlum. Viz obr. 23 a obr. 24.

Pro výběr vhodného relé je zvolena maximální hranice 0,1 dB. Tato hodnota činí cca 2,3 % výkonové ztráty na relé.



Obr. 23 Průchozí útlum 144 MHz



Obr. 24 Průchozí útlum 432 MHz



### 5.3.3 Izolace mezi porty relé

Nejnebezpečnějším parametrem pro LNA je izolační útlum relé. Útlum byl měřen jak mezi branou vstupní a neaktivní výstupní, tak mezi aktivní a neaktivní výstupní branou.

Útlum mezi vstupní branou a neaktivní výstupní branou je důležitý pro vysílání do relé a udává přeslech, který se dostane do výstupu LNA. Viz obr. 25 a obr. 26.

Útlum mezi výstupními porty udává výkon, který se při vysílání do jedné výstupní brány relé přenese na druhý výstupní port, kde je připojen vstup LNA.

Použitý monolitický LNA PGA103+ má katalogovou hodnotu [3] maximálního vstupního výkonu v pásmu 50 – 2000 MHz +21 dBm. Ovšem jedná se o maximální přípustnou hodnotu, kde je již reálná hrozba zničení LNA.

Pro návrh LNA je uvažován výstupní výkon koncového stupně 250 W.

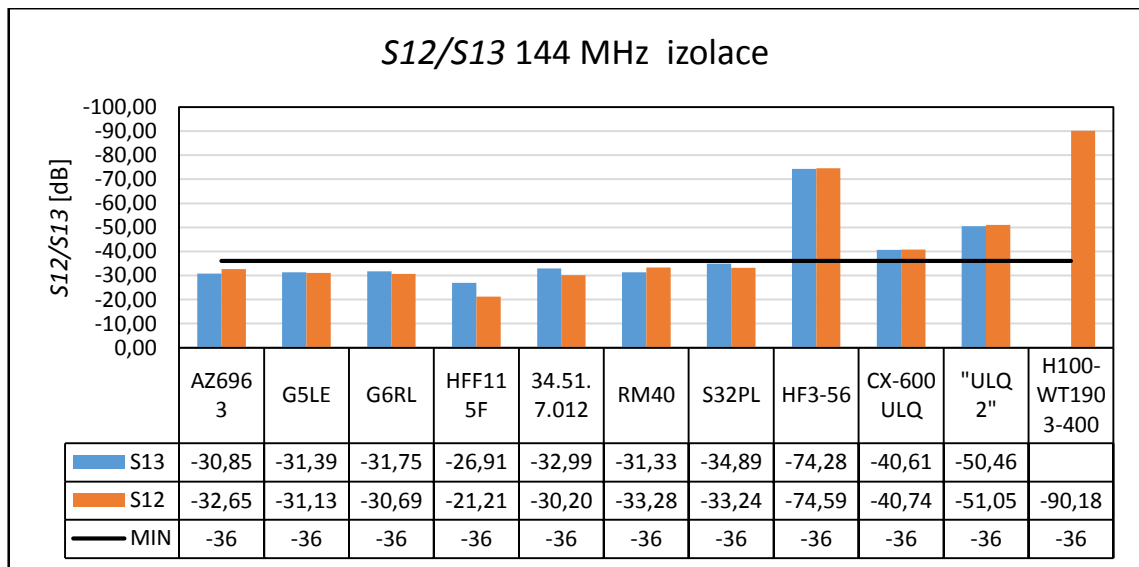
$$L = P_{TX_{MAX}} - P_{in_{max}} \text{ [dB,dBm,dBm]} \quad (3.1)$$

$$L = 54 - 21$$

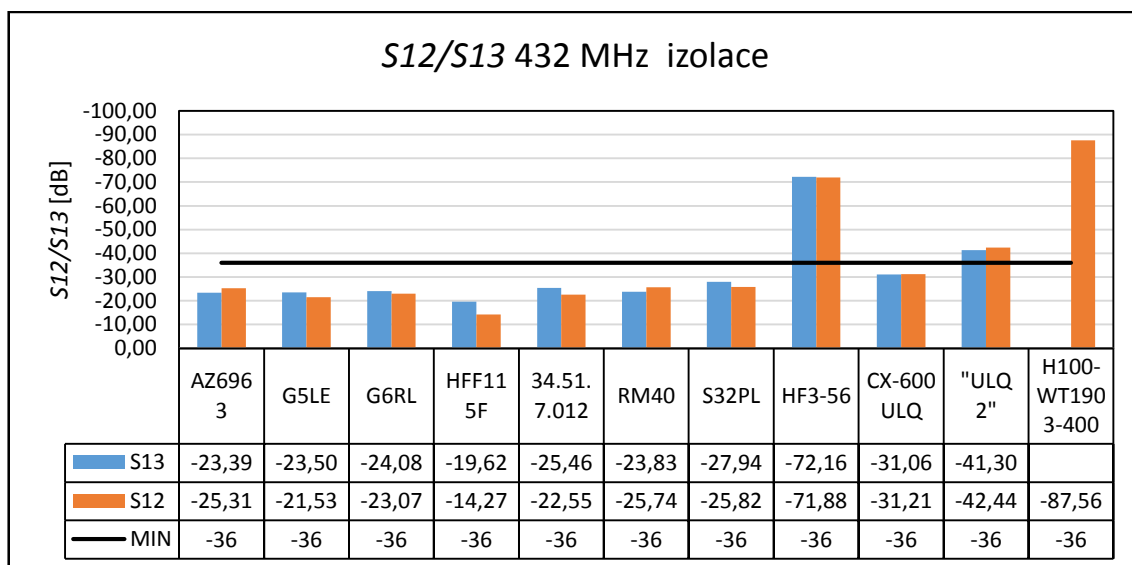
$$L_{min} = 33 \text{ dB}$$

Tato hodnota ovšem nezaručí přežití LNA a je nutné k ní ještě připočítat jistou rezervu. V grafech dále (obr. 25 a 26) je rezerva zvolena 3 dB, tedy izolace relé -36 dB.

Hodnotu -36 dB udává v grafech černá vodorovná linka.

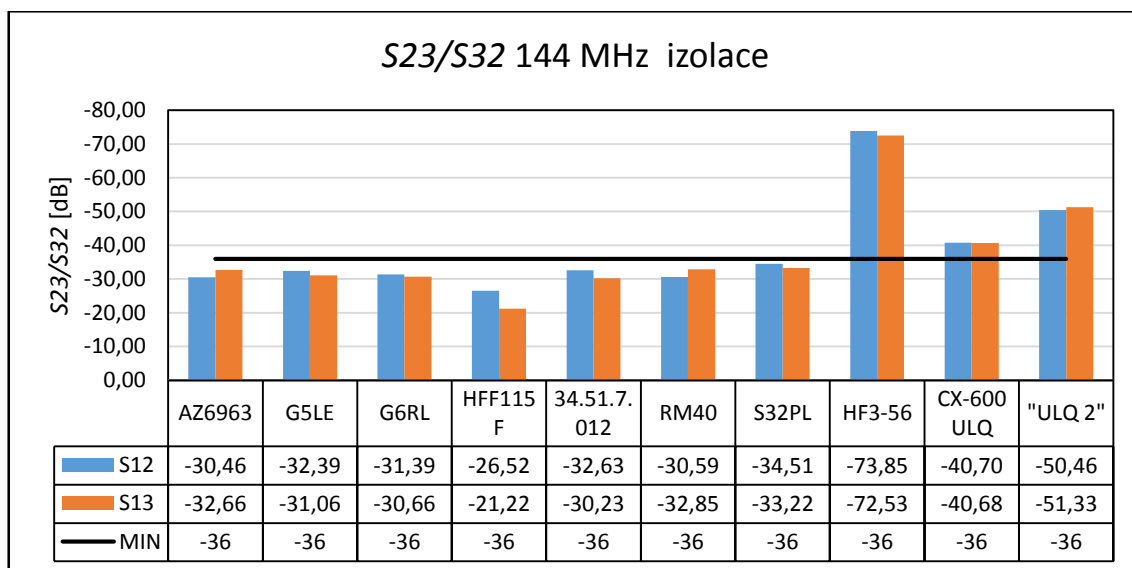


Obr. 25 Izolace mezi vstupním a neaktivním výstupním portem 144 MHz

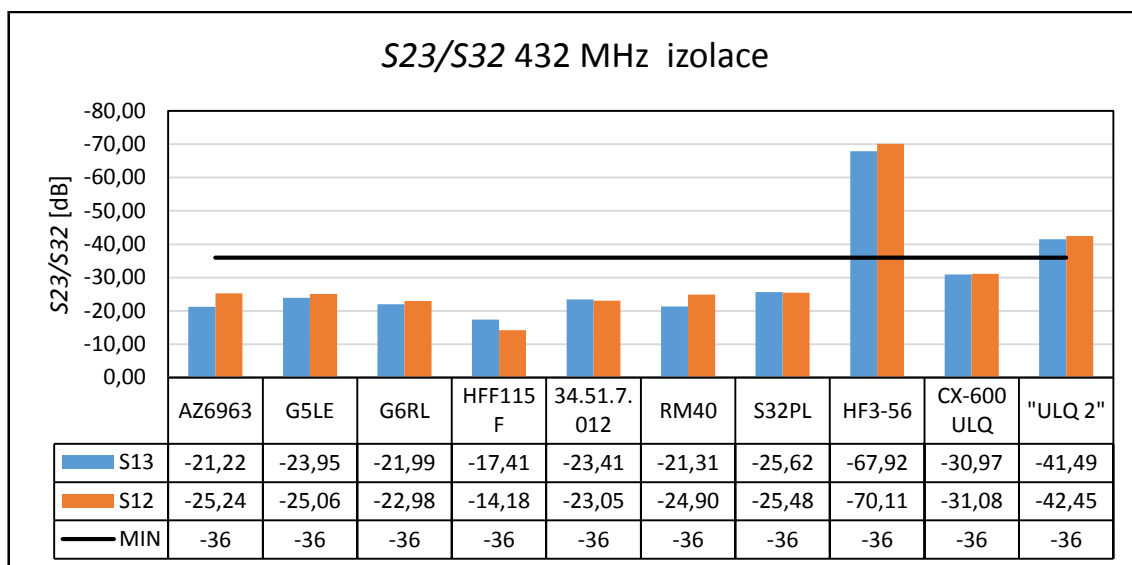


Obr. 26 Izolace mezi vstupním a neaktivním výstupním portem 432 MHz

V následujících grafech (obr. 27 a obr. 28) chybí transfer relé H100, z důvodu topologie zapojení relé (viz obr. 17) tato hodnota není vypovídající.



Obr. 27 Izolace mezi výstupními branami relé 144 MHz



Obr. 28 Izolace mezi výstupními branami relé 432 MHz

## 5.4 Zhodnocení měření relé

Z výše prezentovaných grafů vyplývají jednotlivá možná použitelná relé. Relé HF3-56 má výborné parametry, ovšem zatížitelnost pouze 60 W, viz katalogový list [18]. Porovnání koaxiálních relé CX-600, „ULQ2“ a H100-WT1903-400 potvrzuje praxi, že se vyplatí koupit použité relé z profesionálního vysílače, oproti koupi nového, leč méně kvalitního koaxiálního relé.

Požadavek na izolace překračující 36 dB překročila na obou pásmech pouze VF relé. Vzhledem k uvažovanému výkonu je relé HF3-56 pro tento účel nepoužitelné z důvodu maximální výkonové zatížitelnosti do 60 W [18].

Jak je vidět z výše prezentovaných grafů, i v měřených koaxiálních relé jsou velké rozdíly. Je tedy vhodné před návrhem koncepce zapojení LNA a použitím konkrétního relé změřit jeho parametry a podle výsledků zvážit použití ochranného relé zkratující vstup LNA při vysílání.

### 5.4.1 Možnost použití běžných relé pro implementaci LNA

Ve výše zobrazených grafech jsou porovnána všechna měřená relé. V tabulce 4 je výpis pouze běžných SPDT relé.

Použití běžných SPDT relé limituje hlavně dosažená hodnota izolačního útlumu mezi porty. Srovnání pouze běžných relé poskytuje tabulka č. 4.

Tab. 4 Měřené běžných přepínacích SPDT relé

Označení	Výrobce	Přibližná cena [Kč]	Vstupní přizpůsobení 144/432 MHz [dB]	Průchozí útlum 144/432 MHz [dB]	Izolace mezi výstupními porty 144/432 MHz [dB]
34.51.7.012	FINDER	61	-31,5/ -20,3	-0,02/ -0,16	-30,23/ -23,05
S32PL	FINDER	39	-36,4/ -28,8	-0,07/ -0,33	-33,27/ -25,48
HFF115F	HONGFA RELAY	32	-31,5/ -23,4	-0,09/ -0,52	-21,22/ -14,18
G6RL	Omron	64	-31,1/ -20,7	-0,02/ -0,15	-30,66/ -21,99
G5LE	Omron	35	-31,9/ -22,2	-0,65/ -2,02	-31,06/ -23,95
RM40	REPOL	24	-25,2/ -16,2	-0,21/ -0,37	-30,59/ -21,30
AZ6963	ZETTLER	43	-33,6/ -22,2	-0,03/ -0,22	-30,46/ -21,22

Z tab. 4 je patrné, že běžná relé v pásmu 70 cm již mají izolaci pouze okolo 20 dB. Z tohoto důvodu jsou v pásmu 70 cm prakticky nepoužitelná.

V pásmu 144 MHz je jejich použití možné za předpokladu, že před samotné LNA bude vloženo zkratovací relé, které zvýší potřebnou izolaci nad požadovanou úroveň.

Hlavní výhodou tohoto řešení je velice nízká cena, tato výhoda je ovšem vykoupena vyšší složitostí řízení takového zapojení.

V pásmu 432 MHz je nutné sáhnout po VF relé, které má také lepší přizpůsobení a průchozí ztráty.

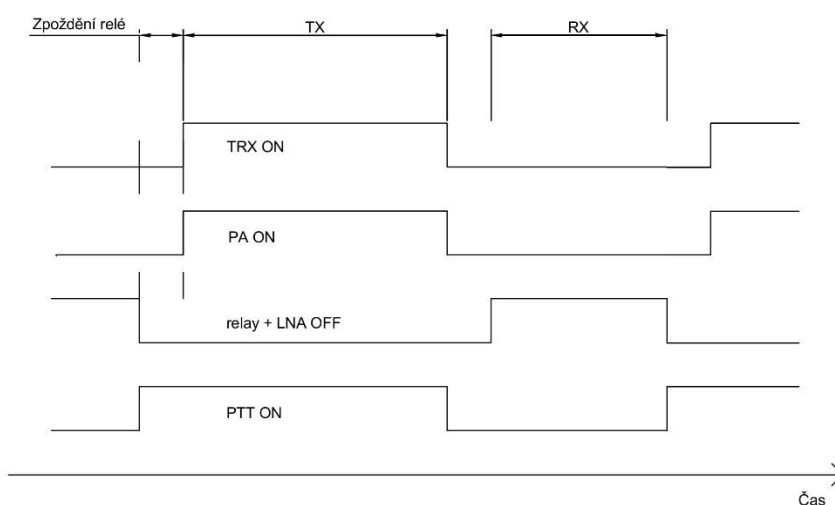
Ovšem pokud by bylo uvažováno použití pouze pro LP kategorii, tedy do 100 W, s počítanou rezervou výkonu 52 dBm je možné se těsně spolehnout například na relé S32PL při provozu na 144 MHz.

## 6 ŘÍZENÍ SIGNÁLOVÉ CESTY

Pro ochranu kontaktů koaxiálního relé a samotného LNA je klíčové časování, proto při provozu vysílacího řetězce sestávajícího z TRX, PA, LNA a koaxiálního relé vstupuje nutnost celý tento řetězec řídit tak, aby bylo minimalizováno riziko zničení jakékoliv části řetězce, a zároveň došlo k maximálnímu zjednodušení obsluhy celého vysílacího řetězce.

### 6.1 Časovací sekvence

Cílem korektního časování přechodu RX/TX a naopak je ochrana LNA a prodloužení životnosti anténního relé.



Obr. 29. Časování klíčování

Na obrázku 29 je časový diagram průběhu PTT signálu na TRX, PA, LNA a PTT pedálu operátora. Časová prodleva mezi vypnutím LNA s anténním relé a zaklíčování PA + TRX musí být dostatečná pro dokonalé přepnutí mechanického kontaktu relé.

### 6.1.1 Určení času zpoždění relé

Při návrhu sekvenceru bylo uvažováno použití TRX, který má společný koaxiální vývod pro RX i TX.

Z obrázku 29 je zřejmé, že první musí při přechodu RX/TX odpadnout kontakt relé do LNA a až poté může být zalíčován výkonový stupeň. Hlavní otázkou je, jak určovat zpoždění konkrétního relé. Z principu jsou možné tři cesty jak určit potřebný čas překlopení:

- **Měření času přepnutí relé**  
Metoda spoléhá na bezchybnou funkci anténního relé. Po změření konkrétního kusu anténního relé je v sekvenceru nastaven pevný čas zpoždění. K tomuto zpoždění je nutné připočíst dostatečnou rezervu, která pojme změny v parametrech relé při konkrétní provozní instalaci.
- **Kontrolní kontakty relé**  
Některá koaxiální relé jsou vybavena pomocnými kontakty, které dávají zpětnou informaci o sepnutí/rozepnutí kontaktů relé. Nevýhodou této metody je nedostupnost těchto relé.
- **Testování přenosové cesty na DC zkrat**  
Nejspolehlivější metoda pro časování signálové cesty. Pro použití této metody je nutné mít anténu s uzavřeným zářičem. Pokud je použita anténa s otevřeným zářičem můžeme do systému DC zkrat dodat přídatnou tlumivkou. Její umístění je nejvýhodnější právě na zářiči, jelikož je to nejbližší místo od PA, a díky tomu může systém detekovat kromě spojení anténního relé také bezchybné zapojení koaxiálních kabelů.  
Nevýhodou metody DC zkratu je nutnost injektáže DC napětí do koaxiálního kabelu. Pokud není v řetězci koncový stupeň, který můžeme upravit pro DC injektáž, je nutné vřadit do koaxiálního vedení injektážní člen. To představuje přídatný útlum do signálové cesty a také možnost zapomenutí malé koaxiální spojky.

## 6.2 Vřazení sekvenceru do radioamatérského vysílače

Na obrázku 29 je naznačeno zaklíčování operátorem, následuje odpojení LNA, a až následně se klíčuje TRX s PA. Tento postup vyžaduje, aby PTT operátora bylo připojeno k sekvenceru, a ten poté klíčoval všechny bloky řetězce.

Tato situace je ovšem prakticky proveditelná pouze při hlasovém provozu, kdy mikrofon je umístěn na náhlavní soupravě, a malé zpoždění od PTT operátora k zaklíčování TRX nevadí. Problém nastává při použití interního hlasového záznamníku TRX a také při provozu CW. Provoz CW by byl s nízkou uživatelskou přívětivostí možný. Operátor by musel pomocí pedálu zaklíčovat řetězec, a poté začít vysílat na CW pastičce. Podobný scénář by byl nutný také při použití hlasového záznamníku, který jeho

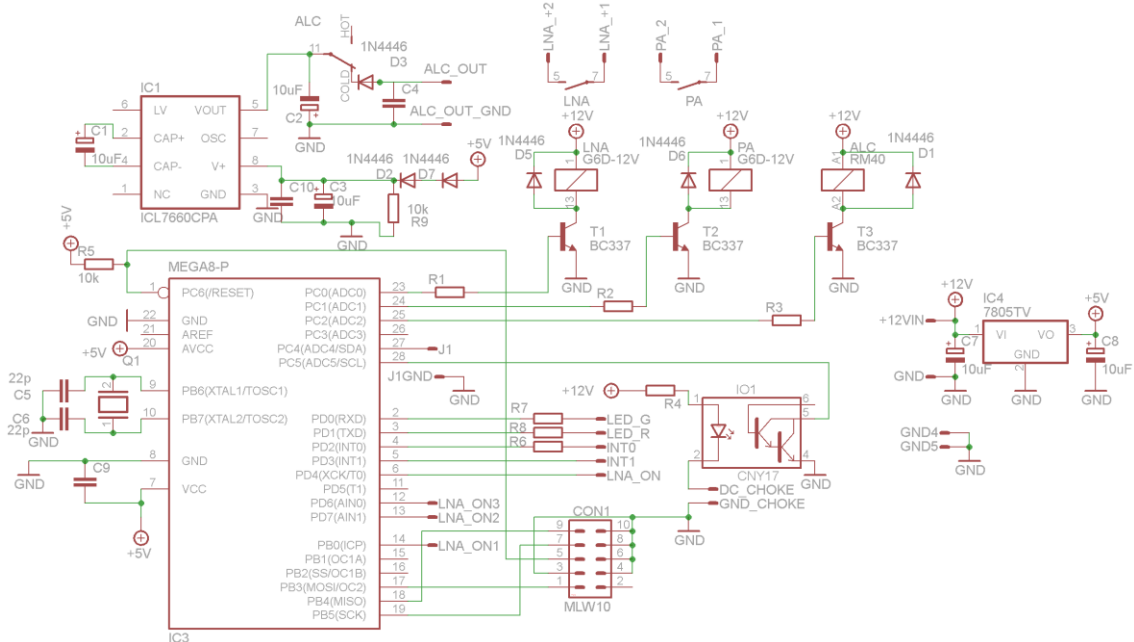
použití tím pádem prakticky zněmožňuje.

Z výše popsaných situací vyplývá nutnost vzniku PTT signálu pro sekvencer v TRX. Zároveň je ale nutné, aby po zaklíčování TRX nedošlo ihned k náběhu výkonu koncového stupně TRX. K tomuto účelu je vhodné využít vstup externího ALC. Tento obvod je určen pro regulaci výkonového stupně TRX od externího PA. A je tedy možné jej využít pro úplné zablokování koncového stupně TRX.

Tento postup řeší jak problém s použitím iterních hlasových pamětí, tak provoz CW. Z pohledu operátora je TRX zaklíčován, ale jeho výkonové obvody jsou sekvencerem blokovány. Sekvencer výkonový stupeň TRX odblokuje až poté, co je ustavena signálová cesta. Drobná nevýhoda tohoto postupu tkví ve ztrátě informace vkládané do TRX v době od zaklíčování po odblokování výkonu sekvencerem. Ovšem u hlasového povelu je to zanedbatelné a při provozu CW je toto relevantní pouze při extrémně rychlém provozu.

### 6.3 Konstrukce sekvenceru

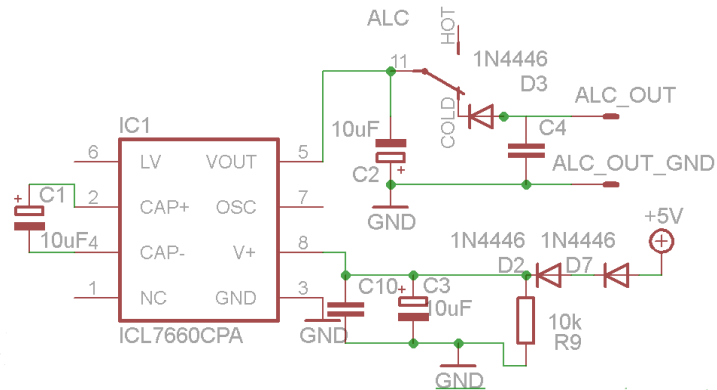
Kompletní schéma sekvenceru zobrazuje obr. 30. Sekvencer je osazen MCU ATmega8. Pro snadnou modifikaci SW je zapojení doplněno o programovací konektor MLW10, skrz který je možné pomocí ISP programátoru měnit SW sekvenceru. MCU je napájen 5 V, které snižuje z pracovního napětí 13,8 V stabilizátor LM7805. Zkonstruovaný sekvencer je realizován jednostrannou DPS o rozměrech 90 × 60 mm. Výhodou konstrukce je snadná opakovatelnost i v domácích podmínkách. Pro korektní funkci sekvenceru je nutné zajistit společný zemní potenciál sekvenceru, TRX a opletení koaxiálního vedení.



Obr. 30 Schéma sekvenceru

### 6.3.1 Blokování koncového stupně TRX

Obvod externího ALC s rostoucí hodnotou záporného napětí snižuje výkon koncového stupně TRX. Pokud hodnota dosáhne  $-4\text{ V}$  (u YAESU FT8x7), dojde k jeho zablokování. Pro tento účel se výborně hodí obvod ILC7660. Na obr. 31 vidíme zapojení měniče napětí.



Obr. 31. Měnič napětí ILC7660

Výše prezentované zapojení je součástí jednotky sekvenceru, používá napájecí napětí  $+5\text{ V}$ , z tohoto důvodu jsou před obvod zařazeny dvě diody, které snižují napájecí napětí obvodu ICL7660 o cca  $0,8\text{ V}$ . Na výstupu měniče napětí je připojeno SPDT relé, které v klidové poloze přivádí záporné napětí na externí vstup ALC pro TRX a tím blokuje jeho koncový stupeň.

### 6.3.2 Testování TX cesty

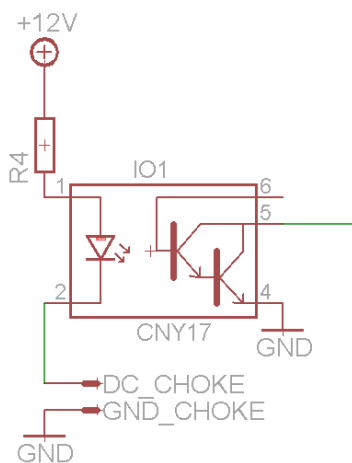
Jak bylo zmíněno výše, jsou tři teoretické možnosti, jak zajistit časování TX cesty. Jednotka sekvenceru je připravena na všechny možnosti. Pomocí jumperu je možné měnit konfiguraci SW sekvenceru. Pokud je jumper zapojen, sekvencer je prepnut do módu časového zpoždění relé. Pokud je odpojen, předpokládá sekvencer kontrolu DC zkratu signálové cesty. Tato metoda je vybrána z důvodu bezpečnosti. Pokud by došlo k nechtěnému vysunutí jumperu, sekvencer v případě chybejícího DC zkratu zablokuje koncové stupně.

Testování DC zkratu TX cesty má řadu výhod. Kromě úspory času, která spočívá v zaklíčování koncových stupňů v krátkém čase po bezpečném sepnutí relé, také v možnosti téměř okamžitého odpojení koncových stupňů od antény v případě poruchy relé, či přerušením koaxiálního kabelu. Ovšem tato ochrana spoléhá pouze na DC chybu cesty, proto je nutné, aby koncový stupeň byl i při tomto zapojení vybaven reflektometrickou ochranou pro případ nepřizpůsobené zátěže.

Pro testování DC zkratu je v zapojení sekvenceru využito optočlen CNY17, zapojení optočlenu je zobrazeno na obrázku 32. Vývod pouzdra č. 5. je připojen ke vstupnímu pinu MCU. Odporem R4 je nastaven pracovní proud diody optočlenu. V době korektního ustavení TX cesty dojde k sepnutí optočlenu a na pinu MCU se objeví log 0. Stav pinu MCU kontroluje periodicky s minimální možnou periodou a v případě rozpojení TX cesty blokuje koncové stupně.



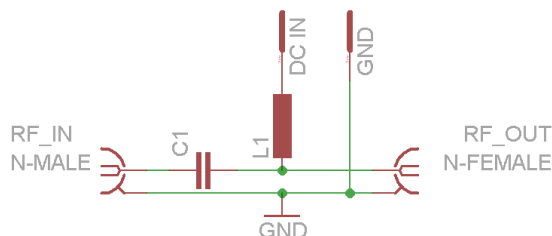
Výhodou tohoto řešení je také úspora času, jelikož sekvencer přechází do TX režimu pouze malou chvíli po přepnutí relé.



Obr. 32. Zapojení optočlenu CNY17

### 6.3.3 Injektáž DC napětí do signálové cesty

Pro zachování univerzálnosti sekvenceru je nutné vytvořit injektážní člen. Tento injektážní člen je pro jednoduchost proveden jako koaxiálová spojka s konektory typu N. Výhodou použití konektoru typu male na vstupu je možnost našroubovat injektážní člen například na PSW metr a tím minimalizovat riziko ztráty/zapomenutí.



Obr. 33 Injektážní člen

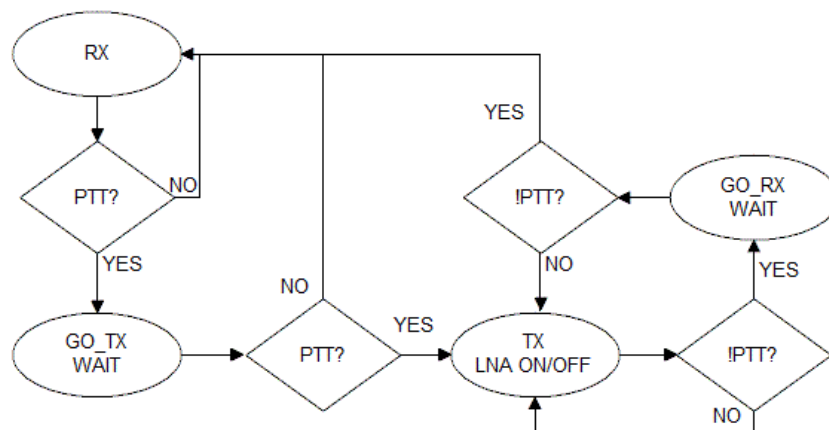
## 6.4 SW sekvenceru

Program samotného sekvenceru se skládá ze dvou hlavních stavových automatů. Hlavní stavový automat klíčování zajišťuje časování RX/TX přechodů. Druhý stavový automat je umístěn v přerušení časovače a periodicky každou 1 ms testuje signál PTT.

### 6.4.1 Ošetření zákmitů tlačítek

Mechanický kontakt tlačítka není dokonalý a při jeho spínání, případně rozepínání může dojít k sérii falešných sepnutí a rozepnutí. Tyto zákmity je nutné filtrovat. V konstrukci sekvenceru z důvodu univerzálnosti a předpokládaného zapojení za TRX, který není možné upravit, byla zvolena SW metoda potlačení zákmitů tlačítek.

Proces potlačení zákmitů je aplikován jak pro přepnutí PTT (přechod RX/TX), tak pro uvolnění PTT (přechod TX/RX) Celý proces zobrazuje vývojový diagram na obr. 34.



Obr. 34 Vývojový diagram ošetření zákmitů tlačítek

Z vývojového diagramu výše je patrný princip ochranné doby pro odeznění zákmitů tlačítka. Délku této doby je možné programově měnit.

### 6.4.2 Úpravy SW uživatelem

Sekvencer neposkytuje z bezpečnostních důvodů žádnou možnost pro přímou úpravu časování uživatelem. Ovšem SW je napsán tak, aby bylo možné jednoduchým systémem měnit parametry časování.

```
#define DELAY_RELAY_ON      100
#define DELAY_RELAY_OFF    100
#define DELAY_PTT_PA_TRX   30
#define DELAY_DC_OK_BURST  30
```

Případný uživatel může pomocí výše definovaných maker měnit čas čekání pro relé (pro mód bez detekce DC zkratu), dobu prodloužení mezi zaklíčováním TRX a PA a také dobu trvání ochranné doby zákmitů tlačítek.

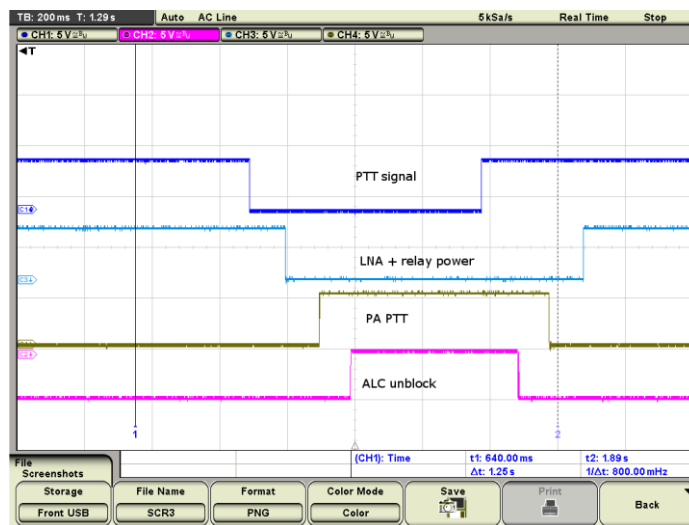
### 6.4.3 Měřené průběhy řídicích signálů

Výsledné průběhy řídicích signálů v řetězci generované sekvencí byly měřeny pro oba pracovní módy sekvenceru.

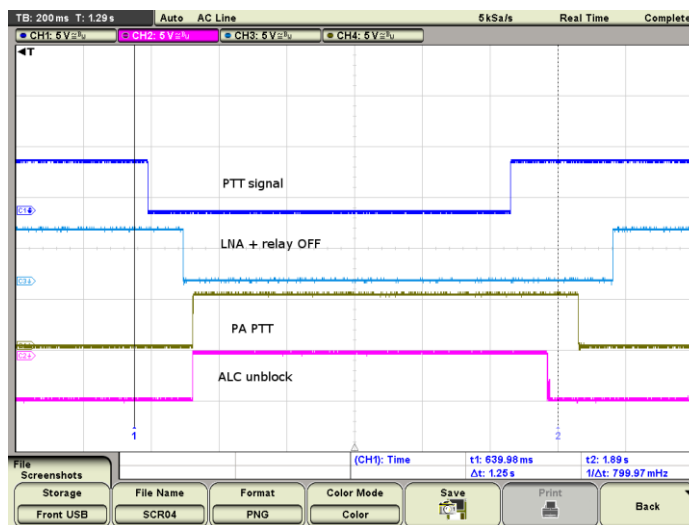
Obr. 35 ukazuje časový průběh spínání jednotlivých částí řetězce v časovém módu. Tedy ve stavu, kdy Jumper J1 je v obvodu zapojen a sekvencer pracuje s pevně nastavenými časy přepínání.

Obr. 36 prezentuje časové průběhy pro mód testování DC průchodnosti TX cesty. Pro tento mód je nutné jumper J1 v obvodu odpojit od země.

Jak je z obou obrázků patrné, testování signálové cesty pro DC zkrat je úsporou času. Jelikož není nutné čekat dlouhou dobu, ale pouze krátce po ustavení TX cesty. Zároveň sekvencer v případě porušení průchodnosti TX cesty odpojí buzení koncových stupňů.



Obr. 35. Spínání sekvenceru v časovém módu



Obr. 36. Spínání sekvenceru při testování DC průchodnosti cesty

## 7 ZÁVĚR

V této bakalářské práci byl navržen blok LNA pro radioamatérský závodní provoz s integrovaným zesilovačem PGA103+. Vzorek LNA byl podroben měření šumového čísla a zesílení. Parametry jsou v blízkosti katalogových hodnot.

Při výběru vhodného koaxiálního relé pro vřazení LNA do signálové cesty byla měření podrobena také běžná SPDT relé. Z této rešerše vyplývá možnost použít běžná relé pouze pro pásmo 144 MHz, a to pouze pro LP kategorii. Při použití těchto relé je vhodné návrh doplnit o ochranné izolační relé zkratující vstup LNA k zemi.

Pro pásmo 432 MHz a výše jsou běžná SPDT relé nevhodná. Jejich použití vylučuje vysoký průchozí útlum a nízká izolace mezi porty. Tyto parametry jsou v pásmu 432 MHz již naprosto nevyhovující a s rostoucí frekvencí se dále zhoršují.

Dále byla vyrobena pásmová propust pro 144 MHz, která je snadno opakovatelná a má výborné vlastnosti. Pro pásmo 432 MHz byl použit tovární filtr od firmy TOKO, který je kompromisem mezi vlastnostmi a jednoduchostí jeho použití. Pro další vývoj jednotky LNA bude následovat návrh a výroba užší pásmové propusti pro 432 MHz, případně rozšíření pro pásmo 1296 MHz

Pro jednoduché a bezpečné vřazení bloku LNA do stávajícího závodního systému byl navržen sekvencer, který umožňuje bezpečný provoz LNA, a zároveň poskytuje ochranu koncovým stupňům.

## LITERATURA

- [1] PROKEŠ, Aleš. *Rádiové přijímače a vysílače: přednášky*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2002, 164 s. ISBN 80-214-2263-7.
- [2] PROKEŠ, Aleš. *Rádiové přijímače a vysílače: laboratorní cvičení*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2002, 42 s. ISBN 80-214-2211-4.
- [3] Datasheet: PAG103+ Ultra Linear Low Noise Monolithic Amplifier [online]. Mini-Circuits, [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: <http://194.75.38.69/pdfs/PGA-103+.pdf>
- [4] Sam Jewell, Kent Britain, *PGA103amp.pdf* [online], Dostupné z: <http://www.g4ddk.com/PGA103amp.pdf>
- [5] Obrázek teorie návrhu Helical filtru, [http://www.qsl.net/va3iul/Homebrew\\_RF\\_Circuit\\_Design\\_Ideas/Helical\\_Filter\\_Calculation.gif](http://www.qsl.net/va3iul/Homebrew_RF_Circuit_Design_Ideas/Helical_Filter_Calculation.gif)
- [6] SW pro simulaci Helical filtru , Webová stránka Tonne Software, Dostupné z: <http://www.tonnesoftware.com/helical.html>
- [7] Pásmová propust 144MHz. *OK1UGA* [online]. Dostupné z: [http://ok1uga.nagano.cz/trv\\_pp144.html](http://ok1uga.nagano.cz/trv_pp144.html)
- [8] 144MHz bandpass filter. *PA3CSG website* [online]. 2009. Dostupné z: <http://pa3csg.hoeplakee.nl/joomla25/index.php/rf-construction/65-144-mhz-bandpass-filter>
- [9] Michael Melum, *LNA-RELAY.pdf* [online], Alaska, September 2, 2011 Dostupné z: <http://kl6m.com/LNA-RELAY.pdf>
- [10] Všeobecné podmínky závodů na VKV, [online], Český radioklub, Dostupné z: <http://www.crk.cz/FILES/VPZVKV2014.pdf>
- [11] Eshop: [www.ges.cz](http://www.ges.cz), *Relé koaxiální CX-600*, Dostupné z <http://www.ges.cz/cz/koaxialni-rele-50-ohm-cx-600n-GES05701369.html>
- [12] Obrázek: koaxiální relé *Thotsu, CX-600N*, [online] Dostupné z: <http://images.ges.cz/images/pictures/c/cx600n.jpg obr CX600>
- [13] Obrázek: *SPDT koaxiální relé*, Dostupné z: <http://www.bigskyspaces.com/w7gj/HarrisAmps.htm>
- [14] Datasheet: HF3-56 relay [online]. Axicom, [cit. 2015-11-28]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1717935.pdf>
- [15] Obrázek: *Transfer relé H100-WT1903-400*,

[http://i548.photobucket.com/albums/ii354/rfbuycom/IMG\\_2384\\_zpsff8589d2.jpg](http://i548.photobucket.com/albums/ii354/rfbuycom/IMG_2384_zpsff8589d2.jpg)

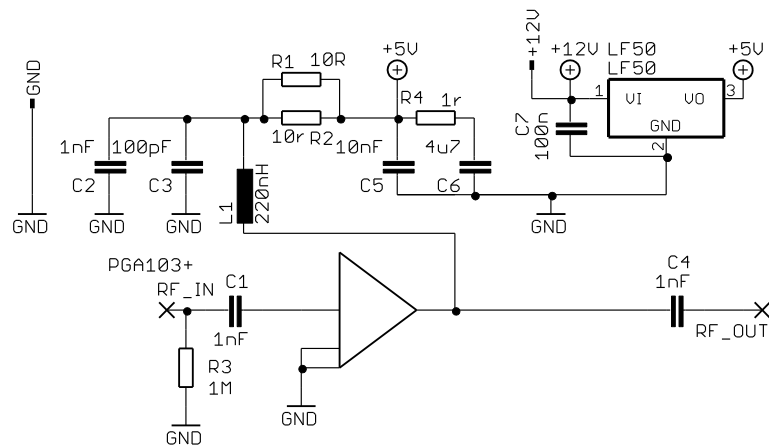
- [16] Obrázek: *Transfer relé H100-WT1903-400*,  
[http://i548.photobucket.com/albums/ii354/rfbuycom/IMG\\_2383\\_zpsc43adecb.jpg](http://i548.photobucket.com/albums/ii354/rfbuycom/IMG_2383_zpsc43adecb.jpg)
- [17] RAIDA, Zbyněk. *Měření na vlnovodné lince* [online]. [cit. 2015-12-11].  
Dostupné z: <http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/beva/lab/lab03.pdf>
- [18] Datasheet: *HF3-56 relay* [online]. Axicom, [cit. 2015-11-28].  
Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1717935.pdf>

# SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

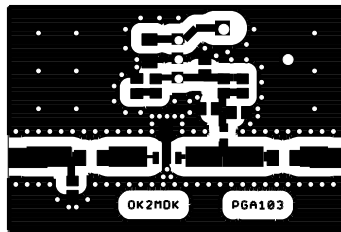
LNA	Low Noise Amplifier, nízkošumový zesilovač
SPDT	Single pole, double throw, relé s jedním přepínacím kontaktem
RX	Receive, příjem
TX	Transmit, vysílání
TRX	Transceiver, zařízení kombinující vysílač a přijímač
SMT	Technologie povrchové montáže součástek
SMD	Součástky pro povrchovou montáž
NF	Noise figure, šumové číslo
IP3	Bod zahrazení IP3, intermodulační odolnost
EME	Earth-Moon-Earth , spojení odrazem od povrchu Měsíce
L	Útlum prvku
G	Gain, zisk prvku
DPS	Deska plošných spojů
VF	Vysoká frekvence
Transvertor	Zařízení pro konverzi frekvence, používá se pro použití TRX z nižších pásem na vyšší.
LP	LowPower, kategorie v radioamatérských závodech, do 100 W výkonu [10]
N/SMA/SO259	Konektory používané ve VF technice
Low-end	Zařízení s hraniční funkcionalitou (na hraně použitelnosti)
ULQ2	SPDT koaxiální VF relé s konektory N, výrobce AEROSMITH, přesný typ neznámý
PSV	Poměr stojatých vln [17]
PA	Výkonový zesilovač
Skvencer	Zařízení pro řízení přepínání RX/TX v radioamatérském provozu
DC	Stejnoseměrné napětí
PTT	Push To Talk signál pro zaklíčování TRX
CW	Continuous wave, telegrafní provoz
CW pastička	Druh telegrafního klíče

# A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

## A.1 Obvodové zapojení LNA s PGA103+

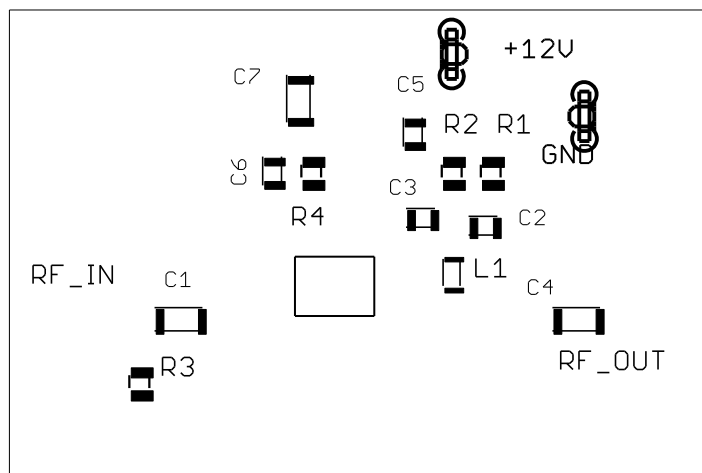


## A.2 Deska plošného spoje LNA



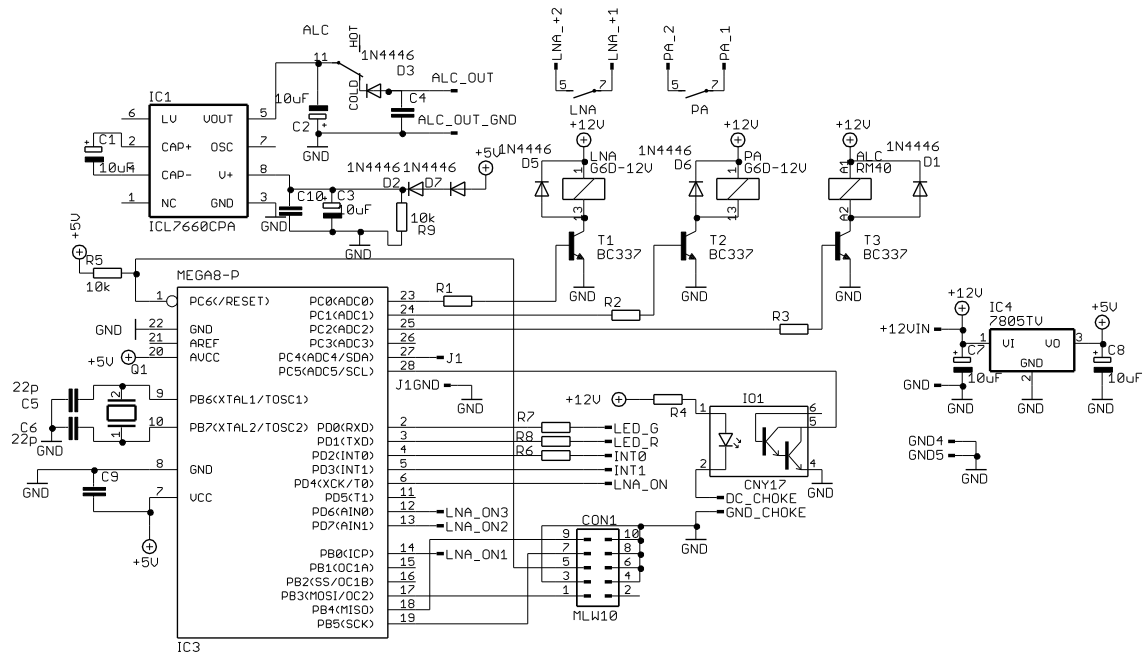
Rozměr desky 45 × 30 [mm], měřítko M1:1

## A.3 Osazovací plán LNA

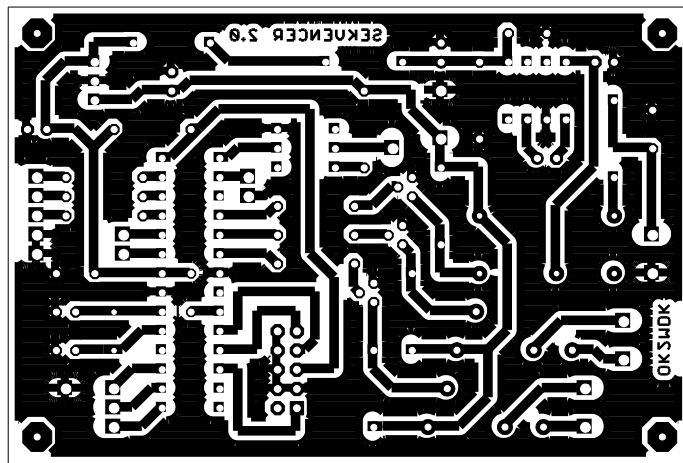




## A.4 Obvodové zapojení sekvenceru

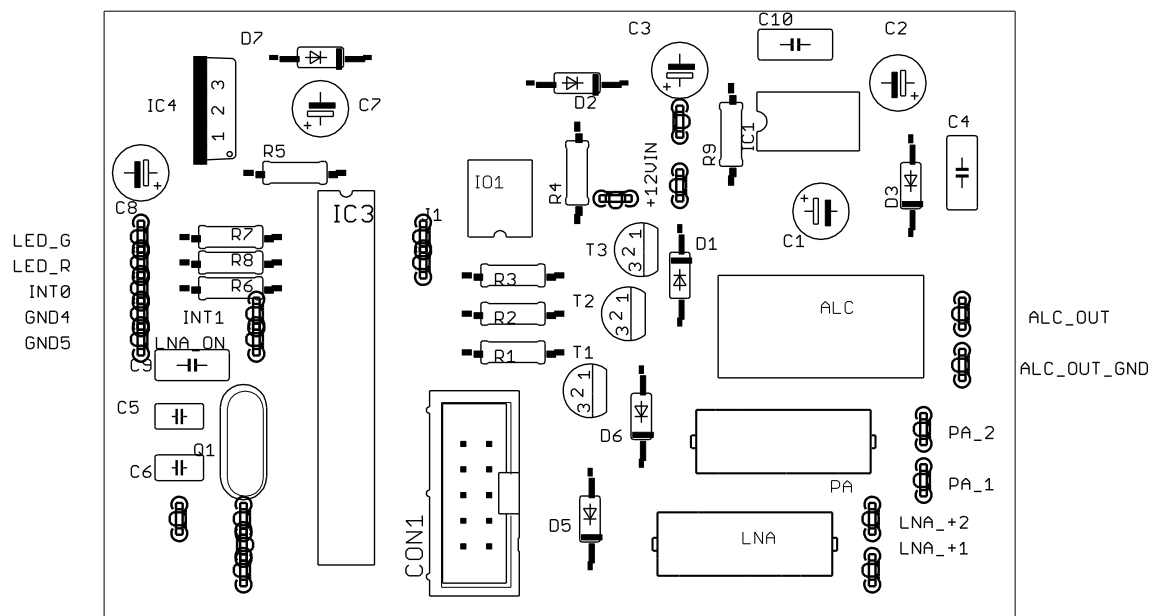


## A.5 Deska plošných spojů sekvenceru



Rozměr desky 91 × 61 [mm], měřítko M1:1

## A.6 Osazovací plán sekvenceru



## A.7 Rozměry pásmové propusti pro 144 MHz [7]

