

# 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

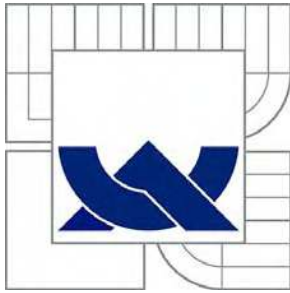
POTLAČOVAČ ECHA PODLE DOPORUČENÍ G.168

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

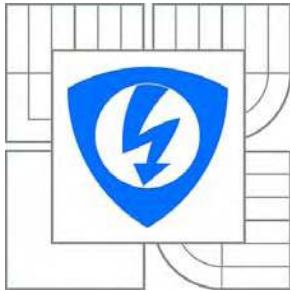
Bc. TOMÁŠ LAJTKEP

BRNO 2011



**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

## **POTLAČOVAČ ECHA PODLE DOPORUČENÍ G.168**

ECHO SUPPRESSOR ACCORDING TO G.168 RECOMMENDATION

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

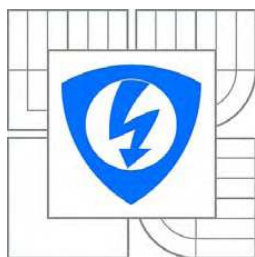
**Bc. TOMÁŠ LAJTKEP**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. PETR SYSEL, Ph.D.**

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

# Diplomová práce

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

**Student:** Bc. Tomáš Lajtkep

**ID:** 89688

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2010/2011

## NÁZEV TÉMATU:

**Potlačovač echa podle doporučení G.168**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte doporučení G.168 mezinárodní organizace ITU-T zabývající se potlačovači echa v digitálních sítích. Nastudujte především postup a podmínky testování potlačovačů. Navrhněte blokové schéma testovací aplikace pro testování potlačovačů podle uvedeného doporučení. Jednotlivé bloky implementujte jako funkce v prostředí Matlab. Sestavte celkovou aplikaci pro testování potlačovačů a otestujte její funkci na alespoň jednom typu potlačovače.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] Digital network echo cancellers. Standard ITU-T, 2010.

[2] Farhang-Boroujeny, B. Adaptive Filters. Theory and Applications. First Edition. New York, Wiley: 1998. ISBN 0-471-98337-3

[3] Talker echo and its control. Standard ITU-T, 1996.

**Termín zadání:** 7.2.2011

**Termín odevzdání:** 26.5.2011

**Vedoucí práce:** Ing. Petr Sysel, Ph.D.

**prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

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

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá podmínkami a postupem testování síťových potlačovačů echa podle doporučení ITU-T G.168. Jejím cílem je návrh testovací aplikace pro MATLAB, která provede objektivní testování jejich základních i rozšířených vlastností.

V úvodní části je rozebráno teoretické pozadí týkající se potlačovačů echa a jsou uvedeny podmínky, které je třeba vytvořit pro jejich testování. Následují postupy jednotlivých testů a v poslední části je uveden návrh testovacích funkcí a výsledné aplikace, která vypíše výsledky předloženého potlačovače do uživatelem zvoleného souboru a také nabízí možnost jejich vykreslení ve formě grafů.

## **Klíčová slova**

Potlačovač echa, CSS, konvergence, single talk, double talk, MATLAB, testovací aplikace

## **Abstract**

This master's thesis deals with conditions and procedures of testing network echo cancellers according to recommendation ITU-T G.168. The point of it's interest is design of test application which will perform the objective testing their basic and extended features in MATLAB.

Theoretical section is concentrated on declaration the ground of echo cancellers and conditions of their testing. Procedures of particular tests follow in next part. The last section designs the testing function which results in entire application which tests submitted canceller and in chosen file write out the report and is also able to display results like graph.

## **Key words**

Echo canceller, CSS, convergence, single talk, double talk, MATLAB, test application

LAJTKEP, T. *Potlačovač echa podle doporučení G.168*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 95 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Sysel, Ph.D..

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Potlačovač echa podle doporučení G.168 jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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 jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 26. května 2011

.....

podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Syslovi, Ph.D. za účinnou metodickou a odbornou pomoc při zpracovávání diplomové práce.

Dále děkuji své rodině a přítelkyni za podporu při studiu a zpracovávání této diplomové práce.

V Brně dne 26. května 2011

.....

podpis autora

# OBSAH

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1 POTLAČOVAČ ECHA</b> .....	<b>10</b>
1.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA .....	10
1.2 POŽADAVKY NA POTLAČOVAČ ECHA.....	11
<i>Typy potlačovačů</i> .....	11
1.3 PRINCIP ČINNOSTI POTLAČOVAČE ECHA .....	11
1.3.1 <i>Adaptivní filtrace</i> .....	13
<b>2 PODMÍNKY TESTOVÁNÍ POTLAČOVAČŮ</b> .....	<b>15</b>
2.1 TESTOVACÍ SIGNÁLY .....	15
2.1.1 <i>Šumový signál</i> .....	16
2.1.2 <i>Tóny</i> .....	16
2.1.3 <i>Faxový signál skupiny 3</i> .....	16
2.1.4 <i>CSS signál</i> .....	16
a) <i>Znělý signál</i> .....	17
b) <i>Pseudo-šumová sekvence</i> .....	17
c) <i>Pauza</i> .....	18
2.1.5 <i>CSS single talk</i> .....	18
a) <i>Znělý úsek</i> .....	18
b) <i>Pseudo – šumová sekvence (PN sekvence)</i> .....	19
c) <i>Pauza</i> .....	21
2.1.6 <i>CSS double talk</i> .....	21
2.2 OZVĚNOVÁ CESTA .....	23
2.3 MĚŘÍCÍ FUNKCE .....	25
2.3.1 <i>RMS měřič s exponenciálním filtrem</i> .....	26
2.3.2 <i>RMS měřič s posuvným trojúhelníkovým oknem</i> .....	27
<b>3 POSTUP TESTOVÁNÍ POTLAČOVAČŮ ECHA</b> .....	<b>28</b>
3.1 TEST 2A – KONVERGENČNÍ A RE-KONVERGENČNÍ TEST S POVOLENÝM ZPRACOVÁNÍM ZBYTKOVÉHO ECHA.....	28
3.1.1 <i>Konvergenční test s NLP on</i> .....	28
3.1.2 <i>Re-konvergenční test s NLP on</i> .....	30
3.2 TEST 2B – KONVERGENČNÍ A RE-KONVERGENČNÍ TEST SE ZAKÁZANÝM ZPRACOVÁNÍM ZBYTKOVÉHO ECHA.....	31
3.3 TEST 2C – KONVERGENČNÍ TEST V PŘÍTOMNOSTI ŠUMU NA POZADÍ.....	31
3.3.1 <i>konvergenční test s povoleným NLP</i> .....	32
3.3.2 <i>Potlačení echa v ustáleném stavu se zakázaným NLP</i> .....	33
3.3.3 <i>Konvergenční test se zakázaným NLP</i> .....	33
3.4 TEST 3 – ČINNOST V PODMÍNKÁCH OBOUSMĚRNÉHO PROVOZU .....	33
3.4.1 <i>Test 3A – konvergence pro nízké úrovně řeči na blízkém konci</i> .....	34
3.4.2 <i>Test 3B – stabilita při obousměrném provozu</i> .....	34
a) <i>Stabilita pro vysoké úrovně řeči na blízkém konci</i> .....	34
b) <i>Stabilita pro nízké úrovně řeči na blízkém konci</i> .....	35
3.4.3 <i>Test 3C – činnost při simulované konverzaci</i> .....	35
3.5 TEST 4 – KONTROLA „TĚSNOSTI“ POTLAČOVAČE .....	35
3.6 TEST 5 – KONVERGENCE PRO NEKONEČNÝ ÚTLUM ECHA ODRAZEM.....	36
3.7 TEST 6 – NE-DIVERGENCE NA ÚZKO-PÁSMOVÉ SIGNÁLY .....	36
3.8 TEST 7 – STABILITA POTLAČOVAČE PRO ÚZKO-PÁSMOVÝ SIGNÁL .....	37
3.9 TEST 9 – UTIŠENÝ ŠUM .....	37

3.10	TEST 10A - FAXOVÝ TEST NA STRANĚ VOLAJÍCÍ STANICE.....	38
3.11	TEST 10B – FAXOVÝ TEST NA STRANĚ VOLANÉ STANICE .....	39
3.12	TEST 12 – TEST ZBYTKOVÉHO AKUSTICKÉHO ECHA .....	40
<b>4</b>	<b>TESTOVACÍ APLIKACE.....</b>	<b>41</b>
4.1	TESTOVACÍ SIGNÁLY .....	42
4.1.1	Šumový signál .....	42
4.1.2	Tónové signály ( <i>tones.m</i> ) .....	42
4.1.3	Modulovaný signál FSK ( <i>fskm.m</i> ).....	43
4.1.4	CSS single talk ( <i>singleTalk.m</i> ).....	44
4.1.5	CSS double talk ( <i>doubleTalk.m</i> ).....	45
4.2	SIMULACE ECHA.....	45
4.2.1	Funkce ozvěnové cesty ( <i>echoPath.m</i> ).....	45
4.2.2	Vytvoření echa ( <i>echoCreation.m</i> ).....	45
4.3	MĚŘÍCÍ FUNKCE .....	46
4.3.1	Měření RMS hodnoty ( <i>rms</i> ).....	46
4.3.2	Funkce segmentace ( <i>segment_rms</i> ).....	46
4.4	ŘÍDÍCÍ FUNKCE (MAIN).....	47
4.5	POŽADOVANÁ STRUKTURA POTLAČOVAČE ECHA.....	49
4.6	FUNKCE JEDNOTLIVÝCH TESTŮ.....	50
4.6.1	Test 2A / Test 2B ( <i>test2A.m/test2B.m</i> ) .....	50
4.6.2	Test 2C – ( <i>test2Ca.m, test2Cb.m, test2Cc.m</i> ) .....	55
a)	Konvergenční test s povoleným NLP.....	55
b)	Potlačení v ustáleném stavu .....	56
c)	Konvergenční test se zakázaným NLP .....	57
4.6.3	Test 3A ( <i>test3A.m</i> ).....	57
4.6.4	Test 3B ( <i>test3B.m</i> ) .....	58
4.6.5	Test 3C ( <i>test3C.m</i> ) .....	59
4.6.6	Test 4 ( <i>test4.m</i> ).....	59
4.6.7	Test 5 ( <i>test5.m</i> ).....	60
4.6.8	Test 6 ( <i>test6.m</i> ).....	61
4.6.9	Test 7 ( <i>test7.m</i> ).....	61
4.6.10	Test 9 ( <i>test9.m</i> ).....	62
4.6.11	Test 10A ( <i>test10A.m</i> ).....	64
4.6.12	Test 10B ( <i>test10B.m</i> ).....	65
4.6.13	Test 12 ( <i>test12.m</i> ) .....	65
4.7	DOPLŇKOVÉ FUNKCE.....	67
4.7.1	Funkce výběru výstupní úrovně ( <i>vyber.m</i> ).....	67
4.7.2	Funkce výpisu do souboru ( <i>zprava.m</i> ).....	67
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>68</b>
	<b>LITERATURA.....</b>	<b>69</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....</b>	<b>70</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>71</b>



## Úvod

Jeden z negativních aspektů, který ovlivňuje kvalitu telefonního hovoru, je eventuelní přítomnost telefonního echa. Je to ozvěna slov mluvčího, která na jeho straně působí rušivě.

Telefonní echo lze rozdělit do dvou kategorií. Je to akustické echo a elektrické echo (to bývá někdy v literatuře označováno jako hybridní). **Akustické echo** je způsobeno částečným přenosem hlasu ze sluchátka zpět do mikrofону telefonního přístroje, například při tzv. hlasitém odposlechu. **Elektrické echo** je způsobeno odrazem hovorového signálu ze strany naslouchajícího účastníka zpět k hovořícímu. Toto echo tedy na rozdíl od akustického vzniká na straně naslouchajícího účastníka, ale nepříznivě se projevuje na straně hovořícího. Obě složky echa jsou významné obzvláště ve VoIP sítích, kde se echo projevuje jako velice rušivé vzhledem k realizaci volání pomocí paketových přenosů hovorového signálu.

V této práci bude věnována pozornost elektrickému echu. Konkrétní místo, kde vzniká, je nevyvážená telefonní vidlice, kde přechází telefonní vedení z 4drátu na 2drát, tedy typicky v místě připojení analogového telefonu. V klasických telefonních sítích se kombinace elektrického a akustického echa téměř neprojevuje, protože celková doba přenosu hovorového signálu i zpětného echa je nižší než 2 ms pro vnitrostátní spoje a nižší než 20 ms pro kontinentální spoje. Tyto délky vzájemného zpoždění obou signálů jsou mimo oblast vnímání lidského sluchu, takováto ozvěna tedy nepůsobí rušivě. V digitálních sítích je však další značné vzájemné zpoždění hovorového signálu a zpětného echa způsobeno paketizačním zpožděním a často narůstá nad dobu povolenou pro vzájemné zpoždění těchto dvou signálů, tedy se v nich již rušivý efekt echa projevuje.

Protože v praxi nelze v digitálních sítích zabránit vzniku echa, je nutné potlačovat jeho nepříznivý vliv na kvalitu hovorů. Mezi jednotlivými sítěmi je doporučeno používat zařízení pro potlačování ozvěn, tzv. **digital network echo cancellers** (potlačovače ozvěn v digitálních sítích). Jejich použití vzrůstá a lze je najít na téměř všech spojeních na dlouhé vzdálenosti. Lze již také říci, že úplně nahrazují dřívější použití odrušovačů ozvěn (echo suppressors).

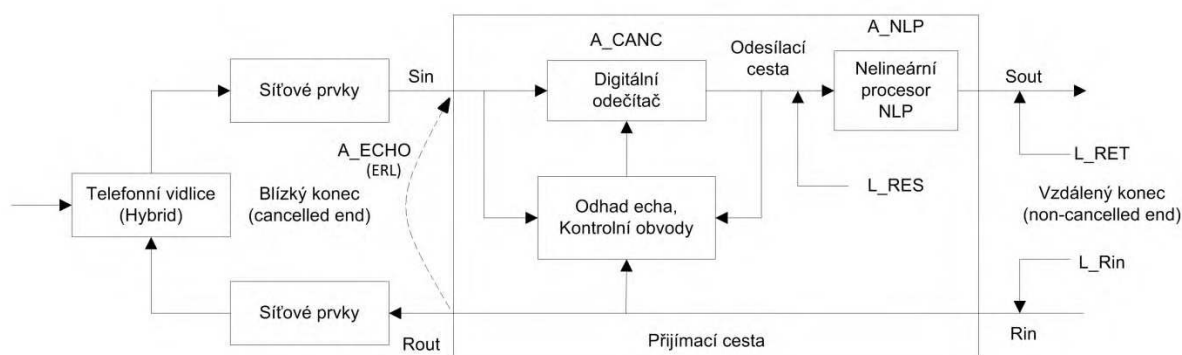
Pro správnou funkci potlačovače v digitální síti byly vyvinuty testy, které prověřují jeho základní i rozšířené vlastnosti. Vzhledem k použití potlačovačů na mezinárodních spojích je nutná vzájemná kompatibilita jednotlivých zařízení. Platí, že pokud potlačovač, který je navržený podle doporučení [1], splní požadavky testů v něm uvedených, je kompatibilní se všemi ostatními potlačovači. V uvedeném doporučení jsou definovány objektivní testy, které však nenahrazují potřebu subjektivních testů, kdy lidský faktor hodnotí kvalitu zpracovaného signálu. Navíc, pokud zařízení projde těmito testy, nemělo by rušit ostatní zařízení, ani způsobovat degradaci přenosu hlasových dat pod přijatelnou úroveň.

Cílem této práce je navrhnout testovací aplikaci pro MATLAB, která provede objektivní testování předloženého potlačovače echa. V práci je nejdříve probráno teoretické pozadí těchto testů a následně je v praktické části provedena jejich implementace.

# 1 Potlačovač echa

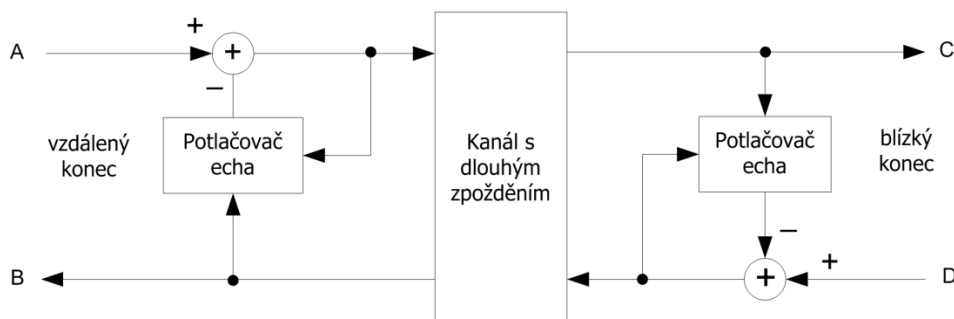
## 1.1 Základní charakteristika

Potlačovač echa je adaptivní číslicový filtr, který pracuje s hovorovým (hlasovým) signálem a je používán ke kontrole echa. Typicky je umístěn v 4drátové části obvodu, která může představovat samostatnou obvodovou cestu nebo cestu nesoucí multiplexovaný signál. Potlačovač echa je z hlediska své konstrukce vlastně „poloviční“ potlačovač, protože proces potlačení echa probíhá v odesílací cestě následkem signálu přítomného v přijímací cestě. To znamená, že úplný potlačovač echa se skládá ze dvou „polovičních“ potlačovačů pro oba směry provozu. Princip činnosti je popsán v části 1.3. Základní schéma potlačovače a jeho začlenění do přenosového řetězce spolu s místy úrovní a ztrát podle [1] je uvedeno na Obr. 1.1.



Obr. 1.1: Základní schéma potlačovače echa.

Schéma přenosového řetězce spolu s přítomností potlačovačů pro oba směry je uvedeno na Obr. 1.2. Potlačovač echa by měl být vždy umístován co nejbližší ke zdroji ozvěnového signálu (echa), a tedy podle následujícího obrázku má potlačovač na blízkém konci za úkol potlačení echa způsobeného signálem přicházejícím ze vzdáleného konce, a naopak potlačovač na vzdáleném konci má za úkol potlačení echa, které vznikne následkem řečového signálu přicházejícího z blízkého konce.



Obr. 1.2: Začlenění potlačovačů echa pro oba směry přenosu.

## 1.2 Požadavky na potlačovač echa

Základní požadavky na potlačovač echa jsou:

- rychlá konvergence<sup>1</sup>,
- nízká úroveň vráceného echa během jednosměrného provozu (Single talk),
- nízká divergence během obousměrného provozu (Double talk), tj. během přítomnosti řeči na blízkém konci,
- zajištění detekce obousměrného provozu a detekce řeči ze vzdáleného konce,
- správná funkce během přenosu faxových signálů a signálů s nízkou bitovou rychlostí (< 9.6 kbit/s).

Potlačovač echa může zůstat aktivní i pro několik nehlasových signálů, především pro přenos faxových dat skupiny 3 (*Group 3 facsimile data*) a pro data telefonního pásma s nízkou rychlostí (< 9.6 kHz). Naopak by potlačovač měl být zakázán během přenosu signálů, které ověřují kontinuitu spojení – tyto signály jsou definovány v lit. [6] a [7].

### Typy potlačovačů

Potlačovače echa jsou navrhovány ve 3 variantách – linkové, síťové a paketové. Odlišnost těchto typů spočívá v délce zpoždění ozvěnového signálu, které by potlačovač měl být schopen potlačit.

- a) **Linkový potlačovač** (*LEC – Line Echo Cancellor*) je navrhován pro zařízení, která obsahují hybridní obvod převodu 4drátu na 2drát. Taková zařízení obsahují také buď analogový telefonní adaptér (ATA), nebo FXO (*Foreign Exchange – Office*) či FXS (*Foreign Exchange - Subscriber*) rozhraní.
- b) **Síťový potlačovač** (*NEC – Network Echo Cancellor*) je navrhován pro činnost v částech síťových zařízení, ve kterých není přítomen zdroj echa. Echo vzniká až v samotné digitální síti. Zařízeními, která vyžadují tento typ potlačovače, jsou např. VoIP brány s digitální sběrnici (*digital trunk*).
- c) **Paketový potlačovač** (*PEC – Packet Echo Cancellor*). Tento typ je schopen potlačovat jak elektrické, tak akustické echo, které pochází z hlasitého odposlechu. Bližší popis je uveden v [10].

V této práci bude věnována pozornost testům pro síťové potlačovače echa (NEC). Podle dostupných pramenů bývají navrhovány pro zpoždění  $\Delta = 16$  ms, 32 ms, 64 ms a 128 ms.

## 1.3 Princip činnosti potlačovače echa

Potlačovač echa má několik podstatných částí. Všechny jsou vykresleny v blokovém schématu přejatém z [1] na Obr. 1.1.

Části potlačovače echa:

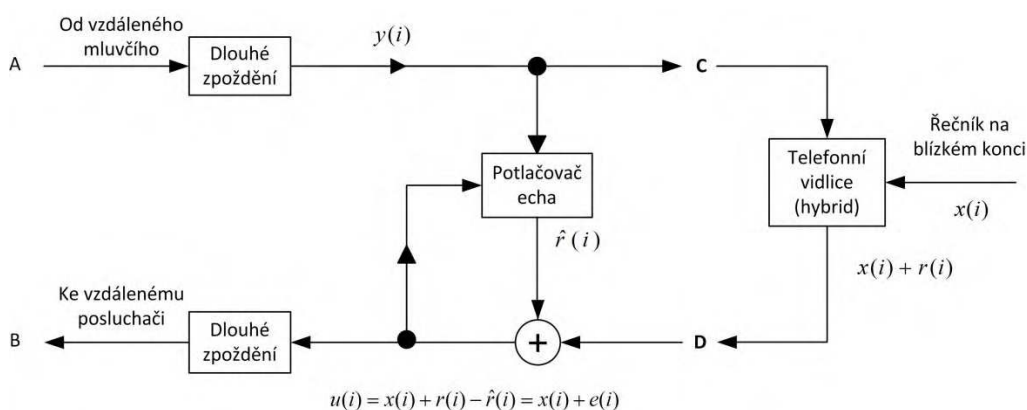
---

<sup>1</sup> Konvergence na začátku volání by měla být rychlá z toho důvodu, aby byla subjektivně nepostřehnutelná.

- **blok odhadu echa** – může být řešen například pomocí LMS (Least Mean Square) adaptivního FIR filtru (koeficienty FIR filtru jsou dále nazývány jako tzv. H registr),
- **kontrolní část,**
- **digitální odečítač** – odečítá odhad echa od užitečného signálu, ve kterém se nachází i echo,
- **NLP (Non-linear processor)** – tento obvod slouží pro zpracování zbytkového echa po potlačení (má tedy doplňkovou funkci). Jedním ze způsobů jeho realizace je centrální ořezávač. Pokud je NLP zapnut, blokuje signály o nízké úrovni a propouští signály o vysoké úrovni.

Prvotním úkolem potlačovače echa je kontrola ozvěny řečového signálu. Potlačovač používá k tomuto procesu odhad ozvěnového signálu, který je následně odečten od signálu echa. Odhad echa je vygenerován aplikací řečového signálu, který přichází podle Obr. 1.1 ze vzdáleného konce na vstup  $R_{in}$  potlačovače, na vnitřní adaptivní strukturu, jejíž výstup je odečítán od signálu echa a z výsledku odečtení vstupního a ozvěnového signálu je generována chyba, na jejímž základě jsou upravovány parametry tohoto adaptivního systému. Jeden z možných postupů jeho realizace, LMS adaptivní filtrace, je uveden v odstavci 1.3.1. Princip činnosti spolu s rovnicemi, které jej charakterizují, je uveden na Obr. 1.3. Zde je zobrazena část 4drátového spojení v blízkosti 2drátového rozhraní (*telefonní vidlice – hybrid*). Mezi porty A, C probíhá přenos hlasu od vzdáleného konce k blízkému konci a mezi porty D, B přenos ve směru opačném. Signál od mluvčího na vzdáleném konci je označen  $y(i)$ , nežádoucí signál echa  $r(i)$  a signál mluvčího na blízkém konci  $x(i)$ .

Adaptivní filtr, kterým je potlačovač echa realizován, používá jako referenční signál k odhadu echa signál přicházející ze vzdáleného konce –  $y(i)$ . Odhad echa produkovaný adaptivním filtrem je na Obr. 1.3 označen  $\hat{r}(i)$ . Tento odhad je odečten od signálu, který je tvořen řečí z blízkého konce a echa ( $x(i) + r(i)$ ), a je tak docíleno signálu  $u(i)$ . Chyba potlačení echa je vyjádřena jako  $e(i) = r(i) - \hat{r}(i)$ . V ideálním případě by tato chyba měla být po proběhnutí adaptace filtru (a současně potlačení echa) velice malá – hledána je vždy nejnižší chyba.



**Obr. 1.3: Začlenění a princip činnosti potlačovače echa pro jeden směr provozu.**

O situaci jednosměrného provozu, která je nazývána *Single talk*, lze mluvit pouze v případě, kdy řečník na blízkém konci (z pohledu potlačovače echa) neprodukuje žádný

řečový signál. V tomto případě vzniká echo na blízkém konci a je šířeno zpět k mluvčímu na vzdáleném konci. O odrazech odrazů echa je již v literatuře pouze zmínka, že se příliš nevyskytují.

V případě, že je řeč produkována na obou koncích přenosového řetězce, mluvíme o případě obousměrného přenosu – *Double talk*. Pro tento případ je nutná přítomnost potlačovače echa na každé z účastnických stran. Tato situace je podle schématu uvedeného v [5] zobrazena na Obr. 1.2.

### 1.3.1 Adaptivní filtrace

Jak již bylo zmíněno, proces potlačení echa probíhá odečtením odhadu echa od aktuálního echa v daném obvodu. Samotný odhad je generován aplikací referenčního řečového signálu, přicházejícího od vzdáleného mluvčího souhlasně se situací na Obr. 1.3 na příčný filtr, jehož koeficienty jsou upravovány na základě chyby odhadu.

U klasických FIR a IIR filtrů je předpoklad znalosti parametrů filtračního procesu, neboli předběžná znalost a neměnnost koeficientů přenosové funkce. Změna těchto parametrů během provozu je možná, nicméně je opět předem známa. Pro potřebu potlačení echa však předchozí předpoklady splněny nejsou, a tak je nutné, aby byl daný filtr schopen přizpůsobení na aktuální stav ozvěny v obvodu a aby výsledky adaptace byly, bez ohledu na změny v čase, stabilní a co možná nejlepší.

Potlačovač echa lze realizovat např. pomocí adaptivní struktury, která vychází z tzv. Wienerova filtru, jehož struktura je obecně známa a je možné jí najít např. v [3] spolu se všemi detaily odvození důležitých vztahů. Konkrétní realizací potlačovače echa může být LMS adaptivní filtr doplněný o další nutné části podle [1].

### LMS algoritmus

Tento algoritmus byl navržen s ohledem na co nejjednodušší implementaci a nízkou výpočetní náročnost. Vychází z metody největšího spádu, kde je místo gradientu použit pouhý odhad. Na základě chyby odhadu a konvergenční konstanty jsou iterativně měněny hodnoty vah celého FIR filtru. Maticové vyjádření vztahu pro iterativní úpravy koeficientů ve směru optima je uvedeno vzorcem (1.1).

$$w_k(n+1) = w_k(n) + \mu e(n)x(n-k) \quad \text{pro } k = 0, 1, \dots, K-1, \quad (1.1)$$

kde  $\mu$  je konvergenční konstanta,

$K$  je délka FIR filtru,

$w_k(n)$  je  $k$ -tá váha FIR filtru,

$e(n)$  je chyba odhadu,

$x(n)$  je vstupní signál.

Konvergenční konstanta určuje velikost kroku změny každého koeficientu filtru, s čímž se pojí rychlost konvergence i stabilita samotného filtru. Obecně lze říci, že menší konstanta znamená stabilnější filtr, lepší schopnost sledování změn systému, ale také horší

schopnost rychle reagovat na větší změny. Vyšší konstanta dovoluje přiměřeně reagovat na prudké změny v systému, ale snadno může také dojít k zabránění dosažení minima chyby. Velikost konstanty bývá většinou nastavena na začátku algoritmu a doporučení pro volbu její velikosti je dáno rovnicí 1.2.

$$\frac{0,01}{K \cdot E[y^2(i)]} < \mu < \frac{0,1}{K \cdot E[y^2(i)]} \quad (1.2)$$

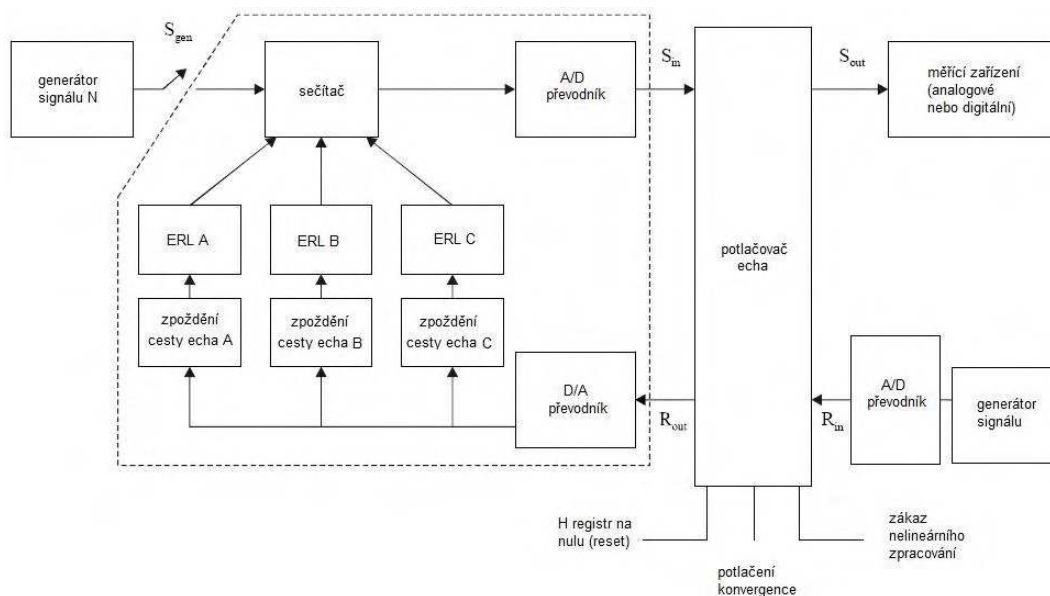
kde  $K$  je délka FIR filtru,  
 $E[y^2(i)]$  je energie signálu  $y(i)$ ,  
 $\mu$  je konvergenční konstanta.

Velikost konvergenční konstanty je tedy nepřímo úměrná energii referenčního signálu  $y(i)$  a počtu koeficientů filtru  $K$ .

## 2 Podmínky testování potlačovačů

Všechny testy jsou definovány jako laboratorní, tedy nejsou definovány pro běh za provozu potlačovačů. Tyto testy jsou objektivní a nijak neeliminují potřebu subjektivních testů pro měření vnímané kvality potlačovačů. Potlačovače echa jsou komplexní zařízení s velkým množstvím parametrů a jejich vzájemný vliv na subjektivní kvalitu je velice těžké specifikovat.

Pro testování potlačovačů echa je vyžadováno rozhraní pro přístup k 4 nosným signálům ( $R_{in}$ ,  $R_{out}$ ,  $S_{in}$ ,  $S_{out}$ ) a kontrolní rozhraní pro ovládání potlačovače během testu. Schéma celého měřicího řetězce je uvedeno na Obr. 2.1. V testech je pro situaci testování v podmínkách jednosměrného přenosu (*Single talk*) generátorem signálu napájen vstup potlačovače  $R_{in}$  a následně je měřena úroveň signálu na výstupu  $S_{out}$ . Pro měření chování potlačovače v podmínkách obousměrného přenosu (*Double talk*) jsou požadované signály na  $R_{in}$  a  $S_{gen}$  a je měřena úroveň signálu na výstupu  $S_{out}$  potlačovače. Měření všech signálů během testu probíhá pomocí měřiče podle [1].



Obr. 2.1: Schéma testování potlačovačů echa.

### 2.1 Testovací signály

Pro jednotlivé testy potlačovačů echa jsou vyžadovány rozdílné signály. Jsou to šumové, tónové, faxové signály skupiny 3 a podskupina složených zdrojových signálů, které jsou vygenerovány tak, aby jejich výkonová spektrální hustota byla podobná řečovým signálům. Tyto poslední signály jsou vyžadovány pro testy, které simulují situace jednosměrného a obousměrného přenosu hlasu.

### 2.1.1 Šumový signál

V testech, pro které je vyžadován šumový signál, je generován bílý šum, který je podle popisu v [11] kmitočtově omezen pro pásmo 300 Hz až 3400 Hz. Pro tuto filtraci je využita síť kmitočtového vážení, která je používána také pro měření signálů v části 2.3.

### 2.1.2 Tóny

Pokud jsou pro některé testy vyžadovány tónové signály, je v daném testu uvedena sekvence kmitočtů pro dané tóny, jejich vzájemná úroveň v dB i doba trvání, po kterou má být daný tón aplikován na vstup potlačovače echa.

### 2.1.3 Faxový signál skupiny 3

V testech vyžadujících faxový testovací signál jsou používány signály faxové skupiny 3. Tato sekvence je složena z následujících částí:

- a) *tón volajícího (Calling tone - CNG)* – signál má kmitočet  $1100 \text{ Hz} \pm 38 \text{ Hz}$  a délku trvání 3,5 s, kdy je po dobu 0,5 s v poloze zapnuto (on) a po dobu 3 s v poloze vypnuto (off). Polohy jsou odlišeny úrovní daného tónu,
- b) *tón identifikace volané stanice (Called station identification – CED)* – signál o kmitočtu  $2100 \text{ Hz} \pm 15 \text{ Hz}$  a délce trvání 2,6 – 4 s,
- c) *binární sekvence zařízení na obou stranách daného spojení:*
  - a. Sekvence č. 1 (volaná stanice)
  - b. Sekvence č. 2 (volající stanice)

Tyto sekvence představují podle [9] proces navazování spojení (*handshaking*) a ve faxové komunikaci jsou přenášeny před a po přenosu každé stránky. Jejich struktura je uvedena v [1] ve stati věnované testu č. 10 (*facsimile test*).

Přenos sekvencí č. 1 a č. 2 v telefonním kanálu je proveden pomocí kmitočtového klíčování FSK (**F**requency **S**hift **K**eying). Charakteristické parametry pro přenos těchto sekvencí jsou:

- synchronní přenosový mód s rychlostí 300 bit/s,
- střední kmitočet přenosu  $f_c = 1750 \text{ Hz}$ ,
- odchylka od středního kmitočtu  $\Delta f = \pm 100 \text{ Hz}$ ,
- charakteristické kmitočty pro odlišení signálů log. 0 a log. 1 pomocí kmitočtové modulace jsou:
  - 1850 Hz pro log. 0 a 1650 Hz pro log. 1.

### 2.1.4 CSS signál

*Composite Source Signals*, neboli složené zdrojové signály uvedené pro potřeby testování potlačovačů echa v [1] jsou podskupinou širšího spektra složených zdrojových signálů, které jsou popsány v doporučení [2]. Uvedená podskupina signálů je definována rozdílně pro testování v podmínkách jednosměrného a obousměrného přenosu hlasu.



Základní stavební bloky těchto signálů lze rozdělit na dvě skupiny – znělé a neznělé zvuky. Obvykle bývá požadováno, aby zařízení, která zpracovávají řečové signály a jsou vybavena detektory řeči, zůstala aktivní při přítomnosti znělých nebo neznělých zvuků, zatímco ostatní signály mohou zajišťovat udržování, anebo naopak vyvolávat přerušování, přenosu dat v dané síti.

Při sestavování složeného zdrojového signálu byly 3 části posouzeny jako zvláště důležité. Je to **znělý signál** pro simulaci hlasových vlastností, **deterministický signál** s konstantní výkonovou spektrální hustotou pro měření přenosových vlastností bez statistických chyb a **pauza**. Všechny tyto části se vyskytují i v přirozené řeči. Při použití takových signálů plyne z jejich vlastností krátká perioda měření a napájení v případě testovacího signálu pro řečnický i posluchačský směr ve stejném čase (duplexní činnost).

Základní idea použití těchto signálů je podle [2] přivedení zařízení pro testování do dobře definovaného a opakovatelného stavu na dobu měření a také zajištění, aby se přenosová funkce během aktuálního měření zřetelně neměnila v čase – tedy zajištění tzv. kvazistacionarity.

#### **a) Znělý signál**

Tato část složeného zdrojového signálu je vytvořena z „umělé řeči“. Umělá řeč či umělý zvuk (*artificial voice*) je podle definice v [8] signál, který je přesně matematicky definován a který napodobuje časové a spektrální vlastnosti takového vzorku řeči, který významně ovlivňuje výkon telekomunikačních systémů. Umělé zvuky jsou definovány ve dvou kategoriích: ženská a mužská řeč. Mohou být definovány jak v elektrické, tak v akustické podobě.

Znělý signál je v [2] definován v elektrické podobě a je v celé sekvenci přítomen za účelem aktivace řečových detektorů, které se mohou vyskytovat v zařízeních pracujících s hlasovým signálem a také kvůli napodobení znělých úseků, které se vyskytují ve skutečné řeči. U této znělé části signálu je známa doba trvání sekvence, stejně jako její začátek a konec. Podle [1] tedy může být tento signál použit i k měření přepínacího času pro směr přenosu také za běhu testu potlačovače echa. Stejně tak je možné prostřednictvím tvaru tohoto signálu v časové oblasti určit zpoždění celého systému. Délka znělé sekvence je zhruba 50 ms.

#### **b) Pseudo-šumová sekvence**

Druhá část složeného zdrojového signálu je měřicí signál, který má vlastnosti podobné šumovým signálům. Je tedy náhodný a jeho výkonová spektrální hustota je, v případě pásmově neomezené sekvence, konstantní. Z hlediska spektrální oblasti lze říci, že velikost jeho Fourierovy transformace je v celém kmitočtovém pásmu konstantní, zatímco fáze se mění.

Signál je generován ve dvou krocích. Nejprve je vytvořeno komplexní spektrum v kmitočtové rovině podle rovnice (2.1) a následně je převedeno do časové oblasti pomocí zpětné Fourierovy transformace, podle rovnice (2.2).

$$H(k) = W(k) \cdot e^{j \cdot i_k \cdot \pi}; k = -\frac{M}{2}, \dots, \frac{M}{2}, \text{ kromě } 0 \quad (2.1)$$

kde  $H(k)$  je spektrální funkce signálu,

$W(k)$  je amplituda spektrální funkce,

$i_k$  je generováno náhodně z hodnot  $\{+1, 0\}$  a platí rovnost  $i_k = -i_{-k}$ ,

$M$  vyjadřuje počet bodů FFT (rychlá Fourierova transformace).

Velikost generovaného spektra je možno regulovat pomocí konstanty  $W(k)$ , která je implicitně volena rovna 1 pro všechny kmitočty, zatímco fáze je podle hodnoty  $i(k)$  buď  $\pi$ , nebo 0 pro každý kmitočet.

$$S(n) = \frac{1}{M} \sum_{k=-\frac{M}{2}, k \neq 0}^{\frac{M}{2}} H(k) \cdot e^{\frac{j \cdot 2\pi \cdot n \cdot k}{M}}; n = -\frac{M}{2}, \dots, \frac{M}{2} - 1, \quad (2.2)$$

Kde  $S(n)$  je časová funkce signálu,

$M$  je délka signálu korespondující s délkou Fourierovy transformace,

$H(k)$  je spektrální funkce signálu.

Takto je vytvořen časově omezený signál, jehož délka odpovídá zvolené délce FFT. Pro dosažení delší sekvence je možné signál opakovat a tak vytvořit posloupnost jakékoliv délky. Požadovaná doba trvání měřícího signálu je 200 ms.

### c) Pauza

Přítomnost pauzy ve složeném zdrojovém signálu má 2 účely. Za prvé, úvodní pauza před aplikací jakéhokoliv měřícího signálu je nezbytná pro uvedení systému s časově proměnnou přenosovou funkcí do stanoveného výchozího stavu. V tomto smyslu by pauza měla být co nejdelší, podle doporučení více než 1 s. Mezilehlé pauzy v aktivním stavu by měly být kratší, doporučují se okolo 100 ms. Tyto pauzy mají zajistit vhodnou amplitudovou modulaci celé sekvence složeného zdrojového signálu. Délka trvání je volena v rozsahu 100 až 150 ms.

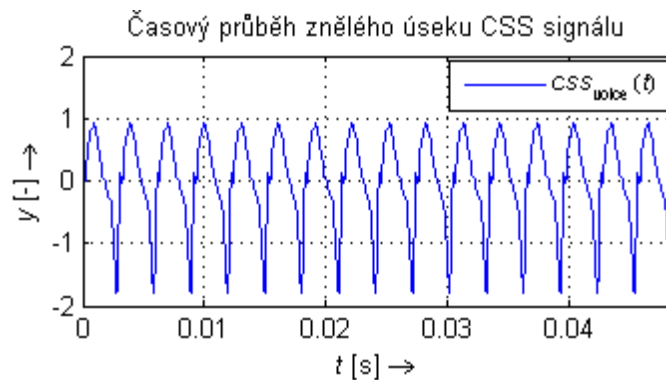
## 2.1.5 CSS single talk

Tato část obsahuje již výsledky realizace funkce, která je popsána dále v části 4.1.4. Z hlediska vytvoření podmínek pro testování je uvedení výsledků návrhu signálů podstatné.

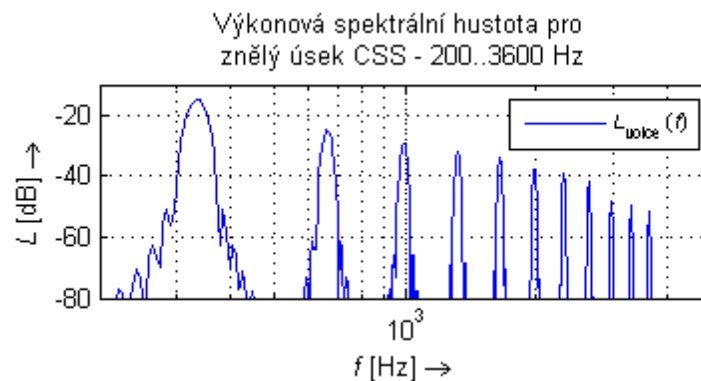
### a) Znělý úsek

Pro znělý úsek složeného zdrojového signálu je v [1] uvedena tabulka 134 hodnot, které vyjadřují průběh signálu omezeného v pásmu 200 Hz až 3600 Hz. Při vzorkovacím kmitočtu 44,1 kHz je délka trvání takové sekvence 3,04 ms. Tato sekvence je opakována 16 krát a je tak dosaženo délky průběhu 48,62 ms. Průběh znělého úseku je uveden na Obr. 2.2 a jeho výkonová spektrální hustota na Obr. 2.3<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Pro zobrazení spektrální hustoty je použito Hannovo okno.



Obr. 2.2: Znělá část CSS signálu.



Obr. 2.3: Pásmově omezený znělý úsek CSS signálu.

#### b) Pseudo – šumová sekvence (PN sekvence)

Tato sekvence, během níž probíhá měření vlastností potlačovače echa, je generována pomocí FFT algoritmu pro 2048 nebo 8192 bodů. Zvolena byla hodnota 8192 bodů. Spektrální průběh PN sekvence je generován podle vzorce (2.1) pro pásmo 0 Hz až 20 kHz. Pro vzorkovací kmitočet 44,1 kHz a  $N = 8192$  hodnot FFT to znamená kmitočtové rozlišení algoritmu  $\Delta f = \frac{f_{vz}}{N} = \frac{44100}{8192} = 5,383$  Hz, a to v kmitočtovém rozsahu 0 Hz až 20 kHz znamená  $k = 3715$  hodnot, pro které bude měněna fáze signálu. Ta je ve vzorci (2.1) reprezentována parametrem  $i_k$ . Vygenerování hodnot tohoto parametru je provedeno pomocí funkce `randi`, která je důkladně popsána v MATLABu a produkuje náhodné hodnoty ze zvoleného oboru hodnot s rovnoměrným rozložením pravděpodobnosti jejich výskytu. Hodnota amplitudy  $W(k)$  je v této fázi generování volena konstantní pro všechny kmitočty a je uvedena v [1].

Následně je takto vygenerovaná sekvence převedena do časové roviny pomocí funkce zpětné Fourierovy transformace, viz vzorec (2.2) – v MATLABu může být použita funkce `ifft`, a filtrována pro pásmo 200 Hz až 3600 Hz.

Kmitočtová charakteristika filtru, který je pro toto pásmové omezení použit, je uvedena na Obr. 2.4. Tato charakteristika je velice specifická, protože má v propustném pásmu zesílení a navíc je v poměrně úzkém pásmu, mezi kmitočty 100 Hz a 200 Hz, charakteristická vysokou strmostí přechodu z nepropustného do propustného pásma, viz Tab. 2.1. Protože není nutné provádět generování testovacích signálů v reálném čase (za běhu aplikace), je možné zvolit pro návrh takové přenosové charakteristiky extrémní

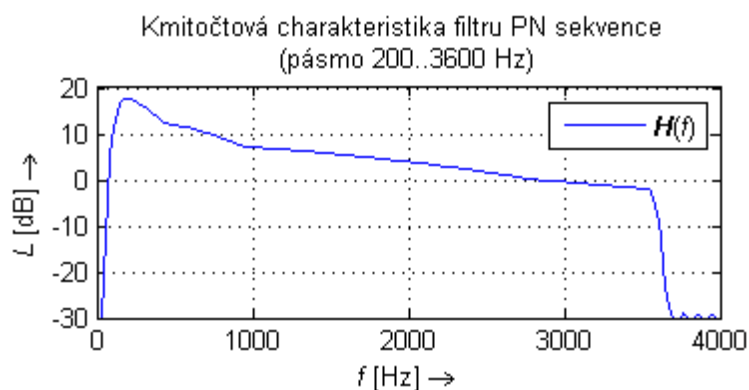
délku filtru ( $N = 1000$ ). V opačném případě by bylo nutné zvolit jinou metodu, např. rozdělit tuto charakteristiku na dvě a navrhnout zvlášť filtr typu dolní propust a filtr typu horní propust, jejichž kmitočtové charakteristiky by následně byly konvolucí spojeny do požadované.

Tab. 2.1: hodnoty přenosové funkce filtru pro PN sekvenci.

f [Hz]	50	100	200	215	500	1000	2850	3600	3660	3680
L [dB]	-25.8	-12.8	17.4	17.8	12.2	7.2	0	-2	-20	-30

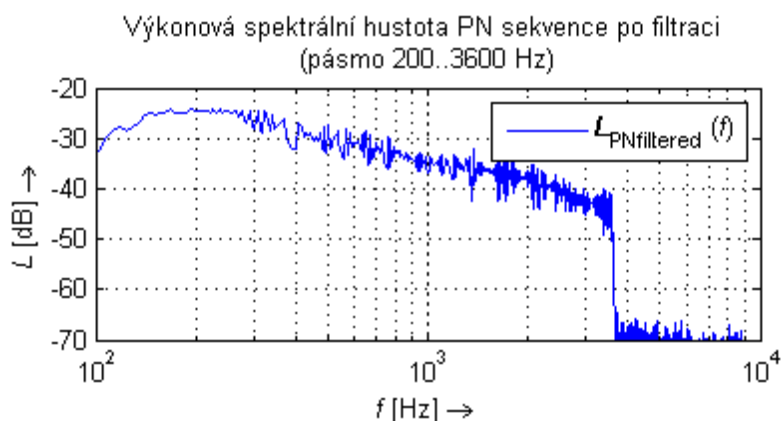
Pro návrh této kmitočtové charakteristiky byla použita funkce `fir2`, která představuje metodu vzorkování kmitočtové charakteristiky. Zdrojový kód je uveden níže.

```
f = [50 100 200 215 500 1000 2850 3600 3660 3680];
A = 10.^([-25.8 -12.8 17.4 17.8 12.2 7.2 0 -2 -20 -30]/20);
N = 1000;
h = fir2(N, [0, f/(fs/2), 1], [1e-2, A, 1e-2]);
```



Obr. 2.4: Kmitočtová charakteristika filtru pro pásmové omezení PN sekvence.

Po filtraci je nutné dbát na fakt, že úvodní část (až  $N$  vzorků, kde  $N$  je délka filtru) odfiltrované sekvence je zkreslena přechodovým jevem, a tedy je nutné tyto vzorky „zahodit“ a nahradit jinými. Proto je z celé sekvence odstraněno úvodních  $N$  vzorků a o tuto část je sekvence při opakování prodloužena. Pro dosažení délky 200 ms musí být sekvence opakována 1,077 krát. Výkonová spektrální hustota pásmově neomezené pseudo-šumové sekvence je konstantní. Po pásmovém omezení uvedeným charakteristickým filtrem vypadá její výkonová spektrální hustota podle Obr. 2.5.

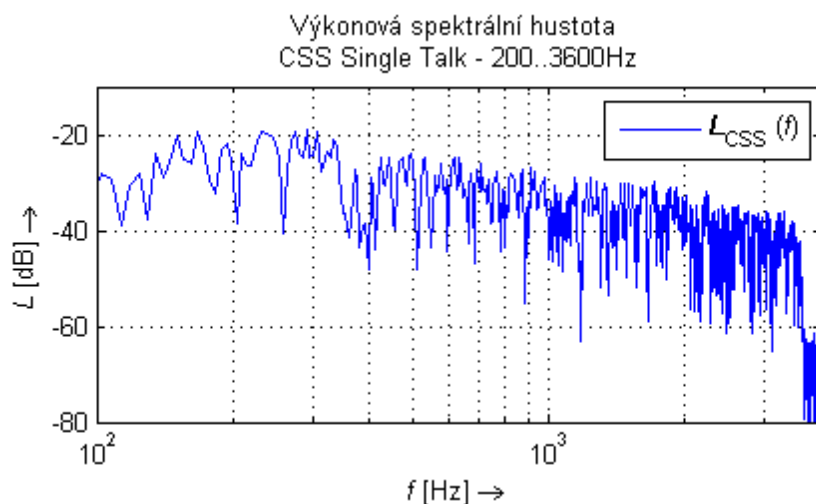


Obr. 2.5: Výkonová spektrální hustota pásmově omezené PN sekvence.

### c) Pauza

Doba trvání pauzy doplňuje délku celého signálu na 350 ms a simuluje také přítomnost pauz ve skutečném řečovém signálu.

Podle požadavku schematického znázornění z doporučení [1] je ještě jednou celá sekvence zopakována a tak má celý signál CSS Single talk délku trvání 700 ms. Výkonová spektrální hustota celého signálu Single talk včetně pauzy je na Obr. 2.6.



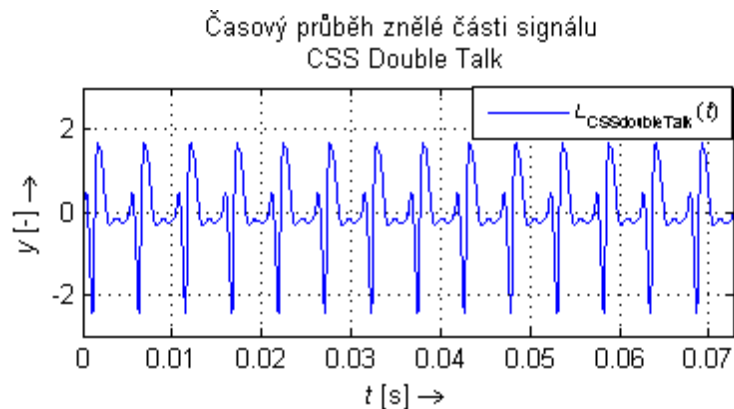
Obr. 2.6: Výkonová spektrální hustota úzko-pásmového CSS Single talk signálu.

### 2.1.6 CSS double talk

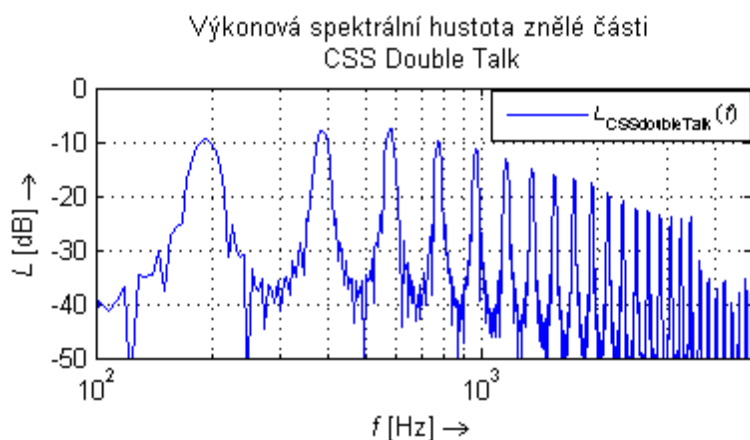
Stejně jako předchozí signál, je i tento složen ze tří částí. Oproti předchozímu se liší délkami jednotlivých sekvencí a tím, že všechny části jsou přizpůsobeny tak, aby simulovaly podmínky, které jsou v telefonním kanálu při obousměrném přenosu hlasu. Korelace mezi signálem Single talk a Double talk je nízká, a to především z důvodu volby jiného znělého úseku, který má odlišný kmitočet. Místo pseudo-šumové (*PN – pseudo-noise*) sekvence je zde generován náhodný šumový signál. Délka znělého úseku je 72,69 ms, délka náhodného signálu je 200 ms a pauza celou sekvenci doplňuje na celkovou délku 400 ms. Podle principiálního nákresu tohoto signálu v [1] je tato sekvence ještě jednou zopakována tak, aby celý testovací signál Double talk měl délku trvání 800 ms.

Protože u tohoto signálu již není komplikovanější část vytváření pseudo-šumové sekvence, je možné zkrátit popis generování signálu pouze na zobrazení průběhu znělé části signálu, který je uveden v [1] a na stanovení výkonu šumového signálu. Šumový signál je, podobně jako byla u předchozího signálu tvořena pseudo-šumová sekvence, generován nejprve pro pásmo 0 Hz až 20 kHz a následně je omezen na úzko-pásmový šum. Filtrace však v daném pásmu 200 Hz až 3600 Hz opět neprobíhá rovnoměrně, ale je použit filtr, jehož kmitočtová charakteristika je zobrazena na Obr. 2.4, a která byla použita i v případě předchozího CSS Single talk signálu.

Časový průběh znělé části CSS Double talk je na Obr. 2.7 a její výkonová spektrální hustota na Obr. 2.8.

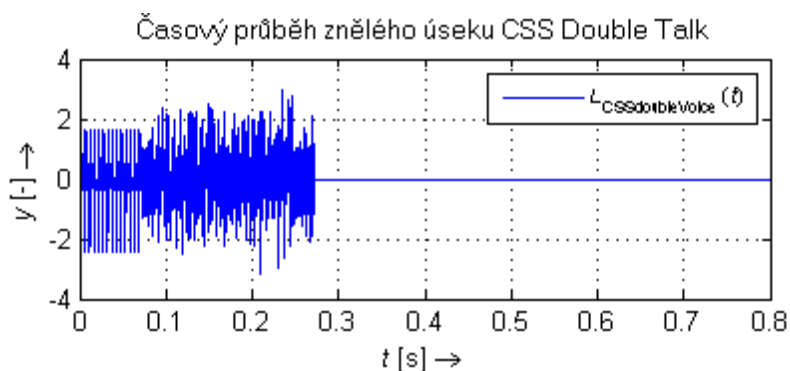


Obr. 2.7: Časový průběh znělé části signálu CSS Double talk.

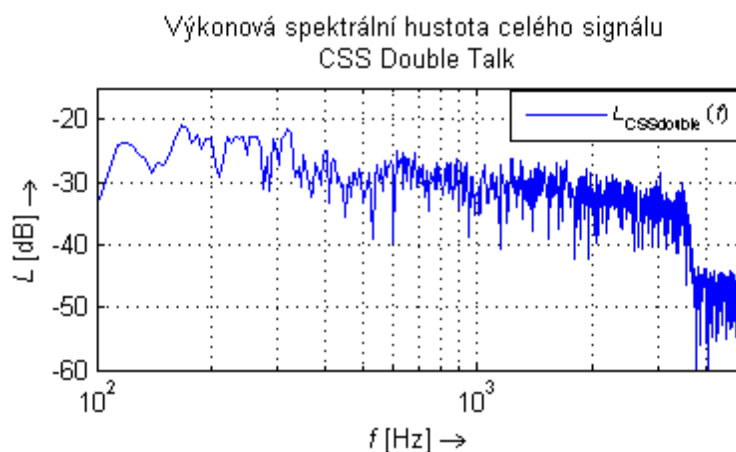


Obr. 2.8: Výkonová spektrální hustota znělého úseku CSS Double talk.

Úroveň náhodného signálu (bílého šumu) má být podle [1] volena tak, aby jeho efektivní (*RMS - Root Mean Square*) hodnota byla shodná s efektivní hodnotou výkonu znělé části. Proto byla po vygenerování znělé část změřena funkcí `rms`, jejíž návrh je předmětem části 2.3 a realizace v části 4.3.1, a která určila hodnotu  $L_{voice\_rms} = -9,6922$  dBm. Tato hodnota byla dosazena do funkce `wgn`, která je předdefinována v MATLABu a generuje průběh bílého šumu s Gaussovským rozložením pravděpodobnosti. Výsledný časový průběh signálu Double talk, včetně pauzy, je uveden na Obr. 2.9. Odpovídající výkonová spektrální hustota je na Obr. 2.10.



Obr. 2.9: Signál CSS Double talk.



Obr. 2.10: Výkonová spektrální hustota celého signálu CSS Double talk.

## 2.2 Ozvěnová cesta

Ozvěnová cesta (*echo path*) je přenosová cesta mezi porty  $R_{out}$  a  $S_{in}$  potlačovače echa a podle Obr. 1.1 lze také z pohledu potlačovače echa doplnit, že je to cesta mezi vstupem a výstupem telefonní vidlice, tedy místem kde elektrické echo vzniká. V [1] je tato cesta předmětem syntézy a jsou zde popsány způsoby vytvoření jejího modelu, stejně jako metody měření skutečných ozvěnových cest v Evropě a Severní Americe.

Ozvěnová cesta je pro potřeby testování simulována lineárním digitálním filtrem s impulzní odezvou  $g(k)$ . V doporučení [1] jsou dostupné vzorky impulzních odezev 4 ozvěnových cest, které byly vytvořeny simulátorem síťového echa, a 4 změřených ozvěnových cest. Všechny odezvy se od sebe liší rozptylem a také tím, že jsou charakteristické buď jednoduchým, nebo dvojitým odrazem. Předpokladem testování je stacionární<sup>3</sup> a lineární<sup>4</sup> ozvěnová cesta.

Pro dosažení různého zpoždění, ztrát echa odrazem (ERL – *Echo Return Loss*), různých rozptylů<sup>5</sup> a délek zpoždění ozvěnové cesty, je funkce  $g(k)$  volena jako zpožděná a utlumená verze impulzních odezev  $m_i(k)$ , jejichž hodnoty jsou přímo uvedeny v [1]. Předpis funkce  $g(k)$  je uveden vztahem 2.3.

$$g(k) = K_i \cdot 10^{\frac{-ERL}{20}} \cdot m_i(k - \delta), \quad (2.3)$$

<sup>3</sup> Ozvěnová cesta je **stacionární**, pokud se její parametry nemění v čase (po ustavení spojení se již během celého hovoru nemění zpoždění echa). Toto platí pro elektrické echo a lze s úspěchem předpokládat splnění této podmínky. Naproti tomu akustické echo je charakteristické změnou parametrů díky odrazům z prostředí, ve kterém se mluvčí pohybuje, tedy je to vysoce nestacionární signál.

<sup>4</sup> **Linearita** ozvěnové cesty vyjadřuje, do jaké míry je signál echa podobný vstupnímu signálu. Na základě splnění podmínky linearity je algoritmus, podle kterého adaptivní filtr potlačovače pracuje, schopen úspěšně stanovit odhad echa.

<sup>5</sup> Ozvěnový signál není jednoduchým odrazem původního signálu, ale je to sekvenční odraz za určitou časovou periodu. Ozvěny mají určitou délku trvání, po kterou ještě trvají odrazy – tato délka se nazývá **rozptyl**.

kde  $K_i$  je tzv. váhový koeficient,  
 $m_i(k)$  je sekvence hodnot impulzní charakteristiky ozvěnové cesty,  
 $\delta$  je zpoždění ozvěnové cesty,  
 ERL je zpoždění echa odrazem,  
 $g(k)$  je utlumená a zpožděná funkce zvolené ozvěnové cesty.

Hodnoty koeficientu  $K_i$  jsou různé (uvedeny v [1] v příloze D) pro různé impulzní odezvy ozvěnových cest spolu s minimálními hodnotami útlumů echa odrazem (ERL)<sup>6</sup>, které jsou uvedeny v Tab. 2.2. Hodnota tohoto útlumu může být u jednotlivých testů různá a podle [1] platí vždy nejnižší hodnota tohoto parametru, která je uvedena v popisu konkrétního testu.

Parametr ERL, útlum echa odrazem, je definován jako poměr výkonu vstupního signálu a výkonu výstupního signálu u ozvěnové cesty, viz vztah 2.4.

$$\text{ERL} = 10 \cdot \log_{10} \frac{P_{\text{Rin}}}{P_{\text{echo}}} = L_{\text{Rin}} - L_{\text{echo}} \text{ [dB]} \quad (2.4)$$

Zpoždění  $\delta$  je po útlumu echa odrazem, z hlediska vnímání echa posluchačem, druhým podstatným parametrem. Zde je myšleno jako zpoždění mezi hlasem a jeho ozvěnou. Odraz echa, dokonce i s malou hodnotou ERL (tedy silné echo), může být zanedbatelný, pokud je celkový přenosový čas (tzv. Round trip delay) nižší než 20 ms, protože tato ozvěna je maskována místní vazbou hlasu mluvčího. S narůstajícím zpožděním se projevuje echo jako velice rušivé.

Z hlediska simulace by zpoždění ozvěnové cesty mělo být voleno tak, aby část potlačovače echa, která uchovává impulzní odezvu přenosové cesty (tzv. *H registr*), nezachycovala nulové hodnoty  $g(k)$ .

V simulaci je zpoždění ozvěnové cesty realizováno vložení sekvence nulových vzorků před impulzní charakteristiku zvolené ozvěnové cesty. Počet těchto vzorků odpovídá poměru zpoždění  $\delta$  a vzorkovacího kmitočtu  $F_s$  podle vztahu 2.5.

$$n = \frac{\delta}{F_s}, \quad (2.5)$$

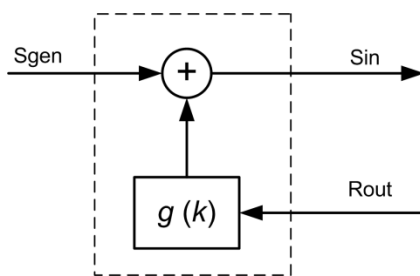
kde  $n$  je počet nulových vzorků,  
 $\delta$  je požadované zpoždění,  
 $F_s$  je vzorkovací kmitočet.

V Obr. 2.1 lze tak nahradit blok, který je ohraničen čárkovanou čarou, pouze blokem ozvěnové cesty, viz Obr. 2.11.

---

<sup>6</sup> Minimální hodnoty ERL jsou uváděny proto, aby v požadovaném kmitočtovém pásmu nepřesáhla kmitočtová charakteristika ozvěnové cesty úroveň 0 dB.





Obr. 2.11: Začlenění bloku ozvěnové cesty.

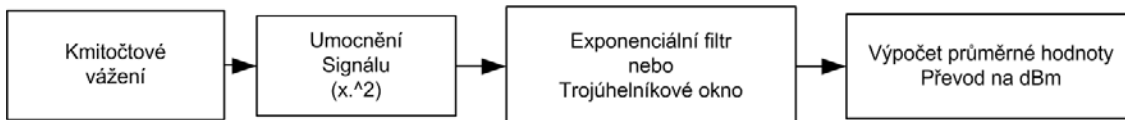
V [1] je definováno 8 ozvěnových cest, které je při procesu simulace echa možno použít. Jejich impulzní a kmitočtové charakteristiky není nutné uvádět, jsou volně dostupné. Základní parametry pro volbu ozvěnových cest jsou uvedeny v Tab. 2.2 pro všechny cesty z tohoto doporučení.

Tab. 2.2: Minimální hodnoty ERL pro ozvěnové cesty

	cesta	min. ERL pro CSS [dB]	min. ERL pro tón [dB]	rozptyl [ms]	odraz
uměle vytvořené	1	6	6	2,5	jednoduchý
	2	6,55		6	
	3	6		6,5	
	4	6		12,5	
skutečné	5	6		6	dvojitý
	6	6		9	
	7	11,06		10	
	8	9,27		7,5	

### 2.3 Měřicí funkce

Blok měření úrovně signálu na výstupu potlačovače echa, který je uveden v měřícím schématu na Obr. 2.1, je podle požadavku v [1] realizován na principu, který zobrazuje blokové schéma na Obr. 2.12.



Obr. 2.12: Blokové schéma měřiče RMS výkonové úrovně

Vstupní signál projde nejprve sítí kmitočtového vážení, která signál pásmově omezí pro rozsah kmitočtů 300 Hz až 3400 Hz. Impulzní charakteristika této sítě je uvedena v [1] spolu s kmitočtovou charakteristikou. V dalším bloku je signál po vzorcích umocněn a je předán k další filtraci. Ta může probíhat buď pomocí exponenciálního filtru, který má časovou konstantu  $\tau = 35$  ms a jeden pól přenosové funkce, nebo pomocí posuvného trojúhelníkového okna, jehož délka je opět 35 ms. Posledním blokem realizuje výpočet průměru kvadrátů, jak je také efektivní hodnota z matematického hlediska definována, viz vztah 2.6, a následný výpočet výkonu, který odpovídá efektivnímu napětí na zátěži 600  $\Omega$ . Konečnou úpravou je výpočet relativní úrovně výkonu, vzhledem k  $P_0 = 1$  mW, podle vztahu 2.7.

$$x_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2}, \quad (2.6)$$

kde  $x_{\text{RMS}}$  je efektivní hodnota měřené veličiny v absolutním měřítku,  
 $n$  je délka signálu  $x$  ve vzorcích.

$$L_{x_{\text{RMS}}} = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{\text{RMS}}}{P_0}\right), \quad (2.7)$$

kde  $L_{x_{\text{RMS}}}$  je výkonová úroveň signálu s pauzami v dBm,  
 $P_{\text{RMS}}$  je absolutní hodnota výkonu změřená na výstupu  $S_{\text{out}}$  potlačovače,  
 $P_0$  je vztažná hodnota výkonu 1mW.

### 2.3.1 RMS měřič s exponenciálním filtrem

Pro signály, které nevyžadují vyhlazení špičkových hodnot, je umocnění signálu v blokovém schématu Obr. 2.12 dále signál upraven digitálním filtrem typu dolní propust s jedním pólem. Časová konstanta tohoto filtru je 35 ms. Jeho diferenční rovnice je uvedena vztahem 2.8. Obraz této diferenční rovnice v transformaci  $Z$ , který je připraven pro odvození přenosové funkce, je uvedena vztahem 2.9.

$$y[n] = \alpha \cdot x[n] + (1-\alpha) \cdot y[n-1], \quad (2.8)$$

kde  $y[n]$  je výstupní signál,  
 $x[n]$  je vstupní signál,  
 $y[n-1]$  je zpožděný výstupní signál,  
 $\alpha$  je koeficient přenosové cesty.

$$Y(z) \cdot (1 - (1 - \alpha) \cdot z^{-1}) = \alpha \cdot X(z), \quad (2.9)$$

kde  $Y(z)$  je obraz výstupního signálu,  
 $X(z)$  je obraz vstupního signálu,  
 $z^{-1}$  je zpoždění o jeden vzorek.

Přenosová funkce  $H(z)$  exponenciálního filtru je uvedena vztahem 2.10.

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\alpha}{1 - (1 - \alpha) \cdot z^{-1}}, \quad (2.10)$$

V MATLABu jsou z této přenosové funkce použity pro funkci `filter` koeficienty čitatele  $b = [\alpha, 0]$ , a jmenovatele  $a = [1, -(1 - \alpha)]$ . Koeficient  $\alpha$  je pro časovou konstantu  $\tau$  určen vztahem 2.11.

$$\alpha = \frac{1}{F_S \cdot \tau + 1}, \quad (2.11)$$

kde  $F_S$  je vzorkovací kmitočet v [Hz],  
 $\tau$  je časová konstanta v [s].

### 2.3.2 RMS měřič s posuvným trojúhelníkovým oknem

Druhou variantou filtrace po umocnění signálu v blokovém schématu Obr. 2.12 je posuvné trojúhelníkové okno. Tento způsob je vyžadován pro vyhlazení špičkových hodnot v průbězích výstupních signálů potlačovače. Okno lze navrhnout pomocí funkce `bartlett` v MATLABu.

### 3 Postup testování potlačovačů echa

Testy, které jsou realizovány v této práci, mají předlohu v doporučení [1]. Realizovány nejsou testy, které jsou označeny jako volitelné a testy, v jejichž charakteristice je zmínka o nutnosti dalších studií pro upřesnění definice testu. Dále není realizován test č. 14, který je velice rozsáhlý a spadá do kategorie testů pro činnost potlačovače s modemy, které pracují s daty o nízkých rychlostech (tzv. V-série – V.18, V.21, atd.). Přehled testů spolu s doporučenou volbou parametrů při jejich spouštění je uveden v příloze C.

#### 3.1 Test 2A – konvergenční a re-konvergenční test s povoleným zpracováním zbytkového echa

Účelem testu je zajištění splnění těchto podmínek:

- 1) rychlá konvergence potlačovače a zajištění dostatečně nízké úrovně vracejícího se echa pro různé kombinace úrovně vstupního signálu, ozvěnových cest a také jejich náhlých změn,
- 2) dostatečné potlačení v ustáleném stavu pro produkci zbytkového echa o tak nízké úrovni, která dovolí použití zpracování zbytkového echa (pomocí NLP) bez nežádoucí závislosti na něm. Vysvětlení je uvedeno v [1]<sup>7</sup>.

Test tedy probíhá pro různé kombinace úrovně vstupního signálu a ozvěnových cest, včetně změny ozvěnové cesty<sup>8</sup>. Jako vstupní signál je zde použit CSS single talk, který byl definován v části 2.1.5.

Používaná výkonová úroveň vstupního signálu pro tento i další testy je značena  $L_{\text{Rin,act}}$ . Je to úroveň signálu, který je měřen pouze pro jeho aktivní část (platí u CSS signálů – tedy bez úseků, kde se vyskytují pauzy). V doporučení [1] je uvedena alternativní možnost určení této úrovně (pro oba CSS signály), a to jejich změřením pomocí měřiče z části 2.3 i s úseky, kde se vyskytují pauzy, a následná úprava změřené hodnoty podle vztahu 3.1 a 3.2.

$$L_{x,\text{act}} = L_x + 1,49\text{dB pro CSS single talk,} \quad (3.1)$$

$$L_{x,\text{act}} = L_x + 1,66\text{dB pro CSS double talk,} \quad (3.2)$$

kde  $L_x$  je úroveň CSS signálu s pauzami,  
 $L_{x,\text{act}}$  je úroveň CSS bez pauz.

Průběh testu 2A je rozdělen na dvě části:

##### 3.1.1 Konvergenční test s NLP on

Tato část testu slouží pro zajištění splnění první podmínky uvedené výše. Z praktického hlediska by konvergence na počátku ustavení hovoru měla být dostatečně

---

<sup>7</sup> Pokud se ostatní parametry nemění, bude mít vyšší hodnota *ERLE* (echo return loss enhancement) nebo nižší hodnota  $L_{\text{RES}}$  za následek nižší závislost na funkčnosti NLP.

<sup>8</sup> Doporučení nepokrývá případy časově proměnných ozvěnových cest.

rychlá, tak, aby nebyla postřehnutelná. A obecně lze říci, že by konvergence měla být tak rychlá, aby stačila postihnout změny v ozvěnové cestě. Rychlejší konvergence potlačovače je ku prospěchu, ale pouze v případě, že nedojde k degradaci během jednosměrného i obousměrného hovoru (single, double talk) a pokud je zachována stabilita potlačovače pro všechny síťové podmínky (včetně změny ozvěnových cest).

#### Průběh konvergenčního testu:

- na začátku testu jsou vynulovány koeficienty adaptivního filtru (reset H registru), povolena adaptace a NLP (bude tedy docházet ke zpracování zbytkového echa po odečtení jeho odhadu od rušeného užitečného signálu),
- 200 ms po povolení adaptace je do vstupu  $R_{in}$  aplikován signál CSS single talk o požadované délce a zvolené úrovni,
- současně s aplikací signálu na vstupu je měřena úroveň zbytkového echa  $L_{RET}$  na výstupu  $S_{out}$  potlačovače.

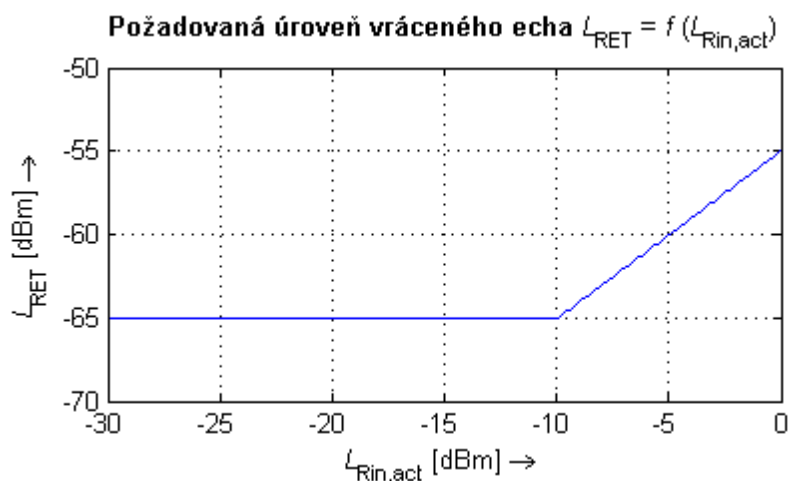
#### Požadavky testu:

- úroveň vstupního signálu  $L_{Rin,act} \in \langle -30; 0 \rangle$  dBm, hodnoty ERL  $\geq 6$  dB<sup>9</sup>. Minimální hodnoty ERL pro jednotlivé ozvěnové cesty viz Tab. 2.2,
- ERL je v tomto testu hodnota, která je určující pro testování (kromě zpoždění  $t_d$ ),
- zpoždění ozvěnové cesty  $t_d \leq \Delta^{10}$  ms,
- limit testu: kombinovaná ztráta  $A_{COM}^{11}$  by měla být po čase  $(1 + t_d)$  s vyšší nebo rovna průběhu, který v [1] předepisuje obr. 10a,  
(Pozn.: Zde bude tento průběh limitní hodnoty použit pro ilustraci vyhodnocení testu v praktické části 4.6.1, ale další limity u následujících testů již zobrazovány nebudou. Jsou volně přístupné v daném doporučení. Maximum tohoto průběhu je určeno z obr. 9 (ve stejné literatuře), ten je také pro ukázkou zobrazen na Obr. 3.1. Určuje maximální přípustnou úroveň signálu ( $L_{RET}$ ) na výstupu potlačovače, která je závislá na úrovni  $L_{Rin,act}$  vstupního signálu, aktuálně použitého pro testování.)
- měření signálů probíhá pomocí měřiče z části 2.3.1.

<sup>9</sup> Vzhledem k požadavku změny hodnoty ERL v části b) testu 2A, je doporučeno volit hodnotu v části a) ERL  $\geq 10$  dB.

<sup>10</sup>  $\Delta$  zde označuje maximální zpoždění, na které je potlačovač echa navržen.

<sup>11</sup> Kombinovaná ztráta je v [1] definována:  $A_{COM} = A_{ECHO} + A_{CANC} + A_{NLP}$ . Pro úroveň  $L_{RET}$  a  $L_{Rin}$  je  $A_{COM} = L_{Rin} - L_{RET}$ .



**Obr. 3.1:** Závislost požadované úrovně vráceného echo na úrovni vstupního signálu.

### 3.1.2 Re-konvergenční test s NLP on

Druhá část testu zajišťuje dostatečně rychlou reakci potlačovače při změně podmínek v ozvěnové cestě. Tato změna zahrnuje změnu ERL i změnu ozvěnové cesty (přepnutí hovoru), zpoždění  $t_d$  zůstává zachováno jako v první části testu.

#### Průběh testu:

- H registr potlačovače je na počátku tohoto testu konvergován na ozvěnovou cestu použitou v části 2Aa (konvergenční část),
- ve zvoleném okamžiku je změněna ozvěnová cesta (tato změna může zahrnovat změnu modelu cesty a/nebo změnu ERL (nahoru či dolů) a/nebo změnu zpoždění (nahoru či dolů)),
- adaptace je povolena v průběhu celého testu

#### Požadavky:

- pro hodnoty  $L_{Rin,act} \in \langle -30; 0 \rangle$  dBm, hodnoty  $ERL \geq 6$  dB a  $t_d \leq \Delta$  ms by kombinovaná ztráta  $A_{COM}$  měla být vyšší nebo rovna průběhu, který v [1] předepisuje obr. 10b. Maximum tohoto limitu je opět určeno nejvyšší přípustnou hodnotu úrovně výstupního signálu  $L_{RET}$ .

Pro zajištění spolehlivosti potlačovače v reálném provozu je doporučeno otestování nejméně následujících kombinací změn v ozvěnové cestě:

- 1)  $cesta_B \neq cesta_A$  a  $ERL_B = ERL_A$ ,  $zpoždění_B = zpoždění_A$ ,
- 2)  $cesta_B = cesta_A$  a  $ERL_B < ERL_A$  ( $\Delta ERL \geq 10$  dB),  $zpoždění_B = zpoždění_A$ ,
- 3)  $cesta_B \neq cesta_A$  a  $ERL_B < ERL_A$  ( $\Delta ERL \geq 10$  dB),  $zpoždění_B = zpoždění_A$ ,

Pro tuto část testu je doporučeno použití modelů ozvěnových cest, které mají nejdelší čas rozptylu (viz Tab. 2.2). Jsou to ozvěnové cesty č. 4, 6, 7 a 8. Při použití všech těchto cest a kombinačního schématu uvedeného výše je tedy v části 2Ab) provedeno testování pro 9 možných situací.

Měření výstupních signálů v tomto testu probíhá za použití měřidla podle části 2.3.1. Vyhodnocení testu je detailně popsáno dále v části 4.6.1, kde je realizován tento test.

### 3.2 Test 2B – konvergenční a re-konvergenční test se zakázaným zpracováním zbytkového echa

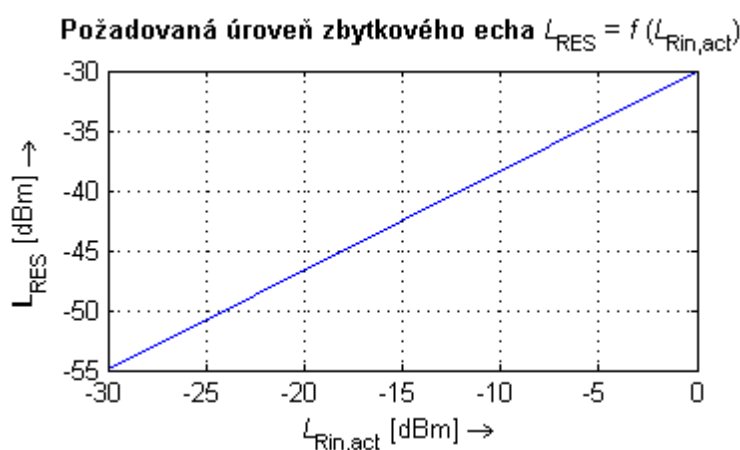
Účel tohoto testu je obdobný 2A v části 3.1. Průběh testovací procedury je stejný, pouze se změnou aspektu zákazu zpracování zbytkového echa (NLP) na výstupu potlačovače. Test má opět 2 části, konvergenční a re-konvergenční.

Protože bude potlačovač při stejných vstupních podmínkách produkovat o něco vyšší úroveň výstupního signálu, vzhledem k výsledkům testu 2A, jsou změněny i požadavky na splnění tohoto testu.

#### Požadavky:

- adaptační interval (čas, během kterého by potlačovač měl dosáhnout plné (re)konvergence) je u konvergenční i re-konvergenční charakteristiky zvýšen na  $t_a = (10s + t_d)$ ,
- požadovanou úroveň  $L_{RES}$  závislou na  $L_{Rin,act}$  určuje Obr. 11 v [1], který je zde pro ukázkou zobrazen na Obr. 3.2. Nemá tak přísné hodnoty jako Obr. 3.1. Pomocí tohoto průběhu je určeno maximum kombinované ztráty pro limit testu. Ten je pro obě části k nahlédnutí v [1] na Obr. 12a a Obr. 12b.

Volba úrovně, hodnoty ERL, ozvěnové cesty, měření výstupních signálů, viz požadavky testu 2A v části 3.1.



Obr. 3.2: Závislost požadované úrovně zbytkového echa v závislosti na vstupním signálu.

### 3.3 Test 2C – konvergenční test v přítomnosti šumu na pozadí

Celý test slouží pro zajištění, že potlačení v ustáleném stavu má za následek produkci echa o dostatečně nízké úrovni a že potlačovač konverguje rychle pro různé kombinace úrovně vstupních signálů a ozvěnových cest při činnosti za přítomnosti šumu na pozadí.

### Průběh testu:

- na počátku je resetován H registr potlačovače, poté je zakázána adaptace,
- následně je aplikován šumový signál jako  $S_{gen}$ , viz Obr. 2.1. Úroveň tohoto signálu je označena  $L_{Sgen}$  a požadavky na generátor tohoto signálu jsou uvedeny v [11]. V testování je použita funkce wgn, viz část 4.1.1. Ten je pásmově omezen pro kmitočtový rozsah 300 Hz až 3400 Hz pomocí sítě kmitočtového vážení, která je použita v měřiči RMS hodnoty v části 2.3,
- následně je povolena adaptace, nejméně 200 ms<sup>12</sup> před startem signálu do  $R_{in}$ ,
- poté je aplikován současně CSS signál (single talk) do portu  $R_{in}$  a šumový signál jako  $S_{gen}$  do  $S_{in}$ ,
- po adaptačním intervalu  $t_a$ , který je u každé části tohoto testu odlišný, je odstraněn signál z portu  $R_{in}$ ,
- po intervalu  $\tau = \max(t_d, 150)$  ms je zakázána adaptace a po dalším čekacím intervalu  $\geq 1$  s je odstraněn generátor šumového signálu, znovu aplikován signál CSS do portu  $R_{in}$  a je měřena úroveň zbytkového echa na výstupu  $S_{out}$  potlačovače.

Všechny fáze a délky jejich trvání jsou realizovány podle časového schématu uvedeného v popisu testu v [1]. Úroveň výstupního signálu je měřena pomocí měřidla navrženého v části 2.3.1.

#### 3.3.1 konvergenční test s povoleným NLP

U tohoto testu je NLP (zpracování zbytkového echa) povoleno, úroveň vstupního signálu je volena  $L_{Rin,act} \in <-30; 0>$  dBm, úroveň signálu  $L_{Sgen}$  je dána vztahem 3.3, ale současně musí být splněna podmínka 3.4. Zvolená hodnota útlumu echa odrazem  $ERL \geq 6$  dB.

$$L_{Sgen} = L_{Rin,act} - 15 \text{ dB}, \quad (3.3)$$

$$L_{Sgen} \leq -30 \text{ dBm}, \quad (3.4)$$

kde  $L_{Sgen}$  je úroveň šumového signálu na blízkém konci potlačovače v dBm,  $L_{Rin,act}$  je úroveň signálu CSS single talk, vstupujícího do potlačovače portem  $R_{in}$  v dBm.

Limit tohoto testu je dán podmínkou 3.5.

$$L_{RET} \leq L_{Sgen}, \quad (3.5)$$

kde  $L_{RET}$  je úroveň výstupního signálu (na portu  $S_{out}$ ) potlačovače v dBm.

---

<sup>12</sup> Tato podmínka je stanovena pro testování hardwarových potlačovačů kvůli latenci přepínače pro povolení/zákaz adaptace. V testech softwarových potlačovačů, které jsou náplní této práce, je i nadále tato podmínka zachována.



**Požadavky:**

- pro resetovaný H registr a NLP zapnuto, by pro úroveň signálů podle podmínky 3.3,  $t_d \leq \Delta$  ms a  $ERL \geq 6$  dB měla konvergence potlačovače nastat v adaptačním intervalu  $t_a = 1$  s a úroveň  $L_{RET}$  by měla splňovat podmínku 3.5,
- limit testu je tedy dán vztahem 3.5. Průběh požadované úrovně potlačeného signálu  $L_{RET}$  (vlastně i  $L_{Sgen}$ ) v závislosti na úrovni vstupního signálu  $L_{Rin,act}$  je uveden v [1] a je součástí realizace testovací funkce, část 4.6.2).

**3.3.2 Potlačení echa v ustáleném stavu se zakázaným NLP**

Oproti předchozí, je v této části zakázáno NLP. Adaptační interval je  $t_a = 10$  s a signál  $S_{gen}$  je zde aplikován ve dvou úrovních:

- 1)  $L_{Sgen}$  volen podle vztahu 3.3, při současném splnění podmínky 3.4,
- 2)  $L_{Sgen} = -55$  dBm.

**Požadavky:**

- H registr potlačovače je na začátku této části testu opět resetován,
- rozsah úrovní vstupního signálu  $L_{Rin,act}$  je volen jako v předchozí části,
- úroveň výstupního signálu  $L_{RES}$  požadovaná pro splnění testu a odpovídající jedné ze dvou úrovní  $L_{Sgen}$ , je určena průběhem, který je realizován ve funkci tohoto testu a je uveden v [1] na Obr. 15 v popisu testu.

**3.3.3 Konvergenční test se zakázaným NLP**

V této části testu, oproti dvěma předcházejícím, je po celou dobu povolena adaptace potlačovače. Dále není přerušována aplikace šumového signálu  $S_{gen}$  ani signálu CSS single talk do portu  $R_{in}$  po celou dobu testu.

**Požadavky:**

- reset H registru, NLP zakázáno,  $L_{Rin,act}$  a ERL voleno jako v předchozích částech,  $L_{Sgen}$  podle podmínek 3.3 a 3.4,
- kombinovaná ztráta  $A_{COM} = (L_{Rin,act} - L_{RES})$  dB by v průběhu adaptačního intervalu  $t_a = 10$  s měla být vyšší nebo rovna průběhu na obr. 16 v [1]. Maximum této masky je označeno  $X$  a je určeno podle podmínky 3.6.

$$X = (L_{Rin,act} - L_{Sgen}) - 6 \text{ dB, pro } X \leq 17 \text{ dB, jinak } X = 17 \text{ dB,} \quad (3.6)$$

**3.4 Test 3 – Činnost v podmínkách obousměrného provozu**

Následující trojice testů má za úkol prověřit činnost potlačovače v podmínkách obousměrného provozu. Během takového přenosu může dojít k deformaci nebo k oříznutí signálu. Test předpokládá, že při detekci obousměrného provozu dojde ke zpomalení adaptace potlačovače (zajištěno detektorem řeči na blízkém konci, viz [5]) ve smyslu zabránění nežádoucího nadměrného omezení v potlačení echa.

Pro sadu těchto testů je do  $R_{in}$  aplikován signál CSS single talk definovaný v části 2.1.5 a jako  $S_{gen}$ , viz Obr. 2.1, je aplikován signál CSS double talk definovaný v části 2.1.6. Tyto signály jsou použity pouze jako statistická náhrada skutečných řečových signálů. Pro skutečnou řeč a obzvláště pro různé jazykové sady mohou být výsledky těchto testů velice odlišné.

### 3.4.1 Test 3A – konvergence pro nízké úrovně řeči na blízkém konci

Tento test slouží k zabezpečení správné funkce detektoru řeči na blízkém konci. To je myšleno ve smyslu, že by neměl být tak citlivý, aby chybně zakázal adaptaci potlačovače při přítomnosti echa a nízké<sup>13</sup> úrovni řečového signálu na blízkém konci.

#### Průběh testu:

- Reset H registru, NLP vypnuto,
- pro zvolenou ozvěnovou cestu a hodnotu ERL je aplikován signál do  $R_{in}$  ( $L_{Rin,act} \in <-25; 0>$  dBm), a současně jako  $S_{gen}$  aplikován CSS double talk o úrovni podle vztahu 3.7 (tedy o dostatečně nízké úrovni, aby docela nezabránil potlačovači v konvergenci) – tento signál by měl dovolit, aby nastala adaptace a s ní i potlačení,
- po prodlevě, která je spolu s časovým vztahem jednotlivých fází testu uvedena v [1] na obr. 17, je zakázána adaptace. Při opětovné aplikaci signálu do  $R_{in}$  je vypnut signál  $S_{gen}$  a je měřena úroveň  $L_{RES}$  výstupního signálu.

$$L_{Sgen} = L_{Rin,act} - 15 \text{ dB}, \quad (3.7)$$

#### Požadavek:

- výstupní úroveň signálu, po průchodu celou zkušební procedurou, by měla splňovat podmínku  $L_{RET} \leq L_{Sgen,act}$ .

### 3.4.2 Test 3B – stabilita při obousměrném provozu

Slouží pro zajištění dostatečné citlivosti detektoru řeči na blízkém konci a jeho rychlé činnosti tak, aby předešel velké divergenci během obousměrného hovoru.

**Průběh testu** je rozdělen do dvou částí. Pro obě platí prvotní plná konvergence potlačovače pro zvolenou ozvěnovou cestu aplikací CSS single talk ( $L_{Rin} \in <-30; 0>$  dBm) do  $R_{in}$  pro ERL  $\geq 6$  dB a vypnuté NLP.

#### a) Stabilita pro vysoké úrovně řeči na blízkém konci:

- po plné konvergenci potlačovače je současně s  $R_{in}$  (pořád běží signál CSS single talk) do  $S_{gen}$  aplikován signál o  $L_{Sgen} \geq L_{Rin,act}$ ,
- po současné aplikaci těchto signálů a následném zákazu adaptace a signálu  $S_{gen}$  by výstupní úroveň  $L_{RES}$  signálu měřeného po libovolně dlouhý čas měla

<sup>13</sup> Nízká úroveň  $L_{Sgen}$  (řeči na blízkém konci) je zde myšlena vzhledem k úrovni signálu přicházejícího ze vzdáleného konce a je dána:  $L_{Sgen} = L_{Rin,act} - 15$  dB.

splnit podmínku  $L_{RES} \leq (L_{RES\_2B} + 10)$  dB. Hodnota  $L_{RES\_2B}$  je požadovaná úroveň zbytkového echa, která je závislá na úrovni  $L_{Rin,act}$  a je použita již v testu 2B, Obr. 3.2.

#### **b) Stabilita pro nízké úrovně řeči na blízkém konci:**

- Definice je stejná jako u části a), s rozdílem  $L_{Sgen,act} = L_{Rin,act} - X$  dB, kde  $X \in \langle 6; 30 \rangle$  dB a tato hodnota je ponechána na volbě testujícího.

### **3.4.3 Test 3C – činnost při simulované konverzaci**

Slouží pro ubezpečení, že potlačovač nebude produkovat nežádoucí vykonstruované signály během a po periodách, kdy se vyskytla řeč na obou koncích přenosu.

#### **Průběh testu:**

- reset H registru, NLP povoleno,
- pro zvolenou ozvěnovou cestu,  $ERL \geq 6$  dB, je aplikován současně signál  $R_{in}$  ( $L_{Rin,act} \in \langle -25; 0 \rangle$  dBm) a  $S_{gen}$  ( $L_{Sgen} \geq L_{Rin,act}$ ),
- po prodlevě  $t_1 = 5,6$  s (časový vztah jednotlivých částí viz obr. 19 v [1]), je  $S_{gen}$  odstraněn, a je měřena úroveň  $L_{RET}$  na portu  $S_{out}$  (po dobu  $t_2 = 1,4$  s a  $t_3 = 5,6$  s, kdy je stále aplikován signál  $R_{in}$ ),
- během dalšího intervalu  $t_4 = 5,6$  s je znovu aplikován signál  $S_{gen}$  a je měřen výstup potlačovače,
- během další periody  $t_5 = 5,6$  s je ještě vypnut signál  $R_{in}$ .

#### **Požadavky:**

- žádné špičky výstupního signálu (signál měřen pomocí měřiče z části 2.3.2) během periody  $t_2$  by neměly přesáhnout úroveň  $L_{Sgen}$  z periody  $t_1$ ,
- $L_{RET}$  během periody  $t_3$  by mělo odpovídat požadavkům Obr. 3.1,
- během period  $t_4$  a  $t_5$  by žádná špička neměla přesáhnout úroveň  $(L_{Sgen} + 6)$  dB.

### **3.5 Test 4 – kontrola „těsnosti“ potlačovače**

Test slouží k zajištění toho, že čas těsnosti neboli čas divergence potlačovače, není příliš krátký a tedy, že obsah H registru nejde k nule příliš rychle.

#### **Průběh testu:**

- plně konvergovat potlačovač pro vypnutý NLP, zvolenou ozvěnovou cestu, ERL zvolený podle Tab. 2.2, použitím CSS single talk do  $R_{in}$  ( $L_{Rin,act} \in \langle -30; 0 \rangle$  dBm),
- poté je od  $R_{in}$  odpojen signál, po dobu 2 minut je pauza (potlačovač běží bez jakéhokoliv vstupního signálu),
- po tomto intervalu je zakázána adaptace (obsah H registru od této chvíle zůstane nezměněn),
- CSS single talk je znovu aplikován do  $R_{in}$  a po prodlevě  $\geq 1$  s je měřeno zbytkové echo.

**Požadavky:**

- úroveň zbytkového echa  $L_{RES}$  by neměla vystoupit o více než 10 dB nad hranici, kterou určí průběh Obr. 3.2,
- pro měření je použit měřič z části 2.3.1 s exponenciálním filtrem.

### 3.6 Test 5 – konvergence pro nekonečný útlum echa odrazem

Test slouží pro zjištění, zda má potlačovač prostředky proti nežádoucí produkci echa. Tato situace může nastat, pokud je potlačovač konvergován na nějakou ozvěnovou cestu (i z předchozího spojení) a ozvěnová cesta je otevřena (obvodové echo je tedy vyčištěno), zatímco je stále přítomen signál na portu  $R_{in}$ .

**Průběh testu:**

- nejprve je potlačovač pro vypnutý NLP, zvolenou ozvěnovou cestu a  $ERL \geq 6$  dB plně konvergován (pomocí CSS single talk signálu,  $L_{Rin,act} \in \langle -30; 0 \rangle$  dBm),
- potom je ozvěnová cesta přerušena,  $ERL \rightarrow \infty$  (tedy úroveň ozvěnového signálu  $\rightarrow 0$ ),
- CSS single talk je stále aplikován do portu  $R_{in}$  a současně s tím je měřena úroveň signálu na portu  $S_{out}$ .

**Požadavky:**

- kombinovaná ztráta  $A_{COM}$  by po přerušení ozvěnové cesty měla být vyšší nebo rovna masce testu 2Ba, která je určena obr. 12a v [1],
- měření probíhá pomocí měřiče z části 2.3.1.

### 3.7 Test 6 – Ne-divergence na úzko-pásmové signály

Tento test slouží pro ověření, že potlačovač echa zůstane v konvergovaném stavu při aplikaci úzko-pásmového signálu, který vzejde od účastníka hovoru, poté kdy byl potlačovač konvergován za použití široko-pásmového signálu. Zbytkové echo je měřeno po aplikaci sinusového průběhu, nebo po aplikaci průběhu složeného ze dvou kmitočtů.

**Průběh testu:**

- potlačovač je nejprve konvergován pro vypnutý NLP, zvolenou ozvěnovou cestu a  $ERL \geq 6$  dB (pomocí CSS single talk signálu,  $L_{Rin,act} \in \langle -30; 0 \rangle$  dBm), stejně jako v testu 2B. Zvolená ozvěnová cesta se v průběhu testu nemění,
- pro generaci echa jsou použity koeficienty  $K_a$  pro CSS signál, které jsou uvedeny v příloze D doporučení [1],
- poté je aplikována sekvence tónů uvedených v Tab. 2.3. Každý z tónových signálů má délku trvání 5 s a úroveň u dvou-tónových signálů je o 2 dB vyšší u tónu o vyšším kmitočtu. Celková úroveň  $L_{Rin} \in \langle -30; 0 \rangle$  dBm,
- po aplikaci této tónové sekvence je zakázána adaptace, je znovu aplikován signál CSS na  $R_{in}$  a je měřena úroveň signálu  $L_{RES}$ .

**Požadavky:**

- po úvodní konvergenci potlačovače na širokopásmový signál CSS i po jeho druhé konvergenci (po aplikaci tónové sekvence, kdy je znovu aplikován CSS signál), by úroveň zbytkové echa neměla degradovat o více než 10 dB oproti požadavku průběhu na Obr. 3.2,
- měření probíhá za použití měřiče z části 2.3.1.

**Tab. 2.3: Sekvence tónů testu 6 – kmitočty uvedeny v Hz.**

697	941	1336	1633	697 & 1209	770 & 1336	852 & 1477	941 & 1633
-----	-----	------	------	------------	------------	------------	------------

### **3.8 Test 7 – stabilita potlačovače pro úzko-pásmový signál**

Předmětem tohoto testu je ověření zachování stability potlačovače echa pro úzkopásmové signály. Zbytkové echo je měřeno během aplikace sinusového průběhu o jednom kmitočtu.

**Průběh testu:**

- na začátku je resetován H registr,
- do portu  $R_{in}$  je aplikován sinusový průběh o kmitočtu, který nekoliduje s kmitočty, které jsou uvedeny ve volitelném testu 8 v [1]. Zvolený kmitočet je 2300 Hz, délka signálu je 2 minuty a úroveň je zvolena v rozsahu  $-30$  dBm až  $+3$  dBm,
- zvolená ozvěnová cesta je otestována pro dvě hodnoty ERL ( $ERL_1 = 6$  dB,  $ERL_2 = 20$  dB),
- NLP je v průběhu testu zakázáno.

**Požadavek testu:**

- po adaptačním intervalu 10 s by úroveň zbytkového echa měla být nižší nebo rovna úrovni z průběhu, který je definován obr. 22 v [1].

### **3.9 Test 9 – utišený šum**

Test slouží k zajištění produkce tzv. utišeného šumu (comfort noise<sup>14</sup>) na výstupu potlačovače  $S_{out}$ . Tento šum by měl odpovídat šumu, který se může vyskytnout na vstupu  $S_{in}$  (z blízkého konce). Také je testováno, zda je potlačovač schopen dorovnat výstupní úroveň produkovaného šumu při změnách úrovně šumu na jeho vstupu.

Průběh testu se skládá ze tří částí, části 2 a 3 by měly být provedeny jako sekvence navazujících kroků pro dvě změny úrovně šumového signálu  $L_{Sgen}$  ( $\delta_1 = 5$  dB,  $\delta_2 = 10$  dB). Protože tento test neprověřuje kapacitu potlačovače (jaké zpoždění je schopen vybavit), je po celou dobu trvání předepsána hodnota ERL = 12 dB. Celý test by měl být proveden při

<sup>14</sup> **Comfort noise** je uměle vytvořený šum prostředí používaný v rádiové a bezdrátové komunikaci pro vyplnění vykonstruovaného ticha při přenosu řeči plynoucí z detekce řečové aktivity, nebo z čistoty zvuku moderních digitálních linek. Bez vyplnění těchto úseků, kde je ticho, se může přenášená řeč jevit jako trhaná, nebo může být vytvořena mylná představa posluchače o ztracení přenosu.

povoleném zpracování zbytkového echa (NLP). Vstupní signál  $R_{in}$  je zde CSS single talk a  $S_{in}$  je pásmově omezený bílý šum. Oba tyto signály mají předepsané úrovně v průběhu testu.

#### **Průběh testu:**

1. část prověřuje schopnost produkce šumu na výstupu  $S_{out}$ :
  - a) nastavení úrovně vstupního šumu ( $L_{Sgen}$ ) na úroveň mezi  $-50$  dBm a  $-40$  dBm,
  - b) nastavení úrovně vstupního signálu ze vzdáleného konce ( $L_{Rin}$ ) na ticho (úroveň nižší než  $-60$  dBm) a jeho udržování po dobu 10 s,
  - c) nastavení  $L_{Rin}$  na hodnotu  $-10$  dBm,
  - d) měření výstupní úrovně  $L_{RET}$  po prodlevě 2 s.
  
2. část prověřuje schopnost vyrovnání úrovně výstupu  $S_{out}$  při snížení úrovně vstupu  $S_{in}$ :
  - a) snížení  $L_{Sgen}$  o  $\delta$  dB z úrovně v části 1,
  - b) nastavení  $L_{Rin}$  na ticho a jeho udržování po dobu 10 s,
  - c) nastavení  $L_{Rin}$  na hodnotu  $-10$  dBm,
  - d) měření výstupní úrovně  $L_{RET}$  po prodlevě 2 s.
  
3. část 3 prověřuje schopnost zpětného vyrovnání při zvýšení úrovně na  $S_{in}$ :
  - a) zvýšení  $L_{Sgen}$  o  $\delta$  dB z úrovně v části 2,
  - b) nastavení  $L_{Rin}$  na ticho a jeho udržování po dobu 10 s,
  - c) nastavení  $L_{Rin}$  na hodnotu  $-10$  dBm,
  - d) měření výstupní úrovně  $L_{RET}$  po prodlevě 2 s.

#### **Požadavek:**

Úroveň  $L_{RET}$  na výstupu by se měla od úrovně  $L_{Sgen}$  na vstupu lišit maximálně o  $\pm 2$  dB. Tato podmínka platí pro všechny části testu. Úroveň výstupního signálu je měřena přes délku okna 700 ms a tato hodnota by také měla setrvat konstantní při měření po dobu nejméně 7,7 s. Měření výstupních signálů probíhá pomocí RMS měřiče, který využívá posuvného trojúhelníkového okna, viz část 2.3.2.

### **3.10 Test 10A - Faxový test na straně volající stanice**

Test slouží pro ověření činnosti potlačovače echa na straně volající stanice při přenosu sekvence, která je přenášena při navazování faxového volání. Při testu je využit faxový signál skupiny 3, definovaný v části 2.1.3. U potlačovačů, které obsahují možnost zapnutí tónového odpojovače<sup>15</sup> (*tone disabler*), by tento měl být zapnut. Pokud je zapnutí/vypnutí NLP implementováno jako volba externího přepínače, test by měl být proveden pro obě možnosti, tedy NLP ON i NLP OFF. Tato podmínka platí i pro test 10B.

---

<sup>15</sup> **Tone disabler** je zařízení, které může být obsaženo v potlačovači echa. Při detekci tónu o kmitočtu 2100 Hz, který periodicky mění svou fázi, zakáže automaticky činnost potlačovače. Podrobný popis obsahuje kapitola 7 v [1]. Tato vlastnost byla potlačovači přidána na základě problémů, které nastávaly během faxových přenosů. Rozšířením výše uvedeného je pouze zákaz činnosti NLP při detekci tónu 2100 Hz, který fázi nemění. Při testu 10A je to právě identifikační tón volané stanice CED.

**Průběh testu:**

- reset H registru, zákaz adaptace potlačovače,
- během aplikace CNG (*Calling tone* – tón volajícího) do  $S_{in}$ , CED (*Called station identification* – identifikační tón volané stanice) a binární sekvence č. 1 do portu  $R_{in}$  je adaptace povolena. Časový diagram vztahu aplikace signálů a povolení adaptace je uveden na obr. 23 v [1],
- během adaptačního intervalu je měřena úroveň signálu na výstupu potlačovače ( $L_{RES}/L_{RET}$  podle volby NLP – off/on, test je proveden pro obě varianty).

**Požadavky:**

- $L_{Rin} = -13$  dBm pro celý test,
- hodnoty ERL  $\geq 6$  dB,
- binární sekvence č.1 je opakována 4 krát,
- pro měření signálů je použit měřič s posuvným trojúhelníkovým oknem, viz část 2.3.2,
- Limit testu je rozdělen na 4 časové oblasti:
  - 1. oblast – konvergence na tón CED – všechny špičkové hodnoty úrovně výstupního signálu (měřené s posuvným oknem z části 2.3.2)  $L_{RES/RET}$  by měly být  $\leq \max(-37 \text{ dBm}, (-13 - A_{ECHO}^{16}) \text{ dBm})$ . 2. časová oblast by měla být dosažena v čase  $\leq (0,15 \text{ s} + t_d)$ , vzhledem ke startu signálu CED,
  - 2. oblast – ustálený stav (konvergovaný na tón CED) – všechny špičkové hodnoty úrovně  $L_{RES/RET} \leq -37$  dBm,
  - 3. oblast – konvergence na sekvenci č. 1 – špičkové hodnoty úrovně  $L_{RES/RET} \leq \max(-37 \text{ dBm}, (-13 - A_{ECHO}) \text{ dBm})$ . 4. časová oblast by měla být dosažena v čase  $\leq (1,3 \text{ s} + t_d)$ , vzhledem ke startu sekvence č. 1,
  - 4. oblast – ustálený stav (konvergovaný na sekvenci č. 1) – špičky  $L_{RES}$  by měly být  $\leq -24$  dBm. Při NLP ON platí pro tuto oblast  $L_{RET} \leq -37$  dBm.

### 3.11 Test 10B – faxový test na straně volané stanice

Test slouží k ověření činnosti potlačovače na straně volané stanice během navazování faxového volání. Pro tento test je jako signál  $R_{in}$  použita sekvence č. 2 (4 opakování), která je definována v [1] v popisu testu. Ta je pak přenášena opět pomocí FSK, viz část 2.1.3.

**Průběh testu:**

- na začátku je resetován H registr a zakázána adaptace potlačovače,
- 200 ms před zahájením přenosu sekvence č. 2 do  $R_{in}$  je adaptace povolena,
- během adaptačního intervalu (tj. během přenosu sekvence č. 2) je měřeno zbytkové/vracející se echo ( $L_{RES}/L_{RET}$ ).

**Požadavky:**

- hodnota  $L_{Rin} = -13$  dBm pro celý test,

<sup>16</sup> místo  $A_{ECHO}$  lze použít hodnotu ERL, viz Obr. 1.1.

- hodnota  $ERL \geq 6$  dB,
- pro měření signálů výstupu potlačovače je použit měřič z části 2.3.2,
- Limit testu má 2 časové oblasti:
  - 1. oblast – konvergence na sekvenci č. 2 – všechny špičkové hodnoty  $L_{RES/RET} \leq \max(-37 \text{ dBm}, (-13 - A_{ECHO}) \text{ dBm})$ . 2. časová oblast by měla být dosažena v čase  $\leq (1,3 \text{ s} + t_d)$ , vzhledem k začátku přenosu sekvence č. 2,
  - 2. oblast – ustálený stav (konvergovaný na sekvenci č. 2) – špičky  $L_{RES} \leq -24 \text{ dBm}$ . Pro NLP ON platí  $L_{RET} \leq -37 \text{ dBm}$ ,
  - Pro měření signálu v obou oblastech je kvůli vyhlazení špičkových hodnot použit měřič s posuvným oknem z části 2.3.2.

### 3.12 Test 12 – test zbytkového akustického echa

S narůstajícím využíváním sad hands-free vzrůstá také potřeba kontroly akustického echa vznikajícího odrazy z prostředí, ve kterém se mluvčí nachází. Akustické echo má mnohem vyšší rozptylový čas než echo elektrické. Tento test zajišťuje správnou činnost potlačovače za přítomnosti zbytkového akustického echa – resp. že činnost potlačování elektrického echa v jeho přítomnosti není příliš snížena.

Příklad popisovaný v [1] uvozuje záměr tohoto testu. Zde bude pro objasnění situace ocitován: „Uživatel provádí volání na telefon, který má možnost hlasitého odposlechu. Na toto volání je odpovězeno zpočátku pomocí mikrotelefonu a poté je hovor přepnut na hlasitý odposlech pro sdílení hovoru s dalšími posluchači v místnosti. Před ukončením hovoru je opět hovor převeden zpět do mikrotelefonu (handset).“ V tomto případě je tedy akustické echo přítomno pouze ve fázi, kdy je telefon přepnut na hlasitý odposlech. V první a poslední části tohoto testu se vyskytuje pouze elektrické echo (tyto části jsou pro testovací účely charakterizovány stejnou ozvěnovou cestou a stejným útlumem echa, ERL). Prostřední fáze je charakterizována jinou ozvěnovou cestou a nižší hodnotou ERL (vyšší echo).

#### Průběh testu:

- ozvěnová cesta A,  $ERL_A \geq 16$  dB,
- jiná ozvěnová cesta (B,  $ERL_B = ERL_A - 10$  dB),
- návrat k původní ozvěnové cestě (A,  $ERL_A$ ).

Jako ozvěnová cesta může být využita jakákoliv z nabízených v Tab. 2.2 a jako cesta B jedna z cest č. 4, 7 a 8, které mají větší rozptyl<sup>17</sup>.

Požadavek pro splnění testu je obdobný jako v části 3.1. Tedy v části 1 platí maska pro konvergenci potlačovače a pro část 2 a 3 maska pro re-konvergenci potlačovače. Ve fázi 2 a 3 není prováděn reset H registru, protože na sebe části plynule navazují (jde o jeden plynulý hovor).

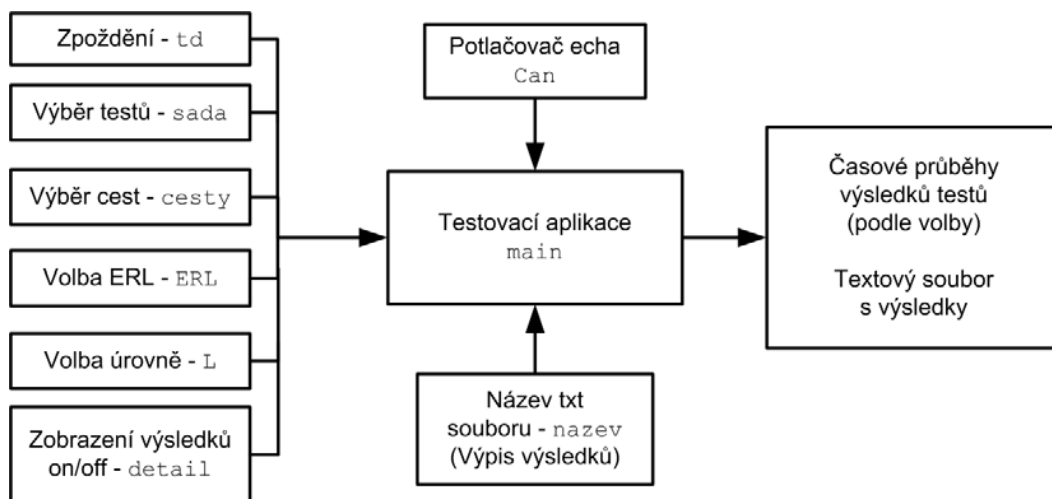
<sup>17</sup> Definice tohoto testu nebere v úvahu nelineární ozvěnové cesty nebo cesty, které by svým rozptylem překročily kapacitu potlačovače echa. Takové cesty se samozřejmě ve skutečném provozu mohou vyskytnout.



## 4 Testovací aplikace

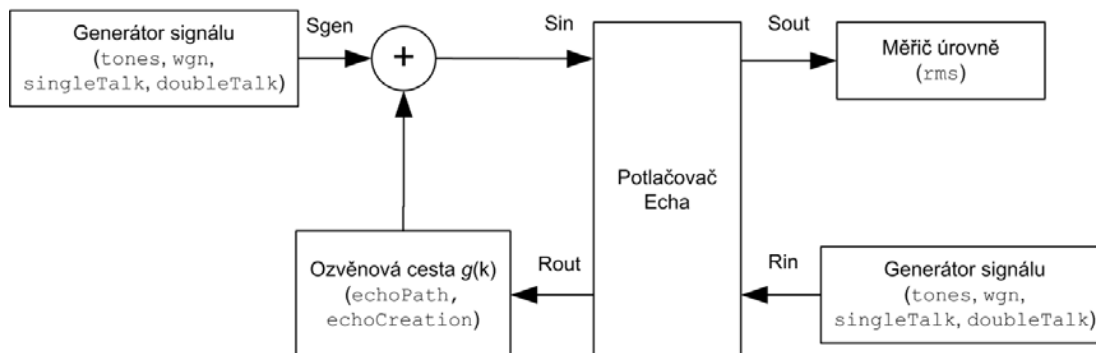
V testovací aplikaci jsou vytvořeny podmínky pro testování potlačovačů podle kapitoly 2 a dále jsou realizovány testy, které jsou obsahem kapitoly 3.

Jednoduché blokové schéma aplikace je uvedeno na Obr. 4.1. Hlavním vstupním blokem testovací aplikace je struktura potlačovače echa (Can), který má být otestován. Tato struktura, pro kterou byly testy provedeny a kterou je nutno zachovat, pokud mají být testovací funkce použity i pro jiné potlačovače echa, je popsána v odstavci 4.5. Dále je vyžadována volba zpoždění ozvěnové cesty (td), které je nejdůležitějším parametrem pro většinu testů, a následně jsou vybrány testy, které mají být na předloženém potlačovači echa provedeny (sada). Následuje trojice vektorů vstupních parametrů, jejichž hodnoty si navzájem odpovídají (cesty, ERL, L), vysvětlení viz 4.4. Pro tyto testy mohou být zobrazeny výsledky v podobě časových průběhů (tuto možnost nabízí přepínač detail). Výsledky jednotlivých testů jsou po jejich dokončení zapsány v textovém souboru, jehož název je posledním parametrem (nazev), který je testovací aplikaci předložen (soubor je uložen v aktuálním adresáři, ze kterého je spouštěna testovací aplikace).



**Obr. 4.1: Blokové schéma testovací aplikace**

Další části této kapitoly jsou věnovány popisu jednotlivých funkcí, které jsou testovací aplikací a jednotlivými testy používané. Pro orientaci použití funkcí, které vytvářejí podmínky testování potlačovačů, je na Obr. 4.2 uvedeno testovací schéma s výpisem názvů funkcí, které reprezentují jeho jednotlivé bloky.



Obr. 4.2: Testovací schéma potlačovače s uvedenými funkcemi.

## 4.1 Testovací signály

### 4.1.1 Šumový signál

Pro generování šumového signálu je využito předdefinované funkce MATLABu `wgn`, která generuje Gaussovský bílý šum. Je použita v následující konfiguraci, která vygeneruje reálný bílý šum o výkonové úrovni  $-55$  dBm na zátěži  $600 \Omega$ .

```
Sgen = wgn(8000, 1, -55, 600, 'dBm', 'real');
```

### 4.1.2 Tónové signály (`tones.m`)

Tato funkce generuje sinusový signál o zvoleném kmitočtu, délce a efektivní úrovni výkonu v dBm, která je uvažována na zátěži  $600 \Omega$ . Signál je generován pro vzorkovací kmitočet  $8$  kHz. Odvození amplitudy, která je použita při generování signálu, probíhá následovně:

- nejprve je přepočtena zadaná úroveň výkonu signálu (v dBm) na výkon (ve W), podle vztahu 4.1,
- poté je podle vztahu 4.2 vypočítána amplituda sinusového signálu ve V, která odpovídá zvolené úrovni v dBm.

$$P = \frac{10^{\frac{L}{10}}}{1000}, \quad (4.1)$$

$$U_{ef} = \frac{A}{\sqrt{2}} \Rightarrow A = \sqrt{2} \cdot U_{ef} = \sqrt{2 \cdot P \cdot R}, \quad (4.2)$$

kde  $P$  [W] je efektivní výkon signálu,

$L$  [dBm] je požadovaná efektivní úroveň,

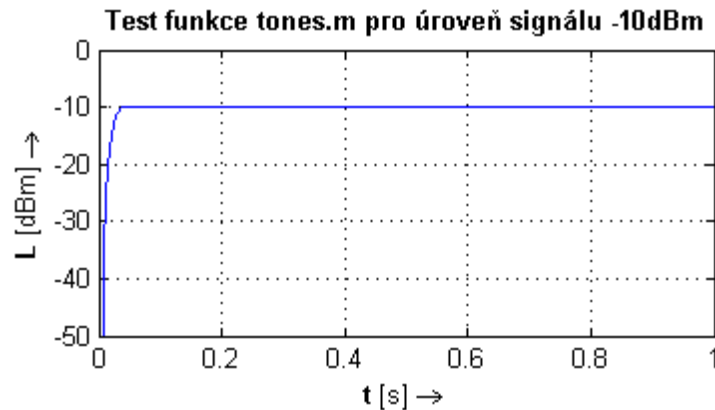
$U_{ef}$  [V] je efektivní hodnota napětí sinusového signálu,

$A$  [V] je amplituda sinusového signálu,

$R$  [ $\Omega$ ] je uvažovaná zátěž.

Funkce je jednoduchá a její stručný popis postačuje, není pro ni tedy vytvořen vývojový diagram. Její činnost byla otestována měřicí funkcí z části 4.3.1 a shodu pro zvolenou úroveň  $-10$  dBm dokazuje Obr. 4.3, který byl zobrazen pro následující výpis<sup>18</sup>.

```
s = tones(2000, 1, -10);  
Ls = rms(s, 1000, 'on', 'filtr');
```



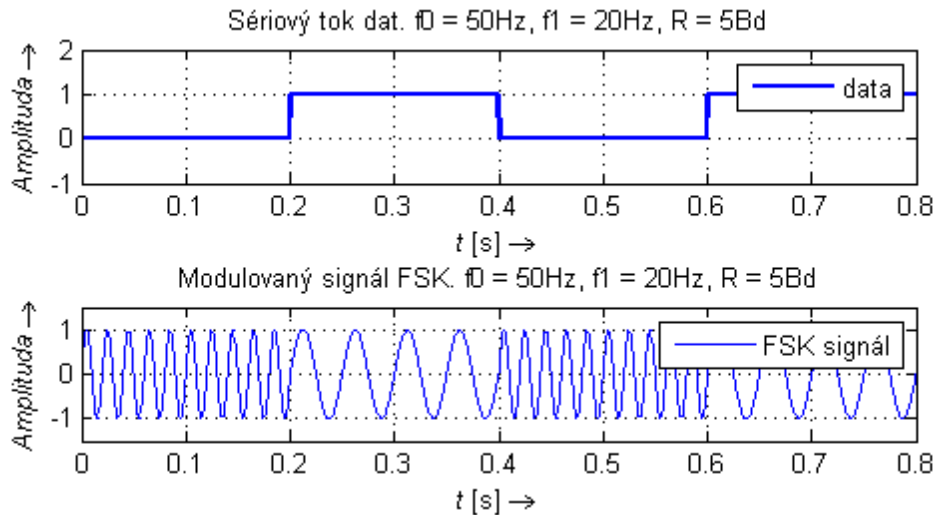
Obr. 4.3: Otestování činnosti funkce `tones.m`.

#### 4.1.3 Modulovaný signál FSK (`fskm.m`)

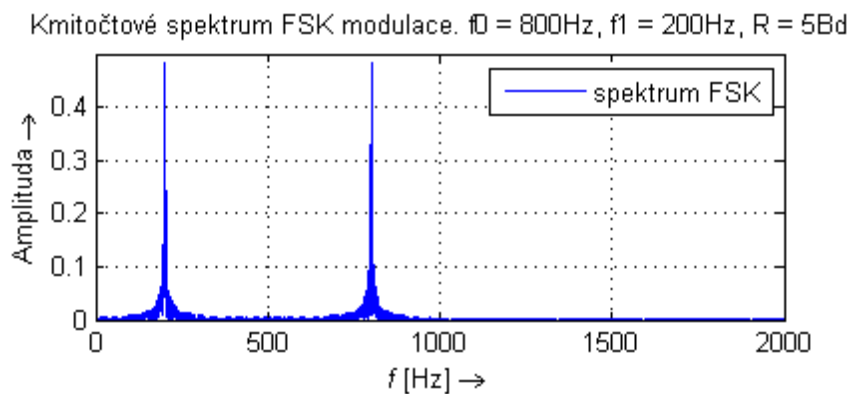
Podle principu kmitočtového klíčování FSK byla navržena jednoduchá funkce. Její vývojový diagram je v příloze A.1. Pro změnu amplitudy generovaného signálu je použit vztah 4.2. Pro názornost zobrazení výsledků této funkce je uveden časový průběh na Obr. 4.2 a kmitočtové spektrum na Obr. 4.3. Z důvodu čitelnosti jsou oba průběhy uvedeny pro nižší kmitočty, než jsou použity v testu 10. Pouze pro tento test byla funkce realizována a následující výpis je v tomto testu použit (`g` představuje binární sekvenci).

```
f0=1850; f1=1650; R=300; L=-13; g = Sekv1;  
[t, fsk] = fskm(g, f0, f1, R, L);
```

<sup>18</sup> Protože je funkce `rms` na vstupu opatřena sítí kmitočtového vážení, která vymezuje signály od 300 Hz do 3400 Hz, je nutné volit kmitočet sinusového signálu v tomto rozsahu.



Obr. 4.2: Průběh modulovaného signálu FSK



Obr. 4.3: Kmitočtové spektrum FSK signálu

#### 4.1.4 CSS single talk (singleTalk.m)

Funkce je vytvořena podle popisu v části 2.1.5, ve které jsou uvedeny všechny podrobnosti týkající se realizace generování signálu CSS single talk. Vývojový diagram je uveden v příloze A.2. Volání funkce je uvedeno následujícím výpisem. Vstupem je počet period signálu CSS single talk (celé číslo, jedna perioda má délku 0,7 s). Výstupní signál má úroveň  $L = 0$  dBm, v případě potřeby je dalším výstupním parametrem i časová osa signálu. Pokud je požadován signál o jiné úrovni, stačí vygenerovaný vektor vynásobit konstantou, která je dána vztahem 4.3. Protože má tento složený signál jednu část, která obsahuje pseudo-náhodný šum, je při každém generování výsledná úroveň signálu odlišná. Změna úrovně se však pohybuje v řádu  $10^{-1}$  dBm.

$$K_a = 10^{\frac{L}{20}}, \quad (4.3)$$

kde  $K_a$  je koeficient pro změnu úrovně generovaného signálu,  
 $L$  je požadovaná úroveň v dBm.

```
Ka = 10^(-10/20);
% signál o úrovni -10dBm a délce 2.8s
[Rin, tRin] = Ka*singleTalk(4);
```

#### 4.1.5 CSS double talk (doubleTalk.m)

Popis generování je uveden v části 2.1.5, její vývojový diagram v příloze A.3. Volání funkce je obdobné jako v předchozím případě a opět je generován signál o úrovni  $L = 0$  dBm. Změna úrovně možná pomocí násobení konstantou uvedenou vztahem 4.3.

```
[Sgen, tSgen] = doubleTalk(2);
```

### 4.2 Simulace echa

Volba ozvěnové cesty je při testování velice důležitým krokem. V případě této testovací aplikace jsou voleny ozvěnové cesty z celé nabídky doporučení [1]. Ty jsou implementovány ve funkci `echoPath` a vytvoření echa pro předložený vstupní signál je realizováno funkcí `echoCreation`.

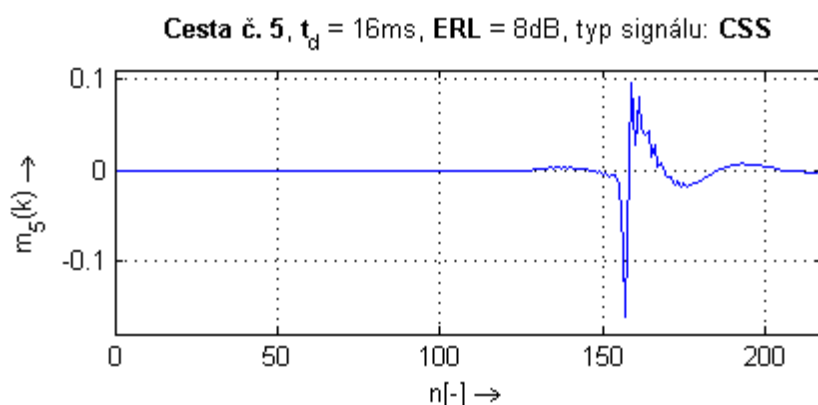
#### 4.2.1 Funkce ozvěnové cesty (echoPath.m)

V této funkci je implementováno 8 ozvěnových cest, které jsou obsahem přílohy D doporučení [1]. Vývojový diagram je uveden v příloze A.4.

**Vstupem** funkce je identifikátor ozvěnové cesty ( $v$ ), hodnota útlumu echa odrazem (ERL), zpoždění ozvěnové cesty v ms ( $zpozdeni$ ) a typ vstupního signálu ( $typ\_signalu$ ). Poslední parametr je zde z důvodu použití odlišných koeficientů pro tónové a CSS signály při výpočtu podle vztahu 2.3. **Výstupem** funkce je utlumená a zpožděná impulzní odezva zvolené ozvěnové cesty.

Příklad volání této funkce pro cestu č. 5, ERL = 8 dB, zpoždění ozvěnové cesty 16 ms a signál CSS je uvedeno následujícím výpisem a odpovídající impulzní charakteristika je na Obr. 4.4.

```
g = echoPath(5, 8, 16, 'css');
```



Obr. 4.4: Zpožděná a utlumená impulzní charakteristika cesty č. 5.

#### 4.2.2 Vytvoření echa (echoCreation.m)

Funkce využívá impulzní charakteristiku získanou pomocí funkce `echoPath`, pouze přibývá jeden vstupní argument, kterým je signál, jehož echo (výstup funkce `echoCreation`) má být simulováno. Filtrace je provedena předdefinovanou funkcí `filter`. Volání viz následující výpis.

```
cesta = 5; ERL = 8; td = 8;
Echo = echoCreation(Rin, cesta, ERL, td, 'tone');
```

### 4.3 Měřící funkce

Návrh měřící funkce proběhl podle požadavků, které jsou uvedeny v části 2.3. Pro realizaci jsou využity dvě funkce, `rms` a `segment_rms`.

#### 4.3.1 Měření RMS hodnoty (`rms.m`)

Funkce provádí implementaci blokového schématu na Obr. 2.12. Její vývojový diagram je uveden v příloze A.6.

**Vstupem** funkce je signál, délka segmentu a typ filtrace po umocnění signálu (exponenciální filtr nebo trojúhelníkové okno). **Výstupem** je vektor efektivní úrovně výkonu vstupního signálu v dBm.

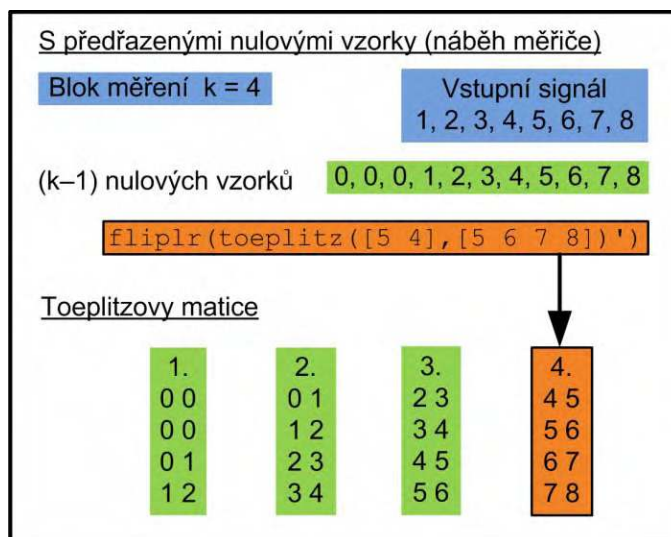
```
Rin = singleTalk(2)';
Segment = 5600; nabeH = 'on'; typ = 'filtr';
L_Rin = rms(Rin, segment, nabeH, typ);
```

V této konfiguraci provádí funkce měření vektoru  $R_{in}$ , ve kterém je signál CSS single talk o úrovni 0 dBm. Měření probíhá pro segmenty délky 5600 vzorků se zapnutým předřazením nulových vzorků (viz dále část 4.3.2) a filtrací pomocí exponenciálního filtru.

#### 4.3.2 Funkce segmentace (`segment_rms.m`)

Protože je v doporučení [1] požadováno měření po blocích délky jedné periody CSS (single talk 5600 a double talk 6400 vzorků), je pro výpočet sumy kvadrátů (podle definice efektivní hodnoty) nutné sčítat jednotlivé vzorky segmentu vstupního signálu. Nejprve bylo toto sčítání provedeno klasicky (průchod cyklem `for`), nicméně časová náročnost tohoto provedení byla neúnosná a proto byla nahrazena sčítáním sloupců sestavené Toeplitzovy matice, která má navíc výhodu, že prvky se do jednotlivých sloupců „postupně nasouvají“, což odpovídá reálné situaci při měření. Vzhledem k tomu, že je MATLAB optimalizován pro práci s maticemi, je tento způsob výpočtu výrazně rychlejší.

Zjednodušený příklad pro krátký signál a stav sestavených Toeplitzových matic pro výpočet sumy je uveden na Obr. 4.5. Na začátku měření je předpokládán nulový stav měřiče, proto jsou před signál doplněny nulové vzorky (náběh hodnoty). Tímto stylem je dosaženo stejné délky výstupního signálu jako vstupního, pouze je nutné brát ohled na to, že ustálené hodnoty výstupního signálu je dosaženo až po  $(k - 1)$  vzorcích. Tedy právě tolik, kolik jich bylo signálu předřazeno ( $k$  je délka segmentu, pro kterou má být prováděno toto měření – pro CSS signály  $k = [5600, 6400]$ ). Navíc je nutné brát ohled na velikost matice – při této délce segmentu by se čtvercová matice  $k \times k$  (5600x5600) dostala nad paměťové možnosti MATLABu (pro 32-bitový OS). Proto je sestavována matice o velikosti  $k \times k/2$  (5600x2800, 6400x3200), která je stále v rámci povolené velikosti paměti pro jednu proměnnou. Způsob bez předřazování nul je ve funkci také zachován (volba `nabeH = 'off'`), neodpovídá však příliš reálné situaci a navíc je výstupní signál o  $(k - 1)$  vzorků kratší než vstupní.



Obr. 4.5: Postup výpočtu sumy segmentu.

Protože tato funkce provádí výpočet průměrné hodnoty vstupního signálu v rámci zvolené délky segmentu, je na jejím konci výsledný vektor podělen touto délkou. Vývojový diagram této funkce je uveden v příloze A.6. Ve funkci `rms` je použita v následující konfiguraci, kde vypočte průměrnou hodnotu vektoru `sig`.

```
rms = segment_rms(sig,blokMereni,nabeh);
```

#### 4.4 Řídící funkce (*main.m*)

Funkce `main` je nejvyšší úrovní celé testovací aplikace. Je uváděna před jednotlivými testy z důvodu objasnění principu testování, který je použit.

Funkce volá potřebné testovací funkce, jimž předává své vstupní parametry a provádí výpis jejich výstupních parametrů do zvoleného souboru. Její volání je uvedeno následujícím výpisem:

```
main(Can, sada, td, urovne, ERL, cesta, detail, nazev)
```

Funkce `main` tedy nemá žádný výstupní parametr. Vstupními parametry jsou:

- `Can` – struktura potlačovače echa, který má být otestován. Z části 4.5 lze použít funkci `newEchoCancellor(tap)`,
- `sada` – určuje sadu funkcí, které chce uživatel spustit. Tato proměnná je udávána ve formátu buněk (cell), ve kterých jsou uvedeny znakové (char) identifikátory pro jednotlivé testy. Identifikátory všech testů jsou uvedeny v Tab. 4.1. Většinou se neliší od čísla testů v popisu, pouze je nutné je zadávat s malými písmeny,
- `td` – je celočíselná kladná konstanta vyjadřující zpoždění ozvěnové cesty v ms, pro které má být otestována činnost potlačovače echa. Pro spuštění jednoho testování, které může zahrnovat více testů a více kombinací dalších vstupních parametrů, je tato hodnota **jedinečná** (pro kombinace `urovne`, `ERL`, `cesta` se nemění),
- U následujících vektorů si jejich hodnoty vzájemně odpovídají:

- `urovne` – tento vektor určuje požadované úrovně vstupního signálu, pro které má být provedena sada testů. **Důležité:** úrovně zadávané tímto vektorem jsou úrovně  $L_{Rin,act}$ , tedy pro signály single talk a double talk bez pauz. Hodnoty vektoru `urovne` lze volit s ohledem na rozsah, který je dán u jednotlivých testů, viz příloha C. Rozsah  $L_{Rin,act}$  je funkcí hlídán (viz vstupní parametry testovacích funkcí, např. `test2A`, část 4.6.1), a tedy i rozsah vektoru `urovne` musí být volen z tohoto rozsahu,
- `ERL` – vektor, určující hodnotu útlumů echa odrazem,
- `cesta` – vektor identifikátorů ozvěnové cesty,  
(Pozn.: Hodnoty v těchto vektorech si odpovídají ve smyslu první k prvnímu, druhý k druhému, atd. Podle délky těchto vektorů je tolikrát volána funkce zvoleného testu.)
- `detail` – je přepínač, jehož poloha je určena textovým řetězcem. Ovlivňuje, zda chce uživatel zobrazit výsledky spuštěných testů nebo ne. Má dvě polohy ('on'/'off'),
- `nazev` – je textový řetězec, který určuje název souboru s příponou \*.txt, ve kterém budou vypsané výsledky testů (vytvořen je soubor s jakoukoli příponou, která je uvedena v tomto řetězci, např. \*.doc – pro možnost čtení v jednoduchém textovém editoru je doporučeno \*.txt).

Detailní popis činnosti je uveden vývojovým diagramem v příloze A.7. Funkce vypisuje potřebné údaje do zvoleného souboru a volá funkce definované vektorem `sada` s kombinací dalších parametrů. Příklad volání řídicí funkce je uveden následujícím výpisem:

```
Can = newEchoCancellor(128);
main(Can, {'2a', '2b'}, 16, [5, 5], [12, 18], [-5, -10], 'on', 't2ab.txt')
```

Tímto voláním budou spuštěny testy 2A a 2B v následujících konfiguracích:

1. 2A s parametry  $t_d = 16$  ms, ozvěnová cesta č.5, ERL = 12 dB,  $L_{Rin,act} = -5$  dBm,
2. 2A s parametry  $t_d = 16$  ms, ozvěnová cesta č.5, ERL = 12 dB,  $L_{Rin,act} = -10$  dBm,
3. 2B s parametry  $t_d = 16$  ms, ozvěnová cesta č.5, ERL = 12 dB,  $L_{Rin,act} = -5$  dBm,
4. 2B s parametry  $t_d = 16$  ms, ozvěnová cesta č.5, ERL = 12 dB,  $L_{Rin,act} = -10$  dBm,

Po proběhnutí každého z testů jsou jeho výsledky zapsány do souboru `t2ab.txt` v aktuálním adresáři, ze kterého je spuštěna řídicí funkce a jsou zobrazeny detaily ve formě grafů.

**Tab. 4.1: Identifikátory testů**

Test	2A	2B	2C	2C - část a	2C - část b	2C - část c	3A	3B	3C	4	5	6	7	9	10A	10B	12
Identifikátor	2a	2b	2c	2ca	2cb	2cc	3a	3b	3c	4	5	6	7	9	10a	10b	12

Pro demonstraci činnosti řídicí funkce a tedy i celé testovací aplikace, je v souborech, které jsou přiloženy k této práci, demonstrační skript `demo.m`, a návod na jeho spuštění je předmětem přílohy E.2.



## 4.5 Požadovaná struktura potlačovače echa

Funkcemi jednotlivých testů, které jsou popsány v části 4.6, byl proveden test potlačovače echa, který byl na základě [5] vytvořen vedoucím práce jako zkušební vzorek. Funkce, která je jednoduchým adaptivním filtrem s algoritmem LMS podle části 1.3.1, a struktura tohoto potlačovače je dána následujícím výpisem.

```
function [ EchoCancellor] = newEchoCancellor(Tap)
Hangover = 3;
rho = 0.9;
EchoCancellor = struct( ...
    'AdaptFilter', newLMSFilter(Tap), ...
    'NearSpeechDetector', newNearSpeechDetector( Tap, Hangover), ...
    'ResidualErrorSuppressor', newResidualErrorSuppressor(rho), ...
    'Convergence', 'on', ...
    'NLP', 'on');
```

K jednotlivým položkám lze tedy přistupovat jako k prvkům struktury. Nejdůležitější pro ovládání činnosti potlačovače v průběhu testování jsou položky `NLP` a `Convergence`. Obě položky tvoří externí přepínače. Pomocí `NLP` je ovládána funkce zpracování zbytkového echa, `ResidualErrorSuppression`, podobně také položka `Convergence` ovládá funkci adaptace `LMSFilteringAndAdapt`.

Volání funkce, která je použita pro spouštění činnosti potlačovače echa spolu s proměnnými, které charakterizují signály vstupující a vystupující do/z potlačovače echa spolu s jeho nastavením, je uvedeno následujícím výpisem.

```
Can = newEchoCancellor(128);
Can.NLP = 'off';
Can.Convergence = 'on';
[Sout, NearOut, Can] = EchoCancellation( Can, Echo+Sgen, Rin);
```

Tímto výpisem je vytvořen potlačovač echa `Can` o délce adaptivního FIR filtru 128 vzorků, čímž je stanoveno i maximální zpoždění ozvěnového signálu, při kterém by potlačovač měl být schopen tuto ozvěnu potlačit. Pro vytvořený potlačovač je zakázáno zpracování zbytkového echa a povolena konvergence. Do funkce pro potlačení echa `EchoCancellation` vstupuje tato struktura spolu se signálem simulovaného echa, který je sčítán se signálem na blízkém konci  $S_{gen}$ , viz Obr. 2.1, a vstupní signál  $R_{in}$ , který přichází ze vzdáleného konce. Výstupem této funkce je změněná struktura potlačovače, kdy jsou v ideálním případě koeficienty adaptivního FIR filtru ( $H$  registr) konvergovány k ozvěnové cestě, pro kterou bylo simulováno echo.

Pro použití následujících testovacích funkcí v nezměněné podobě pro testování jiných potlačovačů je nutné zachovat rozhraní nejvyšší úrovně tohoto potlačovače echa, tedy strukturu `EchoCancellor` a funkci `EchoCancellation`. Všechny funkce, které realizují potlačovač, jsou přiloženy na CD v této práci. Protože nejsou předmětem práce, nejsou zde detailně rozebírány.

## 4.6 Funkce jednotlivých testů

V textu jednotlivých testů budou uváděny i jejich výsledky pro strukturu potlačovače stručně popsanou v předchozím odstavci v konfiguraci pro nejnižší zpoždění, na které jsou navrhovány síťové potlačovače echa ( $\Delta = 16$  ms, tedy `newEchoCancellor(128)`). Přestože tento potlačovač při testování nesplnil úvodní testy ani pro poloviční kapacitu, tedy 8 ms, jsou výsledky dalších testů uváděny pro toto zpoždění. Některé testy by tento potlačovač byl schopen naplnit i pro vyšší hodnoty zpoždění echa, je však myšleno, že nejdůležitějším parametrem je právě jeho rapidní konvergence a re-konvergence.

Pro spouštění většiny testů jsou vyžadovány parametry úrovně vstupního signálu  $L_{\text{Rin,act}}$  a hodnota útlumu echa odrazem ERL. Pro přehled rozsahů, které je možné zadat, viz příloha C. V testovacích funkcích jsou hlídány rozsahy těchto parametrů a také typy všech vstupních parametrů.

### 4.6.1 Test 2A / Test 2B (`test2A.m/test2B.m`)

Podle požadavků uvedených v částech 3.1 a 3.2 jsou realizovány funkce, jejichž činnost je popsána pomocí vývojového diagramu v příloze A.8. Oba testy jsou spojeny do jednoho vývojového diagramu, protože jejich průběh je obdobný a liší se pouze v povolení/zákazu zpracování zbytkového echa, dále v adaptačním intervalu, který je potlačovači testem definován, a s tím také souvisejícím limitu, který je tedy pro oba testy definován různě.

**Vstupní parametry** jsou obdobné jako v popisu řídicí funkce `main` a tomuto popisu odpovídají. Výjimkou je, že:

- `cesta_a` je číslo ozvěnové cesty, pro kterou má být provedena konvergenční část testu (pouze 1 hodnota). Volba cest v re-konvergenční části testu je ponechána na volbě 4 ozvěnových cest, které jsou vyžadovány v popisu testu. Je tedy provedeno testování pro všechny tyto cesty,
- ERL je hodnota útlumu echa odrazem (volba pro jednotlivé cesty viz Tab. 2.2),
- $L$  je požadovaná úroveň vstupního signálu  $L_{\text{Rin,act}}$  – v tomto smyslu je ve funkcích vytvořena drobná úprava. Protože měření vstupních signálů probíhá i s úseky, ve kterých se nachází pauzy (úroveň  $L_{\text{Rin}}$ , která je následně podle vztahu 3.1 upravena na požadovanou  $L_{\text{Rin,act}}$ ) a každé generování signálu CSS má drobně odlišnou úroveň (ne přesně 0 dBm), je vzhledem k požadovanému rozsahu  $L_{\text{Rin,act}} \leq 0$  dBm nutné zajistit, aby tato hodnota nebyla překročena (především kvůli určování požadované výstupní hodnoty  $L_{\text{RES/RET}}$ , viz Obr. 3.1 a Obr. 3.2). Toto opatření spočívá pouze ve vytvoření jisté rezervy oproti vztahu 3.1, a tedy na začátku funkce, pokud je parametrem  $L$  zadána úroveň ( $L_{\text{Rin,act}}$ ) v rozsahu 0 dBm až  $-0,5$  dBm, je upravena na úroveň  $L_{\text{Rin}}$  s rezervou 0,51 dBm (výsledná úroveň vypsaná v parametrech testu ve struktuře výsledku by tedy měla být cca o 0,5 dBm nižší než zadaná). S tím souvisí i opatření pro spodní mez rozsahu vstupních úrovní. Pro tento případ je rozšířeno generování průběhu pro určení

odpovídající úrovně signálu na výstupu, který je uveden na Obr. 3.1 pro rozsah  $-32$  dBm až  $0$  dBm.

Požadavkem testů je splnění stanoveného limitu pro různé kombinace zpoždění ozvěnové cesty ( $t_d$ ), úrovně vstupního signálu ( $L_{Rin,act}$ ) a útlumu echa odrazem (ERL). Tyto hodnoty jsou tedy zvoleny jako vstupní parametry funkce a na úrovni funkce daného testu (ne řídicí funkce) jsou uváděny vždy pouze jednou hodnotou. Kombinaci parametrů, a tím i násobné spouštění testu v řídicí funkci, lze měnit pomocí jejich vstupních parametrů (vektorů), viz část 4.4.

Volání funkcí je uvedeno následujícím výpisem. Tento výpis bude platit i pro většinu následujících testů, výpis volání funkce bude uváděn pouze u funkcí, jejichž vstupní parametry jsou odlišné.

```
vysledek = test2A(Can, td, cesta_a, ERL, detail, L);
vysledek = test2B(Can, td, cesta_a, ERL, detail, L);
```

**Tab. 4.2: Přehled použitých cest při re-konvergenční části testu 2A/2B.**

konvergence		rekonvergence		
cesta	použitý ERL	Případ	cesta	ERL
volba* cesty (doporučeno 1,2,3,5)	ERL*	1	4	ERL*
		2	6	
		3	7	
		4	8	
		5	volba	ERL* – 10dB
		6	4	
		7	6	
		8	7	
		9	8	

\* vstupní parametr funkce

Pro obě části těchto testů, a také pro testy, které budou následovat, jsou definovány limity, jejichž hodnoty jsou závislé na úrovni vstupního signálu  $L_{Rin,act}$ . Pro tento účel jsou v testech realizovány závislosti požadovaných úrovní výstupních signálů ( $L_{RET}$ ,  $L_{RES}$ ) na vstupní  $L_{Rin,act}$ . Pro vyhledání odpovídající hodnoty výstupu ke změřené vstupní úrovni je použita funkce `vyber`, jejíž popis je uveden v části 4.7.1. Této funkci jsou předloženy vektory realizující osy  $x$  a  $y$  dané závislosti. Jsou pro ukázkou uvedeny následujícím výpisem a odpovídají právě Obr. 3.1.

```
% průběh L_RET = f(L_Rin,act) - Obr.9 v G.168
x_Lrin = linspace(-30,0,300);
y_Lret(1:200) = -65;
y_Lret(201:300) = linspace(-65,-55,100);
L_RET = vyber(x_Lrin, y_Lret, L_Rin_act(end));
```

Funkce `vyber` vrací hodnotu požadované výstupní úrovně  $L_{RET}$  nebo  $L_{RES}$  (podle volby povoleného/zakázaného NLP) a na jejím základě je určena maximální hodnota limitu testu (pokud přímo tato hodnota, jak to v některých testech je, není samotným limitem testu). Pro

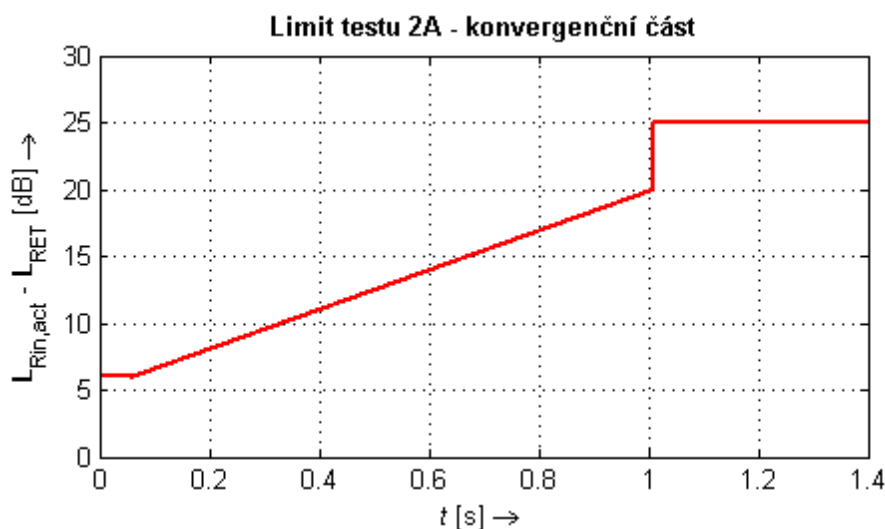
test 2A je limit dán maximální kombinovanou ztrátou  $A_{\text{COM}}$  a je zobrazen na Obr. 4.6. Pro další testy již limitní průběhy uváděny nebudou.

Z důvodu znatelnosti rozdílu jednotlivých částí limitu v Obr. 4.6 je uvedeno maximum kombinované ztráty na hodnotě 25 dB, ve skutečnosti je však tato hodnota hluboce pod požadavky testu 2A<sup>19</sup>. Délka limitu je zde zvolena opět z ilustračních důvodů na 1,4 s. V [1] je ve vykreslení limitu testu uvedena délka 3 minuty, což však z důvodu požadovaného dosažení ustáleného stavu v testu po čase  $(1 + t_d)$  s, není nutné, a i z důvodu časové náročnosti měření tak dlouhých signálů je délka trvání testu zkrácena na 20 s<sup>20</sup>. Limit zde sestává z tří částí:

- první část (konstantní pro hodnotu 6 dB) má časový rozsah od začátku testu do času  $(0,05 + t_d)$  s,
- druhá (lineární část od 6 dB do 20 dB) navazuje na první a pokračuje do času  $(1 + t_d)$  s,
- třetí část navazuje a trvá až do konce testu. Je opět konstantní, určena maximální hodnotou  $A_{\text{COM}}$ . V této části by se již potlačovač měl nacházet v tzv. ustáleném stavu, což znamená, že hodnota kombinované ztráty (a tedy i úroveň signálu na výstupu potlačovače) by v ní měla již být také konstantní, nebo narůstat jen velice pomalu.

Měření všech signálů tohoto testu probíhá podle požadavků části 2.3.1 pomocí funkce `rms`, jejíž použití je uvedeno v části 4.3.1.

Splnění tohoto testu je zajištěno pro hodnoty kombinované ztráty vyšší nebo rovny danému limitu.



**Obr. 4.6: Limit testu 2A, konvergenční část.**

<sup>19</sup> Nejvyšší hodnota:  $A_{\text{COMmax}} = L_{\text{Rin,act(max)}} - L_{\text{RET(max)}} = 0 \text{ dBm} - (-55 \text{ dBm}) = 55 \text{ dB}$ ,  
nejnižší hodnota:  $A_{\text{COMmin}} = L_{\text{Rin,act(min)}} - L_{\text{RET(min)}} = -30 \text{ dBm} - (-65 \text{ dBm}) = 35 \text{ dB}$ .

<sup>20</sup> U dalších testů jsou délky trvání testů také zkráceny.

**Vyhodnocení splnění/nesplnění testu** je provedeno pomocí jednotlivých částí limitu. Jeho hodnota se v průběhu testu mění, což odpovídá situaci postupného přizpůsobování (konvergenční) potlačovače. Vektor kombinované ztráty, která byla v testu dosažena, je rozdělena na 3 části, jejichž délky odpovídají délkám částí limitu a oba vektory jsou porovnány. Relace je uvedena následujícím výpisem pro lineární část limitu na Obr. 4.6. Definice  $y\_a$  není ve výpisu uvedena, ale je to vektor dosažené kombinované ztráty v průběhu testu 2Aa. Zpoždění  $t_d$  je vstupní argument funkce `test2A`).

```

shift = 1e-3*td;
tmla = 0.05+shift; z1a = floor(tmla*Fs);
tm2a = 1+shift; z2a = floor(tm2a*Fs);
% druhá (lineární) část limitu
y2a = linspace(6,20,z2a - z1a);
a2 = y_a(z1a+1:z2a);
% relace
V2a = a2 >= y2a;
% vyhledání nesplnění limitu
res = find(V2a < 1);

```

Výsledkem relační operace je vektor logických hodnot  $V2a$ . Další vektor `res` je naplněn indexy vzorků ve  $V2a$  (a potažmo tedy i v  $y\_a$ ), které se vyskytly pod úrovní limitu. Na základě tohoto vektoru (zda je prázdný či nikoli) je do **výstupního parametru** funkce (struktura uvedená následujícím výpisem) zapsán záznam o splnění/nesplnění testu v dané části limitu spolu s detaily o požadované a dosažené hodnotě (požadovaná hodnota není uváděna u lineární části limitu, pouze u konstantních). Pro re-konvergenční část jsou uvedeny nadpisy případů, které při re-konvergenční části 3.1.2 mohou nastat. Tyto případy jsou uvedeny v Tab. 4.2.

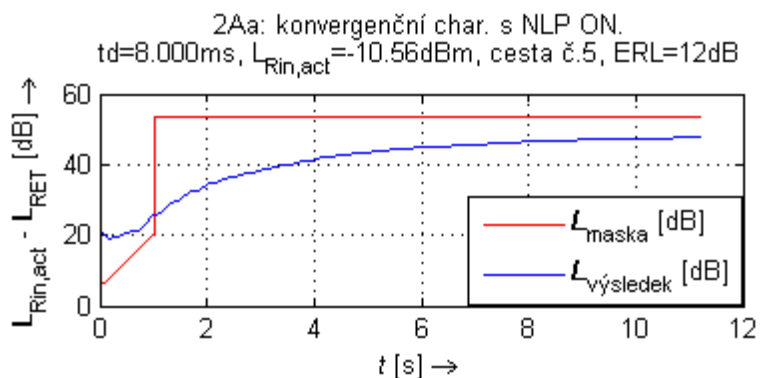
Ve výstupním parametru jsou dva sloupce, do kterých lze odděleně zapisovat. V následujícím výpisu je uveden pouze název testu, ale v průběhu vyhodnocování testu jsou přidávány další záznamy. Při využití ve funkci `main` je tato struktura předána funkci `zprava` (viz část 4.7.2), která všechny záznamy uvedené v této struktuře vypíše do zvoleného textového souboru. Následují výsledky obou testů.

```

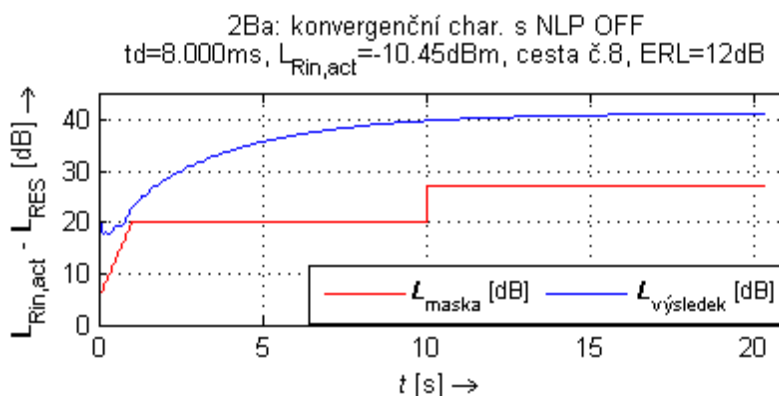
vysledek = struct( 'nazev', {}, 'v', {});
vysledek.nazev = {'Test 2A - '};
vysledek.v = {'konvergence(2Aa) a rekonvergence(2Ab) s NLP ON'};

```

Testovaný potlačovač byl navržen podle [5] pro vyzkoušení činnosti testovacích funkcí. Jeho struktura je popsána v části 4.5. U různých testů dosahuje různých výsledků, úvodní konvergenční a re-konvergenční testy, které jsou pro jeho činnost nejpodstatnější, však nesplňuje. Přesto jsou však uváděny výsledky pro prezentaci funkčnosti testovacích funkcí. Nejprve jsou uvedeny výsledky konvergenčních částí obou testů. U testu 2A je zřetelné, že nároky na testovaný potlačovač jsou i při nízkém zpoždění (při testování bylo zvoleno  $t_d = 8$  ms) příliš vysoké a v testu jeho kombinovaná ztráta vyhověla limitu pouze v úvodní části, v ustáleném stavu je hodnota nízká, viz Obr. 4.7. Naopak pro nižší nároky při vypnutém NLP potlačovač již požadavkům vyhověl, viz Obr. 4.8.

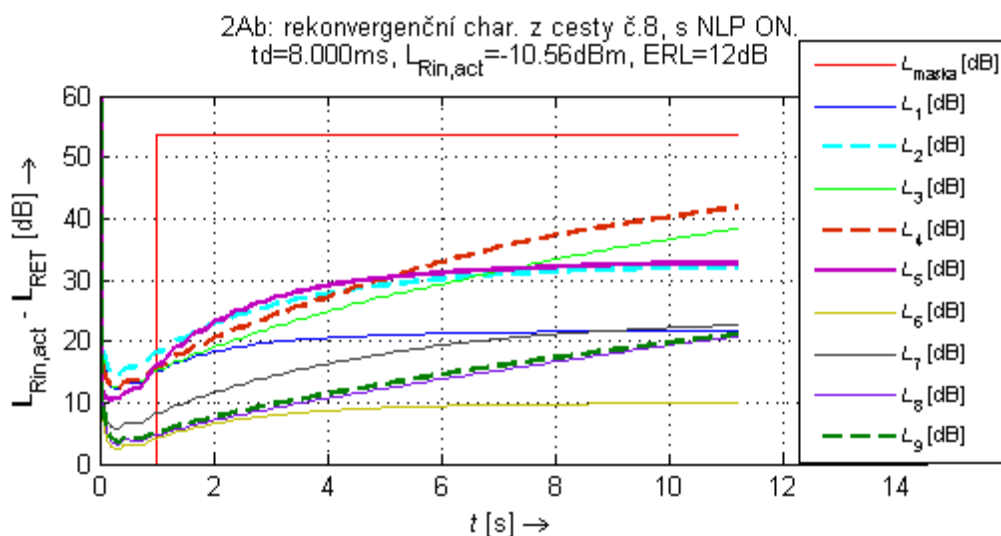


**Obr. 4.7: Konvergenční část testu 2A.**

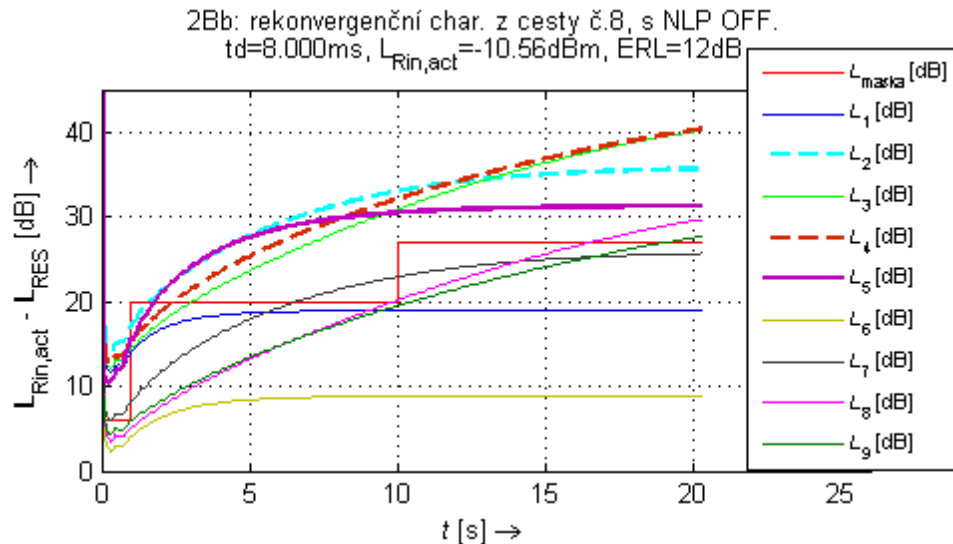


**Obr. 4.8: Konvergenční část testu 2B.**

Pro re-konvergenční část obou testů jsou zobrazeny dosažené výsledky potlačovače pro stejné vstupní parametry jako u předchozích výsledků. Opět je patrné, že u zapnutého NLP (Obr. 4.9) jsou nároky na potlačovač příliš vysoké, u testu s vypnutým NLP (Obr. 4.10) již pro některé ozvěnové cesty je schopen alespoň částečně naplnit požadavky na úroveň kombinované ztráty.



**Obr. 4.9: Re-konvergenční část testu 2A.**



Obr. 4.10: Re-konvergenční část testu 2B.

#### 4.6.2 Test 2C – (test2Ca.m, test2Cb.m, test2Cc.m)

Implementace celého testu 2C proběhla ve třech samostatných funkcích, jejichž názvy jsou uvedeny v nadpisu. Tento postup byl zvolen vzhledem k větší přehlednosti při testování. V testovací aplikaci lze tedy spustit buď každý zvlášť, nebo sadu všech tří funkcí. V obou případech je nutné brát v potaz drobnou změnu parametru úrovně vstupního signálu  $L_{\text{Rin,act}}$ . Je to způsobeno aspektem použití generování signálu CSS single talk v každé funkci zvlášť, viz část 4.1.4.

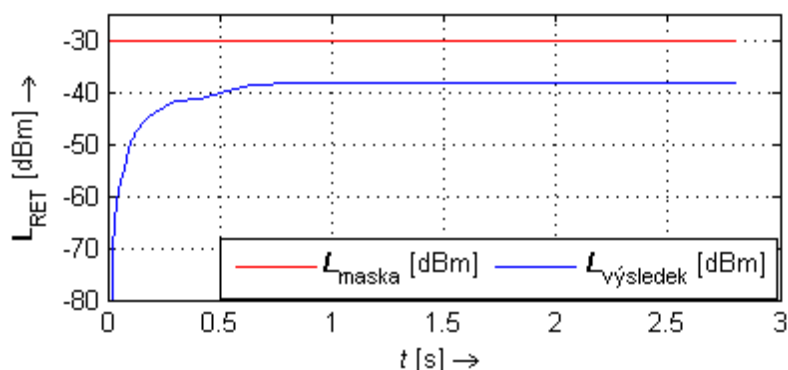
Ve všech funkcích, které tvoří tento test, je použito generování bílého šumu pomocí konfigurace uvedené v části 4.1.1. Tento signál je filtrován pomocí kmitočtového vážení, které používá funkce `rms`. Takto upravený, je tedy použit šumový signál jako  $S_{\text{gen}}$ , do  $R_{\text{in}}$  je stále aplikován signál CSS single talk, podrobnosti volby úrovně v části 3.3. Volání funkcí je obdobné jako v části 4.6.1.

##### a) Konvergenční test s povoleným NLP

Tato část je implementována ve funkci `test2Ca`. Průběh testu byl podle jeho popisu v části 3.3 rozdělen na 5 fází, a měřený výstupní signál poslední fáze je výsledkem testu. Je následně porovnáván s hodnotou požadované  $L_{\text{RET}}$ , která je opět získána pomocí definované závislosti  $L_{\text{RET}} = f(L_{\text{Rin,act}})$  z popisu testu. Limit testu určuje hodnota  $L_{\text{RET}}$  vybraná z této závislosti, a výsledný průběh  $L_{\text{RET}}$  z 5. Fáze průběhu testu by měl být nižší nebo roven této hranici.

Vyhodnocení (ne)splnění testu je obdobné jako v předchozím testu 2A. Vývojový diagram je v příloze A.9. Kromě drobné odlišnosti, která bude popsána dále, odpovídá popisu průběhu tohoto i následujícího testu. Výsledek testu 2Ca) je uveden na Obr. 4.11, kde je tento test potlačovačem splněn.

2Ca: konvergenční charakteristika se šumem na pozadí,  
 NLP ON,  $t_d = 8\text{ms}$ ,  $L_{Rin,act} = -10.74\text{dBm}$ , cesta č.5, ERL=12dB

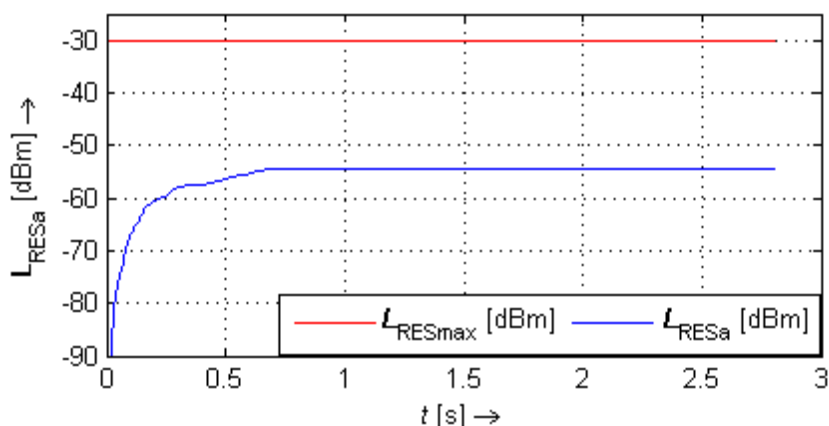


Obr. 4.11: Konvergenční charakteristika se šumem na pozadí.

**b) Potlačení v ustáleném stavu**

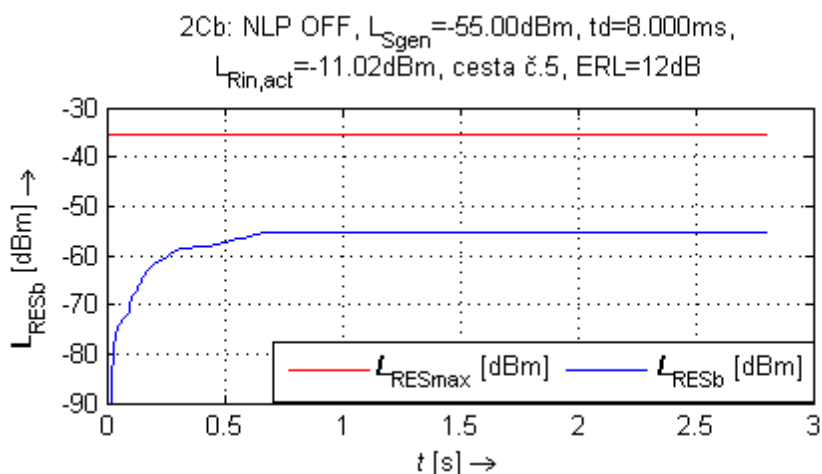
Druhá část testu je obsahem funkce test2Cb a je provedena pro dvě hodnoty úrovně generovaného šumu, viz 3.3.2. V průběhu funkce je vzhledem k vyhodnocení testu pro obě hodnoty  $S_{gen}$  v jednotlivých fázích nutné dbát na střídavé ukládání a znovu-načítání stavu H registru po konvergenci na vstupní signál a vygenerovaný šum pro obě zvolené úrovně. Tato výjimka není uvedena ve vývojovém diagramu, v realizaci funkce však je. První hodnotě  $L_{Sgen}$ , která je zvolena podle vztahu 3.3 při splnění podmínky 3.4, odpovídá průběh uvedený na Obr. 4.12. Druhé hodnotě  $L_{Sgen} = -55\text{ dBm}$  potom Obr. 4.13. Oba průběhy se vyskytují pod určenou hranicí a test je tedy pro zvolené vstupní parametry ( $t_d = 8\text{ ms}$ , ozvěnová cesta č. 5,  $L_{Rin,act} = -10\text{ dBm}$ , ERL = 12 dB) a obě hodnoty  $L_{Sgen}$  šumového signálu splněn.

2Cb: NLP OFF,  $L_{Sgen} = -30.00\text{dBm}$ ,  $t_d = 8.000\text{ms}$ ,  
 $L_{Rin,act} = -11.02\text{dBm}$ , cesta č.5, ERL=12dB



Obr. 4.12: Potlačení v ustáleném stavu při NLP ON,  $L_{Sgen} \leq L_{Rin,act}$

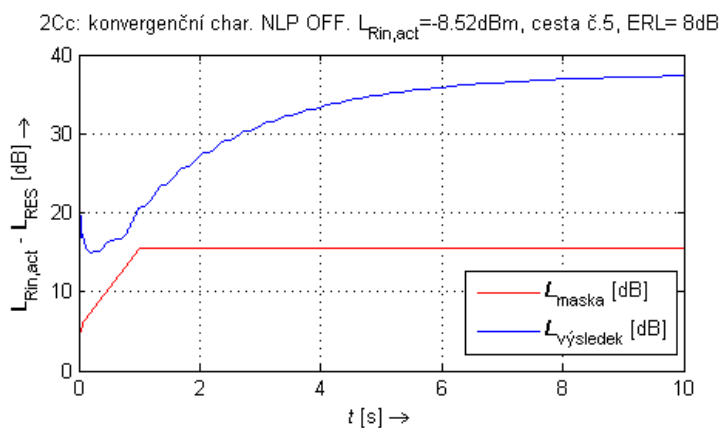




Obr. 4.13: Potlačení v ustáleném stavu při NLP ON,  $L_{Sgen} = -55\text{ dBm}$ .

### c) Konvergenční test se zakázaným NLP

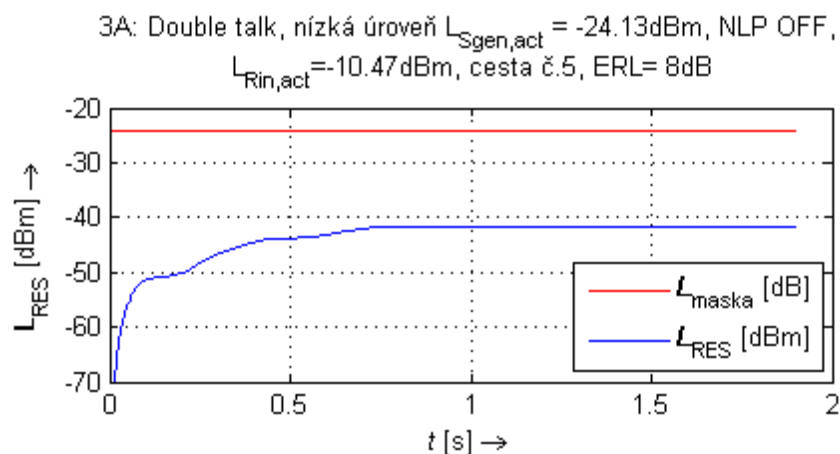
Tato část je podle popisu v 3.3.3 realizována ve funkci `test2Cc` a její vývojový diagram je uveden v příloze A.10. Průběh není rozdělen na fáze, protože není třeba různě povolovat či zakazovat adaptaci potlačovače. Vstupní signály jsou obdobné jako v předchozích částech a výstupní signál by měl splnit požadavky limitu, který je používán ve funkci `test2B` a vychází z požadavku Obr. 3.2. Vyhodnocení o (ne)splnění testu probíhá jako v části 4.6.1, tedy pro 3 části zvlášť. Výstupem funkce je opět struktura záznamů s detaily o jednotlivých částech průběhu konvergence se šumem na pozadí. Na Obr. 4.14 je test splněn.



Obr. 4.14: Konvergenční test se šumem na pozadí při NLP OFF.

### 4.6.3 Test 3A (`test3A.m`)

Vývojový diagram funkce je uveden v příloze A.11. U testů double talk jsou na potlačovač aplikovány signály ze vzdáleného a z blízkého konce, zde je testována činnost potlačovače pro nízkou úroveň řeči na blízkém konci ( $L_{Sgen}$ ). Všechny potřebné detaily jsou uvedeny v části 3.4.1, zde je pouze pro doplnění uveden výsledek testu pro parametry, které jsou uvedeny v jeho nadpisu (pouze zpoždění  $t_d = 8\text{ ms}$  uvedeno není). Pro zvolenou kombinaci vstupní úrovně, ozvěnové cesty a ERL byl tento test na Obr. 4.15 splněn.

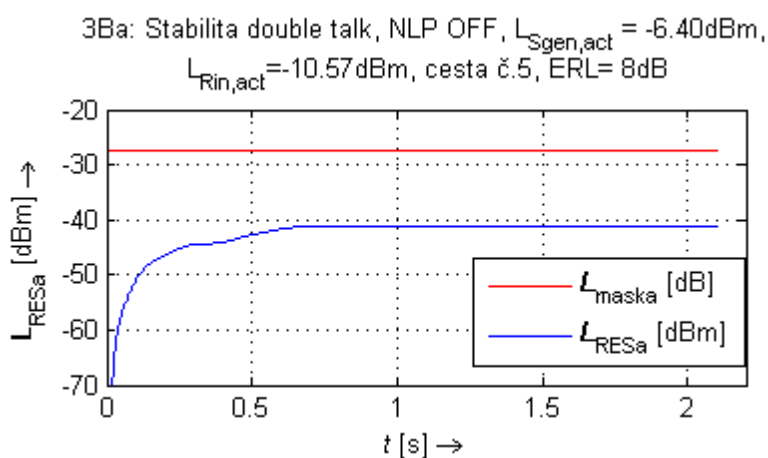


Obr. 4.15: Double talk test pro nízkou úroveň řeči na blízkém konci.

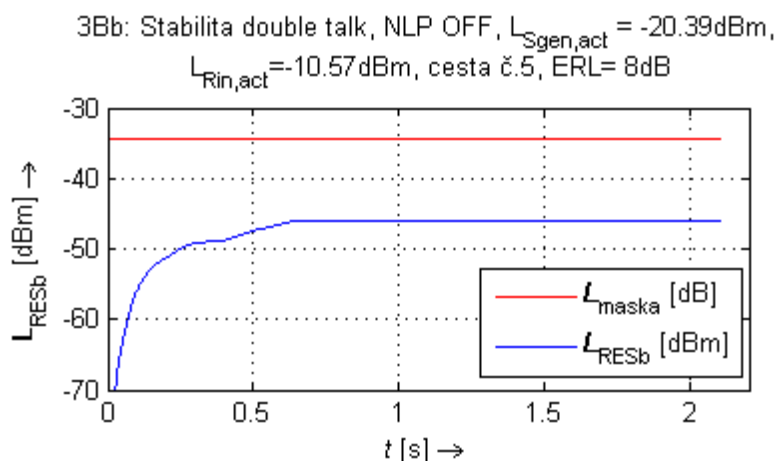
#### 4.6.4 Test 3B (test3B.m)

Vývojový diagram je uveden v příloze A.12. Stabilita potlačovače v konvergovaném stavu (podrobnosti viz část 3.4.2) je zde testována pro **dvě úrovně**  $L_{S_{gen,act}}$ . Vysoká úroveň je podle požadavku v popisu testu v části 3.4.2 jako  $L_{S_{gen,act}} \geq L_{R_{in,act}}$ . V implementaci testu to znamená, že jsou od vstupní úrovně ( $L_{R_{in}}$ ) v případě generování signálu  $R_{in}$  (`singleTalk`) odečteny 2 dBm a v případě generování  $S_{gen}$  (`doubleTalk`) přičteny 2 dBm. Hodnota rozdílu úrovní tedy vstupem funkce ovlivnit nejde, nicméně i tak je splněna podmínka, že signál z blízkého konce má vyšší úroveň než signál z konce vzdáleného, což je pro průběh tohoto testu podstatné. V druhém případě, kdy má být  $L_{S_{gen,act}}$  nižší o zvolenou hodnotu, je generován signál s úrovní o 10 dB nižší než  $L_{R_{in,act}}$ . Všechny tyto parametry (změřené hodnoty pomocí `rms`) jsou vypisovány do výstupní struktury i do popisů grafů.

Délka výstupního signálu poslední fáze zde nehraje až takovou roli, protože byl předtím potlačovač již plně konvergován. Proto byla zvolena délka posledního signálu 2,1 s (3 periody CSS single talk). Výsledky jsou uvedeny na Obr. 4.16 a Obr. 4.17, testy byly tímto potlačovačem splněny.



Obr. 4.16: Stabilita double talk při vysoké úrovni řeči na blízkém konci.

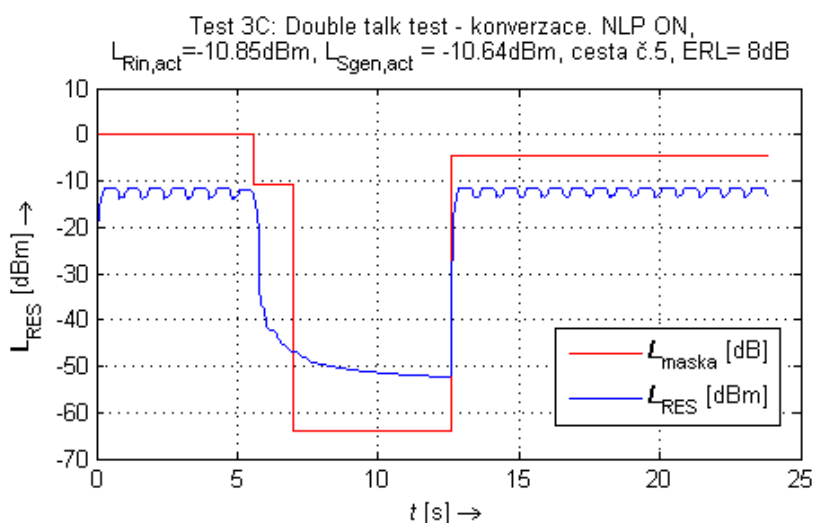


Obr. 4.17: Stabilita double talk při nízké úrovni řeči na blízkém konci.

#### 4.6.5 Test 3C (test3C.m)

Test simulované konverzace je jedním z nejdelších testů a i jeho vyhodnocení má více částí. Podrobnosti a požadavky na jednotlivé části jsou uvedeny v 3.4.3 a vývojový diagram v příloze A.13. Zde je pro splnění podmínky stejné nebo vyšší úrovně signálu na blízkém konci ( $L_{Sgen,act} \geq L_{Rin,act}$ ) použita stejná hodnota vstupního argumentu funkce ( $L$ ) pro oba generované signály. Při tomto postupu je vzhledem k 3.1 a 3.2 tato podmínka splněna.

Při vyhodnocování je opět využito relačních operací v jednotlivých částech limitu, které jsou rozdílné. Požadavky na 3. a 4. část limitu určuje Obr. 3.1. V Obr. 4.18 je vidět, že právě 3. část limitu potlačovač nesplnil. Toto souvisí opět již se známými výsledky z konvergenční části testu 2A. Nicméně zde se potlačovač limitu zdárně přibližuje. Pro připomenutí, k měření byla využita funkce `rms` s vyhlazením špičkových hodnot měřeného signálu pomocí posuvného trojúhelníkového okna.

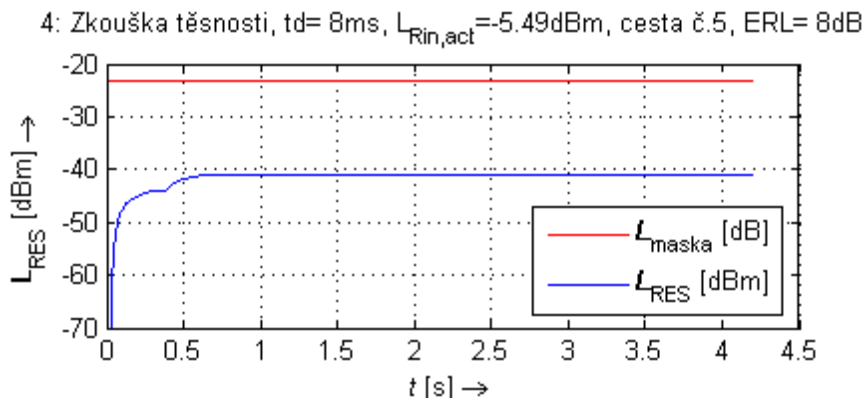


Obr. 4.18: Double talk test při simulované konverzaci.

#### 4.6.6 Test 4 (test4.m)

Vývojový diagram tohoto testu je uveden v příloze A.14. Limit tohoto testu je opět určen pomocí Obr. 3.2, vstupní argumenty jsou zachovány v nezměněné podobě. Výsledek

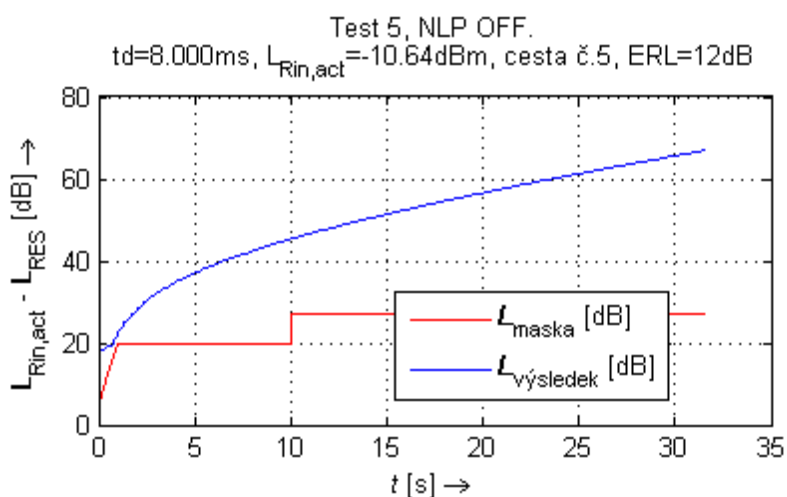
testu je uveden na Obr. 4.19. Ze splnění tohoto testu a podle popisu v 3.5 lze usuzovat na dobrou schopnost tohoto potlačovače udržet konvergovaný stav i při dlouhých pauzách, které se mohou vyskytnout během hovoru. Proto je následně při další přítomnosti řeči v komunikačním kanále schopen rychle zareagovat bez znatelných změn v kvalitě výstupního signálu.



Obr. 4.19: Výsledek zkoušky těsnosti.

#### 4.6.7 Test 5 (test5.m)

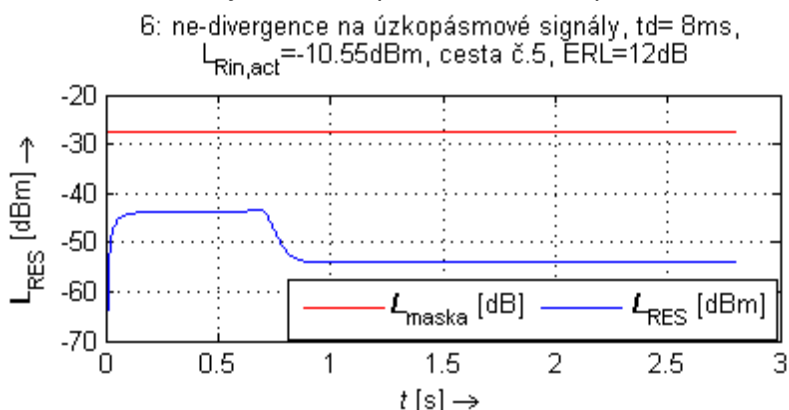
Celý průběh testovací procedury je uveden na vývojovém diagramu v příloze A.15. První část a limit celého testu jsou obdobné jako v konvergenční části testu 2B (tedy 2A, viz 4.6.1, se zakázaným NLP). Druhá část testu (po přerušení ozvěnové cesty) probíhá pro nulový signál echa, který je způsoben hodnotou  $\text{ERL} \rightarrow \infty$ . Vyhodnocení (ne)splnění testu opět probíhá pro jednotlivé části limitu, který se v průběhu testu mění. Výsledný průběh pro testovaný potlačovač (kdy hodnota ERL při úvodní konvergenci, pro nepřerušenu ozvěnovou cestu, je 12 dB) je uveden na Obr. 4.20, test je v úvodní části splněn jen s malou rezervou. Při různých simulacích, kdy byla volena nižší hodnota ERL (větší echo), však v úvodní konvergenci požadavek testu splněn nebyl.



Obr. 4.20: Výsledek testu č.5.

#### 4.6.8 Test 6 (test6.m)

U této funkce, která je popsána vývojovým diagramem v příloze A.16, je zvolením parametru úrovně vstupního signálu potlačovač v první fázi testu konvergován na CSS signál o této úrovni. V druhé fázi, kdy je aplikována tónová sekvence o kmitočtech z Tab. 2.3, jsou generovány sinusové průběhy pomocí funkce `tones` o úrovni, která je o 5 dBm nižší než zvolená ( $L-5$  dBm) pro jedno-tónové a nižší kmitočty dvou-tónových signálů a o úrovni ( $L-3$  dBm) pro vyšší kmitočty u dvou-tónových signálů. Pro dvou-tónové signály jsou poté zvlášť vygenerované průběhy sečteny. Je tak splněna podmínka uvedená v části 3.7. Na následujícím obrázku Obr. 4.21 je vidět, že potlačovač test splnil.



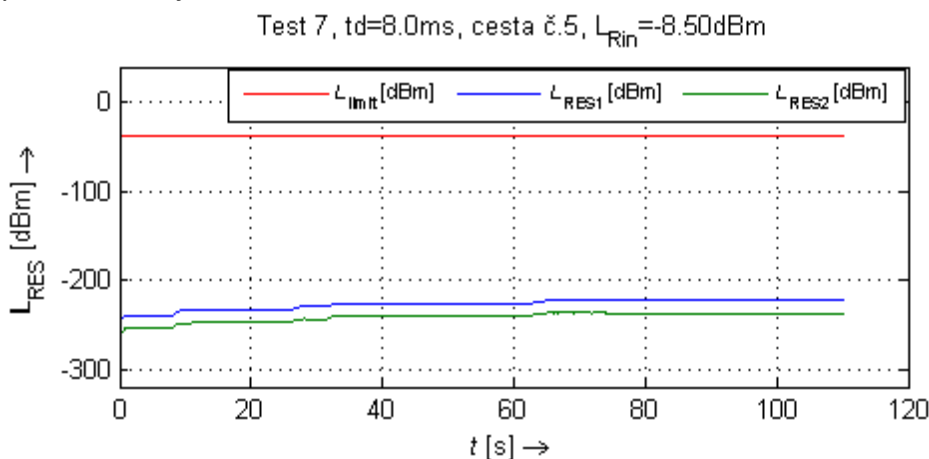
Obr. 4.21: Výsledek testu *nedivergence* na úzkopásmové signály.

#### 4.6.9 Test 7 (test7.m)

Popis tohoto testu je uveden v části 3.8. Průběh realizace je obdobný jako v předchozích odstavcích a vývojový diagram je uveden v příloze A.17. Pro vytvoření vstupního signálu je opět použita funkce `tones`. Průběh testu je realizován pro dvě hodnoty ERL, které jsou pevně určeny popisem testu, proto nejsou zadávány jako vstupní parametr funkce. Její volání je tedy následující:

```
v7 = test7(Can, td, cesta, L, detail);
```

Limitem tohoto testu je hodnota  $L_{RES}$  určená z průběhu v popisu testu a je závislá na vstupní úrovni  $L_{Rin}$ . Výsledný průběh při splnění testu nabývá hodnot nižších nebo rovných limitu. Výsledek testu je uveden na Obr. 4.22.



Obr. 4.22: Výsledek testu *stability*.

#### 4.6.10 Test 9 (test9.m)

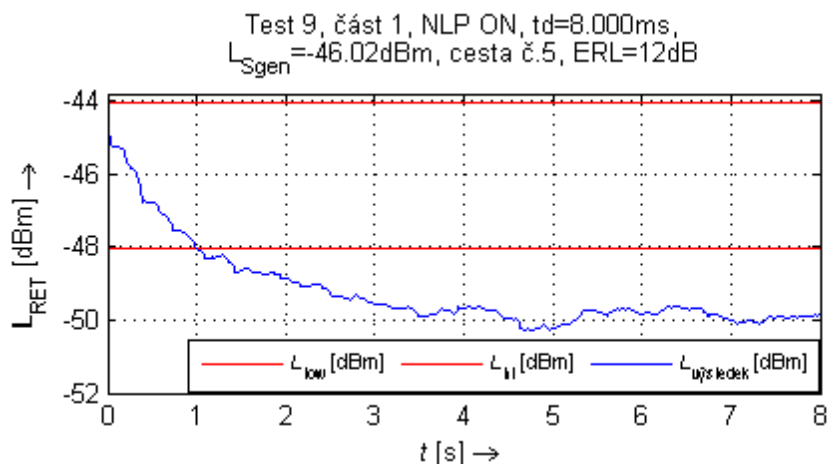
Podle popisu v části 3.9 je provedena implementace testu a její vývojový diagram uvádí příloha A.18. Protože jsou u tohoto testu pevně stanoveny hodnoty  $L_{\text{Rin}}$  a ERL, nejsou tyto parametry zadávány. Hodnota  $L_{\text{Sgen}}$  má stanoven rozsah  $-50$  dBm až  $-40$  dBm a byla zvolena střední hodnota  $L_{\text{Sgen}} = -45$  dBm.

```
V9 = test9(Can9, td, cesta, detail)
```

Šumový signál, který je aplikován na vstup potlačovače ( $S_{\text{in}}$ ), je pásmově omezen pro rozsah 300 Hz až 3400 Hz, pomocí kmitočtového vážení, které k pásmovému omezení používá měřič RMS úrovně, viz část 2.3. Měření úrovně výstupního signálu je pro tento test provedeno pomocí metody popsané v části 2.3.2, tedy bez filtrace signálu před výpočtem jeho efektivní úrovně. Vyhodnocení je u tohoto testu nepatrně obtížnější, protože výstupní signál má stanovenou odchylku  $\pm 2$  dB od úrovně  $L_{\text{Sgen}}$ . Toto porovnání je uvedeno následujícím výpisem.

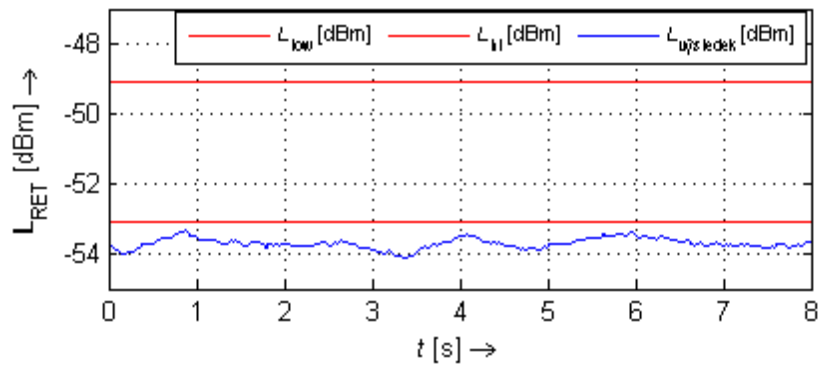
```
% vyhodnocení a zobrazení proběhne pro signál po prodlevě 2s
p = 2*Fs+1;
% porovnání zvláště změny o +2dB a -2dB
Vlow1 = L_RET1(p:end) >= (L_Sgen(end) - 2);
Vhi1 = L_RET1(p:end) <= (L_Sgen(end) + 2);
if isempty(res_l1) && isempty(res_h1)
...
end
```

Výsledky jsou uvedeny na následujících obrázcích. Výstupem funkce je 5 průběhů. Každý z nich má stanoven rozsah povolených úrovní. 1 obrázek je pro první fázi, kdy se výstup potlačovače přizpůsobuje úrovni šumového signálu na jeho vstupu, 2 pro fázi, kdy je úroveň  $L_{\text{Sgen}}$  snížena o  $\delta$  dB (5 a 10 dB) a 2 pro návrat z této změny k původní hodnotě  $L_{\text{Sgen}}$ . Potlačovač splnil test pro druhou fázi, tedy při snížení úrovně na vstupu  $S_{\text{gen}}$ , pro hodnotu  $\delta = 10$  dB. Ale vzhledem k tomu, že je v [1] u potlačovačů avizována funkce „comfort noise“ jako volitelná a tento ji neobsahuje, jeho výsledky jsou pro stanovenou situaci ( $t_d$ , ozvěnová cesta) velice blízké stanoveným limitům.



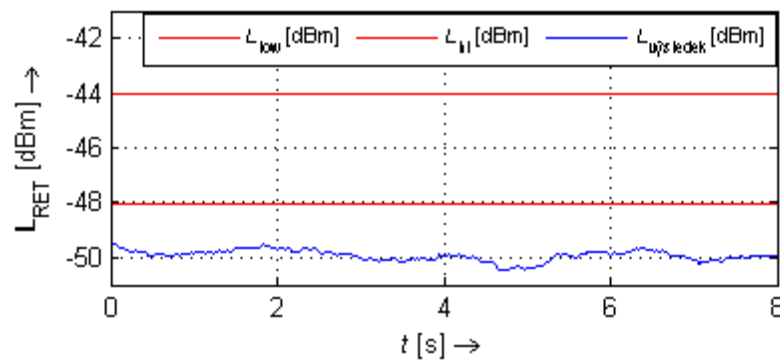
Obr. 4.23: První fáze testu 9.

Test 9, část 2-snížení o delta L=5dB  
 $t_d=8.000\text{ms}$ ,  $L_{Sgen}=-51.08\text{dBm}$ , cesta č.5, ERL=12dB



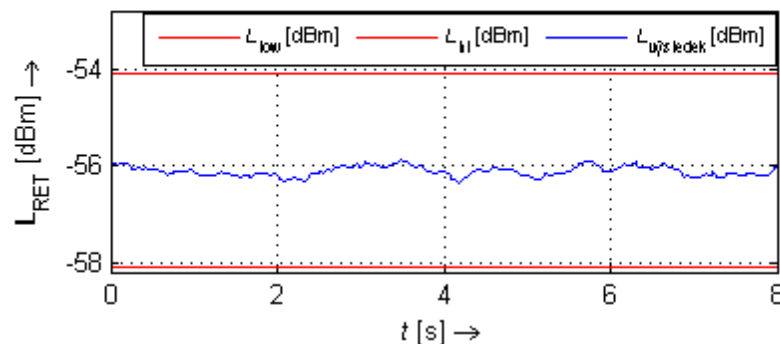
**Obr.4.24: Druhá fáze testu 9 při snížení  $L_{Sgen}$  o 5 dB.**

Test 9, část 3-návrat o delta L=5dB  
 $t_d=8.000\text{ms}$ ,  $L_{Sgen}=-46.02\text{dBm}$ , cesta č.5, ERL=12dB



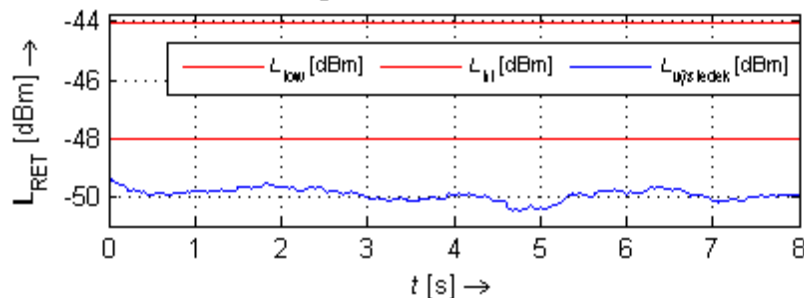
**Obr. 4.25: Třetí fáze testu 9 při návratu na původní hodnotu  $L_{Sgen}$ .**

Test 9, část 2-snížení o delta L=10dB  
 $t_d=8.000\text{ms}$ ,  $L_{Sgen}=-56.11\text{dBm}$ , cesta č.5, ERL=12dB



**Obr. 4.26: Druhá fáze testu 9 při snížení  $L_{Sgen}$  o 10 dB.**

Test 9, část 3-návrat o delta L=10dB  
 $t_d=8.000\text{ms}$ ,  $L_{Sgen}=-46.02\text{dBm}$ , cesta č.5, ERL=12dB

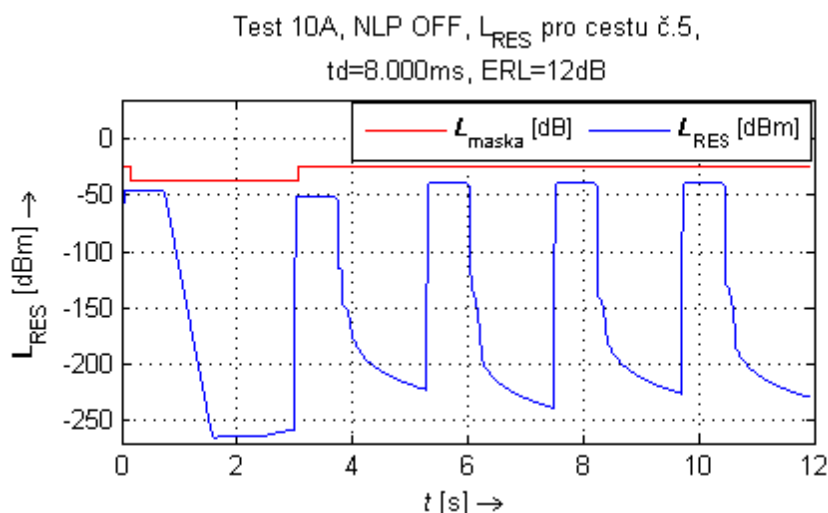


**Obr. 4.27: Třetí fáze testu 9 při návratu na původní hodnotu  $L_{Sgen}$ .**

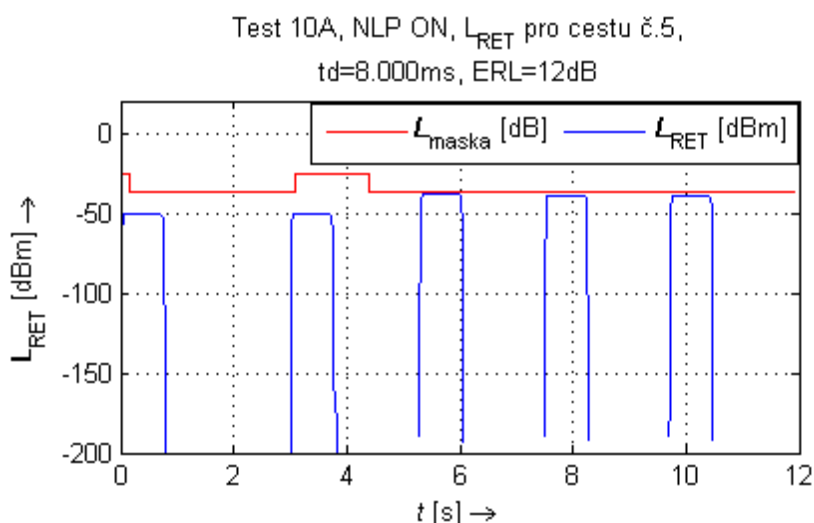
#### 4.6.11 Test 10A (test10A.m)

Faxový test na straně volající stanice je implementován podle vývojového diagramu v příloze A.19. Tento diagram je vytvořen společně pro test 10A i 10B. Odlišností mezi testy je pouze aplikace signálu do  $S_{in}$  a podrobnější vyhodnocování splnění limitu u testu 10A. Pro přenos sekvencí během faxového hovoru je použita funkce  $fskm$ , viz část 4.1.3. Pro vytváření echa je využita jako v předchozích testech funkce  $echoCreation$ , odlišností je použití jiného typu vstupních signálů, tedy jiných váhových koeficientů (viz 2.2) pro vytvoření modelu impulzní charakteristiky ozvěnové cesty (protože jsou během celého testu použity výhradně tónové signály, ne CSS jako u předchozích testů). Obdobná situace je u testu 10B.

Při vyhodnocování testu byly porovnávány 4 části požadované masky s odpovídajícím průběhem výstupního signálu při zapnutém i vypnutém NLP. Výsledky na Obr. 4.28 jsou pro všechny části limitu splněny, tedy potlačovač by pro zpoždění 8 ms nečinil problémy při faxových voláních. U Obr. 4.29 se vyskytují nevykreslené části, znamená to, že v těchto oblastech potlačovač docílil nulového výstupu, tedy úplného potlačení zbytkového echa.



Obr. 4.28: Faxový test 10A pro NLP OFF.

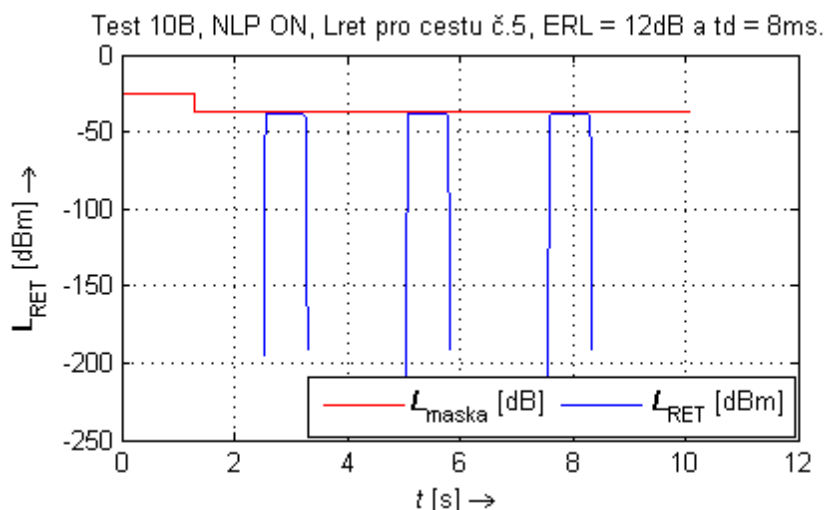


Obr. 4.29: Faxový test 10A při NLP ON.

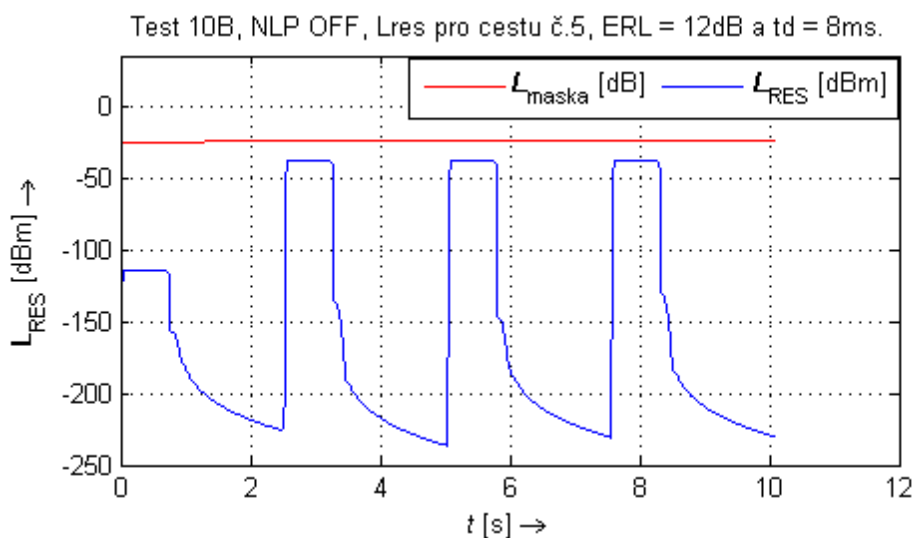


#### 4.6.12 Test 10B (test10B.m)

Pro tento test platí stejný vývojový diagram jako u předchozího testu, tedy viz příloha A.19. Popis viz 3.11. Test při navazování faxového spojení na straně volané stanice je o něco jednodušší než předešlý, využívá pouze signálu do  $R_{in}$  protože probíhá konvergence potlačovače pouze na sekvenci č. 2 (viz část 2.1.3), Limit testu má pouze dvě části, pro oba případy volby NLP je test na následujících obrázcích splněn. Na Obr. 4.31 je opět vidět postupné přizpůsobování se potlačovače opakující se sekvenci č. 2. Opět v obou případech plní svou funkci v požadovaných limitech.



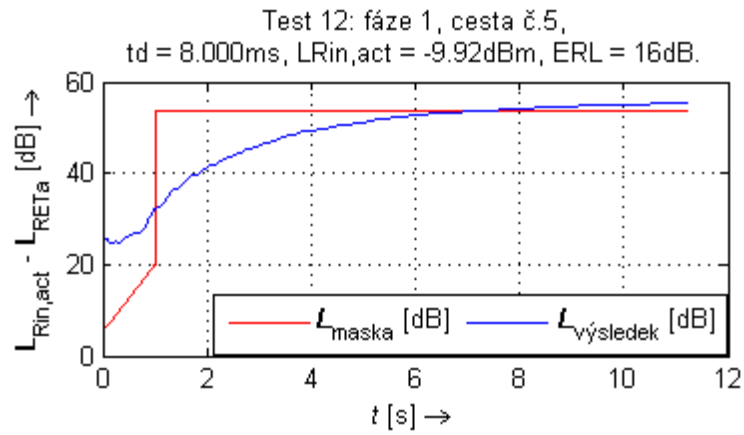
Obr. 4.30: Faxový test 10B pro NLP ON.



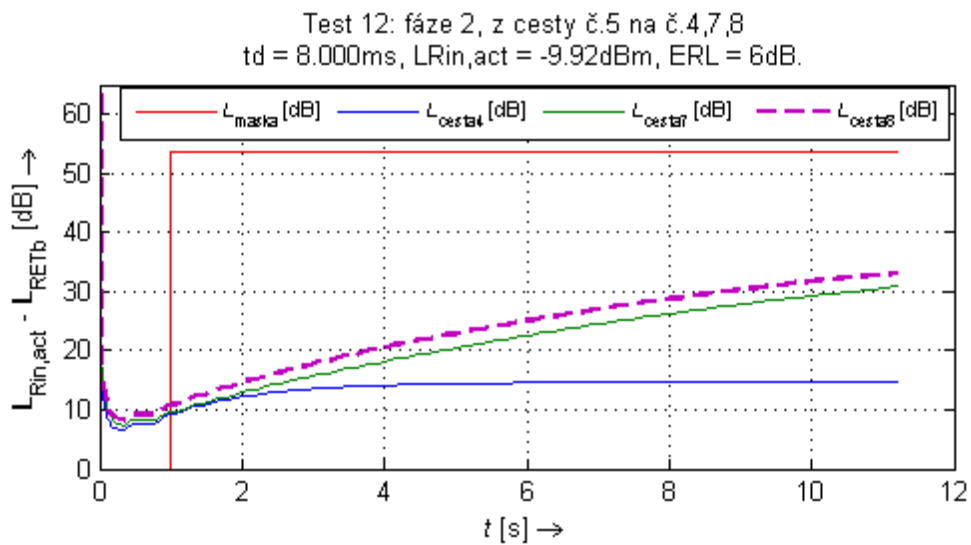
Obr. 4.31: Faxový test 10B pro NLP OFF.

#### 4.6.13 Test 12 (test12.m)

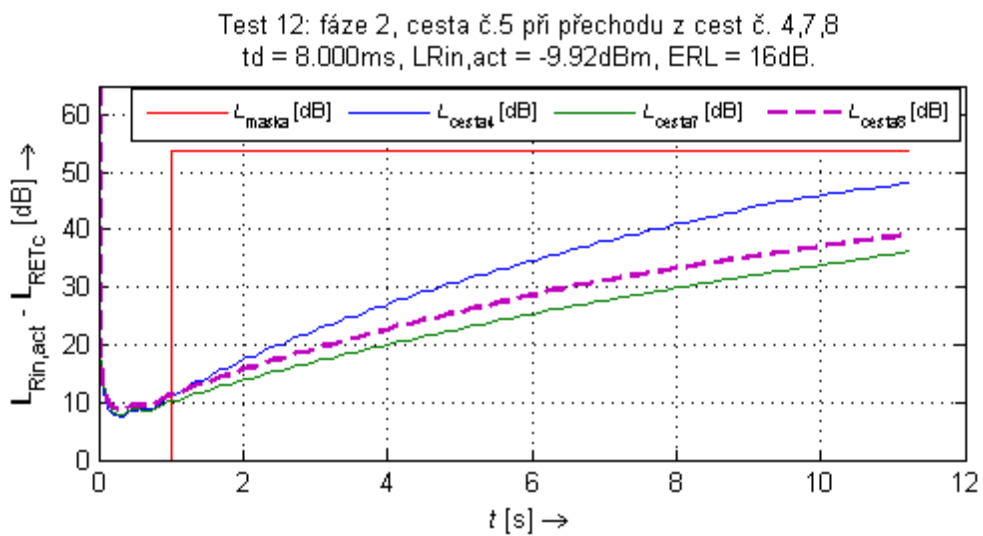
Vývojový diagram testu pro kontrolu činnosti potlačovače v podmínkách přítomnosti akustického echa je uveden v příloze A.20. Pro pozadí vzniku tohoto testu viz část 3.12.



**Obr. 4.32: První fáze testu 12 – konvergenční.**



**Obr. 4.33: Druhá fáze testu 12 – konvergenční.**



**Obr. 4.34: Třetí fáze testu 12 – re-konvergenční.**

Vyhodnocení jednotlivých fází tohoto testu probíhalo shodně s částí konvergenčních a re-konvergenčních testů. Protože má však funkce požadavek na  $ERL \geq 16$  dB, tedy jde o velký útlum ozvěnového signálu, je třeba tento test spouštět odděleně od ostatních. Tedy pokud není uživatelem taková hodnota ERL vyžadována i pro ostatní testy. Z výsledků testu, Obr. 4.32, Obr. 4.33, Obr. 4.34, je patrné, že potlačovač test akustického echa pro vybranou kombinaci parametrů nesplnil.

## 4.7 Doplnkové funkce

### 4.7.1 Funkce výběru výstupní úrovně (vyber.m)

Tato funkce byla vytvořena z důvodu vyhledávání hodnoty v definovaném grafu. Konkrétně pro test 2A je závislost požadované úrovně výstupního signálu na úrovni signálu vstupního dána Obr. 3.1. Vzhledem k tomu, že tuto závislost nelze definovat spojitě, je zde pro rozsah úrovně vstupního signálu  $-30$  dBm až  $0$  dBm zvoleno rozlišení  $0,1$  dBm. Pro takto rozlišený vektor úrovně signálu  $L_{Rin,act}$  je nejprve hledána výstupní hodnota, která by vstupní odpovídala bez zaokrouhlování. Protože však toto vyhledávání může být neúspěšné (vektor  $x_{Lrin}$  v následujícím výpisu obsahuje čísla s přesností na 4 desetinná místa a takto přesná hodnota nemusí být funkcí `rms` naměřena), jsou jednotlivé hodnoty vektoru  $x_{Lrin}$  i naměřená hodnota vstupního signálu zaokrouhlovány směrem dolů. Tím není idealizován limit hodnoty úrovně výstupního signálu, naopak je mu stanoveno o něco přísnější kritérium.

```
% realizace závislosti L_RET = f(L_Rin,act) z popisu testu 2A
x_Lrin = linspace(-30,0,300);
y_Lret(1:200) = -65;
y_Lret(201:300) = linspace(-65,-55,100);
% vyhledání odpovídající požadované hodnoty L_RET k L_Rin,act
for i = 1:length(x_Lrin)
    if x_Lrin(i) == L_Rin_act(end)
        L_RET = y_Lret(i);
    elseif floor(x_Lrin(i)) == floor(L_Rin_act(end))
        L_RET = y_Lret(i);
    end
end
```

### 4.7.2 Funkce výpisu do souboru (zprava.m)

Tato jednoduchá funkce slouží pro výpis potřebných záznamů v rámci testovací aplikace do zvoleného souboru. Byly definovány dvě možnosti vypisování, a to buď pro vstupní znakový (`char`) vektor, nebo pro strukturu naplněnou buňkami (`cell`). Dalšími vstupními parametry jsou právo zápisu do souboru a pozice, kam má být vložen volný řádek pro formátování do přehledného výpisu. Vývojový diagram u této funkce uváděn nebude. Její volání, které připiše výsledek testu 2A (`v2A`) na konec souboru `vysledek2A.txt`, je uvedeno následujícím výpisem.

```
v2A = test2A(newEchoCancellor(128), 8, 5, 12, -10, 'on');
zprava('vysledek2A.txt', 'a', 'pred', v2A);
```

## 5 Závěr

V rámci této práce bylo prostudováno doporučení [1], jehož náplní jsou požadavky na síťové potlačovače echa a testy, které zajišťují jejich potřebný výkon v reálné síti.

Podmínky, které potlačovače k testování vyžadují, jsou uvedeny v kapitole 2, kde jsou podrobně vyloženy teoretické náležitosti pro přípravu vstupních signálů, které při testování nahrazují skutečné řečové signály. Dále je popsán způsob simulace ozvěnového signálu pomocí lineárních číslicových filtrů, které vytvářejí podmínky průchodu signálu přicházejícího ze vzdáleného konce telefonního spojení přes telefonní vidlici, která je původcem ozvěnového signálu v telefonních sítích. Poslední oblastí teoretické části je příprava podkladů pro návrh měřiče efektivní úrovně výkonu na výstupu potlačovače echa. V kapitole 3 je popsán samotný scénář a požadavky jednotlivých testů.

V poslední, praktické části této práce, kapitole 4, byla věnována pozornost vytvoření testovací aplikace pro MATLAB schopné provést výčet testů, které jsou podle [1] povinné a nevyžadují další studie pro doplnění svých požadavků. Byla vytvořena sada funkcí, které realizují testovací signály, simulaci ozvěnového signálu, měření efektivní úrovně signálu podle stanovených požadavků a samotné testovací funkce. Vše zastřešuje řídicí funkce, jejímž spuštěním je zajištěn komplexní testovací proces potlačovače spolu s vykreslením časových průběhů a vypsáním dosažených výsledků zvolených testů do souboru. V této kapitole je také k jednotlivým testovacím funkcím připojeno testování na potlačovači echa založeném na principu LMS, jehož strukturu je, při současném použití navržených funkcí v nezměněné podobě, vzhledem k využitelnosti pro testování jiných typů potlačovačů, nutné zachovat a která je zde také uvedena. Splnění jednotlivých testů tímto potlačovačem, jehož návrh nebyl předmětem této práce, je u jednotlivých funkcí komentován.

## Literatura

- [1] *G.168: Digital Echo Cancellers*. Doporučení ITU–T. (2009).
- [2] *P.501: Test signals for use in telephony*. Doporučení ITU–T. (2009).
- [3] Farhang-Boroujeny, B. (1998). *Adaptive Filters. Theory and Applications*. New York: Wiley ISBN 0-471-98337-3.
- [4] *Síťový plán přenosových parametrů veřejných telefonních sítí vydaný Českým telekomunikačním úřadem pod čj. 30003/2005-610*
- [5] MESSERSCHMITT, D.; HEDBERG, D.; COLE, Ch.; HAOUI, A.; WINSHIP, P. *Digital Voice Echo Cancellor with a TMS32020, Application Report: SPRA129*. Digital Signal Processing Solutions 1989, Texas Instruments. Dostupné k 17.5.2011 na internetu: <<http://www.rowetel.com/images/echo/spra129.pdf>>
- [6] *Q.271: Specifications of Signalling System no. 6; Continuity check of the speech path*. Doporučení ITU–T. (1988).
- [7] *Q.724: Specifications of Signalling System No. 7 – Telephone user part*. Doporučení ITU–T. (1988).
- [8] *P.50: Artificial voices*. Doporučení ITU–T. (1999).
- [9] *V.21: 300 bits per second duplex modem standardized for use in the general switched telephone network*. Doporučení ITU–T. (1988).
- [10] *G.168 ECHO CANCELLER - Line, Network, & Packet Echo Cancellation*. Dostupné k 17.5.2011 na internetu : [http://www.adaptivedigital.com/product/echo\\_cancel/g168\\_echo\\_canceller.htm](http://www.adaptivedigital.com/product/echo_cancel/g168_echo_canceller.htm)
- [11] *P.800: Methods for subjective determination of transmission quality*. Doporučení ITU–T. (1996).

## Seznam použitých zkratek

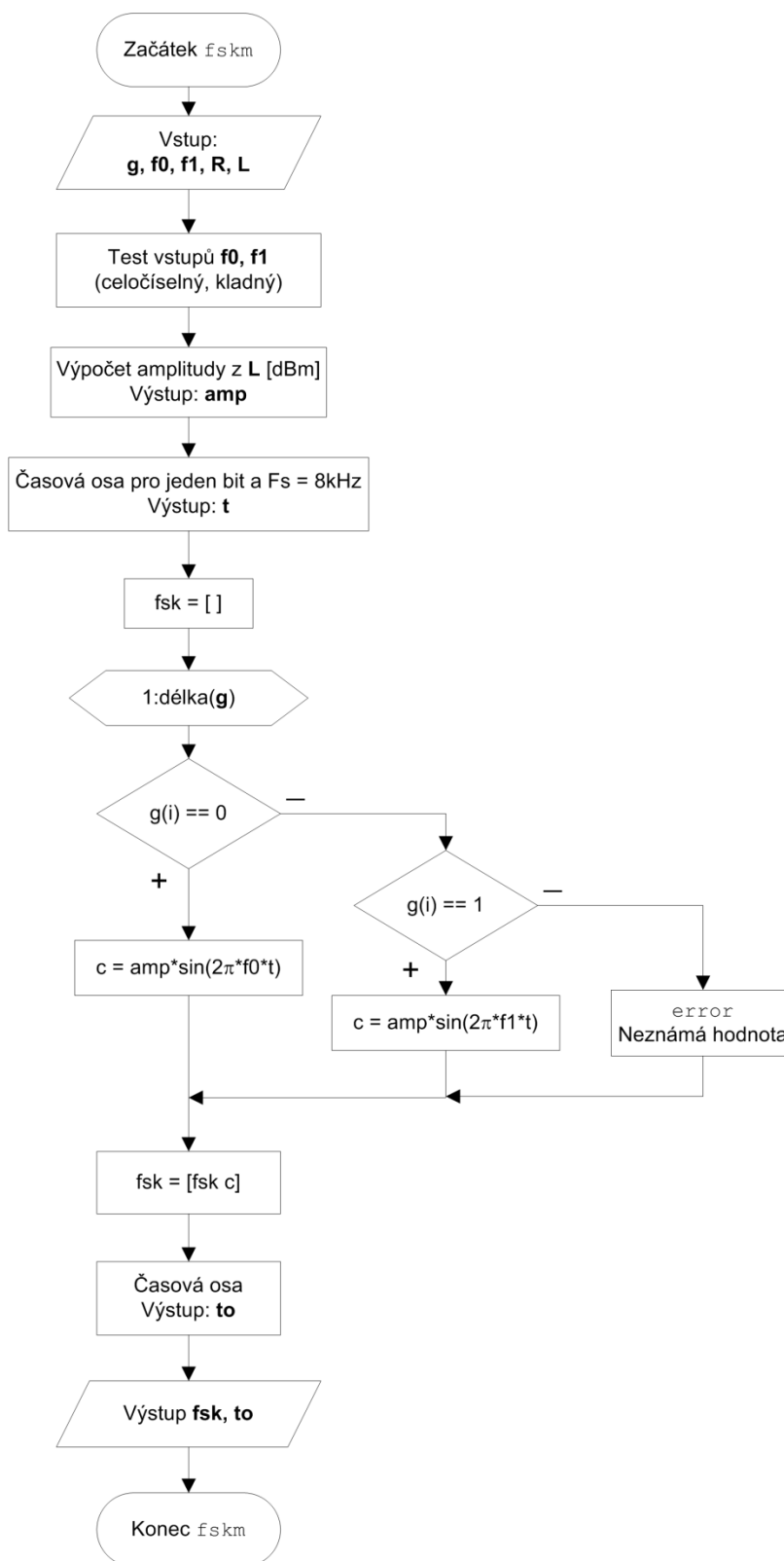
$A_{\text{COM}}$	kombinovaná ztráta
CEID	Called station identification
CNG	Calling tone – tón volající stanice
CSS	Composite Source Signal
ERL	Echo Return Loss – útlum echa odrazem
LMS	Least Mean Square – algoritmus hledání nejmenší chyby
$L_{\text{Rin}}$	úroveň příchozího signálu s pauzami (pro CSS)
$L_{\text{Rin,act}}$	úroveň příchozího signálu bez pauz (pro CSS)
$L_{\text{Sgen}}$	úroveň signálu na blízkém konci
$L_{\text{RES}}$	residual echo level – úroveň zbytkového echa
$L_{\text{RET}}$	returned echo level – úroveň vráceného echa
NLP	Non Linear Processor – zpracování zbytkového echa
OS	Operační systém
$R_{\text{in}}, R_{\text{out}}$	Porty potlačovače pro příchozí směr
$S_{\text{in}}, S_{\text{out}}$	porty potlačovače pro odchozí směr
$S_{\text{gen}}$	generátor signálu na blízkém konci
$t_{\text{d}}$	zpoždění přenosové cesty
$t_{\text{a}}$	adaptační interval

## Seznam příloh

Příloha A	Vývojové diagramy funkcí
Příloha B	Výpis výsledku testovací aplikace
Příloha C	Výpis testů s parametry pro spouštění
Příloha D	Seznam funkcí
Příloha E	Obsah přiloženého datového CD ROM

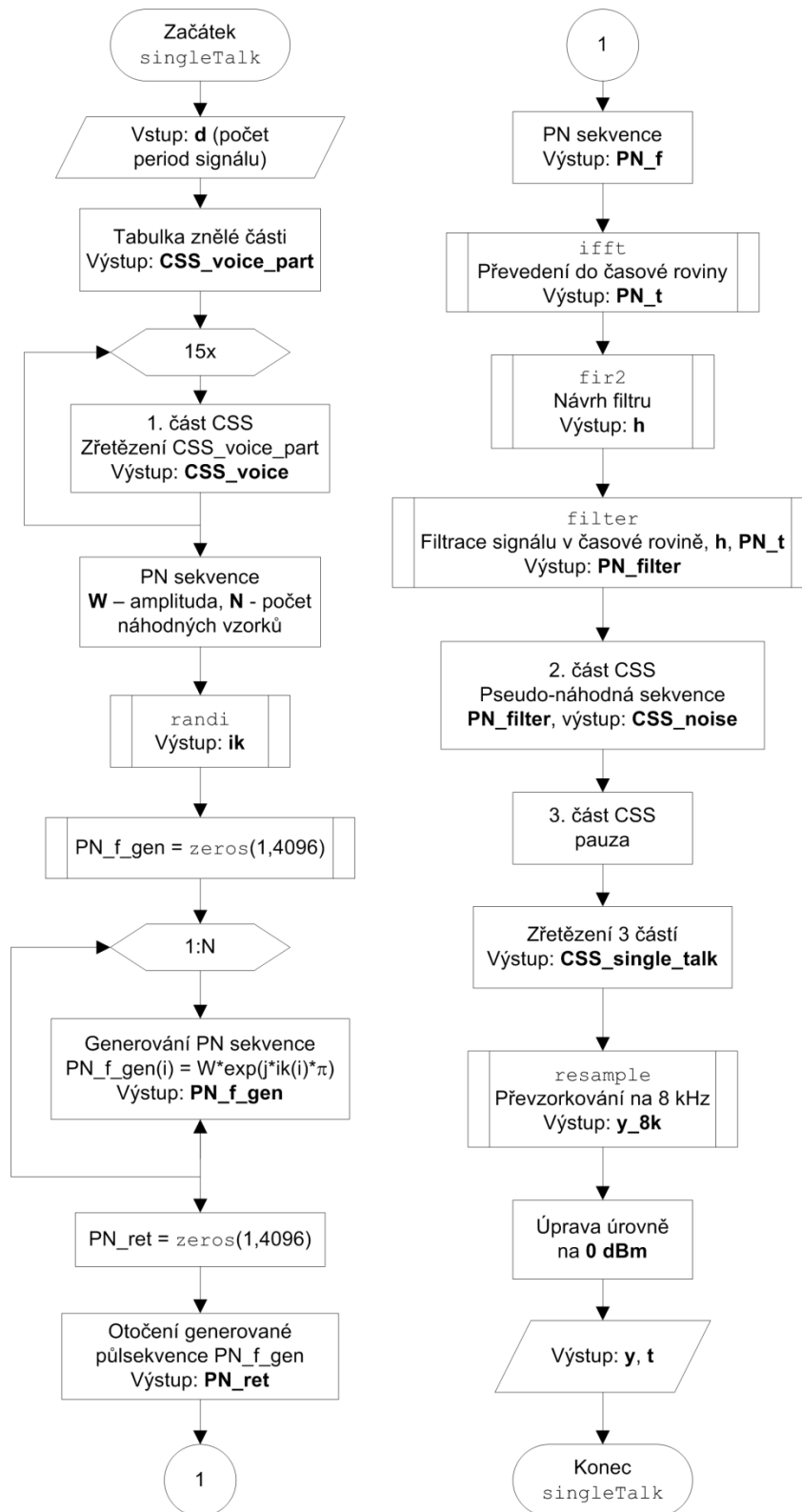
# A Vývojové diagramy funkcí

## A.1 Vývojový diagram funkce fskm

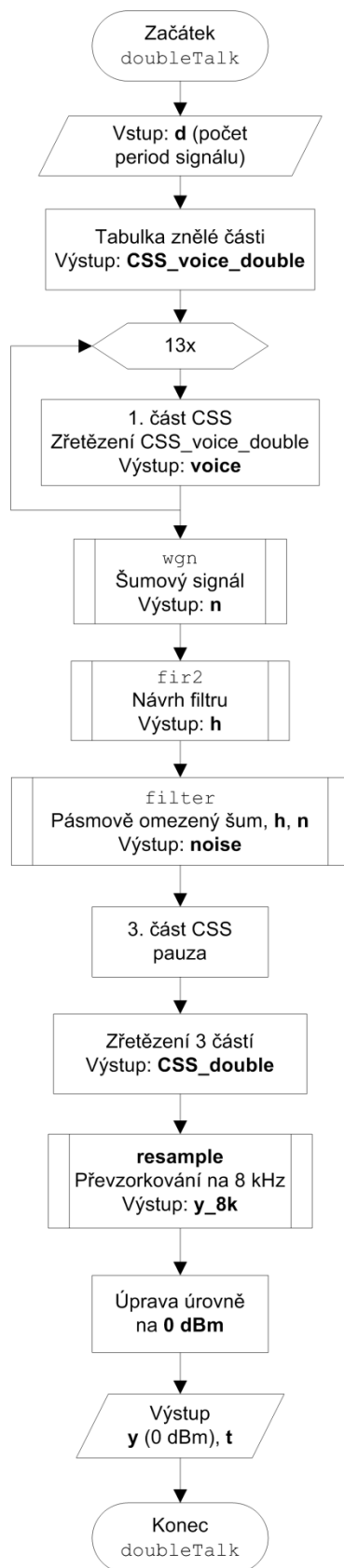




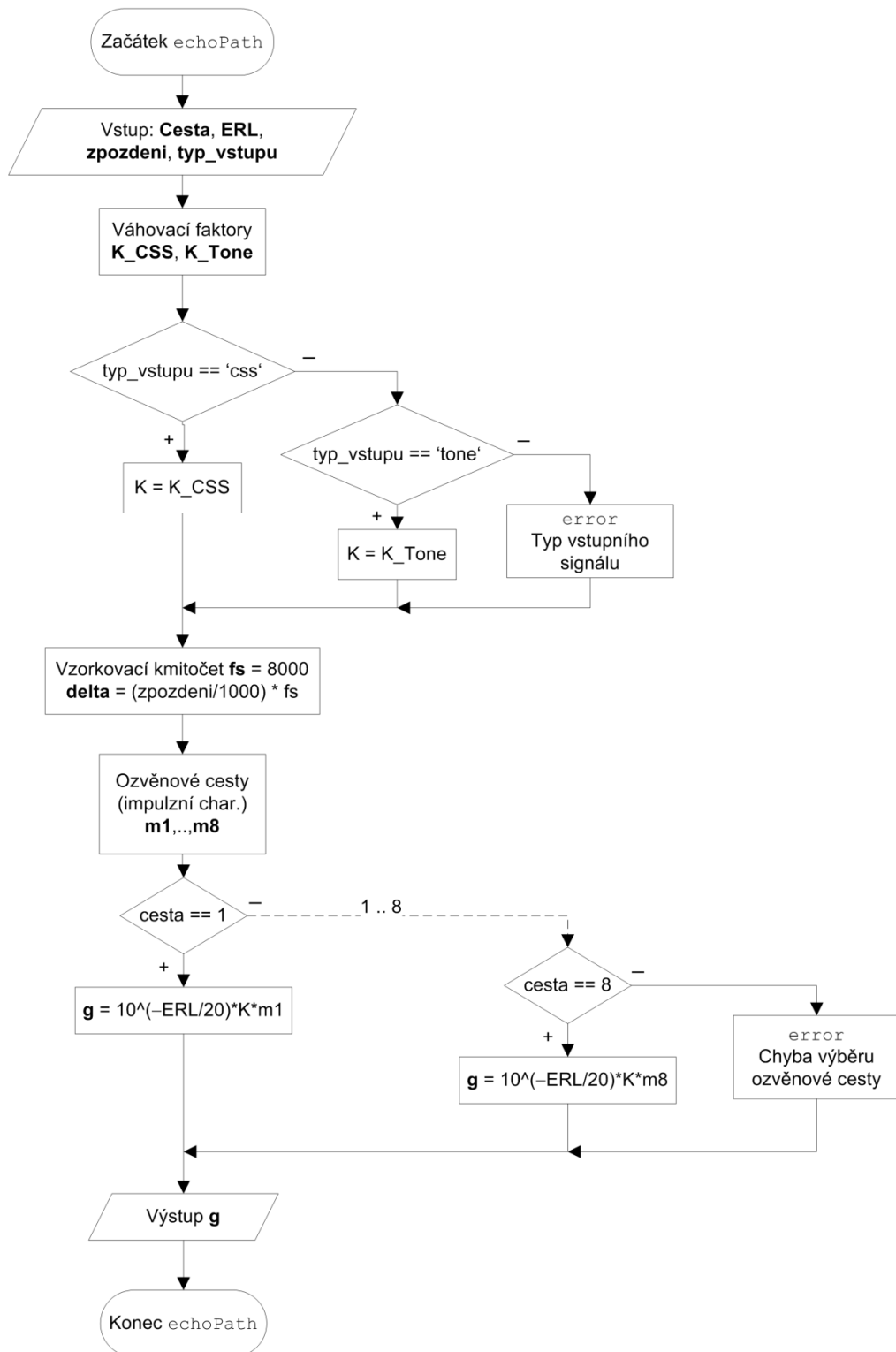
## A.2 Vývojový diagram funkce singleTalk



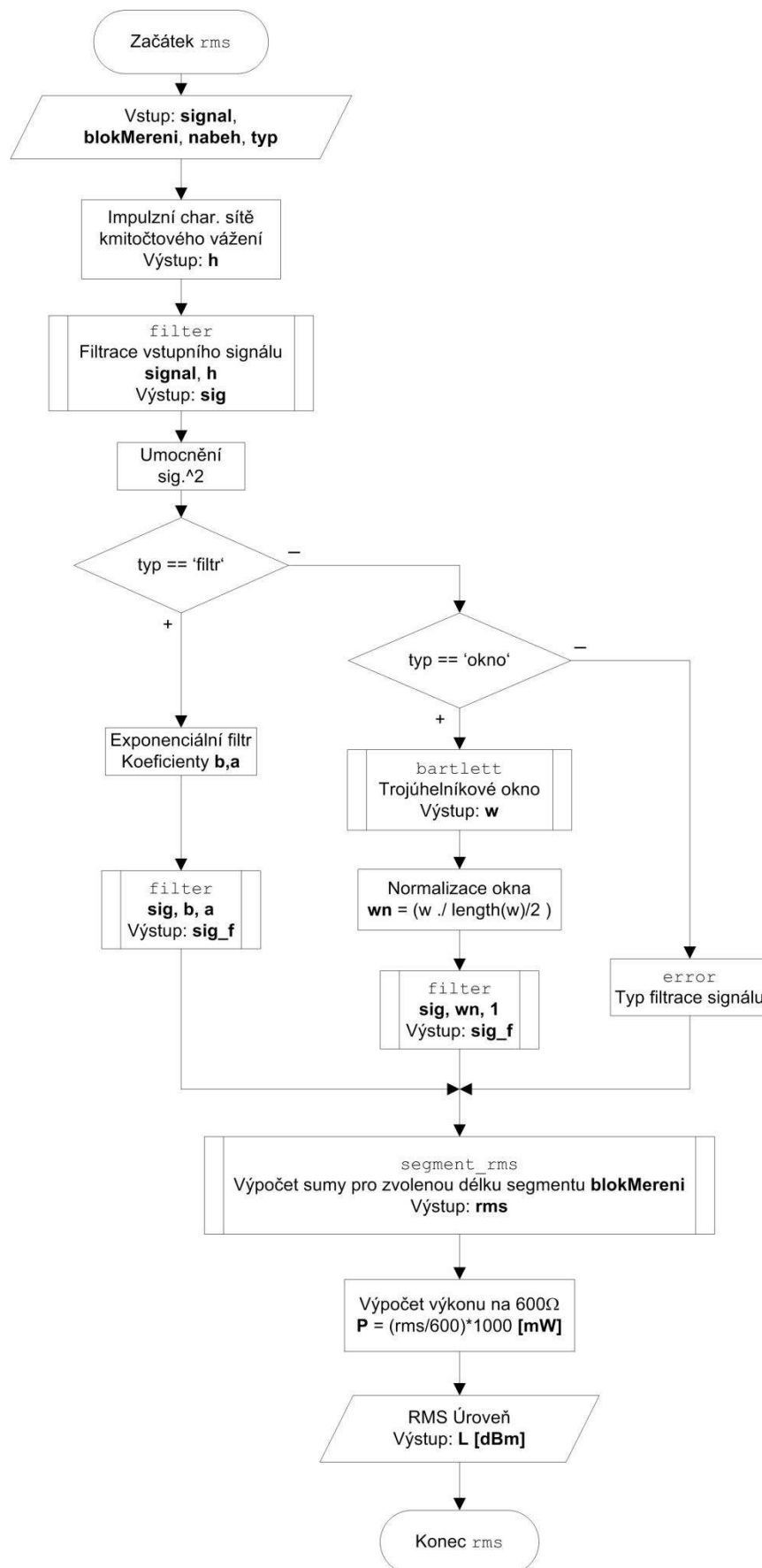
### A.3 Vývojový diagram funkce doubleTalk



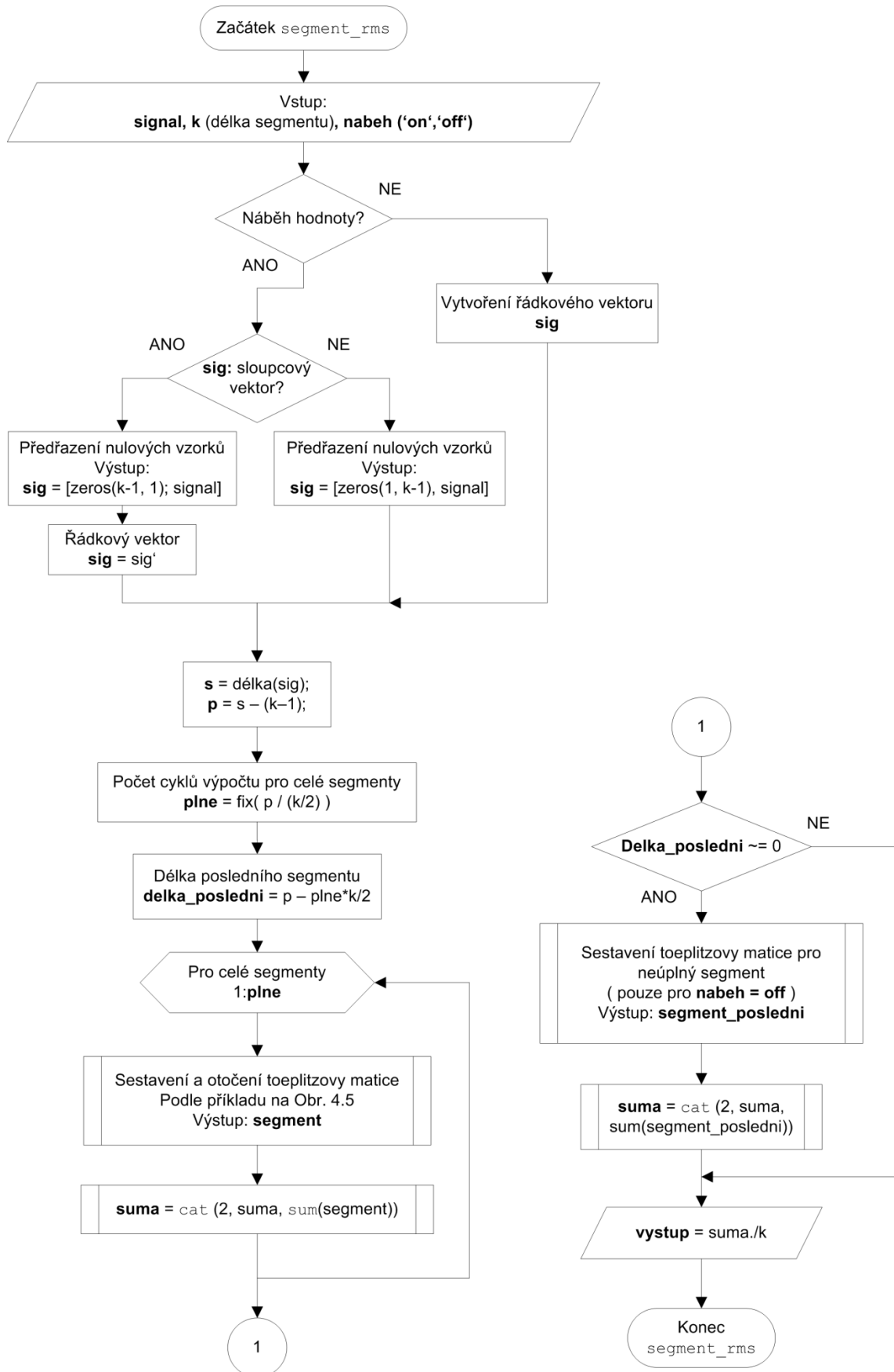
## A.4 Vývojový diagram funkce echoPath



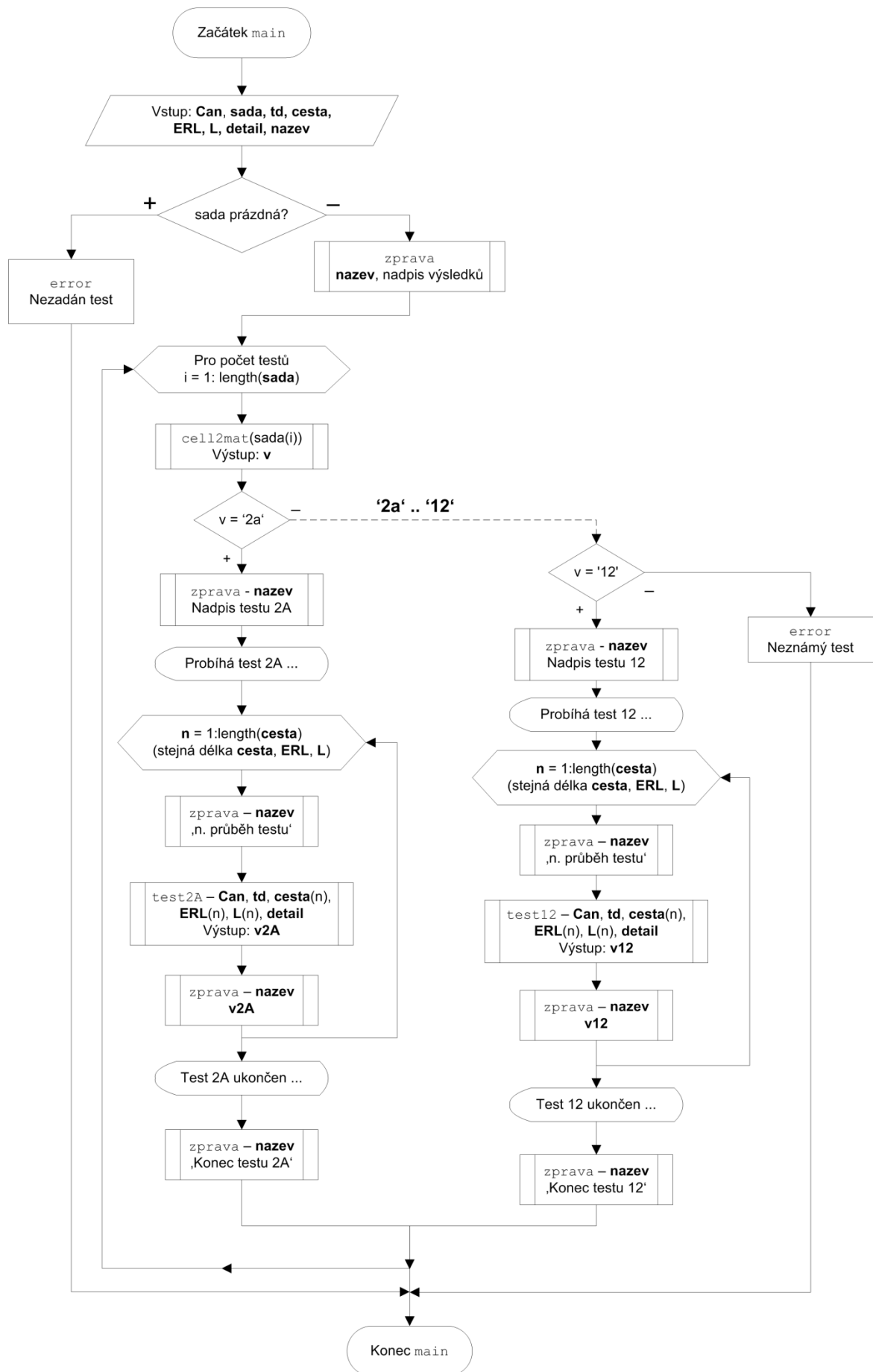
## A.5 Vývojový diagram funkce rms



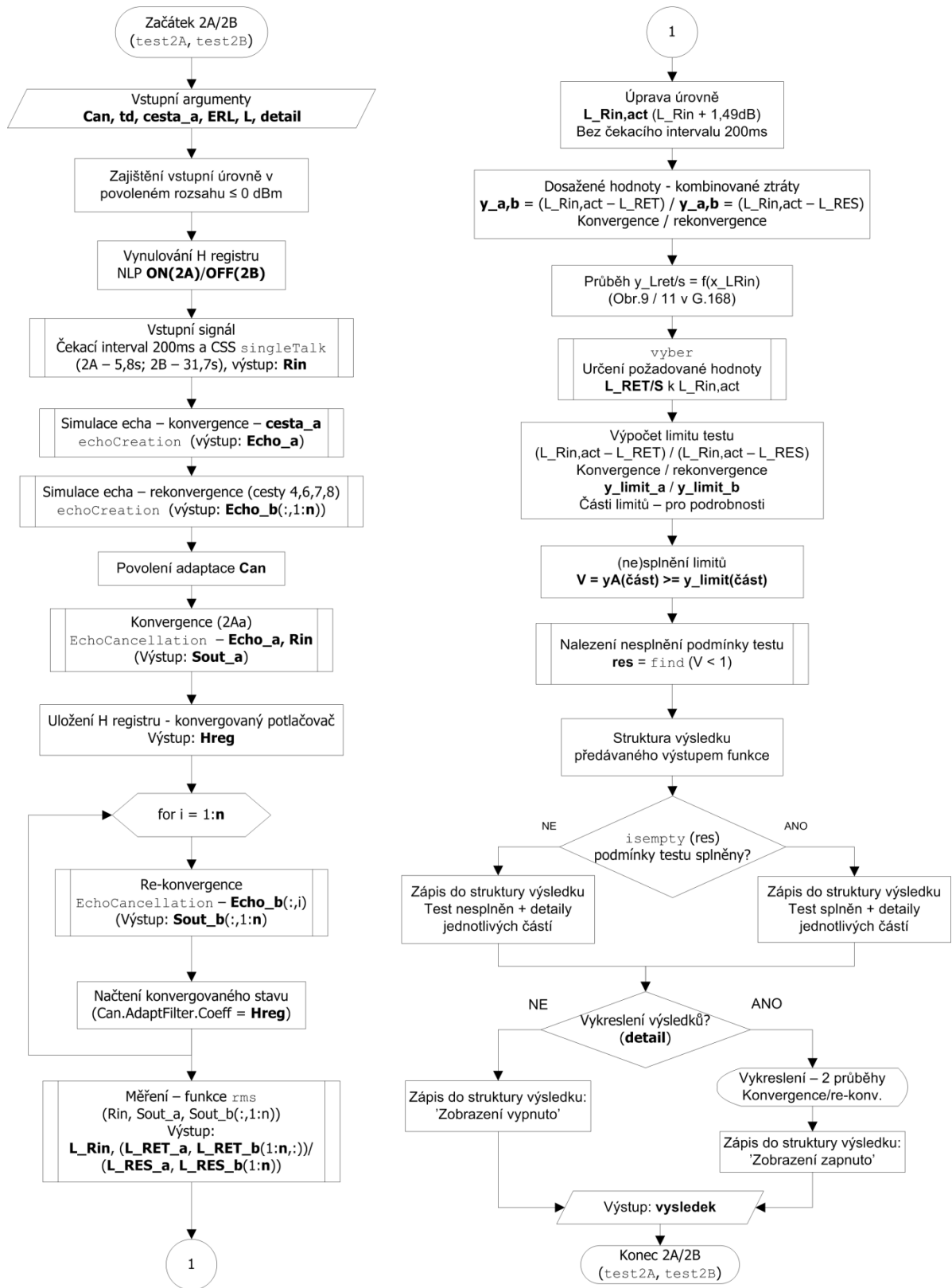
## A.6 Vývojový diagram funkce segment\_rms



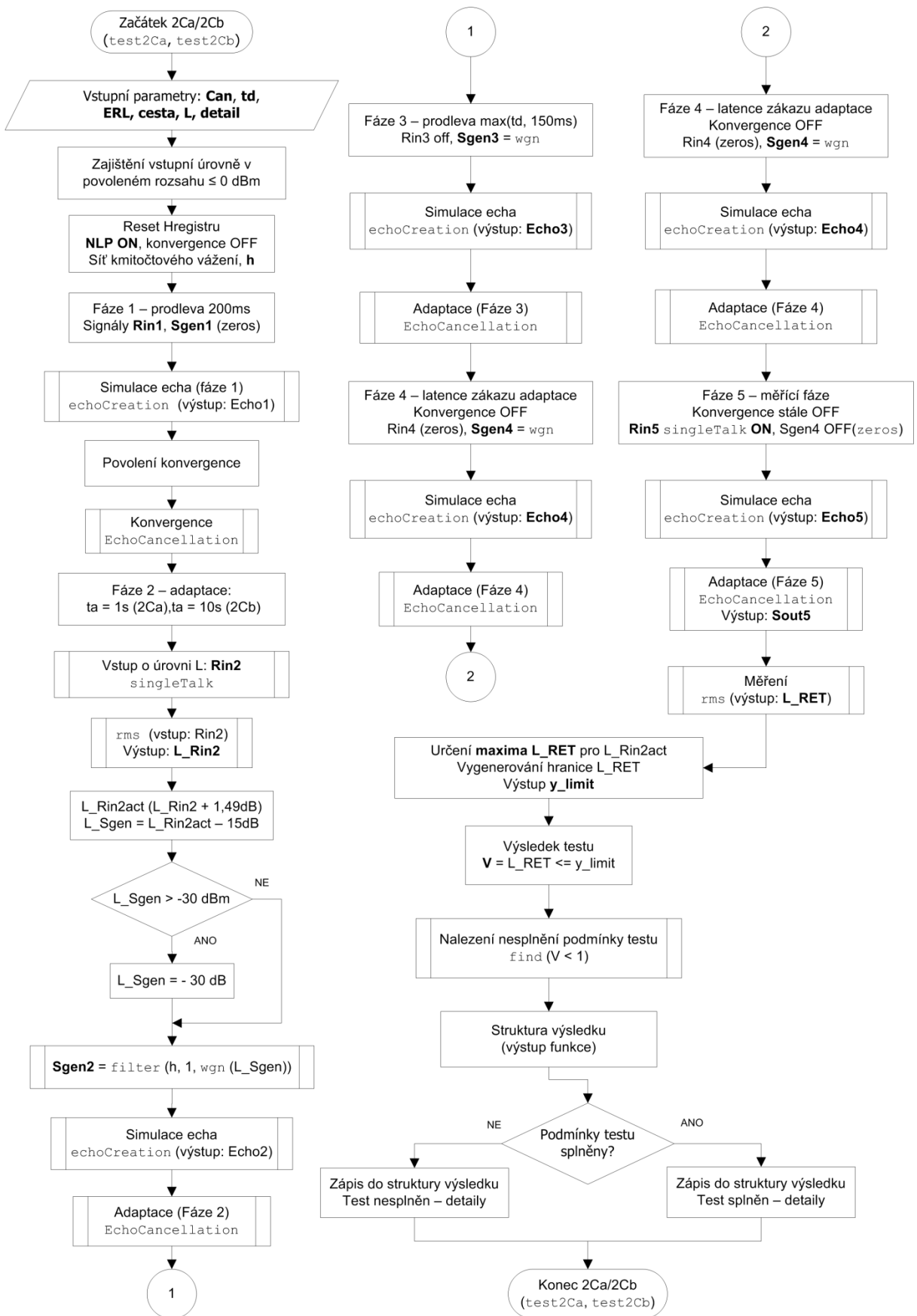
## A.7 Vývojový diagram funkce main



## A.8 Vývojový diagram testu 2A/2B (funkce test2A.m / test2B.m)

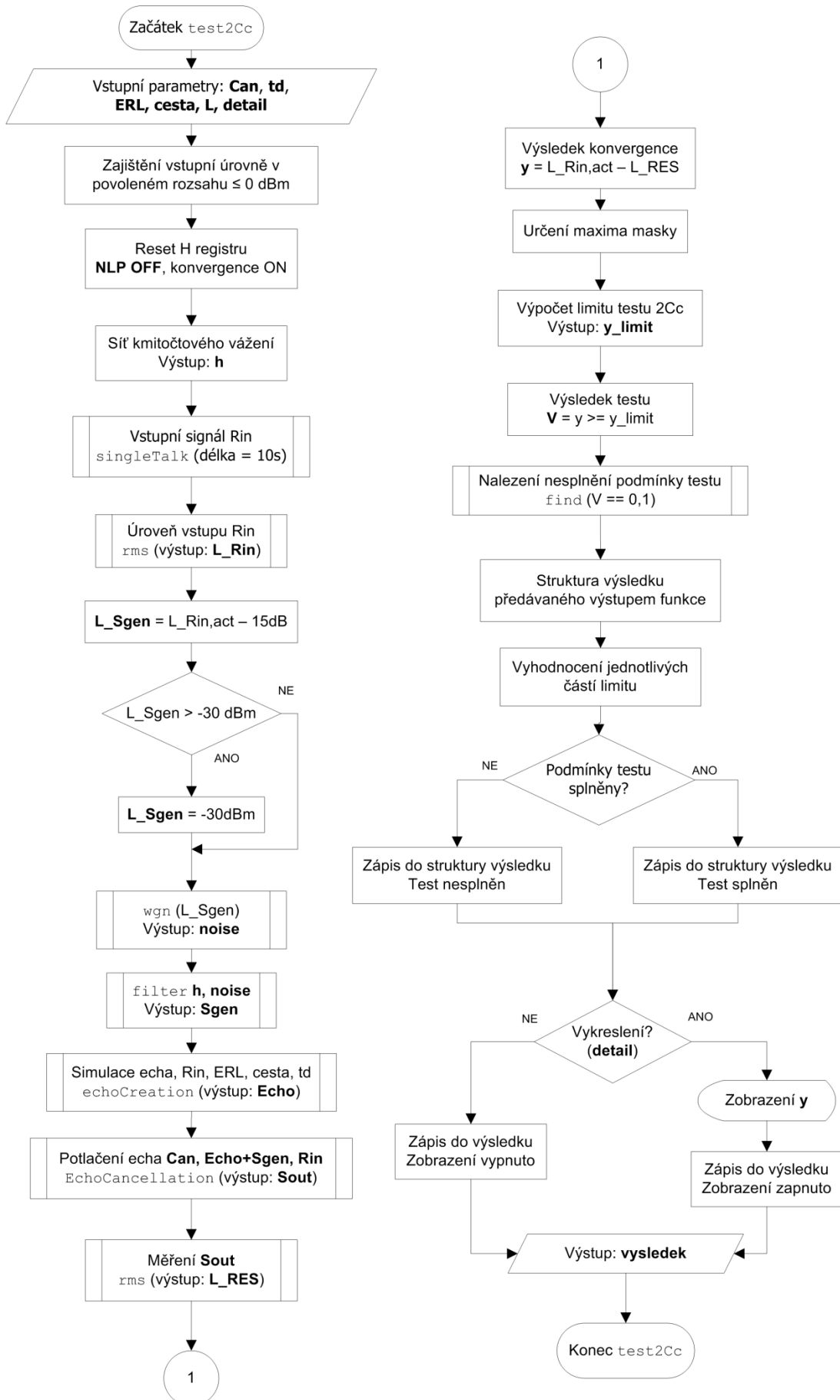


## A.9 Vývojový diagram testu 2Ca/2Cb (funkce test2Ca.m / test2Cb.m)

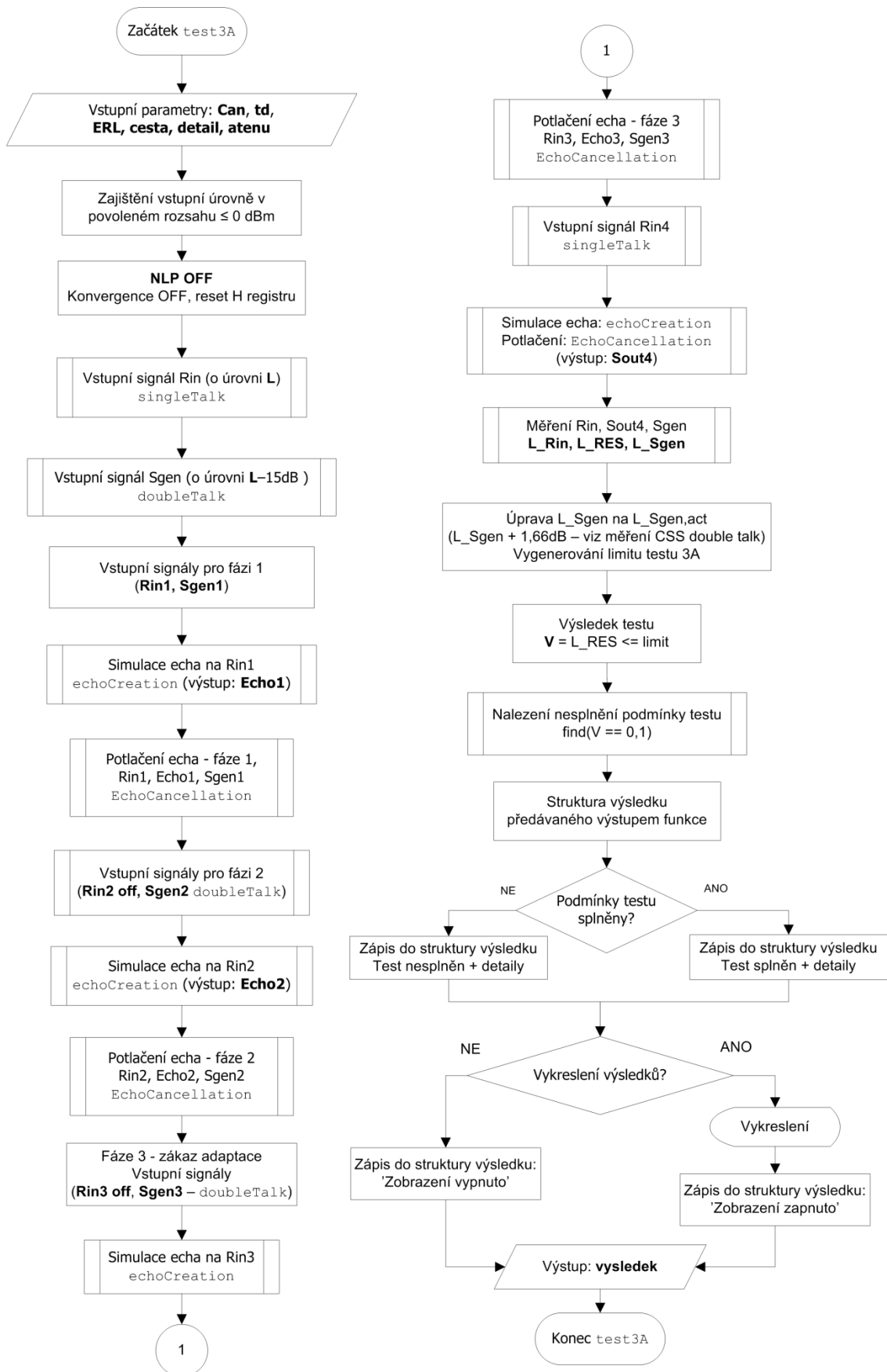




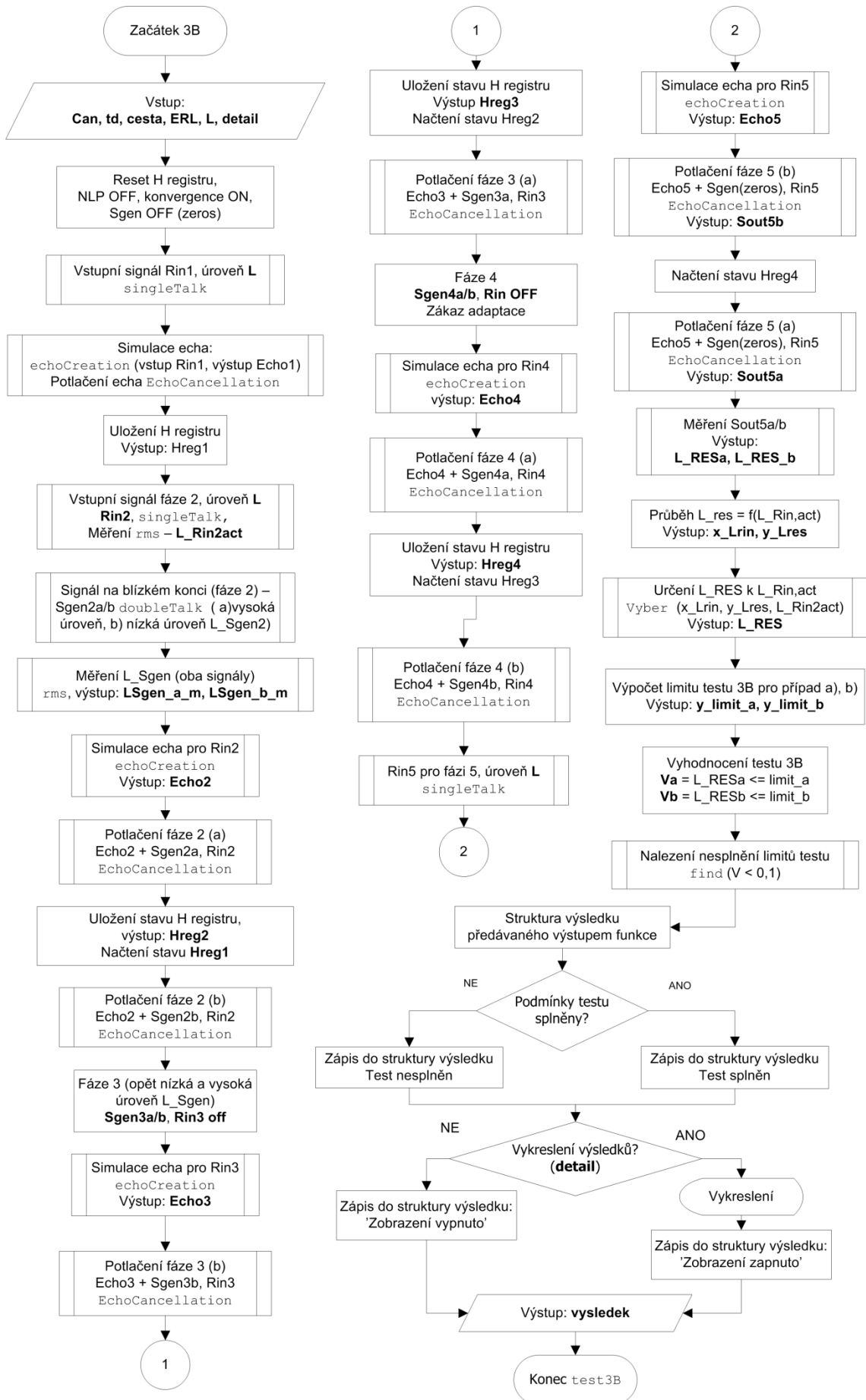
## A.10 Vývojový diagram testu 2Cc (funkce test2Cc.m)



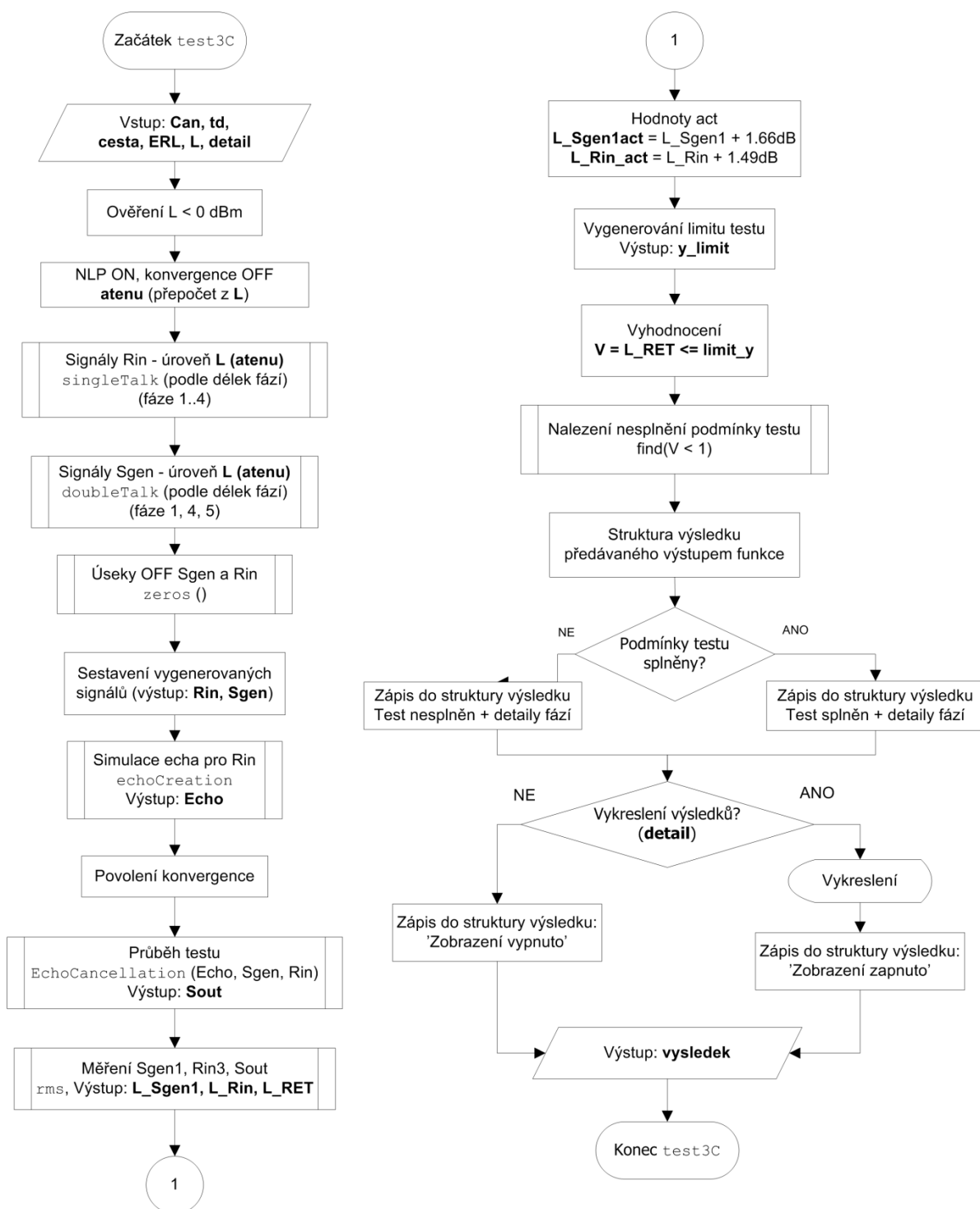
## A.11 Vývojový diagram testu 3A (funkce test3A.m)



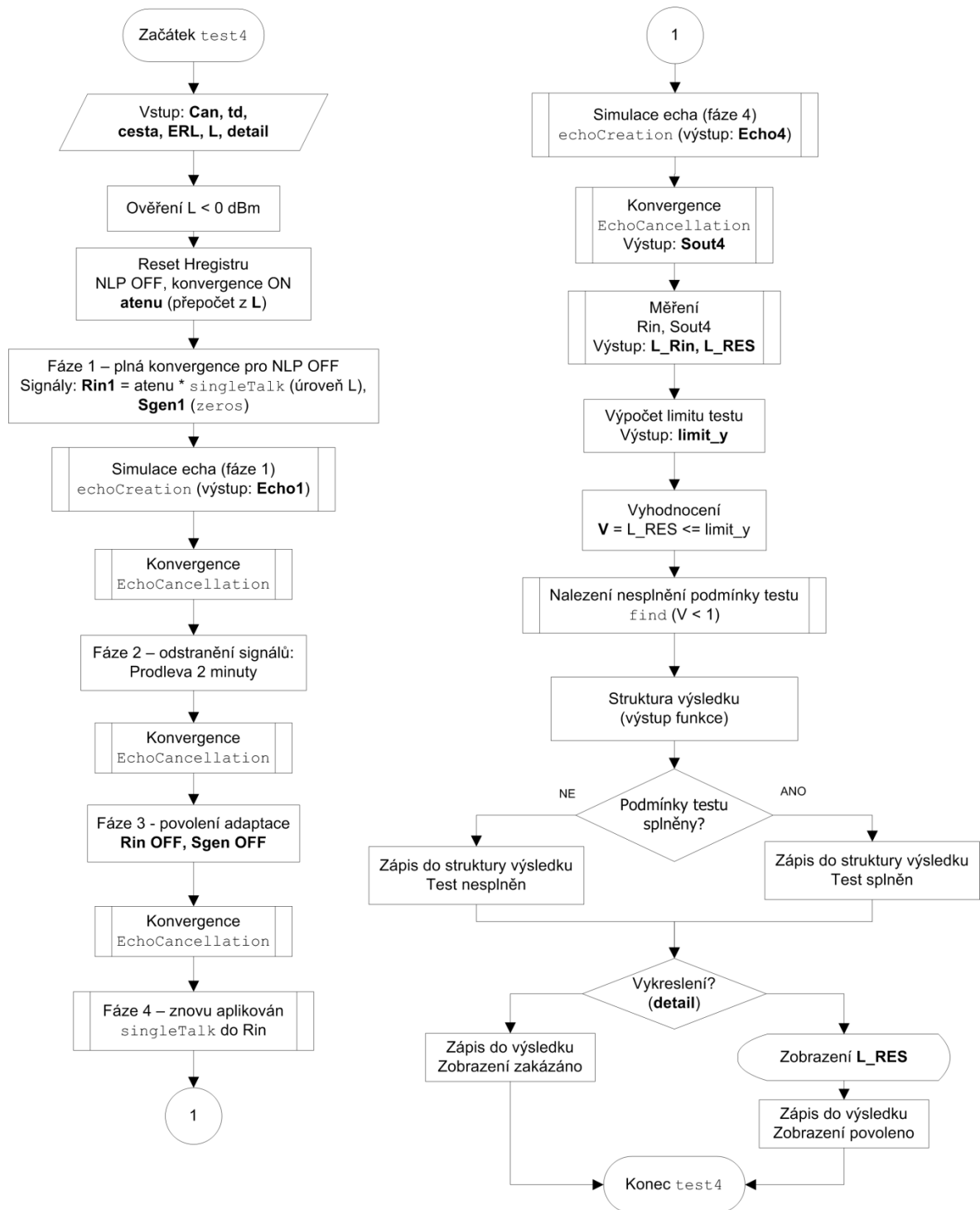
## A.12 Vývojový diagram testu 3B (funkce test3B.m)



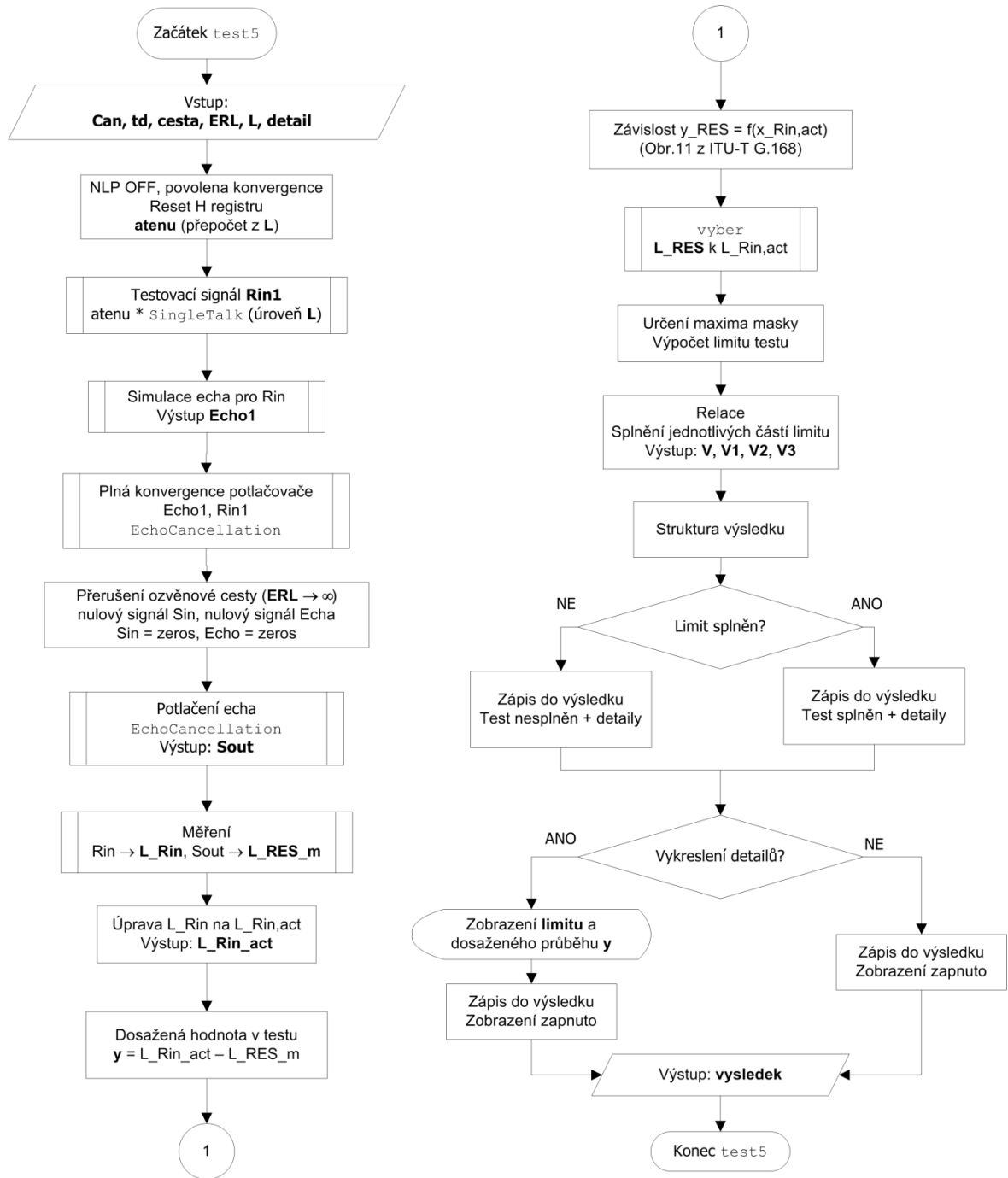
### A.13 Vývojový diagram testu 3C (funkce test3C.m)



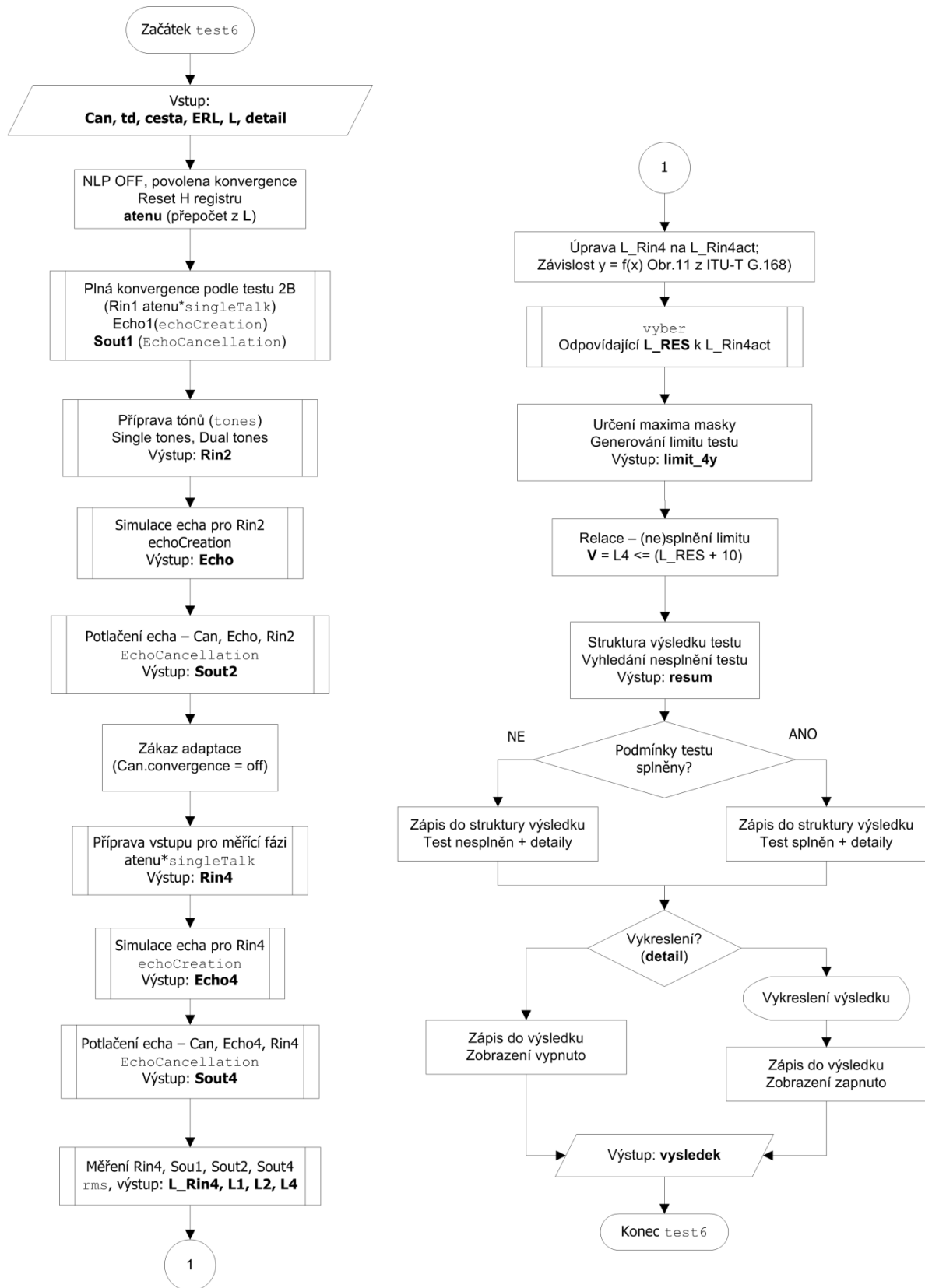
## A.14 Vývojový diagram testu 4 (funkce test4.m)



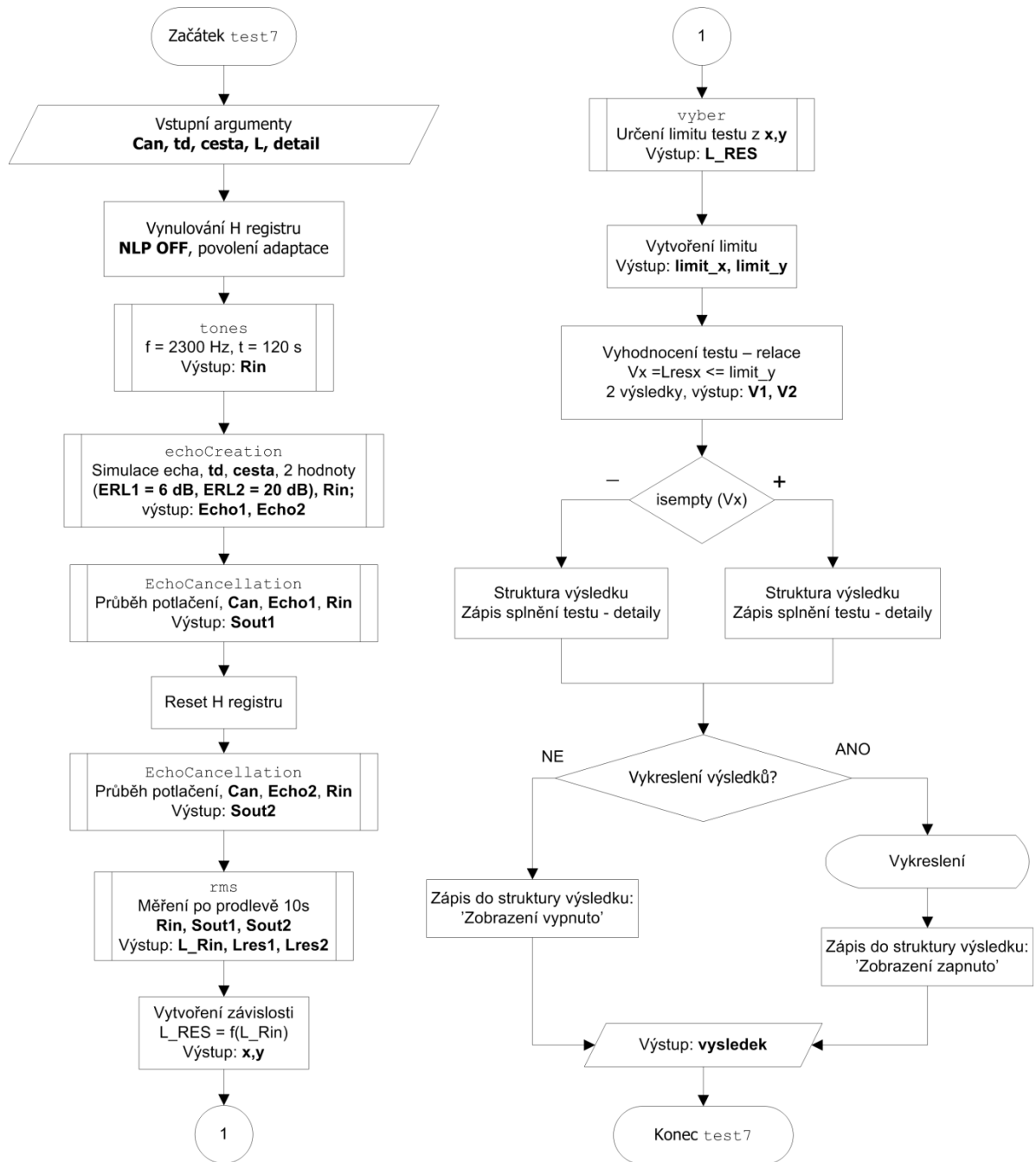
## A.15 Vývojový diagram testu 5 (funkce test5.m)



## A.16 Vývojový diagram testu 6 (funkce test6.m)

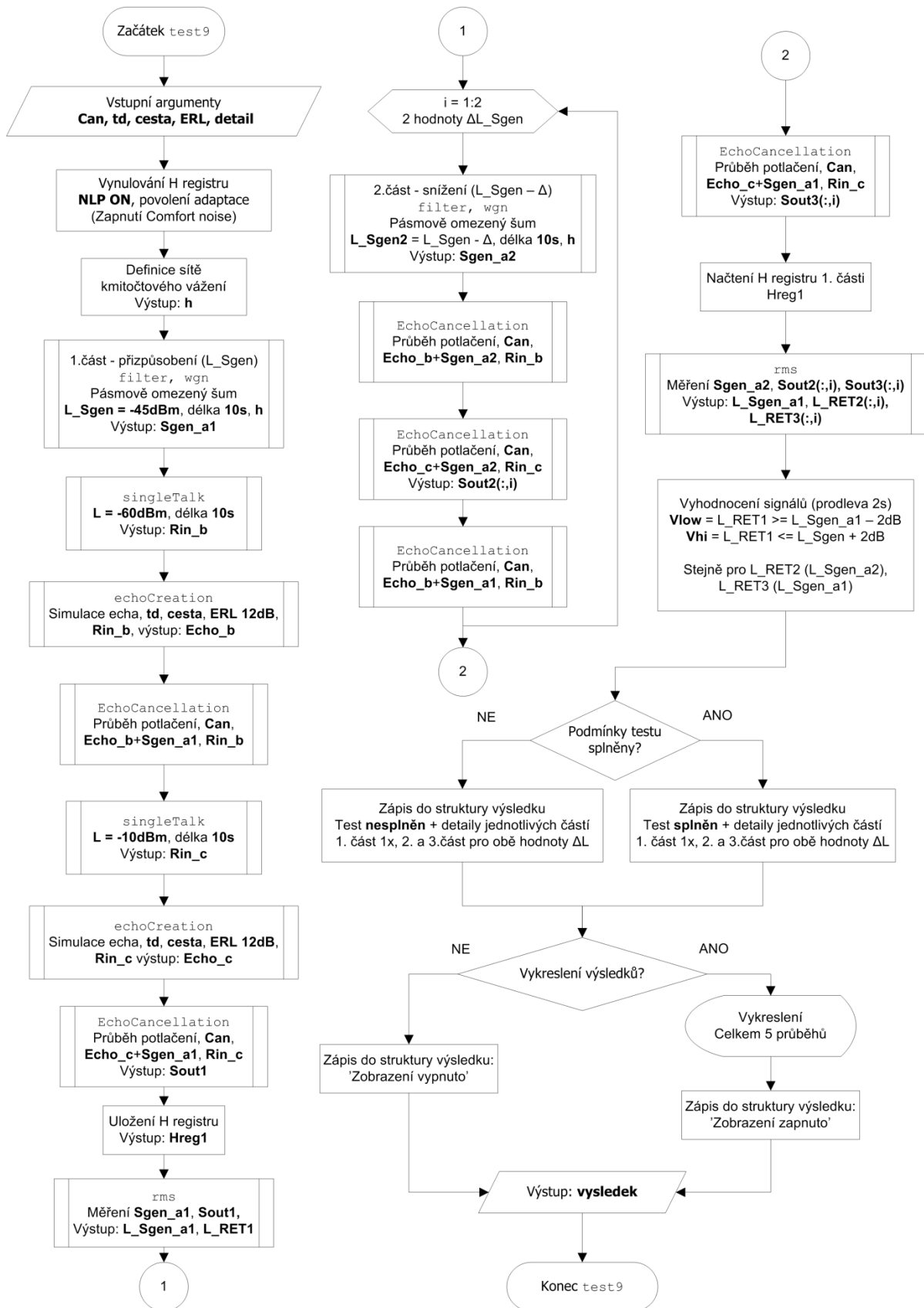


## A.17 Vývojový diagram testu 7 (funkce test7.m)

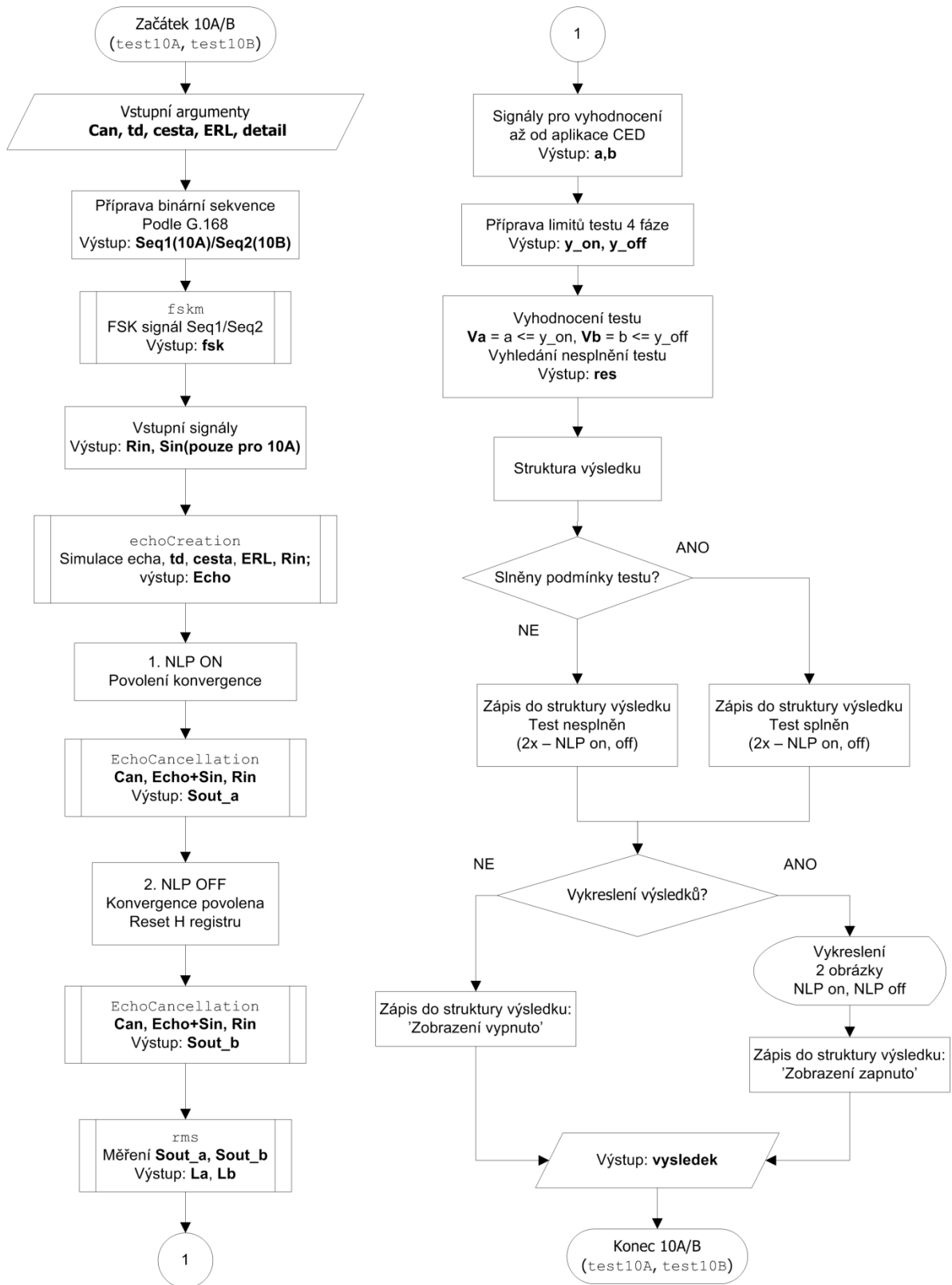




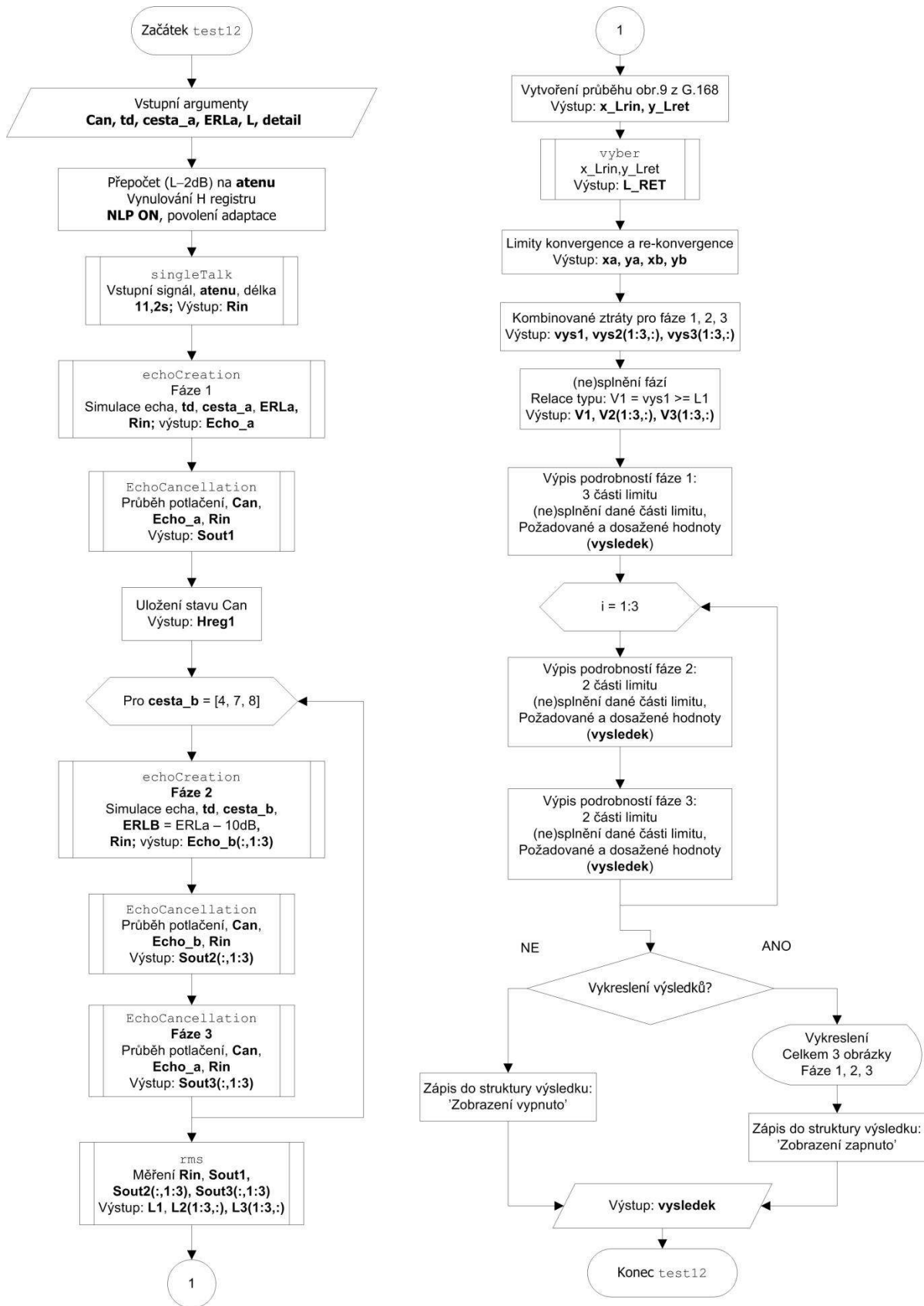
## A.18 Vývojový diagram testu 9 (funkce test9.m)



## A.19 Vývojový diagram testu 10A a 10B(funkce test10A.m, test10B.m)



## A.20 Vývojový diagram testu 12 (funkce test12.m)



## B Výpis výsledku testovací aplikace

Následující výpis reprezentuje detailní výsledek testovací pro test 2A zapsaný do textového souboru.

---

Soubor výsledků potlačovače pro zvolené testy.

Zvolené zpoždění ozvěnové cesty: 8ms.

TEST 2A - konvergence(2Aa) a rekonvergence(2Ab) s NLP ON

1. průběh testu:

> Parametry: L\_Rin,act = -10.50dBm, cesta č.5, ERL = 12dB

2Aa: NESPLNĚN

Část limitu	Požadováno	Čas (rozsah)	Dosaženo (min/max)
1	6.0dB	0-0.058s	20.4dB (min) - (ok)
2	(--)	0.058-1.008s	19.3/25.3dB (ok)
3	53.6dB	1.008-11.200s	25.3/48.0dB (fail)

2Ab - 9 případů (viz popis testu 2Ab):

1. případ 2Ab: nesplněn.

1	0.0dB	0-1.008s	11.9/110.3dB (ok)
2	53.6dB	1.008-11.200s	15.1/22.9dB (fail)

2. případ 2Ab: nesplněn.

1	0.0dB	0-1.008s	14.4/110.3dB (ok)
2	53.6dB	1.008-11.200s	18.1/32.1dB (fail)

3. případ 2Ab: nesplněn.

1	0.0dB	0-1.008s	12.1/110.3dB (ok)
2	53.6dB	1.008-11.200s	14.9/38.3dB (fail)

4. případ 2Ab: nesplněn.

1	0.0dB	0-1.008s	12.4/110.3dB (ok)
2	53.6dB	1.008-11.200s	15.8/41.3dB (fail)

5. případ 2Ab: nesplněn.

1	0.0dB	0-1.008s	10.6/110.3dB (ok)
2	53.6dB	1.008-11.200s	16.2/33.2dB (fail)

6. případ 2Ab: nesplněn.

1	0.0dB	0-1.008s	2.2/110.3dB (ok)
2	53.6dB	1.008-11.200s	4.5/10.8dB (fail)

7. případ 2Ab: nesplněn.

1	0.0dB	0-1.008s	5.5/110.3dB (ok)
2	53.6dB	1.008-11.200s	8.2/22.6dB (fail)

8. případ 2Ab: nesplněn.

1	0.0dB	0-1.008s	2.8/110.3dB (ok)
2	53.6dB	1.008-11.200s	4.6/22.2dB (fail)

9. případ 2Ab: nesplněn.

1	0.0dB	0-1.008s	3.6/110.3dB (ok)
2	53.6dB	1.008-11.200s	5.3/21.0dB (fail)

--- zobrazení detailů testu 2A: zapnuto.

Konec testu 2A.

## C Výpis testů s parametry pro spouštění

Test	Lrin,act [dBm]	ERL [dB]	NLP
2Aa	-30 .. 0	≥ 6	ON
2Ab	-30 .. 0	≥ 6	
2Ba	-30 .. 0	≥ 6	OFF
2Bb	-30 .. 0	≥ 6	
2Ca	-30 .. 0	≥ 6	ON
2Cb	-30 .. 0	≥ 6	OFF
2Cc	-30 .. 0	≥ 6	
3A	-30 .. 0	≥ 6	OFF
3B	-30 .. 0	≥ 6	
3C	-30 .. 0	≥ 6	ON
4	-30 .. 0	≥ 6	OFF
5	-30 .. 0	≥ 6	
6	-30 .. 0	≥ 6	
7	-30 .. +3	6*, 20*	
9	-60*, -10*	12	ON
10A	-13*	≥ 6	ON, OFF
10B	-13*	≥ 6	ON, OFF
12	-30..0	≥ 16	ON
* hodnota je stanovena testem			

## D Seznam funkcí

Vytvořené funkce a skripty	Soubory potlačovače echa
demo.m	EchoCancellation.m
doubleTalk.m	LMSAdapt.m
echoCreation.m	LMSFiltering.m
echoPath.m	LMSFilteringAndAdapt.m
fskm.m	NearSpeechDetect.m
main.m	newEchoCancellor.m
rms.m	newLMSFilter.m
segment_rms.m	newNearSpeechDetector.m
singleTalk.m	newResidualErrorSuppressor.m
test10A.m	ResidualErrorSuppression.m
test10B.m	
test12.m	
test2A.m	
test2B.m	
test2Ca.m	
test2Cb.m	
test2Cc.m	
test3A.m	
test3B.m	
test3C.m	
test4.m	
test5.m	
test6.m	
test7.m	
test9.m	
tones.m	
vyber.m	
zprava.m	

## E Obsah přiloženého datového CD ROM

### E.1 Adresářová struktura CD

- V adresáři `\diplomova_prace` je uložen dokument diplomové práce ve formátu pdf,
- V adresáři `\zdrojove_kody` jsou uloženy všechny soubory, které jsou uvedeny v příloze D.

### E.2 Návod na spuštění demonstračního skriptu

Pro ukázkou spuštění testovací aplikace byl vytvořen demonstrační skript `demo.m`, který je přiložen na datovém CD v adresáři `\zdrojove_kody`. V něm jsou uvedeny „zakomentované“ části kódu. Každá část spouští vybrané testy (vektor `sada`), pro zvolené kombinace vstupních parametrů hlavní funkce `main` (`zpozdeni`, `cesta`, `ERL`, `detail`, `nazev`). Pro spuštění vybrané části stačí daný blok kódu odkomentovat (odstranit značky `%` na začátcích řádků – alter. označení bloku a `Ctrl+T`) a spustit tento skript. Po otevření tohoto souboru bude aktivní (nezakomentovaná) pouze část pro spuštění nejrychlejšího testu `2Ca` (podle následujícího výpisu). Ostatní části skriptu jsou nadepsány odpovídajícím způsobem a připraveny pro eventuelní použití.

```
sada = {'2ca'};
zpozdeni = 8; cesta = [2,8]; ERL = [10,10]; L = [-15,-20];
main(newEchoCancellor(128), sada, zpozdeni, cesta, ERL, L, 'on', '2ca.txt')
```