



Fakulta elektrotechnická
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh automatizovaného měřicího pracoviště využívajícího spektrální
analyzátor Anritsu MS420B

Autor práce: Bc. Jan Opava
Vedoucí práce: Ing. Jiří Stifter, Ph.D.

Plzeň 2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan OPAVA**
Osobní číslo: **E09N0172P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Telekomunikační a multimediální systémy**
Název tématu: **Návrh automatizovaného měřicího pracoviště využívající spektrální analyzátor Anritsu MS420B**
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Prostudujte technické parametry a možnosti měření pomocí síťového/spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B. Seznamte se s řízením přístroje prostřednictvím GPIB rozhraní.
2. Seznamte se s grafickým vývojovým prostředím LabView, v tomto prostředí vytvořte virtuální měřicí přístroj umožňující ovládat spektrální analyzátor Anritsu MS420B. Vytvořte ukázkovou řídicí aplikaci využívající vytvořený virtuální měřicí přístroj a demostrující způsob ovládání spektrálního analyzátoru z prostředí LabView.
3. Nastudujte z technické dokumentace přístroje a navrhňte metodiku vhodnou pro ověření správné funkce spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B pomocí vhodné měřicí techniky. Cílem této metodiky je ověření správné funkce spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B ve všech jeho měřicích režimech s případnou možností jeho kalibrace.
4. V prostředí LabView vytvořte řídicí aplikaci umožňující kompletní ovládání přístroje Anritsu MS420B s možností aktivace určitých přednastavených měřicích procedur, které provedou některá typická automatizovaná měření (např. měření spektrálních charakteristik, impedančních charakteristik apod.) včetně exportu naměřených dat v grafické a textové podobě. K uvedené aplikaci vytvořte technickou dokumentaci.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jiří Stifter, Ph.D.**

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Konzultant diplomové práce: **Ing. Jiří Stifter, Ph.D.**

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**

Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan



Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev

vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Abstrakt

Práce stručně popisuje vnitřní součásti analyzátoru Anritsu MS420B a také moderních spektrálních analyzátorů obecně. Zejména se pak tato práce zabývá tvorbou knihovny ovládacích aplikací vytvořených v prostředí LabVIEW 2011 umožňující dálkové řízení spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B, tzv. driver pro řízení analyzátoru připojeného pomocí GP-IB sběrnice k PC. Aplikace vytvořená jako součást této práce umožňuje ověření parametrů přístroje pomocí kalibračních procedur doporučených výrobcem a zhodnotit zda je přístroj bez závady či zda jeho parametry odpovídají hodnotám uvedeným v dokumentaci přístroje. Další aplikace vytvořená v programu LabVIEW 2011 umožňuje uživateli po propojení řídicího PC a analyzátoru provádět typizovaná měření nastavením parametrů měření v přehledném interaktivním okně a uložení naměřených dat do datových souborů pro pozdější zpracování například tabulkovým editorem MS Excel.

Klíčová slova

spektrální analýza, LabVIEW, MS420B driver, GP-IB, IEEE-488

Abstract

Opava, Jan. *Design of automated workplace intended for spectral analysis using analyzer Anritsu MS420B* [Návrh automatizovaného měřicího pracoviště využívajícího spektrální analyzátor Anritsu MS420B]. Pilsen, 2012. Master thesis (in Czech). University of West Bohemia. Faculty of Electrical Engineering. Department of Applied Electronics and Telecommunications. Supervisor: Jiří Stifter

This thesis briefly describes the inner parts of the Anritsu MS420B spectral analyzer and also those of the modern spectral analyzers in general. This thesis is mainly focused on creation of a library of control applications built in the LabVIEW 2011 environment, capable of remotely controlling the Anritsu MS420B spectral analyzer, so called driver for controlling analyzer connected using GP-IB with a PC. An application built as a part of this thesis allows to check instruments parameters using calibration procedures according to the vendors recommendations and to evaluate whether or not is the instrument malfunctioning or if its parameters are matching the values stated in the documentation provided with it. Next application built in LabVIEW 2011 allows the user to perform typical measurements after connecting the controller PC with the analyzer via GP-IB. The measurement is performed by setting measurement parameters in an easy-to-use interactive window and allows to save the measured data into various datafiles available for later use, e.g. to be edited in MS Excel.

Keywords

spectral analysis, LabVIEW, MS420B driver, GP-IB, IEEE-488

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem svou závěrečnou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné 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 § 270 trestního zákona č. 40/2009 Sb.

Také prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 11. května 2012

Bc. Jan Opava

.....

Podpis

Poděkování

Tato práce vznikla s podporou projektu SGS-2012-019 „Moderní řešení elektronických řídicích a informačních systémů“.

Obsah

Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	ix
Seznam symbolů a zkratek	x
1 Úvod	1
2 Spektrální analyzátor Anritsu MS420B	2
2.1 Popis funkce spektrálního analyzátoru	2
2.1.1 Hlavní konfigurační parametry spektrálního analyzátoru	3
2.2 Popis technických parametrů analyzátoru	4
2.2.1 Měřicí rozhraní	4
2.2.2 Charakteristická vstupní impedance	6
2.2.3 Frekvenční rozlišení analyzátoru	7
2.2.4 Možnosti měření analyzátozem MS420B	9
2.2.5 Možnosti ovládání analyzátoru MS420B	9
3 Ověření technických parametrů přístroje	11
3.1 Požadované a dosažené parametry testovacího vybavení	11
3.1.1 Frekvenční čítač	12
3.1.2 Frekvenční syntezátor nízkofrekvenční	12
3.1.3 Frekvenční syntezátor vysokofrekvenční	14
3.1.4 Proměnný atenuátor	14
3.1.5 Standardní měřič úrovně	15
3.1.6 Další vybavení předepsané výrobcem	15
3.2 Kalibrační zkouška technických parametrů přístroje	17
3.2.1 Frekvenční rozsah	17
3.2.2 Stabilita referenčního krystalového oscilátoru	18
3.2.3 Vstupní impedance	19
3.2.4 Potlačení obrazové frekvence	19
3.2.5 Potlačení mezifrekvence	20
3.2.6 Vnitřní zkreslení	21

3.2.7	Střední úroveň šumu	22
3.2.8	Přeslechy	23
3.2.9	Frekvenční rozlišení	24
3.2.10	Linearita měření přenosu	25
3.2.11	Linearita měření úrovně/spektra	26
3.2.12	Linearita měření fáze	27
3.2.13	Linearita měření skupinového zpoždění	28
3.2.14	Výstup syntezátoru analyzátoru MS420B	28
3.2.15	Měření frekvence	30
3.3	Zhodnocení stavu testovaného přístroje	31
4	Popis aplikací k řízení analyzátoru MS420B	32
4.1	Popis ovládacích aplikací k analyzátoru MS420B	32
4.1.1	Funkce zobrazování	33
4.1.2	Měřicí funkce	36
4.1.3	Ovládací funkce	43
4.1.4	Pokročilé (ADV) funkce	46
4.1.5	Funkce paměti	49
4.1.6	Doplňkové funkce	51
4.1.7	Globální proměnné	55
4.2	Ukázková aplikace pro ovládání analyzátoru MS420B	56
4.3	Aplikace Performance Tests	59
5	Závěr	64
	Reference, použitá literatura	65
	Přílohy	67
A	Čelní panel analyzátoru MS420B popis tlačítek	67
B	Čelní panel analyzátoru MS420B GP-IB funkce	70
C	Blokový diagram aplikace Measurement results read (SubVI)	72
D	Blokové diagramy třetího modulu aplikace Performance Tests)	74

Seznam obrázků

2.1	Blokové schema spektrálního analyzátoru s laditelným vstupním filtrem . . .	2
2.2	Blokové schema spektrálního analyzátoru na principu heterodynu	3
2.3	Schema vstupní části spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B	5
2.4	Schema použití článku k impedančnímu přizpůsobení	6
2.5	Napěťový dělič vzniklý spojením výstupu generátoru z spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B s obvodem se vstupní impedancí 50Ω	7
2.6	Efekt nevhodného nastavení frekvenčního kroku: a) signál se zcela ztratí; b) signál je změřen s chybou amplitudy Převzat z [1] 	8
2.7	Charakteristika IF filtru zobrazená při sinusovém vstupním signálu Převzat z [1]	8
2.8	Skladba datové zprávy k ovládní spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B.	10
4.1	Čelní panel aplikace Measurement results read (SubVI)	52
4.2	Příklad zobrazení globální proměnné v prostředí LabVIEW	55
4.3	Čelní panel aplikace pro řízení analyzátoru MS420B	57
4.4	Počáteční dvě části sekvence měřící aplikace s použitím analyzátoru MS420B	58
4.5	3. a 4. část sekvence měřící aplikace s použitím analyzátoru MS420B	58
4.6	Pátá část sekvence měřící aplikace s použitím analyzátoru MS420B	59
4.7	Konec sekvence měřící aplikace s použitím analyzátoru MS420B	59
4.8	Popis čelního panelu aplikace Performance Tests	60
4.9	Modul č.1 aplikace Performance Tests	61
4.10	Modul č.2 aplikace Performance Tests	62
4.11	Modul č.4 aplikace Performance Tests	63
A.1	Čelní panel spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B Převzat z [5] 	67
B.1	Čelní panel spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B s označením ovládacích prvků pro komunikaci pomocí GP-IB Převzat z [6] 	70
B.2	Seznam příkazů pro komunikaci prostřednictvím GP-IB. Převzat z [6] 	71
C.1	První dva kroky sekvence v aplikaci Measurement results read (SubVI) . . .	72
C.2	3. a 4. krok sekvence v aplikaci Measurement results read (SubVI)	72
C.3	5. krok sekvence v aplikaci Measurement results read (SubVI)	73
C.4	Poslední krok sekvence v aplikaci Measurement results read (SubVI)	73

D.1	Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Frekvenční rozsah část 1., viz 3.2	75
D.2	Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Frekvenční rozsah část 2., viz 3.2	76
D.3	Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Stabilita referenčního kystalového oscilátoru, viz 3.2	77
D.4	Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Vstupní impedance, viz 3.2	77
D.5	Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Potlačení obrazové frekvence, viz 3.2	78
D.6	Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Potlačení mezifrekvence, viz 3.2	79
D.7	Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Vnitřní zkreslení, viz 3.2 .	80
D.8	Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Střední úroveň šumu, viz 3.2	81
D.9	Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Přeslechy, viz 3.2	82
D.10	Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Frekvenční rozlišení, viz 3.2	83
D.11	Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Linearita měření přenosu, viz 3.2	84
D.12	Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Linearita měření úrovně/spektra, viz 3.2	85
D.13	Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Linearita měření fáze, viz 3.2	86
D.14	Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Linearita měření skupinového zpoždění, viz 3.2	87
D.15	Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Výstup syntezátoru analyzátoru MS420B část 1., viz 3.2	88
D.16	Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Výstup syntezátoru analyzátoru MS420B část 2., viz 3.2	89
D.17	Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Měření frekvence, viz 3.2 .	90

Seznam tabulek

3.1	Tabulka naměřených úrovní 2. a 3. harmonických složek generátoru Agilent 33120A	13
3.2	Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 1.1]	18
3.3	Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 1.2]	18
3.4	Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 2]	19
3.5	Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 4]	20
3.6	Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 5]	21
3.7	Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 6]	21
3.8	Specifikace střední úrovně šumu pro analyzátor MS420B dle ??	22
3.9	Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 7]	23
3.10	Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 9]	25
3.11	Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 10]	26
3.12	Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 11]	27
3.13	Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 12]	28
3.14	Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 13]	29
3.15	Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 14]	30
3.16	Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 15]	31
3.17	Výsledky kalibračního testu, část 15. při přesnějším nastavení měření	31
4.1	Tabulka možností nastavení IF Range	33
4.2	Popis vlastností funkcí LIN a EXP	34
4.3	Význam parametrů příkazu "BWm1,m2"	36
4.4	Hodnoty pro nastavení rozsahu měřeného skupinového zpoždění	38
4.5	Nastavitelné hodnoty vstupního rozsahu analyzátoru MS420B	39
4.6	Možnosti nastavení logaritmické frekvenční osy	41
4.7	Přehled pamětí analyzátoru MS420B a jejich obsahu	49
4.8	Přehled řetězců pro nastavování jednotlivých pamětí	50
4.9	Přehled řetězců pro čtení jednotlivých pamětí	50
A.1	Popis ovládacích prvků čelního panelu spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B	69

Seznam symbolů a zkratek

FFT	Fast Fourier Transformation. Rychlá Fourierova transformace.
CRT	Cathode Ray Tube. Katodová trubice.
LO	Local Oscillator. Lokální oscilátor.
IF	Intermediate Frequency. Mezifrekvence.
BW	Band Width. Šířka pásma.
RBW	Resolution Bandwidth. Rozlišovací šířka pásma.
VBW	Video Bandwidth. Zobrazovací šířka pásma.
f_{LO}	Frekvence lokálního oscilátoru.
f_{in}	Frekvence vstupního signálu pro konverzi.
f_{im}	Frekvence obrazu vstupního signálu.
f_{IF}	Mezifrekvenční frekvence.
GP-IB	General Purpose Interface Bus. Datové rozhraní dle standardu IEEE-488.1.
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers. Institut inženýrů elektrotechniky a elektroniky.
IEC	International Electrotechnical Commission. Mezinárodní elektrotechnická komise.
VI	Virtual Instrument. Virtuální přístroj.

1

Úvod

Tato diplomová práce se zabývá tvorbou aplikace umožňující automatizaci ovládání spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B pomocí sběrnice GP-IB. Moderní přístroje jsou v současné době podporovány a jsou k nim výrobcem dodávány příslušné ovládací knihovny pro GP-IB komunikační rozhraní. Pro přístroj Anritsu MS420B tyto aplikace neexistují, což zvyšuje časové nároky na obsluhu při měření, ale vzhledem ke stáří přístroje také vzniká problém s ovládacími mechanickými prvky na čelním panelu, které již nepracují spolehlivě a velmi často znemožňují přesné nastavení měřících parametrů. Z těchto důvodů je proto lepší měření automatizovat a řídit pomocí komunikačního rozhraní. V rámci této diplomové práce proto byla vytvořena knihovna aplikací, tzv. driver, umožňující kompletní dálkové řízení přístroje a nastavování jednotlivých parametrů či čtení výsledných dat měření. Všechny funkce vytvořené jako součást této aplikační knihovny jsou podrobně popsány v kapitole 4.1.

Zároveň s použitím výpočetní techniky lze využít možnost zpracovávat a vyhodnocovat naměřená data automaticky, což je využito v aplikaci, vytvořené jako další část této práce, která umožňuje provádět kalibrační měření dle metodiky předepsané výrobcem přístroje. Tato aplikace je popsána ve stručné dokumentaci v kapitole 4.3. Výsledky kalibračních měření jsou diskutovány v kapitole 3, kde jsou zároveň porovnány s parametry, které by měl přístroj dosahovat.

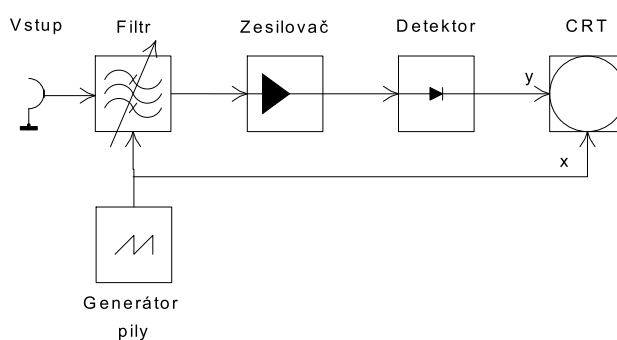
2

Spektrální analyzátor Anritsu MS420B

2.1 Popis funkce spektrálního analyzátoru

Ke spektrální analýze signálů využíváme spektrální analyzátor pracující na principu FFT a nebo analyzátor s frekvenční konverzí. Příkladem analyzátoru s frekvenční konverzí je právě Anritsu MS420B. V takovém případě není spektrum signálu vypočteno přímo z časového průběhu signálu, ale je určeno přímo analýzou ve frekvenční oblasti. Pro takovou analýzu je potřeba spektrum analyzovaného signálu rozdělit na jednotlivé frekvenční složky.

K tomu lze využít například laditelný filtr typu pásmová propust, viz obr. 2.1.

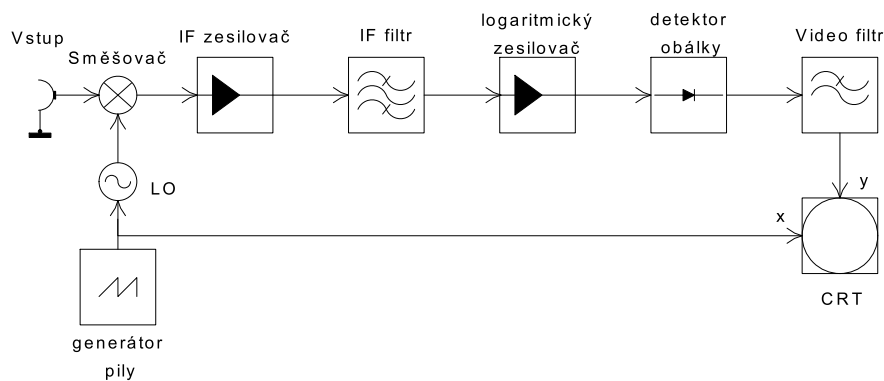


Obr. 2.1: Blokové schéma spektrálního analyzátoru s laditelným vstupním filtrem

Šířka pásma takového filtru pak odpovídá frekvenčnímu rozlišení (RBW) spektrálního analyzátoru. Čím je tato šířka pásma menší, tím vyšší frekvenční rozlišení získáme. Úzkopásmové filtry, přeladitelné celým frekvenčním rozsahem analyzátoru jsou velmi náročně realizovatelné. Laditelné filtry mají navíc konstantní relativní šířku pásma vůči jejich středové frekvenci, tedy se zvyšující se středovou frekvencí jejich šířka pásma narůstá. Z tohoto důvodu je takové řešení pro spektrální analyzátor zcela nevhodné.

Z tohoto důvodu jsou spektrální analyzátor pro vysoké frekvence řešeny na principu

heterodynu, viz obr. 2.2.



Obr. 2.2: Blokové schéma spektrálního analyzátoru na principu heterodynu

Heterodynní přijímač konvertuje vstupní signál za pomoci směšovače a lokálního oscilátoru (LO) na tzv. mezifrekvenci (IF). Pokud bude lokální oscilátor možné ladit (což je technicky snadno proveditelné), celý rozsah vstupních frekvencí tak lze konvertovat na konstantní mezifrekvenci pomocí změny frekvence lokálního oscilátoru. Frekvenční rozlišení takového spektrálního analyzátoru je pak dáno právě šířkou pásma mezifrekvenčního filtru (IF filtr), s pevně danou středovou frekvencí a vysokou jakostí. Aby bylo možné zobrazit široký rozsah úrovní na obrazovce, je signál mezifrekvence zpracován logaritmickým zesilovačem a je detekována jeho obálka. Výsledný signál se označuje jako video signál. Tento signál může být ještě před zobrazením upraven pomocí nastavitelného filtru typu dolní propust, nazývaného Video filtr, díky kterému je signál zbaven šumu a vyhlazen pro zobrazení. Šířka pásma tohoto filtru (VBW) je jedním z parametrů které je možno nastavovat. Výsledný signál je přiveden na y osu CRT obrazovky, zatímco na x ose je přiveden pilový signál, kterým je rozmítán lokální oscilátor. Protože jak mezifrekvence, tak frekvence lokálního oscilátoru jsou známé, lze přesně přiřadit vstupní signál zobrazenému spektru.

Moderní spektrální analyzátoři již ovšem využívají princip trojitého heterodynu, s postupným směšováním přes tři snižující se mezifrekvence. Tento způsob je blíže popsán v kapitole 2.2.1.

V moderních spektrálních analyzátořích jsou prakticky všechny procesy řízené mikroprocesorem, což dává širokou škálu funkcí, které by byly jinak těžko proveditelné. Jedním využitím s ohledem na tuto skutečnost je např. možnost dálkového řízení spektrálního analyzátoru pomocí různých komunikačních rozhraní, např. po sběrnici IEEE, také známé jako GP-IB.

2.1.1 Hlavní konfigurační parametry spektrálního analyzátoru

U spektrálních analyzátorů lze nastavovat mnoho parametrů, ty nejdůležitější, umožňující správně nastavit analyzátor k zobrazení spektra signálu, jsou:

Rozsah zobrazených frekvencí

Obvykle se nastavuje buď jako start a stop frequency (nejnižší a nejvyšší zobrazená frekvence) nebo jako center a span frequency (středová frekvence a šířka zobrazeného pásma okolo středové frekvence).

Rozsah zobrazených úrovní

Tento rozsah se nastavuje pomocí maximální zobrazené úrovně (referenční úroveň) a rozpětí zobrazených úrovní. Toto nastavení ovlivňuje nastavení vstupního útlumu analyzátoru.

Frekvenční rozlišení

Pro spektrální analyzátor pracující na principu heterodynu se nastavuje frekvenční rozlišení pomocí šířky pásma mezifrekvenčního filtru.

Doba rozmítání lokálního oscilátoru

Tento parametr se nastavuje pouze u analyzátorů pracujících na principu heterodynu a nastavuje čas potřebný pro zaznamenání celého požadovaného spektra. Při nastavení příliš krátké doby rozmítání dojde ke zkreslení měřené úrovně a k frekvenčnímu posuvu zaznamenaného signálu.

Některé z těchto parametrů jsou na sobě závislé, např. velmi malé frekvenční rozlišení způsobí, že bude potřeba mnohem větší čas rozmítání pro analýzu celého spektra. Zmenšení frekvenčního rozlišení n -krát způsobí n^2 delší minimální dobu rozmítání. Změna těchto parametrů ovlivňuje i další vlastnosti přístroje, např. nastavení referenční úrovně zobrazeného signálu ovlivňuje útlum vstupního atenuátoru. Pokud chceme přivádět silnější signál na vstupní svorky, je nutné útlum tohoto atenuátoru zvýšit, aby nedošlo k přetížení mezifrekvenčních směšovačů. Zvýšený útlum ale zároveň způsobuje, že narůstá vlastní šum samotného spektrálního analyzátoru, který se přidává k měřenému signálu. Tím se snižuje spodní hranice měřitelného signálu a omezuje se využitelný dynamický rozsah přístroje. Spektrální analyzátor Anritsu MS420B nabízí možnost svázat některé parametry automatickým nastavením, což může usnadit obsluhu. Konkrétně lze svázat nastavení hodnoty frekvenčního rozlišení a šířky pásma video filtru v závislosti buď na nastavené středové frekvenci měření a nebo na šířce pásma měřeného signálu.

2.2 Popis technických parametrů analyzátoru

2.2.1 Měřicí rozhraní

Vstupní část spektrálního analyzátoru je u moderních přístrojů tvořena trojitým heterodynem, s postupným směšováním přes tři snižující se mezifrekvence, tak jako je zobrazeno na obr. 2.3. Toto schema zobrazuje uspořádání v přístroji Anritsu MS420B, který pracuje

se třemi mezifrekvenčními stupni: 56,7 MHz, 6,7 MHz a 450 kHz. Celý proces konverze na mezifrekvenci lze popsat vztahem 2.1 převzatým z [1]

$$f_{IF} = |m \cdot f_{LO} \pm n \cdot f_{in}| \quad (2.1)$$

kde $m, n = 1, 2, \dots$

f_{IF} je hodnota mezifrekvence

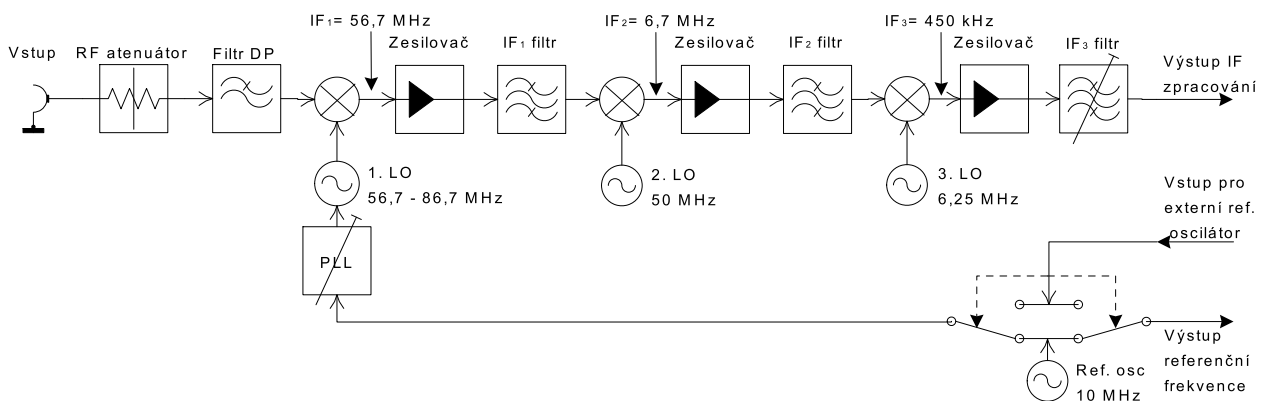
f_{LO} je frekvence lokálního oscilátoru

f_{in} je frekvence vstupního signálu

Pokud budeme uvažovat pouze první řád intermodulačních produktů vzniklých po směšování ($m, n = 1$), vztah 2.1 se zjednoduší

$$f_{IF} = |f_{LO} \pm f_{in}| \quad (2.2)$$

Ze vztahu 2.1 vyplývá, že výsledkem mezifrekvenční konverze je součtové a rozdílové frekvenční pásmo. Tato vlastnost může způsobit nejednoznačnost, která by posléze vnesla do výsledků analýzy nežádoucí chybu. Proto je nutné jedno z frekvenčních pásem odstranit, obvykle se potlačují frekvence součtového pásma vzniklého směšováním (také nazývané obrazové frekvenční pásmo). Při použití první mezifrekvence mnohem vyšší ($f_{IF_1} = 56,7 \text{ MHz}$) než je maximální frekvence vstupního signálu ($f_{in_{max}} = 30 \text{ MHz}$) se obrazové frekvence budou nacházet dostatečně daleko od sebe na frekvenční ose, takže je lze snadno potlačit zabudovaným filtrem typu dolní propust. Právě zajištění jednoznačnosti výstupu směšovače a konstrukční omezení plynoucí z nároků na filtr pro splnění tohoto požadavku vede k využití tří mezifrekvenčních stupňů, přičemž první mezifrekvence je mnohem vyšší než nejvyšší frekvence vstupního signálu.



Obr. 2.3: Schema vstupní části spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B

Pro zvýšení přesnosti měření spektra je signál lokálních oscilátorů ve spektrálním analyzátoru Anritsu MS420B syntetizován pomocí fázového závěsu (PLL). Syntézu signálu prvního lokálního oscilátoru lze řídit digitálně, hodnoty frekvencí, které budou syntetizovány jsou určeny hodnotami, které jsou uloženy v paměti frekvenčních bodů v přístroji. Referenční signál pro syntézu výstupní frekvence je generován v krystalovém oscilátoru

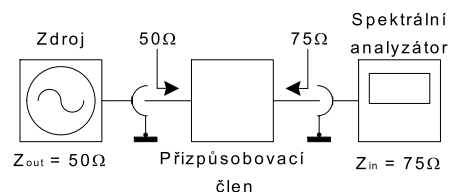
s frekvencí 10 MHz. Pro synchronizaci s dalšími zařízeními je na zadní straně přístroje výstup kde je referenční signál k dispozici. K synchronizaci lze rovněž využít externí referenční frekvenci, která může být přivedena na patričný vstup na zadní straně přístroje.

2.2.2 Charakteristická vstupní impedance

Velká část moderních spektrálních analyzátorů obvykle pracuje se vstupní impedancí 50 Ω. Pro použití k měření v 75 Ω systémech, jako např. kabelová televize, mají některé analyzátoři vstupní impedanci 75 Ω. Spektrální analyzátor Anritsu MS420B má právě takovou hodnotu impedance a proto je pro jeho použití k měření v 50 Ω systémech třeba použít impedanční přizpůsobovací člen, aby nedocházelo ke ztrátám výkonu vlivem nepřizpůsobení. Běžné impedanční přizpůsobovací články ale nevyhovují pro celé frekvenční pásmo na které je analyzátor MS420B konstruován.

Vyřešit problém ztrát nepřizpůsobením lze dvěma způsoby:

- Pomocí širokopásmového přizpůsobovacího článku, jak je uvedeno na obr. 2.4
- Částečnou kompenzací změřených dat při počítačovém zpracování výsledků



Obr. 2.4: Schema použití článku k impedančnímu přizpůsobení

Při kompenzaci vlivu impedančního nepřizpůsobení lze uvažovat výkonovou ztrátu vlivem rozdílných impedancí. Tuto výkonovou ztrátu lze vypočítat a proto ji lze ve výsledcích měření korigovat. Co ovšem nelze kompenzovat je možný vliv impedančního nepřizpůsobení na frekvenční vlastnosti filtrů v připojeném nepřizpůsobeném systému. Tyto filtry se mohou vlivem nestandardního zatížení rozladit a způsobit nekompensovatelnou chybu měření.

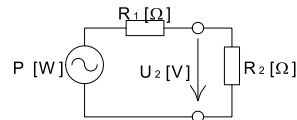
V této práci bylo využito pouze kompenzace měřených výsledků výpočtem hodnoty útlumu nepřizpůsobením, další vlivy nepřizpůsobení impedancí není možné obecně kvantifikovat a proto nebyly v rámci úvah dále brány v potaz. Pro určení hodnoty útlumu nepřizpůsobením byl využit princip zatíženého napěťového děliče, viz obr. 2.5.

Pro tento obvod můžeme spočítat napětí U_2

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad [V] \quad (2.3)$$

Při impedančním přizpůsobení platí, že $R_1 = R_2$. Dosazením do vztahu 2.3 zjistíme referenční hodnotu pro výpočet útlumu nepřizpůsobením

$$U_2 = 0,5U_1 \quad (2.4)$$



Obr. 2.5: Napěťový dělič vzniklý spojením výstupu generátoru z spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B s obvodem se vstupní impedancí 50Ω

Útlum vlivem nepřizpůsobení následně můžeme určit pomocí vztahu

$$A_u = 20 \log \frac{U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}}{0,5U_1} = 20 \log \frac{2R_2}{R_1 + R_2} \quad [dB] \quad (2.5)$$

Např. pro připojení 75Ω výstup syntezátoru z analyzátoru Anritsu na vstupní 50Ω svorky měřiče úrovně, je útlum napětí vzniklý nepřizpůsobením impedancí dle vztahu 2.5 roven

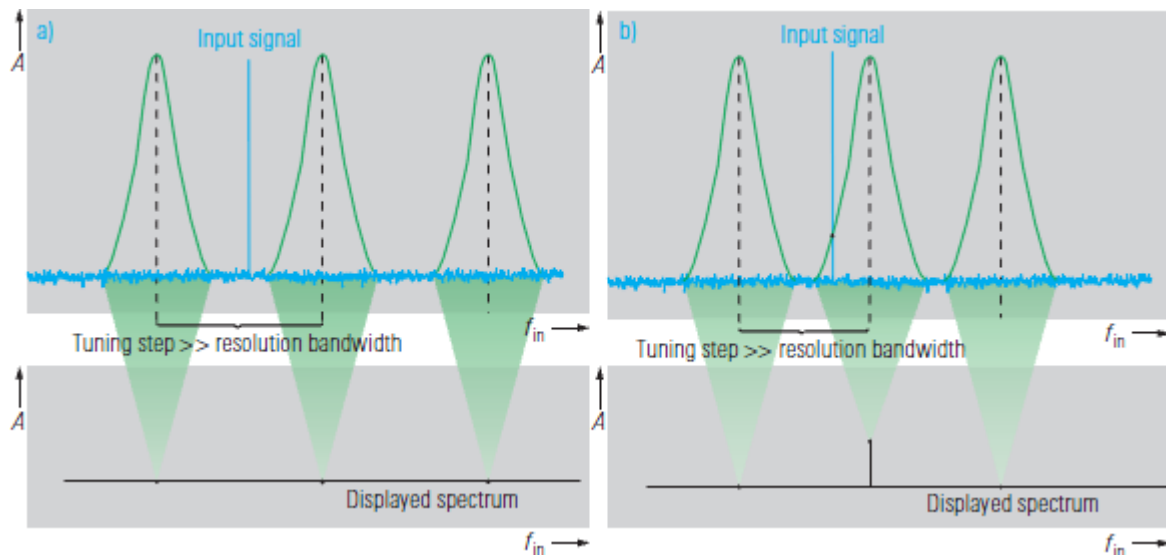
$$A_u = 20 \log \frac{2R_2}{R_1 + R_2} = 20 \log \frac{2 \cdot 50}{75 + 50} = -1,938 \text{ dB} \quad (2.6)$$

2.2.3 Frekvenční rozlišení analyzátoru

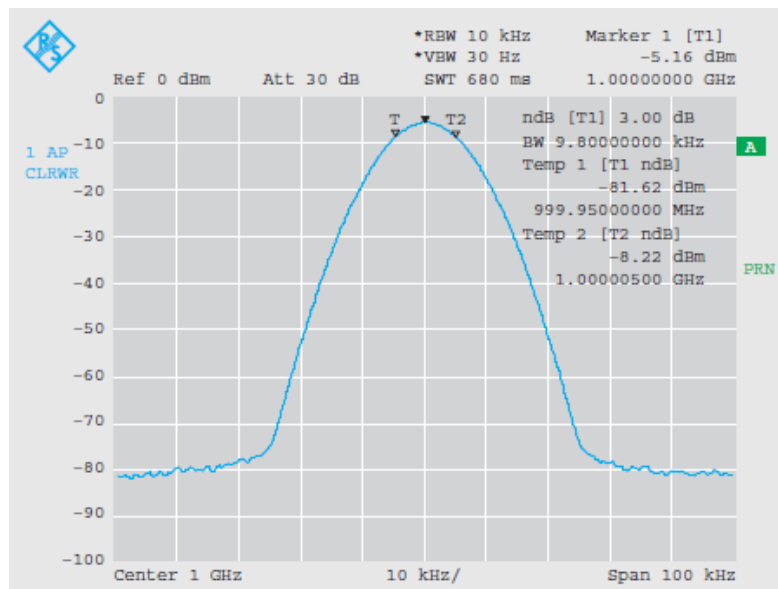
Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.2, frekvenční rozlišení spektrálního analyzátoru je dáno především nastavením šířky pásma mezifrekvenčního filtru (IF_3 filtr). Toto nastavení se provádí nastavením parametru RBW ovladačem na čelním panelu přístroje označeným Res BW a nebo dálkově pomocí sběrnice GP-IB. Frekvenční rozlišení tohoto analyzátoru je dáno dále také počtem bodů na frekvenční ose, na které je laděn 1. lokální oscilátor. Těchto bodů je přístroj schopný měřit v daném frekvenčním rozsahu maximálně 251, čili je na toto třeba dbát při volbě nastavení parametru RBW. Vznik chyby, která vznikne nevhodným nastavením frekvenčního rozsahu a frekvenčního rozlišení, je znázorněna na obr. 2.6.

Pokud bude šířka mezifrekvenčního filtru příliš malá a měřený frekvenční rozsah příliš velký, snadno se může stát, že přijímaný signál nebude zaznamenán, protože padne do oblasti, která nebude zpracována mezifrekvenčním procesem. Pro vyloučení této chyby je vhodné měřit široké spektrum frekvencí filtrem s širokopásmovějším mezifrekvenčním filtrem, protože se tím zlepší poměr frekvenčního kroku vůči frekvenčnímu rozlišení a tím se zvýší šance na zachycení signálu mezifrekvenčním filtrem. Při použití spektrálního analyzátoru na heterodynním principu k zaznamenání čistého sinusového signálu by mohlo být očekáváno, že se obrazovce analyzátoru objeví právě jedna spektrální čára v souladu s Fourierovým teorémem. Ve skutečnosti se ale obrazovce analyzátoru objeví průběh jako na obr. 2.7.

Tento průběh vznikne konvolucí přenosové funkce IF filtru a vstupního sinusového signálu, čili zobrazuje se právě frekvenční amplitudová charakteristika IF filtru. Této vlastnosti lze využít právě k ověření parametrů tohoto filtru, ale je s ní také nutné počítat při měření vícetónových signálů, protože pokud bude jedna z frekvenčních složek signálu



Obr. 2.6: Efekt nevhodného nastavení frekvenčního kroku: a) signál se zcela ztratí; b) signál je změřen s chybou amplitudy [Převzato z [1]]



Obr. 2.7: Charakteristika IF filtru zobrazená při sinusovém vstupním signálu [Převzato z [1]]

mít výrazně větší amplitudu, slabší frekvenční složka bude vlivem tvaru charakteristiky IF filtru skryta a nebude možné ji analyzovat. O možnosti zobrazení dvou blízkých frekvencí s výrazně různou amplitudou pak rozhodují především dva parametry IF filtru - 3dB šířka pásma a selektivita, jež může být popsána např. činitelem tvaru. Činitel tvaru (v literatuře nazývaný Shape Factor) je poměr 60dB šířky pásma a 3dB šířky pásma, lze zapsat vztahem

$$SF_{60dB} = \frac{60dB}{3dB} \quad (2.7)$$

2.2.4 Možnosti měření analyzátozem MS420B

Spektrální analyzátor Anritsu je schopný měřit několik typů charakteristik vstupního signálu. Jsou to

a) **Frekvenční charakteristiky:**

- Přenosová
- Fázová
- Skupinové zpoždění
- Přeslech
- Frekvenční spektrum
- Úroveň signálu
- Šum

b) **Úrovňové charakteristiky:**

- Linearita
- Kompanzní charakteristiky

c) **Funkce frekvenčního čítače**

d) **Měření v časové oblasti:**

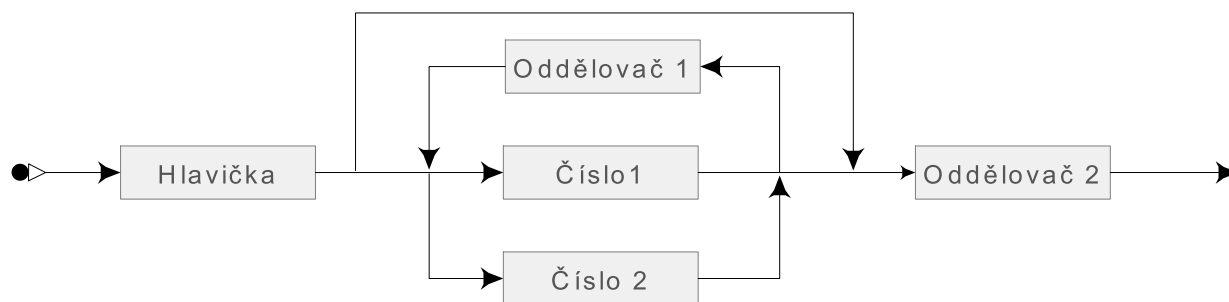
- Zobrazení obálky signálu

2.2.5 Možnosti ovládání analyzátoru MS420B

Spektrální analyzátor Anritsu MS420B lze prakticky ovládat zejména dvěma způsoby. Buď k ovládání poslouží tlačítka na čelním panelu, která jsou podrobně popsána v příloze A, nebo je k ovládání možné využít komunikační rozhraní GP-IB dle standardu IEEE-488.1. Analyzátor lze ovládat i způsobem PTA (Personal Test Automation), který využívá možnosti programování měřících skriptů přímo v analyzátoru pomocí programovacího jazyku PTL (Personal Test Language), který je velmi podobný programovacímu jazyku BASIC nebo např. řídicím zprávám sběrnice GP-IB. Režim programování PTA se dá zapnout příslušným tlačítkem na čelním panelu. Zároveň je také možno tento režim aktivovat řídicí zprávou po sběrnici GP-IB a případně tímto způsobem i do spektrálního analyzátoru zadat program v jazyce PTL. V současnosti s využitím programového prostředí LabVIEW je ovšem uživatelsky výrazně přívětivější přístroj kompletně řídit pomocí komunikace po sběrnici GP-IB.

GP-IB rozhraní je dodáváno jako standardní vybavení spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B, ve specifikaci IEEE-488.1 nebo IEC-625. Pomocí tohoto rozhraní je možné řídit všechny funkce přístroje, s výjimkou napájení a jasu CRT obrazovky.

Pro aktivní komunikaci s přístrojem je potřeba znát jeho GP-IB adresu. Tato adresa se nastavuje buď trvale pomocí fyzického přepínače na GP-IB kartě v přístroji nebo dočasně pomocí pokročilých funkcí přístroje. Dále je nutné přístroji zadávat příkazy ve formě řídicích zpráv (Command message) a nebo zpráv vyžadujících odpověď (Request message).



Obr. 2.8: Skladba datové zprávy k ovládní spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B.

1. Pole Hlavička

Toto pole zprávy slouží k indikaci typu a obsahu dat a objevuje se na začátku datové zprávy. V analyzátoru MS420B je ve formátu dvou až tří velkých písmen (např. "ADR"), odpovídajících příslušné funkci přístroje. Pokud přístroj hlavičku nerozpozná, je zpráva ignorována.

2. Pole Číslo

Číslo je datové pole indikující číselná data. Číslo může být zadáno ve dvou formátech:

- Číslo 1: Celé číslo
- Číslo 2: Reálné číslo s desetinnou tečkou.

3. Pole Oddělovač

Toto pole slouží buď k určení konce číselné hodnoty nebo konce datové zprávy. Oddělovač může být zadán ve dvou formátech:

- Oddělovač 1: Čárka (,)
- Oddělovač 2: ASCII znak pro konec řádky (LF) nebo pro konec odstavce (CR-LF). Lze zadat i hexadecimálně jako 0D a 0A.

Formát zprávy přicházející z přístroje jako odpověď na požadavek dat je vcelku jednoduchý. Formát zprávy s odpovědí přístroje sestává z číselné hodnoty (může být s desetinnou tečkou a dvěma desetinnými místy), která je přímo následována ASCII znakem CR.

3

Ověření technických parametrů přístroje

Cílem této práce je vytvoření návrhu automatizovaného pracoviště pro spektrální analýzu s využitím spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B. Aby bylo možné takové měřicí pracoviště navrhnout, je nutné znát technické parametry tohoto přístroje a ověřit jeho správnou funkci ve všech měřících režimech. Za tímto účelem byla vytvořena testovací aplikace `Performance tests` v programovacím prostředí LabVIEW 2011. Tato aplikace slouží k provedení kalibračních zkoušek dle postupu předepsaného výrobcem spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B, přičemž poskytuje také možnosti vyhodnocení, zda přístroj splňuje předepsané tolerance. Aplikace pro kalibrační měření je dále podrobně popsána v kapitole 4.3.

3.1 Požadované a dosažené parametry testovacího vybavení

Aby bylo možné ověřit technické parametry přístroje, je nutné mít měřicí vybavení schopné měřit s přesností řádově vyšší než jaká je přípustná odchylka měřeného parametru. V následujícím textu je podrobně popsáno, jaké měřicí přístroje byly zvoleny pro provedení kalibrační procedury spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B, jaké jsou jejich technické parametry v porovnání s požadavky výrobce. Nutno podotknout, že jelikož je impedance spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B $75\ \Omega$, výrobce požaduje, aby i všechny ostatní měřicí přístroje byly s touto impedancí. Měřicí přístroje splňující tak náročné požadavky však pro kalibrační měření nebyly k dispozici. Proto bylo měřeno v impedančně nepřizpůsobeném stavu, což ale u některých měření nehrálo roli, jelikož byla měřena pouze změna měřené veličiny, nikoliv absolutní velikost a tam kde impedanční nepřizpůsobení komplikovalo měření, zejména při měření výstupní úrovně syntezátoru, byla hodnota kompenzována výpočtem útlumu nepřizpůsobením v měřicí aplikaci.

3.1.1 Frekvenční čítač

Nároky na frekvenční čítač pro kalibrační proceduru jsou výrobcem spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B kladeny následující:

- Frekvenční rozsah: 10 Hz až 30 MHz
- Vstupní napěťový rozsah: 10 mV až 1 V_{rms}
- Rozlišení: $\leq 0,01\text{ Hz}$
- Stabilita: $\pm 5 \cdot 10^{-8}$

Pro provádění zkoušek spektrálního analyzátoru MS420B byl zvolen frekvenční čítač Hewlett Packard 53131A, který má následující parametry [7]:

- Frekvenční rozsah: $0,01\text{ Hz}$ až 225 MHz
- Vstupní napěťový rozsah: 20 mV až 5 V_{ac}
- Rozlišení: $\leq 0,01\text{ Hz}$
- Stabilita: $< 5 \cdot 10^{-6}$

Právě stabilita interního referenčního oscilátoru se stala problémem při kalibračním testování spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B. Pro zvýšení stability frekvenčního čítače bylo proto zvoleno využití externího referenčního oscilátoru Picosync II. Vzhledem k synchronizaci zařízení Picosync II pomocí signálu systému GPS a zabudované schopnosti učít se, je toto zařízení schopno 48 hodin po synchronizaci se systémem GPS schopno generovat referenční signál o frekvenci 10 MHz s frekvenční stabilitou řádově výrazně vyšší než interní referenční oscilátor v čítači HP53131A.

Výsledný referenční signál má podle [8] následující parametry:

Přesnost:

- Čas: $< 50\text{ nS}$ špičkově (UTC)
- Frekvence: 1×10^{-12}

Při použití externí reference Picosync II společně s frekvenčním čítačem Hewlett Packard 53131A lze tedy dosáhnout parametrů vyhovujících požadavkům výrobce pro kalibrační proceduru.

3.1.2 Frekvenční syntezátor nízkofrekvenční

Nároky na frekvenční syntezátor pro kalibrační proceduru jsou výrobcem spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B kladeny následující:

- Frekvenční rozsah: 10 Hz až 30 MHz

- Frekvenční stabilita: $\pm 5 \cdot 10^{-8}$
- Harmonické zkreslení: $\leq -45 \text{ dBc}$
- SSB šum postranního pásma: $\leq 95 \text{ dBc}$ při odsazení 2 kHz

Pro provádění zkoušek spektrálního analyzátoru MS420B byl zvolen frekvenční generátor Agilent 33120A, jehož syntezátor podle [9] dosahuje následujících parametrů:

- Frekvenční rozsah: 10 Hz až 15 MHz
- Frekvenční stabilita: $< 0,1 \text{ ppm/msc}$
- Harmonické zkreslení:

DC až 20 kHz : -70 dBc

20 kHz až 100 kHz : -60 dBc

100 kHz až 1 MHz : -45 dBc

1 MHz až 15 MHz : -35 dBc

- Fázový šum: $< -55 \text{ dBc}$ v 30 kHz pásmu

Tento generátor je využíván zejména při měření vnitřního zkreslení spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B, protože ze všech dostupných generátorů má právě tento nejlepší vlastnosti z hlediska potlačení vyšších harmonických složek ve výstupním signálu. Toto bylo ověřeno měřením pomocí signálového analyzátoru Rohde & Schwarz FSIQ7. Naměřené hodnoty harmonického zkreslení a šumu postranního pásma při odsazení 2 kHz použitého generátoru Agilent 33120A jsou následující:

- SSB šum postranního pásma: $\leq -114 \text{ dBc/Hz}$ při odsazení 2 kHz
- Harmonické zkreslení:

Základní frekvence	Úroveň druhé harmonické složky	Úroveň třetí harmonické složky
100 Hz	-73 dBc	-60 dBc
1 kHz	-80 dBc	-73 dBc
10 kHz	-77 dBc	-78 dBc
200 kHz	-76 dBc	-72 dBc
1 MHz	-75 dBc	-61 dBc
10 MHz	-60 dBc	-49 dBc
15 MHz	-52 dBc	-57 dBc

Tab. 3.1: Tabulka naměřených úrovní 2. a 3. harmonických složek generátoru Agilent 33120A

Problémem tedy u použitého generátoru zůstává potlačení harmonických složek výstupního signálu, které sice dosahuje (kromě výstupní frekvence 1 kHz) parametrů požadovaných výrobcem pro kalibraci analyzátoru MS420B, ale pokud se na kalibrační testovací proceduru podíváme blíže, zjistíme, že je pro měření vnitřního harmonického zkreslení testovaného analyzátoru potřeba potlačení vyšších harmonických složek větší než 80 dB, čehož se má dosahovat použitím filtru typu dolní propust s proměnnou zlomovou frekvencí. Takový filtr bohužel nebyl k dispozici a proto bylo k testování přístroje využito pouze signálu z generátoru, bez přídatné filtrace vyšších harmonických složek. Je vhodné podotknout, že je tento generátor využíván zejména k měření vnitřního zkreslení spektrálního analyzátoru MS420B a proto by měl mít tyto parametry výrazně lepší. Bohužel bez použití vhodného filtru jsou vyšší harmonické složky natolik výrazné, že je pravděpodobné, že budou zkreslovat výsledky kalibračního měření. Toto bude zohledněno při analýze výsledků.

3.1.3 Frekvenční syntezátor vysokofrekvenční

Nároky na frekvenční syntezátor pro kalibrační proceduru jsou výrobcem spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B kladeny následující:

- Frekvenční rozsah: 10 kHz až 500 MHz
- Frekvenční stabilita: $\pm 1,5 \cdot 10^{-8}$

Pro provádění zkoušek spektrálního analyzátoru MS420B byl zvolen frekvenční generátor Rohde & Schwarz SMY01, jehož syntezátor dle katalogového listu [10] dosahuje následující parametry:

- Frekvenční rozsah: 9 kHz až 1040 MHz
- Frekvenční stabilita: $\pm 1 \cdot 10^{-6}$

Pro přesné nastavení frekvence výstupního signálu je vhodné k tomuto generátoru připojit referenční signál z externího referenčního oscilátoru Picosync II, čímž dosáhneme frekvenční stabilitu $\pm 1 \cdot 10^{-12}$ a plně tak vyhovíme požadavkům, které výrobce klade na toto kalibrační vybavení.

3.1.4 Proměnný atenuátor

Nároky na proměnný atenuátor pro kalibrační proceduru jsou výrobcem spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B kladeny následující:

- Frekvenční rozsah: DC až 30 MHz
- Přesnost útlumu: $\pm 0,3$ dB v rozsazích DC až 30 MHz a 0 dB až 90 dB
Pozn.: s údaji kalibrovanými vůči standardu

Pro kalibrační zkoušky byl zvolen programovatelný atenuátor Tesla BM577, jenž podle [12] dosahuje následujících parametrů:

- Frekvenční rozsah: DC až 1 GHz
- Přesnost útlumu: $\Delta A = \pm 0,1 - 0,01 \times A$ [dB] (pro frekvence $\leq 300\text{ MHz}$)
- Chyba kalibrace:
 - $\leq \pm 0,10\text{ dB}$ pro útlum $\leq 20\text{ dB}$
 - $\leq \pm 0,15\text{ dB}$ pro útlum $\leq 40\text{ dB}$
 - $\leq \pm 0,20\text{ dB}$ pro útlum $\leq 80\text{ dB}$
 - $\leq \pm 0,30\text{ dB}$ v rozsazích DC až 1 GHz a 0 dB až 125 dB

Svémi parametry programovatelný atenuátor Tesla BM577 plně vyhovuje požadavkům výrobce na kalibrační zařízení. Tento atenuátor sice má impedanci $50\ \Omega$, ale chyba útlumu vlivem nepřizpůsobení impedancí je u kalibračního měření vyloučena, jelikož je před každým měřením testovaný přístroj vnitřně zkalibrován a výsledná měřená hodnota je vztažena k referenční hodnotě nulového útlumu při připojeném atenuátoru.

3.1.5 Standardní měřič úrovně

Nároky na standardní měřič úrovně pro kalibrační proceduru jsou výrobcem spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B kladeny následující:

- Frekvenční rozsah: 10 Hz až 30 MHz
- Přesnost: $\pm 0,1\text{ dB}$ při úrovni $+5\text{ dBm} / 75\ \Omega$

Pro kalibrační zkoušky byl zvolen signálový analyzátor Rohde & Schwarz FSIQ7, jenž podle [11] dosahuje následujících parametrů:

- Frekvenční rozsah: 20 Hz až 7 GHz
- Přesnost: $< 1\text{ dB}$ (pro frekvence $\leq 2,2\text{ GHz}$)

Svémi parametry signálový analyzátor Rohde & Schwarz FSIQ7 plně nevyhovuje požadavkům výrobce na kalibrační zařízení z hlediska přesnosti měření úrovně.

3.1.6 Další vybavení předepsané výrobcem

1. LCR měřič

- Frekvenční rozsah: 100 Hz až 10 MHz

- Přesnost:
 - C: 1 pF až 1000 nF ($0,1\% + 3$)
 - R: $1000\text{ M}\Omega$ až $1\text{ M}\Omega$ ($0,2\% + 3$)
- Rozlišení: 5 číslic

LCR metr s požadovanými parametry nebyl k dispozici. Maximální měřicí frekvence dostupného LCR měřiče HAMEG HM8118 je 200 kHz . Protože frekvence při které se má během kalibrační procedury měřit vstupní impedance spektrálního analyzátoru MS420B je 1 MHz , není možné tuto impedanci ověřit a proto nebude v celkovém hodnocení přístroje uvažována.

2. Reflexní můstek

- Frekvenční rozsah: 10 Hz až 30 MHz
- Směrovost: $> 50\text{ dB}$

Reflexní můstek odpovídající parametrům vhodným ke kalibračnímu měření činitele odrazu vstupů spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B nebyl k dispozici.

3. Síťový analyzátor

- Frekvenční rozsah: 10 Hz až 30 MHz
- Měřicí rozsah: 0 dB až 100 dB
- Přesnost: $\pm 0,15\text{ dB}$ (0 dB až 50 dB)

Vzhledem k tomu, že reflexní můstek nebyl k dispozici, síťový analyzátor nebyl při kalibraci použit, jelikož je v kalibrační proceduře využíván pouze k ověření činitele odrazu vstupních svorek testovaného přístroje. Protože toto měření nebylo provedeno v důsledku chybějícího vybavení, nebude zahrnuto do celkového hodnocení testovaného spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B.

4. Filtr typu DP s proměnnou zlomovou frekvencí

- Frekvenční rozsah: 50 kHz až $18,1\text{ MHz}$
- Efektivní útlum: $> 40\text{ dB}$ při $\sqrt{2}f_c - 3f_c$

Přeladitelný filtr typu DP pro požadované frekvenční pásmo s požadovanými parametry nebyl při kalibračních testech k dispozici, z čehož plynou důsledky ovlivňující přesnost kalibračního měření, přesněji pak měření vnitřního zkreslení spektrálního analyzátoru dle testu č. 6.x. Zde je filtr vyžadován proto, aby vyšší harmonické složky (zejména 2. a 3. harmonické) signálu, přiváděného na testovaný vstup analyzátoru, byly potlačeny oproti základní harmonické alespoň o 80 dB . Protože tento filtr nebyl pro měření k dispozici, při výsledném hodnocení měření vnitřního zkreslení spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B je toto zohledněno.

5. Zdroj referenčního kmitočtu Picosync-II

Modul pro generování přesné referenční frekvence 10 MHz s velmi vysokou stabilitou 1×10^{-12} byl použit pro zvýšení stability a přesnosti měření frekvenčního čítače použitého při kalibraci, viz 3.1.1. Tento modul využívá komunikační kanál $1575,42\text{ MHz}$ ke komunikaci se systémem GPS, díky čemuž se dokáže modul během 48 hodin od spuštění synchronizovat a vytvořit vysoce stabilní externí referenční signál. Bez toho modulu není možné použít frekvenční čítač Hewlett Packard 53131A ke kalibraci.

3.2 Kalibrační zkouška technických parametrů přístroje

3.2.1 Frekvenční rozsah

Frekvenčním čítačem je měřena přesná frekvence výstupního signálu ze syntezátoru MS420B na několika nastavených frekvencích. Tím je ověřen frekvenční rozsah výstupu syntezátoru. Měřením frekvence signálu z externího generátoru na vstupním konektoru MS420B je ověřen frekvenční rozsah přijímací části MS420B.

Specifikace výrobce:

- Výstup syntezátoru: 10 Hz až 30 MHz (Rozlišení $0,01\text{ Hz}$)
- Vstup přijímače: 10 Hz až 30 MHz (Rozlišení $0,01\text{ Hz}$)

V tab. 3.2 jsou naměřené hodnoty pro ověření frekvenčního rozsahu výstupu syntezátoru a v tab. 3.3 jsou naměřené hodnoty pro vstupy R a T spektrálního analyzátoru. Pro měření frekvenčního rozsahu výstupu syntezátoru byl tento signál přiveden na vstup frekvenčního čítače Hewlett Packard 53131A, který byl připojen na externí referenční frekvenci generovanou modulem Picosync-II. Na čítači bylo nastaveno průměrování měřené hodnoty 20krát, pro omezení náhodné chyby měření.

Při měření frekvenčního rozsahu vstupů spektrálního analyzátoru byl do vstupu přiveden signál z generátoru Agilent 33120A (pro frekvence 100 Hz a 1 kHz) a také z generátoru Rohde & Schwarz SMY01 (pro frekvence $> 10\text{ kHz}$) a měřena byla úroveň signálu na jednotlivých vstupech spektrálního analyzátoru. Při vyhledání maxima měřeného průběhu by měla být maximální hodnota umístěna ve středu frekvenční osy CRT obrazovky analyzátoru MS420B.

Měření bylo provedeno s použitím testovací aplikace **Performance test**. Z hodnot změřených při kalibračním testu vyplývá, že zobrazené frekvence neodpovídají přesně vstupní frekvenci z generátoru. Tato nepřesnost by mohla být způsobena např. stářím přístroje a změnou parametrů vnitřních kapacitorů, které jsou součástí obvodů detekce vstupního signálu. To by mohlo způsobit změnu časových konstant filtrů a tím vyvolat amplitudovou a frekvenční chybu.

Nastavená středová frekvence	Frekvence změřená čítačem při průměrování 20x
10, 00 Hz	11, 06 Hz
100, 01 Hz	100, 01 Hz
1000, 02 Hz	1000, 02 Hz
10000, 04 Hz	10000, 04 Hz
100000, 08 Hz	100000, 08 Hz
1000000, 16 Hz	1000000, 17 Hz
10000000, 32 Hz	10000000, 45 Hz
20000000, 64 Hz	20000000, 91 Hz
30000000, 00 Hz	30000000, 37 Hz

Tab. 3.2: Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 1.1]

(a) Změřené hodnoty pro vstup R

Nastavená frekvence	Naměřená frekvence
100 Hz	100 Hz
1 kHz	998 Hz
1 MHz	1000480 Hz
29,99 MHz	29990440 Hz

(b) Změřené hodnoty pro vstup T

Nastavená frekvence	Naměřená frekvence
100 Hz	100,4 Hz
1 kHz	998 Hz
1 MHz	1000460 Hz
29,99 MHz	29990880 Hz

Tab. 3.3: Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 1.2]

3.2.2 Stabilita referenčního krystalového oscilátoru

Frekvence referenčního oscilátoru je změřena po 10 minutách po zapnutí přístroje pomocí frekvenčního čítače a dále je změřena ještě jednou, po 1 hodině od zapnutí přístroje. Dále také lze ověřit teplotní stabilitu krystalového oscilátoru změřením referenční frekvence při 0°C a 45°C.

Specifikace výrobce:

- Frekvence: 10 MHz
- Zahřátí přístroje: $\leq 5 \times 10^{-8}$ po 10 minutách zahřátí, vztaženo k hodnotě po 1 hodině činnosti
- Změna teploty: $\pm 1 \cdot 10^7$ (0°C až 45°C)

Stabilita referenčního krystalového oscilátoru se určuje dvěma zkouškami. Při první z nich se určuje stabilita interního krystalového oscilátoru přístroje, vzhledem ke změně parametrů prostředí ve kterém se krystal nachází vlivem zahřátí přístroje na pracovní

teplotu. Druhým testem se určuje stabilita krystalového oscilátoru pro různou teplotu okolního prostředí (0°C až 45°C), tento test však nebyl proveden.

Předmět měření	Naměřená hodnota
Hodnota po 10 minutách od zapnutí	9999999,82 Hz
Hodnota po 1 hodině od zapnutí	10000000,10 Hz
Frekvenční stabilita	$2,79 \cdot 10^{-8}$

Tab. 3.4: Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 2]

Při srovnání zjištěné hodnoty frekvenční stability referenčního krystalového oscilátoru s tolerancí uváděnou výrobcem v , lze konstatovat, že testovaný přístroj plně vyhovuje a tedy referenční krystalový oscilátor splňuje na něj kladené požadavky. Jelikož však při testu nebylo provedeno ověření teplotní stability, lze doporučit aby byl tento test v budoucnu dodatečně proveden.

3.2.3 Vstupní impedance

Vstupní impedance přístroje je změřena na frekvenci 1 MHz pomocí LCR metru. Útlum odrazu je změřen odrazovým můstkem pro vstupní rozsahy od +10 dBm do -40 dBm. Specifikace výrobce:

- $1\text{ M}\Omega$: $1\text{ M}\Omega$ 10% s paralelní kapacitou $\leq 70\text{ pF}$ (typická hodnota 50 pF)
- $75\ \Omega$: Útlum odrazu $\geq 30\text{ dB}$

Vstupní impedance přístroje nebyla změřena, z důvodů uváděných v kapitole 3.1. Jelikož je impedance frekvenčně závislou veličinou, při měření na jiné než doporučené frekvenci by byla změřena impedance odlišná než očekávaná hodnota a proto by tato nebyla použitelná pro kalibrační měření.

3.2.4 Potlačení obrazové frekvence

Měřeno jako poměr úrovně obrazové frekvence k úrovni známé frekvence 100 kHz. Specifikace výrobce:

- $\geq 70\text{ dB}$

Při měření potlačení obrazové frekvence vstupního signálu byl do vstupu spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B přiváděn signál z vysokofrekvenčního generátoru Rohde &

Schwarz SMY01 s frekvencí odpovídající obrazové frekvenci signálu 100 kHz pro různé mezifrekvence. Frekvence výsledného obrazového signálu se určí ze vztahu

$$f_{IM} = f + 2 \cdot f_{IF} \quad (3.1)$$

kde f je frekvence vstupního signálu a f_{IF} je hodnota mezifrekvence. Jelikož je obrazový signál nežádoucí, je nutné ho při zpracování měřeného signálu potlačit. Při kalibrační zkoušce byly naměřeny následující hodnoty potlačení obrazové frekvence:

(a) Naměřené hodnoty pro vstup R			(b) Naměřené hodnoty pro vstup T		
Mezifrekvence	Obrazová frekvence	Potlačení obrazu	Mezifrekvence	Obrazová frekvence	Potlačení obrazu
56,7 MHz	113,5 MHz	91,51 dB	56,7 MHz	113,5 MHz	92,44 dB
6,7 MHz	13,5 MHz	91,97 dB	6,7 MHz	13,5 MHz	98,69 dB
450,0 kHz	1,0 MHz	97,10 dB	450,0 kHz	1,0 MHz	89,85 dB

Tab. 3.5: Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 4]

Měření bylo provedeno s použitím testovací aplikace **Performance test**. Při srovnání zjištěných hodnot potlačení obrazové frekvence s tolerancí uváděnou výrobcem, lze konstatovat, že testovaný přístroj plně vyhovuje a tedy měřený signál je správnou interpretací vstupního signálu, nikoli jeho obrazem vznikajícím během směšování v samotném měřicím přístroji.

3.2.5 Potlačení mezifrekvence

Měřeno jako poměr úrovně mezifrekvence k úrovni 0 dBm .

Specifikace výrobce:

- $\geq 70\text{ dB}$

Při měření potlačení mezifrekvence byl do vstupu spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B přiváděn signál z vysokofrekvenčního generátoru Rohde & Schwarz SMY01 s frekvencí odpovídající jednotlivým mezifrekvenčním testovaného přístroje. Protože je nežádoucí, aby se mezifrekvence projevovala v analyzovaném signálu, je nutné tento signál při zpracování měřeného signálu potlačit. Při kalibrační zkoušce byly naměřeny následující hodnoty potlačení mezifrekvencí:

Měření bylo provedeno s použitím testovací aplikace **Performance test**. Při srovnání s tolerancí uváděnou výrobcem testovaný přístroj plně vyhovuje z hlediska potlačení všech tří mezifrekvencí na obou měřicích kanálech. Díky tomu není analyzovaný signál zkreslený vlivem pronikání mezifrekvencí z lokálních oscilátorů do měřeného signálu.

(a) Naměřené hodnoty pro vstup R		(b) Naměřené hodnoty pro vstup T	
Nastavená mezifrekvence	Potlačení mezifrekvence	Nastavená mezifrekvence	Potlačení mezifrekvence
56,7 MHz	93,70 dB	56,7 MHz	93,84 dB
6,7 MHz	95,24 dB	6,7 MHz	93,65 dB
450,0 kHz	95,16 dB	450,0 kHz	101,61 dB

Tab. 3.6: Výsledky kalibračního testudle [5, kapitola 6, část 5]

3.2.6 Vnitřní zkreslení

Měřeno jako poměr úrovní druhé a třetí harmonické složky vůči základní frekvenci. Specifikace výrobce:

- ≤ -60 dB v pásmu 100 Hz až 200 kHz (Frekvenční rozlišení: ≤ 300 Hz)
- ≤ -70 dB v pásmu 200 kHz až 15 MHz

Při měření vnitřního zkreslení byl do vstupu spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B přiváděn signál z nízkofrekvenčního generátoru Agilent 33120A. Tento signál by měl pro kalibraci být při měření ideálně přiveden na svorky testovaného přístroje skrz laditelný filtr typu dolní propust, aby bylo dosaženo vysoké spektrální čistoty vstupního kalibračního signálu. Požadovaný filtr však při měření nebyl k dispozici, což se projevilo ve výsledcích měření.

(a) Naměřené hodnoty pro vstup R			(b) Naměřené hodnoty pro vstup T		
Měřená frekvence	Úroveň 2. harmonické	Úroveň 3. harmonické	Měřená frekvence	Úroveň 2. harmonické	Úroveň 3. harmonické
100 Hz	-47,64 dB	-74,38 dB	100 Hz	-47,05 dB	-73,25 dB
1 kHz	-50,21 dB	-74,95 dB	1 kHz	-50,23 dB	-71,83 dB
10 kHz	-66,57 dB	-68,16 dB	10 kHz	-66,42 dB	-66,45 dB
200 kHz	-70,04 dB	-71,23 dB	200 kHz	-70,24 dB	-70,08 dB
1 MHz	-69,16 dB	-60,59 dB	1 MHz	-69,04 dB	-59,70 dB
10 MHz	-59,36 dB	-47,83 dB	10 MHz	-59,02 dB	-47,68 dB
15 MHz	-49,22 dB	Neměřeno	15 MHz	-49,83 dB	Neměřeno

Tab. 3.7: Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 6]

Měření bylo provedeno s použitím testovací aplikace **Performance test**. Jelikož nebyl v měřícím řetězu zapojen požadovaný filtr typu dolní propust, naměřené hodnoty neodpovídají skutečným parametrům vnitřního harmonického zkreslení spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B. Při srovnání naměřených hodnot dle kalibrační procedury s naměřenými

úrovněmi 2. a 3. harmonických složek výstupního signálu použitého analyzátoru, viz tabulka 3.1 je zřejmé, že naměřené hodnoty většinou většinou korespondují se zjištěnými hodnotami vyšších harmonických složek. při frekvencích $\geq 200 \text{ kHz}$ naměřené hodnoty přímo odpovídají úrovním vyšších harmonických složek měřicího signálu. Při frekvencích $\leq 10 \text{ kHz}$ lze však pozorovat skutečnost, že změřené úrovně 2. harmonických složek jsou podstatně (až o 30 dB) vyšší než harmonické složky měřicího signálu z generátoru a tedy jsou to úrovně složek vznikajících v samotném testovaném spektrálním analyzátoru.

3.2.7 Střední úroveň šumu

Měřeno jako hodnota vztažená k vstupnímu rozsahu úrovní. Měří se pro vstup T a impedanci 75Ω .

Specifikace výrobce:

Frekvenční rozlišení	Frekvenční rozsah	Hodnota vůči vstupnímu rozsahu
10 Hz	100 Hz – 30 MHz	-60 dB
10 Hz	10 kHz – 30 MHz	-90 dB
30 Hz	300 Hz – 30 MHz	-70 dB
30 Hz	10 kHz – 30 MHz	-85 dB
100 Hz	1 kHz – 30 MHz	-80 dB
300 Hz	3 kHz – 30 MHz	-80 dB
1 kHz	10 kHz – 30 MHz	-75 dB
3 kHz	30 kHz – 30 MHz	-70 dB
10 kHz	100 kHz – 30 MHz	-65 dB
30 kHz	300 kHz – 30 MHz	-60 dB

Tab. 3.8: Specifikace střední úrovně šumu pro analyzátor MS420B dle ??

Střední hodnota šumu se měří pro dvě různá nastavení měření signálu. První zkouškou je ověření hladiny šumu při měření úrovně. Naměřené hodnoty jsou vztaženy k nastavenému vstupnímu rozsahu přístroje, nejsou absolutní. Při zvýšení / snížení vstupního rozsahu se zvýší / sníží absolutní úroveň měřeného šumu. Druhou zkouškou je ověření hladiny šumu při měření přenosu. Při tomto měření je na vstup R přístroje přiváděn signál z výstupu syntezátoru MS420B s úrovní 0 dBm . Opět jsou zjištěny hodnoty relativní vůči nastavenému vstupnímu rozsahu. Obě hodnoty jsou měřeny pouze samotným testovaným přístrojem, bez doplňující techniky.

Měření bylo provedeno s použitím testovací aplikace **Performance test**. Z naměřených hodnot je ve srovnání s tolerancemi uvedenými výrobcem uvedenými v tabulce 3.8 vyplývá, že testovaný spektrální analyzátor plně odpovídá udávaným parametrům ohledně

(a) Hladiny šumu při měření úrovně

RBW	Měřené pásmo	Úroveň šumu
10 Hz	100 Hz – 10 kHz	-85,51 dB
10 Hz	10 kHz – 30 MHz	-95,22 dB
30 Hz	300 Hz – 10 kHz	-87,76 dB
30 Hz	10 kHz – 30 MHz	-93,66 dB
100 Hz	1 kHz – 30 MHz	-90,57 dB
300 Hz	3 kHz – 30 MHz	-86,67 dB
1 kHz	10 kHz – 30 MHz	-80,53 dB
3 kHz	30 kHz – 30 MHz	-78,59 dB
10 kHz	100 kHz – 30 MHz	-74,47 dB
30 kHz	100 kHz – 30 MHz	-69,81 dB

(b) Hladiny šumu při měření přenosu

RBW	Měřené pásmo	Úroveň šumu
10 Hz	100 Hz – 10 kHz	-96,71 dB
10 Hz	10 kHz – 30 MHz	-99,90 dB
30 Hz	300 Hz – 10 kHz	-94,53 dB
30 Hz	10 kHz – 30 MHz	-99,54 dB
100 Hz	1 kHz – 30 MHz	-96,78 dB
300 Hz	3 kHz – 30 MHz	-92,41 dB
1 kHz	10 kHz – 30 MHz	-84,21 dB
3 kHz	30 kHz – 30 MHz	-87,12 dB
10 kHz	100 kHz – 30 MHz	-87,06 dB
30 kHz	100 kHz – 30 MHz	-83,02 dB

Tab. 3.9: Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 7]

vlastního vnitřního šumu přístroje. Vzhledem k tomu, že úroveň šumu přístroje ovlivňuje spodní hranici pro určení dynamického rozsahu přístroje, splněním těchto parametrů je v podstatě zajištěno, že udávaný měřicí dynamický rozsah přístroje je platný.

3.2.8 Přeslechy

Přeslech je měřen mezi vstupy R a T a také mezi vstupem T a výstupem syntezátoru MS420B.

Specifikace výrobce:

- Mezi vstupy R a T: ≥ 100 dB
- Mezi výstupem syntezátoru a vstupem T: ≥ 120 dB

Testovaný přístroj je při kalibrační proceduře ověřován také z hlediska potlačení přeslechu a vzájemně mezi jednotlivými vstupy, tak i z hlediska potlačení přeslechu signálu ze zabudovaného syntezátoru vůči vstupu, který je od něj fyzicky vzdálenější, tedy vstupu T. Obě hodnoty jsou měřeny pouze samotným testovaným přístrojem, bez doplňující techniky. Měření jsou v celém frekvenčním pásmu, které je přístroj schopný zpracovat a vyhodnocuje se nehorší změřená hodnota.

Naměřené hodnoty:

- Potlačení přeslechu mezi vstupy R a T: 97,41 dB
- Potlačení přeslechu mezi výstupem syntezátoru a vstupem T: 134,02 dB

Měření bylo provedeno s použitím testovací aplikace **Performance test**. Z hlediska potlačení přeslechu mezi výstupem syntezátoru a vstupem T testovaný přístroj plně vyhověl všem požadavkům. Z hlediska přeslechu mezi jednotlivými vstupy však testovaný přístroj nevyhověl tolerancím výrobce, přičemž rozdíl není nijak velký (2,59 dB), ale v celém měřeném pásmu je i po zprůměrování všech změřených frekvenčních bodů nevyhovující toleranci. Pouze v přibližně 20% měřených frekvencí hodnota potlačení přeslechu přesahuje hodnotu 100 dB. Z hlediska potlačení přeslechu mezi jednotlivými vstupy tedy testovaný přístroj zcela nevyhovuje toleranci výrobce.

3.2.9 Frekvenční rozlišení

Při příjmu signálu o frekvenci 1 MHz z externího generátoru je změřena 3 dB a 60 dB šířka pásma jednotlivých IF filtrů. Selektivita je určena jako poměr 3 dB a 60 dB šířky pásma.

Specifikace výrobce:

- 3 dB šířka pásma: 3 Hz až 30 Hz v krocích 1 až 3 měřící sekvence
Přesnost: $\pm 20\%$ pro filtry ≥ 30 Hz
- Selektivita: $< 20 : 1$, činitel tvaru 60 dB š.p. / 3 dB š.p.

Při této zkoušce byly ověřovány 3 dB a 60 dB šířky pásma pro všechny mezifrekvenční filtry ve spektrálním analyzátoru MS420B. Zkouška byla provedena přivedením sinusového signálu o frekvenci 1 MHz na vstupy testovaného přístroje a tím zobrazena charakteristika nastaveného mezifrekvenčního filtru. Pro posouzení kvality filtrů se využívají 3 dB šířka pásma a Shape Factor, čili poměr 60 dB šířky pásma a 3 dB šířky pásma daného filtru.

Měření bylo provedeno s použitím testovací aplikace **Performance test**. Při porovnání změřených parametrů mezifrekvenčních filtrů s tolerancemi výrobce lze konstatovat, že všechny filtry splňují parametry udávané výrobcem, deklarované šířky pásma jednotlivých filtrů jsou splněny s přesností mnohem vyšší než je předepsaných 20% a činitel tvaru (Shape Factor) vztažený k 60 dB šířce pásma vychází podstatně lepší než požadovaných 20 : 1. Tím je zajištěno, že v případě dvou sinusových signálů frekvenčně blízkých, je bude možné snadněji rozpoznat i v případě velmi rozdílných amplitud.

(a) Parametry IF filtrů pro vstup R			(b) Parametry IF filtrů pro vstup T		
IF filtr	3 dB BW [Hz]	Shape Factor	IF filtr	3 dB BW [Hz]	Shape Factor
3 Hz	2,797	13,909 : 1	3 Hz	3,008	13,000 : 1
10 Hz	11,178	13,092 : 1	10 Hz	11,520	12,834 : 1
30 Hz	31,718	15,530 : 1	30 Hz	32,848	14,604 : 1
100 Hz	105,110	12,914 : 1	100 Hz	108,826	14,588 : 1
300 Hz	305,504	11,088 : 1	300 Hz	320,136	11,046 : 1
1 kHz	1027,896	12,954 : 1	1 kHz	1043,112	12,718 : 1
3 kHz	3061,760	14,187 : 1	3 kHz	3084,640	12,893 : 1
10 kHz	9584,160	12,491 : 1	10 kHz	10559,520	11,501 : 1
30 kHz	29373,600	10,427 : 1	30 kHz	29719,812	10,429 : 1

Tab. 3.10: Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 9]

3.2.10 Linearita měření přenosu

Linearita měření přenosu je určena měřením chyby nelinearity při změnách útlumu externího atenuátoru.

Specifikace výrobce:

- 0 dB až -50 dB: $\pm 0,15$ dB
- -50 dB až -60 dB: $\pm 0,5$ dB
- -60 dB až -70 dB: ± 1 dB
- -70 dB až -80 dB: ± 2 dB
- ± 1 dB (0 dB až -10 dB) při frekvenčním rozlišení 3 Hz

Linearita měření přenosu se určuje měřením nelineární chyby při několika frekvencích. Připojením měřicího signálu s úrovní 0 dBm z výstupu syntezátoru MS420B skrze proměnný atenuátor na jeden ze vstupů testovaného analyzátoru a propojením druhého vstupu přímo s výstupem analyzátoru, můžeme změřit přenos trasy obsahující proměnný atenuátor. Na začátku měření je atenuátor nastaven do nulové polohy a testovaný přístroj zkalibrován, čímž je potlačena chyba měření vlivem přírodních kabelů a nepřesnosti nulové polohy atenuátoru. Následně je zvyšován útlum atenuátoru A [dB] s krokem 10 dB a měřena hodnota přenosu zjištěná analyzátozem. Pokud je proměnný atenuátor zkalibrován, takže známe přesnou hodnotu nastaveného útlumu, dosáhneme maximální přesnosti měření. Při měření bylo při vyhodnocení vycházeno z hodnot útlumu, které byly nastavovány na atenuátoru, nikoliv ze skutečných hodnot útlumu, jelikož nebyl k dispozici normál, pomocí kterého by bylo možné atenuátor přesně zkalibrovat.

(a) Linearita měření přenosu při $f = 1 \text{ kHz}$

$A[\text{dB}]$	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$\Delta L[\text{dB}]$	0	-0,40	-0,44	-0,44	-0,43	-0,44	-0,47	-0,58	-0,97

(b) Linearita měření přenosu při $f = 100 \text{ kHz}$

$A[\text{dB}]$	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$\Delta L[\text{dB}]$	0	-0,29	-0,32	-0,32	-0,33	-0,34	-0,35	-0,49	-0,82

(c) Linearita měření přenosu při $f = 30 \text{ MHz}$

$A[\text{dB}]$	0	10	20	30	40	50	60	70	80
$\Delta L[\text{dB}]$	0	0,10	0,09	0,12	0,14	0,15	0,17	0,18	0,45

Tab. 3.11: Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 10]

Při porovnání s tolerancemi výrobce lze pozorovat, že čím nižší je měřicí frekvence, tím horší je linearita měření přenosu. Zatímco pro frekvence 1 kHz a 100 kHz přístroj odpovídá předepsaným požadavkům pouze pro velmi nízkou úroveň signálu (útlum atenuátoru 50 dB a vyšší), při vysoké frekvenci 30 MHz je linearita naprosto v pořádku v celém rozsahu nastavení útlumu trasy.

3.2.11 Linearita měření úrovně/spektra

Linearita měření úrovně/spektra je určena měřením chyby nelinearity při změnách útlumu externího atenuátoru.

Specifikace výrobce:

- 0 dB až -50 dB : $\pm 0,5 \text{ dB}$
- -50 dB až -60 dB : $\pm 1 \text{ dB}$
- -60 dB až -70 dB : $\pm 3 \text{ dB}$
- $\pm 1 \text{ dB}$ (-50 dB až -10 dB) při frekvenčním rozlišení 3 Hz

Linearita měření úrovně/spektra se určuje měřením nelineární chyby při několika frekvencích. Měření probíhá na stejném principu kalibrační zkouška linearity měření přenosu. Připojením měřicího signálu s úrovní 0 dBm z výstupu syntezátoru MS420B skrze proměnný atenuátor na vstup testovaného analyzátoru. Na začátku měření je atenuátor nastaven do nulové polohy a testovaný přístroj zkalibrován, čímž je potlačena chyba měření vlivem přívodních kabelů a nepřesnosti nulové polohy atenuátoru. Následně je zvyšován útlum atenuátoru $A[\text{dB}]$ s krokem 10 dB a měřena hodnota přenosu zjištěná analyzáto-rem. Pokud je proměnný atenuátor zkalibrován, takže známe přesnou hodnotu nastave-ného útlumu, dosáhneme maximální přesnosti měření. Při měření bylo při vyhodnocení vycházeno z hodnot útlumu, které byly nastavovány na atenuátoru, nikoliv ze skutečných

hodnot útlumu, jelikož nebyl k dispozici normál, pomocí kterého by bylo možné atenuátor přesně zkalibrovat.

(a) Linearita měření úrovně při $f = 1 \text{ kHz}$

$A[dB]$	0	10	20	30	40	50	60	70
$\Delta L[dB]$	0	-0,3	-0,34	-0,34	-0,33	-0,33	-0,16	-0,06

(b) Linearita měření úrovně při $f = 100 \text{ kHz}$

$A[dB]$	0	10	20	30	40	50	60	70
$\Delta L[dB]$	0	-0,31	-0,35	-0,35	-0,34	-0,32	-0,36	-0,56

(c) Linearita měření úrovně při $f = 30 \text{ MHz}$

$A[dB]$	0	10	20	30	40	50	60	70
$\Delta L[dB]$	0	0,11	0,12	0,13	0,16	0,16	0,12	-0,08

Tab. 3.12: Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 11]

Při porovnání s tolerancemi výrobce lze pozorovat, že čím nižší je měřicí frekvence, tím horší je linearita měření úrovně/spektra. Pro frekvence 1 kHz a 100 kHz přístroj odpovídá předepsaným požadavkům pouze pro velmi nízkou úroveň signálu (útlum atenuátoru 50 dB a vyšší), při vysoké frekvenci 30 MHz je linearita naprosto v pořádku v celém rozsahu nastavení útlumu trasy.

3.2.12 Linearita měření fáze

Ověřováno změnou úrovně vstupního signálu ze syntezátoru MS420B při frekvenčním rozlišení 3 kHz .

Specifikace výrobce:

- 0 dB až -50 dB : $\pm 1,5$ stupně
- -50 až -70 dB : ± 3 stupně

Linearita měření fáze se určuje měřením nelineární chyby při několika frekvencích, pomocí změny úrovně vstupního měřicího signálu. Měřicí signál je přiveden na vstupy testovaného analyzátoru propojením svorek výstupu B syntezátoru MS420B s oběma vstup testovaného přístroje. Poté je nastavována úroveň signálu ze syntezátoru L_{in} od 0 dBm do -70 dBm s krokem -10 dBm a je odečítána zjištěná hodnota rozdílu fáze mezi vstupy R a T.

Při porovnání s tolerancemi výrobce lze pozorovat, že pro žádnou z frekvencí není zjištěná hodnota plně v toleranci. Toto je způsobeno tím, že obvod pro měření fáze má závadu, jak bylo zjištěno později. Naměřené hodnoty uvedené v 3.13 jsou výstupem měřicí aplikace **Performance tests**. V případě, že bude závada na měřícím obvodu odstraněna, byla ověřena alespoň plná funkčnost měřicí aplikace a proto bude možné test opakovat.

(a) Linearita měření fáze při $f = 100 \text{ kHz}$

$L_{in}[dBm]$	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70
$\Delta\phi[^\circ]$	0	0	0	0	-0,4	-0,4	-0,4	18,4

(b) Linearita měření fáze při $f = 1 \text{ MHz}$

$L_{in}[dBm]$	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70
$\Delta\phi[^\circ]$	0,1	0	0	0	3,3	3,3	3,3	14,5

(c) Linearita měření fáze při $f = 30 \text{ MHz}$

$L_{in}[dBm]$	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70
$\Delta\phi[^\circ]$	0	0	0	0,1	5	4,9	4,9	-0,1

Tab. 3.13: Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 12]

3.2.13 Linearita měření skupinového zpoždění

Ověřováno změnou úrovně vstupního signálu ze syntezátoru MS420B při frekvenčním rozlišení $\geq 10 \text{ Hz}$.

Specifikace výrobce:

- 0,5% plného rozsahu + 0,5% čtení pro úrovně 0 dB až -50 dB a frekvence 1 MHz – 30 MHz.

Linearita měření skupinového zpoždění t_G se určuje měřením nelineární chyby při několika frekvencích, pomocí změny úrovně vstupního měřicího signálu. Měřicí signál je přiveden na vstupy testovaného analyzátoru propojením svorek výstupu B syntezátoru MS420B s oběma vstupy testovaného přístroje. Poté je nastavována úroveň signálu ze syntezátoru L_{in} od 0 dBm do -50 dBm s krokem -10 dBm a je odečítána zjištěná hodnota rozdílu fáze mezi vstupy R a T.

Při pohledu na změřené hodnoty skupinového zpoždění pro různé úrovně vstupního signálu se může zdát, že je přístroj naprosto dokonale přesný. Vzhledem k závadě obvodu měření fáze je však toto spíše nepravděpodobné, jelikož hodnota skupinového zpoždění je vypočtena právě z měřených hodnot z detektoru fáze, čili pravděpodobně zjištěné hodnoty neodpovídají vlastnostem měřicího obvodu. Naměřené hodnoty uvedené v 3.14 jsou výstupem měřicí aplikace **Performance tests**. V případě, že bude závada na měřícím obvodu odstraněna, byla ověřena alespoň plná funkčnost měřicí aplikace a proto bude možné test opakovat.

3.2.14 Výstup syntezátoru analyzátoru MS420B

Je testován úrovněvý rozsah výstupu A a přesnost výstupní úrovně. Frekvenční rozsah se měří pomocí externího proměnného atenuátoru. Přesnost výstupní úrovně se testuje pomocí standardního měřiče úrovně. Při měření jsou na oba konektory výstupu B připojeny

(a) Linearita měření skupinového zpoždění při $f = 1\text{ MHz}$

$L_{in}[dBm]$	0	-10	-20	-30	-40	-50
$\Delta t_G[ns]$	0	0	0	0	0	0

(b) Linearita měření skupinového zpoždění při $f = 10\text{ MHz}$

$L_{in}[dBm]$	0	-10	-20	-30	-40	-50
$\Delta t_G[ns]$	0	0	0	0	0	0

(c) Linearita měření skupinového zpoždění při $f = 30\text{ MHz}$

$L_{in}[dBm]$	0	-10	-20	-30	-40	-50
$\Delta t_G[ns]$	0	0	0	0	0	0

Tab. 3.14: Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 13]

terminátory s hodnotou $75\ \Omega$. Výstupní impedance se neměří.
Specifikace výrobce:

- Rozsah výstupu A: -110 dBm až $+15\text{ dBm}$, rozlišení $0,01\text{ dB}$
- Přesnost výstupní úrovně: $\pm 0,3\text{ dB}$ při $+5\text{ dBm}$
- Impedance: $75\ \Omega$, útlum odrazu $> 30\text{ dB}$

Rozsah úrovní výstupu L_{in} zabudovaného syntezátoru testovaného spektrálního analyzátoru je měřen substituční metodou s využitím externího atenuátoru, kdy se výstup A syntezátoru propojí skrze proměnný atenuátor a signál se následně připojí na měřící vstup přístroje. Výstupní svorky B jsou při měření zakončeny impedancí $75\ \Omega$. Přesnost výstupní úrovně je měřena připojením výstupu syntezátoru na vstup standardního měřiče úrovně.

Z naměřených výsledků vyplývá, že syntezátor zabudovaný ve spektrálním analyzátoru Anritsu MS420B je plně funkční z hlediska rozsahu výstupní úrovně. Pro měření přesnosti výstupu byl však použit širokopásmový signálový analyzátor Rohde & Schwarz FSIQ-7, jehož parametry jsou shrnuty v kapitole 3.1. Vzhledem k frekvenčnímu rozsahu FSIQ-7, který začíná od 20 Hz , nelze do hodnocení testovaného přístroje zahrnout první měřenou hodnotu, jež má být 10 Hz . Dále je třeba brát v úvahu přesnost použitého měřicího přístroje, která je $< 1\text{ dB}$, takže neodpovídá předepsané přesnosti vyžadované pro toto kalibrační měření. Dalším problémem použití toho měřicího přístroje je, že jeho impedance je $50\ \Omega$, čili při připojení k výstupu syntezátoru MS420B s impedancí $75\ \Omega$ dochází nutně k útlumu signálu vlivem nepřizpůsobení impedancí. Toto je v ovládací aplikaci **Performance tests** vyřešeno kompenzací měřených dat o velikost útlumu nepřizpůsobením při výpočtu odchylky úrovně.

(a) Rozsah výstupních úrovní syntezátoru při $f = 290 \text{ kHz}$

$L_{out}[dBm]$	15	14	13	12	10	6	-2	-18	-50
$A[dB]$	65	64	63	62	60	56	48	32	0
$\Delta L[dB]$	-0,01	0,06	0	0,01	0,03	0,04	0	0	0,4

(b) Rozsah výstupních úrovní syntezátoru při $f = 15 \text{ MHz}$

$L_{out}[dBm]$	15	14	13	12	10	6	-2	-18	-50
$A[dB]$	65	64	63	62	60	56	48	32	0
$\Delta L[dB]$	-0,05	-0,01	0,03	0	0,04	0	0	0,02	-0,15

(c) Rozsah výstupních úrovní syntezátoru při $f = 30 \text{ MHz}$

$L_{out}[dBm]$	15	14	13	12	10	6	-2	-18	-50
$A[dB]$	65	64	63	62	60	56	48	32	0
$\Delta L[dB]$	0,02	0	0,01	0,05	0,01	0	-0,03	0,04	0

(d) Přesnost výstupní úrovně syntezátoru

f_{out}	10 Hz	100 Hz	1 kHz	10 kHz	100 kHz	1 MHz	10 MHz	30 MHz
$\Delta L[dB]$	0,8	0,48	0,33	0,33	0,33	0,31	0,25	0,3

Tab. 3.15: Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 14]

3.2.15 Měření frekvence

Přesnost měření frekvence se ověřuje přivedením známého signálu na vstup a změřením jeho frekvence analyzátozem MS420 v režimu frekvenčního čítače.

Specifikace výrobce:

- Frekvenční rozlišení: 1 Hz
- Přesnost: Referenční frekvence $\pm 1 \text{ Hz}$

V poslední části kalibrační procedury se provádí ověření přesnosti měření frekvence vstupního signálu spektrálním analyzátozem Anritsu MS420B. Analyzátor lze v nastavení pokročilých funkcí nastavit do režimu frekvenčního čítání, kdy je použit ke zpracování signálu mezifrekvenční filtr s šířkou pásma 1 Hz . Díky tomu je možné přesně určit hodnotu měřené frekvence signálu, s přesností $\pm 1 \text{ Hz}$. Pro ověření přesnosti tohoto údaje přivedeme signál z výstupu generátoru na vstup spektrálního analyzátoru a pomocí rozbočovače také na vstup frekvenčního čítače s externí přesnou referencí. Naměřené výsledky kalibračního testu při nastaveních doporučených výrobcem:

Při nedodržení nastavení doporučených výrobcem a nastavení delší doby měření a většího frekvenčního rozlišení parametrem RBW, než je doporučeno, byly naměřeny hodnoty výrazně přesnější, viz tabulka 3.17:

Při měření frekvence s nastavenými parametry $\text{RBW} = 10 \text{ Hz}$ a $\text{Sweep Time} = 60 \text{ s}$ se přesnost měření výrazně zvýšila. Proto pro měření přesné frekvence signálu lze doporučit

$f(MS420B)[Hz]$	10000000
$f(HP53131A)[Hz]$	9999989,2
$\Delta f[Hz]$	10,8

Tab. 3.16: Výsledky kalibračního testu dle [5, kapitola 6, část 15]

$f(MS420B)[Hz]$	9999989,6
$f(HP53131A)[Hz]$	9999989,33
$\Delta f[Hz]$	0,27

Tab. 3.17: Výsledky kalibračního testu, část 15. při přesnějším nastavení měření

měření při zvýšeném frekvenčním rozlišení.

3.3 Zhodnocení stavu testovaného přístroje

Jelikož kalibrační procedura přístroje má poměrně vysokou časovou náročnost vzhledem k již velkému opotřebení mechanických nastavovacích prvků na čelním panelu přístroje, jež výrazně ztěžují manipulaci při nastavování vhodných parametrů měření, byla v rámci této práce vytvořena aplikace v prostředí LabVIEW 2011, která tyto problémy řeší a navíc poskytuje další rozšiřující funkce pro práci s naměřenými daty. Pro bližší informace o této aplikaci viz kapitola 4.3.

Během kalibračního měření byly zjištěny nedostatky přístroje, a to zejména porucha obvodu fázové detekce, z čehož vyplývá, že přístroj v současnosti není schopen měřit průběh fázové frekvenční charakteristiky dvojbranu a stejně tak ani průběh skupinového zpoždění dvojbranů. Dále bylo zjištěno, že přístroj při nastavení doporučeným výrobcem pro kalibrační test není schopný v předepsané přesnosti schopen detekovat frekvenci vstupního signálu.

Zjištěné nedostatky zřejmě nejsou neodstranitelné, jelikož klíčové součásti přístroje předepsaným parametrům vyhovují, zejména jde o referenční oscilátor a mezifrekvenční filtry. Pro odstranění závady a zkalibrování přístroje je však nutné znát konkrétní stavbu přístroje a k tomu je potřeba servisní manuál výrobce. Ten v době měření nebyl k dispozici, proto byl v rámci práce vyhledán online zdroj odkud by případně tento manuál bylo možné získat a tedy umožnit servisní zásah a opravu přístroje.

4

Popis aplikací k řízení analyzátoru MS420B

Tato kapitola slouží jako dokumentace ke aplikacím pro automatickému řízení spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B. První částí je dokumentace knihovny řídicích aplikací. Tato knihovna je přístupná skrze soubor `Jan Opava DP (Anritsu MS420B).lvproj`, který sdružuje všechny aplikace. Druhou částí je popis funkce aplikace k ovládní měření analyzátozem Anritsu MS420B a exportu naměřených dat. K jejímu spuštění slouží soubor `Measurement.vi`. Poslední částí této dokumentace je stručný popis aplikace řídicí kalibrační proceduru pro analyzátor Anritsu MS420B. Tato aplikace se spouští pomocí souboru `Performance Tests.vi`. Pro správnou funkci aplikace je nutné zkopírovat všechny 4 adresáře ze složky `.../MS420B LabVIEW/External Drivers/`, obsahující řídicí knihovny pro další použité přístroje při kalibraci, do složky `.../National Instruments/LabVIEW 2011/instr.lib/`, což umožní řídicí aplikaci pracovat s ovladači dalších přístrojů. Všechny aplikace jsou optimalizovány k zobrazení při rozlišení 1280×800 pixelů, při použití jiného rozlišení může dojít k nepřehlednému uspořádání prvků uživatelského rozhraní.

4.1 Popis ovládacích aplikací k analyzátoru MS420B

Všechny aplikace vytvořené jako součást balíku řídicích aplikací, tzv. driveru pro analyzátor Anritsu MS420B, obsahují zpravidla minimálně dva standardní vstupní terminály a dva standardní výstupní terminály. Jedním vstupem je terminál `Address`, ke kterému musí být povinně připojený řetězec obsahující číslo odpovídající GP-IB adrese připojeného spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B. Téměř každá aplikace toho balíku také obsahuje výstupní terminál `Response`, který slouží ke čtení okamžité odpovědi analyzátoru, se kterým aplikace komunikuje. Při každém spuštění totiž aplikace zadávají požadovaný příkaz a zároveň ověřují nastavení daného parametru dotazováním přístroje řetězcem, jehož syntaxe odpovídá příslušné nastavované funkci. Všechny aplikace jsou také vybaveny standardním chybovým vstupním a výstupním terminálem `error in (no error)` a

error out. Tyto terminály slouží ke kontrole, zda při některé činnosti programu nedošlo k chybě. Každá aplikace může kromě těchto standardních terminálů mít i další, tzv. funkční terminály. Jejich funkce je popsána pro každou aplikaci v následujícím textu.

4.1.1 Funkce zobrazování

1. EXP switch (SubVI)

Aplikace sloužící k zapnutí a vypnutí funkce EXP spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B. Funkce EXP slouží společně s funkcí LIN k nastavení rozšířených měřících funkcí analyzátoru, viz tabulka 4.2.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "EXn", kde n je číslo nabývající hodnot 0 nebo 1, sloužící k vypnutí či zapnutí funkce EXP. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "EXR" a na výstupním terminálu Response se objeví řetězec "EX: n".

Aplikace má jeden vstupní funkční terminál EXP On/Off typu boolean, který slouží k nastavení hodnoty n, přičemž logické hodnoty aplikace převádí na číselné vyjádření (Pravda = 1, Nepravda = 0).

2. LIN - Range - Trigger (SubVI)

Aplikace slouží k zapnutí a vypnutí funkce LIN, nastavení hodnoty mezifrekvenčního rozsahu a úrovně spouštění (trigger) spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B. Funkce LIN slouží společně s funkcí EXP k nastavení rozšířených měřících funkcí analyzátoru, viz tabulka 4.2. V případě změny nastavení mezifrekvenčního rozsahu se na CRT obrazovce objeví ukazatel RANGE, jehož hodnota odpovídá součtu hodnot mezifrekvenčního rozsahu a vstupního rozsahu.

Trigger marker position lze nastavit v rozsahu 0 až 3800, přičemž 0 je nejnižší a 3800 nejvyšší pozice na CRT obrazovce.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "LIn,m,l", kde n je číslo, sloužící k zapnutí (hodnota 0) či vypnutí (hodnota 1) funkce LIN, m je celé číslo v rozsahu 0 až 9 a l je celé číslo v rozsahu 0 až 3800, kde 0 označuje spodní okraj obrazovky a 3800 její horní okraj.

Mezifrekvenční rozsah (IF Range) lze nastavit na hodnoty podle následující tabulky:

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
IF Range [dBm]	-90	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0

Tab. 4.1: Tabulka možností nastavení IF Range

Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "LIR" a na výstupním terminálu Response se objeví řetězec "LI: n,m,l".

Aplikace má tři vstupní funkční terminály. Aplikace má jeden vstupní terminál LIN On/Off typu boolean, který slouží k nastavení hodnoty n , přičemž logické hodnoty aplikace převádí na číselné vyjádření (Pravda = 1, Nepravda = 0). Terminály IF Range a Trigger marker position jsou číselného typu k nastavení hodnot m a l .

LIN	EXP	Podmínky nastavení	Měřicí funkce
Zap — Zap	Vyp — Zap	Pokud je Trace nastaveno na Spect() nebo Level() a rozsah měřených frekvencí není 0 Hz.	Nastavení lineární svislé osy — Lineární zobrazení svislé osy a 10ti násobné rozšíření dynamického rozsahu okolo úrovně triggeru na svislé ose.
Zap — Zap	Vyp — Zap	Pokud je Trace nastaveno na Spect() nebo Level() a rozsah měřených frekvencí je 0 Hz.	Zobrazení obálky spektra vstupního signálu. — Zobrazuje obálku spektra vstupního signálu s 10ti násobným rozšířením dynamického rozsahu okolo úrovně triggeru na svislé ose.
Vyp	Zap	Trace je nastaveno na Delay	Rozšířeného měření skupinového zpoždění.

Tab. 4.2: Popis vlastností funkcí LIN a EXP

3. Marker - Main-Delta-Zero (SubVI)

Aplikace slouží k nastavení polohy a určení typu zobrazeného markeru, tedy ukázatele měřené hodnoty v daném bodě na frekvenční ose.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "MKm,l", kde m je celé číslo v rozsahu 0 až 2, odpovídající typu nastaveného markeru (0 slouží k nastavení hlavního markeru, 1 nastavuje Δ marker a 2 nastavuje nulový marker) a l je celé číslo v rozsahu 0 až 250, což odpovídá umístění markeru na frekvenční ose. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "MKR" a na výstupním terminálu Response se objeví řetězec "LI: n,m,l".

Aplikace má čtyři vstupní funkční terminály. Aplikace má tři vstupní terminály Main Marker, Delta Marker, Zero Marker typu boolean, které slouží k aktivaci jednotlivých typů markeru, přičemž logické hodnoty aplikace převádí na číselné vyjádření (Pravda = 1, Nepravda = 0) a posléze převedeny na hodnoty odpovídající platným hodnotám m . Terminál Marker point je číselného typu a přijímá vstupní hodnotu v rozsahu 0 – 250.

4. Subtrac (SubVI)

Aplikace slouží k ovládní funkce Subtrac, slouží k zobrazení druhé stopy na CRT obrazovce a také k uložení zobrazené stopy do paměti B spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "AXn,m", kde n je číslo, sloužící k zapnutí (hodnota 0) či vypnutí (hodnota 1) funkce Subtrace, m je celé číslo v rozsahu 0 až 2, hodnota 0 provede uložení měřeného průběhu do paměti B analyzátoru, hodnota 1 provede zobrazení údajů uložených v paměti B na CRT obrazovku a hodnota 2 na CRT obrazovce vykreslí funkci $B = A - B$, tedy průběh odpovídající rozdílu mezi právě měřenými a uloženými daty. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "AXR" a na výstupním terminálu Response se objeví řetězec "AX: n,m".

Aplikace má dva vstupní funkční terminály. Aplikace má jeden vstupní terminál Sub Trace typu boolean, který slouží k nastavení hodnoty n , přičemž logické hodnoty aplikace převádí na číselné vyjádření (Pravda = 1, Nepravda = 0). Terminál Sub Trace Type je číselného typu k nastavení hodnoty m .

5. Trace (SubVI)

Aplikace slouží k přepínání typu zobrazení měřeného signálu. Zároveň také přepíná režim zpracování dat v přístroji, takže tímto způsobem volíme, jaké hodnoty budou měřeny. Pomocí číselného vstupního terminálu Trace lze zvolit číslem 0 až 9 požadované zobrazení. Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "TRm", kde m je číslo příslušného typu zobrazení. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "TRR" a na výstupním terminálu Response se objeví řetězec "TR: m".

0, 5: MAG - Měření přenosové frekvenční charakteristiky připojeného kanálu.

1: PHA - Měření fázové frekvenční charakteristiky připojeného kanálu.

2: DLY - Měření frekvenční charakteristiky průběhu zpoždění připojeného kanálu.

3: LEVEL (R) - Měření frekvenční závislosti úrovně na vstupu R.

4: LEVEL (T) - Měření frekvenční závislosti úrovně na vstupu T.

6: MAG/PHA - Měření přenosové a fázové frekvenční charakteristiky připojeného kanálu.

7: MAG/DLY - Měření frekvenční charakteristiky přenosu a průběhu zpoždění připojeného kanálu.

8: SPECT (R) - Měření frekvenčního spektra na vstupu R.

9: SPECT (T) - Měření frekvenčního spektra na vstupu T.

Aplikace má jeden vstupní terminál Trace, který je číselného typu k nastavení hodnoty m .

6. Ostatní funkce

Ostatní funkce v této kategorii slouží k nastavení Offset (odsazení) a Scale (měřítko). Protože slouží pouze k nastavení zobrazení video signálu na CRT obrazovce a nijak se tím neovlivní změřená data, tyto funkce nejsou při použití dálkového řízení pomocí GP-IB využitelné. Výsledná změřená data si můžeme přizpůsobit k vhodnému zobrazení následně ve vhodném software.

4.1.2 Měřicí funkce

1. Bandwidth (SubVI)

Aplikace slouží k nastavení šířky pásma mezifrekvenčního filtru (parametr RBW) a zlomové frekvence video filtru (parametr VBW). Zároveň také přepíná režim zpracování dat v přístroji, takže tímto způsobem volíme, jaké hodnoty budou měřeny. Pomocí číselných vstupních terminálů `Res BW` a `Video BW` lze zvolit číslem 0 až 9 požadované nastavení, viz tabulka 4.3.

m1	m2	Šířka pásma
×	0	1 Hz
1	1	3 Hz
2	2	10 Hz
3	3	30 Hz
4	4	100 Hz
5	5	300 Hz
6	6	1 kHz
7	7	3 kHz
8	8	10 kHz
9	9	30 kHz

Tab. 4.3: Význam parametrů příkazu "BWm1,m2"

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "BWm1,m2", kde $m1$ je celé číslo odpovídající parametru RBW a číslo $m2$ je celé číslo odpovídající parametru VBW, viz tabulka 4.3. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "BWR" a na výstupním terminálu `Response` se objeví řetězec "BW: m1,m2".

Aplikace má dva vstupní funkční terminály. Terminály `Res BW` a `Video BW` jsou číselného typu a slouží k nastavení hodnoty $m1$, resp. $m2$.

2. Calibration X–S switch (SubVI)

Aplikace slouží k zapnutí a vypnutí funkce Cal X-S spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B. Tato funkce slouží k potlačení vlivu napěťových offsetů a vlivu propojovacích kabelů.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "XS n ", kde n je číslo nabývající hodnot 0 nebo 1, sloužící k vypnutí či zapnutí funkce Cal X-S. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "XSR" a na výstupním terminálu `Response` se objeví řetězec "XS: n ".

Aplikace má jeden vstupní terminál `Ca1`. X–S typu boolean, který slouží k nastavení hodnoty n , přičemž logické hodnoty aplikace převádí na číselné vyjádření (Pravda = 1, Nepravda = 0).

3. Coupled to frequency (SubVI)

Aplikace slouží k zapnutí a vypnutí funkce Coupled to frequency spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B umožňující automatické nastavení parametrů RBW a Sweep Time v závislosti na právě měřené frekvenci. Např. při nastavení měřených frekvencí v celém měřitelném pásmu se přepíná použitý mezifrekvenční filtr se šířkou pásma (RBW) od 3 Hz pro velmi nízké frekvence do 30 kHz pro vyšší frekvence měřeného spektra.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "CFn,m", kde n je číslo nabývající hodnot 0 nebo 1, sloužící k vypnutí či zapnutí funkce Coupled to frequency, m je číslo nabývající hodnot 0 nebo 4, kterým lze nastavit, v jakém poměru vůči frekvenci bude nastavován parametr Sweep Time. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "CFR" a na výstupním terminálu Response se objeví řetězec "CF: n".

Aplikace má dva vstupní funkční terminály. Aplikace má jeden vstupní terminál Coupled to freq typu boolean, který slouží k nastavení hodnoty n , přičemž logické hodnoty aplikace převádí na číselné vyjádření (Pravda = 1, Nepravda = 0). Terminál ST AUTO je číselného typu k nastavení hodnoty m a přijímá vstupní hodnotu v rozsahu 0 až 4.

4. Coupled to span (SubVI)

Tato aplikace slouží k zapnutí a vypnutí funkce Coupled to span spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B, která umožňuje automatizaci nastavování parametrů RBW a Sweep Time v poměru k rozsahu měřených frekvencí.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "CPn", kde n je číslo nabývající hodnot 0 nebo 1, sloužící k vypnutí či zapnutí funkce Cal X-S. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "CPR" a na výstupním terminálu Response se objeví řetězec "CP: n".

Aplikace má jeden vstupní funkční terminál Coupled to Span typu boolean, který slouží k nastavení hodnoty n , přičemž logické hodnoty aplikace převádí na číselné vyjádření (Pravda = 1, Nepravda = 0).

5. Delay range (SubVI)

Tato aplikace slouží k nastavení rozsahu měřeného skupinového zpoždění, v násobcích 1,2,4.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "DRm", kde m je číslo nabývající hodnot 0 nebo 14, určující velikost rozsahu měřeného skupinového zpoždění, viz tabulka 4.4.

Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "DRR" a na výstupním terminálu Response se objeví řetězec "DR: m".

Aplikace má jeden vstupní funkční terminál Delay Range číselného typu k nastavení hodnoty m a přijímá vstupní hodnotu v rozsahu 0 až 17.

	Jednotka									
m	μs	0	1	2	3	4	5	6	7	8
m	ms	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Rozsah zpoždění [μs]/[ms]	–	1	2	4	10	20	40	100	200	400

Tab. 4.4: Hodnoty pro nastavení rozsahu měřeného skupinového zpoždění

6. Frequency Mode (SubVI)

Tato aplikace slouží k nastavení režimu nastavení frekvenčního rozsahu.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "FPn", kde n je číslo nabývajících hodnot 0 nebo 2, určující typ nastavení frekvence. Lze volit režim logaritmický (hodnota 0), režim Start/Stop (hodnota 1) a režim Center/Span (hodnota 2). Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "FPR" a na výstupním terminálu Response se objeví řetězec "FP: n".

Aplikace má jeden vstupní funkční terminál Freq. Select je číselného typu k nastavení hodnoty n a přijímá vstupní hodnotu v rozsahu 0 až 2.

7. Input Impedance (SubVI)

Aplikace sloužící k nastavení vstupů R a T spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B do vysokoimpedančního stavu ($1 M\Omega$). Normální impedance vstupů analyzátoru je 75Ω .

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "IMm1,m2", kde m1 i m2 jsou čísla nabývajících hodnot 0 nebo 1, sloužící k vypnutí či zapnutí vysokoimpedančního stavu na vstupu R, resp. T. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "IMR" a na výstupním terminálu Response se objeví řetězec "IM: m1,m2".

Aplikace má dva vstupní funkční terminály Impedance R 1M a Impedance T 1M typu boolean, které slouží k nastavení hodnoty m1, resp. m2, přičemž logické hodnoty aplikace převádí na číselné vyjádření (Pravda = 1, Nepravda = 0).

8. Input Overload (SubVI)

Aplikace sloužící k detekci přetížení měřících vstupů přístroje. Tato funkce nemá standardní výstupní terminál Response.

Aplikace nepracuje s řídicí zprávou, využívá pouze zprávu požadavku informací z přístroje. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "OVR" a odpovědí přístroje je řetězec obsahující číslo v rozsahu 0 až 3, které je převedeno na výstupní binární hodnoty.

Aplikace má dva výstupní funkční terminály. Aplikace má jeden výstupní terminál OVERLOAD typu boolean, který slouží k indikaci, zda dochází k přetížení některého vstupu. Druhý výstupní funkční terminál Overload type je typu boolean array,

tedy logické pole. Přetížení vstupu R je indikováno v prvku s indexem 0 a přetížení vstupu T je indikováno v prvku s indexem 1 tohoto výstupního pole.

9. Input Range (SubVI)

Aplikace sloužící k nastavení vstupního rozsahu přístroje a tedy maximální hodnoty zobrazené na svislé ose CRT obrazovky přístroje.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "IRm", kde m je číslo nabývající hodnot 0 nebo 6, určující nastavenou hodnotu vstupního rozsahu viz tabulka 4.5.

m	0	1	2	3	4	5	6
Vstupní rozsah [dBm]	-40	-30	-20	-10	0	10	20

Tab. 4.5: Nastavitelné hodnoty vstupního rozsahu analyzátoru MS420B

Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "IRR" a na výstupním terminálu Response se objeví řetězec "IR: m".

Aplikace má jeden vstupní terminál Input Range číselného typu k nastavení hodnoty m a přijímající vstupní hodnotu v rozsahu 0 až 6.

10. Level Start-Step-Stop - Level Sweep switch (SubVI)

Aplikace sloužící k nastavení výstupní úrovně vnitřního syntezátoru analyzátoru MS420B. Dále lze tuto aplikaci využít pro zapnutí a vypnutí nebo nastavení rozmítání výstupní úrovně tohoto syntezátoru, a to v rozsahu $+15\text{ dBm}$ až -110 dBm . V případě, že je rozmítání výstupní úrovně vypnuté, funkce nastavuje výstupní úroveň syntezátoru. Při zapnutém rozmítání je tento vstup využit pro nastavení počáteční úrovně rozmítání.

Aplikace pracuje s dvěma řídicími řetězci. Zaprvé s řetězcem ve formátu "LL ℓ_1, ℓ_2, ℓ_3 ", kde ℓ_1 , ℓ_2 a ℓ_3 jsou reálná čísla s plovoucí desetinnou tečkou nabývající hodnot 15.00 až -110.00 , určující nastavenou úroveň, případně úrovněvý krok při rozmítání úrovně výstupního signálu. Druhý řetězec je ve formátu LWn, , kde n je číslo nabývající hodnot 0 nebo 1, sloužící k vypnutí či zapnutí funkce rozmítání výstupní úrovně syntezátoru (Level Sweep). Při čtení odpovědi přístroje je zadávány řetězce "LLR" a "LWR" a na výstupním terminálu Response se objeví řetězce "LL: ℓ_1, ℓ_2, ℓ_3 " a "LW: n" oddělené neviditelným znakem CR v kódování ASCII.

Aplikace má čtyři vstupní funkční terminály. Aplikace má jeden vstupní terminál Level Sweep typu boolean, který slouží k nastavení hodnoty n, přičemž logické hodnoty aplikace převádí na číselné vyjádření (Pravda = 1, Nepravda = 0). Terminály Level Output (Start) [dBm], Level Step [dBm] a Level Stop [dBm] jsou číselného typu ve formátu s plovoucí desetinnou čárkou. K nastavení hodnot ℓ_1 , ℓ_2 a ℓ_3 aplikace převádí vstupní čísla do formátu s desetinnou tečkou. Přijímaný rozsah dat je 15,00 až $-110,00$ s možností inkrementace s krokem 0,01.

11. Linear Frequency Center-Span (SubVI)

Aplikaci lze použít k nastavení způsobu zadávání měřeného rozsahu frekvencí na lineární režim centrální frekvence a rozpětí měřených frekvencí okolo ní. Současně slouží k nastavení velikosti rozsahu měřených frekvencí a centrální frekvence. Při nastavování je nutno dbát na podmínku správného nastavení poměru těchto dvou hodnot, a to dle vztahu

$$\ell_2 \leq 2 \cdot \ell_1 \quad (4.1)$$

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "FC ℓ_1, ℓ_2 ", kde ℓ_1 a ℓ_2 jsou reálná čísla s desetinnou tečkou nabývající hodnot 0.00 až 30000000.00, nastavující hodnotu centrální frekvence (ℓ_1) a rozsahu měřených frekvencí (ℓ_2). Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "FCR" a na výstupním terminálu **Response** se objeví řetězec "FC: ℓ_1, ℓ_2 ".

Aplikace má dva vstupní funkční terminály číselného typu s desetinnou čárkou **Center Freq [Hz]** a **Span Freq [Hz]**, přijímající vstupní hodnotu v rozsahu 0,00 až 30000000,00. K nastavení hodnot ℓ_1 a ℓ_2 aplikace převádí vstupní čísla do formátu s desetinnou tečkou. Přijímaný rozsah dat je 0,00 až 30000000,00 s možností inkrementace s krokem 0,25.

12. Linear Frequency Start-Stop (SubVI)

Aplikaci lze použít k nastavení způsobu zadávání měřeného rozsahu frekvencí na lineární režim počáteční a koncové frekvence měřeného rozsahu. Současně slouží k nastavení hodnot těchto frekvencí. Při nastavování je nutno dbát na podmínku správného nastavení poměru těchto dvou hodnot, a to dle vztahu

$$\ell_1 \leq \ell_2 \quad (4.2)$$

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "FS ℓ_1, ℓ_2 ", kde ℓ_1 a ℓ_2 jsou reálná čísla s desetinnou tečkou nabývající hodnot 0.00 až 30000000.00, nastavující hodnotu počáteční (ℓ_1) a koncové (ℓ_2) frekvence měřeného rozsahu. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "FSR" a na výstupním terminálu **Response** se objeví řetězec "FS: ℓ_1, ℓ_2 ".

Aplikace má dva vstupní funkční terminály číselného typu s desetinnou čárkou **Start Freq [Hz]** a **Stop Freq [Hz]** přijímající vstupní hodnotu v rozsahu 0,00 až 30000000,00. K nastavení hodnot ℓ_1 a ℓ_2 aplikace převádí vstupní čísla do formátu s desetinnou tečkou. Přijímaný rozsah dat je 0,00 až 30000000,00 s možností inkrementace s krokem 0,25.

13. Logarithmic Frequency Start-Stop (SubVI)

Aplikaci lze použít k nastavení způsobu zadávání měřeného rozsahu frekvencí na režim centrální frekvence a rozpětí měřených frekvencí okolo ní. Současně slouží k nastavení velikosti rozsahu měřených frekvencí a centrální frekvence.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "FLm1,m2", kde m1 a m2 jsou reálná čísla s desetinnou tečkou nabývající hodnot 0 až 7, nastavující hodnotu počáteční (m1) a koncové (m2) frekvence logaritmické osy. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "FLR" a na výstupním terminálu Response se objeví řetězec "FL: l_1, l_2 ".

m1	m2	Frekvence
0	×	10 Hz
1	1	100 Hz
2	2	1 kHz
3	3	10 kHz
4	4	100 kHz
5	5	1 MHz
×	6	10 MHz
×	7	30 MHz

Tab. 4.6: Možnosti nastavení logaritmické frekvenční osy

Aplikace má dva vstupní funkční terminály číselného typu Log. Start Freq a Log. Stop Freq přijímající vstupní hodnotu v rozsahu 0 až 7, viz tabulka 4.6.

14. Output Switch (SubVI)

Tato aplikace slouží k aktivaci zvoleného výstupu zabudovaného syntezátoru spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "OPm", kde m je číslo nabývající hodnot 0 nebo 1, sloužící k aktivaci výstupu A nebo B. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "OPR" a na výstupním terminálu Response se objeví řetězec "OP: m".

Aplikace má jeden vstupní funkční terminál Output select typu boolean, který slouží k nastavení hodnoty m, přičemž logické hodnoty aplikace převádí na číselné vyjádření (Pravda = 1, Nepravda = 0).

15. Signal Tracking switch (SubVI)

Tato aplikace slouží k zapnutí a vypnutí funkce Signal Track, umožňující zobrazení maxima signálu uprostřed CRT obrazovky, což je vhodné např. pro měření přenosových charakteristik filtrů typu pásmová propust a dalších dvojbranů s podobným průběhem charakteristikou.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "ATm", kde m je číslo nabývající hodnot 0 nebo 1, sloužící k vypnutí nebo zapnutí funkce Signal Track. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "ATR" a na výstupním terminálu Response se objeví řetězec "AT: m".

Aplikace má jeden vstupní funkční terminál Output select typu boolean, který slouží k nastavení hodnoty m, přičemž logické hodnoty aplikace převádí na číselné

vyjádření (Pravda = 1, Nepravda = 0).

16. Sweep Time (SubVI)

Tato aplikace slouží k nastavení doby rozmítání lokálního oscilátoru (**Sweep Time**). Protože dobu rozmítání nelze nastavit pokud je funkce **Coupled to freq** nebo **Coupled to span** zapnutá, aplikace **Sweep Time** toto nastavení ověří a pokud je některá z uvedených funkcí zapnutá, aplikace **Sweep Time** informuje uživatele vyskakovacím dialogovým oknem.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "ST ℓ ", kde ℓ je číslo nabývající hodnot 50 *ms* až 90000000 *ms*, vyjadřující nastavenou dobu rozmítání. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "STR" a na výstupním terminálu **Response** se objeví řetězec "ST: ℓ ".

Aplikace má dva vstupní funkční terminály číselného typu. Terminál **Sweep Time [ms]** pracuje s rozsahem vstupních hodnot 50 až 90000000 s možností inkrementace s krokem 1. Terminál **Iteration** je využitý, pokud je tato funkce využita ve smyčce. V tom případě je pro urychlení běhu programu vhodné spojit ukazatel iterace smyčky s tímto vstupem a kontrola nastavení funkcí **Coupled to freq** a **Coupled to span** se opakuje pouze v první iteraci.

17. Track Adjustment (SubVI)

Aplikace sloužící k zapnutí a vypnutí funkce **Track Adj.** a k ladění mezifrekvenčních filtrů. Postup této procedury je popsán v [5, kapitola 2.8-(29)].

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "BT n, ℓ ", kde n je číslo nabývající hodnot 0 nebo 1 k vypnutí nebo zapnutí funkce **Track Adj.**. Číslo ℓ nabývá hodnot 0 až 255, slouží k nastavení napětí pro ladění RBW filtru. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "BTR" a na výstupním terminálu **Response** se objeví řetězec "BT: $m1, m2$ ".

Aplikace má dva vstupní funkční terminály. Aplikace má jeden vstupní terminál **Tracking Adjust** typu boolean, který slouží k nastavení hodnoty n , přičemž logické hodnoty aplikace převádí na číselné vyjádření (Pravda = 1, Nepravda = 0). Terminál **Track Adj. Voltage** je číselného typu k nastavení hodnoty ℓ a přijímá vstupní hodnotu v rozsahu 0 až 255 s možností inkrementace s krokem 1.

18. Uncal (SubVI)

Aplikace sloužící k detekci stavu kontrolky **UNCAL** na čelním panelu přístroje, která signalizuje nedostatečnou dobu rozmítání lokálního oscilátoru. Tím dochází k nekalibrovanému měření vstupního signálu, viz 2.1.1.

Aplikace nepracuje s řídicí zprávou, využívá pouze zprávu požadavku informací z přístroje. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "UCR" a odpovědi přístroje je řetězec obsahující číslo v rozsahu 0 až 1, které je převedeno na výstupní binární hodnoty.

Aplikace má dva výstupní funkční terminály typu boolean. Aplikace má jeden výstupní terminál UNCAL, který slouží k indikaci, zda dochází k přetížení některého vstupu. Druhý výstupní funkční terminál NON UNCAL slouží k indikaci negované logické hodnoty výstupu UNCAL. Nekalibrované měření je indikováno logickým stavem Pravda (1) na výstupu UNCAL.

4.1.3 Ovládací funkce

1. Breakpoint (SubVI)

Aplikace sloužící k nastavení bodu ukončení měření frekvenční charakteristiky. Umožňuje tím zkrácení celkové doby měření. Oblast měření je při použití aplikace Breakpoint od bodu 0 do bodu ℓ .

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "BP ℓ ", kde ℓ je číslo bodu na frekvenční ose v rozsahu 0 až 251. Pokud bude nastaveno na hodnotu 252 až 255, měření proběhne jako obvykle. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "BPR" a na výstupním terminálu Response se objeví řetězec "BP: ℓ ".

Aplikace má jeden vstupní funkční terminál číselného typu Breakpoint, který nastavuje hodnotu ℓ a přijímá vstupní hodnotu v rozsahu 1 až 255 s možností inkrementace s krokem 1.

2. Calibration Internal (SubVI)

Aplikace spouštějící vnitřní kalibraci přístroje. Pokud právě probíhá měření, spuštění vnitřní kalibrace automaticky čeká na ukončení měření.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "IT", které spouští vnitřní kalibraci. Aplikace nepracuje s požadavkem na odpověď přístroje a proto nemá standardní výstupní terminál Response.

3. Calibration X→S (SubVI)

Aplikace spouštějící kalibraci přístroje X→S. Spuštění této aplikace vyvolá nové měření frekvenční charakteristiky a uložení naměřených hodnot (X) do paměti (S) přístroje.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "CS", které spouští kalibraci. Aplikace nepracuje s požadavkem na odpověď přístroje a proto nemá standardní výstupní terminál Response.

4. Initialize (SubVI)

Aplikace pro nastavení všech funkcí analyzátoru MS420B do nastavení po spuštění napájení přístroje.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "IN", které spouští kalibraci. Aplikace nepracuje s požadavkem na odpověď přístroje a proto nemá standardní výstupní terminál Response.

5. PTA (SubVI)

Tato aplikace slouží k zapnutí a vypnutí funkce PTA, kterou lze využít k programování automatizovaných měřících úloh pomocí čelního panelu přístroje.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "PTn", kde n je číslo nabývající hodnot 0 nebo 1, sloužící k vypnutí nebo zapnutí funkce PTA. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "PTR" a na výstupním terminálu Response se objeví řetězec "PT:n".

Aplikace má jeden vstupní funkční terminál PTA typu boolean, který slouží k nastavení hodnoty n, přičemž logické hodnoty aplikace převádí na číselné vyjádření (Pravda = 1, Nepravda = 0).

6. Save (SubVI)

Tato aplikace slouží k uložení nastavení spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B. Pracuje se dvěma paměťmi - REG, což je označení pro vnitřní paměť přístroje, a MEM, což je označení pro vstupní bublinovou paměť (PBM), kterou je možné připojit k přístroji pomocí slotu na čelním panelu.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "SVm1,m2", kde m1 je číslo nabývající hodnot 0 nebo 1, sloužící k volbě použité paměti REG/MEM - vnitřní paměť REG je zvolena hodnotou 0, číslo m2 umožňuje volbu paměťové adresy, kam budou nastavení uložena. Tato aplikace pracuje pouze s řídicí zprávou.

Aplikace má dva vstupní funkční terminály REG/MEM typu boolean, který slouží k nastavení hodnoty m1, přičemž logické hodnoty aplikace převádí na číselné vyjádření (Pravda = 1, Nepravda = 0) a Memory slot, který je číselného typu s rozsahem 0 až 5, nastavující hodnotu čísla m2.

7. Recall (SubVI)

Tato aplikace slouží k vyvolání nastavení spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B. Pracuje se dvěma paměťmi - REG, což je označení pro vnitřní paměť přístroje, a MEM, což je označení pro vstupní bublinovou paměť (PBM), kterou je možné připojit k přístroji pomocí slotu na čelním panelu.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "RCm1,m2", kde m1 je číslo nabývající hodnot 0 nebo 1, sloužící k volbě použité paměti REG/MEM - vnitřní paměť REG je zvolena hodnotou 0, číslo m2 umožňuje volbu paměťové adresy, kam budou nastavení uložena. Tato aplikace pracuje pouze s řídicí zprávou.

Aplikace má čtyři vstupní funkční terminály. Terminál REG/MEM typu boolean, který slouží k nastavení hodnoty m1, přičemž logické hodnoty aplikace převádí na číselné vyjádření (Pravda = 1, Nepravda = 0) a Memory slot, který je číselného typu s rozsahem 0 až 5, nastavující hodnotu čísla m2, jsou shodné se vstupními terminály funkce Save (SubVI). Funkce Recall (SubVI) má navíc ještě funkční terminály Recall Function memory typu boolean a Function memory: typu číslo, které

slouží k volbě speciálních pozic funkční paměti, umožňující využít speciální funkce analyzátoru

- MKR→OFS
- Δ MKR→SPAN
- MKR→CF
- MKR→PEAK
- INIT(obdoba spuštění aplikace Initialize (SubVI))

Pro podrobný popis těchto speciálních funkcí viz [5, kapitola 2.8-(34)].

8. Sweep Mode Auto-Marker (SubVI)

Tato aplikace slouží k nastavení měření buď do režimu **Sweep Auto**, kdy je měřené spektrum měřeno plynule ve všech frekvenčních bodech. Nebo je možné nastavit režim měření **Sweep Marker** kdy je měřen pouze jeden frekvenční bod, jenž se nachází uprostřed CRT obrazovky. Polohu tohoto měřeného bodu je vhodné volit pomocí aplikace **Linear Frequency Center-Span (SubVI)**.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "AMn", kde n je číslo nabývající hodnot 0 nebo 1, sloužící k nastavení funkce **Auto/Marker** - režim **Auto** je nastaven hodnotou 0. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "AMR" a na výstupním terminálu **Response** se objeví řetězec "AM: n".

Aplikace má jeden vstupní funkční terminál **Sweep Auto/Marker** typu boolean, který slouží k nastavení hodnoty n, přičemž logické hodnoty aplikace převádí na číselné vyjádření (Pravda = 1, Nepravda = 0).

9. Sweep Repeat-Single (SubVI)

Tato aplikace slouží k nastavení měření buď do režimu **Sweep Repeat**, kdy je měřená charakteristika plynule měřena znovu a znovu což způsobí plynulou aktualizaci měřených hodnot. Nebo je možné nastavit režim měření **Single Start** kdy je průběh charakteristiky změřený pouze jednou a poté se rozmítání lokálního oscilátoru zastaví.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "MSm", kde m je číslo nabývající hodnot 0 nebo 1, sloužící k nastavení funkce **Repeat/Single** - režim **Repeat** je nastaven hodnotou 0. Tato aplikace pracuje pouze s řídicí zprávou.

Aplikace má jeden vstupní funkční terminál **Sweep Repeat / Single** typu boolean, který slouží k nastavení hodnoty m, přičemž logické hodnoty aplikace převádí na číselné vyjádření (Pravda = 1, Nepravda = 0).

10. Sweep Stop-Reset (SubVI)

Tato aplikace slouží k nastavení měření buď do režimu **Sweep Repeat**, kdy je měřená charakteristika plynule měřena znovu a znovu což způsobí plynulou aktualizaci

měřených hodnot. Nebo je možné nastavit režim měření **Single Start** kdy je průběh charakteristiky změřený pouze jednou a poté se rozmítání lokálního oscilátoru zastaví.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "MEM", kde m je číslo nabývací hodnot 0 nebo 1, sloužící k nastavení funkce Repeat/Single - režim Repeat je nastaven hodnotou 0. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "MER" a na výstupním terminálu Response se objeví řetězec "ME: n". Odpověď přístroje nabývá hodnot 0 nebo 1, což odpovídá stavům 0: měření ukončeno, 1: měření probíhá. Tohoto lze využít k časování běhu programu.

Aplikace má jeden vstupní funkční terminál **Sweep Stop/Reset** typu boolean, který slouží k nastavení hodnoty m, přičemž logické hodnoty aplikace převádí na číselné vyjádření (Pravda = 1, Nepravda = 0).

4.1.4 Pokročilé (ADV) funkce

1. Automatic Calibration Timer (SubVI)

Aplikace sloužící k nastavení doby, po které se spustí automatická vnitřní kalibrace přístroje po zapnutí.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "CT ℓ ", kde ℓ je číselného typu nabývá hodnot 0 až 99, slouží k nastavení časovače v jednotkách minut. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "CTR" a na výstupním terminálu Response se objeví řetězec "CT: ℓ ".

Aplikace má jeden vstupní terminál **Auto Cal. timer (minutes)** číselného typu k nastavení hodnoty ℓ a přijímá vstupní hodnotu v rozsahu 0 až 99 s možností inkrementace s krokem 1.

2. Buzzer (SubVI)

Tato aplikace slouží k zapnutí a vypnutí funkce **Buzzer**, která řídí zejména zvukovou signalizaci při rozsvícení kontrolky UNCAL.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "BZn", kde n je číslo nabývací hodnot 0 nebo 1, sloužící k vypnutí nebo zapnutí funkce **Buzzer**. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "BZR" a na výstupním terminálu Response se objeví řetězec "BZ: n".

Aplikace má jeden vstupní funkční terminál **Buzzer** typu boolean, který slouží k nastavení hodnoty n, přičemž logické hodnoty aplikace převádí na číselné vyjádření (Pravda = 1, Nepravda = 0).

3. Delimiter (SubVI)

Tato aplikace slouží k zapnutí a vypnutí funkce **Delimiter**, která řídí vkládání oddělovacího znaku ";" do výstupního řetězce při čtení změřených dat z přístroje.

Oddělovací znak je vkládán pouze pokud dochází ke čtení dat z měření se dvěma průběhy, např. MAG/DLY nebo MAG/PHA.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "DMn", kde n je číslo nabývající hodnot 0 nebo 1, sloužící k vypnutí nebo zapnutí funkce **Buzzer**. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "DMR" a na výstupním terminálu **Response** se objeví řetězec "DM: n".

Aplikace má jeden vstupní funkční terminál **Delimiter** typu boolean, který slouží k nastavení hodnoty n, přičemž logické hodnoty aplikace převádí na číselné vyjádření (Pravda = 1, Nepravda = 0).

4. Frequency Counter (SubVI)

Tato aplikace slouží k zapnutí a vypnutí funkce **Frequency Count**, přepne spektrální analyzátor Anritsu do režimu frekvenčního čítače. Aplikace zároveň kontroluje, jaké je nastavení typu měření (**Trace**), jelikož funkce nelze zapnout při jiném měření než **Spect** nebo **Level**. Pokud je aplikace spuštěna při nevhodném nastavení měření, informuje uživatele vyskakovacím dialogovým oknem.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "F0n", kde n je číslo nabývající hodnot 0 nebo 1, sloužící k vypnutí nebo zapnutí funkce **Buzzer**. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "FOR" a na výstupním terminálu **Response** se objeví řetězec "FO: n". Řetězec "FOR" však slouží jen k dotazu na stav funkce **Frequency Count**. Pro dotaz na změřenou hodnotu frekvenčním čítačem je nutno zadat řetězec "MFR". Tento řetězec by měl být zadán ne dříve jak 1,5 sekundy po ukončení měření a proto vyžaduje vhodné časování.

Aplikace má jeden vstupní funkční terminál **Frequency count** typu boolean, který slouží k nastavení hodnoty n, přičemž logické hodnoty aplikace převádí na číselné vyjádření (Pravda = 1, Nepravda = 0).

5. Integrating (SubVI)

Tato aplikace slouží k zapnutí a vypnutí funkce **Integrating**, která umožňuje integraci měřených dat po určitou dobu. Zapnutí této funkce proto výrazně prodlužuje celkovou dobu měření (**Sweep Time**), ale umožňuje vyhlazení zobrazeného signálu tím, že při integraci měřených dat dochází k potlačení náhodného šumu.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "IGn", kde n je číslo nabývající hodnot 0 nebo 1, sloužící k vypnutí nebo zapnutí funkce **Buzzer**. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "IGR" a na výstupním terminálu **Response** se objeví řetězec "IG: n".

Aplikace má jeden vstupní funkční terminál **Integrating** typu boolean, který slouží k nastavení hodnoty n, přičemž logické hodnoty aplikace převádí na číselné vyjádření (Pravda = 1, Nepravda = 0).

6. Max Hold (SubVI)

Tato aplikace slouží k zapnutí a vypnutí funkce **Max Hold**, která umožňuje zobrazování maximálních měřených hodnot. Pro vynulování měřené maximální hodnoty je potřeba spustit aplikaci **Sweep Repeat-Single (SubVI)** při nastavení režimu **Repeat**. Pro bližší informace ohledně funkce **Max Hold** viz [5, kapitola 3.6.2.]. Aplikace zároveň kontroluje, jaké je nastavení typu měření (**Trace**), jelikož funkce nelze zapnout při jiném měření než **Spect** nebo **Level**. Pokud je aplikace spuštěna při nevhodném nastavení měření, informuje uživatele vyskakovacím dialogovým oknem.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "**MHn**", kde **n** je číslo nabývající hodnot 0 nebo 1, sloužící k vypnutí nebo zapnutí funkce **Buzzer**. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "**MHR**" a na výstupním terminálu **Response** se objeví řetězec "**MH: n**".

Aplikace má jeden vstupní funkční terminál **Integrating** typu boolean, který slouží k nastavení hodnoty **n**, přičemž logické hodnoty aplikace převádí na číselné vyjádření (Pravda = 1, Nepravda = 0).

7. SRQ (SubVI)

Tato aplikace slouží k zapnutí a vypnutí funkce **SRQ**, která se dá využít k generování přerušování běhu programu. Bližší informace k této funkci jsou k nalezení v [6, kapitola 7.1.2].

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "**SQn**", kde **n** je číslo nabývající hodnot 0 nebo 1, sloužící k vypnutí nebo zapnutí funkce **SRQ**. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "**SQR**" a na výstupním terminálu **Response** se objeví řetězec "**SQ: n**".

Aplikace má jeden vstupní funkční terminál **SRQ** typu boolean, který slouží k nastavení hodnoty **n**, přičemž logické hodnoty aplikace převádí na číselné vyjádření (Pravda = 1, Nepravda = 0).

8. Sweep Marker (SubVI)

Tato aplikace slouží k zapnutí a vypnutí funkce **Sweep Marker**.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "**SMn**", kde **n** je číslo nabývající hodnot 0 nebo 1, sloužící k vypnutí nebo zapnutí funkce **Sweep Marker**. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "**SMR**" a na výstupním terminálu **Response** se objeví řetězec "**SM: n**".

Aplikace má jeden vstupní funkční terminál **Sweep Marker** typu boolean, který slouží k nastavení hodnoty **n**, přičemž logické hodnoty aplikace převádí na číselné vyjádření (Pravda = 1, Nepravda = 0).

9. Title (SubVI)

Tato aplikace slouží k nastavení nadpisu grafu zobrazeného na CRT obrazovce.

Umožňuje zadání až 15 alfanumerických znaků.

Aplikace pracuje s řetězcem ve formátu "TT,abcdef,", kde "abcdef" je příklad zadaného textu. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "SMR" a na výstupním terminálu **Response** se objeví řetězec "TT: abcdef". Pro vymazání nadpisu je potřeba zadat řetězec ve formátu "TT,,"

Aplikace má jeden vstupní funkční terminál **Title** (max. 15 char) typu string, který slouží k zadání názvu.

4.1.5 Funkce paměti

Spektrální analyzátor Anritsu MS420B obsahuje několik paměťových bloků, které slouží buď k ukládání hodnot nastavení nebo pro uložení měřených dat. Pro snazší orientaci v názvech jednotlivých pamětí slouží následující tabulka.

Název paměti	Popis obsahu
FREQ	Všechny hodnoty měřených frekvencí.
LVL	Všechny hodnoty výstupní úrovně, pokud byly zadány parametry pro Level Sweep .
MEAS-A	Výsledky měření, pokud je Trace nastaveno na 1 kanálové měření. Pokud je Trace nastaveno na 2 kanálové měření, obsahuje měřené hodnoty přenosu (MAG)
MEAS-B	Při 2 kanálovém měření obsahuje měřené hodnoty fáze nebo skupinového zpoždění. Obsahuje Sub Trace , pokud je tato funkce zapnuta.
S-A	Výsledky měření po spuštění aplikace Cal. X-S (SubVI) pro kanál A.
S-B	Výsledky měření po spuštění aplikace Cal. X-S (SubVI) pro kanál B.

Tab. 4.7: Přehled pamětí analyzátoru MS420B a jejich obsahu

Všechny výše uvedené paměti mají kapacitu 251 hodnot.

1. Aplikace pro zápis dat do paměti Tyto aplikace slouží k nastavení hodnot, např. měřených frekvencí, zadáním jednotlivých frekvencí do příslušných pozic paměti FREQ. Tyto aplikace jsou pojmenovány dle následujícího vzorce: "**Název paměti (viz tabulka 4.7)**" **memory set (SubVI)**, tedy např. **FREQ memory set (SubVI)** pro nastavení bodu ve frekvenční paměti.

Aplikace pracují s řetězcem ve formátu dle tabulky 4.8, kde ℓ_1 je číslo v rozsahu 0 až 250, určující jaká pozice paměti bude nastavována. Číslo s desetinnou tečkou a dvěma desetinnými čísly ℓ_2 určuje na jakou hodnotu bude daná pozice paměti nastavena. Aplikace tohoto typu pracují pouze s řídicí zprávou.

Název paměti	FREQ	LVL	MEAS-A	MEAS-B	S-A	S-B
Řídící řetězec	FQ ℓ_1, ℓ_2	LV ℓ_1, ℓ_2	XA ℓ_1, ℓ_2	XB ℓ_1, ℓ_2	SA ℓ_1, ℓ_2	SB ℓ_1, ℓ_2

Tab. 4.8: Přehled řetězců pro nastavování jednotlivých pamětí

2. Aplikace pro čtení dat z paměti Tyto aplikace slouží k nastavení hodnot, např. měřených frekvencí, zadáním jednotlivých frekvencí do příslušných pozic paměti FREQ. Tyto aplikace jsou pojmenovány dle následujícího vzorce: "Název paměti(viz tabulka 4.7)" **memory set (SubVI)**, tedy např. **FREQ memory request (SubVI)** pro nastavení bodu ve frekvenční paměti.

Aplikace pracují s řetězcem ve formátu dle tabulky 4.8, kde ℓ_1 je číslo v rozsahu 0 až 250, určující od kolikáté pozice paměti budou čtena data. Číslo ℓ_2 určuje do kolikáté pozice paměti bude čteno. Aplikace automaticky počítá hodnotu ℓ_2 podle vztahu

$$\ell_2 = 251 - \ell_1 \quad (4.3)$$

Název paměti	FREQ	LVL	MEAS-A	MEAS-B	S-A	S-B
Řídící řetězec	FQR ℓ_1, ℓ_2	LVR ℓ_1, ℓ_2	XAR ℓ_1, ℓ_2	XBR ℓ_1, ℓ_2	SAR ℓ_1, ℓ_2	SBR ℓ_1, ℓ_2

Tab. 4.9: Přehled řetězců pro čtení jednotlivých pamětí

Na výstupním terminálu **Response** je k dispozici textový řetězec, který obsahuje na první řádce popis měřených hodnot a dále přijaté hodnoty, přičemž každá je na novém řádku. Aplikace mají jeden výstupní funkční terminál **Measured values** typu 1-D pole, které obsahuje číselný vektor naměřených dat s desetinnou čárkou.

3. Frequency Counter Value Read (SubVI)

Aplikace sloužící k přečtení měřené frekvence, pokud je zapnutá funkce **Frequency Count**.

Aplikace nepracuje s řídicí zprávou, využívá pouze zprávu požadavku informací z přístroje. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "MFR" a odpovědí přístroje je řetězec obsahující číslo s desetinnou tečkou a dvěma desetinnými místy, v rozsahu 10.00 až 30000000.00, které odpovídá hodnotě naměřené frekvence v jednotkách Hz .

Aplikace má jeden výstupní funkční terminál číselného typu **Value**, který obsahuje získanou měřenou hodnotu. Aplikace nemá standardní výstupní terminál **Response**.

4. Marker Value Read (SubVI)

Aplikace sloužící k přečtení hodnoty měřené na pozici aktivního markeru.

Aplikace nepracuje s řídicí zprávou, využívá pouze zprávu požadavku informací z přístroje. Při čtení odpovědi přístroje je zadáván řetězec "MMR" a odpovědí přístroje

je řetězec obsahující číslo s měřenou hodnotou. Rozsah hodnot tohoto čísla odpovídá rozsahu hodnot měřené veličiny, nastavené aplikací **Trace (SubVI)**.

Aplikace má jeden výstupní funkční terminál číselného typu **Value**, který obsahuje získanou měřenou hodnotu. Aplikace nemá standardní výstupní terminál **Response**.

5. Measurement results read (SubVI)

Aplikace pro kompletní přečtení změřených hodnot z analyzátoru Anritsu MS420B včetně čtení paměti frekvenčních bodů. Tato aplikace přečte všechny změřené hodnoty z přístroje a zároveň je automaticky naformátuje do výstupní matice v clusteru, kde prvním prvkem je pole řetězců s popisy jednotlivých sloupcových vektorů měřených dat a druhým prvkem jsou samotné sloupcové vektory měřených hodnot ve formátu čísla s desetinnou čárkou. Na výstupu **Response** jsou naměřená data ve formátu řetězce s jednotlivými prvky oddělenými ASCII znakem CRLF, tedy vždy na nové řádce.

Pomocí terminálu **First point to read from** zadat číslo v rozmezí 0 – 251 určující, od kolikátého měřeného bodu chceme data číst. Přednastavená hodnota je 0, čili budou čteny všechny body. Na terminálu **Measured values** je výstupní proměnná typu **cluster** se dvěma prvky:

- i) pole řetězců s popisy jednotlivých sloupců,
- ii) pole sloupcových vektorů, kde první náleží frekvencím a další jeden (dva) náleží naměřeným datům.

Aplikace pracuje s globální proměnnou **Progress** pomocí které lze zobrazit průběh čtení dat. Aplikace automaticky nastavuje popisy výstupních matic podle nastaveného režimu měření **Trace** a **Delay Range**.

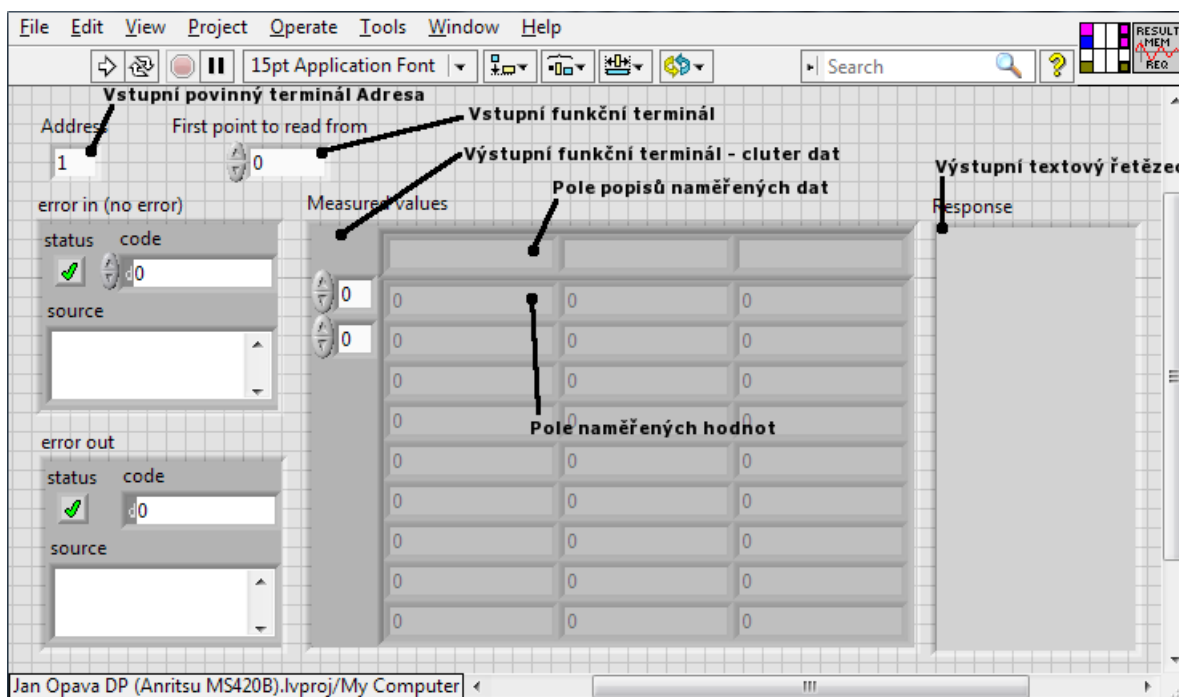
Tato aplikace využívá několik vnořených podaplikací, tzv. vnořených **SubVI** a její průběh je řízen sekvencí. V příloze C je podrobný popis všech jednotlivých kroků programu této aplikace.

4.1.6 Doplnkové funkce

1. GPIB Read-Write (SubVI)

Základní aplikace pro zápis nebo čtení dat po GP-IB sběrnici:

- 1) Pokud je na vstup **Write/Read** přivedena "**log. 1 (TRUE)**", aplikace zapíše do analyzátoru řetězec z terminálu **Command**, kterým je například "**TRR**" (dotaz na typ **Trace**).
- 2) Analyzátor připraví do výstupního bufferu řetězec s odpovědí.
- 3) Po přivedení "**log. 0 (FALSE)**" na vstup **Write/Read** aplikace odpověď analyzátoru na dotaz přečte.



Obr. 4.1: Čelní panel aplikace Measurement results read (SubVI)

Aplikace využívá `error in (no error)` a `error out` standardní chybový vstup a výstup, v případě, že je na vstup přivedena chyba, k dalšímu čtení/zápisu v rámci celého dalšího procesu již nedojde. Výstupní řetězec `Response` zobrazuje přečtená data z přístroje, zakončená symbolem "EOL" (Konec řádky). Zároveň také lze na výstupu této funkce sledovat status GP-IB sběrnice na výstupním vývodu `GP-IB Status Word`.

2. GPIB query (SubVI)

Rozšířená aplikace pro zápis nebo čtení dat po GP-IB sběrnici (aplikace pro dotaz): Aplikace zašle dotaz ve formě řetězce z terminálu `Command` a ihned přečte odpověď z GP-IB sběrnice na adrese, jejíž číslo je zadáno jako řetězec na terminálu `Address`. Aplikace umožňuje čtení odpovědi dvěma způsoby:

- 1) Přečte globální proměnnou `Response` a k ní přidá řádek s vlastní odpovědí.
- 2) Pouze samostatnou odpověď získanou po zaslání aktuálního dotazu lze přečíst v řetězci na výstupu `Response`.

V obou případech má výstupní zpráva stejný formát:

- i) Identifikátor příkazu
- ii) Dvojtečku s mezerou za, např. " : "
- iii) Řetězec získaný ze sběrnice GP-IB jako odpověď

Tedy pokud byl zadán například řetězec dotazu "TRR" pro zjištění typu zobrazené

měřené stopy, odpověď z aplikace GPIB query (SubVI) bude: "TR: 2", pokud je nastaveno měření zpoždění (Trace Delay).

3. 4-D Array Excel Write (SubVI)

Aplikace je využita v aplikaci pro spouštění kalibračního měření šířky pásma mezifrekvenčních filtrů, kde jako výsledek procesu měření dochází ke vzniku 4-D pole výstupních dat. Tato aplikace přijímá 4-D pole řetězců a ukládá ho do souboru ve formátu .xlsx vhodném pro použití v programu MS Excel.

Aplikace má dva vstupní terminály **Array** a **Worksheet Names**, kde první jmenovaný je vstup pro 4-D pole s prvky typu string, druhý vstupní terminál **Worksheet Names** slouží k zadání názvů jednotlivých vytvářených pracovních listů dokumentu Excel. Aplikace dále má standardní chybový výstupní terminál a výstupní terminál typu report, obsahující datový objekt, který může sloužit jako reference k další práci s vytvořeným souborem.

4. BM577 Attenuation Setting (SubVI)

Aplikace je využita k dálkovému ovládní nastavení útlumu programovatelného atenuátoru Tesla BM577 pomocí sběrnice IMS-2. Aplikace má standardní chybový vstupní i výstupní terminál. Aplikace má dva vstupní terminály **Att address** typu string a **Attenuation**, který je číselného typu s rozsahem hodnot 0 až 125. Zadaná číselná hodnota odpovídá nastavení útlumu atenuátoru v dB.

5. Conversion to n,nn form (SubVI)

Aplikace slouží k zaokrouhlení vstupního čísla na dvě desetinná místa. Aplikace má pouze jeden vstupní i výstupní terminál, oba jsou číselného typu.

6. End error check (SubVI)

Aplikace slouží k ukončení měřicích aplikací, pokud využívají nekonečnou smyčku čtení globálních proměnných. Zároveň vyhodnocuje, zda během činnosti programu nedošlo k chybě. Aplikace má standardní chybový vstupní terminál.

7. Filter Bandwidth Calculator (SubVI)

Tato aplikace slouží k výpočtu 3dB nebo 60dB šířky pásma pomocí vyhledání odpovídajících hodnot ve vstupním vektoru úrovní / útlumů. Poté je vypočten absolutní rozdíl mezi horní a spodní frekvencí, odpovídající pozicím zjištěných hodnot útlumu ve vstupním vektoru frekvencí. Tento výsledek odpovídá hledané šířce pásma.

Aplikace má dva vstupní terminály **Freq Vector** a **Level Vector** typu 1-D pole číselných prvků, které by měly odpovídat frekvencím a příslušným změřeným hodnotám výkonových úrovní na těchto frekvencích. Třetí vstupní terminál je typu číslo a slouží k volbě typu vypočítávané šířky pásma, hodnotou 0 se volí 3 dB šířka pásma a hodnota 1 spustí výpočet 60 dB šířky pásma. Jediný výstupní terminál obsahuje číslo odpovídající vypočtené šířce pásma.

Bylo pozorováno, že pokud je odstup úrovně -60 dBc oproti úrovni šumu příliš malý, určení 60 dB šířky pásma je nepřesné.

8. Mismatch Loss Calculator (SubVI)

Tato aplikace slouží k rychlému výpočtu útlumu nepřizpůsobením impedancí.

Aplikace má dva vstupní terminály **Source** a **Load** typu číslo, jež odpovídají impedanci zdroje a zátěže. Aplikace vypočítá útlum impedančního nepřizpůsobení dle vztahu 2.5. Jediný výstupní terminál obsahuje číslo odpovídající vypočtenému útlumu nepřizpůsobením.

9. Frequency counter measurement (SubVI)

Tato aplikace provede kompletní sekvenci příkazů ke změření frekvence vstupního signálu spektrálním analyzátozem v režimu frekvenčního čítače.

Aplikace má standardní vstupní terminály **Address** a **Error in (no error)** a také standardní výstupní terminál **Error out**. Dále má aplikace jeden výstupní funkční terminál **Frequency Counter Value**, který je číselného typu a jeho hodnota odpovídá naměřené frekvenci vstupního signálu.

10. Generator IDN query (SubVI)

Aplikace sloužící v aplikaci **Performance tests** k rozkladu vstupního clusteru s nastavením externího generátoru. Dále tato aplikace příkazem `"*IDN?"` podle standardu IEEE-488.2 dotazuje externí generátor a zjišťuje, zda se jedná o generátor Rohde & Schwarz SMY01 nebo Agilent 33120A.

Aplikace má šest výstupních terminálů: **Amp Gen**, **Freq Gen** a **Unit Gen** jsou typu číslo, odpovídají nastavením amplitudy výstupního signálu generátoru, frekvence výstupního signálu generátoru a jednotky externího generátoru. Dalším výstupním terminálem je **VISA Refnum out**, který obsahuje referenci k umožnění další práce s daným generátorem. Aplikace ještě obsahuje standardní chybový výstupní terminál a výstupní terminál **Type** typu string, který obsahuje informaci o typu externího generátoru.

11. Output Table Element Header Add (SubVI)

Tato aplikace slouží k přidávání hlavičky s popisem ke vstupnímu poli (ve formátu řetězce) např. s naměřenými daty.

Aplikace má dva vstupní terminály **String** a **Array** typu řetězec, resp. pole řetězců. Jediný výstupní terminál **Output array** obsahuje vstupní pole z terminálu **Array** s hlavičkou v podobě řetězce **String**.

12. Sweep end timer (SubVI)

Tato aplikace zajišťuje čekání na dokončení měření. Pracuje na principu opakovaného dotazování spektrálního analyzátozem zadáváním řetězce `"MER"` a vyhodnocuje odpověď přístroje tak dlouho dokud není měření dokončeno. Tím je zajištěno

správné časování, důležité zejména při čtení dat, jelikož nelze číst naměřená data pokud probíhá měření.

Aplikace má standardní vstupní terminály **Address** a **Error in (no error)** a také standardní výstupní terminál **Error out**.

13. **Input Range auto tuning (SubVI)**

Tato aplikace slouží k automatickému nastavení hodnoty vstupního rozsahu, aby nebyly vstupy analyzátoru MS420B přetížené. V podstatě se jedná o rozšíření aplikace **Input Range (SubVI)**, která nastavuje vstupní rozsah.

Aplikace má všechny čtyři standardní vstupní terminály. Dále má aplikace ještě dva vstupní funkční terminály, a to **Input Range**, který je číselného typu a možnosti jeho nastavení odpovídají nastavení aplikace **Input Range (SubVI)**. Tato hodnota slouží jako počáteční hodnota při nastavování rozsahu. Druhým funkčním vstupním terminálem je **On/Off (T/F)**, kterým lze zapnout či vypnout funkci této aplikace.

14. **Sweep Time auto tuning (SubVI)**

Tato aplikace slouží k automatickému nastavení hodnoty vstupního rozsahu, aby nebyly vstupy analyzátoru MS420B přetížené. V podstatě se jedná o rozšíření aplikace **Input Range (SubVI)**, která nastavuje vstupní rozsah.

Aplikace má všechny čtyři standardní vstupní terminály. Dále má aplikace ještě jeden vstupní funkční terminál, a to **Sweep Time [s]**, který je číselného typu a umožňuje nastavení doby měření. Vstupní hodnota odpovídá nastavené době měření v sekundách.

4.1.7 Globální proměnné

Globální proměnné jsou vhodným nástrojem, jak mezi několika aplikacemi v prostředí LabVIEW předávat společný parametr, který se v průběhu provádění procesů mění. Specifickou vlastností globálních proměnných je to, že po vytvoření nové proměnné LabVIEW automaticky vytvoří nový VI, který má pouze čelní panel, ale žádné blokové schema. Ve výsledku je možné globální proměnnou z této aplikace číst nebo do ní touto aplikací zapisovat, v aplikaci Globální proměnná samotné však nelze s danou proměnnou dále pracovat.



Obr. 4.2: Příklad zobrazení globální proměnné v prostředí LabVIEW

1. **Progress**

Tato globální proměnná je číselného typu s rozsahem hodnot 0 až 100 a slouží k zobrazování průběhu procesu v čase. Je využita zejména v aplikaci **Measurement**

`results read` (SubVI), kde je sdílená mezi funkcí čtení frekvencí a funkcí čtení paměti pro naměřené hodnoty.

2. Response

Tato globální proměnná je typu string neboli řetězec a je předávaná většině aplikací v této práci, slouží k okamžitému čtení stavu zařízení dle toho, jakou činnost právě vykonává či jaký parametr na něm byl nastaven. Jelikož je typu řetězec, je také dobře využitelná pro uložení výpisu všech kroků programu, např. do textového souboru.

3. Sweep Time

Globální proměnná `Sweep Time` je číselného typu, s rozsahem hodnot od 50 do 90000000. Byla vytvořena proto, aby uživateli umožňovala přehled a zpětnou vazbu při nastavování vhodného doby měření. Je předávána jak na čelní panel pro kontrolu, tak i do smyčky v aplikaci `Sweep Time auto tuning` (SubVI), která nastavuje hodnotu doby měření právě tak, aby byla co nejnižší a přitom aby kontrolka `UNCAL` byla zhasnutá. Proměnná `Sweep Time` je číselného typu číslo.

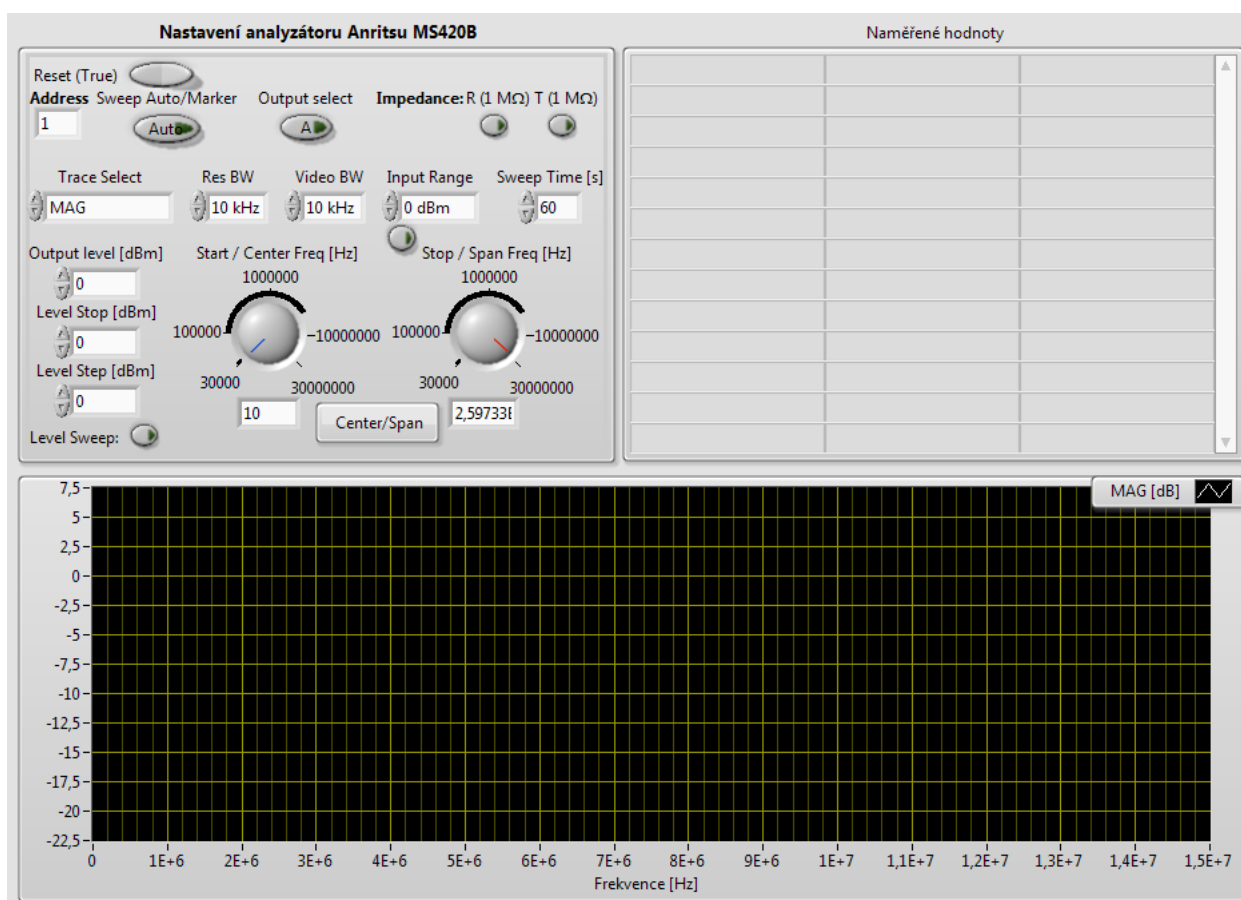
4. UNCAL

Globální proměnná `UNCAL` slouží k předávání stavu stejnojmenné kontrolky na čelním panelu spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B, která slouží k upozornění na příliš krátkou dobu měření a tím výskyt chyby měření. Tento stav je samozřejmě nežádoucí. Tato kontrolka je předávána opět jak na čelní panel pro vizuální kontrolu uživatelem, tak do aplikace `Sweep Time auto tuning` (SubVI), kde slouží právě jako rozhodující podmínka pro ukončení cyklu nastavování doby měření.

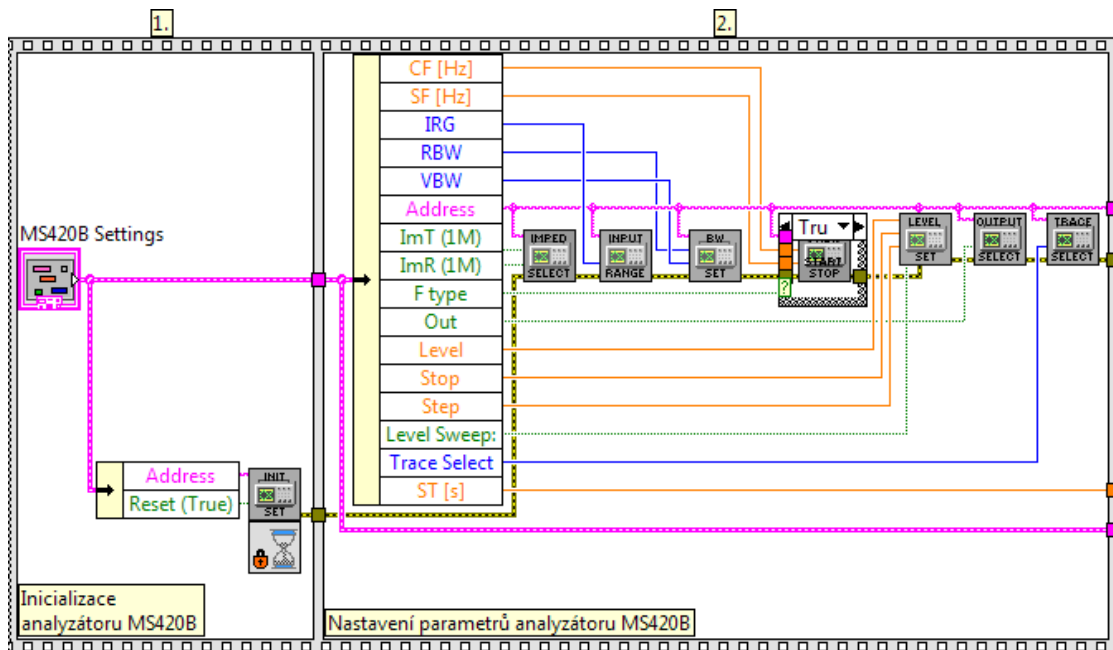
4.2 Ukázková aplikace pro ovládání analyzátoru MS420B

Aplikace `Measure.vi` je ukázkovou aplikací umožňující spouštění typických měřících úloh měření spektra, fáze, přenosu či impedance.

Tato měřicí aplikace je řízena postupnou sekvencí, rozdělenou do šesti částí. V první části je spektrální analyzátor inicializován, případně nastaven do základního nastavení a kurzor myši je nastaven do ukazatele stavu zaneprázdněn, znemožňující kliknutí na ovládací prvky a znázorňující, že aplikace pracuje. V druhé části postupné sekvence se provádí uživatelem zvolené nastavení přístroje, vyjma parametrů `Sweep Time` a `Input Range`.

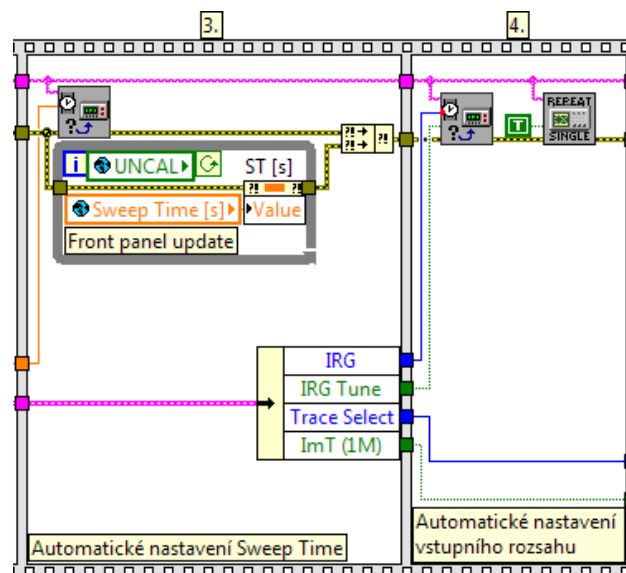


Obr. 4.3: Čelní panel aplikace pro řízení analyzátoru MS420B



Obr. 4.4: Počáteční dvě části sekvence měřicí aplikace s použitím analyzátoru MS420B

V následujících částech sekvence dojde k nastavení zbývajících dvou parametrů - Sweep Time a Input Range. Tyto hodnoty uživatel zadá v libovolném rozsahu a jsou nastaveny automaticky tak, aby nebyly vstupy přetíženy a kontrolka Uncal byla zhasnutá. Zároveň je spuštěno měření.

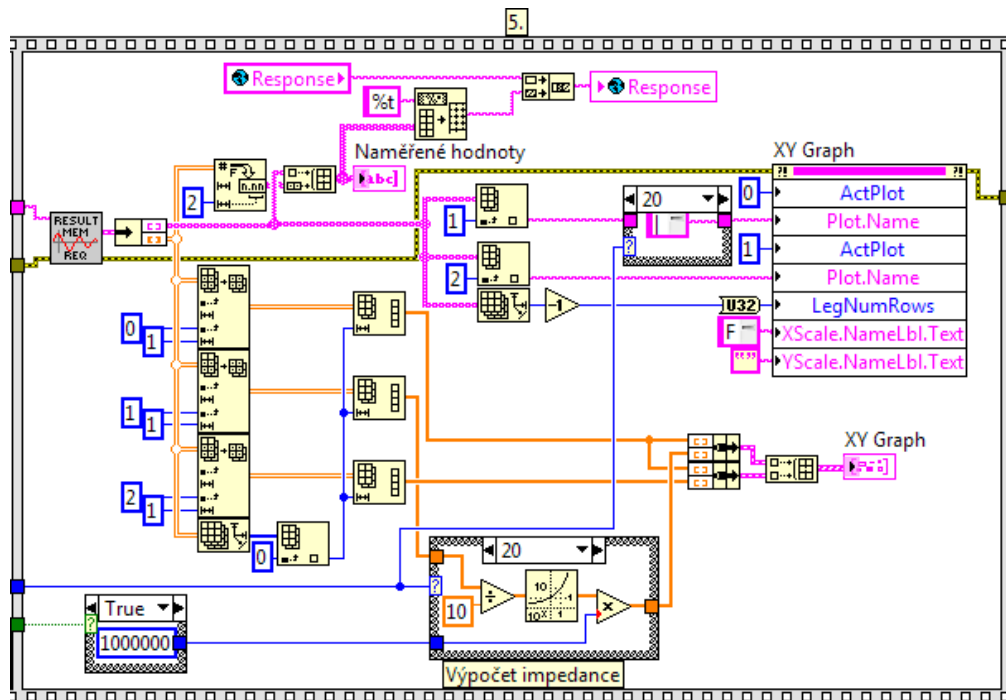


Obr. 4.5: 3. a 4. část sekvence měřicí aplikace s použitím analyzátoru MS420B

V předposlední 5. části řídicí sekvence dochází ke čtení změřených dat. Pokud bylo uživatelem nastaveno, že se má měřit impedance, je vypočten modul změřené impedance dle vztahu

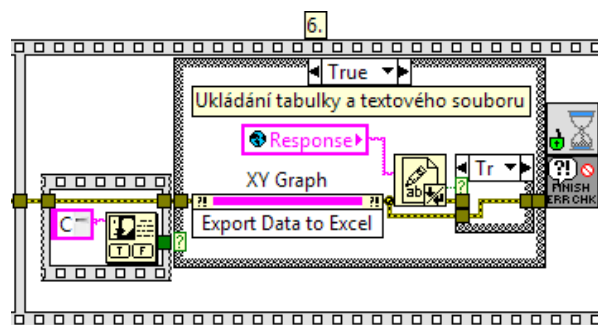
$$Z = Z_0 \cdot 10^{\frac{MAG}{10}} \angle \theta \quad [dB] \quad (4.4)$$

kde Z je měřená normovaná impedance vůči impedanci analyzátoru MS420B
 $MAG [dB]$ je hodnota přenosu změřená analyzátozem MS420B
 $\theta [^\circ]$ je fáze změřená analyzátozem MS420B



Obr. 4.6: Pátá část sekvence měřicí aplikace s použitím analyzátoru MS420B

V poslední části sekvence aplikace pomocí dialogového okna nabídne možnost uložit naměřené hodnoty pomocí metody export dat z grafu do souboru ve formátu pro aplikaci MS Excel. Zároveň také uloží naměřené hodnoty do textového souboru.



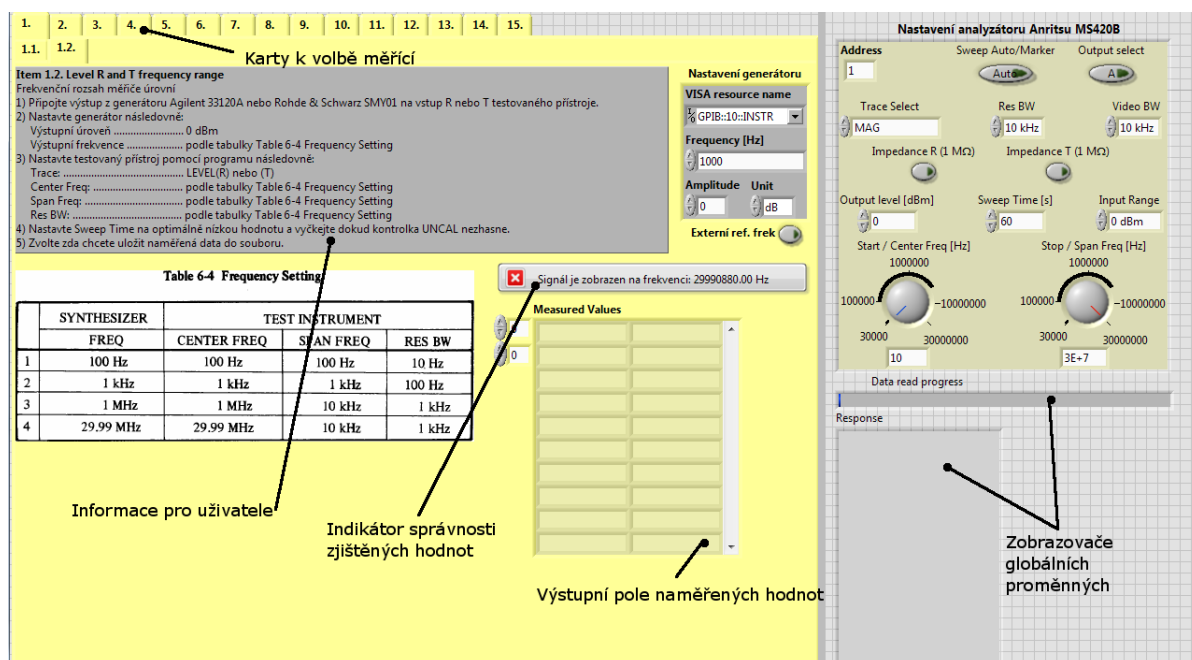
Obr. 4.7: Konec sekvence měřicí aplikace s použitím analyzátoru MS420B

4.3 Aplikace Performance Tests

Aplikace **Performance Tests** slouží k provádění kompletní sady testů ověření parametrů analyzátoru Anritsu MS420B dle doporučení výrobce.

Záložky jsou označeny čísly 1. až 15. Tato čísla odpovídají číslování částí kalibrační procedury přístroje v [5, kapitola 6.4.].

K volbě prováděného testu záložky v záhlaví informačního okna. V informačním okně jsou zobrazeny informace jak postupovat při nastavení parametrů pro jednotlivé testy a případně také výsledné naměřené hodnoty a grafy. Požadavky na nastavení parametrů je třeba dodržovat, aby bylo měření provedeno v souladu s kalibrační procedurou předepsanou výrobcem analyzátoru Anritsu MS420B. Některá nastavení předepsaná výrobcem nejsou v informačním okně uvedeny. Možnost jejich nastavení uživatelem byla potlačena, z důvodu větší přehlednosti ovládacího panelu a minimalizaci výskytu chyby obsluhy. Pokud je v informačním okně uvedeno, že má být signál přiveden na vstup R nebo T přístroje, znamená to, že měření má být provedeno jednotlivě pro oba vstupy. Při některých testech je potřeba použít k měření externí měřící vybavení a nebo další přístroje. Nastavení těchto je individuálně umožněno v příslušném okně nastavení, jež je popsáno názvem požadovaného zařízení, pro zvýšení čitelnosti pro obsluhu.

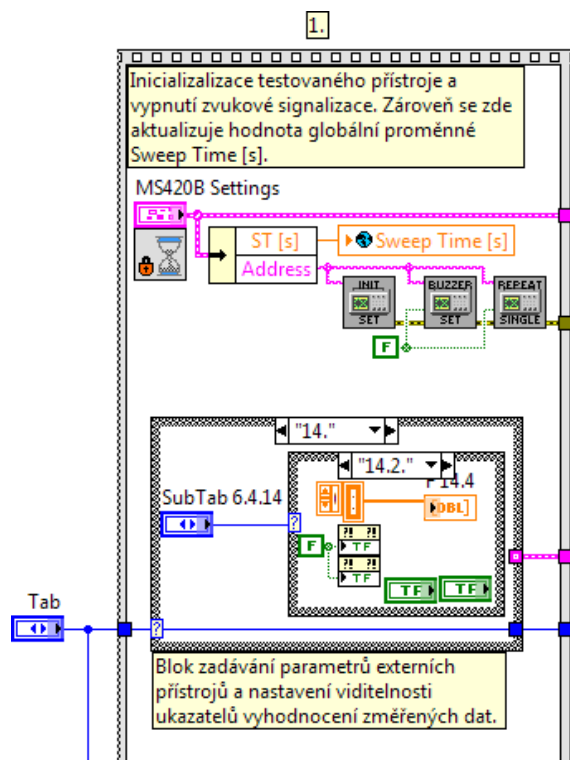


Obr. 4.8: Popis čelního panelu aplikace Performance Tests

Nastavení testovaného přístroje se provádí v okně Nastavení analyzátoru Anritsu MS420B. Zde jsou k dispozici nastavení přístroje, která jsou společná pro všechny či většinu částí kalibrační procedury. Nastavovací prvky pro speciální funkce, využívané jen v několika určitých částech kalibrační procedury, nejsou uživatelem nastavitelná a jsou v G-kódu nastavovány přímo jako konstantní parametr. Aplikace je optimalizována pro rozlišení obrazovky 1280×800 pixelů, což je doporučeno při spuštění zachovat, jinak dojde ke škálování prvků na čelním panelu a vzhled a přehlednost pracovních oken může být snížena.

Aplikace se sama o sobě skládá ze čtyř modulů. První modul slouží k inicializaci testovaného přístroje, vypnutí zvukové signalizace přístroje a spuštění kontinuálního měření. K tomu jsou využity 3 subaplikace, neboli SubVI, a to **Initialize**, **Buzzer** a **Re-**

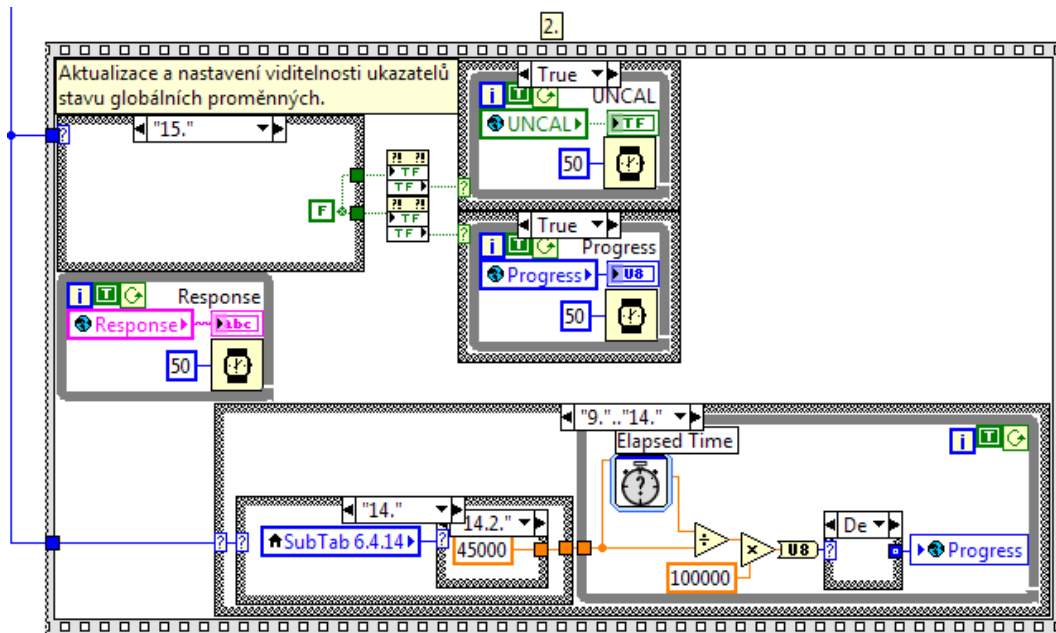
peat/Single. Dále jsou v tomto modulu inicializovány globální proměnné a případně připraveno nastavení zobrazení indikátorů vyhodnocení změřených dat či ovládacích prvků k externím měřicím přístrojům.



Obr. 4.9: Modul č.1 aplikace Performance Tests

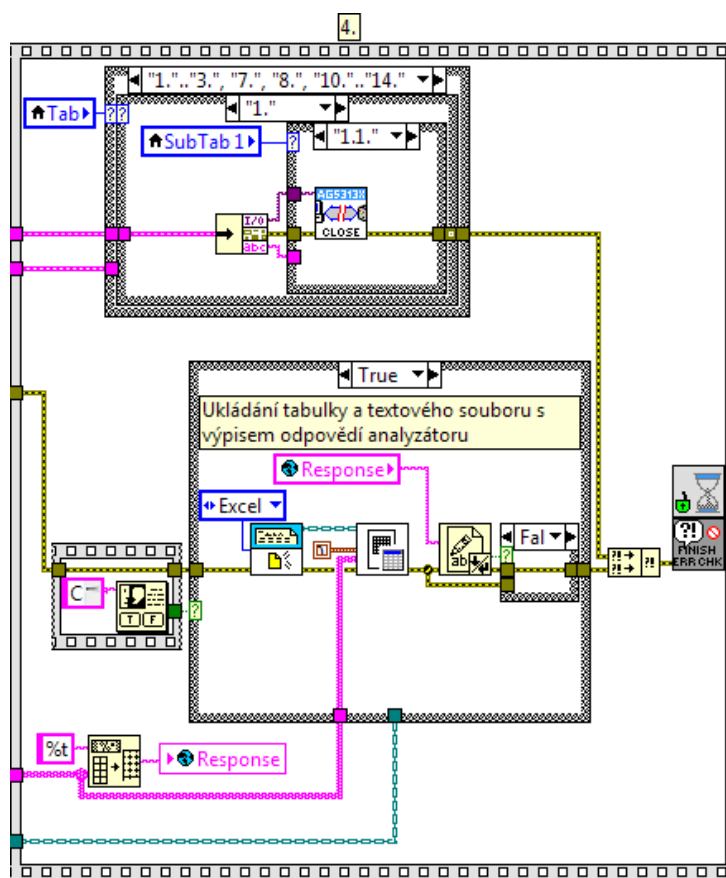
Druhý modul slouží k nastavení zobrazování ukazatelů globálních proměnných podle toho, jaké měření probíhá. Viditelnost jednotlivých prvků je nastavena funkcí *Property Node*, což umožňuje velkou variabilitu při nastavování různých parametrů těchto ukazatelů.

Třetí modul této aplikace je proměnný. Mění se v závislosti na tom, která záložka je vybrána a tedy které měření bude nastavováno a prováděno. Spustitelných subaplikací je v tomto modulu celkem 17 a všechny blokové diagramy těchto aplikací jsou součástí této práce jako přílohy, viz D (Blokové diagramy jednotlivých procedur jsou uloženy v plném rozlišení ve formátu *.eps* na přílohovém CD ve složce *Přílohy*). Při tvorbě tohoto modulu byly stejně jako při tvorbě všech ostatních částí programu využity pouze aplikace obsažené v knihovně řídicích aplikací pro automatizované řízení spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B a aplikace obsažené v knihovnách řídicích aplikací externích přístrojů popsanych v kapitole 3.1. Tyto knihovny jsou k dispozici na internetových stránkách výrobců použitého zařízení. Pouze k řízení programovatelného atenuátoru Tesla BM577 byla v rámci této práce vytvořena řídicí aplikace umožňující automaticky ovládat tento přístroj. Přesná funkce všech subaplikací je popsána komentáři v blokovém diagramu a vychází z předepsaných postupů kalibračních procedur doporučených výrobcem testovaného přístroje.



Obr. 4.10: Modul č.2 aplikace Performance Tests

Poslední modul aplikace **Performance Tests** provádí tři úkony. Zaprvé vytváří dialogové okno, které umožňuje uživateli vytvoření datového souboru ve formátu .xlsx, kde budou uloženy všechny změřené hodnoty včetně jejich popisů. Dále vytváří druhé dialogové okno umožňující uživateli zvolit si jméno a umístění textového souboru, ve kterém budou uloženy naměřené hodnoty ve formě řetězce s hodnotami oddělenými znakem Tab, které jsou navíc předcházeny výpisem odpovědi spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B na zadávaná nastavení, takže je možné i ověřit správnou funkci a průběh programu aplikace. Poslední funkcí tohoto modulu je ukončení komunikace s externími měřidly, pokud jsou při zvolené kalibrační proceduře vyžadovány a ukončení celého běhu aplikace včetně vyhodnocení, zda v průběhu procesu nedošlo k chybě.



Obr. 4.11: Modul č.4 aplikace Performance Tests

5

Závěr

Výsledky řešení diplomové práce lze shrnout do následujících bodů:

- Provedena analýza spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B včetně ověření jeho funkce pomocí kalibračních procedur a měření parametrů.
- Vytvořena knihovna řídicích aplikací v prostředí LabVIEW 2011, umožňující kompletní ovládání spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B.
- Vytvořena aplikace **Performance Tests** v prostředí LabVIEW 2011, umožňující automatizované měření kalibračních procedur na spektrálním analyzátoru Anritsu MS420B a export změřených dat do tabulkového a textového souboru.
- Vytvořena aplikace **Measure** v prostředí LabVIEW 2011, umožňující automatizované měření typických charakteristik dvojbranů, včetně exportu naměřených dat do textového a tabulkového souboru.

Při testování přístroje Anritsu MS420B byly zjištěny závady, popsané v kapitole 3.2. Zjištěné závady pravděpodobně bude možné odstranit. Za tímto účelem bylo pro další kroky doporučeno zajištění servisního manuálu k přístroji.

Výsledné aplikace vytvořené jako součást této práce jsou plně funkční, bez známých závad, které by omezovaly možnosti práce s nimi nebo snižovaly přesnost měření. Zároveň však lze konstatovat, že aplikace **Performance Tests** je v současné formě poněkud náročná na paměť řídicího PC, a proto by v rámci dalšího vývoje bylo vhodné tuto aplikaci upravit, například s využitím funkce objektů, které by mohly reprezentovat jednotlivé procedury kalibračního měření a tím by bylo jistě možné výrazně snížit nároky na řídicí počítač a zrychlit práci programu. Rovněž by bylo možné rozšířit dokumentaci k celé aplikaci, bohužel při vývoji aplikací docházelo neustále k určitým vylepšením a po dokončení finální verze nebylo z časových důvodů možné dokumentaci více rozpracovat. I tak však jistě poslouží svému účelu, jelikož je uživatelské rozhraní aplikací uživatelsky přívětivé a odpovídá označením parametrů na čelním panelu přístroje.

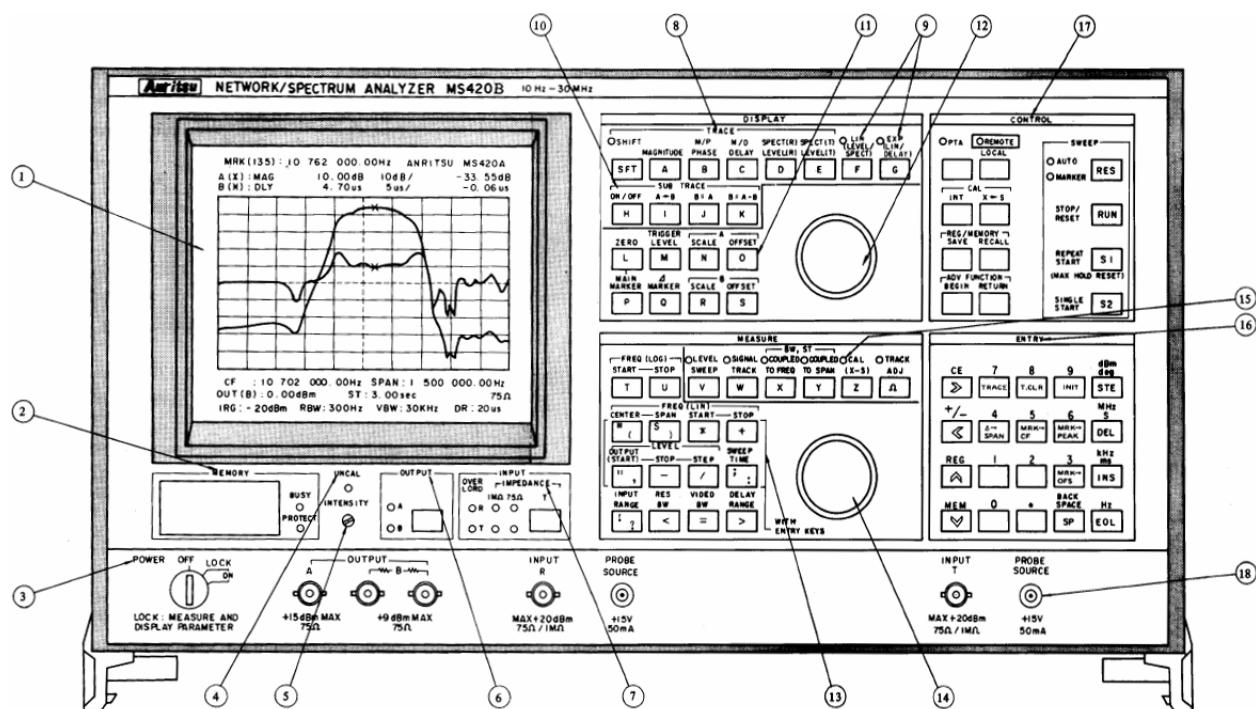
Literatura

- [1] Rauchner, Christoph. *Fundamentals of Spectrum Analysis*. Rohde & Schwarz, 2005. ISBN 978-3-939837-01-5.
- [2] Agilent Technologies, Inc. *Spectrum Analysis Basics*. Agilent Technologies, Inc, 2004.
- [3] National Instruments. *LabVIEW™ Help*. National Instruments, 2011.
- [4] Vlach, Jaroslav. *Začínáme s LabVIEW™*. BEN - Technická literatura, 2011. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [5] Anritsu Electric Co., Ltd. *Operational Manual - Network/Spectrum Analyzer MS420B*. Anritsu Electric Co., Ltd.
- [6] Anritsu Electric Co., Ltd. *Operational Manual - MS420B GPIB Interface*. Anritsu Electric Co., Ltd.
- [7] Hewlett Packard. *Operating Guide - HP 53131A/132A 225 MHz Universal Counter*. Hewlett Packard, 1999.
- [8] Gilliam-FEI. *Katalogový list Picosync II GPS Engine*. Gilliam-FEI.
- [9] Agilent Technologies, Inc. *Katalogový list Agilent 33120A Function/Arbitrary Waveform Generator*. Agilent Technologies, Inc., 2004. 5968-0125EN.
- [10] Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG. *Katalogový list Signal Generators SMY*. Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG.
- [11] Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG. *Operating Manual Signal Analyzer FSIQ7*. Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG.
- [12] Tesla Brno, s.p. *Katalogový list Programovatelného proměnného atenuátoru Tesla BM577*. Tesla Brno, s.p., 1981.
- [13] Documents & Resources for Small Businesses & Professionals. *IEEE-488 Interface Bus (HP-IB/GP-IB) [online]*. [Cit. 26. 3. 2012]. Dostupné z: <http://www.docstoc.com>

- [14] Firstová, Zdeňka. *Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Plzeň: Univerzitní knihovna ZČU v Plzni, 2011. [Cit. 2. 1. 2012]. Dostupné z: <http://www.iso690.zcu.cz>

Příloha A

Čelní panel analyzátoru MS420B popis tlačítek



Obr. A.1: Čelní panel spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B [Převzato z [5]]

Tab. A.1

Číslo	Popis funkce
1	CRT obrazovka
2	MEMORY: Vstup pro PBM paměťový modul a kontrolka
3	POWER: Přepínač napájení
4	UNCAL: Kontrola nepřesného měření
5	INTENSITY: Ovladač jasu obrazovky
6	OUTPUT: Přepínač výstupního signálu syntezátoru
7	INPUT: Indikátor vstupní impedance, kontrolka přetížení vstupů a tlačítko přepínání impedance vstupu T
8	TRACE: Přepínač následujících měřících funkcí: MAGNITUDE PHASE DELAY MAGNITUDE/PHASE MAGNITUDE/DELAY LEVEL(R) LEVEL(T) SPECT(R) SPECT(T)
9	LIN, EXP: Přídavná tlačítka pro měření úrovně, spektra a zpoždění
10	SUB TRACE: Umožňuje nastavit následující funkce paměti: $A \rightarrow B$: Uloží měřené hodnoty do paměti B. $B = A$: Zobrazí uložené měřené hodnoty na CRT s jiným měřítkem. $B = A - B$: Odečte hodnoty v paměti B od měřených hodnot a zobrazí výsledek na CRT.
11	Tyto tlačítka slouží k úpravě parametrů zobrazení hodnot na CRT. Nastavení přesných hodnot se provádí otočným prvkem číslo 12. A-SCALE, OFFSET B-SCALE, OFFSET MAIN MARKER Δ MARKER

Tabulka pokračuje na další straně...

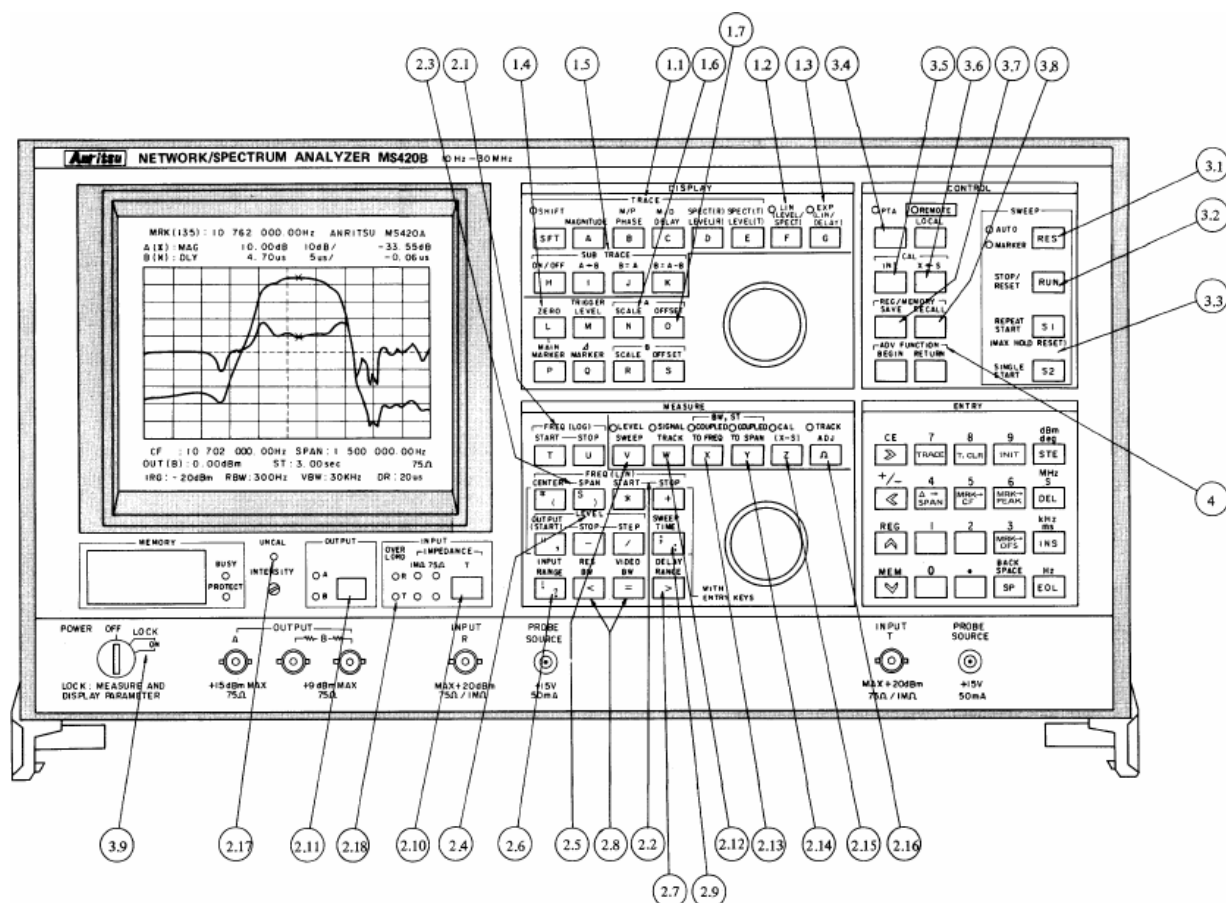
Tab. A.1 – pokračování

Číslo	Popis funkce
	ZERO MARKER TRIGGER LEVEL
12	Otočný prvek A
13	Tyto tlačítka slouží k volbě parametru měření, který bude nastavován. Nastavení přesných hodnot se provádí otočným prvkem číslo 14 nebo pomocí ENTRY kláves, číslo 16. Frekvenční rozsah a režim rozmítání Výstupní úroveň syntezátoru SWEEP TIME (Čas rozmítání) INPUT RANGE (Vstupní rozsah) RES BW (Frekvenční rozlišení) VIDEO BW (Šířka pásma video filtru) DELAY RANGE (Rozsah měření zpoždění)
14	Otočný prvek B
15	Tyto klávesy nastavují následující měřicí funkce: LEVEL SWEEP (Rozmítání úrovně syntezátoru) SIGNAL TRACK COUPLED TO FREQ COUPLED TO SPAN CAL (X-S) TRACK ADJ
16	ENTRY: Klávesnice k nastavení hodnot číselných parametrů měření a adres paměťových pozic pro SAVE a RECALL.
17	Tyto klávesy nastavují následující ovládací funkce: PTA (Personal Test Automation) LOCAL CAL-INT CAL-X→S REG/MEMORY ADV FUNCTION SWEEP
18	Vstupní a výstupní konektory

Tab. A.1: Popis ovládacích prvků čelního panelu spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B

Příloha B

Čelní panel analyzátoru MS420B GP-IB funkce



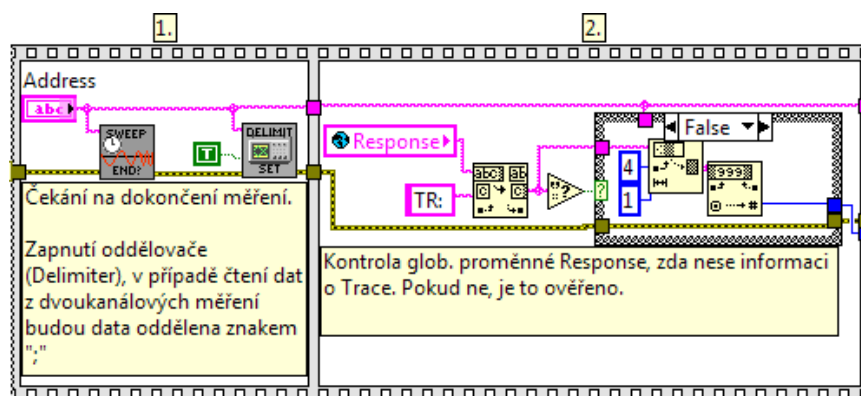
Obr. B.1: Čelní panel spektrálního analyzátoru Anritsu MS420B s označením ovládacích prvků pro komunikaci pomocí GP-IB [Převzato z [6]]

Item number	Function	Control message	Data request message
1.1	TRACE	TRm	TRR
1.2	LIN/IF ATT/TRIGGER LEVEL	LIn, m, ℓ	LIR
1.3	EXP	EXn	EXR
1.4	MARKER	MKm, ℓ	MKR
1.5	SUB TRACE	AXn, m	AXR
1.6	SCALE A/B	SCm1, m2	SCR
1.7	OFFSET A/B	OFℓ1, ℓ2	OFR
2.1	LOG START/STOP FREQUENCY	FLm1, m2	FLR
2.2	START/STOP FREQUENCY	FSℓ1, ℓ2	FSR
2.3	CENTER/SPAN FREQUENCY	FCℓ1, ℓ2	FCR
2.4	START (OUTPUT)/STOP/STEP LEVEL	LLℓ1, ℓ2, ℓ3	LLR
2.5	LEVEL SWEEP	LWn	LWR
2.6	INPUT RANGE	IRm	IRR
2.7	DELAY RANGE	DRm	DRR
2.8	RES/VIDEO BW	BWm1, m2	BWR
2.9	SWEEP TIME	STℓ	STR
2.10	IMPEDANCE (R)/(T)	IMm1, m2	IMR
2.11	OUTPUT A/B	OPm	OPR
2.12	SIGNAL (AUTO) TRACK	ATn	ATR
2.13	COUPLED TO FREQ	CFn, m	CFR
2.14	COUPLED TO SPAN	CPn	CPR
2.15	CAL X-S	XSn	XSR
2.16	TRACK ADJ	BTn, ℓ	BTR
2.17	UNCAL		UCR
2.18	OVER LOAD		OVR
3.1	SWEEP AUTO/MARKER	AMn	AMR
3.2	SWEEP STOP/RESET	MEm	MER
3.3	SWEEP REPEAT/SINGLE START	MSm	
3.4	PTA (OPTION 01)	PTn	PTR
3.5	INTERNAL CAL	IT	
3.6	X → S CAL	CS	
3.7	SAVE	SVm1, m2	
3.8	RECALL	RCm1, m21	
3.9	INITIAL SET	IN	
4.1	INTEGRATING	IGn	IGR
4.2	MAX. HOLD	MHn	MHR
4.3	FREQUENCY COUNT	FOn	FOR
4.4	SWEEP MARKER	SMn	SMR
4.5	BUZZER	BZn	BZR
4.6	AUTO CAL. TIMER	CTℓ	CTR
4.7	TITLE	TT, abc,	TTR
4.8	SRQ	SQn	SQR
4.9	DELIMIT	DMn	DMR
4.10	SEND		SDR
5.1	FREQUENCY MEMORY	FQℓ	FRQℓ1, ℓ2
5.2	LEVEL MEMORY	LVℓ	LVRℓ1, ℓ2
5.3	Measurement memory for channel A	XAℓ	XARℓ1, ℓ2
5.4	Measurement memory for channel B	XBℓ	XBRℓ1, ℓ2
5.5	S memory for channel A	SAℓ	SARℓ1, ℓ2
5.6	S memory for channel B	SBℓ	SBRℓ1, ℓ2
5.7	Reading measurement results		MMRℓ1, ℓ2
6.1	Display deletion	CRm	
6.2	Character display	CCm, X, Y	
6.3	Graphic display	CGm, X1, Y1, X2, Y2	

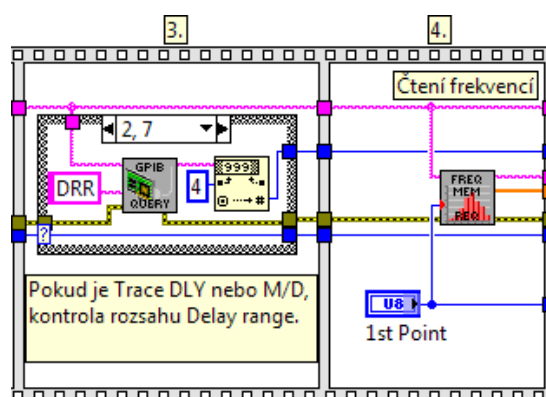
Obr. B.2: Seznam příkazů pro komunikaci prostřednictvím GP-IB. [Převzato z [6]]

Příloha C

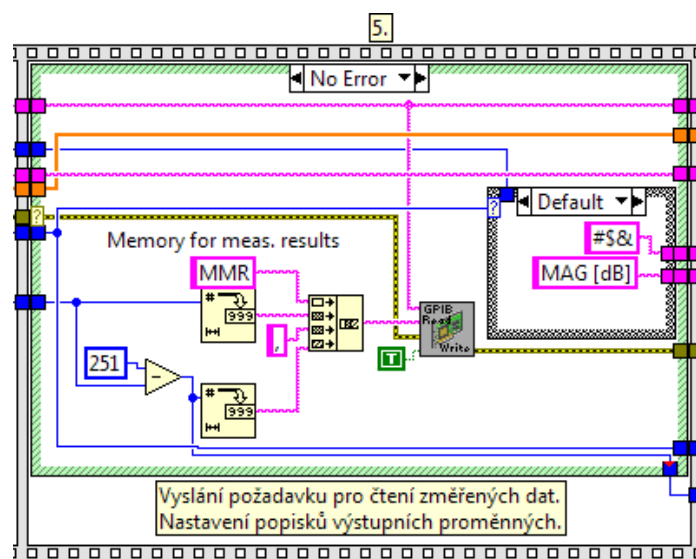
Blokový diagram aplikace Measurement results read (SubVI)



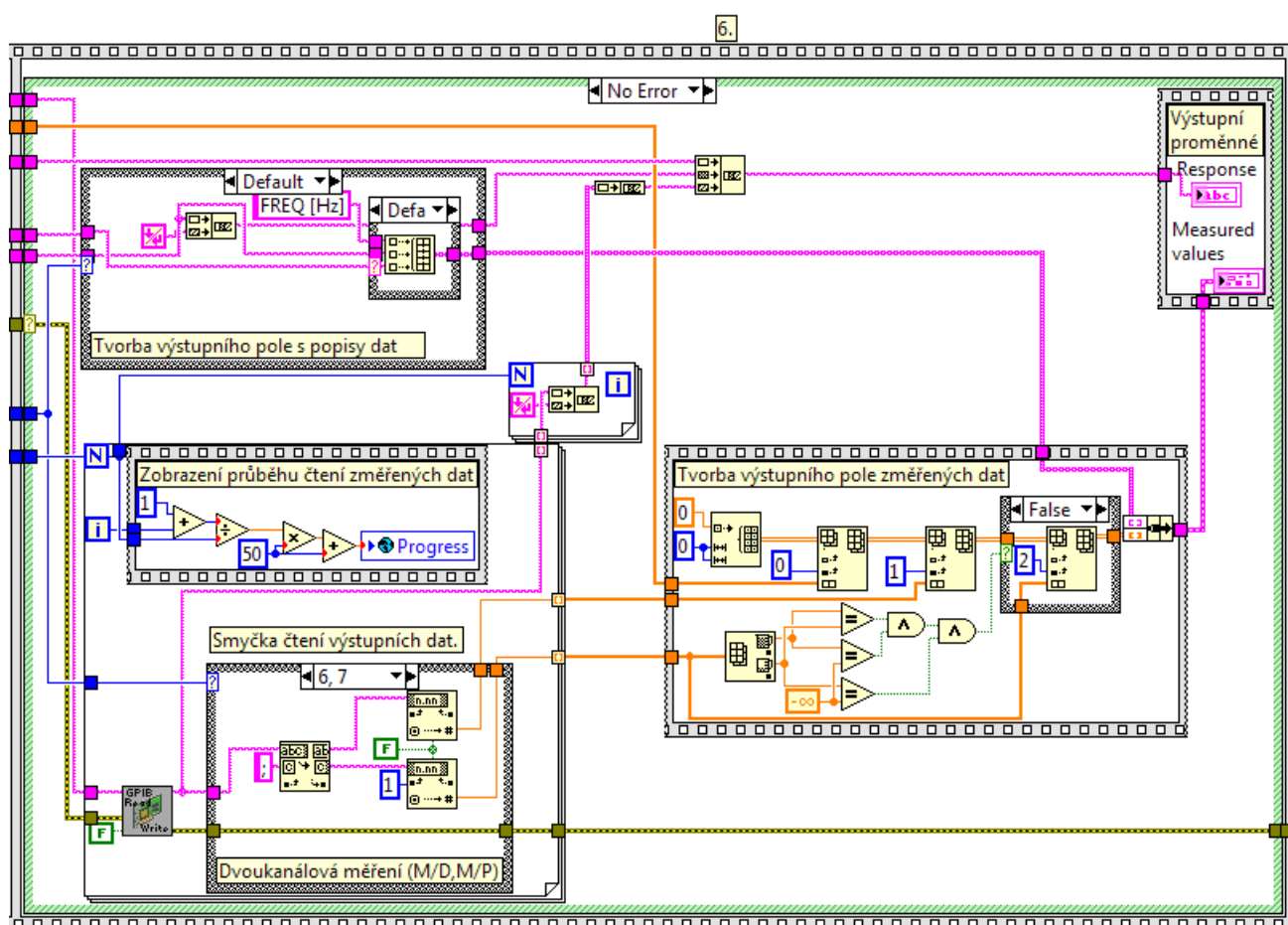
Obr. C.1: První dva kroky sekvence v aplikaci Measurement results read (SubVI)



Obr. C.2: 3. a 4. krok sekvence v aplikaci Measurement results read (SubVI)



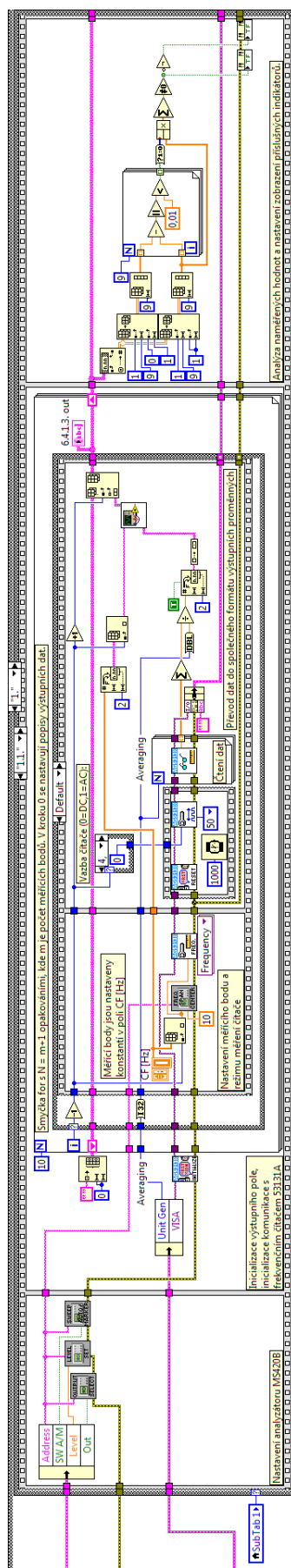
Obr. C.3: 5. krok sekvence v aplikaci Measurement results read (SubVI)



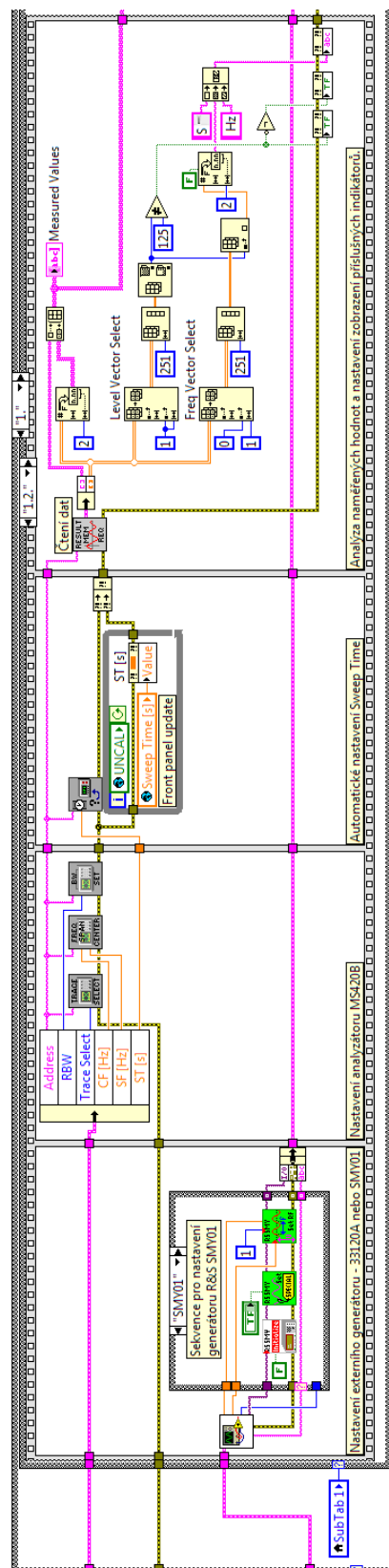
Obr. C.4: Poslední krok sekvence v aplikaci Measurement results read (SubVI)

Příloha D

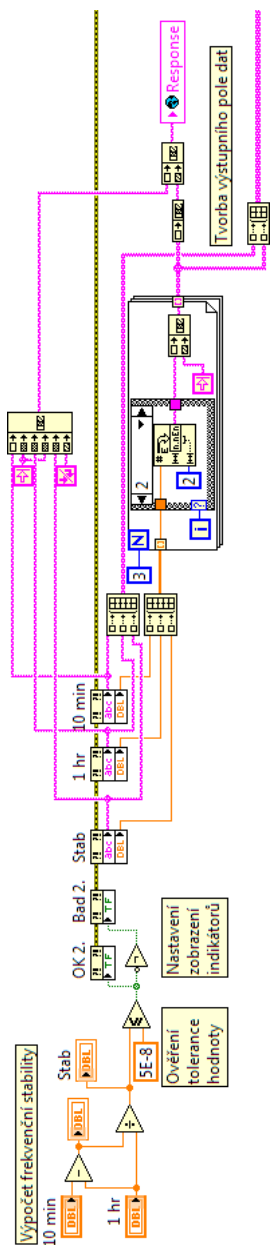
Blokové diagramy třetího modulu aplikace Performance Tests)



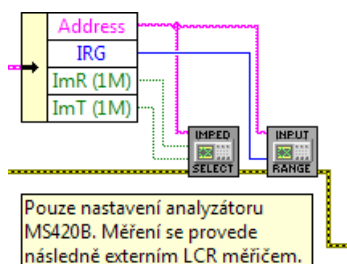
Obr. D.1: Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Frekvenční rozsah část 1., viz 3.2



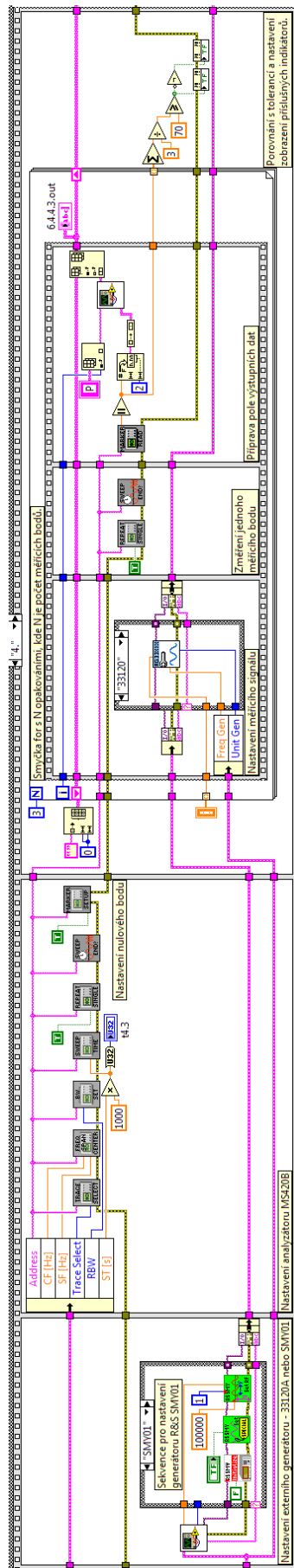
Obr. D.2: Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Frekvenční rozsah část 2., viz 3.2



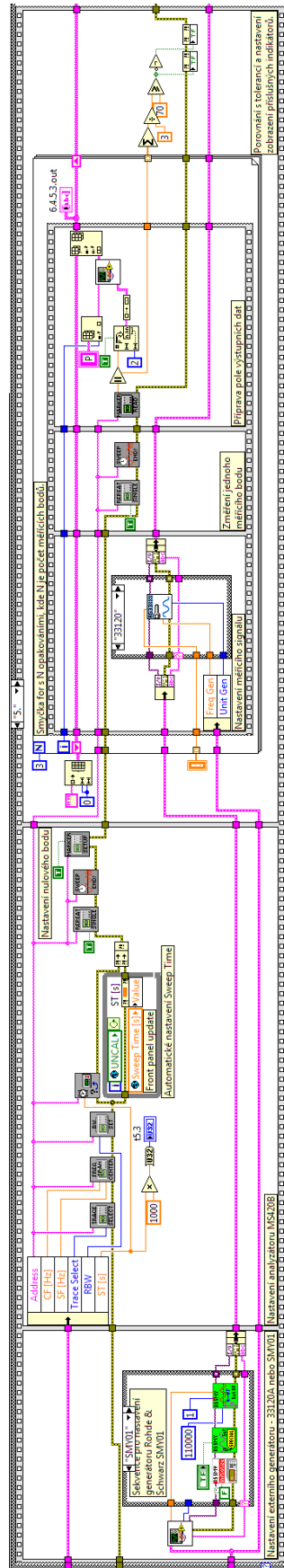
Obr. D.3: Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Stabilita referenčního krystalového oscilátoru, viz 3.2



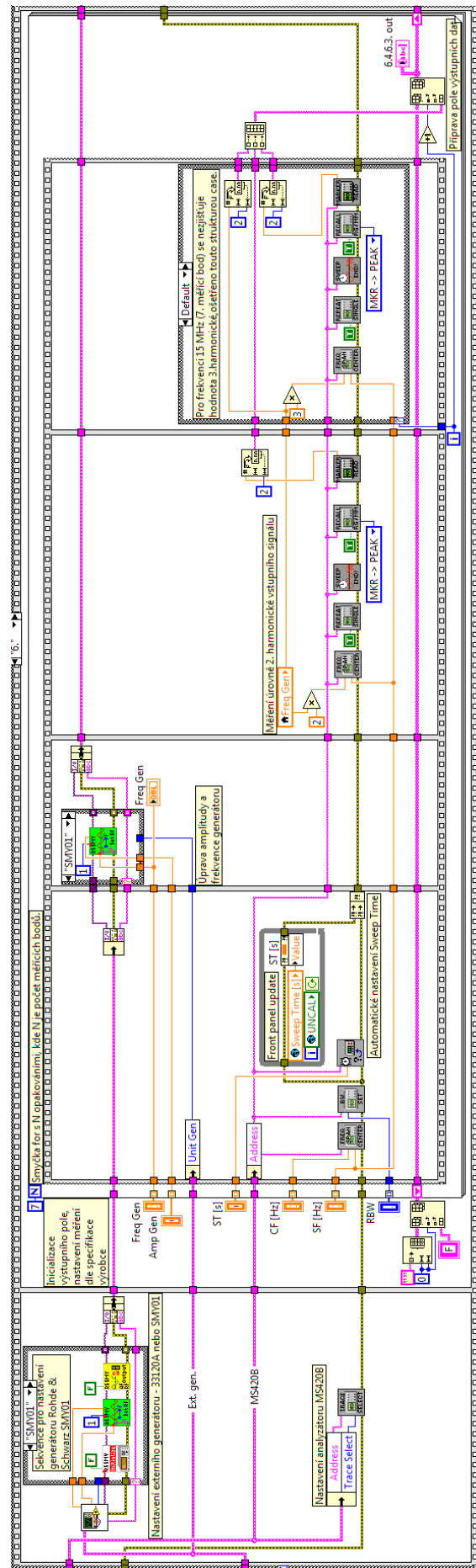
Obr. D.4: Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Vstupní impedance, viz 3.2



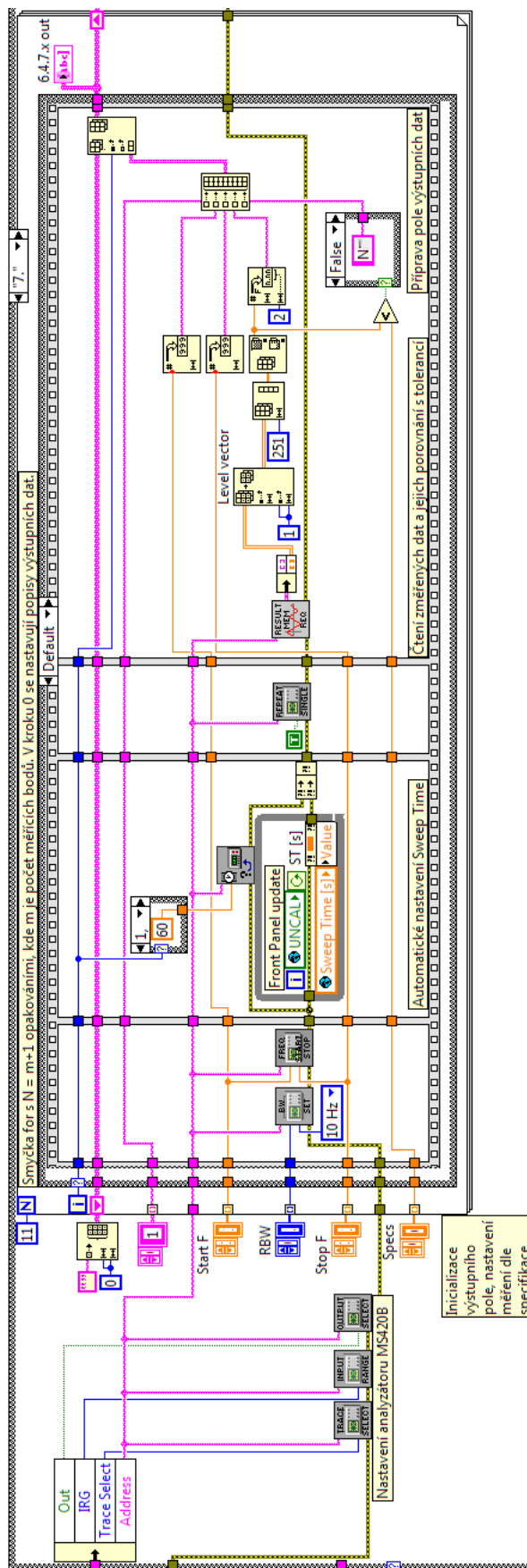
Obr. D.5: Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Potlačení obrazové frekvence, viz 3.2



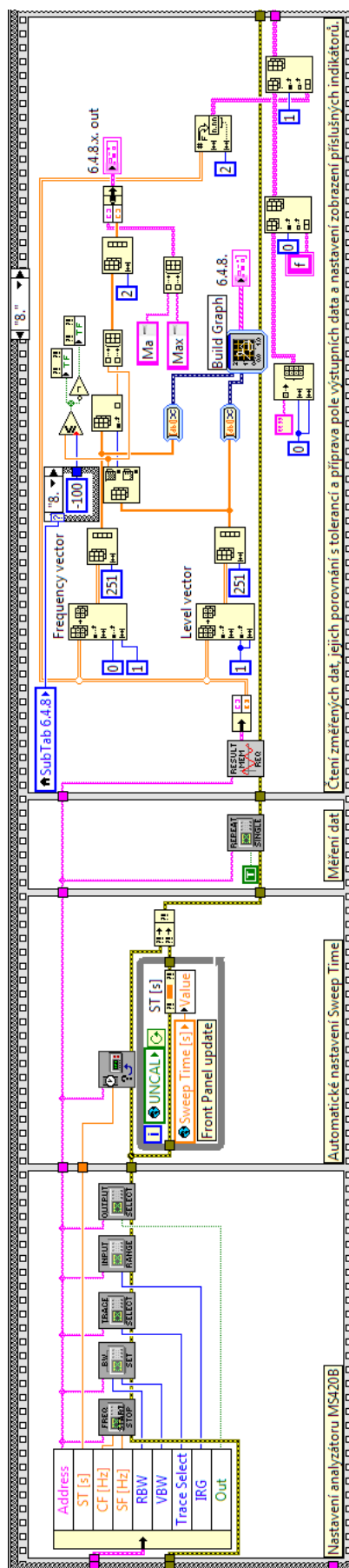
Obr. D.6: Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Potlačení mezifrekvence, viz 3.2



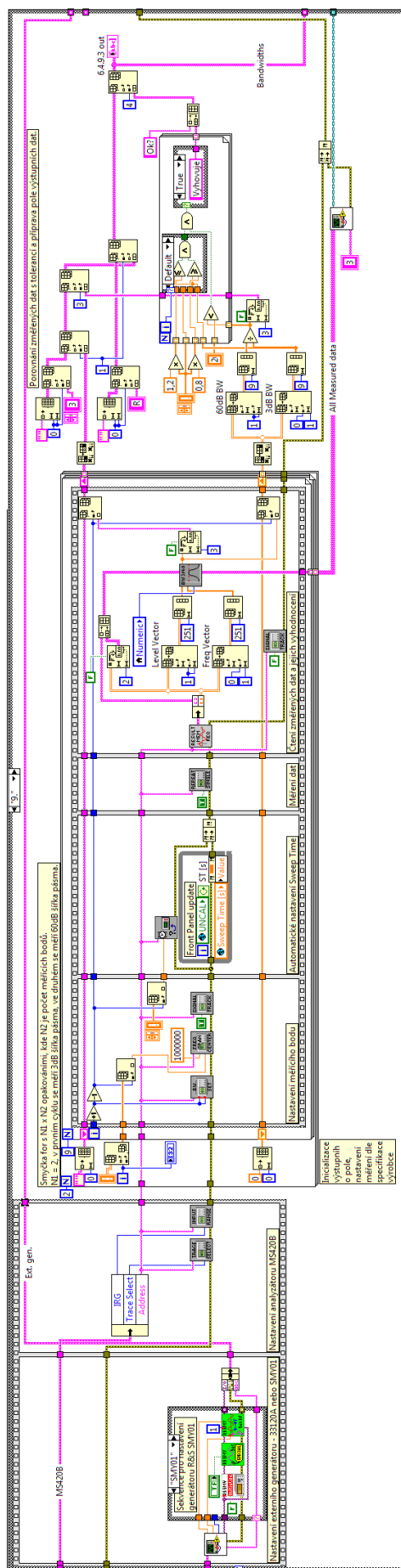
Obr. D.7: Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Vnitřní zkreslení, viz 3.2



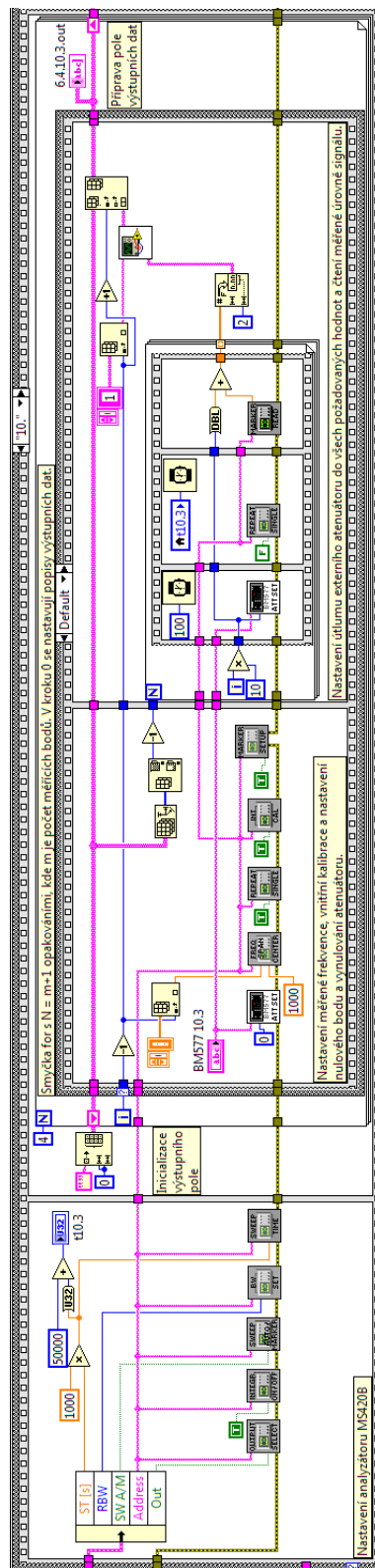
Obr. D.8: Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Střední úroveň šumu, viz 3.2



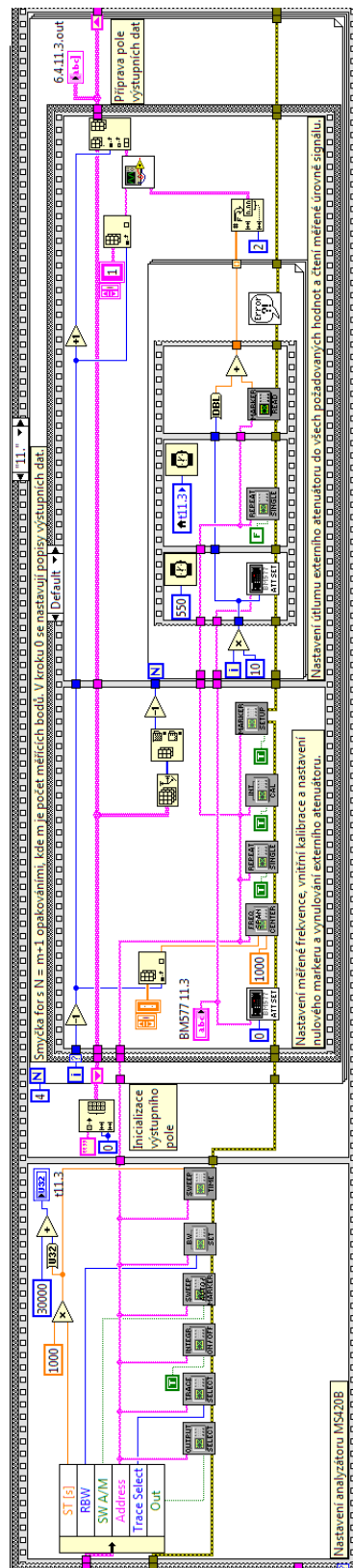
Obr. D.9: Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Přeslechy, viz 3.2



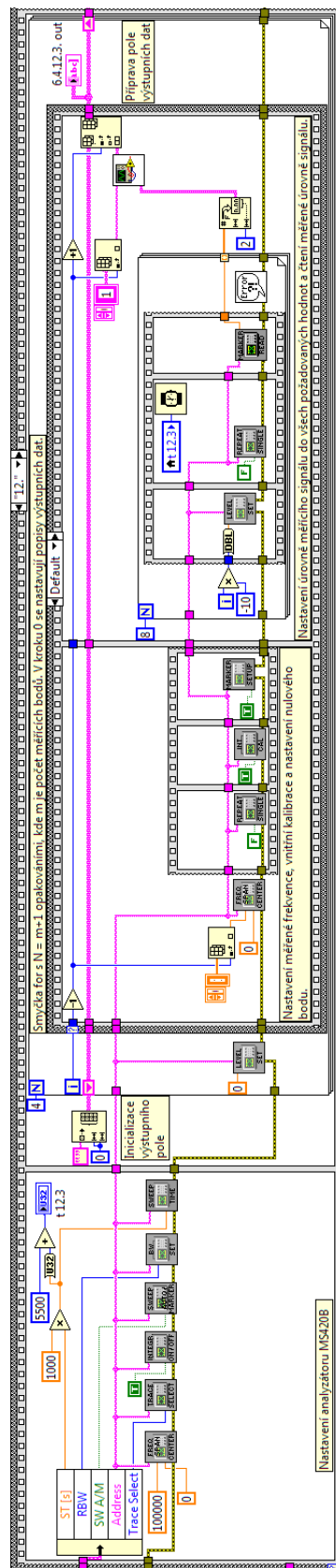
Obr. D.10: Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Frekvenční rozlišení, viz 3.2



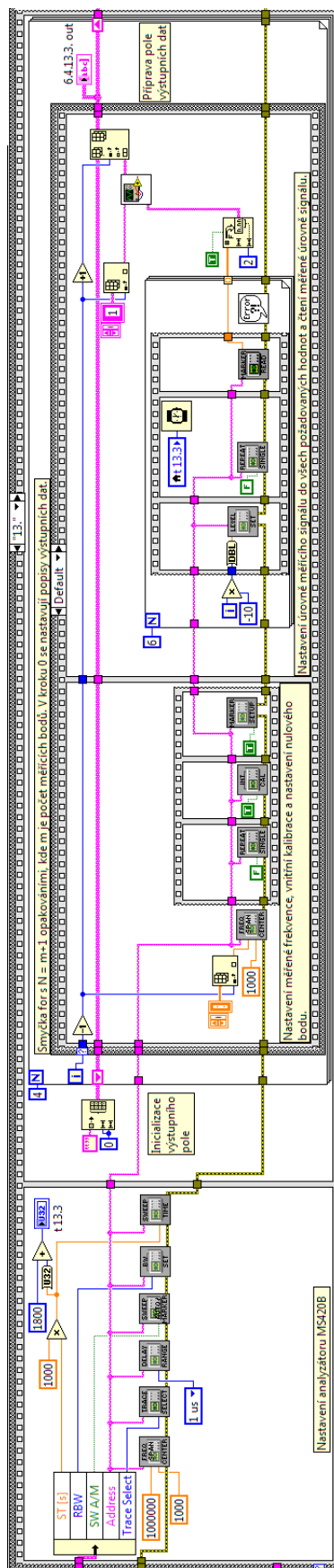
Obr. D.11: Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Linearita měření přenosu, viz 3.2



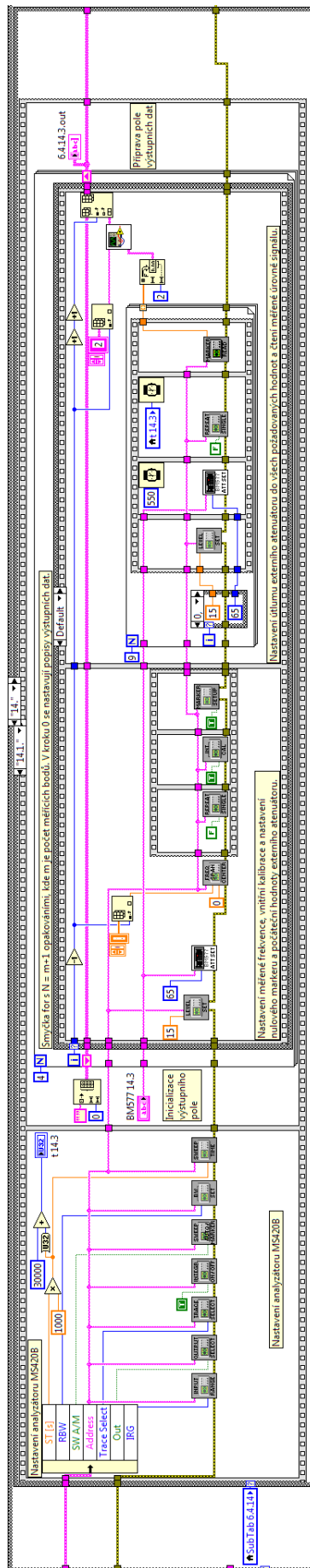
Obr. D.12: Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Linearita měření úrovně/spektra, viz 3.2



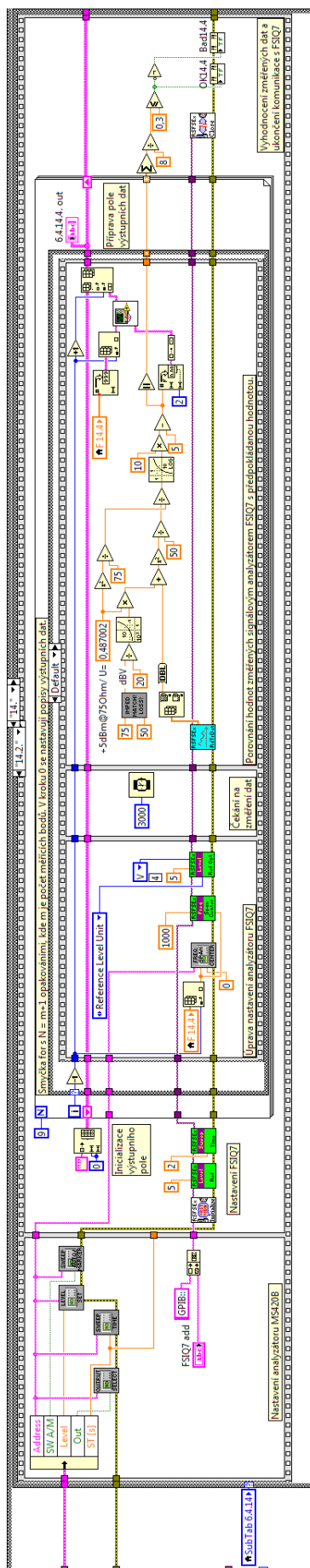
Obr. D.13: Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Linearita měření fáze, viz 3.2



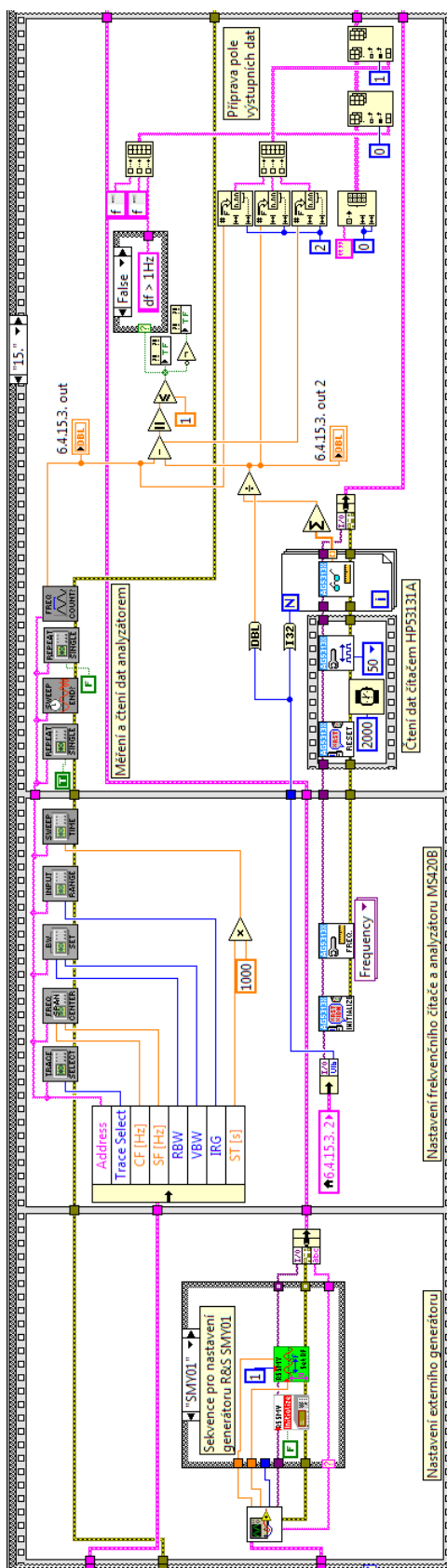
Obr. D.14: Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Linearita měření skupinového zpoždění, viz 3.2



Obr. D.15: Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Výstup syntezátoru analyzátoru MS420B část 1., viz 3.2



Obr. D.16: Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Výstup syntezátoru analyzátoru MS420B část 2., viz 3.2



Obr. D.17: Blokový diagram aplikace pro kalibrační měření Měření frekvence, viz 3.2