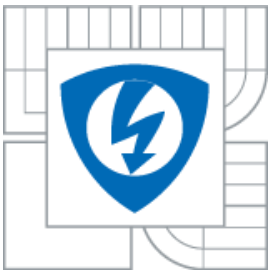
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

KOMUNIKAČNÍ ROZHRANÍ PRO OVLÁDÁNÍ SPEKTRÁLNÍHO ANALYZÁTORU

COMMUNICATION ENVIRONMENT FOR SPECTRAL ANALYZER CONTROL

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER´S THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. MARTIN SMĚLÍK
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. JIŘÍ DŘÍNOVSKÝ, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2011

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Bc. Martin Smělík ***ID:*** 72892
Ročník: 2 ***Akademický rok:*** 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Komunikační rozhraní pro ovládání spektrálního analyzátoru

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Podrobně prostudujte možnosti ovládání spektrálního analyzátoru Seaward Spektrum Analyzer, který je využíván pro měření elektromagnetického vyzařování. Tento spektrální analyzátor, lze ovládat pouze pomocí PC pomocí sběrnice RS-232. Navrhněte nezbytný hardware, který umožní řízení tohoto analyzátoru z PC a bude k němu připojován pomocí USB sběrnice.

Realizujte vámi navržený komunikační modul a také napište potřebné programové prostředí pro komunikaci s tímto spektrálním analyzátorem. Na analyzátoru proveďte demonstrační měření z oblasti EMC problematiky.

Ve vhodném vývojovém prostředí (např. VEE) proveďte měření vyzařování testovaného elektronického zařízení. Toto měření proveďte v různých prostorech s různou úrovní rušivého pozadí. V programu realizujte metodu "odečítání pozadí" a dosažené výsledky porovnejte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] SVAČINA, J., Elektromagnetická kompatibilita, principy a metody. Brno: VUT v Brně, 2001.

[2] ČSN EN 55016-1-4 ed. 2: Specifikace přístrojů a metod pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Část 1-4: přístroje pro měření vysokofrekvenčního rušení a odolnosti - Pomocná zařízení - Rušení šířené zářením. Česká technická norma, Český normalizační institut. Praha, 2008.

Termín zadání: 7.2.2011 ***Termín odevzdání:*** 20.5.2011

Vedoucí práce: Ing. Jiří Dřínovský, Ph.D.

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

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

Abstrakt

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a realizovat nové komunikační rozhraní pro spektrální analyzátor Seaward EMC Spectrum Receiver, které je místo rozhraní RS-232 připojeno k počítači pomocí rozhraní USB. Tato práce obsahuje návrh hardwarového i softwarového vybavení na základě analýzy a úplného pochopení komunikace mezi tímto spektrálním analyzátorem a počítačem. Dále obsahuje podrobný popis realizace celého komunikačního rozhraní a také ukázku měření z oblasti EMC problematiky. Poslední částí práce byla realizace automatizovaného měření pomocí vývojových prostředí MATLAB a Agilent VEE, ve kterém bylo provedeno měření rušivého pozadí.

Klíčová slova

Spektrální analyzátor, rozhraní RS-232, rozhraní USB, komunikační převodník, EMC, Microsoft .NET, C#, Agilent VEE, MATLAB

Abstract

The aim of this master‘s thesis was design a new communication interface for spectral analyzer Seaward EMC Spectrum Receiver, which instead of the RS-232 interface is connected to a computer via the USB interface. This thesis contains both hardware and software solution based on the analysis and comprehensive understanding of communication between the spectrum analyzer and the computer. Further it contains the whole realization of communication interface and an example of measurement of the EMC problems too. Last part of this thesis was a realization of the automatic measurement via the development environment MATLAB and Agilent VEE, which was used for measurement of noise background.

Keywords

Spectrum analyzer, RS-232 interface, USB interface, communication conversion device, EMC, Microsoft .NET, C#, Agilent VEE, MATLAB

SMĚLÍK, M. *Komunikační rozhraní pro ovládání spektrálního analyzátoru.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 46 s., 10 s. příloh. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Dřínovský, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Komunikační rozhraní pro ovládání spektrálního analyzátoru jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 20. května 2011 .....

(podpis autora)

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Dřínovskému, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne 20. května 2011 .....

(podpis autora)

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ ..... **VIII**

SEZNAM TABULEK ..... **IX**

1 ÚVOD **1**

2 SPEKTRÁLNÍ ANALYZÁTOR SEAWARD **2**

2.1 LISN **2**

2.2 Spektrální analyzátor **2**

2.3 Obslužná aplikace Spectrum Receiver **3**

2.3.1 Skupina ovládacích prvků *Display* 3

2.3.2 Ovládací prvky bloku *Detector* 4

2.3.3 Ovládací prvky bloku *Span* 4

2.3.4 Ovládací prvky bloku *RBW* 4

2.3.5 Ovládací prvky bloku *Gain* 4

2.3.6 Ovládací prvky bloku *Tranducer* 5

2.3.7 Ovládací prvky bloku *Freq Scale* 5

2.3.8 Signalizační prvek *Status* 5

3 KOMUNIKACE POMOCÍ RS-232 ..... **6**

3.1 Technický popis RS-232 ..... **6**

3.1.1 Elektrické vlastnosti RS-232 6

3.1.2 Konektory a popis pinů RS-232 6

3.1.3 Způsob komunikace pomocí RS-232 7

3.1.4 Přenosové rychlosti rozhraní RS-232 8

4 KOMUNIKACE POMOCÍ USB **9**

4.1 Technický popis USB **9**

4.1.1 Elektrické vlastnosti USB 9

4.1.2 Konektory a popis pinů USB 9

4.1.3 Způsob komunikace pomocí USB 10

4.1.4 Přenosové rychlosti rozhraní USB 10

5 ANALÝZA KOMUNIKACE **11**

5.1 Příprava a postup analýzy **11**

5.2 Výsledky analýzy komunikace **11**

5.3 Využití výsledků analýzy **14**

6 NÁVRH KOMUNIKAČNÍHO ROZHRANÍ **15**

6.1 Požadavky na komunikační rozhraní **15**

6.2 Použitelné koncepty **15**

6.2.1 Varianta ATMEL 15

6.2.2 Varianta FTDI 15

6.3 Výběr varianty a návrh komunikačního rozhraní **16**

7 REALIZACE HARDWAROVÉHO VYBAVENÍ **17**

7.1 Integrovaný obvod FT232R **17**

7.1.1 Zapojení integrovaného obvodu FT232R 17

7.2 Převodník napěťových úrovní **17**

7.2.1 Zapojení převodníku MAX3243E 18

7.3 Schéma zapojení komunikačního rozhraní **18**

7.4 Deska plošných spojů komunikačního rozhraní **19**

8 REALIZACE PROGRAMOVÉHO VYBAVENÍ **23**

8.1 Struktura programového vybavení **23**

8.2 Realizace knihovny SeawardUSBModule.dll **24**
8.3 Realizace knihovny SeawardVeeTranslator.dll **24**
8.4 Realizace obslužné aplikace Spektrum Receiver USB Module **24**

9 AUTOMATIZOVANÁ MĚŘENÍ **27**
9.1 Agilent VEE **27**
9.1.1 Programování v prostředí Agilent VEE 27
9.1.2 Platforma .NET v prostředí Agilent VEE 28
9.2 MATLAB **29**
9.2.1 Programování v prostředí MATLAB 29
9.2.2 Platforma .NET v prostředí MATLAB 29

10 DEMONSTRAČNÍ MĚŘENÍ **31**
10.1 Měření s generátorem **31**
10.1.1 Měření G01 31
10.1.2 Měření G02 33
10.2 Vyhodnocení demonstračního měření **34**

11 MĚŘENÍ RUŠIVÉHO POZADÍ **35**
11.1 Měření vlastního šumového pozadí **35**
11.1.1 Výsledky měření vlastního šumového pozadí 35
11.2 Měření šumového pozadí s otevřeným vstupem **37**
11.2.1 Výsledky měření šumového pozadí s otevřeným vstupem 37
11.3 Měření šumového pozadí okolí místa měření **38**
11.3.1 Výsledky měření šumového pozadí okolí místa měření 38
11.4 Vyhodnocení měření rušivého pozadí **40**

12 ZÁVĚR **41**

LITERATURA **42**

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK **44**

SEZNAM PŘÍLOH **46**

Seznam obrázků

Obr. 1.1: Blokové schéma zapojení nového komunikačního převodníku 1
Obr. 2.1: Blokové schéma zařízení LISN 2
Obr. 2.2: Aplikace Spectrum Receiver 3
Obr. 2.3: Zobrazení stavu připojení aplikace ke spektrálnímu analyzátoru 5
Obr. 3.1: Konektory „male“ (samec) používané pro RS-232 7
Obr. 3.2: Ukázka typického datového rámce RS-232 8
Obr. 4.1: Konektory pro USB 9
Obr. 7.1 Návrh DPS komunikačního rozhraní určený pro výrobu 19
Obr. 7.2: Rozmístění součástek na DPS komunikačního rozhraní 20
Obr. 7.3: Fotografie komunikačního rozhraní - rozhraní RS-232 21
Obr. 7.4: Fotografie komunikačního rozhraní - rozhraní USB 21
Obr. 7.5: Fotografie komunikačního rozhraní - vnitřní zapojení DSP 22
Obr. 8.1: Struktura programového vybavení komunikačního rozhraní 23
Obr. 8.2: Obslužná aplikace Spectrum Receiver USB Module - odpojeno 25
Obr. 8.3: Obslužná aplikace Spectrum Receiver USB Module - měření 1 25
Obr. 8.4: Obslužná aplikace Spectrum Receiver USB Module - měření 2 26
Obr. 9.1: Ukázka programu v prostředí Agilent VEE 27
Obr. 9.2: Ukázka programu propojení prostředí Agilent VEE a platformy .NET 28
Obr. 10.1: Výsledky měření HP E7404A s generátorem R&S 32
Obr. 10.2: Výsledky měření Seaward s generátorem R&S 32
Obr. 10.3: Výsledky měření HP E7404A s generátorem Agilent 33
Obr. 10.4: Výsledky měření Seaward s generátorem Agilent 34
Obr. 11.1: Výsledky měření vlastního šumového pozadí HP E7404A 36
Obr. 11.2: Výsledky měření vlastního šumového pozadí Seaward 36
Obr. 11.3: Výsledky měření vlastního šumového pozadí HP E7404A - otevřený konec 37
Obr. 11.4: Výsledky měření vlastního šumového pozadí Seaward - otevřený konec 38
Obr. 11.5: Výsledky měření šumového pozadí okolí místa měření HP E7404A 39
Obr. 11.6: Výsledky měření šumového pozadí okolí místa měření Seaward 39

Seznam tabulek

Tab. 2.1: Možnosti zesílení Gain a jejich napěťové rozsahy 5
Tab. 3.1: Elektrické úrovně rozhraní RS-232 6
Tab. 3.2: Názvy a čísla pinů pro signály rozhraní RS-232 7
Tab. 4.1: Přenosové rychlosti rozhraní USB 10
Tab. 5.1: Struktura Rámce, rámce Odpověď a rámce Chyba pro datovou komunikaci 12
Tab. 5.2: Seznam všech hodnot bajtu Tag a samotných užitečných dat 12
Tab. 5.3: Počet bajtů na vykreslení jednoho celého průběhu pro různá nastavení 13
Tab. 7.1: Seznam použitých součástek v komunikačním rozhraní 19

1 Úvod

Tato diplomová práce se zabývá návrhem a realizací nového komunikačního rozhraní pro spektrální analyzátor Seaward EMC Spectrum Receiver. Tento spektrální analyzátor nemá žádné ovládací prvky a lze jej ovládat pouze pomocí aplikace spuštěné na počítači, která se spektrálním analyzátorem komunikuje prostřednictvím rozhraní RS-232. Tento přístroj byl vyroben koncem devadesátých let dvacátého století, a proto je aplikace naprogramována pro tehdejší operační systémy Windows 3.11, Windows 95 a Windows 98. Pokud je však aplikace spuštěna v operačním systému Windows XP, stává se komunikace se spektrálním analyzátorem nestabilní, proto je stávající komunikační rozhraní pro operační systém Windows XP a další novější verze Windows již nevyhovující a je nutné pro tuto komunikaci vytvořit rozhraní nové a s těmito operačními systémy zcela kompatibilní.

Technická dokumentace k tomuto spektrálnímu analyzátoru prakticky neexistuje, proto je nutné zcela přesně popsat a zdokumentovat celou komunikaci mezi spektrálním analyzátorem a počítačem. A na základě této analýzy vybrat a navrhnout nejvhodnější hardwarové vybavení, které bude nutné doplnit o nezbytné programové vybavení, aby celá komunikace probíhala bezproblémově a byla stabilní v operačních systémech Windows XP a novějších.

Dle zadání této diplomové práce je požadováno, aby tato komunikace s počítačem probíhala skrze modernější rozhraní USB. Z toho vyplývá, že navrhované komunikační rozhraní bude tvořit převodník mezi rozhraními RS-232 a USB, jak je zobrazeno na blokovém schématu (obr. 1.1).

Obr. 1.1: Blokové schéma zapojení nového komunikačního převodníku

Cílem diplomové práce je co nejpodrobněji popsat a zdokumentovat komunikaci mezi spektrálním analyzátorem a počítačem a navrhnout komunikační rozhraní dle výše popsaných požadavků. Dále toto komunikační rozhraní realizovat včetně nezbytného programového vybavení a také provést s tímto komunikačním rozhraní několik demonstračních měření z oblasti EMC problematiky a ověřit jeho funkčnost.

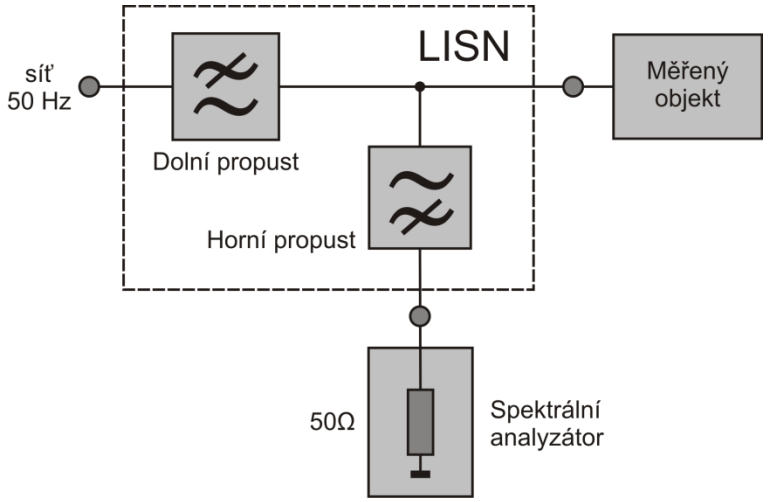
Dalším cílem je zajistit, aby komunikační rozhraní mohlo komunikovat s vývojovým prostředím Agilent VEE popřípadě MATLAB, aby bylo možné vytvářet automatizovaná měření s tímto spektrálním analyzátorem. A také v těchto prostředích realizovat měření se spektrálním analyzátorem v různých prostorech s různou úrovní rušivého pozadí pomocí metody „odečítání pozadí“ a tyto výsledky následně porovnat a vyhodnotit.

2 Spektrální analyzátor Seaward

Zařízení Seaward EMC Spectrum Receiver se skládá ze dvou nezávislých částí. První z nich je tzv. umělá zátěž vedení neboli LISN (Line Impedance Stabilizing Network). Druhá část je tvořena spektrálním analyzátorem. V této diplomové práci se pracuje pouze se spektrálním analyzátorem.

2.1 LISN

Tato část zařízení slouží k měření rušivých signálů, které vznikají v zařízeních napájených z rozvodné elektrické sítě a které z těchto spotřebičů vystupují právě tímto napájecím vedením [1]. Základní blokové schéma je zobrazeno na obr. 2.1 [1].



Obr. 2.1: Blokové schéma zařízení LISN

Zařízení LISN plní tři základní funkce. První funkcí je připojení měřícího zařízení, v tomto případě zabudovaného spektrálního analyzátoru, k měřenému zařízení. Toto připojení je tvořeno filtrem typu horní propust. V praxi se používá pouze oddělovací kondenzátor o velikosti několika set nF.

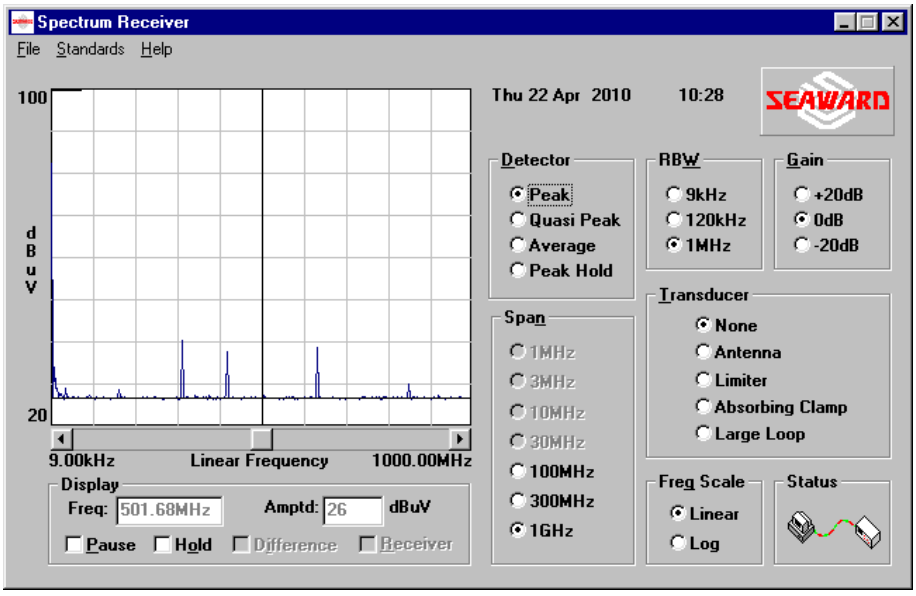
Druhou funkcí je zajistit, aby se na vstup spektrálního analyzátoru dostaly pouze rušivé signály z měřeného zařízení a ne z vnější napájecí sítě. To je zajištěno pomocí filtru typu dolní propust. V praxi je tvořen jednoduchým LC článkem.

Třetí funkcí je zajištění impedančního přizpůsobení na svorkách pro připojení spektrálního analyzátoru a také musí zajišťovat definovanou impedanci na svorkách pro připojení měřeného zařízení.

2.2 Spektrální analyzátor

Spektrální analyzátor slouží k samotnému měření rušivých signálů a měří jejich úrovně v závislosti na kmitočtu. Tento spektrální analyzátor je řízen výhradně pomocí počítače, protože samotné zařízení neobsahuje žádné ovládací prvky, pouze několik signalizačních LED, sloužící pro zobrazení aktuálního nastavení přístroje.

Technická dokumentace k tomuto přístroji se omezuje pouze na uživatelské manuály k běžnému používání a o technických parametrech a dalších vlastnostech toho není mnoho známo. Veškeré ovládání a zobrazování výsledků probíhá v aplikaci Spectrum Receiver, která je dodávána s tímto měřicím přístrojem. Tato aplikace je zobrazena na obr. 2.2.



Obr. 2.2: Aplikace Spectrum Receiver

Z obr. 2.2 je však patrné v jakých rozsazích spektrální analyzátor měří a také jak změřené hodnoty zobrazuje, takže je možné si udělat představu o základních technických parametrech tohoto měřicího přístroje, které budou podrobněji popsány v následující podkapitole.

2.3 Obslužná aplikace Spectrum Receiver

Tato aplikace se skládá pouze z jednoho okna, jak je patrné z obr. 2.2. V levé části se nachází graf, který zobrazuje aktuální změřené hodnoty. Jako klasický spektrální analyzátor zobrazuje na ose x kmitočet a na ose y úrovně signálů, v tomto případě měřené v jednotce dBμV. Kmitočtový rozsah tohoto přístroje je 9 kHz až 1 GHz. Napěťový rozsah 0 až 120 dBμV. Další ovládací prvky budou popsány v následujících podkapitolách.

2.3.1 Skupina ovládacích prvků *Display*

Tato skupina ovládacích prvků obsahuje informace o aktuální pozici kurzoru a zobrazuje hodnoty frekvence a úrovně napětí. Kurzor se ovládá tak, že se pomocí myši posouvá po hodnotách zobrazených v grafu. Dále tato skupina obsahuje dva ovládací prvky *Pause* a *Hold*. *Pause* slouží k přerušení měření, kdy měřicí přístroj přestává posílat naměřené hodnoty a graf zobrazuje poslední změřené hodnoty. V tomto pozastaveném režimu funguje kurzor, což je vhodné pro odečítání hodnot. Také lze měnit další nastavení spektrálního analyzátoru, ale dojde ke ztrátě právě zobrazovaných dat. Ovládací prvek *Hold* slouží k uložení aktuálně zobrazeného průběhu na pozadí grafu. Tento průběh má šedou barvu. Po uložení je normálně vykreslován v reálném čase

aktuální průběh v modré barvě. Tato funkce slouží k porovnávání dvou různých průběhů.

2.3.2 Ovládací prvky bloku *Detector*

Tento ovládací prvek slouží ke změně nastavení metody detekce měřeného signálu. Umožňuje nastavení čtyř režimů měření.

Režim *Peak Detector* je nejběžněji používaný typ detektoru, který umožňuje rychlejší měření než ostatní detektory. Měří pouze špičkovou úroveň napětí na jednotlivých kmitočtech.

V režimu *Peak Hold Detector* je detekce signálu stejná jako v režimu *Peak Detector* jenom s tím rozdílem, že graf je aktualizován pouze hodnotou úrovně napětí, která je vyšší než předchozí změřená hodnota na stejném kmitočtu. Tato metoda je vhodná pro měření absolutního maxima měřeného průběhu napětí. Například u měření šumového pozadí.

Režim *Quasi-Peak Detector* je typ detekce signálu, který umožňuje redukovat špičkovou odezvu při nízkých kmitočtech opakujících se pulsů. Určení hodnot tohoto detektoru je velmi pomalé z důvodů menšího výpočetního výkonu spektrálního analyzátoru.

Režim *Average Detector* je metoda měření, kdy se zobrazují průměrné hodnoty napětí. Tato metoda je vhodná pro pulzní signály nebo pro modulované signály, kdy je v grafu přímo zobrazována průměrná hodnota těchto signálů, která je nižší než hodnota špičková. U některých signálů jako je například nemodulovaný signál, je průměrná hodnota stejná jako špičková, takže pro tyto signály není tato metoda měření vhodná. Navíc, stejně jako u metody *Quasi-Peak Detector*, je výpočet hodnot pomalý.

2.3.3 Ovládací prvky bloku *Span*

Toto nastavení umožňuje měnit rozsah kmitočtů, ve kterém bude spektrální analyzátor měřit průběh signálu. Tento ovládací blok umožňuje nastavit *Span* na hodnoty 1 MHz, 3 MHz, 10 MHz, 30 MHz, 100 MHz, 300 MHz a 1 GHz.

Dále je možné pomocí posuvníku, který je umístěný v okně aplikace pod grafem, měnit centrální kmitočet měřeného rozsahu. Program však místo toho zobrazuje hodnoty počátečního (*Start*) a koncového kmitočtu (*Stop*) daného rozsahu, který je dán hodnotou *Span*.

2.3.4 Ovládací prvky bloku *RBW*

Tento ovládací prvek nastavuje hodnoty filtru, který určuje rozlišení šířky pásma. Pokud je *RBW* malé, je průběh signálu v grafu užší a z toho důvodu je možné sledovat i ostatní signály, které se nachází v nejbližším okolí. Parametr *RBW* může nabývat hodnot 9 kHz, 120 kHz a 1 MHz.

2.3.5 Ovládací prvky bloku *Gain*

Ovládací prvek *Gain* nastavuje zesílení předzesilovače, kterým je možné měnit rozsahy napětí měřeného signálu. V tab. 2.1 jsou zobrazeny všechny možnosti nastavení parametru *Gain* a k tomu odpovídající rozsahy napětí.

Tab. 2.1: Možnosti zesílení Gain a jejich napěťové rozsahy

Zesílení Gain [dB]	*Napěťový rozsah [dBμV]*
20	0 až 80
0	20 až 100
-20	40 až 120

2.3.6 Ovládací prvky bloku *Tranducer*

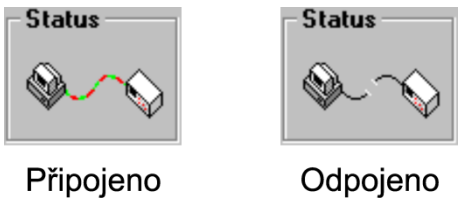
Tento ovládací prvek obsahuje několik možností nastavení a to *None*, *Antenna*, *Limiter*, *Absorbing Clamp* a *Large Loop*. Tato nastavení nemají žádný vliv na měření hodnot spektrálním analyzátorem, ale pouze mění zobrazení průběhů signálů pro různé druhy specifických měření. Změny zobrazení slouží k zjednodušení analýzy naměřených hodnot pro tyto druhy měření.

2.3.7 Ovládací prvky bloku *Freq Scale*

Toto nastavení pouze mění typ zobrazení osy x, na kterou je vynášen kmitočet. Možnost *Linear* nastaví lineární zobrazení osy a možnost *Log* nastaví zobrazení v logaritmické míře.

2.3.8 Signalizační prvek *Status*

Tento prvek, který je umístěn v pravém dolním rohu okna aplikace, slouží pouze k signalizaci stavu připojení této aplikace ke spektrálnímu analyzátoru. Oba stavy jsou zobrazeny na obr. 2.3.



Obr. 2.3: Zobrazení stavu připojení aplikace ke spektrálnímu analyzátoru

3 Komunikace pomocí RS-232

RS-232 neboli taky „sériová linka“ je velmi jednoduché a velmi snadno ovladatelné komunikační rozhraní. Jeho počátky sahají až do šedesátých let dvacátého století a za tak dlouho dobu je toto rozhraní velmi dobře prověřeno a nepředstavuje při konstrukci jakéhokoliv zařízení s tímto rozhraním sebemenší problémy. Přibližně od roku 2006 výrobci počítačů postupně přestávali toto rozhraní implementovat do svých výrobků a postupně ho začali nahrazovat daleko rychlejším, ale za to složitějším z pohledu vývojáře, rozhraním USB. V dnešní době se toto rozhraní používá pouze pro specializovaná využití, jako je programování mikrokontrolérů, připojování speciálních měřících přístrojů k počítači nebo jako konfigurační rozhraní různých zařízení např. routerů nebo televizních set-top-boxů [2].

3.1 Technický popis RS-232

Toto rozhraní pouze definuje, jak se má daná sekvence bitů přenést z jednoho zařízení do druhého a vůbec se nezabývá vyššími vrstvami komunikace, proto je rozhraní RS-232 zařazeno podle ISO/OSI modelu na fyzickou vrstvu [2], a proto umožňuje komunikaci pouze mezi dvěma zařízeními. Přenos dat probíhá asynchronně přesně definovanou rychlostí. Synchronizace probíhá pomocí sestupné hrany tzv. startovacího bitu [3].

3.1.1 Elektrické vlastnosti RS-232

Rozhraní RS-232 využívá napěťové úrovně, které jsou zobrazeny v tab. 3.1 [3].

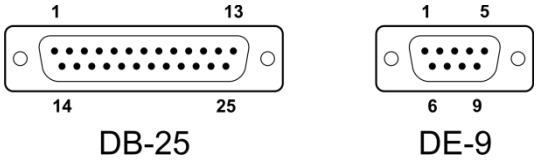
Tab. 3.1: Elektrické úrovně rozhraní RS-232

Datové signály		
Logická úroveň	*Vysílač*	*Přijímač*
0	+5 V až +15 V	+3 V až +25 V
1	-5 V až -15 V	-3 V až -25 V
Nedefinovaný	-3 V až +3 V	-3 V až +3 V
Řídící signály		
Signál	*Vysílač*	*Přijímač*
"Vypnut"	-5 V až -15 V	-3 V až -25 V
"Zapnut"	5 V až 15 V	3 V až 25 V

Pokud je potřeba připojovat RS-232 do obvodů, které používají napěťové úrovně TTL (0V až 5 V), což obecně platí pro připojování k různým druhům mikrokontrolérů, musíme použít převodník RS-232/TTL. Nejjednodušším řešením je použití integrovaného obvodu MAX232 nebo podobných modelů.

3.1.2 Konektory a popis pinů RS-232

Rozhraní RS-232 využívá konektory typu D-sub a to ve variantě DE-9 nebo DB-25, kde číslo v názvu označuje počet pinů. Oba konektory jsou zobrazeny na obr. 3.1 [2].



Obr. 3.1: Konektory „male“ (samec) používané pro RS-232

Spektrální analyzátor Seaward používá konektor typu DB-25, což ale nemá žádný vliv na funkčnost rozhraní, protože z celkového počtu dvaceti pěti pinů využívá pouze devět, což je plně kompatibilní s konektorem DE-9. V tab. 3.2 [2][3] jsou uvedeny čísla pinů a signály, které jsou na ně přivedeny.

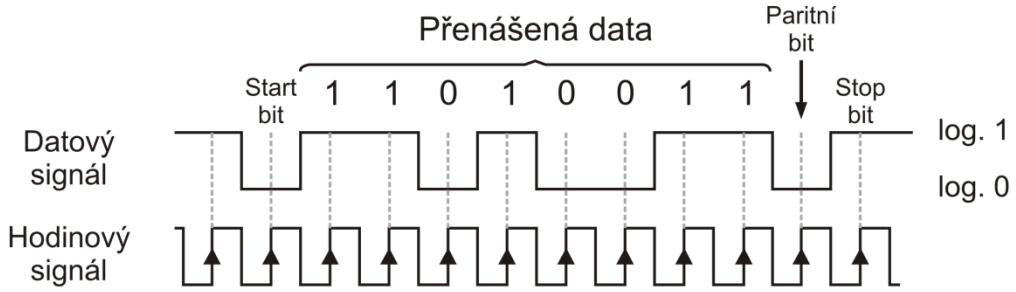
Tab. 3.2: Názvy a čísla pinů pro signály rozhraní RS-232

Zkratka	*Název signálu*	*Popis signálu*	*Číslo pinu pro DE-9*	*Číslo pinu pro DB-25*
DCD	Data Carrier Detect	Detekce nosné, zařízení oznamuje druhému zařízení, že detekoval nosný kmitočet.	1	8
RxD	Received Data	Tok přijímaných dat.	2	3
TxD	Transmitted Data	Tok vysílaných dat.	3	2
DTR	Data Terminal Ready	Zařízení tímto signálem oznamuje, že je připraven komunikovat.	4	20
GND	Ground	Signálová zem.	5	7
DSR	Data Set Ready	Zařízené tímto signálem oznamuje, že je připraven komunikovat.	6	6
RTS	Request To Send	Zařízení tímto signálem oznamuje, že komunikační cesta je volná.	7	4
CTS	Clear To Send	Zařízení tímto signálem oznamuje, že komunikační cesta je volná.	8	5
RI	Ring Indicator	Indikátor zvonění. Zařízení oznamuje terminálu, že detekoval signál zvonění.	9	22

Všechny signály kromě TxD, RxD a GND dříve sloužily k řízení poloduplexní komunikace mezi zařízeními, zvláště pak při komunikaci s modemy. V plně duplexním režimu provozu tyto signály ztrácí na větší důležitosti a slouží spíše jako doplňkové signály [3].

3.1.3 Způsob komunikace pomocí RS-232

Rozhraní RS-232 využívá k přenosu dat asynchronní přenos, což znamená, že každou přenesenou informaci o velikosti 1 bajt konstantní rychlostí je třeba synchronizovat. K synchronizaci se používá sestupná hrana tzv. start bitu. Poté následuje sekvence užitečných dat, dále tzv. paritní bit a nakonec 1 nebo 2 stop bity. Jeden běžný datový rámec je zobrazen na obr. 3.2 [3]. Start bit a stop bity ohraničují daný datový rámec a slouží k synchronizaci vysílače a přijímače. Paritní bit slouží jako nejjednodušší způsob ochrany dat před chybami na straně přijímače. Tento způsob ochrany však není příliš spolehlivý. Základní dva způsoby určení paritních bitů je počet jedničkových bitů, ke kterému se přičte jeden bit tak, aby součet byl sudé číslo. Tato parita se nazývá sudá. Pokud se přičte jeden bit tak, že součet je liché číslo, tato parita se nazývá lichá. Přijímač a vysílač musí být nastaveny stejně buď na lichou, nebo na sudou paritu [3].



Obr. 3.2: Ukázka typického datového rámce RS-232

3.1.4 Přenosové rychlosti rozhraní RS-232

Rozhraní RS-232 podporuje několik přenosových rychlostí, které se nastavují pomocí předěličky. Podle zvolené předěličky jsou rychlosti od 110 b/s až po rychlosti 115 200 b/s. Nejpoužívanější jsou rychlosti 9600 b/s, 19 200 b/s a 38 400 b/s [3]. Z dnešního pohledu jsou to velmi nízké rychlosti, ale pro dané aplikace, kde se tato rozhraní používají, jsou zcela dostačující. Spektrální analyzátor Seaward využívá přenosovou rychlost 9600 b/s.

4 Komunikace pomocí USB

USB (Universal Serial Bus) je komunikační rozhraní, které jak název napovídá, pracuje na principu sériového přenosu dat. Stejně jako rozhraní RS-232. Na rozdíl od tohoto rozhraní se USB vyznačuje hlavně složitější strukturou, která umožňuje komunikovat až se 127 zařízeními ve stejný okamžik. Dále se vyznačuje mnohonásobně vyšší přenosovou rychlostí. Tyto vlastnosti jsou však vykoupeny velmi složitým řízením a konfigurací z pohledu vývojáře zařízení s tímto rozhraním. Jak se toto zařízení postupně rozšiřuje, vzniká i spousta nástrojů, které tuto práci ulehčují. USB vznikalo koncem devadesátých let dvacátého století a v dnešní době je to jedno z nejrozšířenějších komunikační rozhraní ve výpočetní technice. Jednoduchost připojení a práce s tímto rozhraním z pohledu uživatele umožnilo jeho velké rozšíření. V dnešní době se používá v širokém okruhu využití, jako je univerzální rozhraní počítačů, notebooků a dalších podobných zařízení pro připojení tiskáren, fotoaparátů, různých externích pevných disků a flash disků. Dále pro připojení měřících přístrojů, jako jsou například multimetry, osciloskopy, spektrální a vektorové analyzátory a spousty dalších přístrojů.

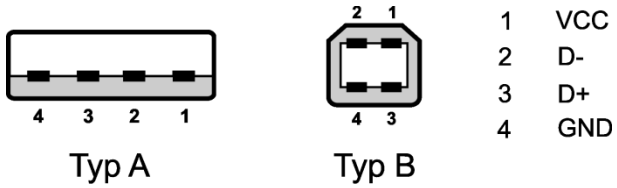
4.1 Technický popis USB

4.1.1 Elektrické vlastnosti USB

Velkou výhodou rozhraní USB je možnost napájení koncových zařízení. Toto stejnosměrné napětí je přesně definováno a má velikost 5 V. Běžná proudová zatížitelnost je 100 mA, ale tento proud jde zvýšit až na 500 mA za podmínky, že je připojeno na sběrnici USB pouze jedno zařízení. Toto navýšení je možné pro některé druhy zařízení jako například externí pevné disky.

4.1.2 Konektory a popis pinů USB

Konektor rozhraní USB má pouze čtyři piny. Dva jsou napájecí a dva jsou datové. Konektory jsou rozděleny na typ A a typ B. Konektor typu A se používá pro připojení kabelu k tzv. USB Host, což je základní řadič tohoto rozhraní, ke kterému se připojují další zařízení. Většinou se nachází přímo integrovaný v základních deskách počítačů nebo se může nacházet jako součást některých mikrokontrolérů, např. produktová řada AT90USB od společnosti ATMEL. Konektor typu B se používá na koncových zařízeních. Na obr. 4.1 jsou zobrazeny oba druhy konektorů i s rozmístěním pinů.



Obr. 4.1: Konektory pro USB

VCC a GND jsou napájecí piny a piny D+ a D- jsou datové. Kromě základních rozměrů konektorů existují také varianty *USB mini* a *USB mikro*, které jsou menší než běžný

konektor USB a vyskytují se především v malých zařízeních, kde nelze z důvodu úspory místa použít standardní konektory. Principy komunikace jsou však naprosto totožné. Tyto rozměrové varianty se také dělí na konektory na typ A a B.

4.1.3 Způsob komunikace pomocí USB

Pro komunikaci počítače s koncovým zařízením pomocí rozhraní USB jsou vytvořeny tři typy paketů. Počítač (neboli USB host) před samotným přenosem dat vyšle tzv. *token packet*, který obsahuje typ a směr přenosu dat, adresu koncového zařízení a také číslo koncové jednotky (tzv. *endpoint number*). Poté zařízení, které má vysílat data, vyšle buď datový paket nebo jenom oznámí, že žádná data pro odeslání nejsou k dispozici. Nakonec počítač vyšle potvrzovací paket o úspěšnosti přenosu dat, tzv. *handshake packet* [4].

Existují dva typy přenosu. Jedním z nich je tzv. *stream*, což je izochronní přenos dat v reálném čase, který nemá přesně definovanou strukturu. Izochronní znamená, že přenos probíhá kontinuálně pořád stejným způsobem. Druhým typem přenosu je tzv. *message*, který využívá asynchronní přenos a má přesně danou strukturu. U obou případů je pro přenos dat použit kód NRZI (Non-Return-to-Zero Inverted) a pro zabezpečení proti chybám používá tohoto rozhraní cyklický redundantní součet neboli CRC [4].

4.1.4 Přenosové rychlosti rozhraní USB

Rozhraní USB existuje v několika verzích a podle verze je i určena maximální rychlost přenosu dat, jak je patrné z tab. 4.1 [4].

Tab. 4.1: Přenosové rychlosti rozhraní USB

Verze USB	*Název rychlostní kategorie*	*Rychlost [Mb/s]*
1.0	Low Speed	1,5
	Full Speed	12
2.0	High Speed	480
3.0	Super Speed	5120

Verze USB 3.0 je nejnovější variantou tohoto rozhraní a také přináší největší změny včetně nového konektoru. V této diplomové práci se možností nového USB nevyužívá, proto tomuto jinak velice kvalitnímu a velmi rychlému rozhraní nebude věnována pozornost.

5 Analýza komunikace

Tato kapitola se zabývá analýzou komunikace mezi spektrálním analyzátorem a počítačem, která probíhá skrze rozhraní RS-232. Protože pro spektrální analyzátor Seaward EMC Spectrum Receiver není žádná dokumentace ke komunikačnímu rozhraní k dispozici, bylo nutné provést rozsáhlou analýzu přenosu dat.

5.1 Příprava a postup analýzy

Spektrální analyzátor komunikuje pomocí RS-232 s aplikací spuštěnou na počítači. Jako nejjednodušší možnost zjištění jak komunikace probíhá, byla zvolena varianta s použitím monitorovacích programů sériové linky.

Monitorovací program sériové linky zachytává obousměrnou komunikaci rozhraní RS-232 a zobrazuje všechna přenesená data. Na internetu se nachází spousta takových aplikací. Jako nejvhodnější se zdála být aplikace Free Serial Port Monitor 3.31 od společnosti HHD Software [5]. Bohužel tato aplikace pracuje pouze v operačním systému Windows XP. Protože však v tomto operačním systému je ovládací aplikace spektrálního analyzátoru nestabilní, nebylo možné provést kompletní analýzu. Proto byla použita aplikace COM Port Toolkit 3.9 [6], která bez problémů pracovala v operačním systému Windows 98, který byl použit pro analýzu.

Postup analýzy komunikace byl následující. Spektrální analyzátor byl připojen k počítači pomocí rozhraní RS-232. Na počítači byl spuštěn monitor sériové linky, který zobrazoval přenášená data. Poté se spustila aplikace Spectrum Receiver. S touto aplikací se běžně pracovalo a zaznamenávalo, jaké ovládací prvky jsou v daném čase používány a to bylo následně přiřazeno k přeneseným datům, která zobrazovala monitorovací aplikace. Dále bylo sledováno, jakým způsobem byla přenášena změřená data do počítače. Nakonec bylo vše důkladně analyzováno a popsáno, aby bylo možné pochopit způsob komunikace.

5.2 Výsledky analýzy komunikace

Bylo zjištěno, že komunikace probíhá pomocí rámců, které mají pevně danou strukturu. Tato struktura je stejná jak pro data z počítače do spektrálního analyzátoru, tak i pro data v opačném směru. Tento rámec, který obsahuje užitečná data je pojmenován *Rámec*. Tento výraz byl zvolen, podle anglického výrazu *Frame*, který se pro podobné datové přenosy běžně používá. Při úspěšném doručení dat posílá protistrana potvrzovací rámec, který má stále stejný tvar a nese název *Odpověď* (což odpovídá výrazu z angličtiny *ACK* - acknowledgment). Pokud dojde při přenosu k chybě nebo došlo k vyslání rámce, který protistrana neočekávala, je protistranou vyslán rámec nazvaný *Chyba* (podle anglického výrazu *Error*).

Jakou strukturu všechny tyto rámce mají a jakých hodnot jednotlivé bajty nabývají je zobrazeno v tab. 5.1.

Tab. 5.1: Struktura Rámce, rámce Odpověď a rámce Chyba pro datovou komunikaci

Rámec (Frame)											
Hlavička			*Samotná data o libovolné délce bajtů*					*Ukončení*			
0x10	0x02	Counter	Tag	Data	Data	Data	Data	0x10	0x03	Checksum	Checksum

Odpověď (ACK)	
0x10	0x06

Chyba (Error)	
0x10	0x15

Rámec je rozdělen na tři části. První část je hlavička, ve které se nachází tři bajty. První dva bajty jsou pevně dané a označují začátek rámce, mají hodnotu 0x10 a 0x02. Třetí bajt je *Counter* neboli čítač, ve kterém je hodnota aktuálního pořadí rámce komunikace od jeho zahájení. Začíná hodnotou 0x01. Pokud se dostane na hodnotu 0xFF další hodnota je 0x00. Každá strana komunikace má svůj vlastní čítač. Jeden čítač počítá rámce z počítače do spektrálního analyzátoru (*CounterPC*) a druhý v opačném směru (*CounterSA*).

Další částí *Rámce* jsou samotná data. Tato část může mít libovolnou délku s určitými omezeními. Nejmenší zaznamenané rámce měly velikost dva bajty a největší padesát jeden bajtů. Není však úplně jasné, jaká je horní hranice délky. To však při analýze není tak podstatné. První bajt je označen *Tag* a reprezentuje druh přenášených dat. Zbytek bajtů v této části jsou pak samotná užitečná data. Seznam všech hodnot bajtu *Tag* a samotných užitečných dat je uveden v tab. 5.2.

Tab. 5.2: Seznam všech hodnot bajtu Tag a samotných užitečných dat

Rámce z PC do spektrálního analyzátoru		
	Tag	*Užitečná data*
Ovládací blok Display		
Pause	0x47	0x00
Unpause	0x47	0x01
Ovládací prvek Detector		
Peak	0x46	0x00
Quasi Peak	0x46	0x01
Average	0x46	0x02
Peak Hold	0x46	0x03
Ovládací prvek Span		
1M	0x42	0x01
3M	0x42	0x02
10M	0x42	0x03
30M	0x42	0x04
100M	0x42	0x05
300M	0x42	0x06
1G	0x42	0x07
Ovládací prvek RBW		
9k	0x44	0x00
120k	0x44	0x01
1M	0x44	0x02

Rámce ze spektrálního analyzátoru do PC		
	Tag	*Užitečná data*
Naměřená data		
Změřené hodnoty	0x20	data2
Spouštěcí sekvence		
Ukončení inicializace	0x22	0x02 42 04
Inicializace 4	0x23	data3

Ovládací prvek Gain		
+20 dB	0x41	0x00
0 dB	0x41	0x01
- 20 dB	0x41	0x02
Změna Centrálního kmitočtu		
	0x60	data1
Spouštěcí sekvence		
Spuštění	0x40	0x00
Inicializace 2	0x61	0x00 00 FF 00
Inicializace 3	0x62	0x02 7F FF
Ukončovací sekvence		
Ukončení	0x40	0x01

Sekvence bajtů *data1* má délku čtyř bajtů a obsahuje údaj centrálního kmitočtu spektrálního analyzátoru v celých číslech v základní jednotce Hz. Stačí tuto hodnotu kmitočtu ze šestnáctkové soustavy převést do desítkové soustavy. *Data1* představují 32-bitový datový typ *uint* (bezznaménkové celé číslo).

Sekvence bajtů *data2* může mít různou délku, běžně od 10 do 51 bajtů. Obsahuje údaje o právě změřených hodnotách. Jeden bajt odpovídá jedné změřené hodnotě, protože v grafu jsou vynášena celá čísla v intervalu 0 až 120 dBµV, na což stačí sedmibitové číslo. Analýzou přijatých dat bylo zjištěno, že hodnota každého bajtu odpovídá hodnotě bodu v rastru, ve kterém jsou změřené hodnoty vykreslovány. Je to hodnota v pixelech. Tento rastr je součástí aplikace Spectrum Receiver a má vždy pevnou velikost, tudíž z naměřených hodnot napětí spektrální analyzátor vypočítá přímo hodnoty v pixelech a tyto hodnoty pošle do aplikace, která je pouze zobrazí. Celý tento způsob, který realizovala společnost Seaward má za následek, že změřené hodnoty, které jsou posílány do počítače, nejsou velmi přesné, kvůli přepočtu a následnému zaokrouhlení. Při výšce rastru 240 pixelů, který zobrazuje rozsah napětí 80 dBµV, je rozlišení spektrálního analyzátoru pouhá 1/3 dBµV, pro dané použití zřejmě dostačující hodnota. Bohužel není možné toto rozlišení nijak měnit. A pokud bude potřeba získat změřené hodnoty napětí přímo v dBµV, bude nutné je vypočítat z hodnot, které jsou posílány ze spektrálního analyzátoru.

Počet bajtů, který je potřeba na vykreslení jedné obrazovky, závisí na hodnotě nastaveného *RBW* a hodnotě *Span*. V tab. 5.3 jsou uvedeny počty bajtů pro jednotlivé kombinace nastavení, tak jak bylo při analýze zaznamenáno.

Tab. 5.3: Počet bajtů na vykreslení jednoho celého průběhu pro různá nastavení

		RBW		
		9 kHz	*120 kHz*	*1 MHz*
Span	*1 MHz*	222	-	-
	3 MHz	667	333	-
	10 MHz	555	278	-
	30 MHz	416	416	-
	100 MHz	-	434	347
	300 MHz	-	520	347
	1 GHz	-	434	578

Pokud se v sekvenci *data2* objeví bajt s hodnotou 0xFF, znamená to, že došlo k vykreslení celé obrazovky a následující bajt se změřenou hodnotou začne znovu od začátku vykreslovat nový průběh.

Sekvence bajtů *data3* má délku jednoho bajtu a jejich význam není zcela znám. Tuto sekvenci vysílá spektrální analyzátor a není známo, jak s touto sekvencí kontrolní aplikace zachází a k čemu slouží. Nejčastěji nabývá hodnoty 0x22. Rámec s těmito daty přichází velmi brzy po zahájení komunikace během inicializace a během prvotního nastavení spektrálního analyzátoru.

Poslední částí každého *Rámce* je ukončovací část, která má délku čtyř bajtů. První dva bajty jsou pevně dány a mají hodnotu 0x10 0x03 a další dva bajty plní úlohu kontrolního součtu, což je jednoduchý způsob zabezpečení proti chybám. Přijímač zná algoritmus pro výpočet tohoto kontrolního součtu a z přijatých dat si ho je schopen vypočítat a porovnat, zdali odpovídá hodnotám, které přišly v datovém rámci. Kontrolní součet se vypočítá podle vztahu 5.1:

$$checksum = 0xFF\ FF - \left((Counter)_{16} + \sum_{i=1}^{N} (data_i)_{16} \right) + 1, \qquad (5.1)$$

kde N je počet bajtů s užitečnými daty a *Counter* je hodnota čítače daného rámce. *Checksum* je pak výslednou hodnotou dvoubajtového kontrolního součtu.

Dalším druhem rámce je tzv. rámec *Odpověď*, který se skládá z pouhých dvou bajtů s pevně danými hodnotami 0x10 0x06.

Posledním druhem rámce je tzv. rámec *Chyba*, který se také skládá ze dvou bajtů s hodnotami 0x10 0x15.

V příloze A jsou uvedeny ukázky, jak tato komunikace ve skutečnosti probíhá, jakým způsobem na sebe jednotlivé rámce navazují a jak na různé rámce protistrana odpovídá.

5.3 Využití výsledků analýzy

Tato analýza slouží k pochopení komunikace mezi spektrálním analyzátorem a kontrolní aplikací a jejich principů přenosu dat, aby se toho mohlo využít při návrhu komunikačního rozhraní, který bude sloužit jako převodník z rozhraní RS-232 na rozhraní USB. Ze zjištěných dat je patrné, že komunikace nevyužívá žádných příkazů, které by se skládaly ze ASCII znaků, ale příkazy pro spektrální analyzátor jsou pouze výrobcem určené číselné hodnoty. Aby však nebylo nutné zadávat tyto číselné hodnoty, bude mnohem přehlednější využít standardů SCPI, které používají spektrální analyzátory a další měřicí přístroje pro komunikaci s měřícím prostředím Agilent VEE. V příloze B je uvedena ukázka takové převodní tabulky, která bude sloužit jako vzor pro vytvoření softwarového vybavení navrhovaného komunikačního rozhraní.

6 Návrh komunikačního rozhraní

Tato kapitola se bude zabývat návrhem hardwarového a softwarového vybavení komunikačního rozhraní, který má být výstupem této semestrální práce.

6.1 Požadavky na komunikační rozhraní

Komunikační rozhraní musí zcela odpovídat stávající komunikaci, která byla analyzována v předchozí kapitole, aby bylo zcela kompatibilní se spektrálním analyzátorem Seaward. Dále je podle požadavků nutné, aby toto rozhraní používalo pro komunikaci s počítačem rozhraní USB.

6.2 Použitelné koncepty

Existuje spousta různých možností jakým způsobem navrhnout dané komunikační rozhraní. Jako nejvhodnější se jeví následující dvě varianty.

6.2.1 Varianta ATMEL

Tato varianta využívá možností mikrokontroléru z řady AVR AT90USB od společnosti Atmel. Tento mikrokontrolér má integrováno rozhraní USB a také má rozhraní USART, které slouží k připojení rozhraní RS-232. Protože USART používá napěťové úrovně TTL, které jsou nekompatibilní napěťovými úrovněmi RS-232, je nutné použít převodník a to integrovaný obvod MAX232 nebo podobný obvod.

Z hardwarového návrhu je tato varianta velmi jednoduchá a zahrnuje pouze dva integrované obvody navíc napájené přímo z rozhraní USB. Z dalších součástek je potřeba pouze několik základních součástek pro správné fungování mikrokontroléru a také dva konektory pro připojení rozhraní RS-232 a USB.

Softwarová část návrhu je podstatně složitější, protože je nutné pro tento mikrokontrolér navrhnout komplexní firmware, který bude zajišťovat komunikaci s rozhraním USB, dále bude obstarávat komunikaci s rozhraním RS-232. A jak je z výsledků analýzy komunikačního rozhraní patrné bude také tento mikrokontrolér provádět obousměrný překlad užitečných dat z číselných hodnot na textové příkazy SCPI, které se standardně používají při komunikaci se spektrálními analyzátory. Další část softwarového vybavení bude tvořit aplikace, která bude sloužit jako kontrolní aplikace pro řízení spektrálního analyzátoru a také aplikace pro vyhodnocení změřených výsledků. Tuto část softwarového vybavení by mohla zastávat vývojová prostředí jako například Agilent VEE nebo MATLAB. Co se týče vývoje firmwaru pro mikrokontrolér, existuje volně stažitelný balík nástrojů pro programování rozhraní USB pro mikrokontroléry Atmel s názvem LUFA [7]. Ale i přes tato ulehčení je vývoj tohoto softwarového vybavení velmi náročný.

6.2.2 Varianta FTDI

Varianta FTDI využívá možností převodníku z rozhraní RS-232 na rozhraní USB od společnosti FTDI Ltd. Například model FT232R, který se připojuje s počítači pomocí rozhraní USB a jeho vstupem je rozhraní USART.

Z hardwarové části návrhu se jedná opět o velmi jednoduché řešení, kdy se zapojí integrovaný obvod do obvodu navrhovaného převodníku a je opět napájen z rozhraní USB. Společnost FTDI Ltd. poskytuje ovladače, které samy řídí komunikaci a převod mezi těmito rozhraními. Další vlastností tohoto ovladače, je možnost volby, jestli se zařízení bude v počítači hlásit jako plnohodnotné zařízení USB, nebo ovladače vytvoří v počítači virtuální sériový port, ke kterému pak aplikace přistupují jako k běžnému sériovému portu.

Z toho vyplývá, že pro návrh softwarové části je prakticky potřeba pouze vytvořit řídící a vyhodnocovací aplikaci, která by byla podobná aplikaci Spectrum Receiver. Jako zdroj informací, který návrh s těmito obvody popisuje krok za krokem, je například kniha USB prakticky s obvody FTDI od vydavatelství BEN [8]. V této publikaci je též velmi detailně popsáno, jak se vytváří softwarové vybavení pro obsluhu těchto obvodů.

6.3 Výběr varianty a návrh komunikačního rozhraní

Obě varianty mají své výhody a nevýhody, avšak varianta FTDI se zdá být o něco výhodnější, co se týče návrhu jak hardwarové část, tak i softwarové části, ale pouze za předpokladu, že bude při návrhu využita publikace [8], která obsahuje podrobně popsané principy použité v této variantě.

Komunikační rozhraní, které je v této diplomové práci navrhováno by mělo tedy využívat pro převod mezi rozhraními RS-232 a USB integrovaný obvod FT232R, ve kterém je integrovaná paměť typu EEPROM, ve které se uchovávají konfigurační hodnoty převodníku, aby se obvod v počítači choval jako plnohodnotné zařízení USB. Ovladače pro operační systémy Windows XP nebo Windows 7 poskytuje bezplatně přímo společnost FDTI [9]. Další výhodou tohoto obvodu je integrovaný krystal a další součástky, takže již při realizaci nepotřebuje téměř žádné další součástky. Tento integrovaný obvod, bude doplněn převodníkem typu MAX232, který převádí napěťové úrovně TTL na úrovně RS-232.

Pokud se jedná o cenovou relaci celého navrhovaného komunikačního rozhraní, jedná se řádově o několik set korun, cena by neměla překročit hranici 300 Kč dle aktuálních ceníků [10].

7 Realizace hardwarového vybavení

Z předchozí kapitoly vyplývá, že komunikační rozhraní bude založeno na integrovaném obvodu FT232R. Tato kapitola se bude zabývat návrhem a realizací konkrétního zapojení s tímto integrovaným obvodem, kde výsledkem je plně funkční hardwarové vybavení komunikačního rozhraní. Jak je zřejmé z předchozí kapitoly, jednoduchost tohoto integrovaného obvodu zaručuje, že celé komunikační rozhraní se dá realizovat pouze na jedné desce plošných spojů, navíc pouze jednovrstvé. Dále je nutné toto komunikační rozhraní doplnit o převodník napěťových úrovní z TTL do RS-232.

7.1 Integrovaný obvod FT232R

Tento integrovaný obvod je vyráběn společností FTDI Ltd. Jedná se o převodník komunikačního rozhraní RS-232 na USB. Veškerý USB protokol je přímo integrován v obvodu, takže není potřeba vytvářet nebo nahrávat do tohoto obvodu jakýkoli firmware. Dále obsahuje paměť typu EEPROM, ze které lze číst, ale také zapsat informace o konfiguraci USB zařízení, tzv. device descriptors. Lze ho napájet přímo z rozhraní USB a jeho typický proudový odběr je 15 mA [11].

Tento obvod podporuje standart USB 2.0 a dokáže ho konvertovat do různých synchronních nebo asynchronních sériových rozhraní. Bohužel pouze v napěťových úrovních TTL logiky.

7.1.1 Zapojení integrovaného obvodu FT232R

Protože tento obvod má spoustu součástek již integrovaných, pro jeho plnou funkčnost stačí připojení čtyř kondenzátorů, feritové tlumivky. Tyto součástky slouží jako ochrana před rušivými signály, které se mohou objevit na komunikačním rozhraní USB, kterým je integrovaný obvod připojený do počítače. Dále je využita možnost připojení dvou signalizačních LED, kdy jedna signalizuje vysílání dat po USART rozhraní a druhá příjem dat z USART rozhraní. Hodnoty všech součástek a způsob zapojení vychází z dokumentace k tomuto integrovanému obvodu [11].

7.2 Převodník napěťových úrovní

Protože integrovaný obvod FT232R používá pro komunikační rozhraní USART napěťové úrovně TTL, je nutné tyto úrovně převést na napěťové úrovně RS-232. K tomuto účelu slouží celá rodina integrovaných obvodů MAX232. Byl zvolen model MAX3243ECAI+, který obsahuje dostatek převodníků, aby tento integrovaný obvod byl schopen převádět všech devět linek, které komunikační rozhraní RS-232 používá. Je velmi pravděpodobné, že během běžného provozu tohoto komunikačního rozhraní, nebude zcela využito všech devíti linek. Ale kdyby se v budoucnu objevila potřeba jejich plného využití, nebude již potřeba upravovat hardwarové vybavení.

Tento integrovaný obvod je napájen stejnosměrným napětím v rozmezí 3,0 až 5,5 V, což umožňuje napájení přímo z rozhraní USB, odebíraný proud je maximálně 1 mA [12].

7.2.1 Zapojení převodníku MAX3243E

Tento obvod pro plnou funkčnost potřebuje připojení pouze pěti kondenzátorů. Jeden je připojen na napájení a slouží jako filtrační kondenzátor, aby se do integrovaného obvodu nedostaly rušivé střídavé signály a má hodnotu 100 nF. Čtveřice dalších kondenzátorů, které mají stejnou hodnotu, je připojena přímo k vývodům integrovaného obvodu a slouží jako kondenzátory pro nábojové pumpy, které převádí napětí z TTL logiky na napětí RS-232. Všechny hodnoty součástek a způsob jejich zapojení vychází z dokumentace k tomuto integrovanému obvodu [12].

7.3 Schéma zapojení komunikačního rozhraní

Kompletní schéma zapojení komunikačního rozhraní je zobrazeno v příloze C. Celé komunikační rozhraní se skládá z několika málo součástek. Základem je dvojice integrovaných obvodů IC1 a IC2. IC1 je samotný převodník rozhraní USB a RS-232, jeho typové označení je FT232RL, „L“ na konci znamená, že je tento integrovaný obvod umístěn v pouzdře SSOP28. Integrovaný obvod IC2 je převodník napěťových úrovní TTL a RS-232, jeho typové označení je MAX3243ECAI+ a také je umístěn v pouzdře SSOP28. Dále obsahuje devět kondenzátorů. Kondenzátor C1 slouží jako filtrační kondenzátor pro napájecí napětí, které je přiváděno po sběrnici USB. K němu je ze stejného důvodu ještě připojena feritová tlumivka označená na schématu jako FERRIT. Kondenzátory C2, C3 a C9 slouží také jako filtrační pro odstranění rušivých signálů, které by se neměly dostat na napájecí vstupy integrovaných obvodů. Kondenzátor C4 je připojen na výstup napětí 3,3V integrovaného obvodu IC1, který ale není využíván, ale i přesto by podle dokumentace měl být ukončen kapacitorem o velikosti 100 nF. Kondenzátory C5 až C8 slouží napěťovému převodníku jako součást nábojových pump. Dále toto zapojení obsahuje tři rezistory. Rezistory R1 a R2 slouží jako proudové omezení pro signalizační LED. R3 má hodnotu 0 Ω a slouží pouze jako propojka signálů GND na desce plošných spojů. Také obsahuje dvě signalizační LED a to LED_TX a LED_RX. A nakonec toto zapojení obsahuje konektory pro připojení rozhraní USB, které je připojeno konektorem typu B, a rozhraní RS-232. U tohoto rozhraní bylo nutné využít konektor typu MLW10, který je umístěn přímo na desce plošných spojů a pomocí plochého desetižilového kabelu je teprve připojen konektor DB-25. Protože umístění tohoto konektoru přímo na DPS by si vyžádalo vyrobení dvouvrstvé desky, což je technologicky náročnější.

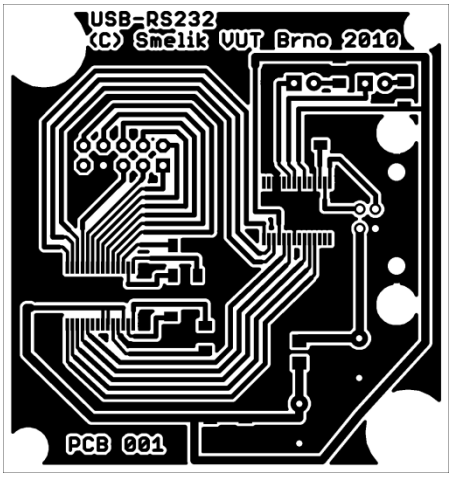
V tab. 7.1 jsou uvedeny všechny součástky, které se nachází na DPS, včetně jejich hodnot a typů pouzder.

Tab. 7.1: Seznam použitých součástek v komunikačním rozhraní

Součástka	*Reference*	*Hodnota*	*Pouzdro*
Kondenzátor	C1	100 nF	C-EL 5 mm
Kondenzátor	C2	100 nF	SMD 1206
Kondenzátor	C3	4,7 µF	C-EL 5 mm
Kondenzátor	C4	100 nF	SMD 1206
Kondenzátor	C5	100 nF	SMD 1206
Kondenzátor	C6	100 nF	SMD 1206
Kondenzátor	C7	100 nF	SMD 1206
Kondenzátor	C8	100 nF	SMD 1206
Kondenzátor	C9	100 nF	SMD 1206
Tlumivka	FERRIT	1 µH	SMD 1206
Integrovaný obvod	IC1	FT232RL	SSOP28
Integrovaný obvod	IC2	MAX3243ECAI+	SSOP28
Signalizační LED	LED_RX	Green	LED 6 mm
Signalizační LED	LED_TX	Green	LED 6 mm
Rezistor	R1	270 Ω	SMD 1206
Rezistor	R2	270 Ω	SMD 1206
Rezistor	R3	0 Ω	SMD 1206
Konektor	RS232	-	MLW10G
Konektor	USB	-	85-32004-10X

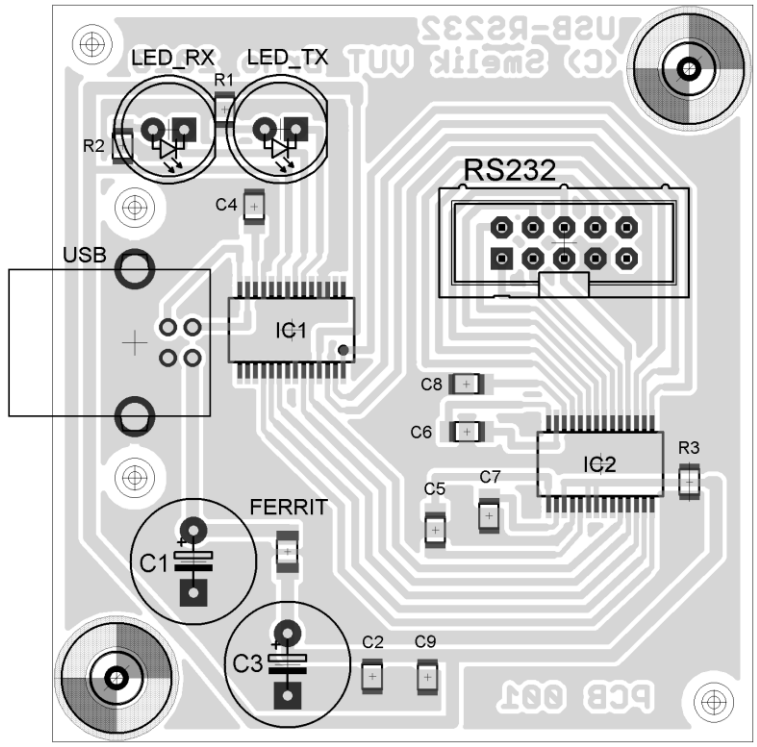
7.4 Deska plošných spojů komunikačního rozhraní

Dle schématu zapojení byla navrhnuta deska plošných spojů v návrhovém systému EAGLE 5.10.0. Deska plošných spojů je jednovrstvá a má rozměry 62 x 58 mm. Výsledný návrh desky určený pro výrobu je zobrazen na obr. 7.1.



Obr. 7.1 Návrh DPS komunikačního rozhraní určený pro výrobu

Na obr. 7.2 je zobrazeno rozmístění součástek, které je nutné pro jejich osazení a zapájení. DPS je zobrazena ze strany součástek.



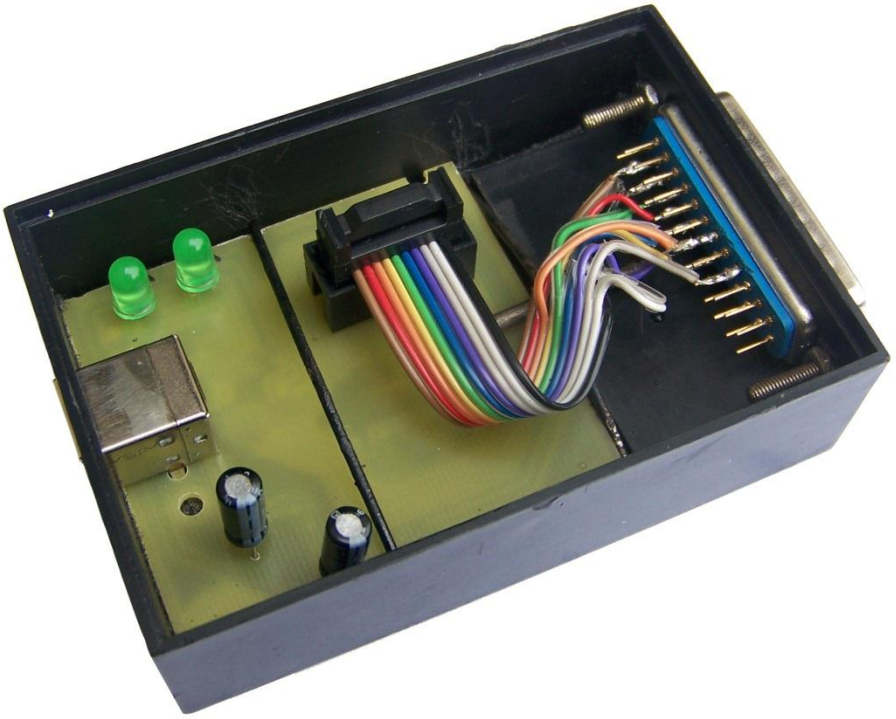
Obr. 7.2: Rozmístění součástek na DPS komunikačního rozhraní

Tato deska plošných spojů byla podle tohoto návrhu vyrobena, osazena a zapájena součástkami. Poté byla oživena a připojena pomocí kabelu USB k počítači. Použitý kabel je běžný USB kabel o délce 3 m. Na straně počítače je použit konektor typu A a na straně komunikačního rozhraní konektor typu B. Po připojení k počítači se automaticky nainstaloval ovladač, což nasvědčuje, že po hardwarové stránce je komunikační rozhraní zcela v pořádku a plně funkční, což také po připojení signalizovaly připojené LED.

Kompletně vyrobené hardwarové vybavení komunikačního rozhraní včetně krabičky, ve které je DPS umístěna, je zobrazeno na obr. 7.3, obr. 7.4 a obr. 7.5.

Obr. 7.3: Fotografie komunikačního rozhraní - rozhraní RS-232

Obr. 7.4: Fotografie komunikačního rozhraní - rozhraní USB



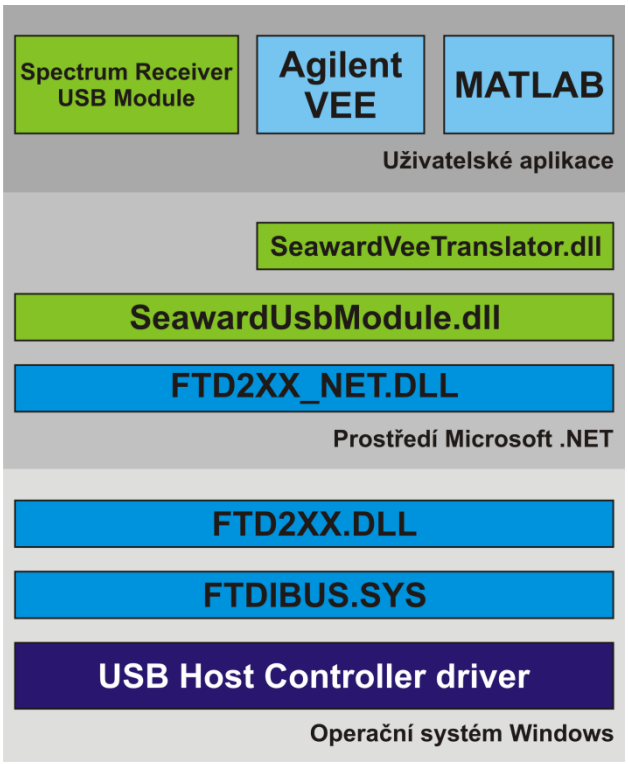
Obr. 7.5: Fotografie komunikačního rozhraní - vnitřní zapojení DSP

8 Realizace programového vybavení

Tato kapitola se zabývá realizací programového vybavení komunikačního rozhraní. Realizace vychází z návrhu, který je založen na ovladačích a knihovnách poskytovaných výrobcem integrovaného obvodu FT232R.

8.1 Struktura programového vybavení

Jak již bylo zmíněno, návrh se snaží co nejvíce využít softwarového vybavení, které poskytuje přímo výrobce a na tomto základě bude stát softwarové vybavení komunikačního rozhraní. Na základě těchto kritérií a také dle zadání této diplomové práce vypadá struktura programového vybavení následovně, jak je zobrazeno na obr. 8.1.



Obr. 8.1: Struktura programového vybavení komunikačního rozhraní

USB Host Controller driver je standardním ovladačem operačních systémů Windows. Knihovny FTDIBUS.SYS a FTD2XX.DLL jsou součástí ovladačů dodávaných společností FTDI Ltd. a navíc knihovna FTD2XX.DLL obsahuje rozhraní, které zajišťuje vlastní komunikaci s integrovaným obvodem FT232R. Další knihovnou, kterou výrobce poskytuje je FTD2XX_NET.DLL, která je určena pro prostředí Microsoft .NET a umožňuje snadnější a pohlednější přístup k samotnému zařízení.

Knihovny SeawardUSBModule.dll a SeawardVeeTranslator.dll jsou knihovny, které jsou vytvořeny v rámci této diplomové práce. Skrze tyto knihovny je uživatelským aplikacím umožněna komunikace s komunikačním rozhraním. Aplikace Spektrum

Receiver USB Module nahrazuje stávající aplikaci Spectrum Receiver, která je původně určena pro komunikaci se spektrálním analyzátorem Seaward. Pro vytvoření těchto knihoven a obslužné aplikace byl zvolen programovací jazyk C# a vývojové prostředí Microsoft Visual Studio 2010. Přes značné výhody, které kombinace tohoto programovacího jazyka a vývojového prostředí nabízí, je tu jedna nevýhoda. K běhu takto vytvořených aplikací je nutnost mít v operačním systému nainstalovaný tzv. .NET Framework [13]. V této diplomové práci je použita verze 4.0.

8.2 Realizace knihovny SeawardUSBModule.dll

Tato knihovna je navržena a realizována jako vlastní komunikátor mezi spektrálním analyzátorem a obslužnou aplikací. Tento komunikátor pracuje na základě výsledků analýzy komunikace mezi spektrálním analyzátorem a počítačem. Skrze knihovny, které jsou ve sktruktuře pod ní, zajišťuje tato knihovna vysílání a přijímání dat, která putují komunikačním rozhraním. Protože komunikace se spektrálním analyzátorem se uskutečňuje pomocí přesně definovaných rámců, tato knihovna tyto rámce vytváří, vysílá a také přijímané rámce analyzuje a vyhodnocuje přijatá data. Hlavní součástí této knihovny je stavový automat, který v každém stavu vyšle určitý rámec a podle přijatého rámce se změní stav tohoto automatu. Stavový automat je uveden v příloze D.

Další vlastností této knihovny je zajištění komunikace s obslužnou aplikací, ze které přicházejí příkazy, které nastavují spektrální analyzátor, ale také tato knihovna posílá hodnoty změřené spektrálním analyzátorem do obslužné aplikace. Ve výše zmíněném automatu tedy hraje také roli, jaké požadavky jsou vyslány z obslužné aplikace, a podle nich se také vyhodnocuje další stav automatu.

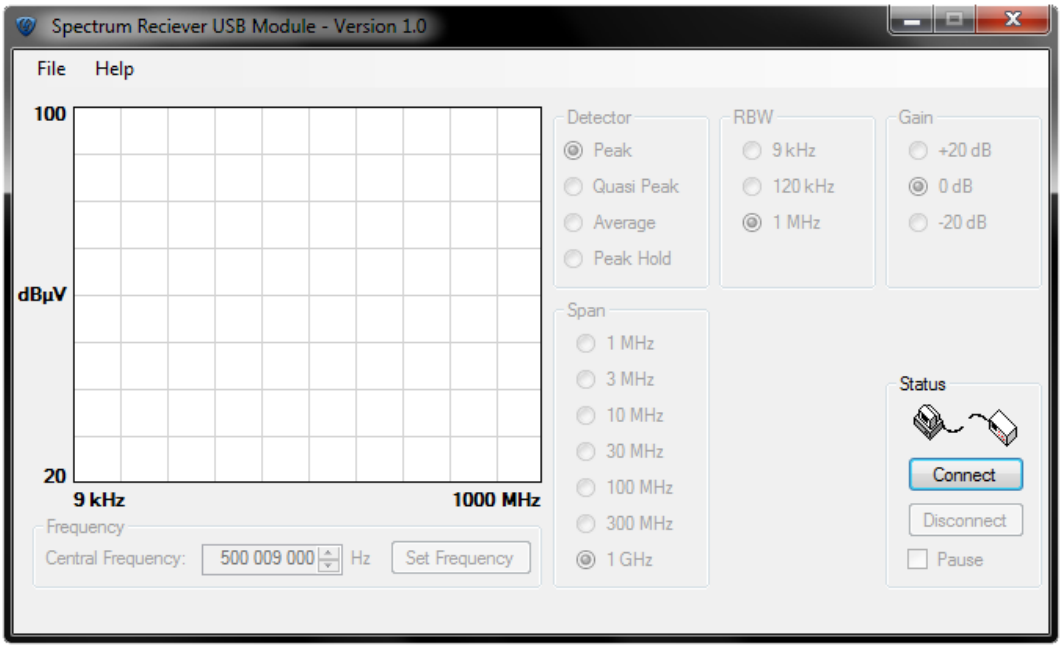
8.3 Realizace knihovny SeawardVeeTranslator.dll

Tato knihovna je navržena a realizována aby komunikovala s knihovnou SeawardUSBModule.dll, tzn., že slouží jako prostředník mezi vývojovým prostředím Agilent VEE nebo MATLAB a samotným spektrálním analyzátorem. Skrze tuto knihovnu může uživatel z těchto vývojových prostředí nastavovat spektrální analyzátor a také získat změřená data. Nastavování probíhá pomocí SCPI příkazů, které jsou posílány do této knihovny a ta je přeloží do příkazů dle analýzy komunikace a předá komunikační knihovně SeawardUSBModule.dll.

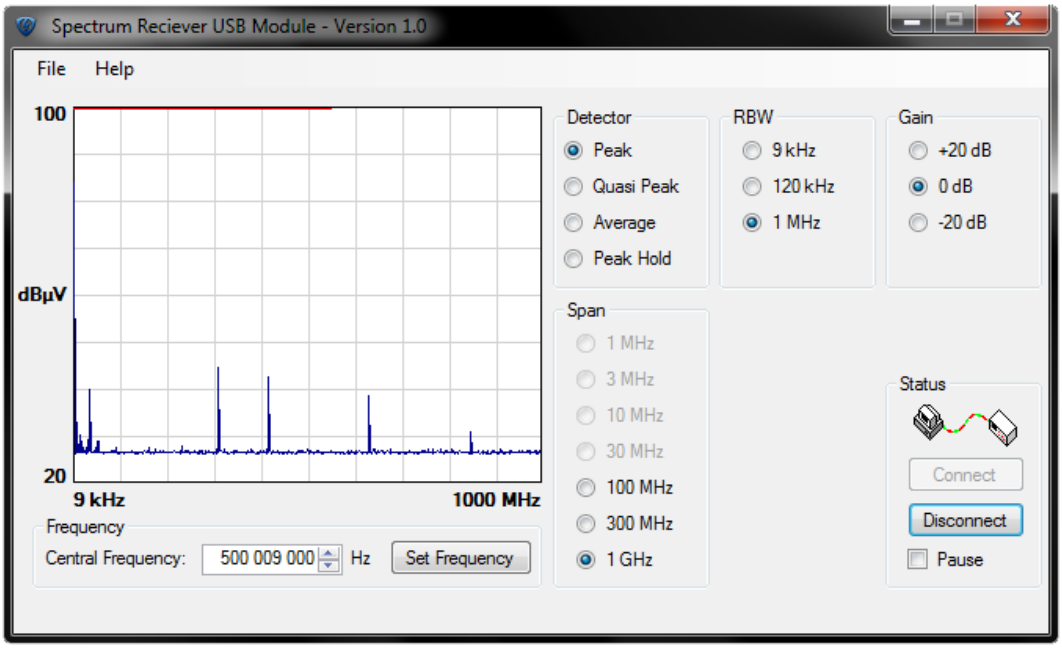
Změřené hodnoty tato knihovna vrací přímo v hodnotách napětí dBµV a k nim odpovídajících kmitočtech.

8.4 Realizace obslužné aplikace Spektrum Receiver USB Module

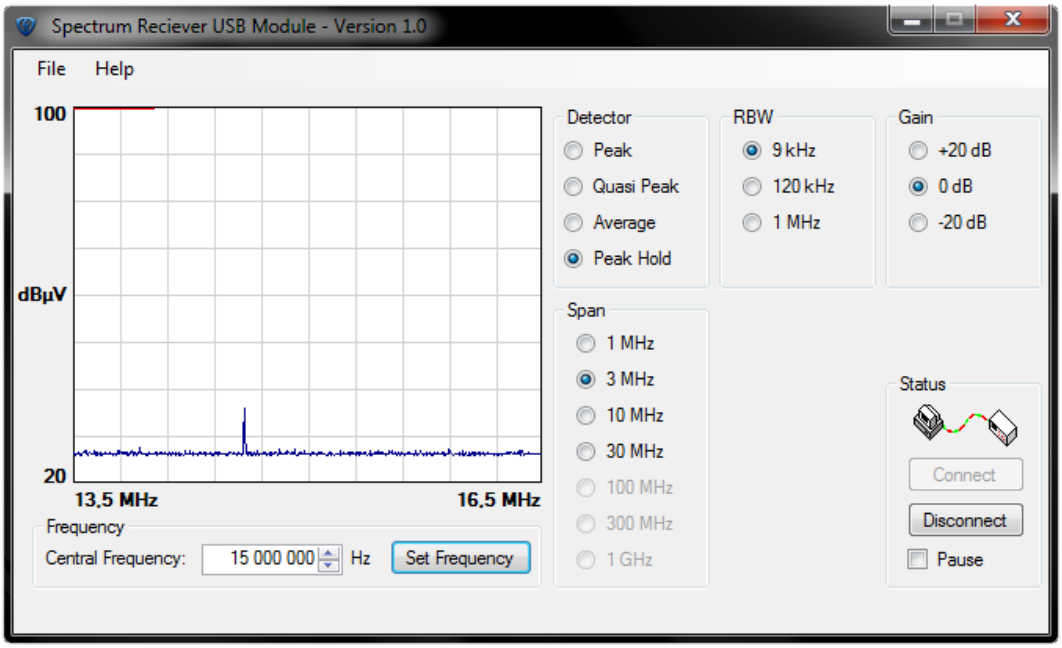
Tato aplikace je náhradou za původní aplikaci Spectrum Receiver, která bohužel nepracuje korektně v operačních systémech Windows XP a novějších. Tato aplikace má na starosti konfigurování spektrálního analyzátoru a zobrazení změřených hodnot, které spektrální analyzátor skrze knihovnu SeawardUsbModule.dll posílá. Jedná se o standardní Windows aplikaci, která je postavená na platformě Microsoft .NET. Jak tato aplikace vypadá, je zobrazeno na obr. 8.2, kde je aplikace v odpojeném stavu po spuštění. Na obr. 8.3 je zobrazena aplikace v připojeném stavu během měření. Na obr. 8.4 je zobrazena aplikace také v režimu měření. Rozvržení ovládacích prvků a zobrazování změřených hodnot bylo využito z původní aplikace.



Obr. 8.2: Obslužná aplikace Spectrum Receiver USB Module - odpojeno



Obr. 8.3: Obslužná aplikace Spectrum Receiver USB Module - měření 1



Obr. 8.4: Obslužná aplikace Spectrum Receiver USB Module - měření 2

V levé části hlavního okna je připraven rastr na zobrazování změřených průběhů. Pod ním lze nastavit střední kmitočet spektrálního analyzátoru. Napravo od rastru jsou ovládací prvky pro spektrální analyzátor a vpravo dole jsou tlačítka pro navázání a zrušení komunikace se spektrálním analyzátorem a také se tu nachází ovládací prvek pro dočasné přerušení komunikace, kdy spektrální analyzátor přestane posílat změřená data. Podrobný návod na instalaci a ovládání této aplikace je uveden v příloze E.

9 Automatizovaná měření

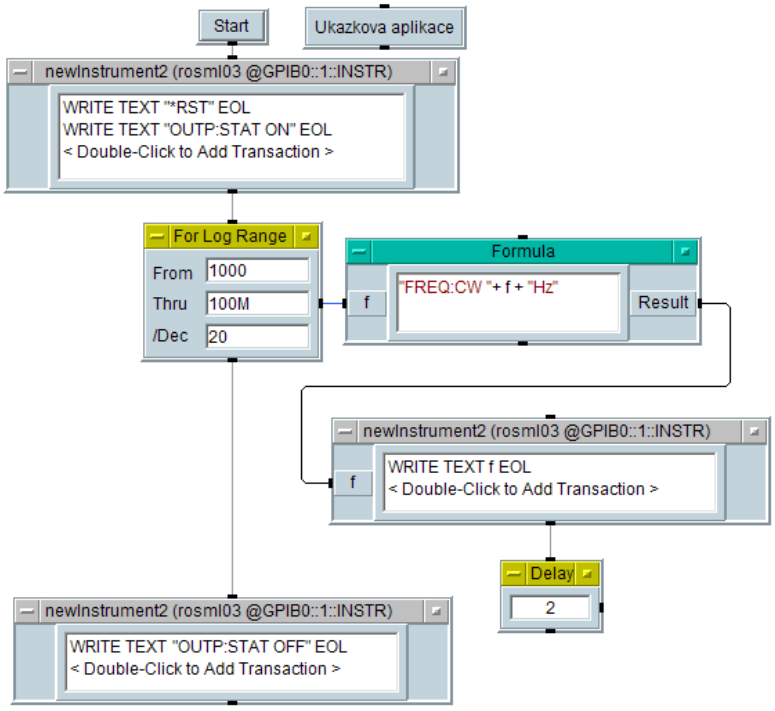
Jedním z cílů této diplomové práce je, aby zrealizované komunikační rozhraní bylo možné ovládat skrze vývojová a měřící rozhraní Agilent VEE popřípadě MATLAB. To umožní použití spektrálního analyzátoru Seaward v automatizovaných měřeních.

9.1 Agilent VEE

Toto vývojové prostředí je vyvinuto společností Agilent a slouží k realizaci automatizovaných měření nebo k řízení různých vědeckých experimentů. A také k zobrazování a vyhodnocování jejich výsledků. Primárně je určeno pro řízení měřících přístrojů různých výrobců, které splňují určitá kritéria pro komunikační rozhraní, kterými jsou připojeny k počítači.

9.1.1 Programování v prostředí Agilent VEE

Programování probíhá pomocí pevně definovaných bloků, které mají své specifické funkce. Průběh programu je dán pořadím, jak jsou bloky zapojeny od počátečního bloku *Start*. Jak může vypadat jednoduchý program ve Agilent VEE, je zobrazeno na obr. 9.1.



Obr. 9.1: Ukázka programu v prostředí Agilent VEE

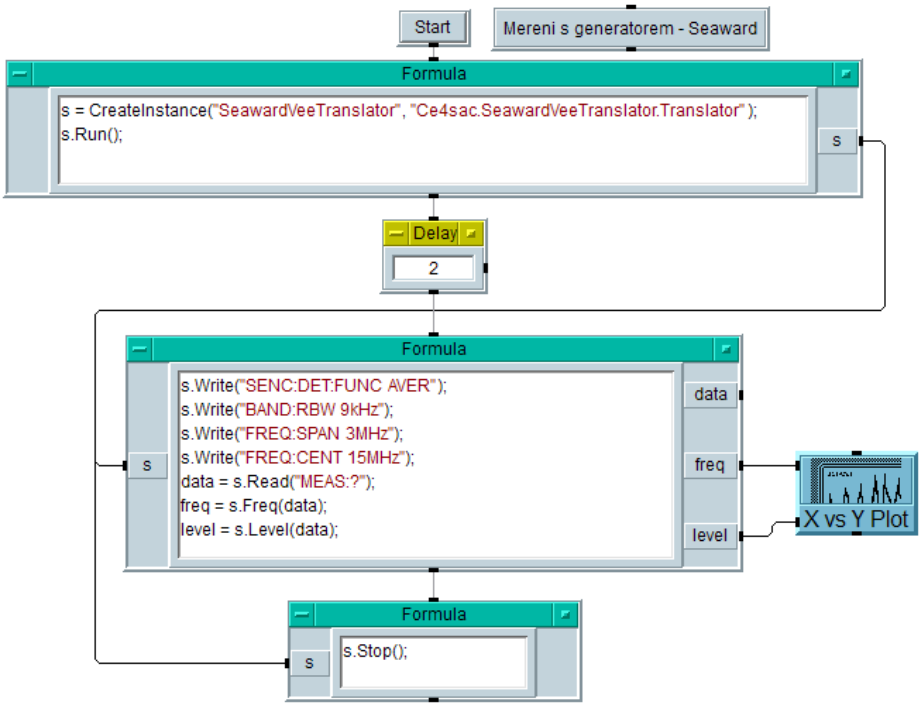
Tento program začíná restartováním generátoru Rohde&Schwarz pomocí příkazu **RST*, který poté připojí generovaný signál na výstupní svorky příkazem *OUTP:STAT ON*. Dále program pokračuje tak, že ve smyčce *For* se vždy nastaví kmitočet generátoru a poté program vyčká 2 sekundy, než nastaví další kmitočet. V bloku *Formula* je vytvořen příkaz, který je zapsán do generátoru. Na konci programu jsou výstupní svorky generátoru odpojeny.

9.1.2 Platforma .NET v prostředí Agilent VEE

Vývojové prostředí Agilent VEE obsahuje také framework pro platformu .NET. To umožňuje přímo v tomto prostředí spouštět kód, který je napsán právě pro platformu .NET. Toho je využito v této diplomové práci. Programová část komunikačního rozhraní je naprogramována v jazyce C# na platformě .NET.

Framework v prostředí Agilent VEE je pouze ve verzi 3.5, zatímco softwarová část je naprogramována ve verzi 4.0. Proto bylo nutné knihovny SeawardUsbModule.dll a SeawardVeeTranslator.dll znovu zkompilovat do verze 3.5.

Pro úspěšné spuštění tohoto kódu stačí v projektu prostředí Agilent VEE nastavit, jaké knihovny se mají připojit k tomuto projektu. Poté stačí pouze tento kód respektive jeho veřejné funkce a vlastnosti volat v bloku *Formula*. K tomuto účelu je vytvořena knihovna SeawardVeeTranslator.dll, která je součástí programového vybavení komunikačního rozhraní. Jak může takový program vypadat, je zobrazeno na obr. 9.2. Podrobný návod pro nastavení prostředí Agilent VEE a ovládání je uveden v příloze E.



Obr. 9.2: Ukázka programu propojení prostředí Agilent VEE a platformy .NET

Na začátku tohoto programu je vytvořena instance (jedná se vlastně o proměnnou) knihovny SeawardVEETranslator.dll. a poté se spustí komunikace se spektrálním analyzátorem Seaward pomocí funkce *Run*. Následně program čeká 2 sekundy a je pomocí funkce *Write* nastaven spektrální analyzátor. Příkazem *Read* se získají naměřené hodnoty a uloží do proměnné *data*. Tato proměnná je dvourozměrné pole, kde je uložena informace o kmitočtu a změřených úrovních. Funkcemi *Freq* a *Level* se získá pole hodnot z dvourozměrného pole *data*. V bloku *X vs Y Plot* je následně vykreslen změřený průběh signálu. Na konci programu je funkce *Stop*, která ukončí komunikaci se spektrálním analyzátorem.

9.2 MATLAB

Programové prostředí MATLAB vyvinuté společností MathWorks je zejména určeno pro numerické výpočty, modelování a počítačové simulace. Používá se také pro automatizovaná měření a řízení různých vědeckých experimentů. Pomocí doplňkových aplikací (tzv. toolboxů) lze přes toto prostředí komunikovat s měřicími přístroji různých značek.

9.2.1 Programování v prostředí MATLAB

K programování slouží programovací jazyk vyvinutý přímo pro prostředí MATLAB. Nejvíce se jeho syntaxe podobá jazyku C a Fortran. Zvládá také objektově orientované programování.

9.2.2 Platforma .NET v prostředí MATLAB

Stejně jako prostředí Agilent VEE také prostředí MATLAB obsahuje Framework platformy .NET, ale pouze ve verzi 3.5. Pro implementaci platformy .NET stačí, aby tyto knihovny byly součástí *Workspace* a následně v kódu načíst příslušné .NET knihovny a poté využívat jejich veřejné funkce a vlastnosti. Takový kód může například vypadat následovně:

```
clear all;
clc;

% Mereni s generatorem - Seaward
% Ukazkova aplikace

% Nutno upravit cestu podle aktualni Workspace
NET.addAssembly('C:\Matlab\FTD2XX_NET.dll');
NET.addAssembly('C:\Matlab\SeawardUsbModule.dll');
NET.addAssembly('C:\Matlab\SeawardVeeTranslator.dll');

s = Ce4sac.SeawardVeeTranslator.Translator;
s.Run();

pause(2);

s.Write('SENC:DET:FUNC AVER');
s.Write('BAND:RBW 9kHz');
s.Write('FREQ:SPAN 3MHz');
s.Write('FREQ:CENT 15MHz');
data = s.Read('MEAS:?');
freq = s.Freq(data);
level = s.Level(data);

s.Stop();

plot(freq,level);
```

Tento program pracuje úplně stejně jako program v prostředí Agilent VEE, který je zobrazen na obr. 9.2. Pouze na začátku programu jsou pomocí funkce *addAssambly* načteny potřebné knihovny pro komunikaci se spektrálním analyzátorem. Na konci programu je použita funkce *plot*, která zobrazí graf s naměřenými výsledky. Na ose x je frekvence a na ose y úroveň napětí. Podrobný návod k nastavení a použití je uveden v příloze E.

10 Demonstrační měření

Cílem této diplomové práce je také provést na nově realizovaném komunikačním rozhraní demonstrační měření, které ukáže jeho plnou funkčnost. Měření by se měla týkat EMC problematiky.

Bohužel se při vytváření a testování programového vybavení zjistilo, že spektrální analyzátor není zcela v pořádku, konkrétně jeho detektor neměří úplně správně. Tento problém je na úrovni měřící analogové části spektrálního analyzátoru, takže nemá vliv na správné fungování komunikace s počítačem. A není možné s tímto spektrálním analyzátorem v takovém stavu měřit přesně. Proto se demonstrační měření omezuje pouze na ukázku, že komunikační rozhraní pracuje zcela bez problémů a také dokládá chybné měření spektrálního analyzátoru.

10.1 Měření s generátorem

Toto měření spočívá v tom, že na vstup spektrálního analyzátoru je přiveden signál přímo z generátoru pomocí kabelu. V měření jsou použity dva generátory, aby se vyloučila možnost jejich chyby. Prvním generátorem je Rohde&Schwarz SML03 (sériové číslo: 103352), druhým je generátor Agilent 33220A (sériové číslo: MY44035813). Pro toto měření je také použit další spektrální analyzátor, aby bylo možné výsledky spektrálního analyzátoru Seaward s čím porovnat. Použit je spektrální analyzátor HP E7404A (sériové číslo: US39150114).

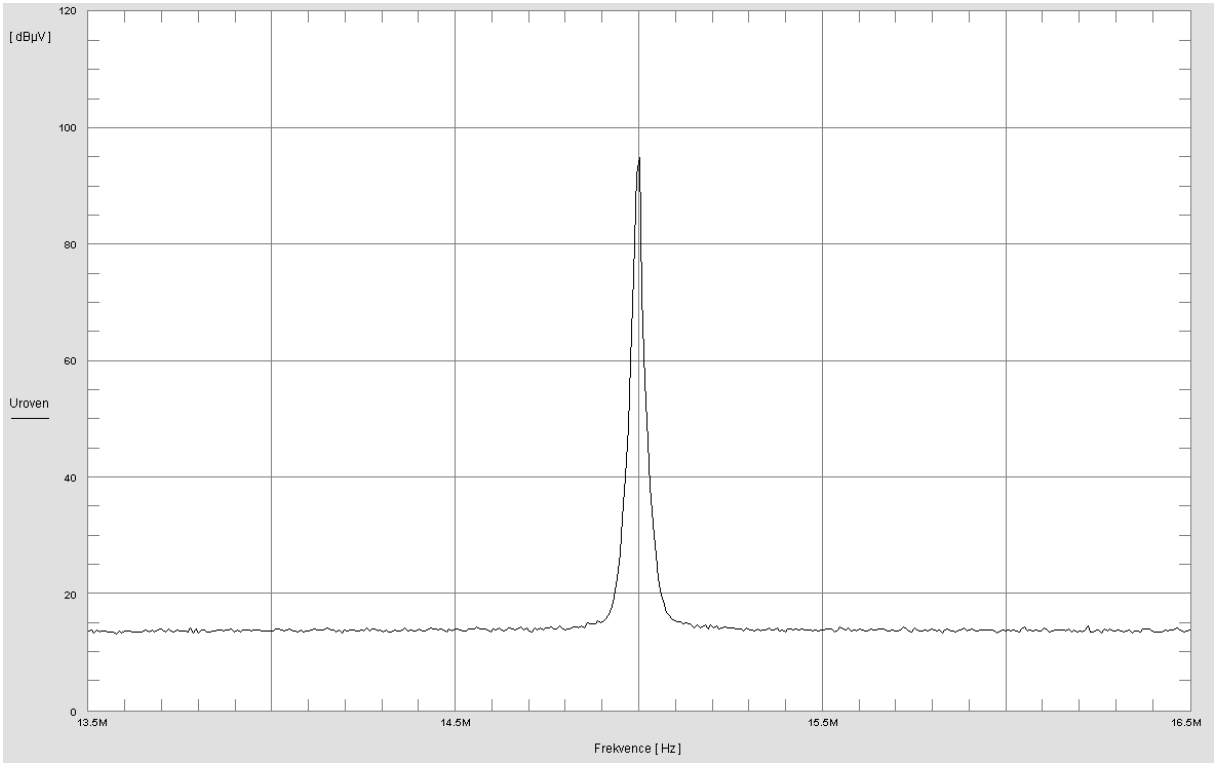
Oba generátory jsou nastaveny vždy ručně a to následovně. Kmitočet je nastaven na 15 MHz, výstupní impedance je nastavena na 50 Ω a výstupní výkon je -6,99 dBm, což odpovídá výstupnímu napětí 100 dBμV. Výstupní signál má jednoduchý sinusový signál, to znamená, že všechny různé modulace jsou vypnuty.

Generátor je vždy připojen ke spektrálnímu analyzátoru pomocí vysokofrekvenčního kabelu s N konektory, popřípadě BNC konektory při použití vhodné redukce. Celkový útlum kabelu i s redukcemi je přibližně roven hodnotě 3dB.

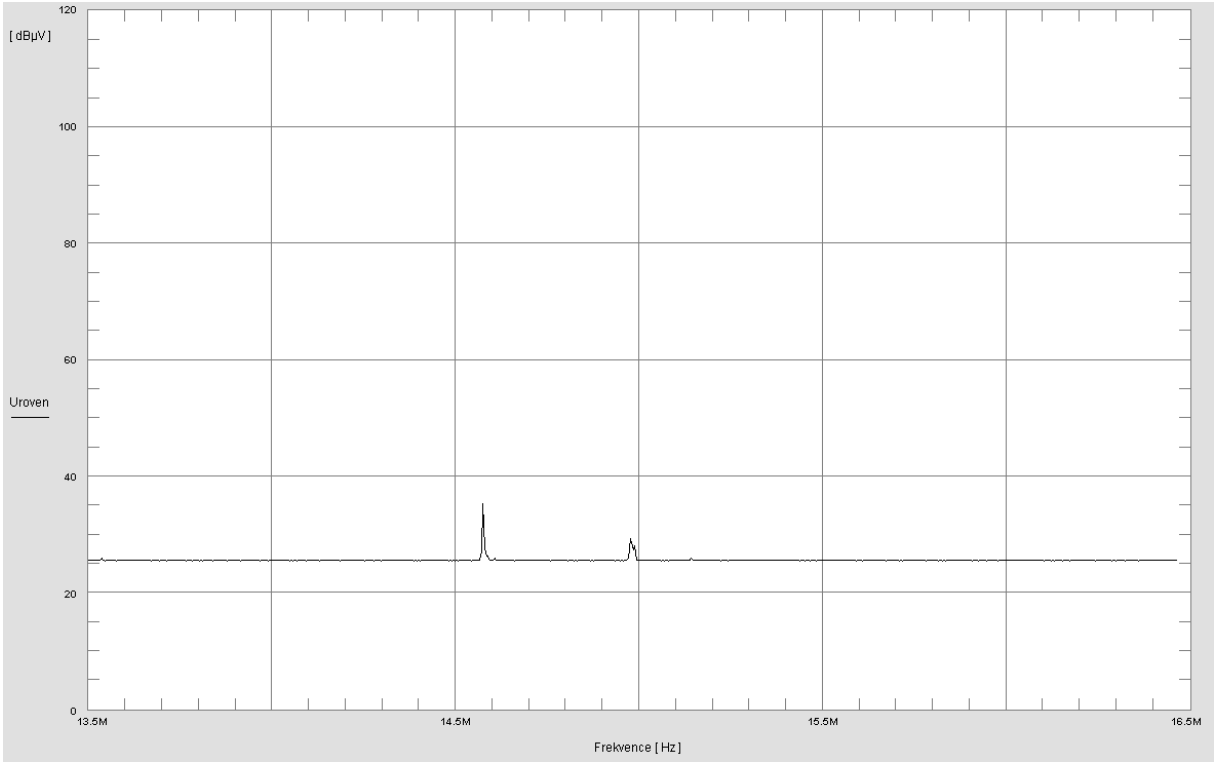
Spektrální analyzátory jsou nastavovány přes vývojové prostředí Agilent VEE, přes které jsou také zobrazovány výsledky měření. Spektrální analyzátor HP E7404A je nastaven následovně. Centrální kmitočet je 15 MHz, šířka pásma (Span) 3 MHz, filtr BRW 9 kHz, filtr pro zobrazení (RBW video) 10 kHz a výsledné hodnoty měření jsou dány zprůměrováním dvou set hodnot. Spektrální analyzátor Seaward je nastaven podobně. Střední kmitočet 15 MHz, šířka pásma (Span) 3 MHz, filtr RBW 9 kHz, zisk předzesilovače (Gain) je nastaven na 0 dB a detektor na průměrnou hodnotu (Average). Jak vypadají programy automatizovaného měření v prostředí Agilent VEE pro jednotlivé spektrální analyzátory je zobrazeno v příloze F.

10.1.1 Měření G01

V tomto měření je použit generátor Rohde&Schwarz SML03. Na obr. 10.1 je změřený průběh spektrálním analyzátorem HP E7404A a na obr. 10.2 je změřený průběh spektrálním analyzátorem Seaward.



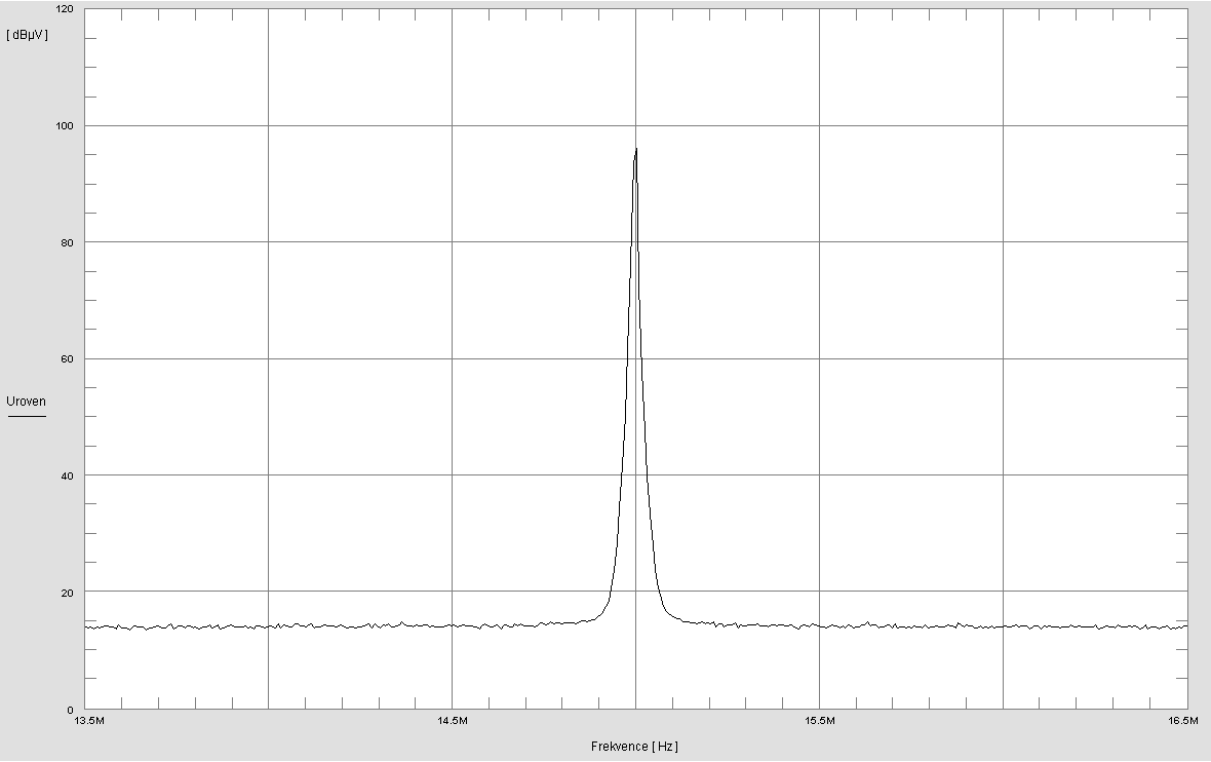
Obr. 10.1: Výsledky měření HP E7404A s generátorem R&S



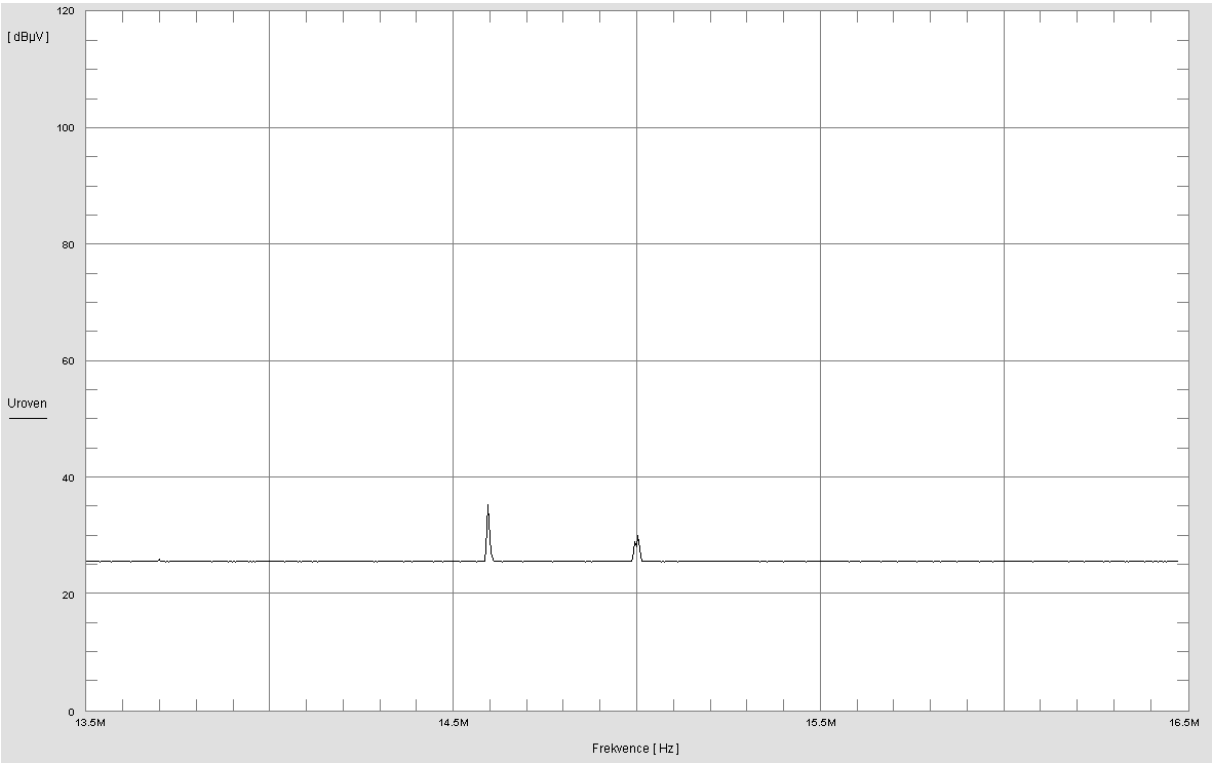
Obr. 10.2: Výsledky měření Seaward s generátorem R&S

10.1.2 Měření G02

V tomto měření je použit druhý generátor a to Agilent 33220A. Jinak zůstaly všechny ostatní parametry měření stejné. Na obr. 10.3 je změřený průběh spektrálním analyzátorem HP E7404A a na obr. 10.4 je změřený průběh spektrálním analyzátorem Seaward.



Obr. 10.3: Výsledky měření HP E7404A s generátorem Agilent



Obr. 10.4: Výsledky měření Seaward s generátorem Agilent

10.2 Vyhodnocení demonstračního měření

Jak je patrno ze změřených výsledků spektrální analyzátor Seaward neměří správně. Naměřený průběh vůbec neodpovídá průběhu, který změřil spektrální analyzátor HP. Ten změřil špičku signálu na 95 dBµV, což odpovídá běžnému útlumu vznikajícímu mezi generátorem a spektrálním analyzátorem, který není úplně přesně zkalibrován. Šumová úroveň je kolem 13 dBµV, zatímco u spektrálního analyzátoru Seaward 25dBµV. Detektor u tohoto spektrálního analyzátoru nebyl vůbec schopen detektovat signál, který byl přiveden z generátoru. Průběhy měření pro oba generátory jsou téměř totožné, což potvrzuje, že spektrální analyzátor Seaward je opravdu porouchaný.

Během tohoto měření bylo také otestováno celé komunikační rozhraní, u něhož se neobjevily žádné problémy při komunikaci jak se spektrálním analyzátorem tak i s vývojovým prostředím Agilent VEE.

11 Měření rušivého pozadí

Jak potvrdilo demonstrační měření z předchozí kapitoly, spektrální analyzátor Seaward není schopen změřit měření, které je součástí zadání této diplomové práce. To spočívá ve změření rušivého pozadí v různých prostorech s různou úrovní šumového pozadí pomocí měřící metody „odečítání pozadí“. Místo tohoto měření bylo zvoleno pouze jednodušší měření spočívající v měření vlastního šumového pozadí spektrálního analyzátoru a šumového pozadí okolí místa měření.

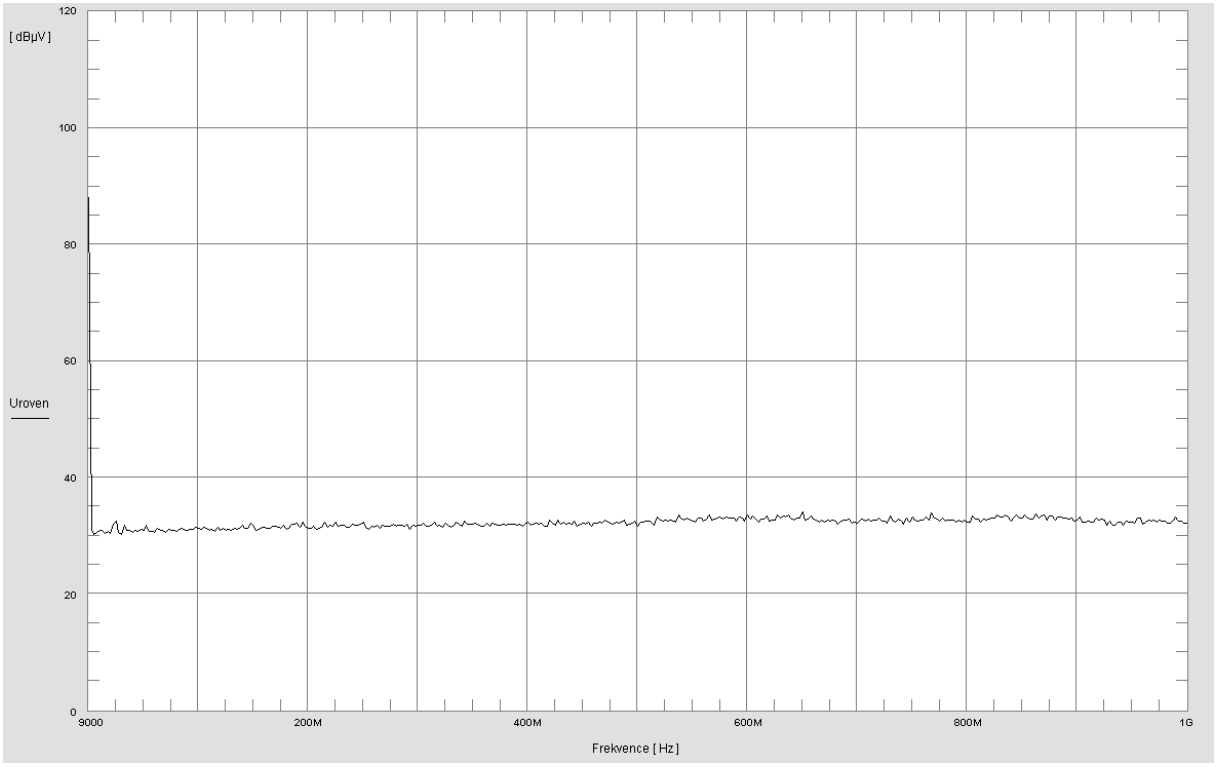
11.1 Měření vlastního šumového pozadí

Toto měření spočívá v tom, že se na vstup spektrálního analyzátoru připojí přizpůsobená zátěž v tomto případě o hodnotě 50 Ω. Poté se ve zvoleném spektru měří úrovně signálu. Tím se získá šumové pozadí spektrálního analyzátoru, které nám říká, že pod touto úrovní není spektrální analyzátor schopen měřit žádné signály. Tato úroveň je nazývána „šumový práh“. Jako přizpůsobená zátěž je použita zátěž, která je součástí kalibrační sady. Jedná se o Anritsu 28S50-1 Termination 50Ω (sériové číslo: 401017). Pro toto měření je také použit další spektrální analyzátor, aby bylo s čím porovnat výsledky změřené pomocí spektrálního analyzátoru Seaward. Použit je spektrální analyzátor HP E7404A (sériové číslo: US39150114).

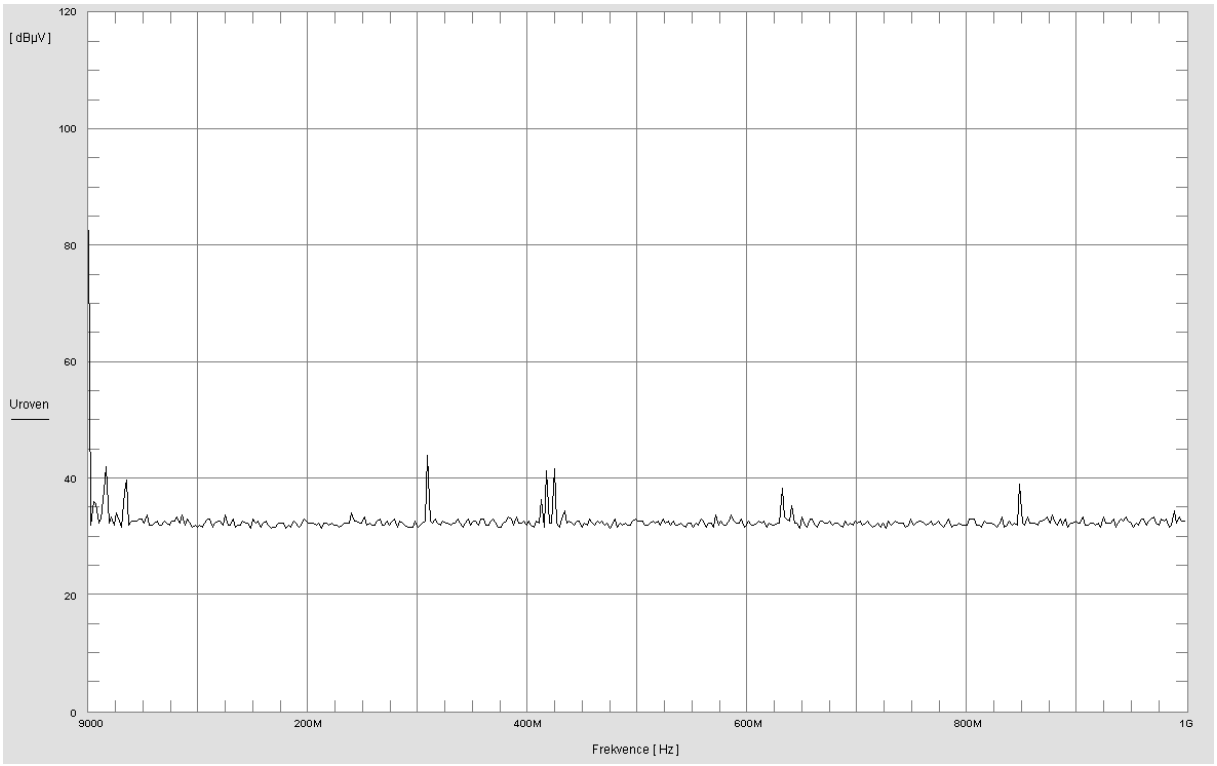
Oba spektrální analyzátory jsou nastaveny skrze vývojové prostředí Agilent VEE a to následovně. Počáteční kmitočet (Start) je 9 kHz, konečný kmitočet (Stop) 1 GHz a filtr RBW je nastaven na 120 kHz. U spektrálního analyzátoru HP je ještě nastaven filtr zobrazení (RBW video) na 100 kHz. U obou spektrálních analyzátorů je nastaven zisk předzesilovače na 0 dB a měření je v režimu *Peak Hold*, což znamená, že se vždy uloží pouze nejvyšší změřená úroveň signálu pro daný kmitočet. Jak vypadají programy automatizovaného měření v prostředí Agilent VEE pro jednotlivé spektrální analyzátory je zobrazeno v příloze F.

11.1.1 Výsledky měření vlastního šumového pozadí

Na obr. 11.1 je průběh signálu změřený spektrálním analyzátorem HP a na obr. 11.2 je průběh signálu, který změřil spektrální analyzátor Seaward.



Obr. 11.1: Výsledky měření vlastního šumového pozadí HP E7404A



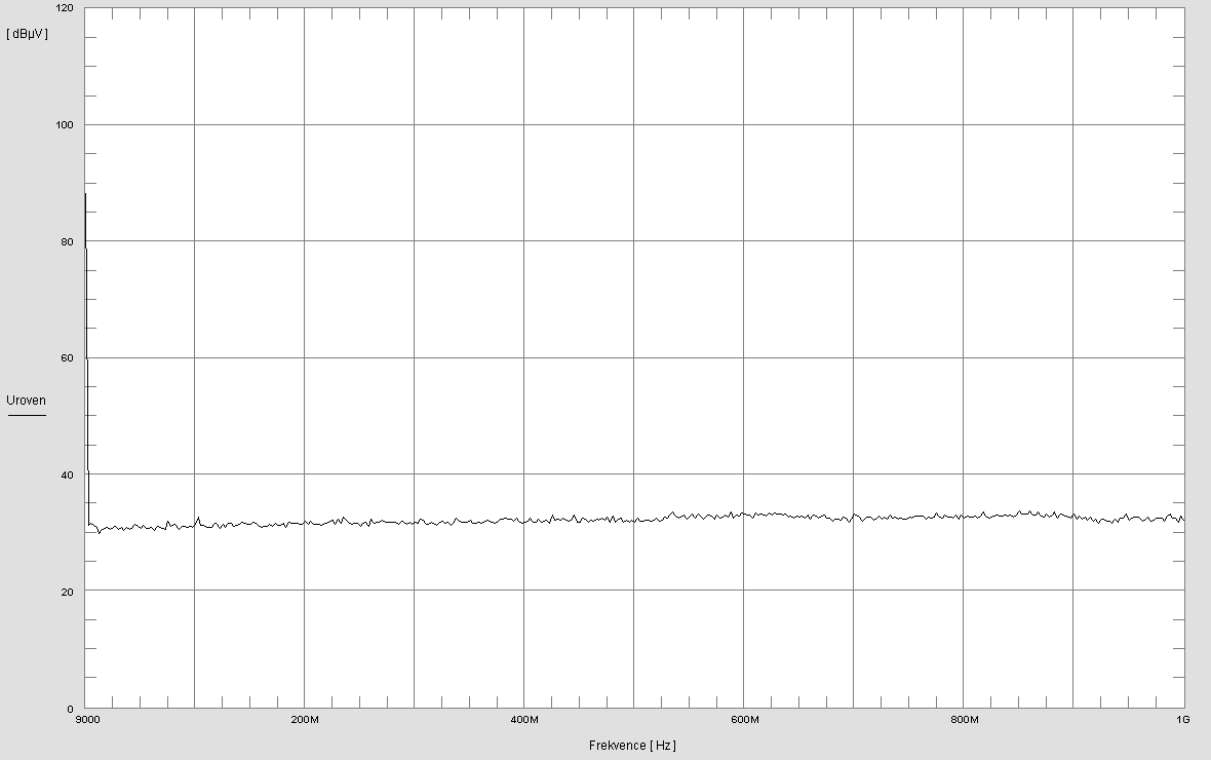
Obr. 11.2: Výsledky měření vlastního šumového pozadí Seaward

11.2 Měření šumového pozadí s otevřeným vstupem

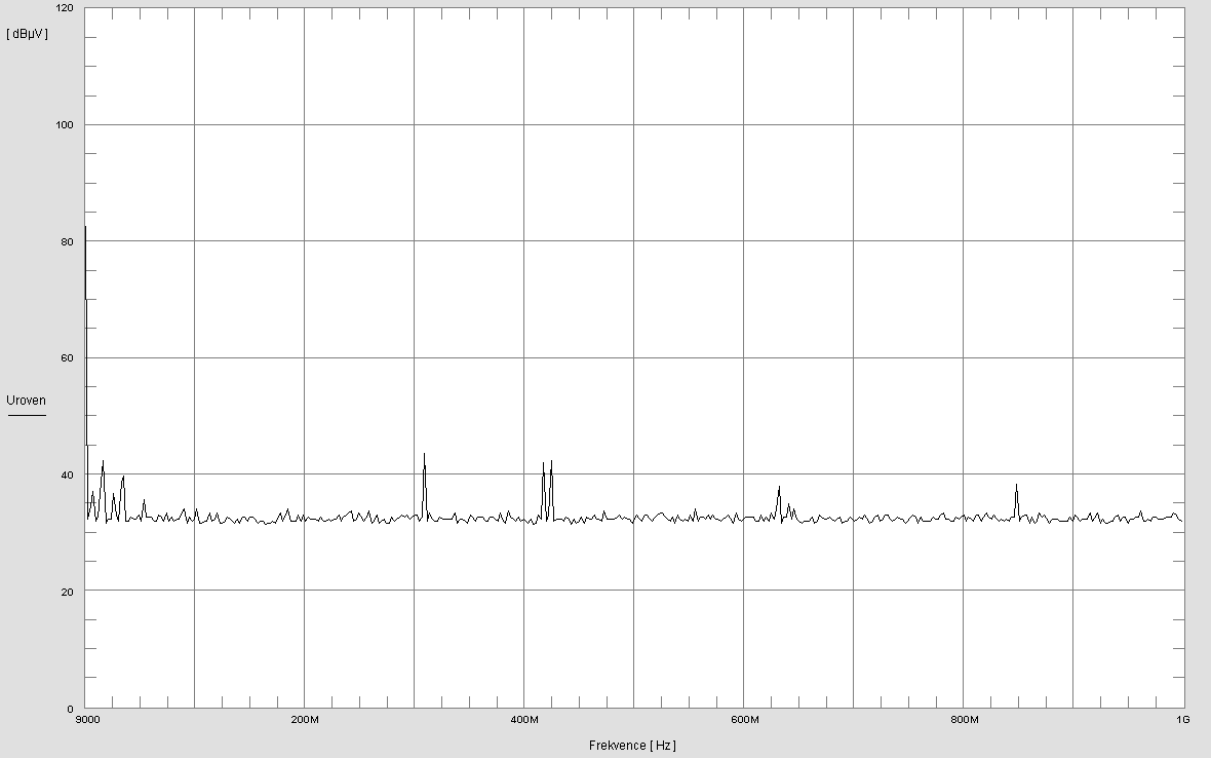
Toto měření je prakticky identické jako předchozí, jenom s tím rozdílem, že místo přizpůsobené zátěže na vstupu spektrálního analyzátoru je vstup nepřipojený tedy s otevřeným koncem. Toto měření slouží pouze k tomu, aby bylo možné porovnat výsledky měření spektrálních analyzátorů HP a Seaward. Nastavení měřících přístrojů je totožné jako v předchozím měření. Programy automatizovaného měření v prostředí Agilent VEE jsou stejné jako v předchozím měření a jsou zobrazeny v příloze F.

11.2.1 Výsledky měření šumového pozadí s otevřeným vstupem

Na obr. 11.3 je průběh signálu změřený spektrálním analyzátorem HP a na obr. 11.4 je průběh signálu, který změřil spektrální analyzátor Seaward.



Obr. 11.3: Výsledky měření vlastního šumového pozadí HP E7404A - otevřený konec



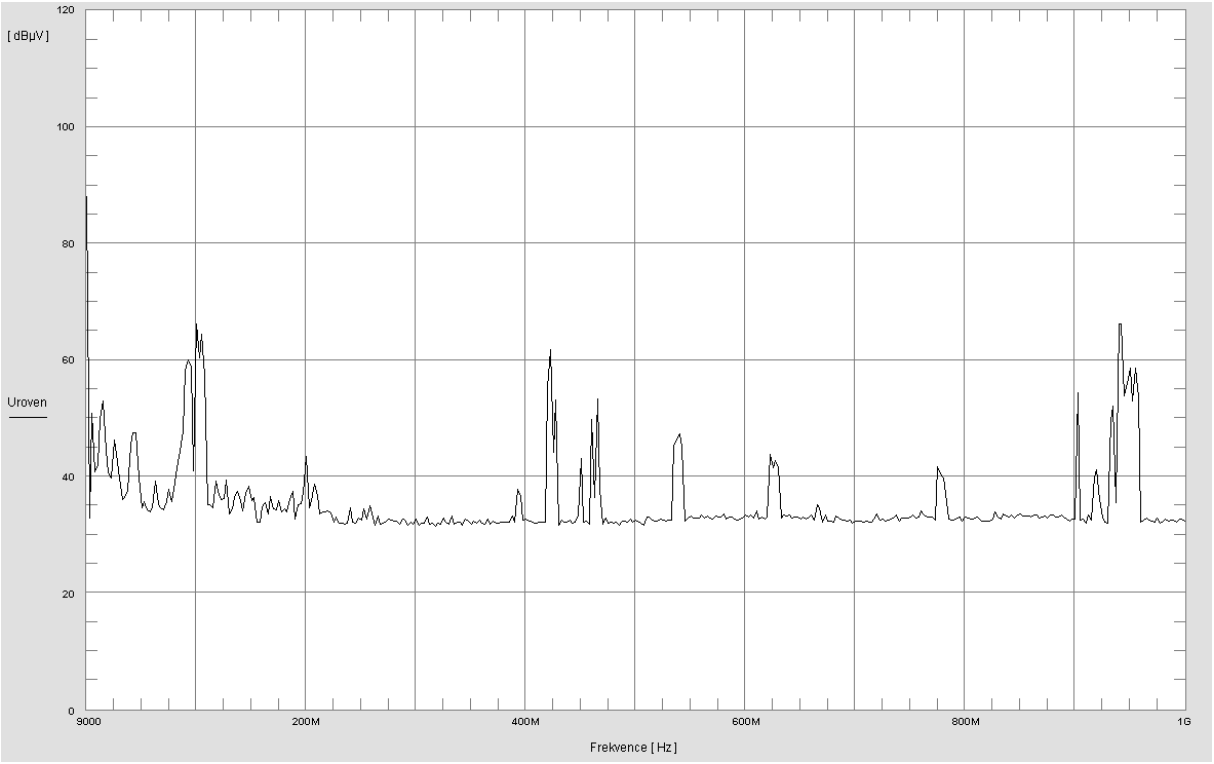
Obr. 11.4: Výsledky měření vlastního šumového pozadí Seaward - otevřený konec

11.3 Měření šumového pozadí okolí místa měření

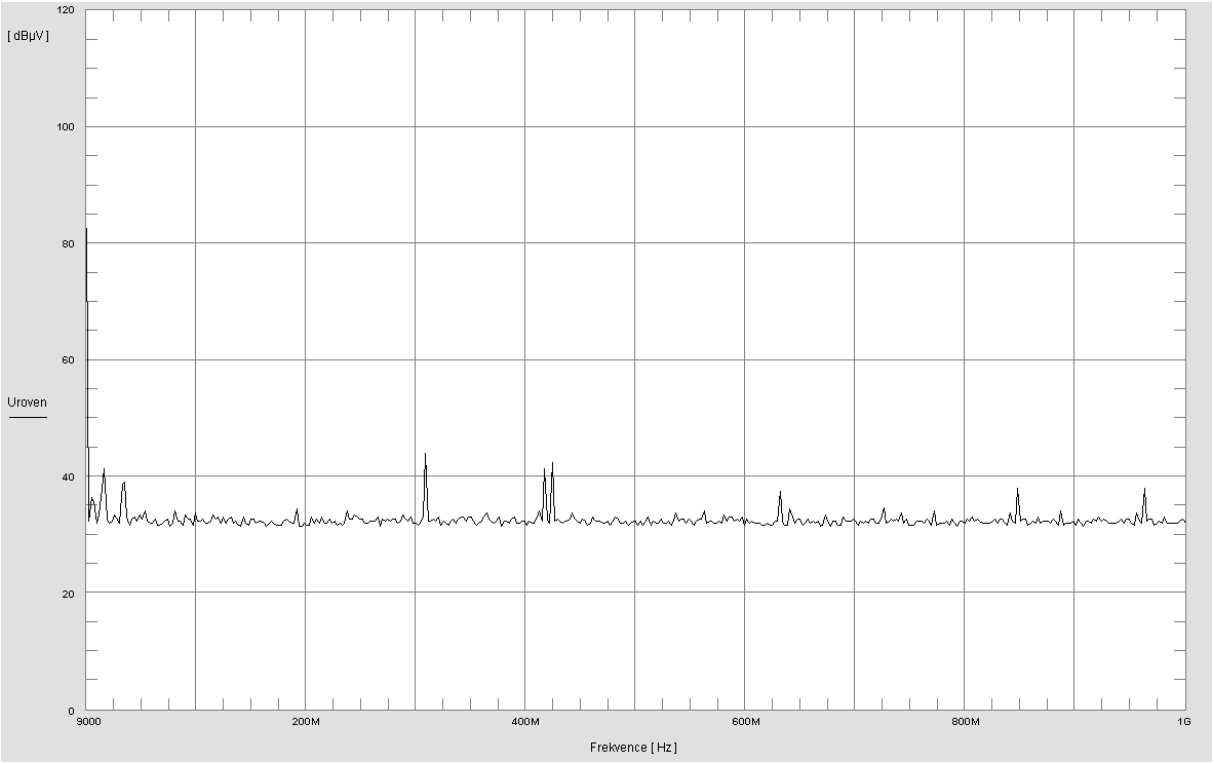
Toto měření je naprosto stejné jako měření vlastního šumového pozadí jenom s tím rozdílem, že je na vstup spektrálního analyzátoru připojena anténa. V tomto případě jde o složenou širokopásmovou anténu typu „Bilog“ od společnosti Schaffner-Chase EMC Ltd. (sériové číslo nebylo zjištěno). S touto anténou je možné změřit šumové pozadí okolí ve velkém rozsahu kmitočtů. V tomto případě se měřilo od 9 kHz po 1 GHz. Měření proběhlo v laboratoři PA-737 (P/01/737, FEKT). Programy automatizovaného měření v prostředí Agilent VEE jsou stejné jako v předchozím měření a jsou zobrazeny v příloze F.

11.3.1 Výsledky měření šumového pozadí okolí místa měření

Na obr. 11.5 je průběh signálu změřený spektrálním analyzátorem HP a na obr. 11.6 je průběh signálu, který změřil spektrální analyzátor Seaward.



Obr. 11.5: Výsledky měření šumového pozadí okolí místa měření HP E7404A



Obr. 11.6: Výsledky měření šumového pozadí okolí místa měření Seaward

11.4 Vyhodnocení měření rušivého pozadí

Z průběhu jednotlivých měření, která provedl spektrální analyzátor Seaward je patrné, že všechny tyto tři průběhy jsou téměř totožné. Tím se znovu potvrdilo, že měřicí přístroj je porouchaný. Jak by průběhy měly vypadat, ukazují výsledky měření pořízené spektrálním analyzátorem HP. Vlastní šumové pozadí je kolem 35 dBμV, což je o něco málo vyšší hodnota než byla očekávána. Je to způsobeno tím, že spektrální analyzátor nebyl při měření přesně zkalibrován. Při měření s anténou je velmi dobře vidět, že změřené spektrum obsahuje různé zdroje signálů, což je například radiové a televizní (DVB-T) vysílání a také mobilní síť GSM.

12 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a realizovat komunikační rozhraní pro spektrální analyzátor Seaward EMC Spectrum Receiver, které komunikuje s počítačem pomocí rozhraní USB.

Byla provedena analýza stávajícího komunikačního rozhraní a prozkoumáno několik variant použitelného hardwarového vybavení. Na základě získaných poznatků byla vybrána varianta, která využívá integrovaný obvod FT232R od společnosti FTDI Ltd., doplněný o nezbytný převodník napětí. S tímto použitým hardwarovým vybavením doplněným o ovladače a knihovny poskytované společností FTDI Ltd. bylo možné realizovat také programové vybavení pro toto komunikační rozhraní. Je tak zajištěna podmínka, aby spektrální analyzátor bezproblémově fungoval i na operačních systémech Windows XP nebo novějších verzích tohoto operačního systému.

Realizované hardwarové vybavení komunikačního rozhraní je plně funkční a pracuje zcela bez problémů. Také realizované programové vybavení je kompletní a funkční a zaručuje bezproblémovou komunikaci se spektrálním analyzátorem. Umožňuje jeho ovládání také z vývojových prostředí Agilent VEE a MATLAB a tak je možné využít tento měřicí přístroj v automatizovaných měřeních.

Během realizace se však vyskytl jeden problém, kterým je hardwarová porucha spektrálního analyzátoru, konkrétně jeho detektoru, což způsobuje nepřesná měření, jak dokázala demonstrační měření. Proto nebylo možné provést měření požadované v zadání. A to měření v různých prostorech s různou úrovní rušivého pozadí pomocí metody „odečítání pozadí“. Místo toho bylo změřeno jednodušší měření vlastního šumového pozadí spektrálního analyzátoru a měření šumového pozadí okolí, které ukazuje funkčnost celého komunikačního rozhraní a také zmíněnou poruchu spektrálního analyzátoru. Pokud se tento problém odstraní, bude spektrální analyzátor společně s tímto komunikačním rozhraním zcela funkční a použitelný v různých měřeních včetně měření s umělou zátěží vedení, která je součástí měřicího přístroje Seaward.

Literatura

[1] DŘÍNOVSKÝ, J. *Elektromagnetická kompatibilita přednášky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. 267 s. ISBN 978-80-214-4202-3.

[2] WIKIPEDIE. *RS-232* [online]. [cit. 10. května 2011]. Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/RS-232>.

[3] SERVER HW.CZ. *RS-232* [online]. [cit. 10. května 2011]. Dostupný z WWW: <http://hw.cz/rs-232>.

[4] SERVER HW.CZ. *USB* [online]. [cit. 10. května 2011]. Dostupný z WWW: <http://hw.cz/Teorie-a-praxe/Dokumentace/ART327-USB---Universal-Serial-Bus---Popis-rozhrani.html >.

[5] HHD FREE SERIAL MONITOR 3.31 [online]. [cit. 10. května 2011]. Dostupný z WWW: < http://www.brothersoft.com/free-serial-port-monitor-38565.html>.

[6] COM PORT TOOLKIT 3.9 [online]. [cit. 10. května 2011]. Dostupný z WWW: <http://ptf.com/download/com_port_toolkit/89713/>.

[7] FOUR WALLED CUBICLE. *LUFA* [online]. [cit. 110. května 2011]. Dostupný z WWW: <http://www.fourwalledcubicle.com/LUFA.php>.

[8] MATOUŠEK, D. *USB prakticky s obvody FTDI – 1. díl*. Praha: BEN – technická literatura, 2003. 272 s. ISBN 80-7300-103-9.

[9] FTDI DRIVERS [online]. [cit. 10. května 2011]. Dostupný z WWW: http://www.ftdichip.com/Drivers/D2XX.htm>.

[10] CENÍK FT232R A MAX3243CAI+ [online]. [cit. 10. května 2011]. Dostupný z WWW: <http://www.tme.eu/cz/katalog/#cleanParameters%3D1%26searchsearc%3D1%26search%3DFT232RL%26bf_szukaj%3D+> a <http://www.tme.eu/cz/katalog/#cleanParameters%3D1%26searchClick%3D1%26search%3DMAX3243E%26bf_szukaj%3D+>

[11] DATASHEET FT232R [online]. [cit. 10. května 2011]. Dostupný z WWW: <http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf>.

[12] DATASHEET MAX3243CAI+ [online]. [cit. 10. května 2011]. Dostupný z WWW: <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX3221-MAX3243.pdf>.

[13] .NET FRAMEWORK 4.0 [online]. [cit. 10. května 2011]. Dostupný z WWW: <http://www.microsoft.com/downloads/en/details.aspx?FamilyID=9cfb2d51-5ff4-4491-b0e5-b386f32c0992&displaylang=en>.

Seznam symbolů, veličin a zkratek

.NET	softwarová technologie pro vytváření a spouštění aplikací
ACK	kladné potvrzení v datové komunikaci (acknowledgment)
ASCII	americký standardní kód pro výměnu informací (American Standard Code for Information Interchange)
BNC	typ konektoru (Bayonet Neill-Concelman)
CRC	cyklický redundantní součet (Cyclic redundancy check)
D+	datový vodič rozhraní USB
D-	datový vodič rozhraní USB
D-SUB	druh konektoru používaný v elektrotechnice (D-subminiature)
dBµV	decibelová míra napětí vztažená k 1 µV
dBm	decibelová míra výkonu vztažená k 1 mW
DPS	zkratka pro výraz deska plošných spojů
DVB-T	norma pro pozemní digitální televizní vysílání (Digital Video Broadcasting - Terrestrial)
EEPROM	elektricky smazatelná programovatelná paměť typu ROM (electrically erasable programmable read-only memory)
EMC	elektromagnetická kompatibilita (Electromagnetic compatibility)
FLASH	nevolatilní paměť typu flash
GND	signálová zem rozhraní USB
GSM	technologie mobilních komunikací (Global System for Mobile Communications)
HP	zkratka výrobce Hewlett-Packard Company
ISO/OSI	referenční model standardizace počítačových sítí (Open System Interconnection Reference Model)
LC článek	filtr tvořený pasivními součástkami, cívkami a kondenzátory
LED	polovodičová součástka (light-emitting diode)
LISN	druh zařízení (Line Impedance Stabilization Network)
LUFA	vývojové nástroje pro programování rozhraní USB u mikrokontrolérů AVR (Lightweight USB Framework for AVRs)
MATLAB	vývojové a simulační prostředí (matrix laboratory)
NRZI	způsob kódování přenášených bitů (Non-Return-to-Zero Inverted)
R&S	zkratka výrobce Rohde&Schwarz
RBW	rozlišení šířky pásma (Resolution bandwidth)
RS-232	komunikační rozhraní (Recommended Standard 232)
RS-422	komunikační rozhraní (Recommended Standard 422)
RS-485	komunikační rozhraní (Recommended Standard 485)
SCPI	standart pro komunikaci s měřicími přístroji (Standard Commands for Programmable Instruments)
SSOP28	typ pouzdra integrovaných obvodů (Shrink Small-Outline Package)
TTL	tranzistorově tranzistorová logika (Transistor-transistor logic)
USART	univerzální synchronní/asynchronní vysílač a přijímač (universal synchronous/asynchronous receiver/transmitter)

USB	univerzální sériová sběrnice (universal serial bus)
VCC	napájecí napětí rozhraní USB
VEE	měřicí prostředí od společnosti Agilent (Visual Engineering Environment)

Seznam příloh

Příloha A Ukázka komunikace skrze rozhraní RS-232

Příloha B Převodní tabulka mezi číselnými a SCPI příkazy

Příloha C Schéma zapojení komunikačního rozhraní

Příloha D Schéma stavového automatu knihovny SeawardUSBModule.dll

Příloha E Stručný návod instalace a ovládání komunikačního rozhraní

Příloha F Programy pro automatizovaná měření v prostředí Agilent VEE

Příloha A Ukázka komunikace skrze rozhraní RS-232

Rámce z počítače do spektrálního analyzátoru				*Rámce ze spektrálního analyzátoru do počítače*		
CounterPC	*Tag*	*Data*		*CounterSA*	*Tag*	*Data*
Spuštění aplikace						
0x01	0x40	0x00				
				Odpověď		
0x02	0x61	0x00 00 FF 00				
				Odpověď		
0x03	0x62	0x02 7F FF				
				Odpověď		
				0x01	0x23	0x22
Odpověď						
0x04	0x47	0x00				
				Odpověď		
0x05	0x46	0x00				
				Odpověď		
0x06	0x44	0x02				
				Odpověď		
0x07	0x42	0x07				
				Odpověď		
0x08	0x60	0x1D CD 88 28				
				Odpověď		
0x09	0x41	0x01				
				0x02	0x22	0x02 42 04
				Odpověď		
0x0A	0x47	0x01				
				Odpověď		
				0x03	0x20	data2
Odpověď						
				0x04	0x20	data2
Odpověď						
Změna ovládacího prvku *Detector*						
Odpověď						
				0xA1	0x20	data2
0x3B	0x47	0x00				
				Odpověď		
0x3C	0x46	0x03				
				Odpověď		
0x3D	0x47	0x01				
				Odpověď		
				0xA2	0x20	data2
Odpověď						
				0xA3	0x20	data2
Změna ovládacího prvku *Span*						
Odpověď						
				0x6E	0x20	data2
Odpověď						
0x6A	0x47	0x00				
				Odpověď		
0x6B	0x42	0x03				
				Odpověď		
0x6C	0x47	0x01				
				0x6F	0x22	0x02 2B 04
				Odpověď		
Odpověď						
				0x70	0x20	data2
Odpověď						
				0x71	0x20	data2
Odpověď						

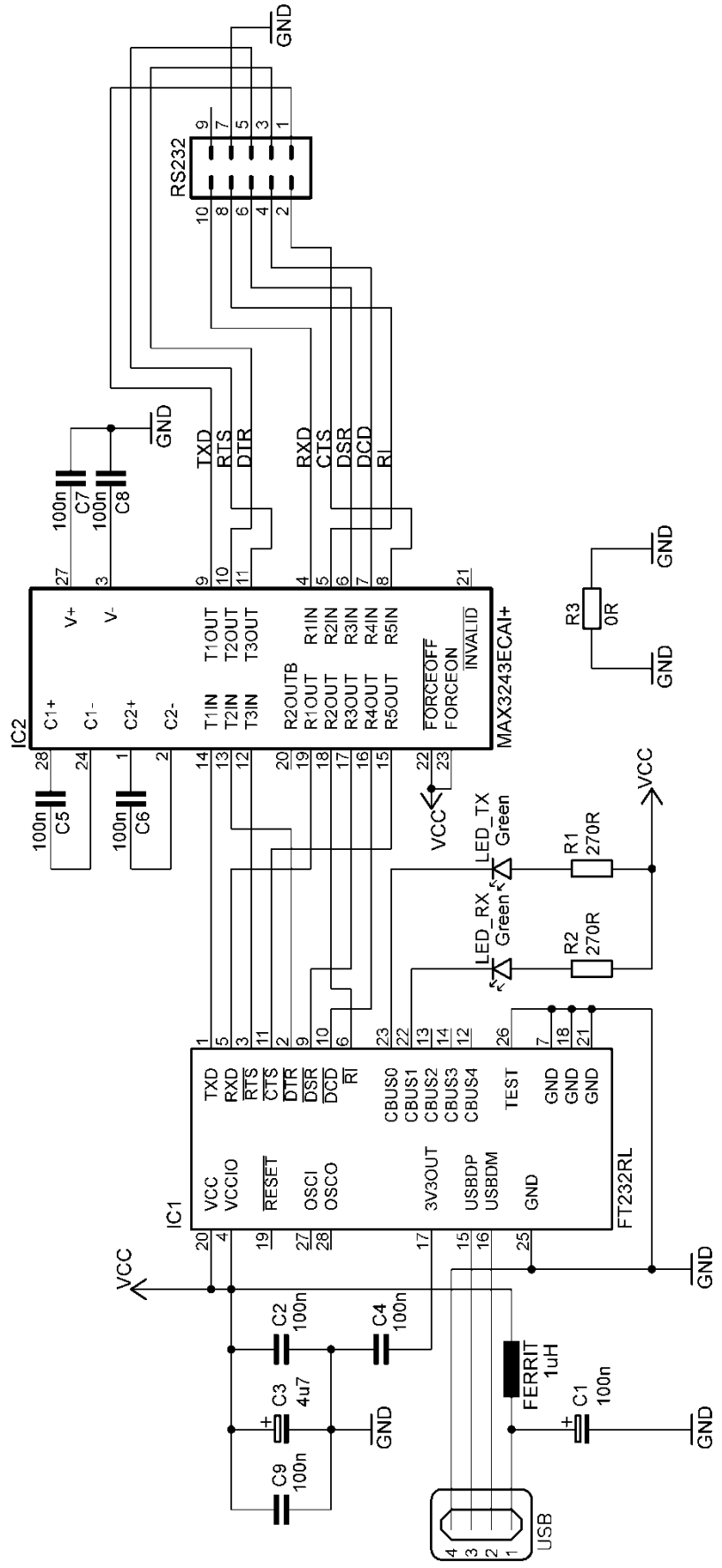
Rámce jsou řazené podle času, ve kterém jsou vysílány.

Příloha B Převodní tabulka mezi číselnými a SCPI příkazy

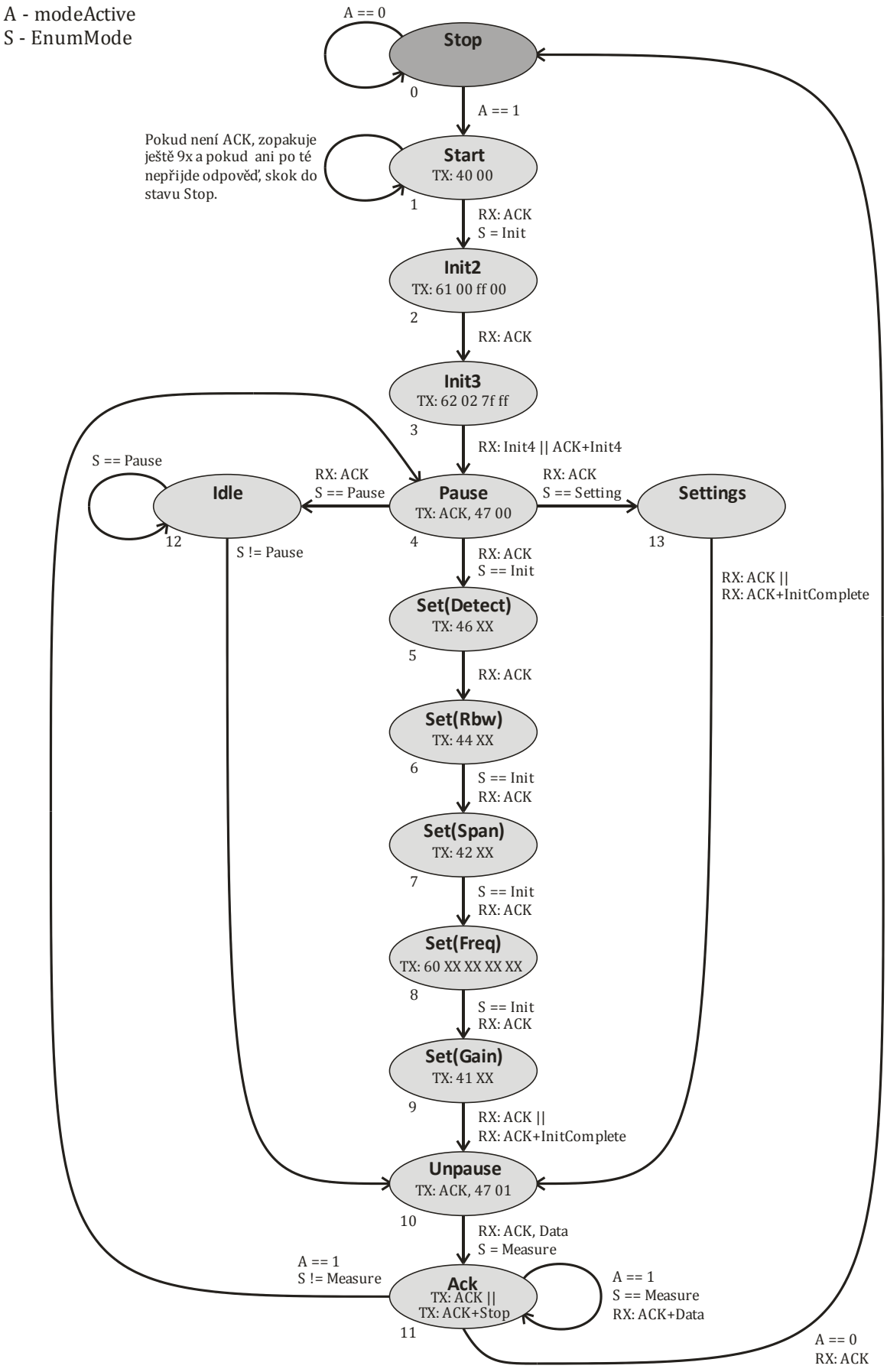
Data pro rámce používané spektrálním analyzátorem Seaward			*Odpovídající příkazy v souladu s SCPI, který je využíván v různých vývojových prostředích*
Ovládací blok Display			
Pause	0x47	0x00	PAUSE
Unpause	0x47	0x01	UNPAUSE
Ovládací prvek Detector			
Peak	0x46	0x00	SENC:DET:FUNC PEAK
Quasi Peak	0x46	0x01	SENC:DET:FUNC QPE
Average	0x46	0x02	SENC:DET:FUNC AVER
Peak Hold	0x46	0x03	SENC:DET:FUNC PHOLD
Ovládací prvek Span			
1M	0x42	0x01	FREQ:SPAN 1MHz
3M	0x42	0x02	FREQ:SPAN 3MHz
10M	0x42	0x03	FREQ:SPAN 10MHz
30M	0x42	0x04	FREQ:SPAN 30MHz
100M	0x42	0x05	FREQ:SPAN 100MHz
300M	0x42	0x06	FREQ:SPAN 300MHz
1G	0x42	0x07	FREQ:SPAN 1GHz
Ovládací prvek RBW			
9k	0x44	0x00	BAND:RBW 9kHz
120k	0x44	0x01	BAND:RBW 120kHz
1M	0x44	0x02	BAND:RBW 1MHz
Ovládací prvek Gain			
+20 dB	0x41	0x00	POWER:GAIN 20dB
0 dB	0x41	0x01	POWER:GAIN 0dB nebo POWER:ATT 0dB nebo POWER:ATT OFF
- 20 dB	0x41	0x02	POWER:GAIN -20dB nebo POWER:ATT 20dB
Změna Centrálního kmitočtu			
	0x60	data1	FREQ:CENT *#hodnota*
Naměřená data			
Změřené hodnoty	0x20	data2	MEAS:DATA?

#hodnota Za tuto proměnou se dosazuje číslo centrálního kmitočtu spektrálního analyzátoru se správnou jednotkou. Např. *10MHz*, *50MHz* nebo *514MHz*.

Příloha C Schéma zapojení komunikačního rozhraní



Příloha D Schéma stavového automatu knihovny SeawardUSBModule.dll



Příloha E Stručný návod instalace a ovládání komunikačního rozhraní

1 Instalace ovladačů komunikačního rozhraní

Po prvním připojení komunikačního rozhraní pomocí USB kabelu do počítače, se operační systém pokusí nainstalovat ovladače. Protože však komunikační chip FTDI je specificky nakonfigurován (VID 0x403, PID 0xFA38), ovladače se nepodaří nainstalovat. Je za potřebí je nainstalovat ručně. Ve správci zařízení je potřeba vybrat USB zařízení s názvem *EMC Spectrum Receiver* a v kontextovém menu vybrat položku *Aktualizovat ovladač.* Až se spustí průvodce instalací ovladače, je potřeba vybrat možnost nainstalovat ovladač ručně z místa na disku a vybrat složku s ovladačem *EMC Spectrum Receiver USB Driver*, která se nachází ve zdrojových souborech diplomové práce. Během instalace pravděpodobně instalátor zobrazí varování, že instalovaný ovladač není digitálně podepsán, v tomto případě je nutné vybrat možnost, aby se tento ovladač i přesto nainstaloval. Po úspěšné instalaci by mělo být ve správci zařízení zobrazeno zařízení *EMC Spectrum Receiver* bez jakéhokoliv varování. Pro používání programového vybavení komunikačního rozhraní je nutné také nainstalovat .NET Framework a to ve verzi 4.0. Pokud se již v operačním systému tento framework nachází, není potřeba ho instalovat. V opačném případě je nutné ho nainstalovat. Instalátor s názvem *dotNetFx40_Client_x86.exe* se také nachází ve zdrojových souborech. Instalace je jednoduchá, stačí se pouze řídit instrukcemi instalátoru. Nyní je vše připraveno pro používání programového vybavení komunikačního rozhraní spektrálního analyzátoru Seaward.

2 Aplikace Spectrum Receiver USB Module

Tato aplikace je určena pro ovládání spektrálního analyzátoru a zobrazování výsledků měření v grafu. Spouští se souborem *Spectrum Receiver.exe* a pro svou činnost potřebuje dvě knihovny umístěné ve stejné složce a to knihovny *FTD2XX_NET.dll* a *SeawardUsbModule.dll*. Po spuštění aplikace je komunikace neaktivní. Pro připojení a odpojení ke spektrálnímu analyzátoru slouží tlačítka *Connect* a *Disconnect*. Pro připojení pomocí tlačítka *Connect* několik sekund trvá, než je připojení dokončeno. Úspěšné připojení se projeví tak, že se začnou objevovat změřená data v grafu v základním nastavení spektrálního analyzátoru. Toto nastavení lze jednoduše měnit pomocí ovládacích prvků, které jsou seřazeny do skupin podle jednotlivých typů nastavení. Také lze měnit střední kmitočet a to tak, že se zapíše kmitočet v Hz do textového pole a potvrdí tlačítkem *Set Frequency*. Změna nastavení se projeví novým vykreslením grafu. Pro dočasné přerušení zasílání změřených dat ze spektrálního analyzátoru slouží ovládací prvek *Pause*.

Graf, ve kterém je vykreslován změřený průběh, je doplněn informacemi o počátečním kmitočtu (Start), která se nachází v levém dolním rohu grafu a o koncovém kmitočtu (Stop), která se nachází v pravém dolním rohu. Na levé straně grafu jsou zobrazeny hodnoty o minimální hodnotě měřeného napětí, maximální hodnotě napětí a jednotce, která je neměnná je to dBµV.

3 Knihovna SeawardVeeTranslator.dll v prostředí Agilent VEE

Aby bylo možné používat tuto knihovnu v prostředí Agilent VEE, je nutné ji nejdříve připojit k projektu prostředí Agilent VEE. Je velmi vhodné nakopírovat knihovnu *SeawardVeeTranslator.dll* do stejné složky, jako se nachází soubor s projektem (*.vee

soubor). Dále je nezbytné, aby se ve stejné složce jako je tato knihovna také nacházely knihovny *FTD2XX_NET.dll* a *SeawardUsbModule.dll*. Poté spustíme soubor s projektem prostředí Agilent VEE a v menu *Device* se zvolí položka *.NET Assembly References…*. Otevře se okno, kde se přes tlačítko *Browse…* vyberou všechny tři výše zmíněné knihovny. Všechny zvolené knihovny se objeví v pravém seznamu. Dále je nutné zkontrolovat, zda je položka *Import namespaces after closing* zaškrtnuta. Poté se toto okno potvrdí *OK*. Objeví se další okno, kde jsou v levém seznamu všechny importované knihovny, měly by tam být všechny tři. Poté pomocí šipek se přesunou všechny tři knihovny do pravého seznamu, pak stačí toto okno potvrdit tlačítkem *OK*. Dále je doporučeno projekt uložit. Nyní je již projekt provázán s těmito knihovnami.

Použití funkcí knihovny SeawardVeeTranslator.dll je následující. Všechny funkce se vždy píší do bloku *Formula*. Na začátku každého programu je nutné vytvořit instanci této knihovny. To se vytváří pomocí funkce *CreateInstance*, který má dva parametry, ty označují název jmenného prostoru knihovny a název třídy. Tyto parametry jsou vždy stejné. Zápis vypadá následovně:

```
s = CreateInstance("SeawardVeeTranslator", "Ce4sac.SeawardVeeTranslator.Translator");
```

Instance se ukládá do libovolné proměnné, v tomto případě s názvem *s*. Pokud je celý program ve více blocích *Formula*, je nutné tuto proměnou předávat všem blokům, kde se volají funkce této knihovny.

Nyní je již možné spustit komunikaci se spektrálním analyzátorem pomocí funkce Run. Ta se volá tak, že se za název instance napíše tečka a pak název funkce s případnými parametry. Tato funkce žádný parametr nemá, proto se zapíše následovně:

```
s.Run();
```

Po této funkci je vhodné použít blok *Delay* a nastavit zpoždění na 2 s. Poté je již možné nastavovat spektrální analyzátor a získávat měřená data. Spektrální analyzátor se nastavuje pomocí funkce *Write* a má jeden parametr. Jedná se o string s příkazem SCPI. Všechny možné příkazy jsou uvedeny v příloze B. Všechny hodnoty kmitočtů se musí zadávat s přesně danou jednotkou, jak je uvedeno v této tabulce. Jedinou výjimkou je zadávání středního kmitočtu, kdy je možné kmitočet zadávat s různou jednotkou, např. je možné zadávat kmitočet ve formátu *15MHz* ale také *15000kHz*. Příklad jak se tyto příkazy zapisují:

```
s.Write("SENC:DET:FUNC AVER");
s.Write("BAND:RBW 9kHz");
s.Write("FREQ:SPAN 3MHz");
s.Write("FREQ:CENT 15MHz");
```

Čtení změřených dat se provádí pomocí funkce *Read*, která má také jeden parametr a to vždy stejný. Tato funkce se zapisuje následovně:

```
data = s.Read("MEAS:?");
```

Tato funkce vrací vícerozměrné pole, které se v tomto případě ukládá do proměnné *data*. Toto pole obsahuje všechny změřené hodnoty pro celé měřené spektrum. Toto pole může mít různou délkou, která je závislá na zvoleném nastavení spektrálního analyzátoru. Obsahuje jak hodnoty frekvencí, tak i hodnoty napětí. Všechny hodnoty mají formát *Real64*. Pro rozdělení tohoto vícerozměrného pole je možné využít buď funkce, které poskytuje prostředí Agilent VEE nebo funkce, které jsou součástí této

knihovny. Funkce se jmenují *Freq* a *Level*. Obě mají jeden parametr a to proměnou vícerozměrného pole, kterou vrací funkce *Read*. Funkce Freq z tohoto vícerozměrného pole vezme pouze hodnoty kmitočtu a vrátí je do proměnné, která je proto určena. Zapisuje se následovně:

freq = s.Freq(data);

V proměnné *freq* je tedy uloženo jednorozměrné pole s hodnotami kmitočtů ve formátu *Real64*. Funkce *Level* naopak vrací hodnoty napětí a zapisuje se následovně:

level = s.Level(data);

V proměnné *level* je uloženo jednorozměrné pole s hodnotami napětí ve formátu *Real64*.

Tato knihovna ještě obsahuje funkci, která z vícerozměrného pole vrací hodnotu o počtu změřených hodnot. Tato hodnota může být následně využita při dalším zpracování výsledků. Zapisuje se následovně:

length = s.Length(data);

Proměnná, do které se tato hodnota uloží je ve formátu *Int32*.

Každý program musí být zakončen funkcí pro ukončení komunikace. Tato funkce se jmenuje Stop, nemá žádný parametr a zapisuje se následovně:

s.Stop();

Pokud není tato funkce použita nebo se jinak nestandardně ukončí program, může se stát, že při dalším spuštění se v komunikaci s měřicím přístrojem může objevit chyba. Proto pokud něco takového nastane, doporučuje se ručně restartovat měřicí přístroj a znovu spustit program.

Čtení dat z měřicího přístroje je pomalé a to z důvodu pomalé odezvy měřicího přístroje. Proto nějaký čas trvá, než všechny změřené hodnoty jsou poslány do počítače.

4 Knihovna SeawardVeeTranslator.dll v prostředí MATLAB

Použití této knihovny v prostředí MATLAB je podobné jako v prostředí Agilent VEE. Je nutné umístit všechny knihovny, tzn. *SeawardVeeTranslator.dll, FTD2XX_NET.dll* a *SeawardUsbModule.dll*, do stejné složky jako je zdrojový soubor MATLABu (přípona *.m). V prostředí MATLAB nastavíme tuto složku jako *Workspace*.

Na začátku programu je nutné tyto knihovny načíst pomocí funkce *NET.addAssembly*. Její parametr je cesta ke knihovně. Zápis může vypadat následovně:

```
NET.addAssembly('C:\MATLAB\FTD2XX_NET.dll');
NET.addAssembly('C:\MATLAB\SeawardUsbModule.dll');
NET.addAssembly('C:\MATLAB\SeawardVeeTranslator.dll');
```

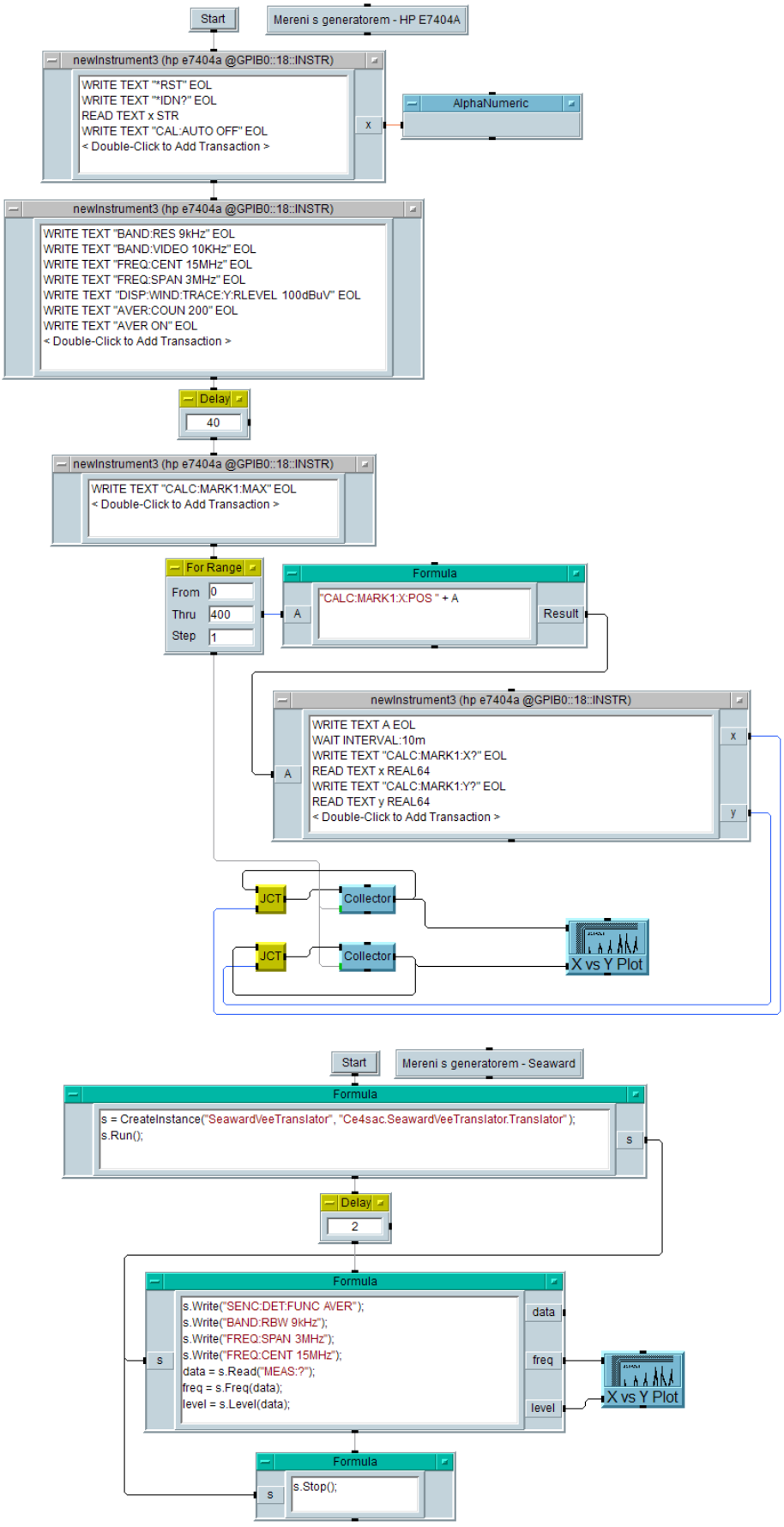
Poté je nutné vytvořit instanci třídy *Translator*, která je součástí knihovny *SeawardVeeTranslator.dll*. Ta se uloží do proměnné následovně:

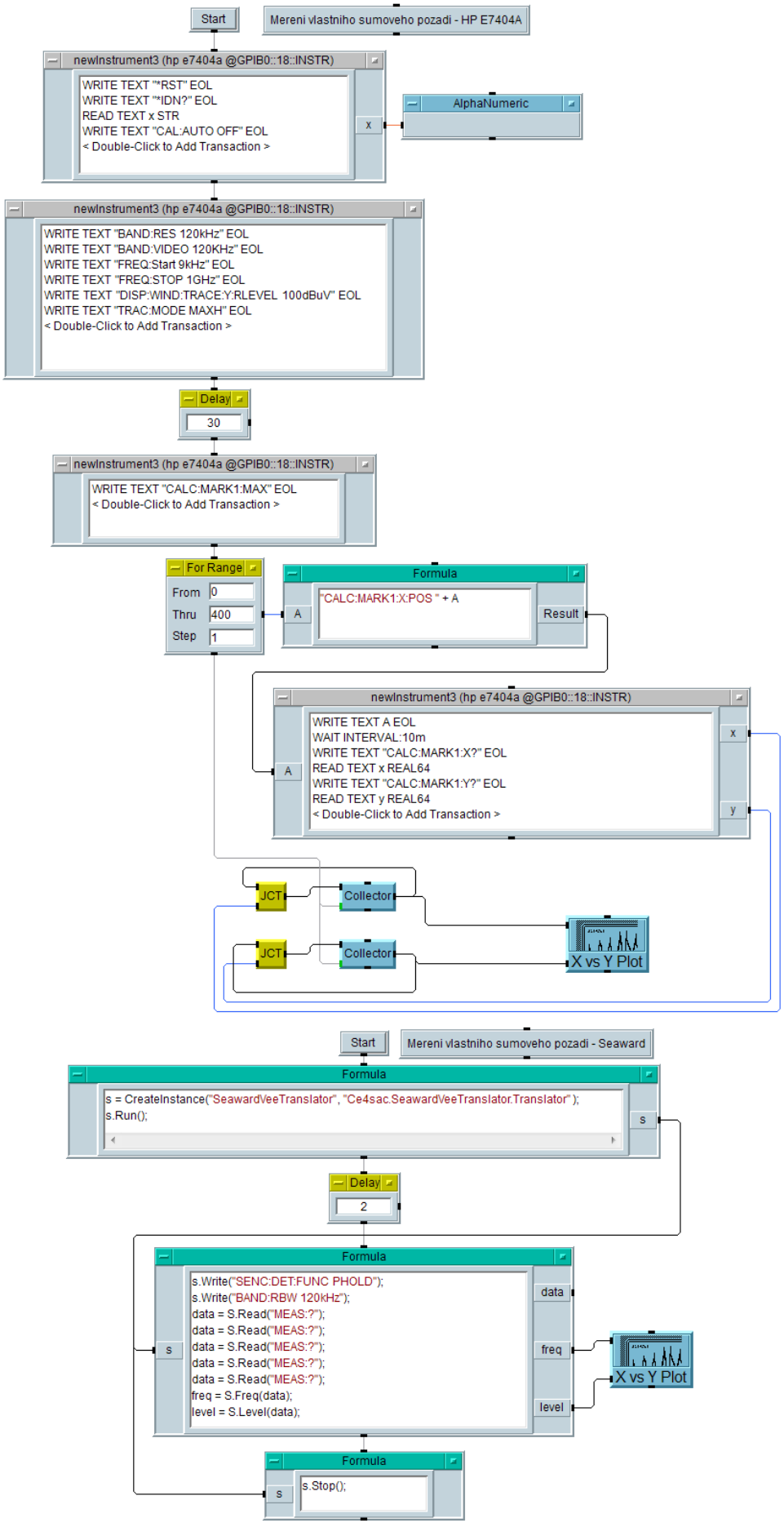
```
s = Ce4sac.SeawardVeeTranslator.Translator;
```

Tento příkaz je vždy stejný. Dále je použití funkcí z této knihovny naprosto stejné jako u použití v prostředí Agilent VEE. Platí zde také stejná pravidla jako v předchozím prostředí. Opět je vhodné po funkci *Run* použít zpoždění 2 s. Na to je v prostředí

MATLAB funkce *pause*, která má parametr hodnotu zpoždění v sekundách. A pro vykreslení změřených hodnot je možné využít funkci *plot*.

Příloha F Programy pro automatizovaná měření v prostředí Agilent VEE




Start
Mereni vlastniho sumoveho pozadi - HP E7404A
newInstrument3 (hp e7404a @GPIB0::18::INSTR)
WRITE TEXT "*RST" EOL
WRITE TEXT "*IDN?" EOL
READ TEXT x STR
WRITE TEXT "CAL:AUTO OFF" EOL
< Double-Click to Add Transaction >
x
AlphaNumeric
newInstrument3 (hp e7404a @GPIB0::18::INSTR)
WRITE TEXT "BAND:RES 120kHz" EOL
WRITE TEXT "BAND:VIDEO 120KHz" EOL
WRITE TEXT "FREQ:Start 9kHz" EOL
WRITE TEXT "FREQ:STOP 1GHz" EOL
WRITE TEXT "DISP:WIND:TRACE:Y:RLEVEL 100dBuV" EOL
WRITE TEXT "TRAC:MODE MAXH" EOL
< Double-Click to Add Transaction >
Delay
30
newInstrument3 (hp e7404a @GPIB0::18::INSTR)
WRITE TEXT "CALC:MARK1:MAX" EOL
< Double-Click to Add Transaction >
For Range
From 0
Thru 400
Step 1
Formula
"CALC:MARK1:X:POS " + A
A
Result
newInstrument3 (hp e7404a @GPIB0::18::INSTR)
WRITE TEXT A EOL
WAIT INTERVAL:10m
WRITE TEXT "CALC:MARK1:X?" EOL
READ TEXT x REAL64
WRITE TEXT "CALC:MARK1:Y?" EOL
READ TEXT y REAL64
< Double-Click to Add Transaction >
A
x
y
JCT
Collector
JCT
Collector
X vs Y Plot
Start
Mereni vlastniho sumoveho pozadi - Seaward
Formula
s = CreateInstance("SeawardVeeTranslator", "Ce4sac.SeawardVeeTranslator.Translator");
s.Run();
s
Delay
2
Formula
s.Write("SENC:DET:FUNC PHOLD");
s.Write("BAND:RBW 120kHz");
data = S.Read("MEAS:?");
data = S.Read("MEAS:?");
data = S.Read("MEAS:?");
data = S.Read("MEAS:?");
data = S.Read("MEAS:?");
freq = S.Freq(data);
level = S.Level(data);
s
data
freq
level
X vs Y Plot
Formula
s.Stop();
s