

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Měřič výkonu mikrovlnného signálu**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2015/2016

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin OPAVA**  
Osobní číslo: **E14B0334P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**  
Název tématu: **Měřič výkonu mikrovlnného signálu**  
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

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

Doplnění měřiče výkonu mikrovlnného signálu obslužným skriptem pro rozšířená měření.

1. Prostudujte dokumentaci k měřiči výkonu a jeho rozhraní umožňující skriptování.
2. Sestavte obslužné skripty pro několik typů rozšířených měření.
3. Skripty otestujte pomocí zkušebního generátoru a zdokumentujte.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Manuál k měřiči výkonu mikrovlnných signálů R&S.
2. Literatura firmy R&S týkající se měření výkonů v mikrovlnném pásmu.
3. Literatura firmy R&S týkající se programování měřících přístrojů.
4. Další vhodnou literaturu si student vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce:

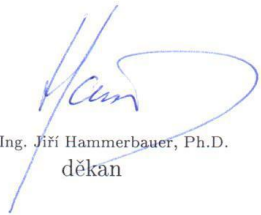
**Ing. Richard Linhart, Ph.D.**

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

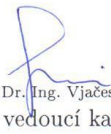
Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2015

Termín odevzdání bakalářské práce: 2. června 2016

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev  
vedoucí katedry



V Plzni dne 15. října 2015

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na prozkoumání možností tvorby programovacích skriptů pro sondu NRP - Z21 pro měření mikrovlnného signálu od firmy Rohde & Schwarz. Získávání informací z měřicí sondy a komunikace sondy s počítačem je realizována pomocí rozhraní USB. Pro naprogramování a sestavení měřicího skriptu jsem zvolil program MATLAB. Důvodem psaní toho skriptu je možnost zapojení měřicí sondy například do měřících systémů pracujících v mikrovlnném pásmu a z nich získávání potřebných hodnot a údajů.

## **Klíčová slova**

Mikrovlnný signál, mikrovlnný výkon, Rohde & Schwarz, NRP- Z21, MATLAB, měřicí skript, vysokofrekvenční signál, senzor VF výkonu, měřící systém, automatizované měření

## **Abstract**

The submitted bachelor thesis focuses on examining the possibilities of creating programming scripts for NRP - Z21 power sensor used for measuring microwave power made by the company Rohde & Schwarz. Getting information from the sensor and its communication with a computer is realised by USB. For programming and building the measuring script I chose the program MATLAB. Reason for writing this script is the possibility of connecting the power sensor for instance to measuring systems working in microwave band and getting needed values and data from them.

## **Key words**

Microwave signal, microwave power, power sensor, Rohde & Schwarz, NRP- Z21, MATLAB, measuring script, high frequency signal, sensor of high frequency power, measurement system, automated measurement

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 1.6.2016

Martin Opava

## Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>7</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>1 POWER SENSOR R&amp;S® NRP-Z21</b> .....	<b>10</b>
1.1 TECHNICKÉ PARAMETRY A VLASTNOSTI .....	10
1.2 TECHNOLOGIE TŘÍ CEST .....	12
1.3 ZAPOJENÍ MĚŘICÍ SONDY PRO MĚŘENÍ .....	13
1.4 PASIVNÍ USB ADAPTÉR R&S NRP - Z4 .....	14
1.5 SADA NÁSTROJŮ PRO MĚŘENÍ OD FIRMY ROHDE & SCHWARZ .....	15
<b>2 VYJÁDRĚNÍ VÝKONOVÝCH A NAPĚŤOVÝCH JEDNOTEK V DECIBELECH A PŘEPOČET MEZI NIMI</b> .....	<b>18</b>
<b>3 MOŽNOST VYTVÁŘENÍ SKRIPTŮ PRO SONDU</b> .....	<b>21</b>
3.1 PROGRAMY PRO TVORBU SKRIPTŮ .....	21
3.2 POSTUP PŘI POUŽITÍ PROGRAMU MATLAB .....	21
3.2.1 Použití nástroje <i>TMTOOL</i> .....	22
3.2.2 Instalace ovladače <i>VXIplug&amp;play</i> .....	23
3.2.3 Vytvoření ovladačů pro <i>MATLAB</i> .....	24
3.3 MĚŘICÍ SKRIPT V PROGRAMU MATLAB .....	25
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>29</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>31</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>1</b>
<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>2</b>

## Seznam symbolů a zkratk

AM .....	Amplitudová modulace
SW .....	Software
HW .....	Hardware
VF.....	Vysokofrekvenční
USB .....	Universal Serial Bus
L[dB] .....	Výkonová nebo napěťová úroveň
U[V].....	Napětí na zátěži 50 $\Omega$
P[W] .....	Výkon na zátěži 50 $\Omega$



## Úvod

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na prozkoumání možností tvorby programovacích skriptů pro sondu NRP - Z21 od firmy Rohde & Schwarz. Cílem je otevření cesty k programování měřících systémů s touto sondou. Měřicí systém je skupina přístrojů provádějící měření nějaké úlohy a je zcela nebo částečně řízena počítačem. Tyto systémy umožňují realizovat rozsáhlé testy a šetří mnoho času. Tato sonda pracuje v mikrovlnném pásmu a měří jak střední hodnotu výkonu, tak výkonovou úroveň přivedeného signálu. Možností kterými získat informace a data ze sondy je více, ale pro tuto práci byla zadána možnost, kde sonda komunikuje pomocí rozhraní USB s počítačem pomocí pasivního adaptéru NRP - Z4. Práce se skládá ze tří částí.

První se zabývá vlastnostmi, technickými parametry a podrobným popisem měřící sondy a příslušenstvím, které je potřeba pro realizaci celého schématu zapojení jak po SW stránce, tak po HW stránce.

V druhé části jsou popsány vztahy mezi výkonovou a napětovou úrovní a přepočty mezi nimi. Tyto přepočty využíváme pro naměřené hodnoty a dopočet dalších hodnot.

Třetí část popisuje programy pro tvorbu programovacích skriptů a podrobně pak, jak vytvořit a naprogramovat nám zadaný měřící skript pomocí programu MATLAB. Dále obsahuje zkrácený výpis a ukázky některých základních příkazů, které ukazují správnou činnost sondy i měřícího skriptu a v poslední řadě graf měření.

# 1 POWER SENSOR R&S® NRP-Z21

Jedná se o jednu z řady senzorů pro měření mikrovlnného výkonu od firmy Rohde & Schwarz. Tato firma nabízí velkou řadu výkonových snímačů, včetně vícecestných senzorů, teplotních senzorů, širokopásmových senzorů a senzorů pro speciální aplikace. Jednotlivé senzory se mohou lišit dynamickým rozsahem, přesností měření a funkčností měření. V našem případě se jedná o senzor výkonu mikrovlnného signálu pro měření výkonu v pásmu 10 MHz až 18 GHz. Jde o senzor provádějící matematické zpracování z dílčích detektorů (převodníků úrovně VF signálu na napětí) a pomocných senzorů (teploty, napájecího napětí).



Obr. 1.1 Měřicí sonda R&S® NRP-Z21

## 1.1 Technické parametry a vlastnosti

Výkonový senzor R&S® NRP-Z21 patří do řady senzorů R&S® NRP-Z2x, která patří stejně jako řada R&S® NRP-Z11 a R&S® NRP-Z3x mezi třicestné výkonové senzory. Mohou být využity v mnoha aplikacích díky svému širokému dynamickému (200 pW - 200 mW) a frekvenčnímu rozsahu (10 MHz - 18 GHz) a patentované technologii tří cest viz kapitola 1.2.

Senzory podporují měření v režimech Postupného průměrování (Continuous Average), Shlukového průměrování (Burst Average) a Průměrování v časovém úseku (Timeslot Average).

Continuous Average mode nám umožňuje postupné průměrování měřeného výkonu.

Burst Average mode dokáže automaticky průměrovat a detekovat měřené relaci v případě nekontinuálního vysílání. To nám umožňuje automatickou detekci a měření špiček ve velmi krátkém časovém úseku.

Timeslot Average mode nám umožňuje měření a průměrování výkonu po sobě jdoucích časových intervalech.

Díky rychlé odezvě, velkému dynamickému rozsahu, vysoké rychlosti a přesnosti měření, mohou být tyto senzory použity k přesnému měření střední hodnoty výkonu na moderních bezdrátových standardních signálech, jako je LTE, 3GPP, GSM, WiMAX a WLAN. Pro podrobnou analýzu signálů GSM nabízejí senzory další přídavné měřicí funkce, jako je režim časového úseku[1].

Pod zkratkou LTE se skrývá celý název Long Term Evolution. Tato technologie navazuje na dřívější 3G síť a přináší vylepšení v několika ohledech. Tím nejzásadnějším je samozřejmě navýšení rychlosti v obou směrech – stahování i nahrávání. LTE je schopno vyvinout teoretickou maximální rychlost až 172,8 Mb/s při stahování a 57,6 Mb/s pro upload při šířce kanálu 20 MHz. Zároveň přináší LTE menší latenci (ping).[5]

Pro měření VF signálů se většinou používá spektrální analyzátor, ale spektrální analyzátor měří postupně v čase a vykresluje nám všechny složky spektra, což má za následek nepřesný a zkreslený výsledek v tak krátkém čase, a proto je pro naše měření nevhodný a je lepší použít tento senzor, který je schopný měřit ve velmi krátkých časech s mnohem lepší přesností.

Technické parametry:

- *Měřicí rozsah od -67dBm do +23 dBm (200 pW až 200 mW)*
- *Frekvenční rozsah od 10 MHz do 18 GHz*
- *Maximální vstupní střední hodnota výkonu 400 mW a 1W při špičce trvající 10 μs*
- *Doba náběhu je 8 μs*
- *Video šířka je 100 kHz (další filtrace za detektorem a značí jak rychle je sonda schopna vyhodnocovat změny)*
- *Absolutní chyba měření při měření výkonu od 20 °C do 25 °C je 0,047 až 0,128 dB*
- *Relativní chyba měření při měření výkonu od 20 °C do 25 °C je 0,022 až 0,110 dB*
- *Konektor typu N*
- *Utahovací moment roven 1,36 Nm*
- *Obsluha přes R&S®NRP2 nebo přes rozhraní USB prostřednictvím notebooku nebo počítače*
- *Dynamický rozsah 90 dB pro postupné vlny a modulované signály*
- *Postupné průměrování, Shlukové průměrování, Průměrování v časovém úseku*
- *Vzorkovací frekvence až 1500 Hz (1500 měření/s)*
- *Nízká citlivost na ostatní harmonické*
- *Univerzální výkonový senzor pro obrovské množství aplikací*

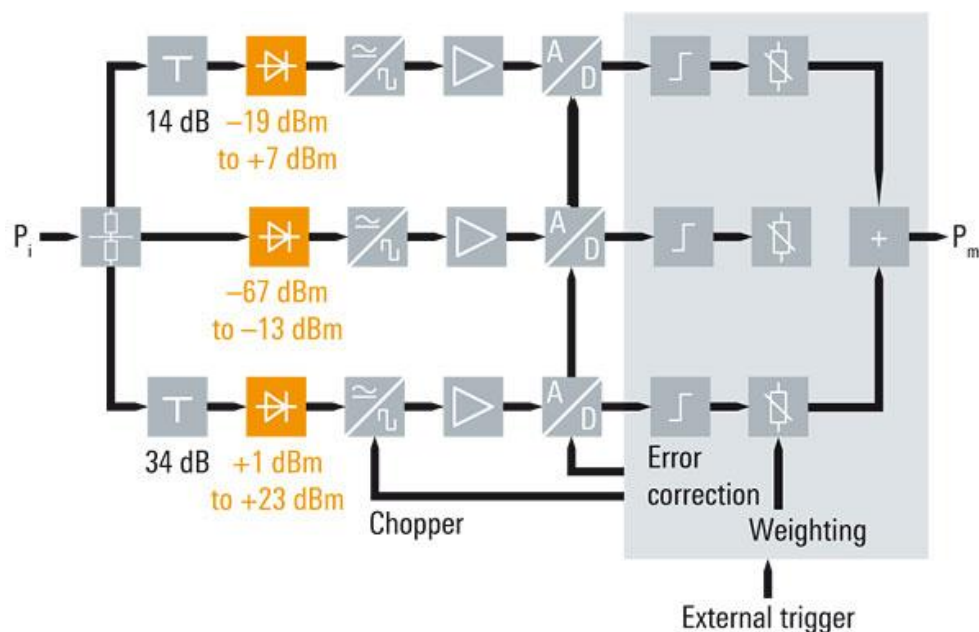
## 1.2 Technologie tří cest

Koncept tří cest u univerzálních senzorů R&S®NRP-Z11/R&S®NRP-Z2x/R&S®NRP-Z3x využívá tři samostatné diodové cesty, jedná se tedy o diodové detektory a každý z nich je provozována v optimálním rozsahu snímače. V důsledku toho může být střední hodnota výkonu stanovena s vysokou přesností nezávisle na typu modulace. Výsledky měření nejsou ovlivněny rušivými signály nebo jinými harmonickými. Toto chování je podobné chování u výkonových elektro-tepelných převodníků, které se používaly dříve a jako první umožňovaly měření vysokých frekvenčních rozsahů na principu zahřátí odporu. Dynamický rozsah tohoto zapojení je 90 dB se spodním limitem -67dBm. Oproti klasické technologii více cest se každá ze sousedících diodových cest překrývá o 6 dB. Všechny cesty jsou průběžně a současně měřeny. Konečného výsledku měření je dosaženo vhodným vážením měřených výsledků všech cest, což zajišťuje plynulý přechod mezi měřícími cestami. Tímto jsou eliminovány problémy jako přidané zpoždění při měření a diferenciální nelinearita, způsobené tvrdým

přepínáním mezi měřicími cestami. Patentovaná architektura snímače také zlepšuje poměr signál - šum a zvyšuje rychlost měření v přechodové oblasti[2].

Výkonový senzor R&S NRP-Z21 má tři oddělené měřící cesty:

- *První je nejcitlivější cesta s parametry 40  $\mu$ W (-14 dBm) a číslem cesty 0*
- *Druhá je středně citlivá cesta s parametry 4 mW (6 dBm) a číslem cesty 1*
- *Třetí je nejméně citlivá cesta s parametry 400 mW (26 dBm) a číslem cesty 2*
- *Příkaz pro nastavení konkrétní cesty je ve tvaru "SENSe:RANGe[?]", kde ?= 0, 1, 2*
- *Jinak je jako výchozí nastavena druhá měřící cesta*

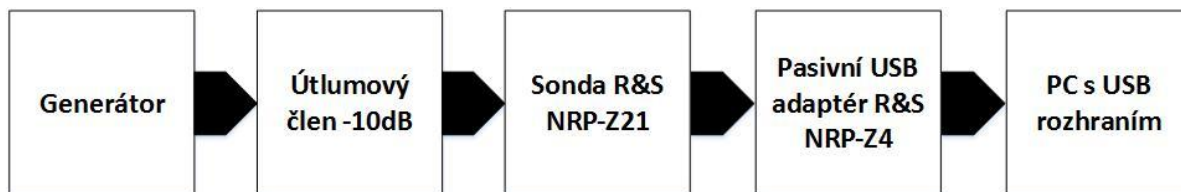


Obr. 1.2 Schéma třicestného zapojení[2]

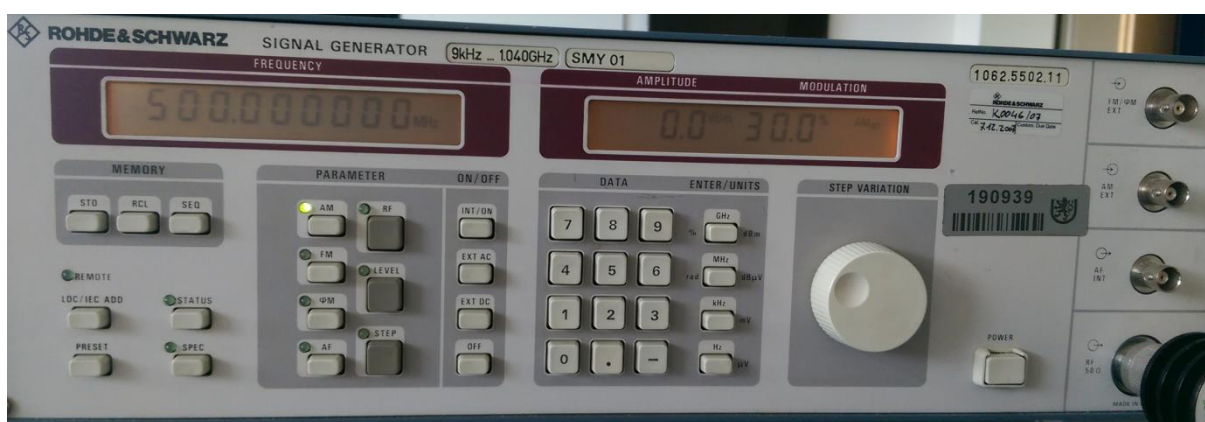
### 1.3 Zapojení měřící sondy pro měření

Při zapojování měřiče výkonu je třeba dbát na dodržení utahovacího momentu, aby člověk nepoškodil žádný z konektorů a měření probíhalo s ohledem na minimalizaci vlivu přechodového odporu a nepřizpůsobení při nedotažení konektoru. Hodnoty utahovacího momentu jsou pro různé měřící sondy odlišné a lze je najít v tabulce od výrobce. Dále je také třeba dodržet úhel 90° mezi konektory generátoru signálu a měřící sondou hlavně z důvodu nepoškození vnitřní konstrukce konektoru, což by zapříčinilo jak finanční ztráty, tak zkreslení měřených údajů.

Výkonový senzor lze propojit pomocí pasivního USB adaptéru R&S NRP - Z4 s počítačem nebo notebookem. Dále lze senzor propojit s hlavní měřicí jednotkou R&S NRP2.



Obr. 1.3 Zapojení s notebookem pomocí USB adaptéru R&S NRP - Z4



Obr. 1.4 Generátor signálu R&S SMY 01

## 1.4 Pasivní USB adaptér R&S NRP - Z4

Klasický konektor sondy pro měření výkonu slouží k propojení sondy s jiným produktem od firmy Rohde & Schwarz, ale pro propojení měřicí sondy přímo s počítačem nebo notebookem přes USB rozhraní, musíme použít pasivní adaptér R&S NRP-Z4. Podporuje všechny základní funkce senzoru, jako přenos nastavení, měřených dat a zajišťuje napájení čidla přes USB sběrnici.



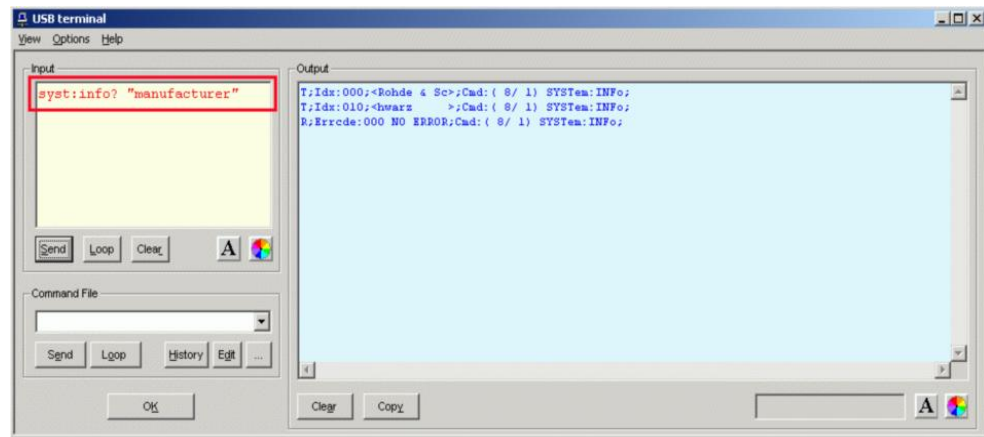
Obr. 1.5 Pasivní USB adaptér R&S NRP-Z4

## 1.5 Sada nástrojů pro měření od firmy Rohde & Schwarz

Pro možnost měření a využití senzoru je zapotřebí SW sada nástrojů, která je k dispozici na webových stránkách firmy R&S a nebo přímo na CD, které je součástí sondy. Je však lepší použít software dostupný na webových stránkách, protože tento software je oproti tomu na CD pravidelně aktualizován a vyhneme se tak případným problémům s kompatibilitou a funkcí při měření. Pro měření přes USB rozhraní je třeba nainstalovat minimálně verzi V 4.3.

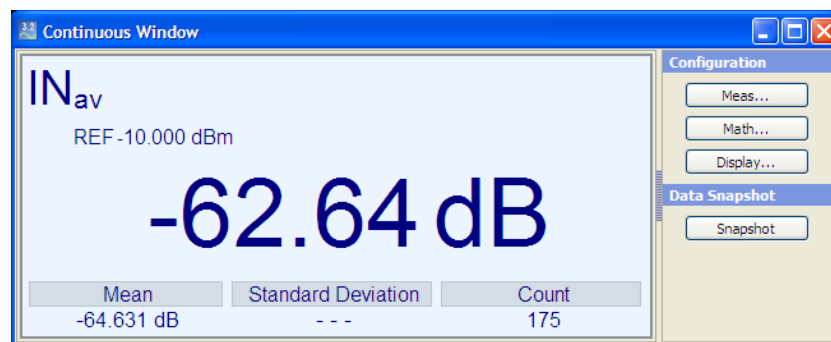
Tato sada nástrojů obsahuje:

- *Nástroj pro update firmwaru*
- *R&S NRP-Z měřič odchytky a manuál ve formátu PDF*
- *USB ovladače*
- *Terminál:* Program pro posílání příkazů a posloupnosti příkazů na snímač a pro zobrazování výsledků měření, stavových informací a dalších dat ze snímače. Seznam všech příkazů je dostupný v manuálu, který je dostupný na stránkách R&S.



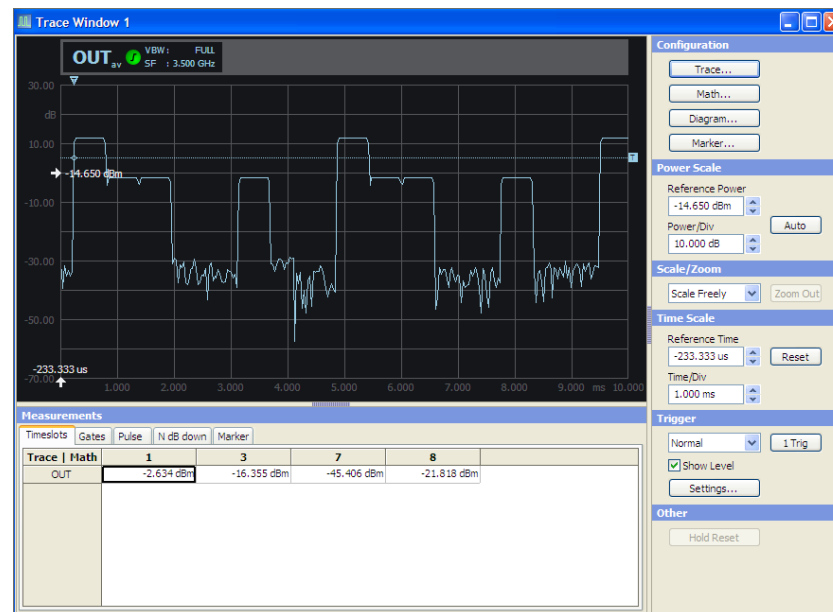
Obr. 1.6 Pracovní okno programu Terminal[4]

- **Zadání S-parametrů:** Program pro načtení tabulky S-parametrů do snímače
- **Virtual Power Meter:** Program který je třeba propojit s licenci sondy a poté lze provádět složitá měření buď numerickým zobrazením viz Obr. 1.7 a nebo graficky a numericky zároveň viz Obr. 1.8



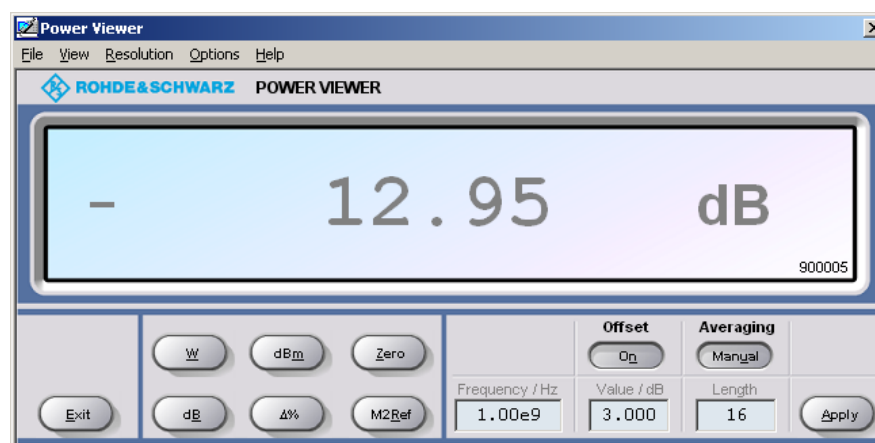
Obr. 1.7 Numerické zobrazení programu Virtual Power Meter[3]





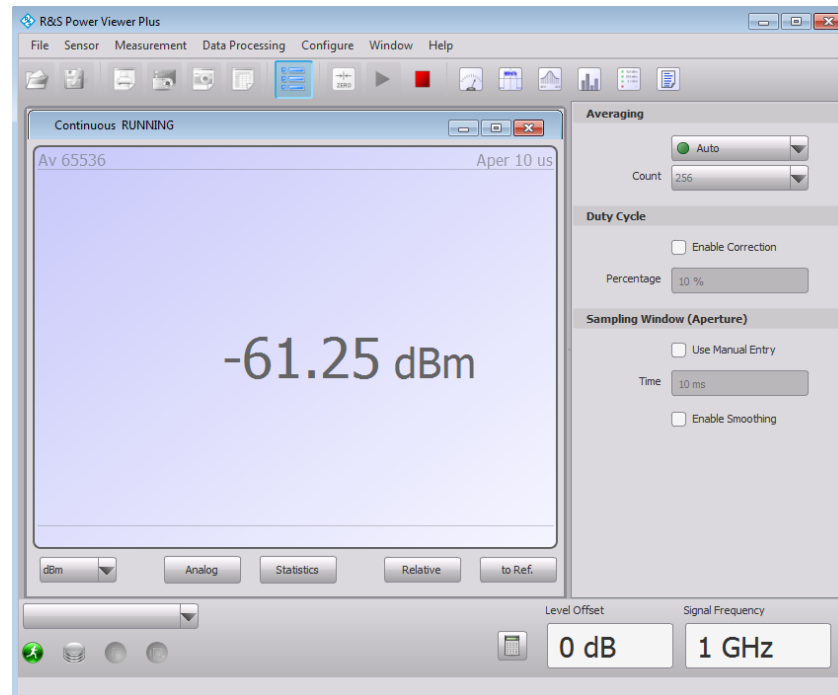
Obr.1.8 Numerické i grafické zobrazení programu Virtual Power Meter[3]

- **Power Viewer:** Základní program pro měření výkonu. Zobrazí se výsledek ve zvolených jednotkách a další informace o stavu sondy pro měření výkonu. Sériové číslo se zobrazí v pravém dolním rohu. Na horní liště obsahuje klasické možnosti jako File, View..viz Obr.1.9. Jelikož nám toto prostředí neumožňuje žádná rozšířená měření a pouze okamžitou hodnotu, tak bylo využito spíše ke kontrole spojení mezi sondou a počítačem.



Obr. 1.9 Pracovní okno programu Power Viewer[4]

- **Power Viewer Plus:** Program pro realizaci složitých měření výkonu



Obr. 1.10 Pracovní okno programu Power Viewer Plus[4]

## 2 Vyjádření výkonových a napěťových jednotek v decibelech a přepočítání mezi nimi

V teoretických, ale i praktických aplikacích, se velmi často využívá vyjádření výkonové a napěťové úrovně v decibelech. Výhodou počtu v decibelech je zjednodušení, které vyplývá z vlastnosti logaritmu naznačené v následujícím vztahu:

$$\log(a * b) = \log(a) + \log(b) \quad (2.1)$$

Ve vztazích jsou všechny součiny nahrazeny součty, se kterými se z praktického hlediska mnohem snadněji počítá.

Nejdříve začneme s vyjádřením převodu výkonu uváděného v jednotkách watt [W] do jednotek decibelů [dB]. K tomuto převodu se využívá následující vztah:

$$P[dB] = 10 * \log_{10} \left( \frac{P[W]}{1W} \right) \quad (2.2)$$

Ke zpětnému převodu z logaritmické míry do lineární se používá následující vztah:

$$P[W] = 10^{(P[dB]/10)} \quad (2.3)$$

V praxi se velmi často setkáváme s decibely vztaženými k 1mW, pak takovouto jednotku označujeme dBm. Zde 1W, 1mW....apod je referenční hodnota, ke které je vztažena převáděná hodnota výkonu případně napětí. Přepočítání mezi dB, dBm a případně dBμ:

$$P[dBm] = 10 * \log_{10} \left( \frac{P[W]}{1mW} \right) \quad (2.4)$$

$$P[dB\mu] = 10 * \log_{10} \left( \frac{P[W]}{1\mu W} \right) \quad (2.5)$$

Pro rychlé převody mezi jednotkami dB, dBm a dBμ platí následující vztahy:

$$P[dB] = P[dBm] - 30 = P[dB\mu] - 60 \quad (2.6)$$

Vyjádření napětí v decibelech:

$$10 * \log_{10} \left( \frac{P[W]}{1W} \right) = 10 * \log_{10} \left( \frac{U^2[V]/Z}{1^2V/Z} \right) = 20 * \log_{10} \left( \frac{U[V]}{1V} \right) \quad (2.7)$$

Z= impedance klasicky 50 Ω.[7]

Tab.1 Měřicí rozsah výkonu sondy a k nim patřičné úrovně

$P[W]$	$L[dBmW]$
0,20	23,0103
0,001	0
0,0008	-0,9691
0,0006	-2,21849
0,0004	-3,9794
0,0002	-6,9897
0,000001	-30
0,0000008	-30,9691
0,0000006	-32,2185
0,0000004	-33,9794
0,0000002	-36,9897
0,000000001	-60
8E-10	-60,9691
6E-10	-62,2185
4E-10	-63,9794
2E-10	-66,9897

Rozsah sondy pro měření výkonu je dán technickými parametry a u tohoto typu sondy se jedná o rozsah od 200 pW až 200 mW. Bylo by možné vytvořit podrobnější tabulku, ale pro rychlou orientaci a rychlý přehled byl zvolen větší krok s referenční hodnotou 1 mW.

### 3 Možnost vytváření skriptů pro sondu

Pro sondu našeho typu existuje návod, který obsahuje seznam potřebného softwaru a jednotlivé kroky, které je potřeba učinit, aby dostupný software mohl mezi sebou komunikovat a bylo možné programovací skript realizovat. Nalezení správné kombinace není jednoduché, jelikož pro každý program ve kterém lze skript realizovat je jiný postup a je potřeba jiný software. Také je rozdíl zda-li pracujeme na 32 bitovém nebo 64 bitovém operačním systému a na samotném typu operačního systému, jak se povedlo zjistit.

#### 3.1 Programy pro tvorbu skriptů

Naprogramovat nějaká určitá měření lze pro sondu NRP-Z21 v programovacím jazyku C++, C# a programech LabView a MATLAB. Na stránkách výrobce je ke stažení PDF s postupy a příklady některých měření a měřících funkcí pro každý program, pomocí kterých může člověk otestovat správnou funkci sondy a s tím také spojená správná instalace všech potřebných programů a softwaru.

#### 3.2 Postup při použití programu MATLAB

Požadovaný software pro 32-bit operační systém:

- ***MATLAB 2013a nebo aktuálnější verze***
- ***Windows XP/VISA/7 32-bit operační systém***
- ***Více než 2Gb RAM***
- ***VISA I/O knihovny (National Instruments VISA verze 5.x)***
- ***R&S VXIplug&play ovladač nástrojů s podporou 32-bit***
- ***Sada nástrojů pro program MATLAB***

Požadovaný software pro 64-bit operační systém:

- ***MATLAB 2013a nebo aktuálnější verze***
- ***Windows VISA/7 64-bit operační systém***
- ***VISA I/O knihovny (National Instruments VISA verze 5.x)***
- ***R&S VXIplug&play ovladač nástrojů s podporou 64-bit***
- ***Sada nástrojů pro program MATLAB***
- ***MATLABem podporovaný kompilátor***

Při pokusu o propojení sondy s notebookem, který měl nainstalovaný operační systém Win10 64bit se nepovedlo sondu s ostatním SW propojit. Po dlouhém zjišťování příčiny problému se ukázal Windows 10 jako nevyhovující pro tuto sondu z důvodu nekompatibility potřebného kompilátoru a operačního systému Windows 10, který je podle základních požadavků na 64bit operační systémy potřebnou součástí. Windows 10 je nový operační systém a tento problém s kompatibilitou bude vyřešen v průběhu jeho doladování, ale momentálně je práce se sondou na Windows 10 neproviditelná. Z tohoto důvodu byl nakonec použit PC s operačním systémem XP 32bit. U kombinace s tímto operačním systémem již žádné problémy a komplikace s kompatibilitou nenastaly.

### **3.2.1 Použití nástroje TMTOOL**

Sada nástrojů pro MATLAB umožňuje připojení MATLABu přímo k nástrojům, jako jsou osciloskopy, funkční generátory, analyzátoři signálů, napájecí zdroje a k nástrojům pro analýzu. Sada nástrojů se připojí k přístrojům prostřednictvím ovladačů jako je IVI a VXIplug & play, nebo prostřednictvím textových SCPI příkazů přes běžně používané komunikační protokoly jako GPIB, VISA, TCP/IP a UDP. Můžeme také ovládat a získávat data z testovacího zařízení bez nutnosti psaní kódu.

MATLAB TMTOOL rozšiřuje MATLAB pro dálková ovládání testovacích nebo měřicích přístrojů přes GPIB (IEEE 488.2), TCP / IP (VXI-11, ...), atd. To umožňuje přenos dat, například psaní nastavení přístroje nebo přenášení souborů generovaných průběhů I/Q z přístroje do PC přes různá rozhraní.

TMTOOL nabízí nástroje pro generování MATLAB kódu z ovladače VXIplug & play. TMTOOL podporuje ovladače IVI a VXIplug & play. Pro využití VXIplug & play přístrojového ovladače, TMTOOL generuje MATLABovský soubor z VXIplug & play DLL ovladače. Tento krok je popsán dále[6].

Napsáním příkazu "instrhwinfo" dojde v MATLABu k vypsání a ověření nainstalované knihovny VISA:

```
>> instrhwinfo

ans =
      MATLABVersion: '8.1 (R2013b)'
  SupportedInterfaces: {'gpib' 'serial' 'tcpip' 'udp' 'visa'
'Bluetooth' 'i2c' 'spi'}
  SupportedDrivers: {'matlab' 'ivi' 'vxipnp'}
      ToolboxName: 'Instrument Control Toolbox'
      ToolboxVersion: '3.4 (R2013b)'
```

Výpis ke konkrétnímu ovladači lze získat například pro VISA takto:

```
>> instrhwinfo ('visa')

ans =
  InstalledAdaptors: {'ni'}
  JarFileVersion: 'Version 3.4'
```

### 3.2.2 Instalace ovladače VXIplug&play

Instalace ovladače VXIplug & play na hostitelském počítači je předpokladem pro vytvoření souboru ovladače MATLABu (přípona: .mdd).

Rohde & Schwarz VXIplug&play ovladače a instalační manuály jsou dostupné na stránce R&S: [https://www.rohde-schwarz.com/search/driver\\_63451.html?term=\\*](https://www.rohde-schwarz.com/search/driver_63451.html?term=*)

Verze ovladače VXIplug&play se musí vždy shodovat s verzí MATLABu nikoli s verzí operačního systému. To znamená, že pro 32bit operační systém nelze použít 64bit verzi ovladače a opačně.

Po nainstalování konkrétního ovladače VXIplug & play, vám TMTOOL dává možnost ověřit správnost instalace. Instalace může být také ověřena pomocí příkazu "instrhwinfo ("vxipnp ',' INSTRUMENT\_DRIVER")", kde INSTRUMENT\_DRIVER je název ovladače[6].

Úspěšně nainstalovaný ovladač rsnrpz může vypadat takto:

```
>> instrhwinfo ('vxipnp', 'rsnrpz')
ans =
  Manufacturer: 'Rohde & Schwarz GmbH'
  Model: 'R&S NRPZ Power Sensor'
  DriverVersion: '1.0'
  DriverDllName: 'C:\ProgramFiles(x86)\IVI
Foundation\VISA\WINNT\bin\rsnrpz_32.dll'
```

### 3.2.3 Vytvoření ovladačů pro MATLAB

Příkaz makemid ('ovladač', 'název souboru') vytvoří ovladač pro MATLAB z DLL souboru ovladače, kde "ovladač" je původní název VXIplug&play ovladače identifikovaný pomocí příkazu "instrhwinfo" nebo TMTOOL o čemž byla předešlá kapitola[6].

Například ovladač rsnrpz může být vytvořen pomocí následujícího příkazu:

```
>> makemid ('rsnrpz', 'matlab_rsnrpz_driver')
```

Obtížným způsobem lze vytvořit vlastní ovladač a MDD soubor pro MATLAB, ale firma R&S dává k dispozici na svých stránkách řadu příkladů a již napsaných funkcí v MATLABu spolu s ovladačem pro rychlou tvorbu MDD souboru pro MATLAB.

Vytvořený soubor MDD bude uložen do pracovní složky MATLABu a nebo lze určit cílovou cestu souboru jejím přesným popisem jako například:

```
>> makemid('rsnrpz','c:\ProgramFiles(x86)\MATLAB\R2013a\32\toolbox\instrument\inst
rument\drivers\matlab_rsnrpz_driver')
```



Po provedení celého tohoto postupu je měřicí sonda a ostatní software propojen tak, aby vše mohlo mezi sebou komunikovat a pracovat jak potřebujeme pro naše měření. To bylo ověřeno spuštěním a správnou funkcí vzorových skriptů, které jsou ke stažení na stránkách výrobce.

### 3.3 Měřicí skript v programu MATLAB

První věcí kterou bylo potřeba zjistit pro psaní kódu pro měření, bylo nalezení příkazu k propojení sondy. To lze zapsat a realizovat více způsoby. Prvním ze způsobů je přímé zapsání adresy USB portu:

```
USB::0x0aad::0x000c::101741
```

kde 0x0aad je ID výrobce , 0x000c je ID produktu a 101741 je sériové číslo sondy

Jako další a kratší způsob je zkrácená verze předešlého zápisu, která připojí první dostupný senzor:

```
USB::0xaad::*
```

Celkový zápis pro spojení je pak dán takto, kde cesta odkazující na soubor mdd a její vytvoření je popsáno v kapitole 3.2.2 :

```
deviceObj=icdevice('C:\DocumentsandSettings\pavel\Plocha\1MA171_files\rsnrpz_32.mdd', 'USB::0xaad::*');
```

```
connect(deviceObj); % Příkaz propojující zařízení s HW
```

Jednotlivé zdrojové kódy pro nastavení senzoru, výpis jeho hodnot, základních údajů a druhy měřících režimů jsou podrobně popsány v příloženém zdrojovém kódu.[A]

Například pro vypsaní informací o senzoru slouží příkaz:

```
[SensorName, SensorType, SensorSerial]=invoke (UtilityObj,  
'getsensorinfo', Channel)  
[InstrumentDriverRevision, FirmwareRevision]=invoke (UtilityObj,  
'revisionquery')
```

Jehož výpisem je:

SensorName =

USB::0x0aad::0x0003::101741

SensorType =

NRP-Z21

SensorSerial =

101741

InstrumentDriverRevision =

Rev 3.2.2.0, 12/2015

FirmwareRevision =

Jako jeden z příkladů funkční měřicí funkce je výpis po provedení jednorázového měření, které měří střední hodnotu výkonu a převede ji také na výkonovou úroveň:

```
Single shot measurement 1: 0.000113442 W (-9.452 dBm)
```

Do režimu stopovacího měření byla dopsána část pro vykreslení, uložení grafu a vypsání maximální hodnoty vzhledem k času měření. U tohoto měření nastavujeme konstanty pro měření dle potřeby, jako je například délka měření, počet vzorků naměřených během měření apod.

Při nastavení generátoru na amplitudovou modulaci, s nosnou frekvencí 500 MHz a hloubku modulace 50% vypadá jeho výpis takto:

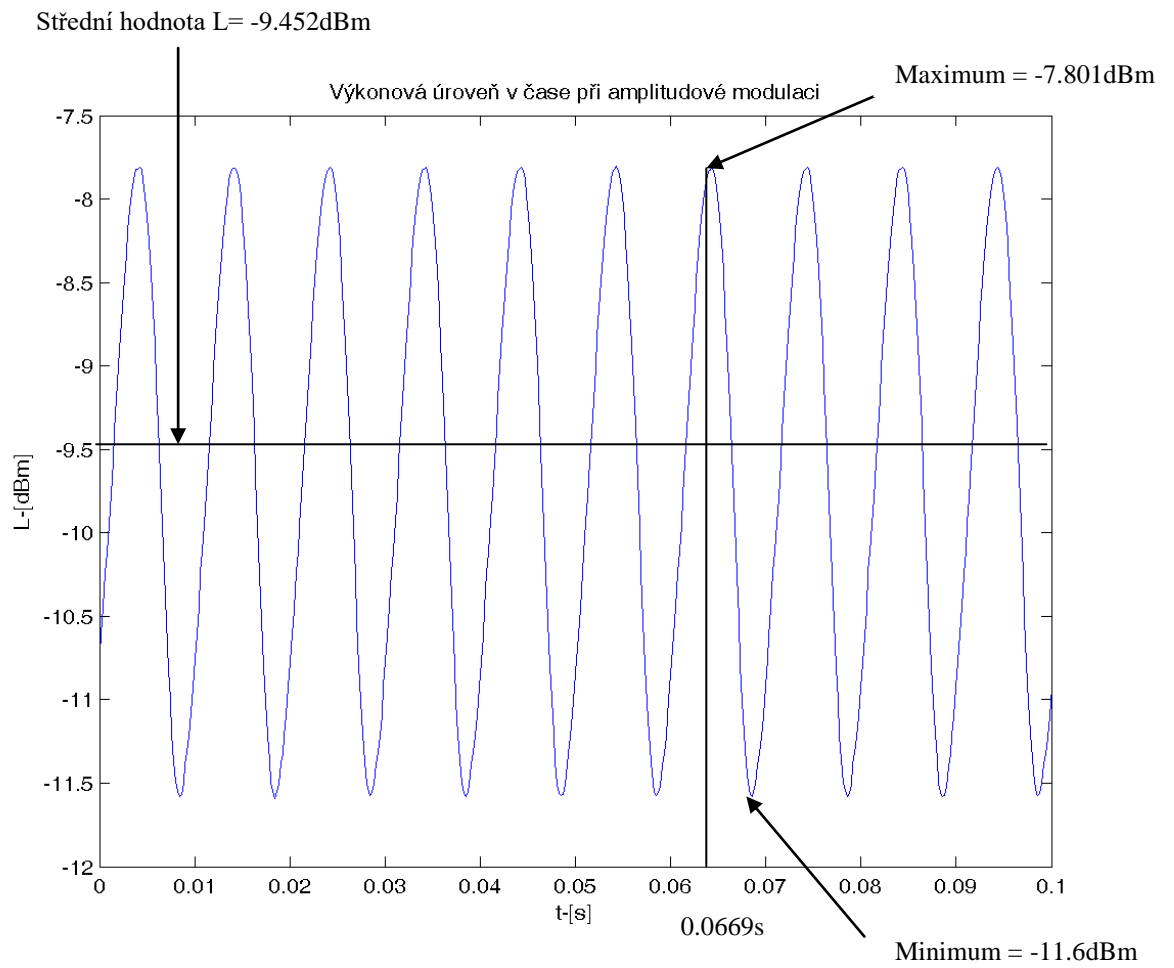
```
maximum =
```

```
-7.801 dBm
```

```
cas =
```

```
0.0669 s
```

Graf měření uložen jako Fig



Obr.3 Graf měření při amplitudové modulaci

## Závěr

Úkolem této práce bylo prozkoumat a vyzkoušet možnosti tvorby měřících skriptů pro zadaný typ měřící sondy. Sestavení a zapojení celého schématu nebylo nijak složité viz Obr. 1.3. a samotný generátor signálu SMY 01 od firmy R&S viz. Obr.1.4. Problémy nastaly až po instalaci potřebného SW na notebook s operačním systémem Windows 10 64bit. Celý tento problém a jeho řešení je popsáno v kapitole 3.2.

Došlo také ke zkušebnímu měření pomocí SW, který byl přímo od firmy R&S k dispozici na CD, které bylo součástí zakoupené sondy. Tento SW přestal nejprve z neznámého důvodu pracovat, ale jak se později ukázalo, toto CD bylo spolu se sondou zakoupeno před delší dobou a výrobce ze dne na den ukončil funkčnost starších verzí, a proto bylo potřeba stáhnout ze stránek výrobce aktuální verze a poté šlo vše bez problému. Popis a obrázky všech těchto programů jsou k dispozici v kapitole 1.5.

Jako názorný příklad měření byla na generátoru signálu nastavena AM s hloubkou modulace 50% a nosnou frekvencí 500 MHz. Z grafu který nám vypočítal měřící skript lze celkem přehledně odečíst a názorně ukázat hodnoty, které ukazují správnou funkci jak sondy, tak zároveň i měřícího skriptu viz. Obr.3. Můžeme zde vidět například maximální a minimální hodnotu výkonové úrovně vzhledem k času měření, která je ohraničena obálkou AM. Její přesnost je dána hlavně vzorkovací frekvencí, která je pro tuto sondu maximálně 1500 vzorků/s, což pro tento druh měření a jeho přesnost dokonale vyhovuje. Čas měření je limitován vlastnostmi sondy, což je konkrétně pro tuto sondu 0,0001-0,3s a to nám zároveň limituje maximální vzorkovací frekvenci na 1-1024 vzorků/s. Dále lze z grafu ověřit hloubku nastavené AM, pomocí již zmíněné maximální a minimální hodnoty výkonové úrovně, kterou bylo potřeba převést na jiné jednotky pro dopočítání hloubky modulace a její ověření viz. kapitola 2. Jako další věc lze v grafu pozorovat střední hodnotu, kterou jsme zjistili za pomoci jednorázového měřícího režimu, který tuto hodnotu počítá jako průměr pěti středních hodnot.

Práce proběhla úspěšně, jelikož došlo k prozkoumání možností tvorby programovacích skriptů pro sondu R&S NRP- Z21 a podařilo se připravit sondu pro další měření. Byla zvolena tvorba skriptů v programu MATLAB. Naprogramovaný skript poté fungoval dle očekávání a na vykresleném grafu je možné názorně ukázat některé zjištěné a naměřené

hodnoty. Jedinou neověřenou hodnotou byla hloubka modulace i přes velké množství nastavených hodnot na generátoru vycházela hloubka modulace v rozmezí 20-35% což je poměrně velká nepřesnost. Nastavením různých hodnot nosné frekvence nedošlo k žádnému zlepšení ani zhoršení, a proto můžeme říct, že nosná frekvence neměla na tyto nepřesnosti žádný vliv. Hlavní vliv měla až změna modulační frekvence, která má vliv na tvar obálky AM. Při snižování modulační frekvence došlo k vyhlazení a ke zpřesnění maxima a minima obálky a tím se nám podařilo při modulační frekvenci 50 Hz dosáhnout hloubky modulace alespoň 35%, což je oproti nastavené hloubce 50% stále nepřesný výsledek. Snížení modulační frekvence sice zpřesnilo výpočet hloubky modulace, ale to mělo za následek nepřesná měření střední hodnoty. Toto chování odpovídá chování filtru typu dolní propust. To může být dáno buď defaultním nastavením sondy a nebo kódem v programu MATLAB. Správná činnost generátoru a příčina chyby byla ověřena jeho připojením k osciloskopu Agilent, kde se nám povedlo ověřit hloubku modulace 50%.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] R&S NRP-Z21 Three-Path Diode Power Sensors. [cit. 25.5. 2015]. Dostupné z: [https://www.rohde-schwarz.com/product/nrpz21-productstartpage\\_63493-8576.html](https://www.rohde-schwarz.com/product/nrpz21-productstartpage_63493-8576.html)
- [2] R&S NRP-Z21 Three-Path Diode Power Sensors. [cit. 25.5. 2015]. Dostupné z: [https://www.rohde-schwarz.com/product/nrpz21-powerslave\\_63491-8576.html](https://www.rohde-schwarz.com/product/nrpz21-powerslave_63491-8576.html).
- [3] Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG 2015. [cit. 28.5. 2015] NRPV Virtual Power Meter User Manual. Dostupné z: <https://www.rohde-schwarz.com/software/nrpz21/>
- [4] Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG 2015.[cit. 28.5. 2015] Operating manual NRP Z11\_Z21\_Z31\_Z41\_Z61\_Z211\_Z221.  
Dostupné z: <https://www.rohde-schwarz.com/software/nrpz21/>
- [5] LTE- vše co potřebujete vědět o nejrychlejším mobilním internetu. [cit. 31.5. 2015]  
Dostupné z: <https://www.svetandroida.cz/lte-internet-201412>.
- [6] Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG 2015. [cit. 28.5. 2015] How to use Rohde & Schwarz Instruments in MATLAB.  
Dostupné z: <https://www.rohde-schwarz.com/software/nrpz21/>
- [7] Vyjádření výkonových a napěťových jednotek v decibelech a přepočítání mezi nimi. [cit. 31.5. 2015].  
Dostupné z: [http://avionika.eu/01\\_avionika/prepocet\\_decibelu\\_pub.htm](http://avionika.eu/01_avionika/prepocet_decibelu_pub.htm).

## **Seznam příloh**

[A] Měřicí skript v programu MATLAB



## Přílohy

### Příloha A - Měřicí skript v programu MATLAB

```
%% Navazování spojení
% Vyčistit možná otevřená spojení
instrreset;

% Pokusit se zahájit relaci ovladače zařízení
try
    % Vytvořit objekt zařízení
    % USB::0x0aad::0x000c::101741 - NRP-Z21 se sériovým číslem 101741
    % USB::0xaad::* - první dostupný Powersensor
    deviceObj = icdevice('C:\Documents and
Settings\pavelf\Plocha\lMA171_files\rsnrpz_32.mdd', 'USB::0xaad::*');

    % Spojit objekt zařízení s HW
    connect(deviceObj);

catch ME
    % Vyčistit relace ovladače
    % Smazat objekt
    if exist ('deviceObj')
        delete(deviceObj);
    end

    error('Spojení se sondou selhalo:\n%s', ME.message)
end

%% Konstanty
Channel = 1; %Kanál sondy je vždy 1, více sond je řešeno více objekty
TriggerSource = 3; % Okamžité spuštění
MeasurementMode = 0; % Režim postupného průměrování
Count = 5; % Pokračovat průměrováním 5-ti hodnot
Frequency = 50E+6; % Korekční frekvence 50MHz
Timeoutms = 5000; % Čas měření 5000ms

%% Běžně používané skupinové objekty
UtilityObj = get(deviceObj, 'Utility');
ChannelsObj = get(deviceObj, 'Channels');
ChannelObj = get(deviceObj, 'Channelschannel');
ChannelAvgObj = get(deviceObj, 'Channelschannelaveraging');
TriggerObj = get(deviceObj, 'Channelschanneltrigger');
TriggerllObj = get(deviceObj, 'Channelschanneltriggerlowlevel');
ChannelCorrObj = get(deviceObj, 'Channelschannelcorrections');
ChannelScopellObj = get(deviceObj, 'Channelschannelscopelowlevel');
StatusObj = get(deviceObj, 'Status');
MeasObj = get(deviceObj, 'Measurement');

%% Čtení informací o sondě
[SensorName, SensorType, SensorSerial] = invoke(UtilityObj,
'getsensorinfo', Channel)
[InstrumentDriverRevision, FirmwareRevision] = invoke(UtilityObj,
'revisionquery')

%% Zrušení jakéhokoliv případného běžícího měření
invoke(ChannelsObj, 'chansabort');

%% Nastavení jednorázových měření
```

```

% Můd okamžitého průměrování 5-ti průměrovaných vzorků
invoke(TriggerllObj, 'triggersetsource', Channel, TriggerSource);
invoke(ChannelObj, 'chanmode', Channel, MeasurementMode);
invoke(ChannelAvgObj, 'avgconfigureavgmanual', Channel, Count);
invoke(ChannelCorrObj, 'chansetcorrectionfrequency', Channel, Frequency);
invoke(TriggerObj, 'triggerimmediate', Channel);

% Jednorázové měření
[Measurement] = invoke(MeasObj, 'meassreadmeasurement', Channel,
Timeoutms);
disp(sprintf('Single shot measurement 1: %g W (%0.3f dBm)', Measurement,
10 * log10(Measurement) + 30));

[Measurement] = invoke(MeasObj, 'meassreadmeasurement', Channel,
Timeoutms);
disp(sprintf('Single shot measurement 2: %g W (%0.3f dBm)', Measurement,
10 * log10(Measurement) + 30));

%% Stopovací měření - 500 bodů, okamžité spuštění
MeasurementMode = 4; % Grafický režim měření
ScopePoints = 500; % vzorkovací frekvence(počet měření za dobu ScopeTime 1-
1024)
ScopeTime = 0.1; % časový úsek měření (0,0001-0,3s)
Timeoutms = 10000; % maximální doba měření 10s
invoke(ChannelObj, 'chanmode', Channel, MeasurementMode); % Režim grafu
musí být podporován typem sondy
invoke(ChannelScopellObj, 'scopesetpoints', Channel, ScopePoints); % Body
grafu se mohou lišit dle typu sondy
invoke(ChannelScopellObj, 'scopesetoffsettime', Channel, 0);
invoke(ChannelScopellObj, 'scopesettime', Channel, ScopeTime); % Časy grafu
se mohou lišit dle typu sondy

% Start měření, čekání na konec a čtení výsledku
MeasurementArrayW = zeros(ScopePoints, 1);
[MeasurementArrayW, ScopePoints] = invoke(MeasObj,
'meassreadbuffermeasurement', Channel, Timeoutms, ScopePoints,
MeasurementArrayW);

% vypočítávání hodnot dBm z Wattů, považování hodnot < 0 za 1E-10 (-90dBm)
CoerceArray = (MeasurementArrayW < 0);
MeasurementArrayW(CoerceArray) = 1E-12; % považovat za -90dBm
MeasurementArrayDBM = (10 * log10(MeasurementArrayW) + 30);

% Vykreslení výsledku
TimeStamps = linspace(0, ScopeTime, ScopePoints);

[maximum,index] = max(MeasurementArrayDBM);% Určení maxima s indexem času
maximum % Vypsání maxima
cas = TimeStamps(index) % Vypsání času maxima

plot(TimeStamps, MeasurementArrayDBM);
xlabel('t-[s]')
ylabel('L-[dBm]')
title('Výkonová úroveň v čase při amplitudové modulaci')
disp('Graf měření uložen jako Fig');
saveas(gcf, 'fig.png')

%% Vyčistění relace ovladače

```

```
if exist ('deviceObj')
    % Odpojení objektu zařízení od HW
    disconnect(deviceObj);
    % Smazat objekt
    delete(deviceObj);
end
```