

VNWA – víceúčelový VF měřicí přístroj

Jan Bílek, OK1TIC

Měli jste někdy v ruce VF analyzátor s názvem miniVNA? Také jste si říkali, že je to velmi šikovný přístroj, ovšem že vy byste potřebovali přístroj fungující alespoň do 1GHz? Pokud jste na tom jako já, pak bych Vás rád tímto článkem upozornil na přístroj s názvem VNWA, který, pevně věřím, splní Vaše očekávání. Nejen že funguje až do 1,3GHz, ale disponuje i o několik řádů lepším dynamickým rozsahem a má mnoho dalších užitečných funkcí.

V první části textu se Vám pokusím popsat jakým způsobem přístroj funguje, jakými funkcemi je vybaven, jak vypadá obslužný SW a jaké jsou mé zkušenosti s jeho stavbou. Dále se budu věnovat porovnání VNWA s profesionálními měřicími přístroji od firmy Agilent a na závěr ukáži příklad použití funkce TDR, která mi přijde velmi užitečná.

V textu se pokusím používat české termíny, ale ne vždy to bude úplně možné. Kde to tedy bude zapotřebí, budu v závorkách uvádět běžně užívaný anglický termín, aby nedošlo k nedorozumění. Budu rovněž předpokládat, že čtenář má jisté základní znalosti v oblasti RF měření.

O co jde?

VNWA je primárně vektorový obvodový analyzátor (*angl. VNA – Vector Network Analyzer*), který je schopen měřit nejen odrazové parametry jednobranu (například měření PSV antén), přenosové parametry dvoubranu (například filtr nebo zesilovač), ale díky jeho chytře řešené architektuře a šikovně napsanému obslužnému programu jej lze použít i jako jednoduchý spektrální analyzátor, LCR metr, signálový generátor, měřič TDR (*angl. TDR - Time Domain Reflectometry*) a také jako měřič vyzařovacích charakteristik antén.



Obr. 1: Pohled na hotový přístroj

Jde o přístroj, který musí být připojen k PC s operačním systémem Windows, na kterém běží obslužný program. Bez připojení k PC přístroj není schopný samostatně fungovat. Toto může být trochu handicap v případě měření v terénu. Připojení k PC je realizováno buďto USB rozhraním, skrze které je přístroj zároveň i napájen, nebo LPT rozhraním s využitím vstupů zvukové karty. První varianta tedy vyžaduje pouze jeden kabel, druhá varianta pak celkem 3 kabely - audio, LPT a napájení.

Měřák byl vyvinut Thomasem DG8SAQ a je dodáván buďto formou stavebnice, kterou si kupující musí sám poskládat a oživit, nebo jako již zkompleťované a oživené zařízení. Distribuci zajišťuje Jan Verduyn G0BBL (viz [1]) a nutno dodat, že je zapotřebí počítat s jistou čekací dobou, neboť v současné době poptávka po přístroji značně převyšuje nabídku. Momentálně se cena pohybuje v rozmezí od 161GBP až po 399GBP. Za cenu 161GBP si můžete koupit stavebnici samotné desky VNWA (popis viz. níže) bez žádného dalšího příslušenství. Za 399GBP lze zakoupit zkompleťovaný a oživený přístroj. Zde uvedená cena zahrnuje daň, nezahrnuje dopravu (max. 10GBP). Software je k dispozici zdarma na internetu [1] a můžete si jej nainstalovat a vyzkoušet i bez přístroje, abyste dostali lepší představu o tom, jak SW a celý přístroj funguje.

Základní parametry přístroje, jak je deklaruje Thomas a jak je lze odvodit z parametrů obslužného SW, jsou zachyceny v tabulce 1. Lze konstatovat, že přístroj převyšuje – zejména svým dynamickým rozsahem – potřeby pro běžnou radioamatérskou činnost. Vyhoví i pro měření v pásmu 23cm, byť s mírně zhoršeným dynamickým rozsahem. K porovnání nutno zmínit, že dynamický rozsah miniVNA je „jen“ 50dB.

Kmitočtový rozsah	1kHz – 1.3GHz
Počet bodů měření ¹⁾	1 až 8192
Dynamický rozsah	90dB – pro kmitočty < 500MHz
	méně jak 90dB – pro kmitočty > 500MHz
Měření vzdálenosti (TDR)	0 až 500m
Přesnost měření vzdálenosti (TDR)	<0.5m – pro vzdálenost 500m
Podporovaná měření	S – parametry, PSV, dB impedance – reálná, komplexní složka indukčnost, kapacita, odpor, činitel jakosti měření impulzní odezvy spektrální analýza měření trojbranů

*1) Vyjadřuje množství kmitočtů, na kterých je prováděno měření.
Nezávisí na aktuálně nastaveném kmitočtovém rozsahu.*

Tab. 1: Základní parametry VNWA

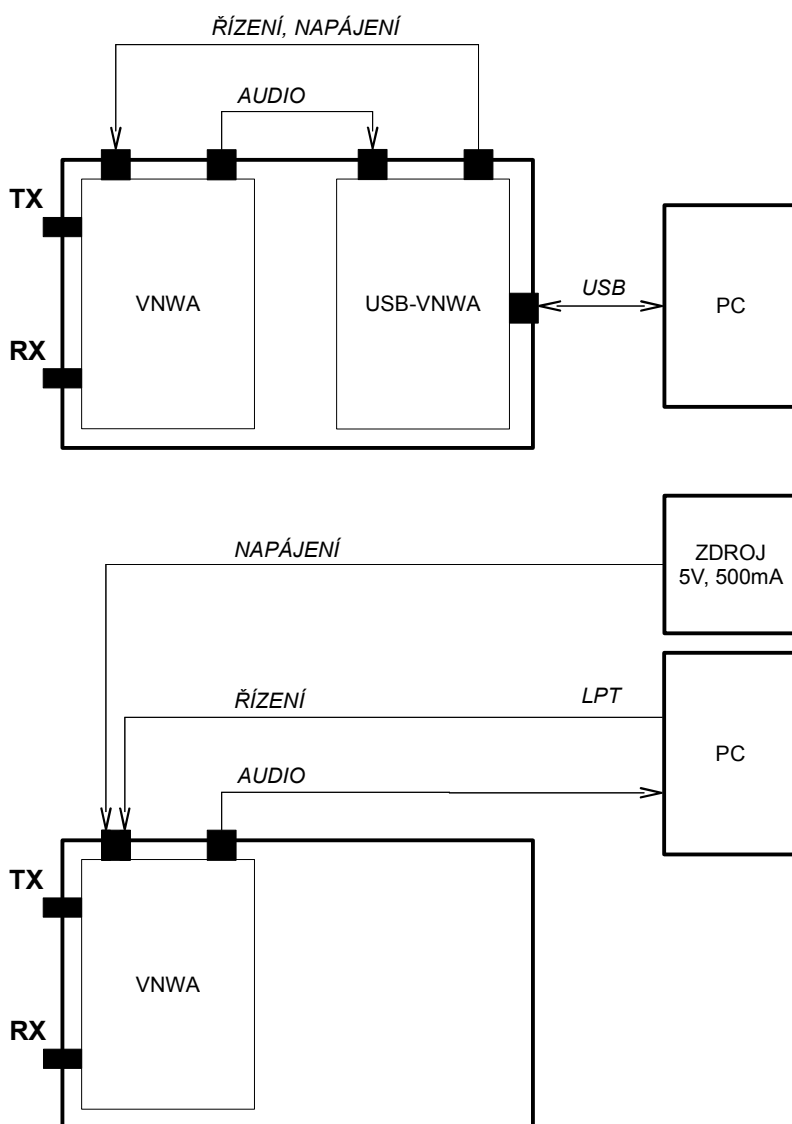
Celkový koncept

Měřák sestává ze dvou desek plošných spojů, přičemž jádrem celého měřáku je deska s názvem VNWA. Ta obsahuje veškeré nezbytné součástky pro chod přístroje. Druhá deska se jmenuje USB-VNWA a zajišťuje „pouze“ digitalizaci audio výstupů, (obsahuje tedy čip s kodekem) a USB připojení k PC. Chcete-li ušetřit, desku USB-VNWA si kupovat nemusíte. Pak však musíte VNWA desku propojit s PC přes paralelní port a zvukovou kartu plus musíte zajistit napájení desky. Obě tyto varianty jsou zachyceny na obrázku 2.

RF konektory TX a RX typu SMA jsou přístupné na čelním panelu přístroje, audio a datové konektory na zadním panelu.

Hlavní požadavky na PC jsou následující: alespoň Pentium II 233MHz, USB nebo LPT rozhraní, stereo zvuková karta, Windows 2000 / Windows XP / Windows Vista 32bit / Windows 7 32bit. Velikost paměti ani rychlost procesoru není nikterak limitující. Thomas upozorňuje, že přístroj

nefunguje s USB-LPT převodníky kvůli náročnému časování celého systému.



Obr. 2: Celkové zapojení;
nahore: zapojení s USB-VNWA deskou, dole: bez USB-VNWA desky

Popis VNWA desky

Jak již bylo řečeno, jádrem celého systému je deska VNWA. Deska USB-VNWA nemá vliv na funkcionalitu měřicí části přístroje, proto ji zde ani nebudu popisovat.

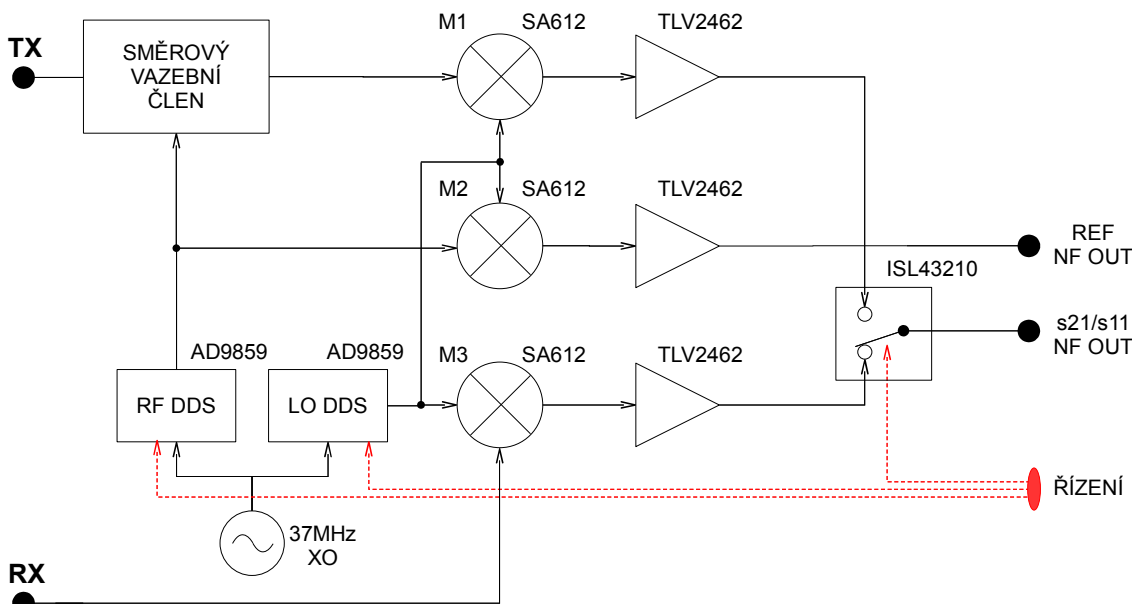
Blokové schéma VNWA desky je zachyceno na obrázku 3.

Interní zdroj měřicího signálu je realizován pomocí dvou DDS čipů (*angl. DDS - Direct Digital Synthesis*), přičemž je záměrně využíváno vyšších harmonických kmitočtů, které DDSky generují, k pokrytí širšího kmitočtového pásma. Samotné DDS jsou totiž schopny generovat signály „jen“ do necelých 200MHz - pro maximální hodinový kmitočet 400MHz doporučený výrobcem. Navíc se během měření (během jednoho „sweepu“) nevyužívá pouze jedné hodnoty interní hodinové násobičky, nýbrž více různých hodnot, aby byly pokryty nuly v kmitočtové charakteristice výstupních signálů. Thomas také upozorňuje, že pro získání plného kmitočtového rozsahu sahajícího až do 1.3GHz je zapotřebí, aby byly oba DDS čipy řízeny hodinovým kmitočtem, který je vyšší, nežli uvádí výrobce v katalogovém listu. Jsou tedy vědomě porušovány meze stanovené výrobcem, nicméně autor tvrdí, že dle jeho dosavadních zkušeností toto nezpůsobuje žádné

zvýšené zahřívání či dokonce rychlou destrukci čipu. Je však možné, že se tím omezuje životnost čipů.

Čili nyní k samotnému popisu blokového diagramu. Signál z RF DDS je veden přes směrový vazební člen na výstupní port TX. Odtud je odražen zpět a prochází opět přes směrový vazební člen na směšovač M1. Zde se tento signál směšuje se signálem generovaným v LO DDS, jejíž kmitočet je o 1.2kHz odlišný oproti kmitočtu RF DDS. Vzniká tedy mezifrekvenční signál cca 1.2kHz, který je zesílen a přiveden na přepínač realizovaný obvodem ISL43210. Tento přepínač slouží k přepínání mezi měřením odrazových a přenosových parametrů. V případě měření přenosových parametrů (jako např. s₂₁ / zisk apod.) je totiž signál z TX brány přiveden skrze měřený dvojbran na RX bránu, odkud je přiveden přímo na směšovač M3. Tam opět dochází ke směšování se signálem z LO DDS a opět vzniká mezifrekvence 1.2kHz. Z přepínače ISL43210 je tedy audio signál veden na jeden ze dvou audio výstupů a tedy dále vzorkován buďto deskou USB-VNWA nebo zvukovou kartou v PC. Tímto jsme popsali trasu, kterou „absolvuje“ měřící signál. Je však ještě třeba tento signál s něčím porovnat a na základě tohoto porovnání rozhodnout o parametrech měřeného objektu. K tomu právě slouží směšovač M2, který směšuje signál z LO DDS spolu se signálem z RF DDS. Výstupní signál z tohoto směšovače má rovněž kmitočet 1.2kHz, avšak nijak nepřišel „do styku“ s měřeným objektem a tak nám může dobře posloužit jako referenční signál. Tento signál je přiveden jako druhý audio signál do PC (opět buďto přes USB-VNWA desku nebo přes zvukovou kartu). Obslužný SW pak oba signály porovná a na základě fázového a amplitudového rozdílu mezi těmito dvěma signály rozhodne o parametrech měřeného objektu. K tomu samozřejmě použije navíc kalibrační data uložená v paměti (jako soubor s koncovkou *.cal).

To je v hrubých obrysech princip fungování celého přístroje. Ještě lze dodat, že oba DDS čipy jsou napojeny na společný zdroj hodinového signálu (37MHz XO). Tak je zajištěno sladění obou DDS. Absolutní hodnota kmitočtu krystalového oscilátoru není nikterak kritická, neboť ta se dá softwarově kalibrovat. Přístroj nastavíte tak, aby kontinuálně generoval pouze jeden kmitočet 10MHz a tento kmitočet změříte cejchovaným čítačem. Naměřenou hodnotu pak vložíte do SW a tím přístroj kmitočtově zkalibrujete.



Obr. 3: Blokové schéma VNWA desky

Je rovněž patrné, že chcete-li měřit reverzní charakteristiky (místo s₁₁ nebo s₂₁ měřit s₂₂ nebo s₁₂; zjednodušeně řečeno chcete-li při měření prohodit vstup za výstup), nelze toto udělat softwarově, nýbrž musíte fyzicky měřený objekt zapojit obráceně. To z toho důvodu, že RF DDS nelze připojit k RX bráně tak jako je tomu u TX brány. Architektura tedy není plně symetrická.

Je nutno též zmínit, že výkon měřicího signálu generovaný RF DDSkou není konstantní a ani ho nelze nijak nastavovat. Je zkrátka fixní a odvíjí se od kmitočtové charakteristiky samotné DDS. Chcete-li tedy měřit například nízkošumový předzesilovač, musíte se nejdříve ujistit, že signál generovaný přístrojem zesilovač nepřebudí nebo že jej snad dokonce nezničí.

Popis obslužného SW

Obslužný software je volně ke stažení na internetu [1]. Zájemci si jej tedy mohou kdykoliv stáhnout a vyzkoušet. Zde tedy uvedu jen základní popis nebo to, co se mi zdá zajímavé.

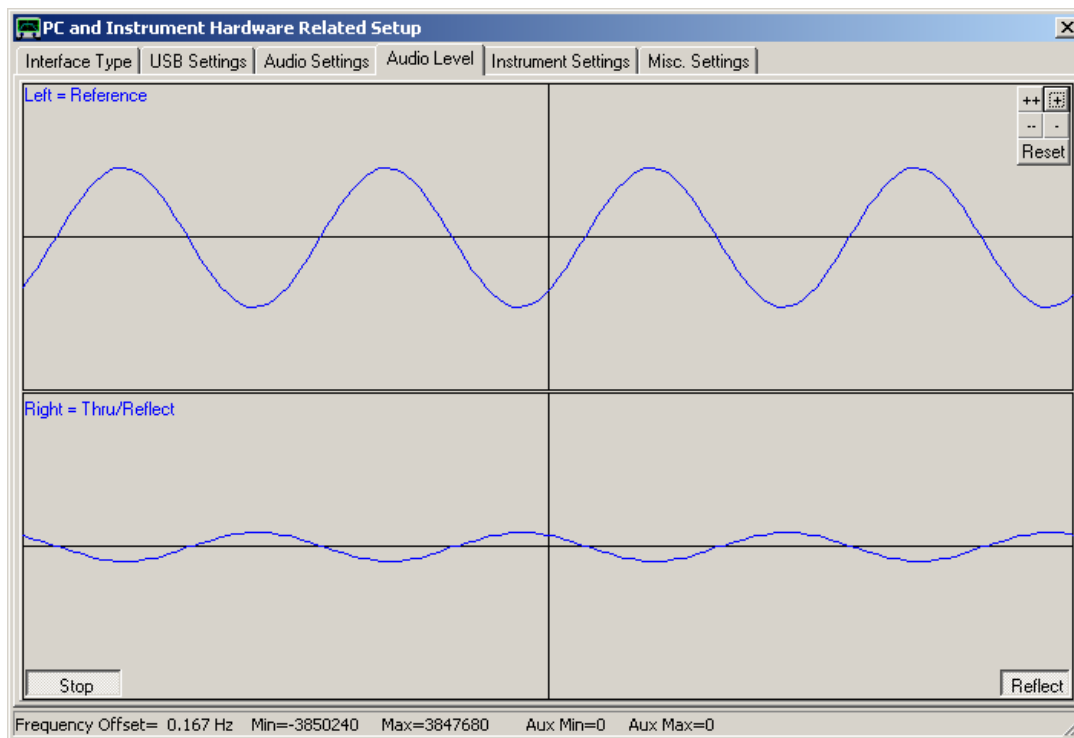
Instalace

V první řadě bych pár slov řekl k instalaci. Zakoupíte-li si i USB-VNWA desku, budete muset nejprve nainstalovat USB ovladače (ovladače USB zařízení a audio kodek). Ty jsou rovněž k dispozici na stránkách Jana GÖBBL [1]. Samotný SW není zapotřebí nijak instalovat, stačí jej pouze nakopírovat do adresáře WINDOWS/SYSTEM/ a odtamtud spustit. Podobně si spustíte i aplikaci 'dds.exe', která slouží pro otestování správného osazení DDS čipů na desku plošných spojů.

Nastavení

Ale teď k samotnému programu. V první řadě budete muset celý systém nakonfigurovat (Nabídka 'Options' → 'Setup'). Co všechno lze nebo je nutné nastavit?

- 1) Jako první musíte nastavit způsob komunikace mezi PC a VNWA. Tedy můžete si vybrat USB mód nebo LPT mód – podle toho, zda-li používáte nebo nepoužíváte USB-VNWA desku. USB rozhraní si můžete i otestovat, abyste si ověřili, že komunikace funguje správně.
- 2) Dále musíte nastavit audio zařízení. Tedy musíte si zvolit, zdali budete využívat zvukovou kartu anebo audio zařízení integrované na USB-VNWA desce. Pak je zapotřebí nastavit rozlišení a vzorkovací kmitočet používaný při digitalizaci měřicího signálu. (Většinou zřejmě použijete maximální možné nastavení.) Můžete si rovněž nastavit, zda-li se referenční signál nachází na levém nebo pravém vstupu (to je šikovné zejména tehdy, když při pájení audiokabelu zaměníte levý kanál za pravý, nemusíte znovu kabel předělávat).
- 3) Důležitou součástí nastavení audio zařízení je nastavení úrovně signálu. Ta se nastavuje tak, aby amplituda IF signálu byla čtvrtinová oproti rozsahu zvukové karty (tedy peak-peak zabírá cca polovinu rozsahu). V okně pro nastavení úrovně se přímo zobrazuje průběh referenčního a měřicího signálu v reálném čase. Můžete tak velmi názorně vidět změnu fáze a amplitudy u měřicího signálu oproti referenci – viz. obrázek 4.
- 4) Další záložka umožňuje specifikovat typ DDS čipu (toto asi nebudete používat) a kalibrovat kmitočet krystalového oscilátoru (jak bylo popsáno výše). Rovněž si zde můžete nastavit hodnotu kmitočtových násobiček uvnitř obou DDS čipů. Pokud tedy chcete, aby přístroj fungoval pouze v rozsahu specifikovaném výrobcem, zde si toto můžete nastavit. Nebo hodnotu můžete ponechat v poloze 'auto' a přístroj bude fungovat v plném rozsahu do 1,3GHz.
- 5) Poslední záložka obsahuje ovládací prvky k funkci signálového generátoru. Jak bylo zmíněno v úvodu, přístroj lze použít i jako signálový generátor a právě zde lze nastavovat nezávisle kmitočty obou DDS čipů. Nelze však nastavovat výkonovou úroveň (přístroj na tuto funkci není vybaven). Na výstupní port je zapotřebí připojit filtr, který vybere z výstupního signálu pouze žádaný kmitočet a odfiltruje ostatní harmonické produkty. Tato záložka také obsahuje řadu dalších funkcí sloužících spíše k experimentálním účelům, které asi většinou vyžít nebudete (pokud jste „jen“ běžný uživatel HI).



Obr. 4: Nastavení audio úrovní;
(spodní signál zachycuje změnu fáze a amplitudy při odrazu od neznámé impedance)

Kalibrace

Máte-li přístroj úspěšně nastaven, jako další krok budete muset přístroj zkalibrovat, aby Vám ukazoval správné hodnoty. K tomuto účelu si budete muset sehnat kalibry „short, load, open, through“ (*angl. SLOT*), neboli kalibry nekonečné impedance, nulové impedance, kalibr 50Ω a kalibr ideální „propojky“ (pro měření přenosových parametrů). Tyto kalibry buďto můžete zakoupit (zejména SMA kalibr 50Ω lze relativně snadno sehnat mezi radioamatéry, „propojku“ koupit v obchodě s elektro-materiálem) nebo si je můžete doma sami vyrobit – zejména „open“ a „short“. Při domácí výrobě kalibrů je zapotřebí být maximálně precizní, aby byla měření opravdu přesná.

Přístroj je vybaven užitečnou funkcí umožňující posun kalibrační roviny. Tuto funkci využijete například tehdy, pokud budete chtít kompenzovat vliv koaxiálních redukci zapojených mezi kalibrační rovinou a měřeným objektem. Máte-li například měřák zkalibrován SMA kalibry na úroveň konců měřících kabelů, ale chcete-li připojit objekt vybavený N-konektory, budete muset použít redukce z SMA na N-konektor. Ovšem pokud neposunete kalibrační roviny na konec N-konektorů, budete měřit nejen samotný prvek, ale i parametry redukci a N-konektorů, a Vaše měření nebudou zcela přesná (zejména na vyšších kmitočtech).

Funkce VNA

Po zkalibrování můžete začít přístroj používat. Nejprve popíši základní funkci přístroje – tedy funkci vektorového obvodového analyzátoru.

Odrazové a přenosové parametry lze zobrazit v těchto formách:

- $\log(\text{abs}(s_{11})) / \log(\text{abs}(s_{21}))$
- smithův diagram – lze jej normalizovat na jinou impedanci než 50Ω
- $\text{real}(s_{11}), \text{imag}(s_{11}) / \text{real}(s_{21}), \text{imag}(s_{21})$
- $\text{magnitude}(s_{11}), \text{phase}(s_{11}) / \text{magnitude}(s_{21}), \text{phase}(s_{21})$ - fáze v rozsahu $\pm\pi$
- kontinuální fáze(s_{11}) / kontinuální fáze(s_{21}) – v násobcích π

- skupinové zpoždění(s11) / skupinové zpoždění(s21)
- $\text{real}(Z) / \text{Imag}(Z)$ ¹⁾
- $\text{abs}(Z)$ ¹⁾
- C-- – ekvivalentní sériová kapacita ¹⁾
- L-- – ekvivalentní sériová indukčnost ¹⁾
- $\text{real}(Y) / \text{Imag}(Y)$ ¹⁾
- R – ekvivalentní paralelní rezistance ¹⁾
- C || - ekvivalentní paralelní kapacita ¹⁾
- L || - ekvivalentní paralelní indukčnost ¹⁾
- QC – činitel jakosti kapacitoru ¹⁾
- QL – činitel jakosti induktoru ¹⁾
- PSV

1) – pouze pro měření odrazových parametrů (s11, s22)

Kmitočtovou osu lze nastavit pro lineární i logaritmické měření (*angl. - sweep*). Kmitočty lze zadat oběma způsoby: „start, stop“ i „center, span“. Počet bodů na kmitočtové ose (tedy počet bodů, na kterých se bude provádět měření) může nabývat hodnot od 1 do 8192, přičemž na jeden bod je zapotřebí čas minimálně 0.7ms (dle nastavení). Z toho se tedy odvíjí délka jednoho měření - jednoho „sweepu“. Pokud nastavení kmitočtové osy nesouhlasí s nastavením použitým při kalibraci, SW automaticky kalibrační data dointerpoluje, kalibrační data však vždy musí zabírat širší nebo shodné kmitočtové pásmo.

Naměřená data lze standardně zobrazovat v různém měřítku (*angl. - scale*) a s různou referenční úrovní. Lze použít i funkce *autoscale*, která získaný graf zobrazí optimálně přes celý rozsah osy 'y'.

Je možno použít i mód s externím směrovým vazebním členem (nezkoušel jsem).

Funkce spektrálního analyzátoru

Kmitočtová osa se nastavuje stejným způsobem jako v případě VNA módu. Obdobně funguje i použití měřítka pro osu 'y'. Co se však mění je časování měření a do hry vstupuje důležitý parametr RBW (*angl. RBW – Resolution BandWidth*) definující šířku filtru použitého při měření. RBW může nabývat diskretních hodnot sahajících od 250Hz do 40kHz. Horní hodnota 40kHz je determinována parametry zvukové karty/zvukového zařízení.

Je zapotřebí zvolit RBW s ohledem na čas potřebný pro jedno měření (popř. pro celý „sweep“) a počet bodů na frekvenční ose. Bohužel SW nenastavuje automaticky optimální hodnotu těchto parametrů, o to se musí postarat uživatel. Nastavíte-li hodnoty špatně, Vaše měření budou zkreslená. Předpokládá to tedy jistou zkušenost s používáním spektrálních analyzátorů.

Nutno rovněž upozornit na to, že přístroj bez dodatečné „ruční“ kalibrace nelze použít pro absolutní měření – tedy pro měření dBm nebo wattů. To především z toho důvodu, že přístroj nemá nikterak definovanou výkonovou úroveň měřícího signálu. Také to závisí na použité zvukové kartě. Přístroj tedy měří pouze v relativních decibelech. Chcete-li měřit absolutní dBm, musíte si přístroj nejprve zkalibrovat pomocí zdroje signálu o známém výkonu.

Bližší informace jsou pochopitelně k dispozici v nápovědě k programu.

Funkce TDR

Aplikací inverzní Fourierovy transformace (*angl. IFFT – Inverse Fast Fourier Transform*) na naměřená data s11 nebo s21 lze získat impulzní odezvu měřeného objektu. Vyberete-li si pak ze získaných dat jisté časové okno (*angl. Time Gating*) a na něj pak zpětně aplikujete Fourierovu transformaci (*angl. FFT - Fast Fourier Transform*) získáte zpátky charakteristiky s11 resp. s21.

Tímto způsobem můžete například „odfiltrvat“ rychlou odezvu elektromechanického filtru na elektromagnetické pole od pomalé mechanické odezvy (viz. příklad v nápovědě k programu). V radioamatérské praxi však tato funkce najde své uplatnění spíše při měření kabelových tras – viz. níže.

Ostatní funkce

Další funkce již popíši stručněji.

Nastavíte-li měřák na měření odrazových parametrů (s11) a zadáte-li pouze jeden kmitočet, na kterém se bude měření provádět, můžete využít funkce „LCR-Meter“. Na displeji se pak zobrazí velkým písmem parametry náhradního obvodu měřeného prvku (sériová a paralelní rezistance a reaktance, činitel jakosti Q) a přístroj tedy funguje jako LCR měřič. Výhodou je, že si můžete zvolit kmitočet, na kterém chcete měření provádět.

Přístroj lze využít i jako signálový generátor. Tato funkce byla již popsána v kapitole „Nastavení“ - bod 5.

S měřákem lze měřit i vyzářovací charakteristiky antén (nezkoušel jsem). V principu jde opět o měření přenosových parametrů s21, přičemž měřeným objektem je v našem případě kaskádní zapojení vysílací a přijímací antény a přenosového prostředí mezi nimi. Program je schopen komunikovat s rotátorem přes LPT port (pro bližší detaily prosím čtěte nápovědu). Ovšem pokud je vzdálenost antén příliš velká, přístroj nemá dostatečně velký dynamický rozsah a výstupní výkon pro kompenzaci útlumu mezi anténami. V takovém případě lze použít externí zdroj signálu (např. TRX) a měřák používat v módu spektrálního analyzátoru.

Dále je přístroj schopen měřit trojbrany a náhradní obvod krystalů (nezkoušel jsem).

Přístroj umožňuje exportovat, importovat data ve formátu Touchstone s1p, s2p, s3p, umožňuje exportovat obrázek. Rovněž tak je vybaven řadou různých pamětí, díky nimž můžete přes sebe překrývat různá měření (např. když ladíte filtr, jednu charakteristiku si uložíte do paměti a v následujícím kroku k ní zobrazíte novou charakteristiku a hned vidíte změnu, kterou jste provedli).

Program je také vybaven kalkulátorem, který Vám usnadní výpočet přízpusobovacích obvodů, obsahuje také virtuální klávesnici, kterou zřejmě oceníte, když budete program provozovat na nějakém „kapesním PC“. Nastavení programu lze uložit do souboru a při dalším startu opět načíst.

Závěrem bych chtěl říci, že se zdá, že autor program stále vylepšuje a vydává nové verze, což je jistě dobrá zpráva. Existuje rovněž internetové diskusní fórum, kde lidé sdílí zkušenosti s měřákem, řeší spolu s autorem různé problémy apod. Tedy podpora ze strany Toma DG8SAQ je opravdu dobrá.

Stavba a oživení

Když jsem si měřák kupoval já, Jan G0BBL měl k dispozici pouze nesestavenou stavebnici, a tak mi nezbývalo, než si to celé poskládat a oživit sám. Autor pochopitelně dodává návod na sestavení a oživení (pouze v angličtině), který je napsán velmi dobře a lze stavebnici podle něho bez problémů osadit a oživit. Ovšem bez problémů jen tehdy, pokud jste zdatní v pájení titěrných SMD součástek o velikosti 0603 (cca 1mm délka součástky!) a pájení mrňavých SMD integrovaných obvodů. Já osobně již nějaké zkušenosti mám, ale i přesto musím říci, že zapájet DDS čipy byl opravdu dost náročný úkol a vyžaduje opravdu veliké zkušenosti. Pokud tyto zkušenosti nemáte, lze si nechat alespoň tyto DDS čipy osadit u firem, které se zabývají osazováním plošných spojů, nebo si zakupte zkompleťovanou stavebnici.

Oživení bylo bezproblémové a hladké. Není zapotřebí nic nastavovat, ladit apod., jen je třeba ověřit, že v daných bodech je napětí jaké má být a že přístroj spotřebovává správný proud. Já osobně jsem byl v řadě případů pár procent mimo rozsah specifikovaný v dokumentaci, ale i přesto se zdá, že přístroj bez problémů funguje.

Obě desky, jak samotná deska VNWA, tak i USB-VNWA, mají shodný rozměr. Pasují tedy pěkně do krabičky, kterou výrobce rovněž nabízí. Nic samozřejmě nebrání tomu, abyste použili vlastní kabičku

Porovnání VNWA s Agilent

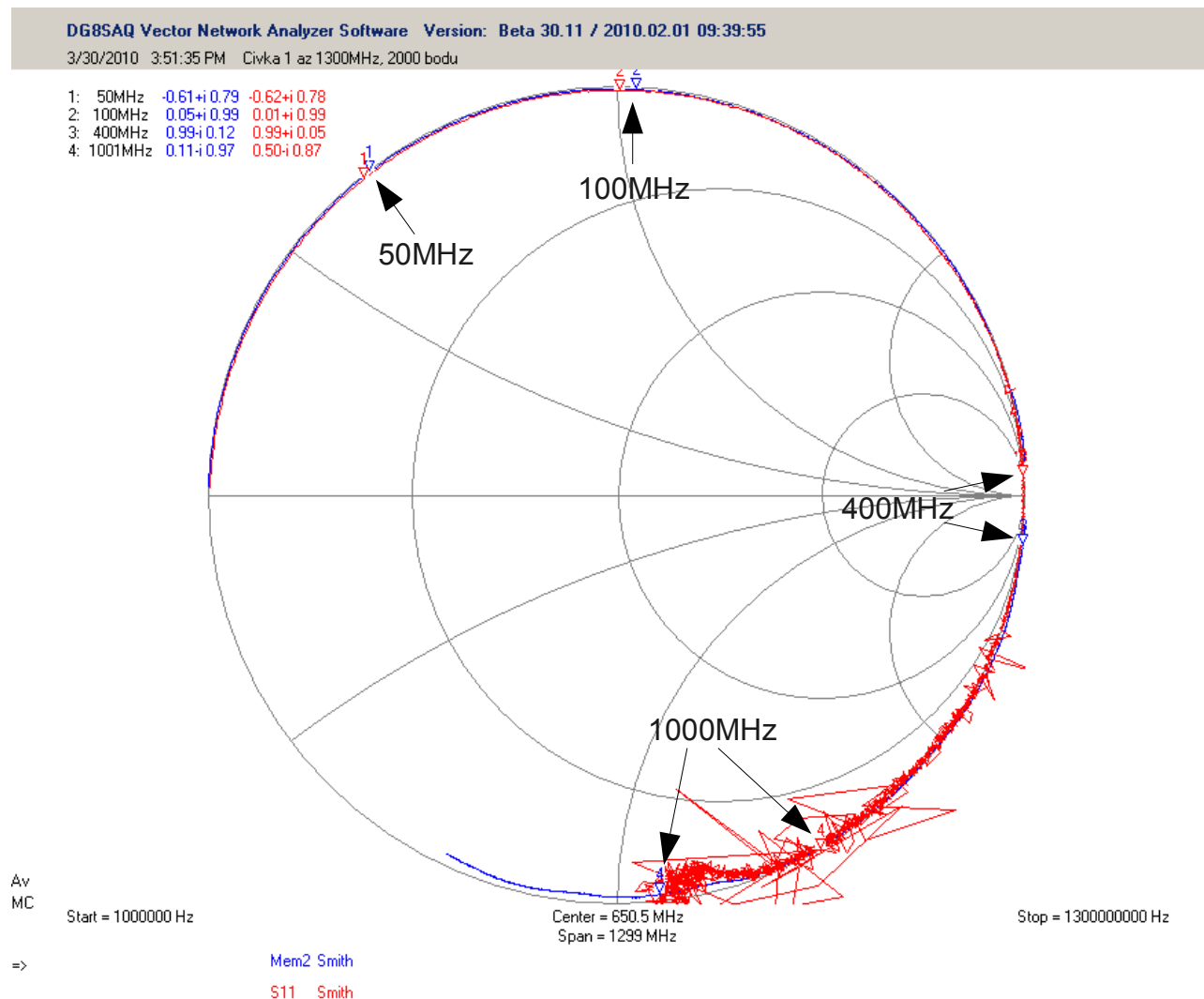
Abych si udělal představu o tom, co VNWA dokáže, porovnal jsem získané výsledky s profi přístrojem od firmy Agilent (N5230A).

Oba přístroje jsem nejprve zkalibroval stejnou sadou kalibrů. Smithův diagram na obrázku 5 zachycuje průběh impedance naměřený profesionálním přístrojem (modrá křivka) a průběh naměřený pomocí VNWA (červená „zašuměná“ křivka). Testovaným objektem byla v tomto případě malá vzduchová cívka napájená na SMA konektor plus koaxiální redukce SMA-SMA. Je zřetelně vidět, že se vzrůstajícím kmitočtem dochází ke zvyšování rozdílu mezi oběma průběhy – zejména ve fázi. Na kmitočtu 100MHz se oba přístroje v celku shodovaly, na kmitočtech nad 500MHz – tedy nad kmitočtem vlastní rezonance cívky – se již výsledky rozcházejí. Porovnání obou měření je číselně zachyceno v tabulce 2.

Kmitočet	VNWA	N5230A
100MHz	$(0.31 + j50.3)\Omega$	$(0.34 + j52.4)\Omega$
500MHz	$(8.17 - j481)\Omega$	$(2.23 - j247)\Omega$
1000MHz	$(1.86 - j82.2)\Omega$	$(1.36 + j-55.5)\Omega$

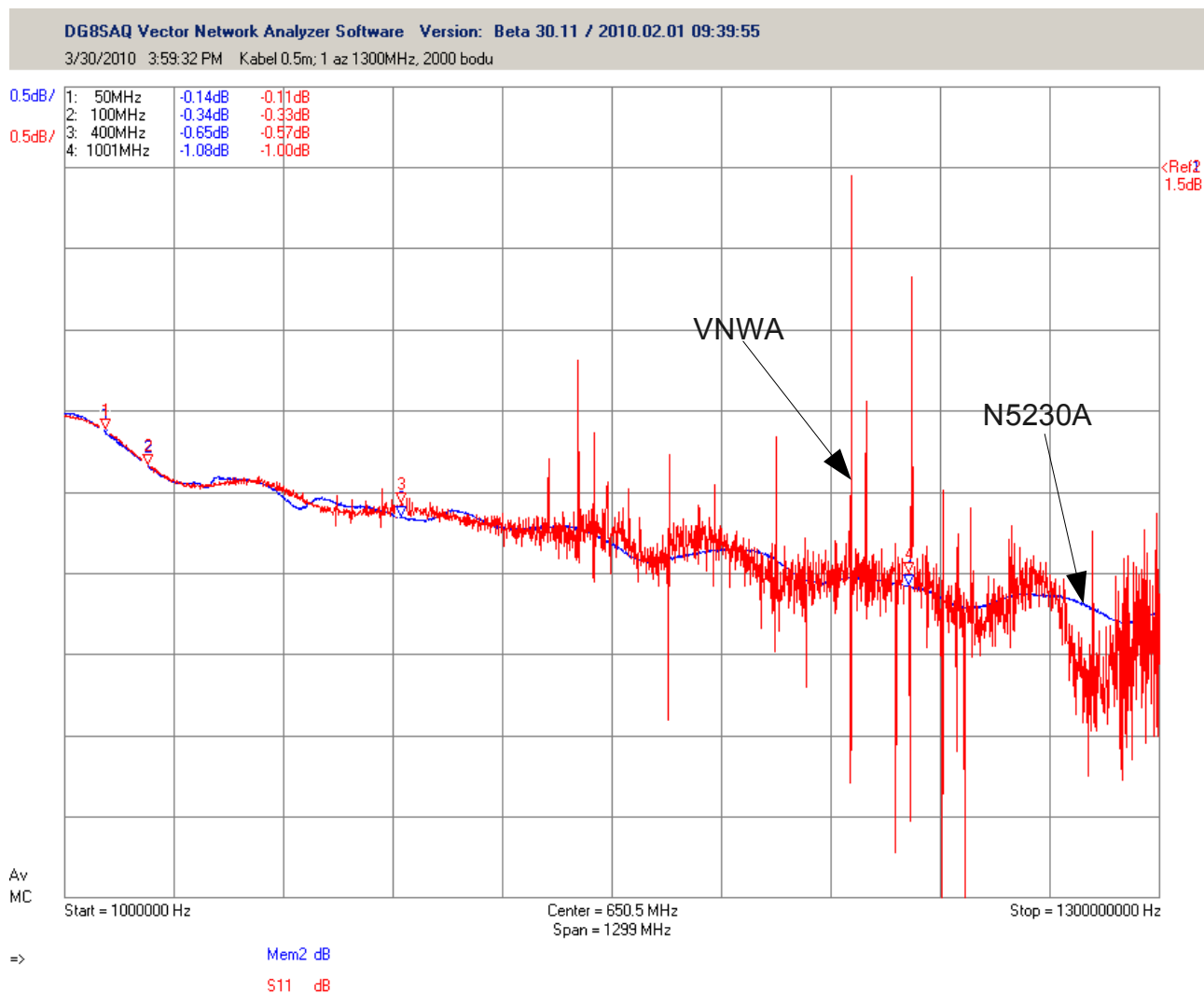
Tab. 2: Porovnání VNWA a N5230A – měření impedance vzduchové cívky

Z obrázku 5 je rovněž zřetelně vidět hlavní nečinnost VNWA. A sice to, že na kmitočtech odpovídajících některým násobkům hodinového signálu DDS čipů dochází ke skokovému zvýšení chyby měření v důsledku interference s těmito harmonickými signály. Ve výsledných grafech tedy vznikají nežádoucí špičky o různé amplitudě. Jev je znatelný především na kmitočtech vyšších než cca 500MHz. Je škoda, že stávající verze obslužného programu neobsahuje alespoň funkci „vyhlazení“ (*angl. Smoothing*), která by tuto nečinnost graficky částečně eliminovala.



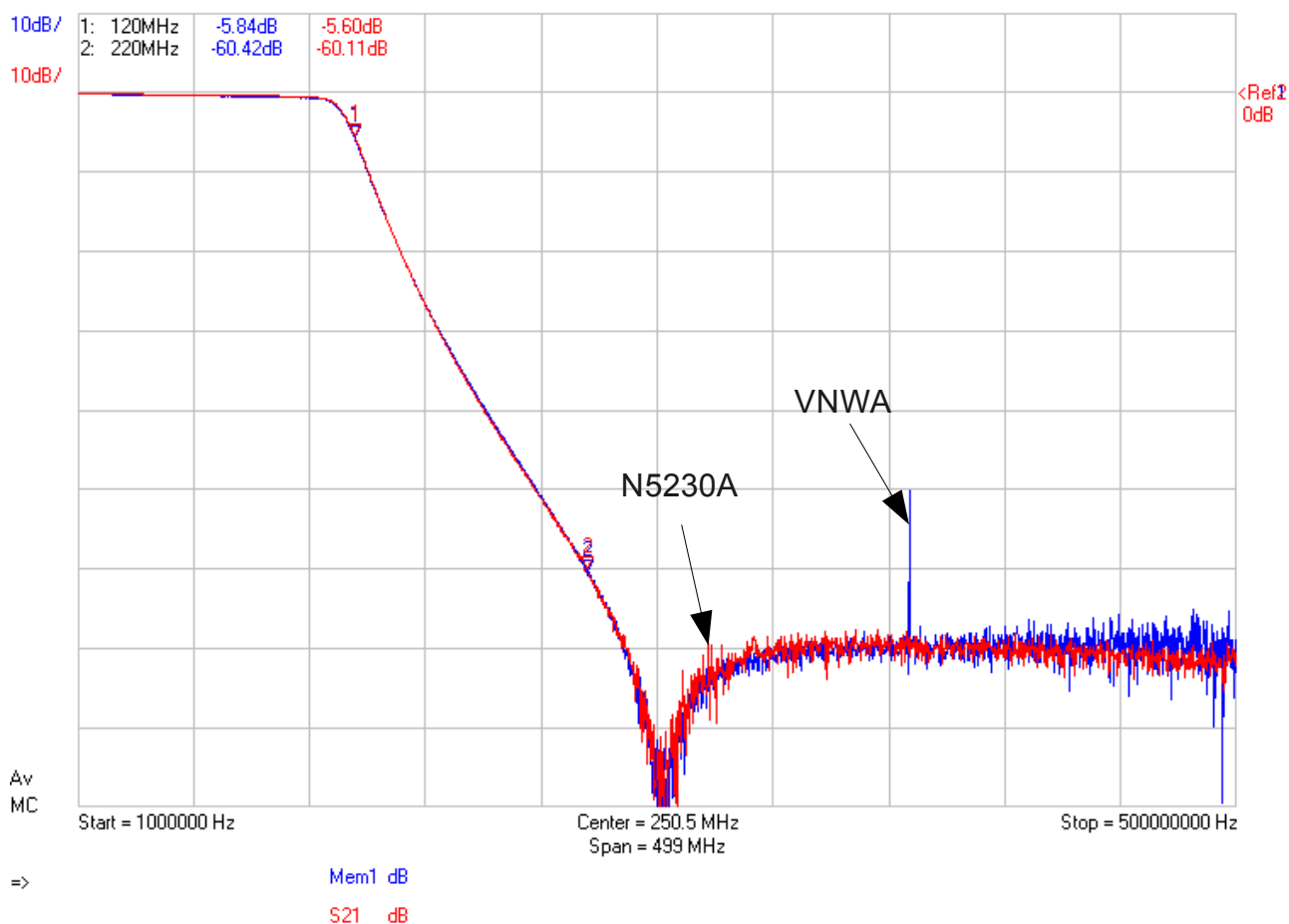
Obr. 5: Průběh impedance malé vzduchové cívky VNWA – červený průběh, N5230A – modrý průběh

Obrázek 6 zobrazuje průběh koeficientu odrazu koaxiálního kabelu RG-174 o délce 0,5m opatřeného na obou koncích SMA konektory. Červená „zašuměná“ čára je charakteristika naměřená pomocí VNWA, modrý průběh (načtený z paměti Mem2) byl získán přístrojem N5230A. Je vidět, že shoda mezi oběma přístroji je v případě tohoto typu zobrazení lepší, nežli tomu je u Smithova diagramu z obrázku 5. Všimněte si, že osa „y“ má měřítko 0,5dB na dílek a tedy rozdíl mezi oběma průběhy je maximálně 0,2dB pro kmitočty do 1GHz! Opět jsou zřetelné nežádoucí špičky na naměřených datech (v tomto případě mají amplitudu maximálně 2.5dB).



Obr. 6: Průběh s11 koaxiálního kabelu,
 VNWA – červený průběh, N5230A – modrý průběh

Předchozí dva příklady testovaly VNWAčko v extrémních situacích, kdy reaktance měřeného objektu byla extrémně nízká nebo naopak vysoká (podle kmitočtu). Je zapotřebí zmínit, že v podobných situacích přístroje založené na této metodě měření zpravidla vykazují největší chyby. Proto jsem provedl ještě jedno měření, kdy jsem již neměřil nikterak extrémní objekt. Do třetice jsem proměřil přenosovou charakteristiku dolnofrekvenčního filtru laděného na kmitočtet cca 100MHz. Obrázek 7 tedy zobrazuje opět porovnání mezi oběma přístroji. Je patrné, že v tomto případě dochází téměř k absolutní shodě mezi oběma přístroji (vyjma jedné rušivé špičky na kmitočtu 360MHz v případě VNWA; měření bylo prováděno na kmitočtech do 500MHz!).



Obr. 7: Průběh s21 dolnofrekvenčního filtru, VNWA – červený průběh, N5230A – modrý průběh

Na základě výše uvedených průběhů snad lze konstatovat, že přístroj je v módu VNA plně dostačující i pro ta nejnáročnější radioamatérská měření na kmitočtech zhruba do 500MHz. Na vyšších kmitočtech již přístroj měří s větší chybou a rovněž tak znatelněji vzrůstá rušení od hodinového signálu způsobující nežádoucí špičky na naměřených datech. Nicméně se domnívám, že i v pásmu 23cm lze přístroj s nižší - nicméně pro radioamatéry stále dostačující - přesností používat.

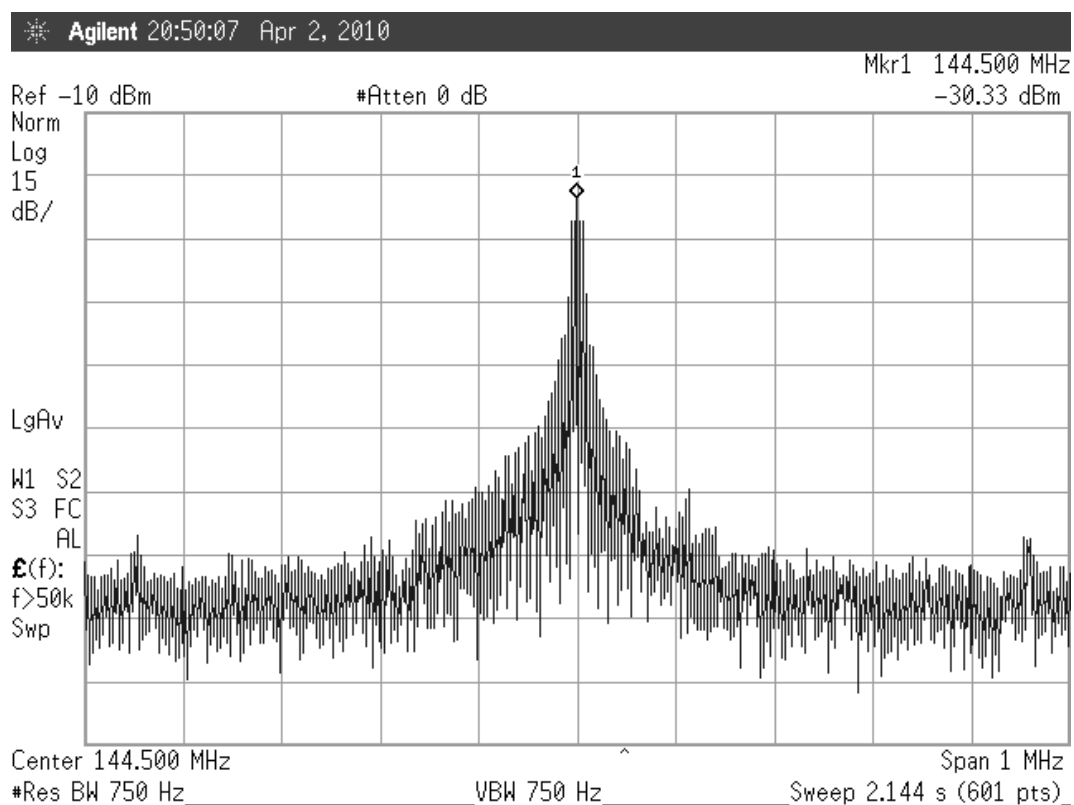
Porovnání SA

K posouzení parametrů VNWA pracujícího v módu spektrálního analyzátoru jsem použil přístroj E4445A od firmy Agilent. Obrázek 8 ukazuje průběh spektra amplitudově modulované nosné s výkonem zhruba -30dBm, modulačním sinusovým signálem 5kHz a hloubkou modulace 100% naměřený přístrojem E4445A. Kmitočtová osa zabírá frekvence od 144MHz do 145MHz, diskretní čára ve vzdálenosti 5kHz není tedy zřetelná. Naopak vlivem nedokonalosti použitého HW je zřetelná „sukně“ okolo modulovaného signálu.

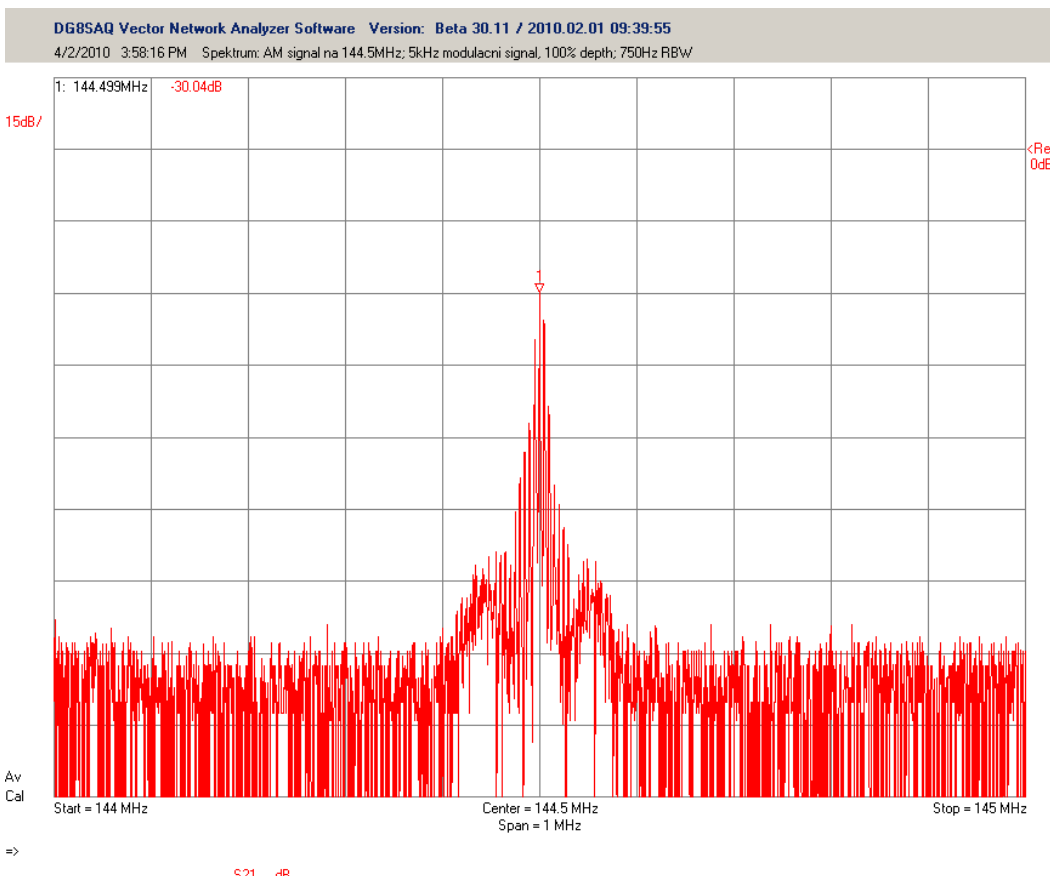
Naopak obrázek 9 ukazuje spektrum téhož signálu naměřeného pomocí VNWA. V obou případech bylo použito stejného RBW, stejného nastavení kmitočtové osy. Je vidět, že šířka „sukně“ se pro oba naměřené průběhy v celku shoduje, i když průběhy vypadají možná lehce odlišně.

Také je vidět, že šumový práh je v případě VNWA cca o 15dB horší, nežli je tomu u E4445A. Nicméně se domnívám, že například pro posouzení čistoty spektra vysílaného signálu VNWA plně

poslouží. S přístrojem lze dosáhnout dynamického rozsahu až 90dB (někteří konstruktéři reportovali i více jak 90dB).



Obr. 8: Kmitočtové spektrum AM signálu, E4445A



Obr. 9: Kmitočtové spektrum AM signálu, VNWA

Zmínil bych zde pár nedostatků VNWA v módu spektrální analýzy. Prvním je, že při každé změně kmitočtů a RBW je přístroj zapotřebí znovu kalibrovat. Rovněž tak je zapotřebí si zkalibrovat výkonovou osu „y“, jak jsem o tom mluvil výše. Další omezení vyplývá z faktu, že maximální možné RBW je 40kHz a maximální možný počet bodů na kmitočtové ose je 8192. Z toho plyne, že s přístrojem nelze v módu SA měřit najednou v plném rozsahu od 1kHz do 1.3GHz. Je zapotřebí měřit postupně v menších úsecích (a vždy při tom používat jinou kalibraci). Možnosti, které VNWA nabízí, jsou tedy oproti klasickým spektrálním analyzátorům omezené, s tím je zapotřebí počítat.

Ukázka TDR

Nakonec bych rád ve zkratce přiblížil, k čemu je dobrá funkce TDR. Základní princip této metody byl popsán výše, a tak rovnou přikročím k příkladu, který bude spočívat v proměření kabelové trasy mezi TRXem a anténou.

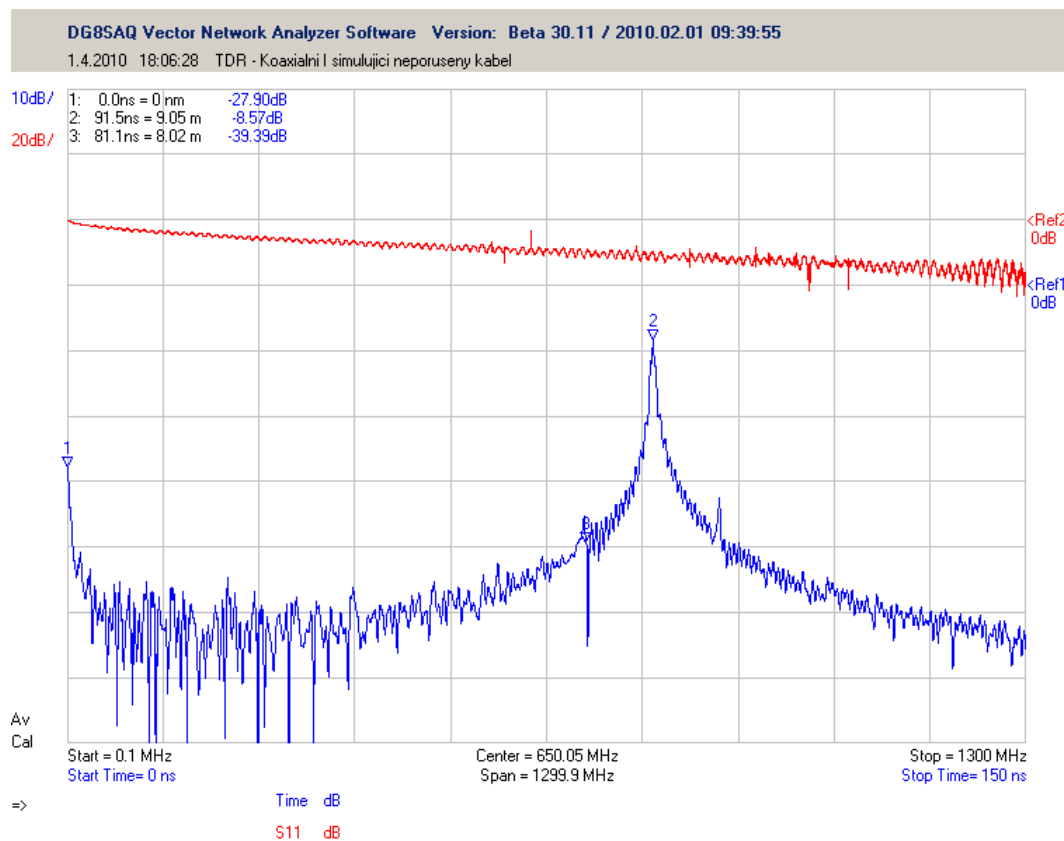
Představte si situaci, kdy ladíte novou anténu (třeba krátkovlnnou). Stojíte pod anténou a k ní máte připojený nějaký dočasný kabel (který je třeba dlouhý násobek $\lambda/2$). Anténu úspěšně naladíte a zjistíte, že na rezonančním kmitočtu je PSV například 1,1. S radostí, že už máte ladění za sebou připojíte na pevno finální koaxiální kabel a běžíte do hamshacku anténu hned ozkoušet. Zapnete TRX a ejhle, anténa nemá PSV 1,1, nýbrž například 1,5. Kde je chyba? Ta může spočívat například ve špatné kabeláži. A právě na proměření kabelových tras se Vám bude hodit funkce TDR. Anténu na konci kabelu odpojíte a kabel zapojíte místo do TRXu do TX brány VNWA, který jste si již dříve zkalibrovali pro plný rozsah 1kHz-1,3GHz. Přístroji zadáte, aby naměřil charakteristiku S11 a jako další průběh si zvolíte „Time-domain“. Tímto se Vám naměřená charakteristika přepočte na časovou impulzní odezvu, ze které snadno odečtete, v kolika metrech od kalibrační roviny se nachází defekt kabelu (přístroji musíte pochopitelně zadat informaci o zkracovacím koeficientu kabelu).

Na následujících obrázcích jsem připravil jednoduchou ukázkou. V první fázi jsem „simuloval“ neporušený kabel tím, že jsem dva koaxiální kabely spojil vzájemně koaxiální I-redukci. V druhé fázi jsem pak I-redukci nahradil T-redukci a simuloval tak jemně porušený kabel (třetí konektor T-redukce, který není nikam zapojený, působí jako diskontinuita, na které se odraží vlny). Průběh „neporušeného“ kabelu je zachycen na obrázku 10, průběh pro porušený kabel pak na obrázku 11.

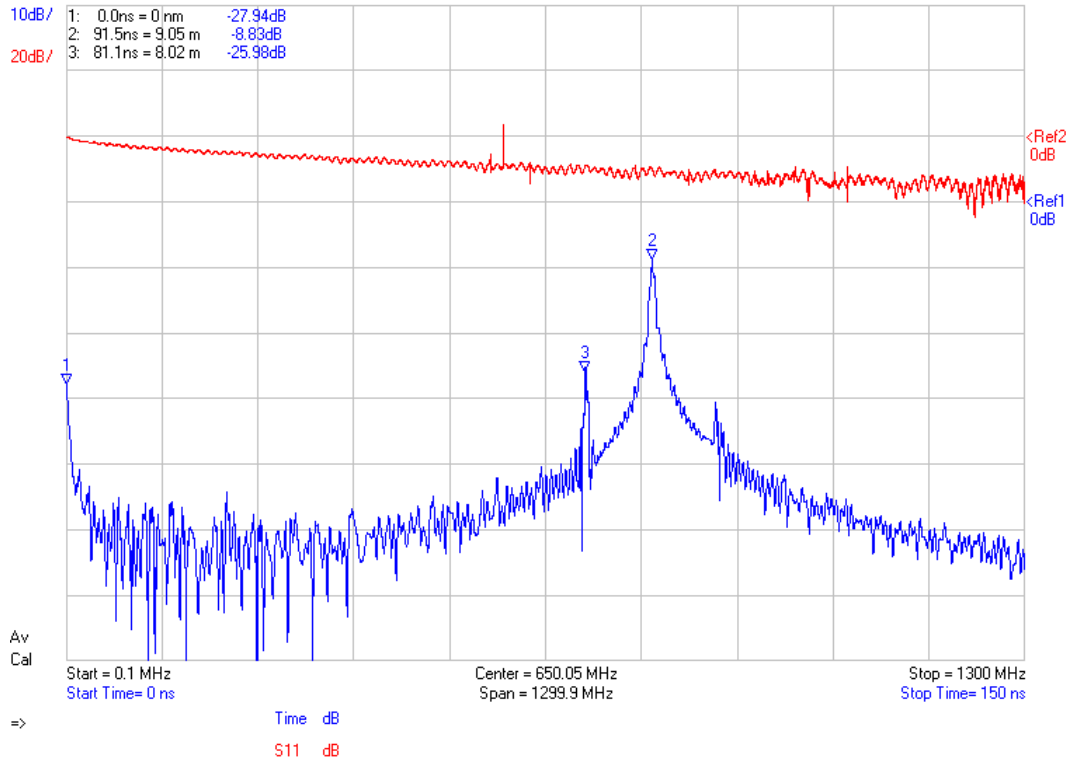
Díváme-li se na obrázek 11, je zjevné, že část elektromagnetické energie se odrazila na T-redukci (marker 3 – 8,02m). Většina energie se však odrazila až na konci druhého kabelu (marker 2 – 9,05m). Na grafu je vidět ještě jedna špička na úrovni cca 10m. Ta odpovídá vícenásobnému odrazu mezi T-redukci a koncem druhého kabelu. Analyzovali jsme tedy, že defekt se nachází ve vzdálenosti 8m od „začátku“ kabelu.

V případě průběhu na obrázku 10, kde byla použita I-redukce simulující neporušený kabel, je špička ve vzdálenosti 8m téměř neznatelná.

Na obou obrázcích je také vidět, že část energie se odráží těsně za kalibrační rovinou. To je dáno přítomností SMA-BNC redukce použité při měření, na které se také část energie odráží.



Obr. 10: Průběh „neporušeného“ kabelu, červený graf nahore – s11, modrý graf dole – TDR



Obr. 11: Průběh „porušeného“ kabelu,
červený graf nahoře – s11, modrý graf dole – TDR

Závěrem

Co více k říci? Snad jen to, že jsem v mém článku jen velmi zběžně nastínil možnosti, které VNWA nabízí a ukázal jen jednoduché příklady. Jsem přesvědčen, že zejména pro bastlíře bude VNWAčko představovat mocný nástroj, který jim umožní měření téměř na profesionální úrovni. Věřím, že i přes své drobné nedostatky se stane mocným nástrojem a že poměr cena/výkon je jinými přístroji – v dnes běžné radioamatérské praxi používanými – téměř nedosažitelný.

Zdroje

- [1] http://www.sdr-kits.net/VNWA/VNWA_Description.html