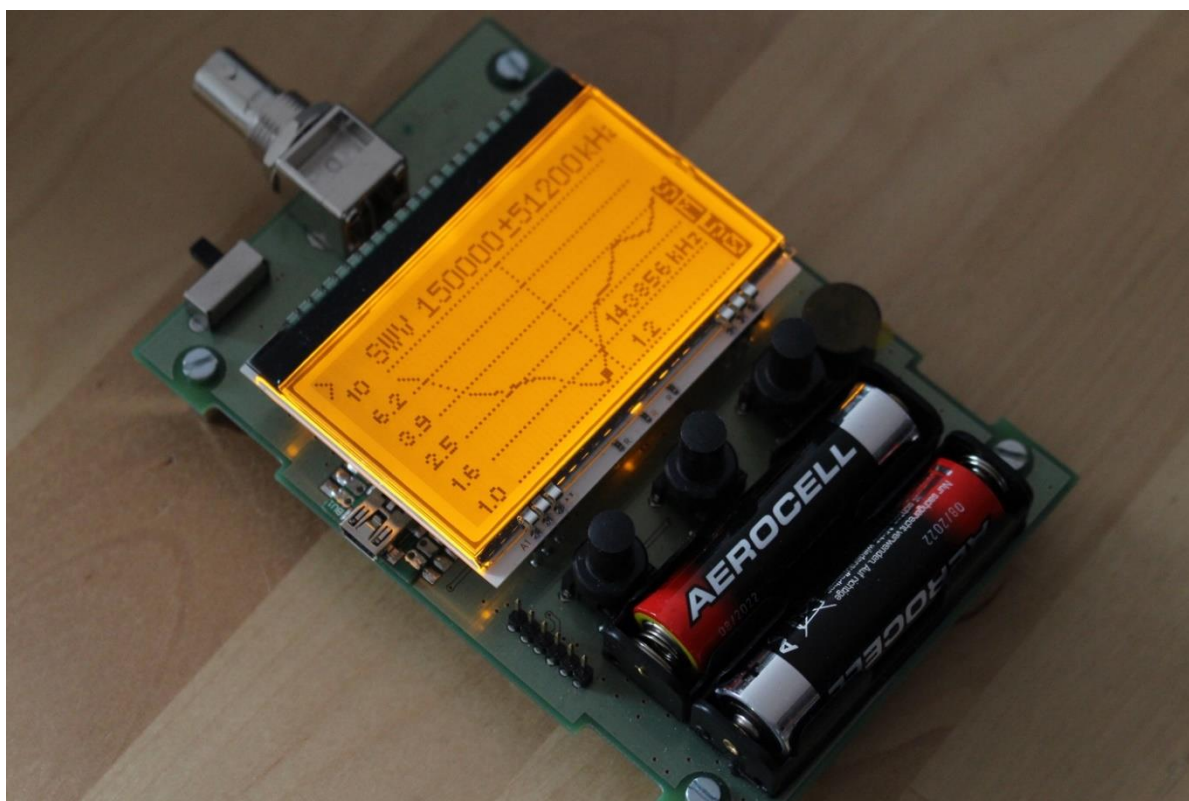


Vector Antenna Analyzer FA-VA 5 for frekvensområdet fra 10 kHz til 600 MHz

Konstruktion af og måling på antenner er stadig en af de mest interessante aktiviteter for radioamatører. Gennem den store efterspørgsel på forgængeren, FA-VA 4, har det vist sig at være sandt. Derfor kom spørgsmålet, om noget godt ikke kan blive bedre. Resultatet af denne overvejelse blev til FA-VA 5, som er beskrevet i denne artikel.

Ud over alle de positive egenskaber forgængeren havde, så dækker FA-VA 5 et udvidet frekvensområde, samt inkluderer en USB-forbindelse til en computer. Artiklen beskriver de nye funktioner for FA-VA 5 samt forskelle ved sammenligning med FA-VA 4.



Billede 1: PCB for FA-VA 5 prototypen. USB-forbindelsen ses til venstre mellem display og PCB.

De vigtigste kendetegn for vector antenna analyzer FA-VA 4 [1] var en kraftfuld digital signal behandling, men også et usædvanligt komponentvalg, samt selve design konceptet. Brugerne fik et portabelt høj præcisionsinstrument, for måling på antenner og andre 1 port enheder og komponenter.

SOL kalibrationen, ganske som for det professional segment, den lille størrelse, det lave strømforbrug, det brugervenlige design, det store display med god læsbarhed og sidst men ikke mindst tilstedeværelsen af et komplet kit til en attraktiv pris, førte til stor efterspørgsel såvel lokalt som internationalt.

Mange begejstrede brugere kom med værdifulde reaktioner og kommentarer – en varm tak til dem alle!

Ud over at kunne dække 2 m båndet, var en tilslutning til en PC, for at foretage efterbehandling af målinger, i toppen af ønskelisten. Men det sidst nævnte ønske giver ingen mening, med mindre der er tilstedeværelse og adgang til et kraftfuldt PC program. Mange tak til Prof. Dr. Thomas Baier, DG8SAQ, som var villig til at

udvikle en interface til hans omfangsrige, gennemprøvede og stabile VNWA software [2]. Kombinationen af FA-VA 5 og VNWA softwaren, tillader alle slags 1 ports målinger, som er omfattet af VNWA softwaren. Et eksempel er Time Domain Reflectometry (TDR), som kan hjælpe med til at finde defekter i kabler. Med lidt begrænsninger kan 2 ports målinger også udføres [3].

Hardware

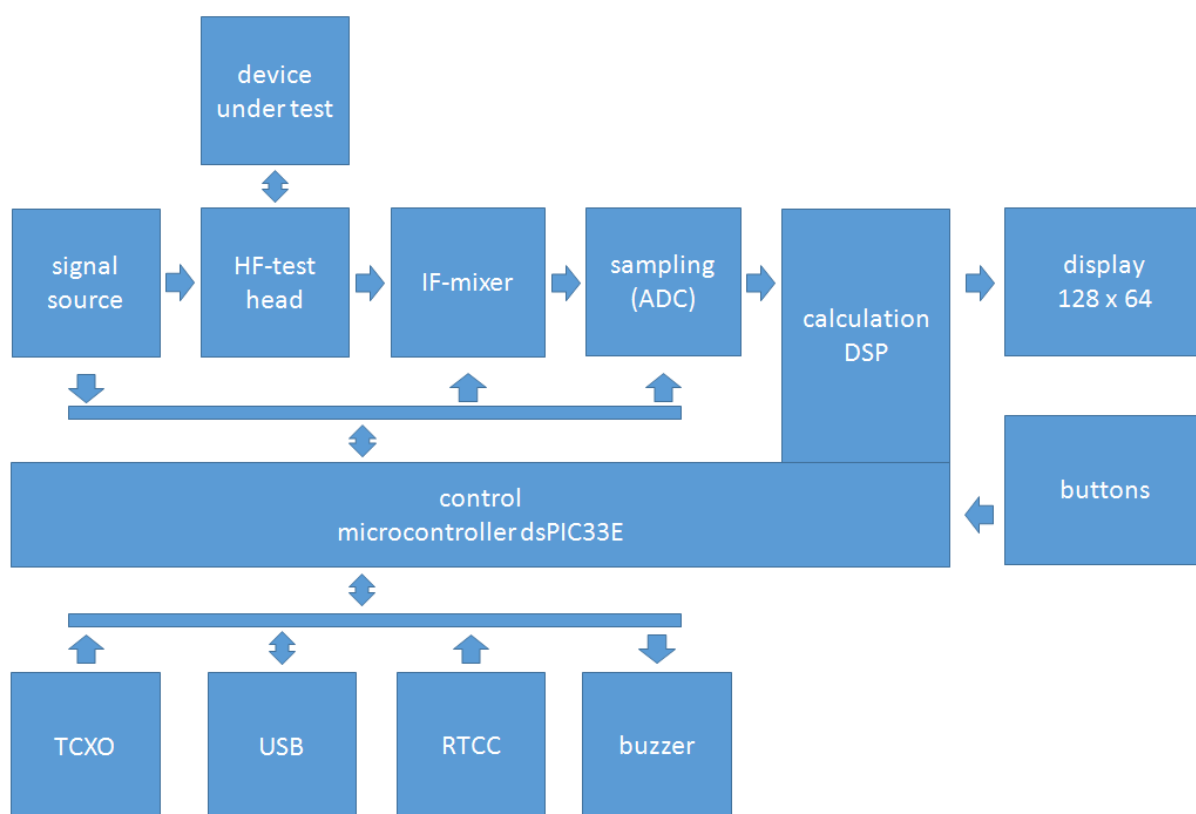
De tekniske data for FA-VA 5, der er vist i tabel 1, er med basis i de nye funktioner og udvidelser. Disse ændringer vil blive beskrevet i detaljer, begyndende med blokdiagrammet (Billede 2).

Signalkæden og clock generationen

Den vel afprøvede signal kæde der består af signal source, test head, IF-mixer og sampling blev optimeret for det højere frekvens område.

Yderligere detaljer findes i [1].

Det nye er brugen af en temperaturkompenseret krystal oscillator (TCXO) der leverer test signalet. Den høje frekvens nøjagtighed på 0.5 ppm tillader og muliggør brug af FA-VA 5 til lettere kalibrerings formål, f.eks. af frekvens tællere.



Billede 2: Blok diagram for FA-VA 5 antenna analyzer

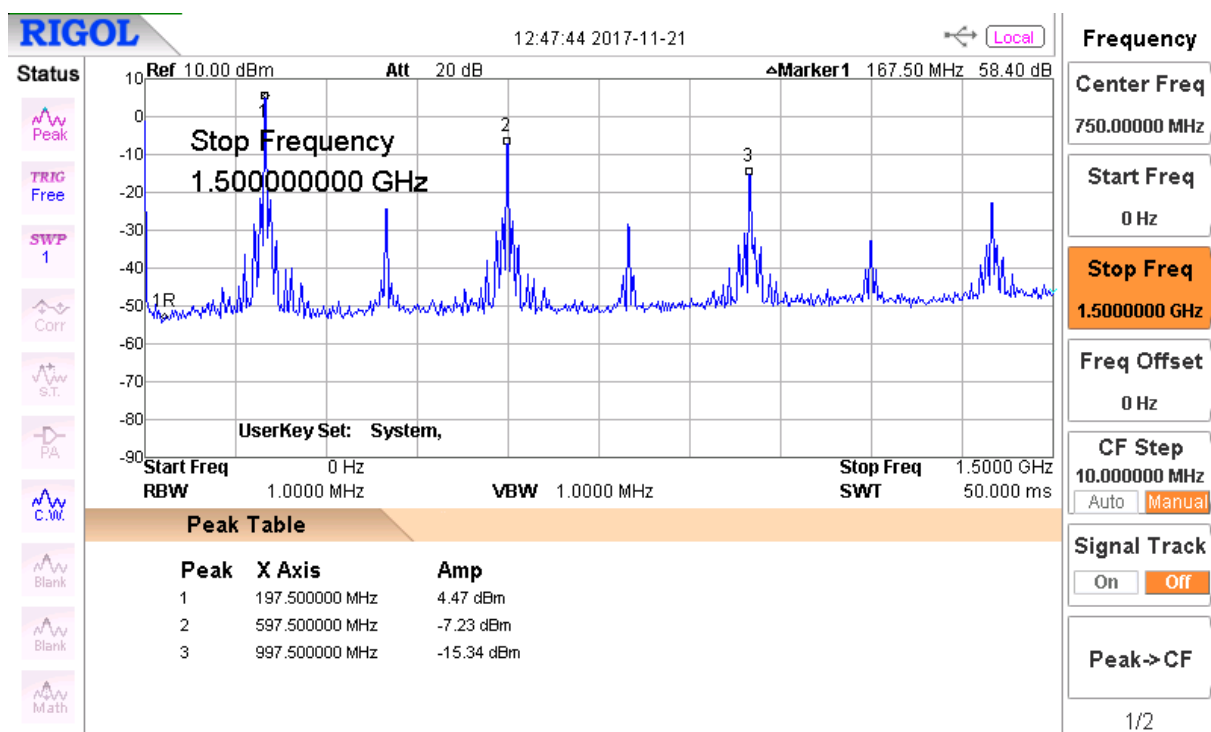
Kalkulation og det udvidede frekvens område

Blanding med firkantede signaler er detaljeret beskrevet i [1]. Der blev allerede nævnt, at det skulle være mulig ikke blot at benytte 1. harmoniske af signalet, men også højere harmoniske, forudsat den efterfølgende signalbehandling kan separere

disse signaler.

FA-VA 5 benytter den form for harmonisk blanding (mixing). Op til 200 MHz benyttes den første harmoniske (grundtonen). Over 200 MHz benyttes til mixing den tredje harmoniske. Billede 3 viser output spektrum for enheden ved 200 MHz. Den første harmoniske er med $P1 = 4.5 \text{ dBm}$ og den tredje harmoniske er med $P2 = -7.2 \text{ dBm}$ som det tydeligt ses.

Hvis signal kæden og signal behandlingen er designet tilsvarende, samt hensigtsmæssigt, vil resultatet blive et frekvensområde på 600MHz. Dette er muligt fordi en antenne eller lignende objekt kan betragtes om en lineær enhed. Det betyder at der ikke er nogen blanding (mixing) eller forvrængning af signalet ved de forskellige frekvenser, men blot en ændring i amplitude og fase. Derfor kan målinger udføres quasi parallel på de forskellige frekvenser. Valget af den rette clock frekvens og ændringer i signalbehandlingen, er håndteret af softwaren. Den resulterende lavere nøjagtighed ved disse 'overtone' målinger skyldes det lavere signal niveau og vil senere blive beskrevet.



Billede 3: Spektrum af output signalet fra FA-VA 5 ved 200 MHz

Udover den lavere frekvensgrænse på 10 kHz så er 2 m og 70 cm båndene omfattet.

Frekvens område	0.01 ... 600 MHz, (opløsning: 1 Hz)
Måle begrænsninger	SWR \leq 100, Z \leq 1000 Ohm*
Målings enheder	Samlet impedans (modstand og reaktans) med fortegn
Nøjagtighed	\leq 2 % (f = 0.01... 200 MHz, Z < 1000 Ohm)
Dynamik område return loss	Mode precise: 80 dB op til 200 MHz, 50 dB 200... 600 MHz Mode standard: 75 dB op til 200 MHz, 45 dB 200... 500 MHz Mode fast: 70 dB op til 200 MHz, 40 dB 200... 500 MHz
Frekvens stabilitet	0.5 ppm (-30... +85 grader Celsius)
Signal behandling	24-Bit-ADC, 16-Bit-DSP, 32-Bit-kalkulation
Power konditioner	2 x 1,5-V-AA-batteri
Målings port	50 Ohm, BNC
Udgang signal	1 st Harmonic 5.6 dBm, 3 rd Harmonic -4.0 dBm, 5 th Harmonic -8.3 dBm ved 1 MHz med 50 Ohm belastning 1 st Harmonic 4.5 dBm, 3 rd Harmonic -7.2 dBm, 5 th Harmonic -15.3 dBm ved 200 MHz med 50 Ohm belastning Firkant signal
Strøm forbrug	38 mA** (65 mA) ved 1 MHz, 47 mA** (85 mA) ved 200 MHz, belastning 50 Ohm, display backlight off, enkelt frekvens måling af Z
Strøm forbrug real time clock	0,9 μ A
Størrelse	127 mm x 86 mm x 23 mm (l x b x h)
Vægt	280 g inkl. AA-batterier
	*målinger udenfor disse begrænsninger kan foretages med reduceret nøjagtighed **middelværdier, spids værdier i parenteser

Tabel 1: Tekniske data for FA-VA 5 antenna analyser

Mikrocontroller

I FA-VA 5 benyttes en moderne 16-Bit mikrocontroller fra Microchip i dsPIC33E-serien. Et vigtigt kendetegn er lavt effekt forbrug, stor hukommelse og god processer kraft. Prototyper med en 32-Bit mikrocontroller blev bygget, men grundet højere pris og effekt forbrug, udviste den ingen særlig fordele for projektet.

USB-forbindelse og PC-tilslutning

For at tilslutte FA-VA 5 til en computer er et USB-UART-modul benyttet. Seriel data forbindelse fra mikrocontrolleren, vil vise sig som en virtual COM port på PC'en. Windows versioner 7, 8 og 10 installerer automatisk nødvendige drivere, umiddelbart efter at modulet bliver tilsluttet computeren. Brugeren behøver blot at identificere det virtuelle COM port nummer i Windows control panel, som skal tages ind i VNWA-softwaren.

Udover overførsel af gemte dataset til PC'en, så tillader VNWA interface'en at

bruge FA-VA 5 i USB-mode. I denne (USB-mode) tilstand, er al kontrol og databehandling styret af VNWA-softwaren. I tillæg forsynes FA-VA med strøm via USB-forbindelsen. Den interne strømforsyning bliver afbrudt og analyser vil blive koblet i USB-mode automatisk, forudsat konfigureret hertil.

Sidst men ikke mindst tillader USB-forbindelsen en nem og sikker opdatering af firmwaren i FA-VA 5, udført af brugeren selv. Ved brug af PC'en kan dette gøres uden risiko for totalt datatab. Det anvendte software koncept bevarer permanent en del af firmwaren i mikrocontrollerens hukommelse (boot loader). Selv ved en afbrudt dataoverførsel af firmwaren, så vil boot loader igen lytte efter en ny overførsel og processen kan initieres igen. Det brugte koncept inkluderer også håndtering vedrørende kopi beskyttelse. Derfor vil brugeren blive tilbudt ny firmware til gratis download.

Brug af Bluetooth som kommunikation forbindelse er også blevet evalueret. Den første begejstring forsvandt hurtigt. Inkompatible versioner af Bluetooth, og dermed udfordringer under installationen, vil givet føre til frustrerede brugere. Selv nogle erklærede 'kompatible' Bluetooth Sticks viste sig ikke at kunne leve op til den krævede serielle profil. Ydermere var planen at bruge et metal kabinet, noget som ikke er nemt for radio bølger at håndtere. Sluttelig viste test at rækkevidde kun var få meter så derfor blev Bluetooth droppet af designet.

Real time clock

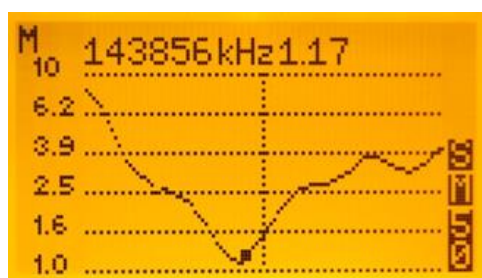
Lagring af målings data stiller spørgsmålet hvordan man sikkert kan identificere de enkelte data set. Løsningen er at bruge tidsstempeling, sammensat af dato og klokkeslæt (Billede 5). Behovet for konstant tilsluttet power for real time clock chip'en er leveret af AA-batterierne. Effekt forbruget er i området af få mikroampere, og er lavere end selvafladningen i batterierne. En kondensator buffer muliggør at skifte batterierne, inden for et minut, uden data tab.

Buzzer

Nogle radioamatører efterspurgte en løsning hvor man kunne tune deres antenner uden visuel kontakt til måleinstrument. FA-VA 5 indeholder en buzzer med en specifik drifts tilstand. Lavere SWR værdier vil medføre kortere akustiske signal intervaller.

Størrelse

Det har været muligt at reducere størrelsen af FA-VA 5 på alle tre dimensioner med nogle millimeter. Resultatet er en yderlige kompakt enhed.



Billede 4: SWR sweep af 2 m båndet



Billede 6: Eksempel på valg af mode



Billede 5: Real time clock



Billede 7: Valgbar basis impedans

Funktionalitet

Udvidelserne i hardwaren muliggør forbedret funktionalitet sammenlignet med FA-VA 4. De vigtigste forbedringer bliver beskrevet i det følgende afsnit. Flere detaljer vil blive beskrevet i bruger manualen der følger med kittet.

Nyt menu koncept

Menu systemet, som åbnes med et langt tryk på den venstre trykknop, er blevet ændret både med hensyn til form og funktionalitet. Der er 3 forskellige typer af menupunkter:

- Modes (opsætning) (f.eks. enkelt frekvens målinger SWR, USB, clock),
- Funktioner (f.eks. SOL-kalibration, set clock) og
- Settings (f.eks. sprog (language), base impedance).

For et aktuelt valg af et menupunkt, er teksten inverteret og på beregning. For at vise det aktuelle menupunkt er der vist en "mågevinge" (Billede 7). Enhver ændring af en indstilling vil blive gennemført øjeblikkelig og tilsvarende vist.

SOL-kalibration for sweep

For hver målings menupunkt (mode) 2 forskellige metoder for kalibrering kan blive brugt: Master and aktuel (current) kalibration. Master kalibration udføres en gang for alle, normal ved første gangs indstilling af enheden. Korrektionsværdierne bliver gemt i EEPROM'en og bruges af FA-VA 5, hvis der ikke er en aktuel kalibration til rådighed.

Det nye er at aktuelle kalibrationer er separat til rådighed for enkelt frekvens, 5 bånd og sweep. Det medfører at enheden kan udnytte de nøjagtige kalibrerings-korrektioner for alle de 100 samples der udgør et sweep.

Valgbar nøjagtighed for sweep menupunkterne (modes)

Signal behandlingen i analyser'en muliggør at vælge 3 forskellige niveauer for signalbehandling : fast (hurtig), standard og precise (præcis). Hvorimod enkelt frekvens altid vil benytte præcis signal behandling, så kan nøjagtigheden, for 5 bånd og sweep signalbehandlingen, vælges af brugeren. Det er brugeren der vælger om en måling skal foretages hurtigt, med god nøjagtighed eller meget præcist, men langsomt.

Real time clock og personalisering

Det nye menupunkt (mode) 'clock' tillader permanent visning af dato og tid indlæst fra real time clock (Billede 5). Ydermere kan brugerens kaldesignal vises. Derved kan man undgå at få forskellige brugeres enheder blandet.

Lagring af skærbilleder og datasæt

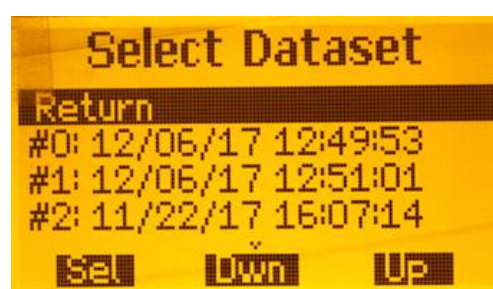
På grund af en større EEPROM er der til rådighed 10 hukommelser for skærbilleder og 16 hukommelser for datasæt. Sidstnævnte kan overføres til PC'en via USB-forbindelsen og efterbehandles af VNWA softwaren.

Brugen er yderst nem. Samtidig tryk på venstre og højre trykknop fører frem til en menu hvor man kan vælge enter at gemme som et skærbillede eller et datasæt (eller begge dele). En tidsstempling bekræfter at lagringen lykkedes. Billederne 8 til 11 viser et udvalg af det tilgængelige menu system, og et valgt datasæt. Det valgte og allerede lagrede skærbillede eller datasæt er forsynet med en lille ramme, for at skelne det fra et aktuelt og nuværende sæt målings data.

Lige så let som at lagre data kan de blive hentet eller slettet. Når et datasæt fra hukommelsen er vist, kan en marker blive flyttet langs sporet, for at vise de tilsvarende måle data.



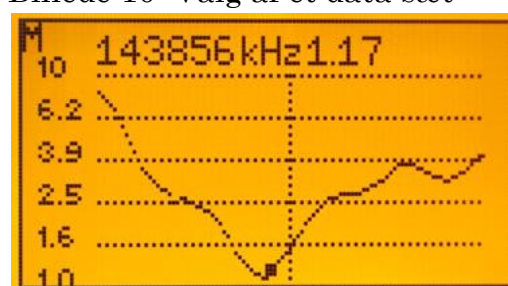
Billede 8: Adgang til gemte data sæt



Billede 10: Valg af et data sæt



Billede 9: Valg af et skærbillede



Billede 11: Data fra hukommelsen

Basis impedans

Den normale basis impedans er 50 Ohms, men der findes systemer hvor 25 Ohm eller 75 Ohm (TV) er brugt. Basis impedansen kan vælges for korrekt SWR beregning.

Impedans model

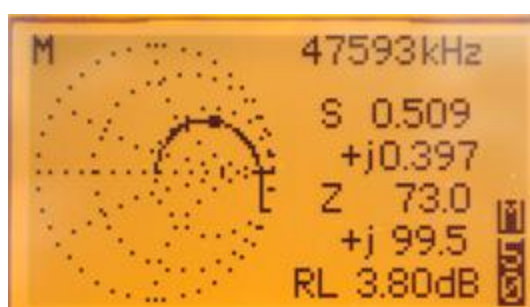
Normalt viser en antenna analyzer impedanser som en serie model, med sum af en reaktans og admittans. Brugeren kan nemt anskueliggøre dette ved at måle på serieforbindelser af modstande og kondensatorer. I nogle tilfælde kan det være en fordel at få oplyst værdierne for en ækvivalent parallel model, i stedet for en serie model. Værdierne for de ækvivalente parallelmodstande og kondensatorer eller spoler, opnås ved at vælge parallel impedansmodellen.

Visnings områder for et Z sweep

FA-VA 4 visningsområdet, for et Z sweep, var begrænset til ± 200 Ohm. Men antenner, så som 'long wire' eller 'double zepp', har ofte høje impedanser på interessante frekvenser. Derfor tillader FA-VA 5 at vælge et højere visnings-område på ± 400 Ohm og ± 800 Ohm. Endnu højere visningsområder giver ikke rigtig mening, da nøjagtigheden aftager drastisk ved højere impedanser.

Nye menuer for refleksions koefficienter

For den avancerede bruger er der nye menuer for måling og visning af refleksionskoefficienterne. For enkelt frekvenstilstanden vil skærmen vise den komplekse koefficient, den absolutte værdi foruden fasen, return loss og matching loss. I sweep tilstanden vil koefficienterne blive vist i et lille Smith kort, der understøtter en nem konklusion af hvad man måler, for det aktuelle emne man er ved at teste (Billede 12). Alle data kan gemmes og indlæses igen også for de andre præsentationsmenuer.



Billede 12: Frekvens forløbet af refleksionskoefficienterne af en $0.5 \mu\text{H}$ spole i serie med en 50 ohm modstand fra 100 kHz til 160 MHz

Characterization of SOL-calibration-kits

Ved de højere frekvenser er nøjagtigheden af målte data uhyre afhængig af hvor godt SOL-kalibrerings kittet er karakteriseret. Hvis ikke det er tilfældet vil parasitiske elementer i kalibrerings kittet, især på VHF og UHF, have stor indflydelse. FA-VA 5 tillader indtastning af parametrene for det benyttede SOL-kit, separat for master og aktuel kalibrering. Disse parametre stammer fra den simple model, som er brugt i VNWA softwaren. I praksis er disse parameter leveret fra leverandøren sammen med kalibrerings kittet, og skal blot indtastes en gang for alle.

Software optimering

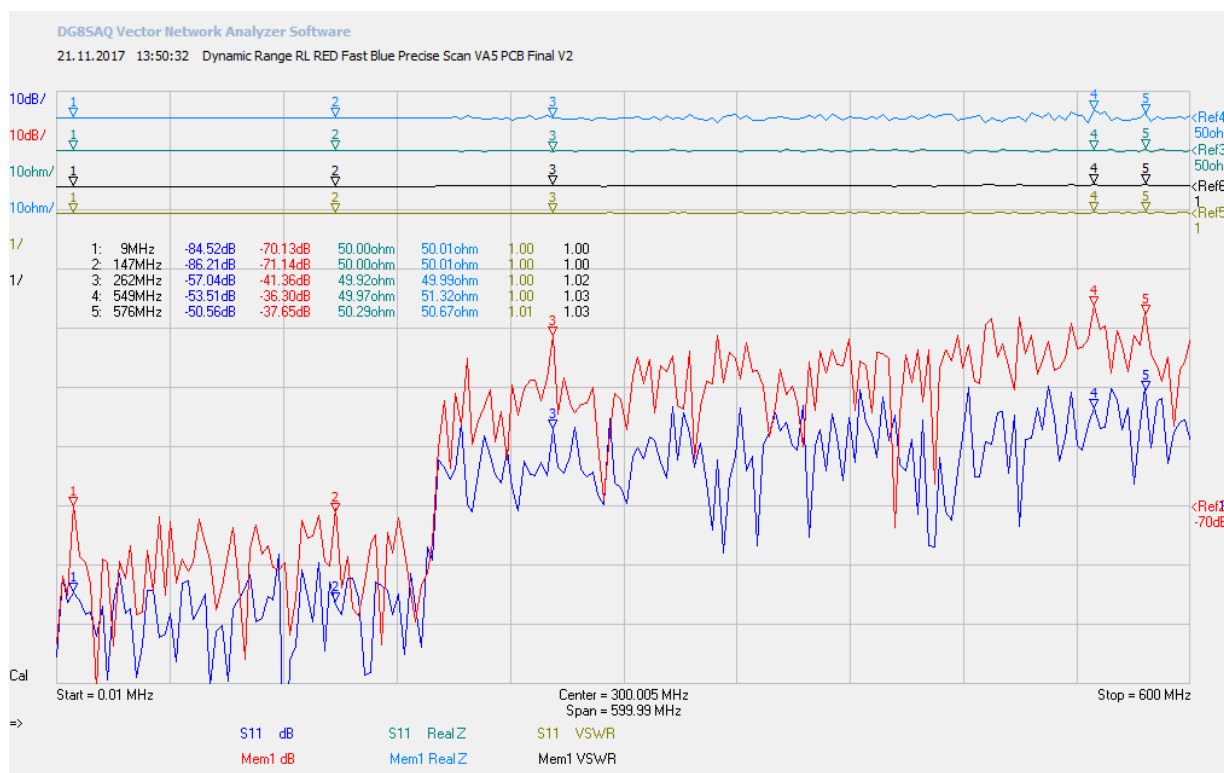
Ved sammenligning af FA-VA 5 med dens forgænger vil man erkende at den generelle brug er meget nemmere. Lagring af data foregår hurtigere, og menuerne vises uden forsinkelse. Grunder hertil er en intensiv optimering af software processerne og transaktionerne mellem mikrokontrolleren og periferi enhederne.

Nøjagtighed

Ved siden af alle de nye funktioner er spørgsmålet om nøjagtighed et centralt emne for FA-VA 5. I den næste sektion vil der blive vist at yderligere optimering af den digitale signal behandling betalte sig.

En måde at forudsige nøjagtigheden af en vector antenna analyzer, er ved en

nærmere betragtning af den dynamiske return loss (efter en omhyggelig kalibrering). Billede 13 viser resultatet af et sweep fra 10 kHz til 600 MHz. De to tidligere beskrevne niveauer for signal behandling 'fast' and 'precise' er her vist. Det ses tydeligt at dynamik området falder over 200 MHz på grund af den lavere signal amplitude af test signalet, fordi det er harmoniske målinger. Imidlertid ved 'precise' signal behandling er der stadigvæk 50 dB dynamik range. Under 200 MHz kan et dynamikområde på 80 dB opnås. Man kan simpelt hen konkludere at disse værdier er mere end tilstrækkeligt for radioamatør anvendelser. Selv ved det laveste dynamik område på 40 dB ved 'fast' signal behandling og ved høje frekvenser, vil et ægte SWR på 1.00 blive målt som 1.03.



Billede 13: Dynamik område for return loss ved signal behandlings niveau 'fast' og 'precise'

Nøjagtigheden vil være lavere når man bevæger sig mod meget lavere eller meget højere impedanser, ganske som for enhver anden analyser, der er baseret sig på en 50 Ohms måle bro.

Yderligere målinger over 500MHz udviser nogen u-linearitet, som givet skyldes begrænsninger for den benyttede mixer.

For sammenligning, baseret på absolutte værdier, opfordres læseren at studere [1]. Udfordringen med absolutte målinger er altid at definere hvad der er den rigtige værdi. Ved høje frekvenser har målestandarder sjældent den korrekte nominelle værdi. Tillige skal SOL-kits være udmålt meget præcist. Den bedste måde er at sammenligne de målte værdier, for den same "standard", foretaget med måleinstrumentet under test, med målinger ved anvendelse af et meget præcist reference instrument. ARRL-lab benytter denne fremgangsmåde, som beskrevet i [1]. Summarisk så viser målinger at FA-VA 5 er meget præcis op til 200 MHz og mere en tilstrækkelig for radioamatør anvendelser op til 600MHz.

Sammenfatning

Baseret på mange tilbagemeldinger fra VA 4 brugere, har det været muligt at udvikle en endnu slagkraftigere efterfølger. Prisen vil være en smule højere, men pris/ydeevne forholdet vil stadig være særdeles godt.

Et komplet og nemt at bygge kit, med forud monteret PCB, er i forberedelse og kan bestilles fra Funkamateurladen på www.box73.com eller hos SDR-Kits webshop på www.sdr-kits.net.

Denne nye antenna analyzer vil opfylde de fleste brugeres behov og gøre radioamatører i stand til måle antenner og andre enheder selv på VHF og UHF frekvenser.

Som et supplement vil PC-tilslutningen, i forbindelse med VNWA softwaren, ikke blot tillade dokumentation af måleresultater, men også komplet nye måder at behandle måleresultater på, ved efterfølgende databehandling, som vil blive beskrevet i en kommende artikel.

Flere tilbagemeldinger og kommentarer fra læsere og brugere er meget velkomne.

Jeg ønsker dig al mulig held med at bygge din FA-VA 5 og en masse glæde ved at bruge den.

Michael Knitter, DG5MK

Alle rettigheder forbeholdt forfatteren af denne artikel

Oversat til Dansk af Kurt Poulsen OZ7OU

Literatur (på Tysk)

[1] Knitter, M., DG5MK: Vektorieller 100-MHz-Antennenanalysator für jedermann FUNKAMATEUR 66 (2017) H. 3, S. 246-249, H. 4, S. 360-363

[2] Baier, T, DG8SAQ.: VNWA Software. <http://www.sdr-kits.net>

[3] Baier, T, DG8SAQ.: Charakterisierung von Vektoren mit einem Einton-Vektor-Netzwerkanalysator. FUNKAMATEUR 67 (2018), in preparation