

Vektorieller Antennenanalysator FA-VA5 für 10 kHz bis 600 MHz (1)

MICHAEL KNITTER – DG5MK

Antennenselbstbau und -messung stehen bei Funkamateuren nach wie vor hoch im Kurs. Dies zeigt die große Nachfrage, die der vor etwa einem Jahr vorgestellte Bausatz des vektoriellen Antennenanalysators FA-VA4 auslöste. Es stellte sich die Frage, ob man Gutes nicht noch besser machen könne. Das Ergebnis ist der hier vorgestellte FA-VA5. Neben den positiven Eigenschaften des Vorläufermodells bietet er unter anderem einen deutlich erweiterten Frequenzbereich und einen USB-Anschluss für die Kopplung mit Computern. Im Folgenden werden die Unterschiede und Neuerungen des FA-VA5 in Bezug auf den FA-VA4 beschrieben.

Der vektoriell arbeitende Antennenanalysator FA-VA4 [1] zeichnet sich durch ein von bekannten Standardschaltungen abweichendes Konzept sowie eine leistungsstarke digitale Signalverarbeitung aus. Anwender

mit dem FA-VA5 alle Zweipolfunktionalitäten der Software zur Verfügung, unter anderem auch Zeitbereichsmessungen (engl. *Time Domain Reflectometry*, abgekürzt TDR), die sich z. B. zum Auffinden von

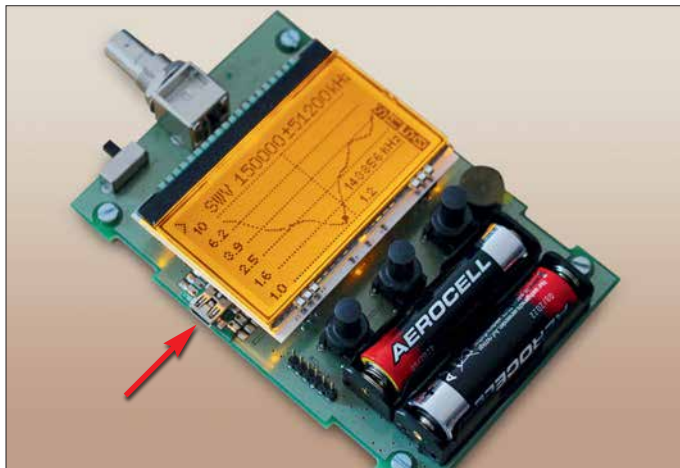


Bild 1: Platine des Prototyps des FA-VA5; unterhalb des Displays ist der Anschluss des USB-Moduls zu erkennen.

Foto und Screenshots: DG5MK

erhalten mit ihm ein portables Messgerät hoher Präzision für Antennen- und andere Zweipolmessungen.

Neben der aus dem professionellen Bereich bekannten SOL-Kalibrierung, den kompakten Abmessungen des Geräts, dem geringen Stromverbrauch, der einfachen Bedienung und der großen, gut ablesbaren Anzeige führte nicht zuletzt das Angebot eines weitestgehend vorgefertigten, preisgünstigen Komplettbausatzes zu einer sehr hohen, auch internationalen Nachfrage.

Von vielen begeisterten Anwendern gingen wertvolle Rückmeldungen und Anregungen ein – dafür an dieser Stelle ein ganz besonderer Dank!

Neben der Frage nach der Abdeckung des 2-m-Bands wurde vielfach eine PC-Kopplung zwecks Verarbeitung der Messwerte aufgeführt. Letzteres ist jedoch nur mit einer leistungsstarken, weiterverarbeitenden Software sinnvoll. Dankenswerterweise hat Prof. Dr. Thomas Baier, DG8SAQ, die Anbindung des hier vorgestellten FA-VA5 an seine ausgereifte VNWA-Software [2] ermöglicht. Dadurch stehen in Kombination

Fehlstellen in Kabeln eignen. Eingeschränkt sind sogar Vierpolmessungen möglich [3].

■ Hardware

Die gegenüber dem Vorgängermodell vorgenommenen Neuerungen und Erweiterungen lassen sich auch an den technischen Daten des FA-VA5 ablesen, die in Tabelle 1 zusammengestellt sind. Diese Än-

derungen werden im Folgenden erläutert, beginnend mit dem Blockschaltbild (Bild 2).

Signalkette und Takterzeugung

Die bewährte Signalkette, bestehend aus Signalquelle, Testkopf, ZF-Mischer und Abtastung wurde für den erweiterten Frequenzbereich optimiert. Hinsichtlich weiterer Details sei auf [1] verwiesen.

Neu ist die Einbindung eines temperaturkompensierten Quarzoszillators (TCXO) für die Erzeugung des Testsignals. Aufgrund der daraus resultierenden hohen Frequenzgenauigkeit von 0,5 ppm kann der FA-VA5 im Frequenzgeneratormodus sogar als einfache Referenz zum Abgleich von Zählern oder für ähnliche Aufgaben Verwendung finden.

Berechnung und erweiterter Frequenzbereich

Die Mischung von Rechtecksignalen und deren resultierende Ausgangssignale waren unter anderem Gegenstand des Beitrags in [1]. Dort hatte ich bereits angedeutet, dass mit entsprechender Signalverarbeitung nicht nur das Mischprodukt der Grundwellen der Rechtecksignale, sondern auch das von Oberwellen isoliert und weiterverarbeitet werden kann.

Diese Eigenschaften der Mischung von Rechtecksignalen macht sich der FA-VA5 zunutze. Bis 200 MHz Messfrequenz wird die 1. Harmonische (Grundwelle), darüber hinaus die 3. Harmonische des Testsignals verwendet. Bild 3 zeigt das Ausgangssignalspektrum des Geräts bei $f_G = 200$ MHz. Neben der 1. Harmonischen mit $P_1 = 4,5$ dBm ist die 3. Harmonische mit $P_3 = -7,2$ dBm deutlich zu erkennen.

Bei entsprechender Auslegung von Signalkette und Signalverarbeitung ergibt sich somit ein Messbereich bis 600 MHz.

Dadurch, dass eine Antenne und andere zu messende Bauelemente hier als lineare Systeme angesehen werden können, findet keine Verzerrung der Grund- und Oberwellen innerhalb des Testobjekts statt. Messungen

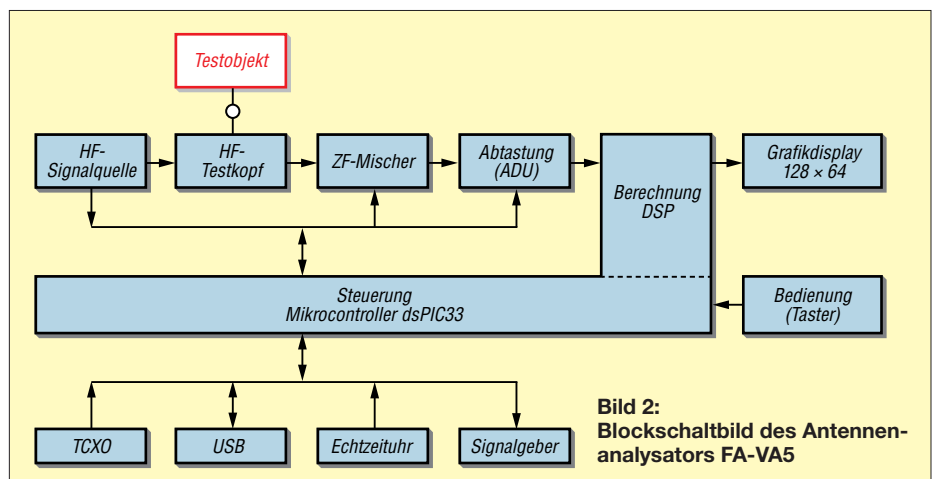


Bild 2: Blockschaltbild des Antennenanalysators FA-VA5

auf „verschiedenen“ Frequenzen können daher quasi parallel ablaufen. Die Wahl der richtigen Taktfrequenz und die Umschaltung der Signalverarbeitung erledigt die Software. Die verringerte Genauigkeit der Oberwellenmessung aufgrund der reduzierten Signalpegel wird in einem der folgenden Abschnitte diskutiert.

Neben der herabgesetzten Frequenzuntergrenze auf 10 kHz ist damit nach oben hin nicht nur das 2-m-Band, sondern auch das 70-cm-Band abgedeckt.

Mikrocontroller

Im FA-VA5 arbeitet ein moderner 16-Bit-Mikrocontroller der dsPIC33E-Serie von Microchip. Dieser zeichnet sich insbesondere durch geringen Stromverbrauch, großen Speicher und erhebliche Leistungsreserven aus. Prototypentests mit einem 32-Bit-Mikrocontroller zeigten für das Gesamtkonzept aufgrund eines deutlich höheren Strombedarfs und Preises keinen Vorteil.

USB-Schnittstelle und PC-Anbindung

Zur Anbindung an einen Computer dient ein USB-UART-Brückenmodul. Mit dessen Hilfe werden die seriellen Daten des Mikrocontrollers am PC über einen virtuellen COM-Port bereitgestellt. Getestete Windows-Versionen 7, 8 und 10 haben nach dem Einstecken des USB-Kabels in die Buchse des Moduls die entsprechenden Treiber automatisch installiert. Dem Anwender verbleibt lediglich die simple Aufgabe der Identifikation des zugewiesenen COM-Anschlusses im Gerätemanager und dessen Auswahl im VNWA-Programm.

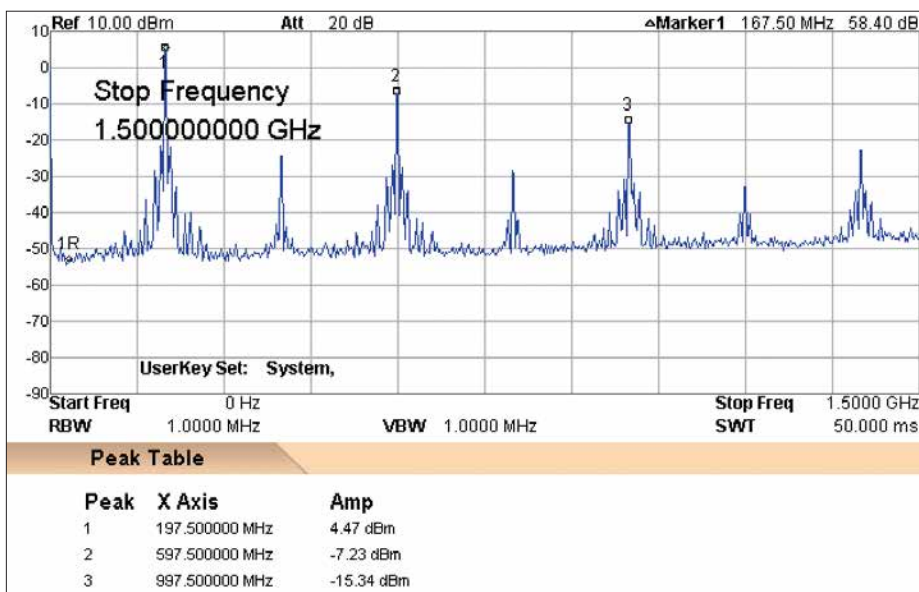


Bild 3: Ausgangssignalspektrum des FA-VA5 bei $f_G = 200$ MHz

Neben der Übermittlung von gespeicherten Datensätzen kann der FA-VA5 mithilfe dieser Schnittstelle im USB-Modus betrieben werden. Die komplette Steuerung von Messdurchläufen und die Verarbeitung der Daten übernimmt dann die VNWA-Software. Darüber hinaus versorgt der USB-Anschluss das Gerät in dieser Betriebsart mit der erforderlichen Betriebsspannung. Die interne Batteriestromversorgung wird dann abgeschaltet und der Analysator wechselt, je nach Einstellung, automatisch in den USB-Modus.

Zu guter Letzt ermöglicht der USB-Anschluss ein einfaches, sicheres Update der Firmware des FA-VA5 durch den Anwender. Über den PC lässt sich dies ohne das Risiko

eines Totalausfalls aufspielen. Im verwendeten Softwarekonzept verbleibt ein Teil der Firmware im Speicher des Mikrocontrollers (Bootloader). Selbst bei einem fehlgeschlagenen Transfer der neuen Firmware kann man diesen jederzeit wiederholen, da der Bootloader immer eine entsprechende Kommunikation ermöglicht. Das verwendete Konzept schließt Kopierschutzmaßnahmen ein, sodass beim FA-VA5 zukünftige Firmware als Datei zum freien Herunterladen zur Verfügung gestellt werden kann.

Auch die Verwendung von Bluetooth als Kommunikationsschnittstelle wurde geprüft. Die anfängliche Begeisterung legte sich jedoch schnell. Vielmehr zeigte sich die Gefahr, dass verschiedene, nicht kompatible Bluetooth-Versionen und eine Vielzahl an Fallstricken bei der Installation und Nutzung auf der PC-Seite beim Anwender schnell zu Frustration führen können. Selbst einige laut Hersteller kompatible USB-Bluetooth-Sticks waren beim Test nicht zur Nutzung des erforderlichen Seriell-Profiles zu „überreden“. Hinzu kam eine schwierige Einbausituation aufgrund des Metallgehäuses. Eine Reichweitenmessung (wenige Meter) führte schließlich zum Entschluss, auf die Bluetooth-Komponente zu verzichten.

Echtzeituhr

Bei der Speicherung von Messdatensätzen stellt sich die Frage, wie diese am einfachsten zu unterscheiden sind. Die Wahl fiel auf die Verwendung eines eindeutigen Zeitstempels, bestehend aus Uhrzeit und Datum (Bild 5). Der dafür erforderliche Echtzeituhr-Baustein wird im FA-VA5 durch die bereits vorhandenen Batterien in Betrieb gehalten. Der Strombedarf im einstelligen Mikroamperebereich ist dabei weitaus geringer als die Eigenentladung der Batterien. Eine Kondensatorpufferung erlaubt den Wechsel

Tabelle 1: Technische Daten des Antennenanalysators FA-VA5

Frequenzbereich	0,01 MHz ... 600 MHz, (Auflösung: 1 Hz)
Messbereichsgrenzen	$s \leq 100, Z \leq 1000 \Omega^*$
Messergebnis	vollständiger Impedanzwert (Resistanz und Reaktanz), einschließlich Vorzeichen
Genauigkeit	$\leq 2\%$ ($0,01 \text{ MHz} \leq f \leq 200 \text{ MHz}, Z < 1000 \Omega$)
Dynamikumfang der Rückflussdämpfung	Modus Präzise: 80 dB bis 200 MHz, 50 dB 200 MHz ... 600 MHz Modus Standard: 75 dB bis 200 MHz, 45 dB 200 MHz ... 500 MHz Modus Schnell: 70 dB bis 200 MHz, 40 dB 200 MHz ... 500 MHz
Frequenzstabilität	0,5 ppm ($-30^\circ\text{C} \dots +85^\circ\text{C}$)
Signalverarbeitung	24-Bit-ADU, 16-Bit-DSP, 32-Bit-Berechnung
Spannungsversorgung	2 x 1,5-V-Mignon-Batterie
Messeingang	50 Ω , BNC
Ausgangssignal	rechteckförmig $f = 1 \text{ MHz}, R_L = 50 \Omega$: $P_1 = 5,6 \text{ dBm}$ (1. Harmonische, Grundwelle) $P_3 = -4,0 \text{ dBm}$ (3. Harmonische) $P_5 = -8,3 \text{ dBm}$ (5. Harmonische) $f = 200 \text{ MHz}, R_L = 50 \Omega$: $P_1 = 4,5 \text{ dBm}$ (1. Harmonische, Grundwelle) $P_3 = -7,2 \text{ dBm}$ (3. Harmonische) $P_5 = -15,3 \text{ dBm}$ (5. Harmonische)
Stromaufnahme	38 mA** (65 mA) bei 1 MHz, 47 mA** (85 mA) bei 200 MHz, Lastwiderstand 50 Ω , Beleuchtung abgeschaltet, Einzelfrequenzmessung Z
Stützstrom Echtzeituhr	0,9 μA
Abmessungen	127 mm x 86 mm x 23 mm (L x B x H)
Masse	280 g inkl. Mignon-Batterien

* Messungen auch darüber hinaus, dann aber mit geringerer Genauigkeit möglich
** Mittelwert, Spitzenwert in Klammern

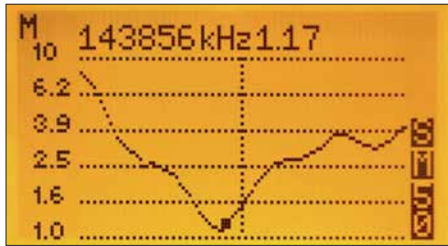


Bild 4: Anzeigebildschirm einer SWV-Mehrfrequenzmessung im 2-m-Band



Bild 5: Die interne Echtzeituhr liefert den Zeitstempel für gespeicherte Messdaten.

der Batterien innerhalb einer Minute ohne Verlust der aktuellen Daten.

Signalgeber

Einige Funkamateure hatten den Wunsch geäußert, auch mit akustischen Hilfsmitteln eine Antenne abstimmen zu können. Der einbaute Piezo-Signalgeber erlaubt daher beim FA-VA5 die SWV-Optimierung in einem separaten Modus. Je geringer der Wert des Stehwellenverhältnisses, desto kürzer werden die ausgegebenen akustischen Signalintervalle.

Abmessungen

Die Abmessungen des FA-VA5 konnten gegenüber dem Vorgängermodell in Höhe, Länge und Breite um einige Millimeter reduziert werden. Das Resultat ist ein noch kompakteres Messgerät.



Bild 8: Gespeicherte Ansichten und Datensätze erreicht man über dieses Menü.



Bild 9: Hier lassen sich einzelne Display-Ansichten selektieren.



Bild 6: Beispiel für die Auswahlmöglichkeit unterschiedlicher Betriebsmodi

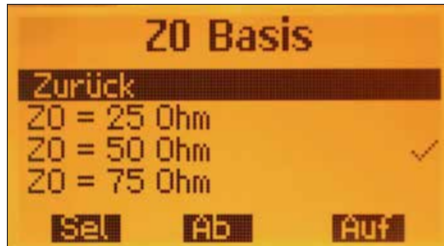


Bild 7: Über dieses Menü ist die Bezugsimpedanz änderbar (hier eingestellt: 50 Ω).

Funktionalität

Nicht zuletzt aufgrund der durchgeführten Ergänzungen der Hardware ergeben sich eine Vielzahl von neuen oder erweiterten Funktionen im Vergleich zum FA-VA4. Die wichtigsten stelle ich im Folgenden kurz vor. Für weitere Details sei auf die mit dem Bausatz ausgelieferte Bedienungsanleitung verwiesen.

Neues Menükonzept

Das Menüsystem, erreichbar über ein langes Drücken des linken Tasters, wurde in Form und Funktion optimiert. Es ist nun zwischen den folgenden drei Menüpunkten zu unterscheiden:

- Betriebsmodus (z. B. *Einzelfrequenzmessung SWV, USB, Uhr*),
- Funktionen (z. B. *SOL-Kalibrierung, Uhr stellen*) und



Bild 10: Auswahlmöglichkeit für einzelne Datensätze

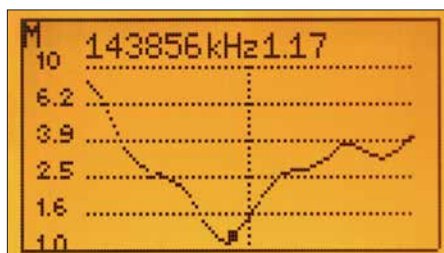


Bild 11: Messergebnisse aus dem Speicher sind mit einem schwarzen Rahmen markiert.

– Einstellungen (z. B. *Sprache, Bezugsimpedanz*).

Die aktuell getätigte Auswahl ist an der invertierten Darstellung und am eingerückten Text erkennbar. Bei den selektierbaren Einstellungen zeigt ein Häkchen nunmehr den aktuellen Status an (Bild 7). Die Änderung dieser Einstellungen wird bei einer Selektion sofort durchgeführt und neu angezeigt.

SOL-Kalibrierung für Mehrfrequenzmessungen (Wobbelbetrieb)

Der FA-VA5 bietet nunmehr für jeden Messmodus zwei verschiedene Arten der SOL-Kalibrierung an: die Master- und die aktuelle Kalibrierung. Erstere wird normalerweise bei der Inbetriebnahme des Geräts durchgeführt. Die ermittelten Werte speichert das Messgerät im EEPROM und verwendet sie immer dann, wenn keine gültige aktuelle Kalibrierung vorliegt.

Neu ist jetzt, dass diese aktuelle Kalibrierung für Einzelfrequenzmessungen, Fünfbandmessungen und Wobbelbetrieb (hier als *Mehrfrequenzmessung* bezeichnet) separat zur Verfügung steht. Somit kann z. B. eine durch Mittenfrequenz und Frequenzspanne definierte Mehrfrequenzmessung exakt auf die verwendeten 100 Messpunkte kalibriert werden.

Wählbare Genauigkeit der Mehrfrequenzmessungen

Die Signalverarbeitung des FA-VA5 ist so aufgebaut, dass man zwischen den drei Genauigkeitsstufen *Schnell, Standard* und *Präzise* wählen kann. Während die Einzelfrequenzmessungen immer in der Stufe *Präzise* laufen, ist die Stufe für die Fünfband- und Mehrfrequenzmessungen änderbar. Der Anwender kann entscheiden, ob er die genannten Messungen schnell und nur hinreichend exakt oder langsam und dafür genau durchführen möchte.

Echtzeituhr und Personalisierung

Der neue Modus *Uhr* erlaubt die permanente Anzeige der Echtzeituhr (Bild 5). Zusätzlich wird ein vom Anwender eingegebenes Rufzeichen angezeigt. Die Personalisierung des Geräts zwecks Vermeidung von Verwechslungen ist somit möglich.

Speicherung von Display-Ansichten und Datensätzen

Da ein größerer EEPROM eingesetzt wurde, stehen nunmehr zehn Speicherplätze für Display-Ansichten und 16 Speicherplätze für Datensätze einer Mehrfrequenzmessung zur Verfügung. Letztere lassen sich später über den USB-Anschluss auslesen und mit der VNWA-Software auswerten.

Die Handhabung ist denkbar einfach: Nach gleichzeitigem Drücken der beiden äußeren Taster kann man über ein Menü aus-

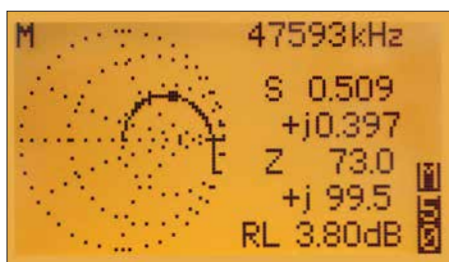


Bild 12: Beispiel für die mögliche grafische Messwertdarstellung; hier Ortskurve einer 0,5- μ H-Spule in Serie mit einem 50- Ω -Widerstand zwischen 100 kHz und 160 MHz (Markerfrequenz $f_M = 47,6$ MHz)

wählen, ob man den Display-Inhalt als Ansicht oder bei einer Mehrfrequenzmessung als Datensatz (oder beides) auf einem frei wählbaren Speicherplatz ablegen möchte. Ein Zeitstempel dient als Beleg für die erfolgreiche Speicherung. Die Bilder 8 bis 11 zeigen Beispiele des entsprechenden Menüsystems und einen selektierten Datensatz. Dieser besitzt auf dem Display zwecks Unterscheidung von einer aktuellen Messung einen Rahmen.

Genauso einfach können die gespeicherten Daten wieder abgerufen oder gelöscht werden. Bei der Ansicht von Datensätzen ist es möglich, einen Marker über die Messkurve zu bewegen und somit Werte exakt abzulesen.

Bezugsimpedanz

Neben der im Amateurfunkbereich gängigen Impedanz $Z = 50 \Omega$ lässt sich die Bezugsimpedanz für SWV-Berechnungen wahlweise auch auf 25 Ω oder 75 Ω einstellen (Bild 7).

Impedanzmodell

Normalerweise zeigt ein Antennenanalyzer den Wirk- und den Blindwiderstand der zu messenden Impedanz anhand eines

seriellen Modells an. Der Leser mag dies ohne großen Aufwand überprüfen, indem er in Serie geschaltete Widerstände und Kondensatoren bzw. Spulen misst. Für bestimmte Anwendungsfälle ist die Kenntnis einer äquivalenten Parallelschaltung (statt Serienschaltung) von Vorteil. Die Werte der äquivalenten Widerstände und Kapazitäten/Induktivitäten lassen sich durch Auswahl des parallelen Impedanz-Modells anzeigen.

Anzeigeumfang von Z-Mehrfrequenzmessungen

Beim FA-VA4 war der Anzeigeumfang der Werte für Real- und Imaginärteil bei Z-Mehrfrequenzmessungen auf $\pm 200 \Omega$ beschränkt. Bei hochohmigen Antennen wie Langdraht oder Doppelzepp reicht dies oftmals nicht aus. Daher ist über das Menü *Einstellungen* ein erweiterter Bereich von $\pm 400 \Omega$ oder $\pm 800 \Omega$ wählbar. Noch höhere Impedanzwerte anzuzeigen ergibt keinen Sinn, da dort die Messungen zu ungenau werden.

Neue Betriebsmodi zum Reflexionskoeffizienten

Für die erfahreneren Anwender sind neue Betriebsmodi zur Messung und Anzeige des Reflexionskoeffizienten hinzugekommen. In der Einzelfrequenzmessung zeigt der FA-VA5 neben dem komplexen Koeffizienten auch dessen Betrag und Phasenwinkel sowie die Rückflussdämpfung und Anpassungsverluste an. In der Mehrfrequenzmessung wird der Koeffizient innerhalb eines kleinen Smith-Diagramms dargestellt, um grafisch schnell Rückschlüsse auf das Messobjekt ziehen zu können (Bild 12). Alle Messdaten lassen sich analog der SWV- und Z-Modi speichern und abrufen.

Eingabe von Daten des SOL-Kalibrierungssatzes

Die Genauigkeit der angezeigten Daten hängt gerade bei höheren Frequenzen unter anderem davon ab, wie präzise der verwendete SOL-Kalibrierungssatz charakterisiert ist. Nicht ideale, parasitäre Elemente können im VHF- und UHF-Bereich erhebliche Einflüsse haben. Der FA-VA5 erlaubt dem Anwender daher eine getrennte Eingabe von Parametern für die Master- und die aktuelle Kalibrierung in Form eines einfachen Modells, welches auch die VNWA-Software verwendet. In der Praxis werden die Daten für dieses Modell durch den Anbieter des Kalibrierungssatzes bereitgestellt und einmalig eingegeben.

Optimierung der Softwareleistung

Wer den FA-VA5 mit seinem Vorgänger direkt vergleicht, wird feststellen, dass die Bedienung nun noch „flüssiger“ geschieht. Die Speicherung der Daten erfolgt schneller, Menüs erscheinen praktisch ohne Verzögerung. Hintergrund ist eine umfangreiche Optimierung der Abläufe innerhalb der Software und zwischen Peripherie und Mikrocontroller.

■ Messgenauigkeit

Neben all den Neuerungen und Erweiterungen bleibt die zentrale Frage nach der Messgenauigkeit des FA-VA5. Es sei vorweggenommen, dass es auch hier gelang, mithilfe von Vergleichsmessungen die Signalverarbeitung zu optimieren. Eine Möglichkeit zur Abschätzung der zu erwartenden Genauigkeit bildet die Messung des Dynamikbereichs der Rückflussdämpfung nach einer sorgfältig durchgeführten SOL-Kalibrierung an 50 Ω . Bild 13 zeigt das Ergebnis einer solchen Messung über den Frequenzbereich von 10 kHz bis

Tabelle 2: Vergleichende Ergebnisse zur Beurteilung der Messgenauigkeit des FA-VA5

Last bzw. Messobjekt R_L [Ω]	frequenzabhängige Messergebnisse des Entwicklungsmusters			
	Z@10 MHz [Ω]	Z@50 MHz [Ω]	Z@200 MHz [Ω]	Z@500 MHz [Ω]
11,0	11,0 + j 0,1	10,9 + j 0,5	11,0 + j 1,4	11,1 + j 3,9
50,0	50,0 + j 0,0	50,0 + j 0,1	49,8 + j 0,0	50,3 + j 0,1
75,0	75,2 + j 0,0	75,5 + j 0,0	75,1 + j 1,2	74,9 + j 3,3
100,0	100,0 - j 0,1	101,0 - j 0,8	100,0 - j 0,5	101,0 - j 0,5
150,0	150,0 - j 0,4	152 - j 2,8	150,0 - j 4,8	147,0 - j 8,0
200,0	201,0 - j 0,9	203 - j 5,5	199,0 - j 11,0	192,0 - j 26,2
680,0	682,0 - j 10,2	681 - j 78,9	592,0 - j 208	373,0 - j 293,0
15,0 + 160 nH*		15,7 + j 49,5 (160 nH)	17,9 + j 208,0 (170 nH)	216,0 + j 514,0 (160 nH)
22,0 + 250 pF*		21,9 - j 12,8 (249 pF)	22,3 + j 0,4	22,7 + j 9,2
150,0 + 150 nH*		155,0 + j 49,7 (160 nH)	159,0 + j 201,0 (160 nH)	261,0 + j 563,0 (180 nH)

* Reihenschaltung

600 MHz für die zuvor diskutierten Genauigkeitsstufen der Signalverarbeitung, hier *Schnell* und *Präzise*. Deutlich sichtbar ist die Verschlechterung des Dynamikumfangs oberhalb von 200 MHz, zurückzuführen auf die geringeren Signalamplituden innerhalb der Oberwellenmessung.

Im Modus *Präzise* sind dies allerdings immer noch 50 dB Dynamikumfang. Unter 200 MHz erreicht der FA-VA5 einen Dynamikumfang von 80 dB. Dass diese Werte für Amateurfunkzwecke mehr als ausreichend sind, zeigt eine einfache Deutung: Selbst der geringste Dynamikumfang von etwa 40 dB im *Schnell*-Modus oberhalb von 200 MHz bedeutet lediglich, dass ein SWV in Höhe von $s = 1,00$ fälschlicherweise als $s = 1,03$ angezeigt wird. Weitere Messungen zeigten eine leichte Nichtlinearität oberhalb von 500 MHz, wahrscheinlich

stößt hier der verwendete Mischer an seine Grenzen.

Rainer Müller, DM2CMB, hat in diesem Zusammenhang einige Testreihen mit einem Entwicklungsmuster des FA-VA5 durchgeführt, von deren Ergebnissen ein Auszug in Tabelle 2 zu sehen ist. Die dort vorhandenen Leerstellen entstanden dadurch, dass bestimmte Kombinationen von Messobjekt und -frequenz nicht sinnvoll sind oder das Messergebnis allzu weitab vom Sollwert lag. Insgesamt belegen die Messungen, dass der FA-VA5 bis etwa 200 MHz eine sehr hohe Präzision aufweist und darüber hinaus bis 600 MHz für Amateurfunkzwecke gut einsetzbar ist.

■ Zusammenfassung

Auch dank der vielen Anregungen seitens der Anwender des FA-VA4 ist es gelun-

gen, ein noch leistungsfähigeres Nachfolgemodell zu entwickeln. Obwohl sich Aufwand und erweiterter Funktionsumfang auch im Verkaufspreis niederschlagen werden, bleibt das Preis-Leistungs-Verhältnis immer noch sehr günstig.

Der Kompletbausatz des FA-VA5 (Bestellnummer *BX-245*) ist derzeit in Vorbereitung.

Der neue Antennenanalysator genügt in vielen Fällen selbst gehobenen Ansprüchen und ermöglicht nunmehr auch im VHF- und UHF-Bereich tätigen Anwendern die einfache Messung von Antennen und anderen Zweipolen.

Darüber hinaus erschließt die vorhandene PC-Schnittstelle in Verbindung mit der etablierten VNWA-Software neben der Dokumentation der Messergebnisse auch neue Mess- und Darstellungsmöglichkeiten, die Gegenstand des zweiten Teils des Beitrags sind.

Das Team des FA-Leserservice und der Autor freuen sich auch weiterhin auf interessante Anregungen aus dem Leser- und Anwenderkreis und wünschen bereits jetzt viel Erfolg und Spaß beim Aufbau und bei der Anwendung des FA-VA5.

(wird fortgesetzt)

Literatur

- [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. www.sdr-kits.net
- [3] Baier, T., DG8SAQ: Charakterisierung von Vektoren mit einem Eintor-Vektor-Netzwerkanalysator. FUNKAMATEUR 67 (2018), in Vorbereitung

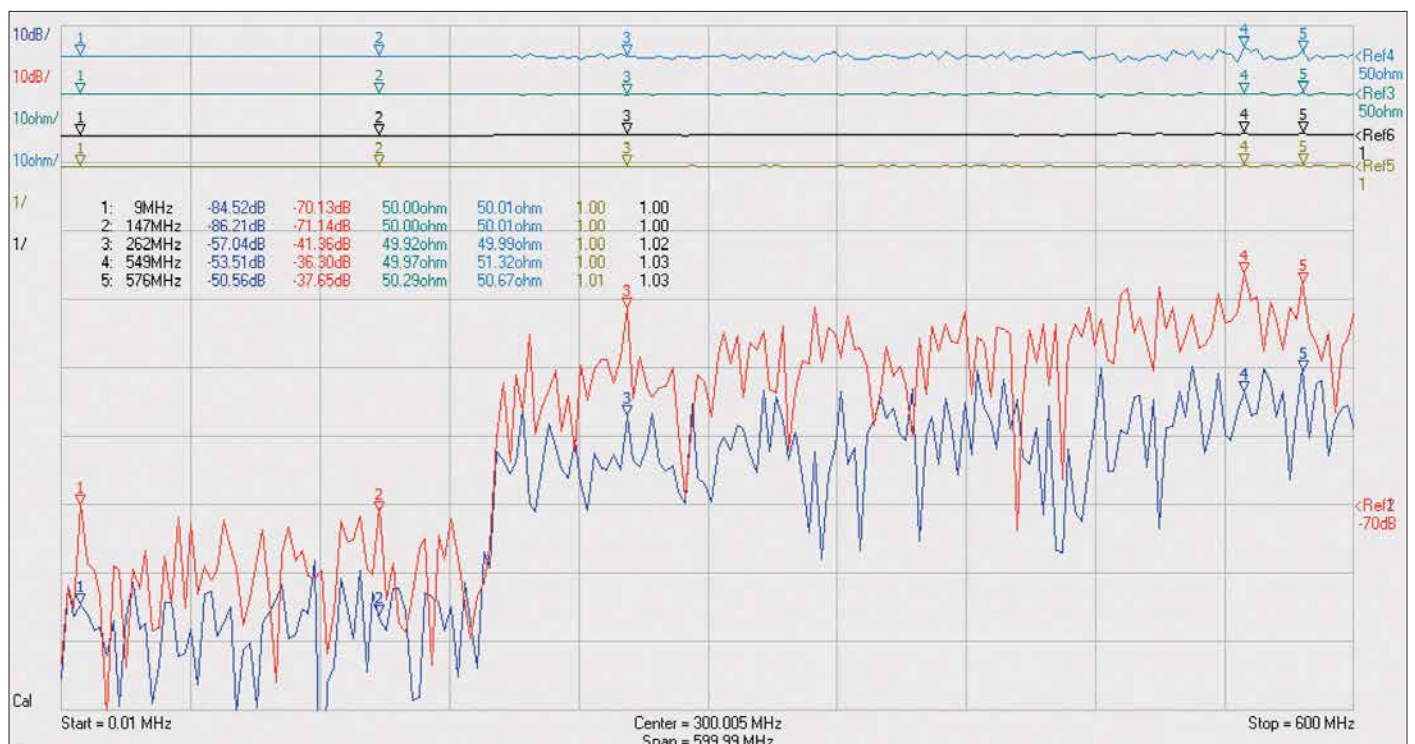


Bild 13: Dynamikbereich der Rückflussdämpfung S_{11} des FA-VA5 für Messungen im Modus *Schnell* (rot) und *Präzise* (violett) im Frequenzbereich zwischen 10 kHz und 600 MHz

Vektorieller Antennenanalysator FA-VA5 für 10 kHz bis 600 MHz (2)

MICHAEL KNITTER – DG5MK

Im ersten Teil des Beitrags wurden die Neuerungen des FA-VA5 im Vergleich zum Vorgängermodell beschrieben. Aus der optionalen USB-PC-Anbindung ergeben sich in Verbindung mit der leistungsfähigen Software VNWA eine Vielzahl von neuen Anwendungsmöglichkeiten. Nachstehend geht es deshalb um die Installation der VNWA-Software, die Anbindung des FA-VA5 sowie Grundprinzipien der Messung und einige Beispiele aus der Praxis.

Wie bereits im ersten Teil des Beitrags angemerkt, wurde bei der Festlegung der Funktionen des FA-VA5 schnell klar, dass die zu integrierende PC-Anbindung nur dann von hohem Wert ist, wenn eine leistungsfähige und ausgereifte Software zur Verfügung steht. Prof. Dr. Thomas Baier, DG8SAQ, hatte angeboten, seine über viele Jahre für den Vektor-Netzwerkanalysator VNWA 3 entwickelte Software (nachfolgend nur als VNWA bezeichnet) zu nutzen. Diese ist inzwischen derart ausgereift und reich an Funktionen, dass sie auch professionellen Ansprüchen gerecht wird.

Der Umstand, dass VNWA lediglich in englischer Sprache verfügbar ist, sollte niemanden abschrecken. Neben der im anglo-amerikanischen Sprachraum üblichen Vertauschung von Punkt und Komma bei der Ein- und Ausgabe von Zahlen reichen ein paar Handvoll englischer Vokabeln zur Be-

dienung aus. Zusätzlich steht ein etwa 600 Seiten umfassendes Hilfedokument in deutscher Sprache zur Verfügung [4], siehe auch [5].

Die nachstehenden Abschnitte vermitteln einen Überblick über die Handhabung der Software und ihre Einsatzmöglichkeiten. In der Bedienungsanleitung des FA-VA5 wird es einen separaten Abschnitt geben, der alles Wichtige für einen schnellen Start enthält und Fortgeschrittenen Hinweise zu weiterführenden Themen gibt.

■ Software-Installation

Die Installation des USB-Treibers geschieht beim erstmaligen Anschluss des FA-VA5 an den PC. Der Analysator muss dazu nicht eingeschaltet werden, da er nun automatisch über USB die erforderliche Betriebsspannung erhält. Bei den getesteten Windows-Versionen 7, 8 und 10 fand das Be-

triebssystem den erforderlichen Treiber von Silicon Labs automatisch. Sollte Windows wider Erwarten den Treiber nicht automatisch bereitstellen, kann er von [6] heruntergeladen und manuell installiert werden.

Die erfolgreiche Installation des Treibers lässt sich über den Windows-Gerätelolauncher verifizieren. Unter *Anschlüsse (COM & LPT)* sollte sich der installierte Treiber von Silicon Labs zeigen. Gleichzeitig ist hier die Bezeichnung der zugewiesenen virtuellen Schnittstelle ersichtlich, z. B. *COM26* (Bild 15) Diese Information wird später noch benötigt. Windows macht die Zuweisung des COM-Ports im Übrigen von der gewählten USB-Buchse abhängig. Wählt man beim nächsten Mal eine andere, ändert sich auch die Nummer des COM-Ports.

Die Software VNWA ist auf [4] zu finden. VNWA-installer.exe ist eine ausführbare

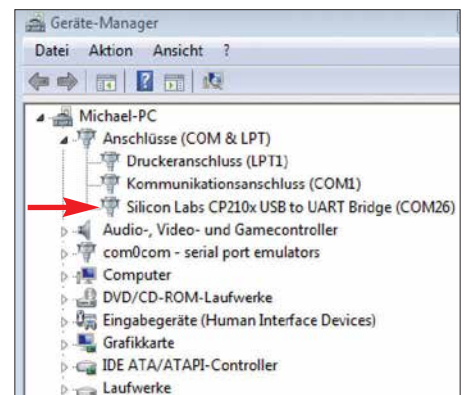


Bild 15: Installierter Treiber und zugewiesener COM-Anschluss des FA-VA5

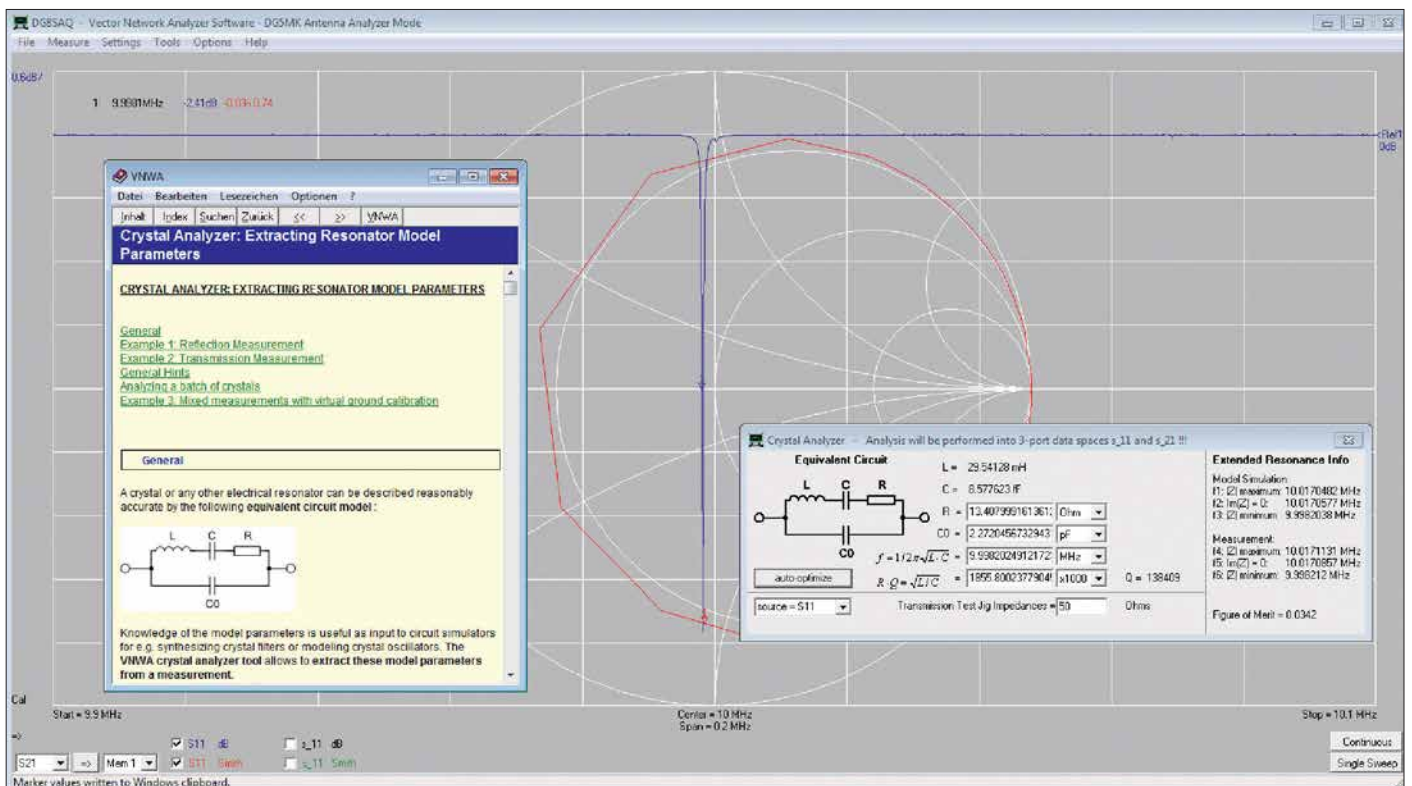


Bild 14: Nicht nur bei Antennenmessungen, sondern auch bei der Prüfung von Bauelementen leistet die Kombination FA-VA5/VNWA-Software gute Dienste. Hier ist das Ergebnis der Untersuchung eines 10-MHz-Quarzes mithilfe des integrierten Quarzanalysators zu sehen.

Datei, die bereits alle für die Anbindung des FA-VA5 erforderlichen Bibliotheken enthält. Nach dem Herunterladen der Datei ist diese auszuführen. Die folgende Installation ist menügeführt und weitestgehend selbsterklärend. Alle vorgeschlagenen Angaben sind zu bestätigen. Ein Lizenzschlüssel ist für den Betrieb des FA-VA5 nicht erforderlich. Die entsprechende Nachfrage ist mit *Weiter/Next* zu bestätigen.

Nach der Installation des Programms ist dieses zu starten. Es erscheint eine Warnmeldung, die den FA-VA5 nicht betrifft und daher mit *ok* bestätigt werden kann, Gleiches gilt für den darauffolgenden Hinweis.

VNWA zeigt sich zunächst recht nüchtern mit einem relativ leer wirkendem Einstiegsbildschirm. Richtigerweise meldet die Software, dass keine VNWA-Hardware detektiert wurde.

Ist das vorhandene Diagrammgitter nicht deutlich sichtbar (abhängig von der Standardfensterfarbe der Windows-Version), lässt sich mittels *Settings* → *Diagrams* → *Display* → *Grid Options* die Farbe des Hintergrunds (*Background*) ändern. Für die hier dargestellten Bilder habe ich ein dunkles Grau gewählt.

■ FA-VA5-Anschluss

Damit er mit der Software VNWA kommunizieren kann, ist der FA-VA5 in den USB-Modus zu versetzen. Sofern man dies lokal im Menü des FA-VA5 unter *Einstellungen* → *USB-Auto-Modus* nicht geändert hatte, wird der Analysator beim Einstecken des USB-Kabels automatisch in den USB-Modus wechseln. Ansonsten ist dieser jederzeit über das Hauptmenü erreichbar.

Sodann ist unter VNWA der Menüpunkt *Options* → *Select Instruments* → *Add to/remove from Select List* → *DG5MK Antenna Analyzer* auszuwählen. Hiermit ist der FA-VA5 jetzt in die Liste der verfügbaren *Instruments* aufgenommen worden. Die eigentliche Auswahl geschieht dann mittels *Options* → *Select Instrument* → *DG5MK Antenna Analyzer*.

Nun ist VNWA noch der im vorherigen Abschnitt ermittelte COM-Port mitzuteilen. Dies geschieht unter *Options* → *Setup*. Ein neues Fenster öffnet sich und der COM-Anschluss ist unter *Port* aus der aufgeklappten Liste zu selektieren. Die erfolgreiche Verbindung zum FA-VA5 wird oben rechts mit *connected* quittiert, ein blauer Schriftzug meldet die Firmware-Version des Analysators (siehe Pfeil in Bild 16).

Damit ist die Anbindung des FA-VA5 an VNWA beendet. Das Fenster kann nun geschlossen werden. Die Software speichert nach Schließen des Programms alle Einstellungen. Für einen neuen Aufruf ist da-

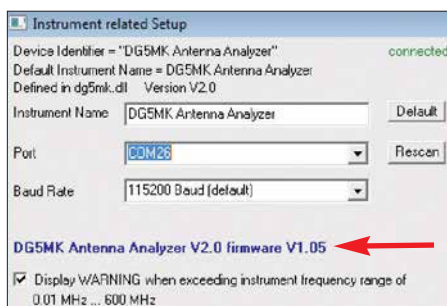


Bild 16: Setup-Fenster mit erkanntem FA-VA5 und der Angabe der Firmware-Version

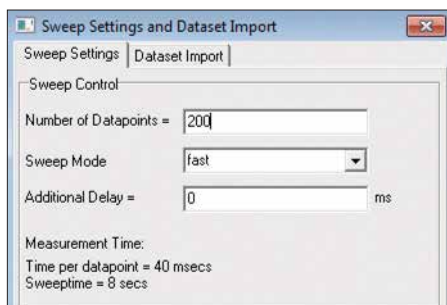


Bild 17: Einstellmöglichkeiten einiger Parameter des Wobbelbetriebs (Mehrfrequenzdurchlauf) seitens der Software VNWA

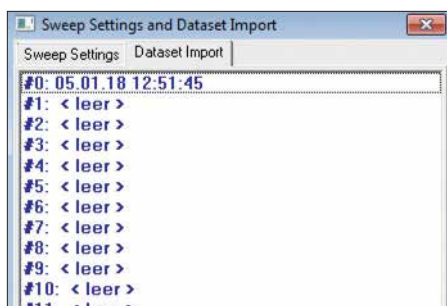


Bild 18: Fenster für den Import von Datensätzen aus dem Messergebnisspeicher des FA-VA5 in die Software VNWA

her der FA-VA5 möglichst vor dem Start von VNWA am gleichen USB-Anschluss in Betrieb zu nehmen.

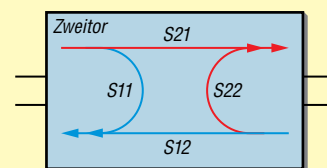
Neben dem beschriebenen Verbindungsaufbau gibt es noch einen zweiten Bereich in der Software, der sich grundsätzlich vom allgemeinen Programm unterscheidet. Dieser findet sich in den Einstellungen eines Mehrfrequenzdurchlaufes und wird dort über *Settings* → *Sweep* erreicht (Bild 17).

Der zweite Reiter dieses Fensters erlaubt den Import von lokalen Datensätzen des FA-VA5, wie nachstehend beschrieben.

■ Auslesen von Datensätzen

Nach Auswahl des Reiters *Dataset Import* zeigt sich ein Fenster wie in Bild 18. Hier sind, analog dem lokalen Menü des FA-VA5, die 16 verfügbaren Datensätze und deren Zeitstempel aufgeführt. Im Beispiel ist lediglich Datensatz 0 belegt. Durch Auswahl eines Datensatzes mittels linker Maustaste und anschließendem Rechtsklick der entsprechenden Zeile können die Daten

Streuparameter



Der für den FA-VA5 relevante Speicher S11 ist Teil einer Gruppe von Messwertspeichern der Software VNWA. Verwandte Speicher sind S12, S21 und S22 (hier nicht betrachtet). Der Buchstabe S steht für *Streuparameter*. Diese beschreiben mithilfe von Wellengrößen das Verhalten von Netzwerken. Ein Zweitornetzwerk hat vier Pole, einen Ein- und einen Ausgang (z. B. Verstärker). Es lässt sich nun beispielsweise messen, welcher Anteil einer Welle vom Ein- zum Ausgang (S_{21}) oder aber vom Aus- zum Eingang übertragen wird (S_{12}). Weiterhin kann der Anteil einer reflektierten Welle am Eingang (S_{11}) oder am Ausgang (S_{22}) gemessen werden.

Die vier Parameter S_{11} , S_{21} , S_{12} und S_{22} beschreiben ein lineares Netzwerk vollständig und ohne dass interne Details des „schwarzen Kastens“ bekannt sind.

Die Software VNWA ist für die VNWA-3-Hardware erstellt worden, die neben einem Signalausgang (mit Reflexionsmesskopf) auch einen separaten Signaleingang hat. Deshalb kann damit neben S_{11} auch S_{21} (Übertragung) gemessen werden. Durch die Vertauschung von Ein- und Ausgang des Messobjekts lassen sich die restlichen beiden Streuparameter S_{12} und S_{22} bestimmen.

Antennen und andere Bauelemente mit zwei Polen haben nur ein elektrisches Tor. Der Antennenanalysator FA-VA5 hat daher auch nur eine Messbuchse. Also kann damit lediglich die Reflexion am Eingang gemessen werden (S_{11}). So erklärt es sich, dass hier ausschließlich der S11-Messwertspeicher von Interesse ist.

S_{11} stellt dabei einen komplexen Reflexionsfaktor dar, bestehend aus Real- und Imaginäranteil. Aus S_{11} lassen sich eine Vielzahl von anderen Parametern wie das Stehwellenverhältnis s und die Impedanz Z mathematisch ableiten. Die Ergebnisdarstellung geschieht oft in einem sogenannten *Smith-Diagramm*, mit dessen Hilfe sich auch Anpassungsprobleme und Ähnliches grafisch lösen lassen.

nunmehr in eine Datei (*File*) oder die Windows-Zwischenablage (*Clipboard*) gespeichert werden. Letzteres ist auch durch einen Doppelklick mit der linken Maustaste möglich. Dateipfad und Name lassen sich frei wählen. Das Format entspricht dem verbreiteten *Touchstone file format*, welches auch mit einem Editor lesbar ist.

Im folgenden Beispiel dient die Zwischenablage als Datenspeicher. Nach dem besagten Doppelklick werden die Daten eingelesen, erfolgreich quittiert und das Fenster geschlossen.

Der letzte Schritt schließlich ist der Import der Daten aus der Zwischenablage in den Messwertspeicher von VNWA. Der für den FA-VA5 relevante Speicher sollte immer S11 sein (siehe Kasten).

Der Import geschieht mittels Rechtsklick auf einen angezeigten S11-Ausgabekanal. Im Hauptfenster des zuvor installierten Programms ist z. B. unten links ein Kanal S11 *Smith* in Rot sichtbar (Bild 20). Per Rechtsklick direkt auf S11 und *Import s1p* → *from Clipboard* werden die Daten schließlich in den S11-Messwertspeicher

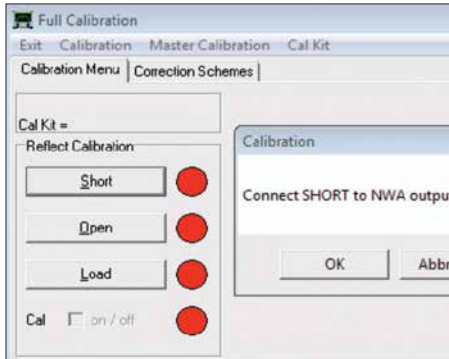


Bild 19: Kalibrierfenster der Software VNWA und eingblendete Aufforderung zum Anschluss des Short-Elements an den Messzugang

geladen. Die Anzeige geschieht, wie bezeichnet, in Form eines Smith-Diagramms. Für die vertraute SWV-Darstellung bietet sich hier folgende Schnelllösung an: Doppelklick auf das ebenfalls ersichtliche S21 in Blau, im nachfolgenden Fenster unten links *VSWR* (engl. *Voltage Standing Wave Ratio*) und zusätzlich statt S21 in Speicher S11 wählen. Es zeigt sich das zuvor lokal gemessene Stehwellenverhältnis über die ursprüngliche Frequenzspanne als blaue Kurve (Bild 20).

Zur besseren Lesbarkeit kann ein Marker hinzugefügt werden. Dazu reichen ein

Rechtsklick innerhalb des Gitterrahmens und eines leeren Bereichs und die Auswahl *Add Frequency Marker* → *Normal*. Der erhaltene *Marker 1* lässt sich nunmehr durch Linksklick und Halten entlang der Messkurve bewegen. Oben links erfolgt die Anzeige der dazugehörigen Frequenz und des entsprechenden SWV-Werts in blauer Farbe.

Die eben vollzogenen Schritte wirken auf den ersten Blick vielleicht kompliziert. Im Interesse eines besseren Verständnisses folgt daher die Erläuterung des Grundprinzips einer Messung mit der Software VNWA.

■ Grundlegendes zur Messung mit der Software VNWA

Erfolgreiches Arbeiten mit VNWA erfordert das Verständnis der prinzipiellen Vorgehensweise bei einer Messung, welche vereinfacht aus folgenden Schritten besteht:

1. Festlegung der Messparameter, wie z. B. Frequenzspanne, Zeitdauer einer Messung, Anzahl der Messpunkte, Genauigkeit der Messung,
2. Kalibrierung des Messinstruments auf die zuvor definierten Parameter,
3. Durchführung der Messung (beim Messen mit dem FA-VA5 sind S₁₁-Streuparameter im Messwertspeicher S11 das Ergebnis),
4. Wahl der Anzeige und Berechnung. Dies schließt neben von S₁₁ abgeleiteten Größen wie SWV, Impedanz usw. auch komplexe mathematische Weiterverarbeitung ein.

Beim Import von lokal erstellten Datensätzen des FA-VA5 entfallen die ersten drei Schritte, da sie in den Daten bereits

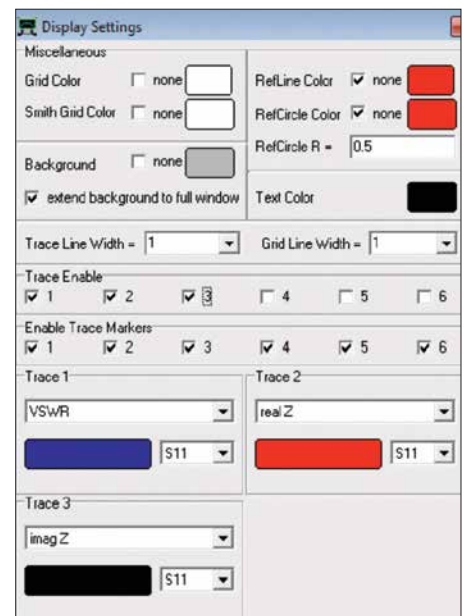


Bild 21: Einstellung der Ausgabekanäle für Stehwellenverhältnis (Trace 1) und Impedanz (Trace 2 und Trace 3) im Menüfenster *Display Settings*

hinterlegt sind. Der vorherige Abschnitt beschränkte sich daher auf den Import der S₁₁-Werte und deren Ausgabe. VNWA kann den FA-VA5 aber auch als echten USB-Messvorsatz einsetzen, wodurch sich erheblich mehr Möglichkeiten ergeben. Dabei sind alle vier aufgezeigten Schritte des messtechnischen Grundprinzips zu beachten.

■ FA-VA5 als USB-Messvorsatz

USB-Messvorsatz bedeutet hier, dass die Software VNWA die gesamte Steuerung und Auswertung einer Messung übernimmt. Vereinfacht gesagt, liefert der FA-VA5 in diesem Fall lediglich angeforderte Messspannungen für eine durch VNWA übermittelte Frequenz. So können Parameter einer Mehrfrequenzmessung wie die Anzahl der Messpunkte anstatt der lokal fixen einhundert im Rahmen vorgegebener Grenzen beliebig definiert werden. In den nachfolgenden Abschnitten wird anhand einer Antennenmessung mit zu ermittelndem SWV und Impedanzwert die Vorgehensweise exemplarisch erläutert.

Schritt 1: Messparameter

Zunächst ist die zu betrachtende Frequenz zu definieren. Im Hauptfenster von VNWA (Bild 20) ist dies leicht durch einen Doppelklick auf eine Frequenzangabe unten links, Mitte oder rechts zu lösen. Das sich öffnende Eingabefenster (*Input*) erlaubt die Eingabe der Start- und Stoppfrequenz eines Mehrfrequenzdurchlaufs. Man beachte den Dezimalpunkt als Trennung zwischen Vor- und Nachkommastellen. Für das nächste Beispiel wurde 10 MHz bis 500 MHz gewählt (Bild 22).

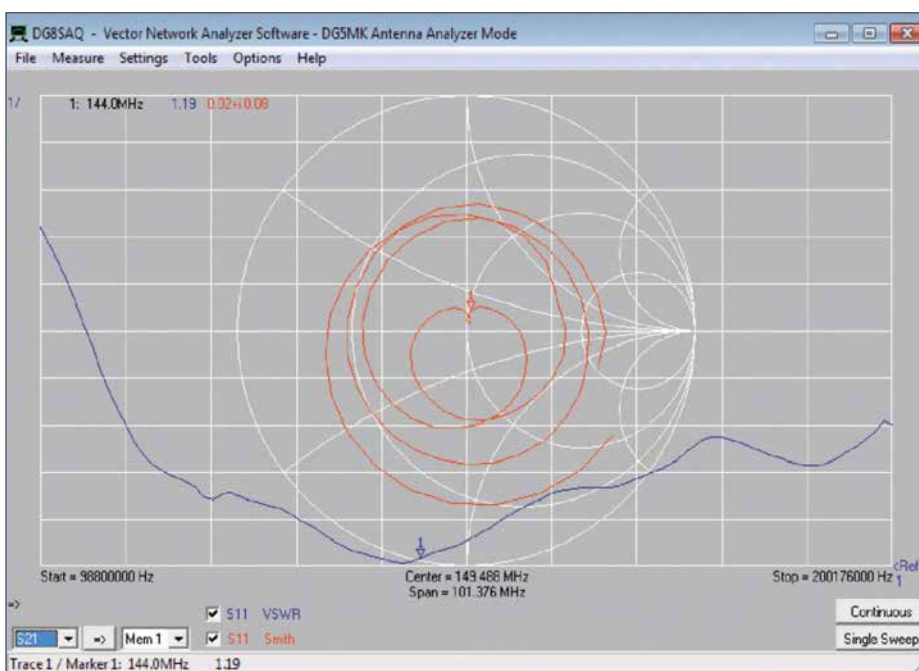


Bild 20: Beispiel für eine SWV- und Impedanzkurve auf der Grundlage eines vom FA-VA5 importierten Datensatzes nach Wahl der SWV-Darstellung und Hinzufügen eines Markers bei 144 MHz; die Messung erfolgte im Frequenzbereich von 100 MHz bis 200 MHz.

Darüber hinaus betrachtete Parameter sind gerätespezifisch und lassen sich für den FA-VA5 über das schon bekannte Fenster *Settings* → *Sweep* (Bild 17) einstellen. Neben der Anzahl der Messpunkte (*Number of Datapoints*) ist eine von drei FA-VA5-Genauigkeitsstufen wählbar: *Schnell*, *Standard* oder *Präzise* (*Fast*, *Standard*, *Precise*). Zusätzlich lässt sich eine weitere Verzögerung pro Messwert einstellen (*Additional Delay*). Dies kann für die Messung von niederfrequenten Filtern mit langer Einschwingzeit sinnvoll sein. VNWA berechnet die resultierende Zeit für die Mehrfrequenzmessung. Das Fenster kann hier mit den Standardwerten geschlossen werden und alle Messparameter sind nun definiert.

Schritt 2: Kalibrierung

Eine Kalibrierung vor der Messung ist zwingend erforderlich. Entgegen dem lokalen Modus des FA-VA5 findet keine Berechnung mithilfe von bekannten Bauelementewerten statt. Für die Verwendung von Master-Kalibrierungen und Ähnlichem sei auf das Hilfedokument der Software verwiesen [4].

Die Kalibrierung für die definierten Messparameter geschieht über *Measure* → *Calibrate*. Das sich öffnende Fenster nach Bild 19 zeigt den Zustand der aktuellen Kalibrierung in Form von drei Kreisen an, die rote Farbe bedeutet *nicht kalibriert*. Durch Linksklick auf den *Short*-Knopf erscheint ein weiteres Fenster, welches nun zum Anschluss des *Short*-Kalibrierelements an den FA-VA5 auffordert. Nach Bestätigung startet ein Messdurchlauf, danach färbt sich der Kreis grün mit rotem *M* in der Mitte. Analog dazu ist die Kalibrierung für *Open* und *Load* durchzuführen, das Fenster kann anschließend geschlossen werden. Im Haupt-

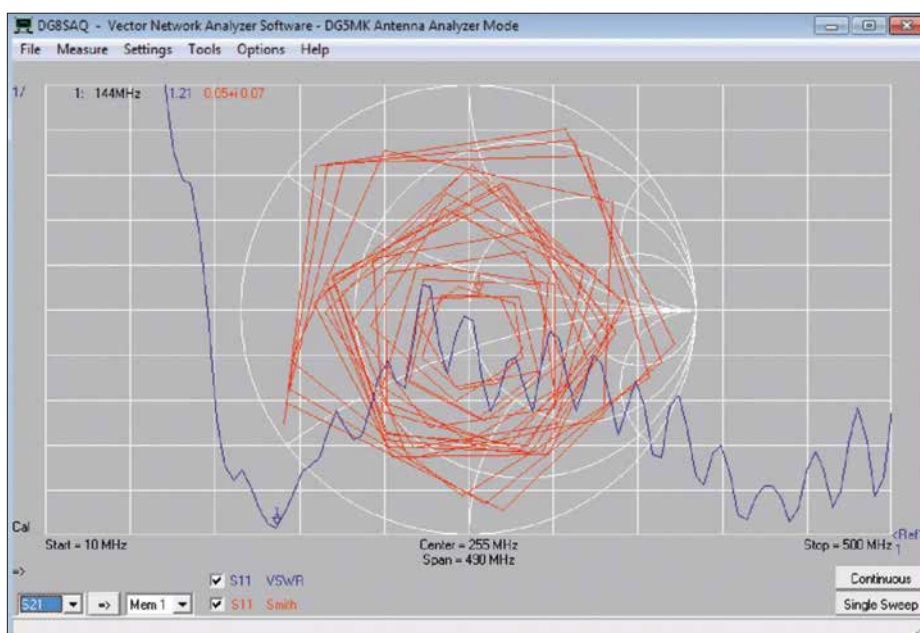


Bild 22: Messdiagramm einer Diamond MR-77-Mobilantenne vor Formatierung der Ausgabe; die eckigen Formen sind auf die relativ geringe Anzahl der Messpunkte zurückzuführen.

fenster von VNWA sollte nun unten links ein *Cal* für *kalibriert* erscheinen.

Der Vorteil dieses Verfahrens ist, dass exakt auf die aktuelle Messkonfiguration seitens Hardware und Messparameter kalibriert wurde. Ein eventuell verwendetes Verlängerungskabel wird sozusagen einfach mit „einkalibriert“.

Schritt 3: Durchführung der Messung

Die Messung selbst ist nach Anschluss des Messobjekts (hier Antenne *Diamond MR77* mit 3,5-m-Kabel) denkbar einfach. Im Hauptfenster ist durch Klick auf den Button *Single Sweep* eine einzelne Mehrfrequenzmessung zu starten. Im Anschluss daran befinden sich die Messwerte im Speicher *S11*. Mit den Anzeigeeinstellungen aus dem Einführungsbeispiel ergibt

sich eine Ansicht nach Bild 22, die zumindest im Bereich des Smith-Diagramms an abstrakte Kunst erinnert. Die eckige Abbildung ist im Übrigen auf die relativ geringe Messpunktzahl zurückzuführen.

Schritt 4: Anzeige und Berechnung

Zu den Stärken von VNWA gehören die umfangreichen Möglichkeiten zur Anzeige und Auswertung von Messwerten. Insgesamt lassen sich bis zu sechs unterschiedliche Ausgabekanäle und deren Rechenvorschrift selektieren. Nach Doppelklick auf das farbige *S11* eines bestehenden Kanals im Hauptfenster von VNWA unten links öffnet sich ein neues Fenster (Bild 21).

Hier lässt sich unter anderem im Detail definieren, welche Kanäle (*Traces*) mit welchem Inhalt anzuzeigen sind. Für das

Beispiel gelten die Einstellungen gemäß Bild 21. Es sollen die aus S_{11} berechneten Werte *Stehwellenverhältnis (VSWR)*, *Wirkwiderstand (realZ)* und *Blindwiderstand (imagZ)* angezeigt werden (siehe auch [4]). Der letzte Schritt ist schließlich die sinnvolle Formatierung der selektierten Ausgabekanäle. Im Hauptfenster finden sich, farblich zugeordnet, links oben die Skalierung, welche aufzeigt in welchem Maße sich die angezeigten Werte pro Rastereinheit ändern und auf der rechten Seite die Angabe des Referenzpegels. Beides lässt sich durch einen Doppelklick auf einen der Werte in einem sich dann öffnenden Fenster einstellen. Der Referenzpegel kann auch durch Klicken und Halten der Maustaste verschoben werden.

Die hohe Flexibilität der Skalierung und Positionierung dient der besseren Lesbarkeit. Solange Skalierung und Referenzpegel bekannt sind, spielt es ja keine Rolle wo die Kurven im Raster positioniert sind, sie sind verschiebbar.

Eine praktische Funktion und ein guter Startpunkt ist die Autoskalierung (*Auto-scale*), erreichbar über einen Linksklick auf die Skalierungswerte. Ein anschließendes Setzen der Skalierung auf glatte Werte erleichtert die Lesbarkeit des Diagramms.

Zu guter Letzt helfen Marker, die Messwerte bei einzelnen Frequenzen entlang der Kurven zu untersuchen. Mit einem Rechtsklick innerhalb des Gitterrahmens und in einem leeren Bereich können verschiedene Markerfunktionen aufgerufen werden. Für das Beispiel wird ein zweiter Marker per *Add Frequency Marker* → *Normal* hinzugefügt. Der erhaltene *Marker 2* wird durch Linksklick und Halten entlang der Messkurve zu 440 MHz bewegt. Alternativ ist nach Doppelklick auf den Marker der gewünschte Frequenzwert einzugeben.

Das Ergebnis dieser Formatierung ist in Bild 23 zu sehen. Es zeigt die (nicht ganz optimale) Abstimmung der *Diamond MR77* im 2-m- und 70-cm-Band. Die Welligkeit der Impedanz sollte nicht verwirren, sie ist auf die Transformationseigenschaften des Antenne-Kabel-Gebildes zurückzuführen.

■ Messung von Bauteilen

Die Messung von Bauteilen geschieht analog dem aufgezeigten Beispiel einer Antennenmessung. Es wird lediglich eine andere Berechnungsmethode für den Ausgabekanal mit anschließender Formatierung gewählt.

Bild 24 zeigt das Ergebnis der Messung einer 12,6- μ H-Ringkernspule über den Frequenzbereich von 100 kHz bis 100 MHz im *Präzise*-Modus. Durch entsprechende Wahl der Ausgabekanäle, deren Inhalte und

Formatierung sowie mithilfe der Marker lässt sich gut überprüfen, welche Induktivität und auch Güte die Spule hier im 40-m- und 20-m-Band hat. Bei etwa 39 MHz liegt eine Resonanzstelle, die Spule wirkt danach bis zur nächsten Resonanzstelle als Kondensator.

■ Zeitbereichsmessung

Als letztes Beispiel sei die Messung von Fehlstellen in Antennenkabeln genannt. *VNWA* bietet umfangreiche Möglichkeiten der *Zeitbereichsanalyse (Time Domain Reflectometry, TDR)*. Dazu werden gemessene Werte entlang der Frequenz in äquivalente Werte entlang der Zeit umgerech-

net. Das mathematische Verfahren ist komplex und im Hilfedokument [4] ab Seite 446 beschrieben.

Für das vorliegende Beispiel wird die Messung für den vollen Frequenzbereich 10 kHz bis 600 MHz mit 1000 Messpunkten im Modus *Präzise* anhand der beschriebenen Schritte 1 bis 3 vorbereitet. Nach der Kalibrierung und dem Anschluss des zu untersuchenden Kabels (hier zwei über eine BNC-Kupplung verbundene 5-m-Kabel RG58 mit offenem Ende) wird eine Mehrfrequenzmessung durchgeführt. Die Messwerte liegen danach im Speicher S_{11} .

Als Ausgabekanal wird nun einerseits die Rückflussdämpfung in Dezibel für S_{11} ,

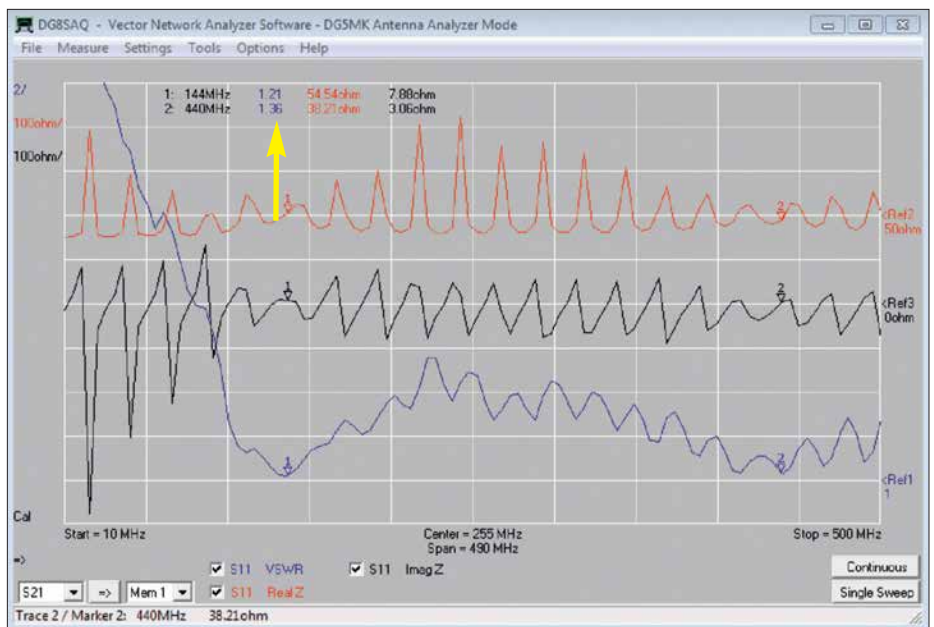


Bild 23: Impedanz-Messdiagramm einer *Diamond MR-77*-Antenne für das 2-m- und 70-cm-Band über einen Frequenzbereich von 10 MHz bis 500 MHz; die Marker bei 144 MHz und 440 MHz zeigen SWV-Werte von $s = 1,2$ bzw. $s = 1,4$.

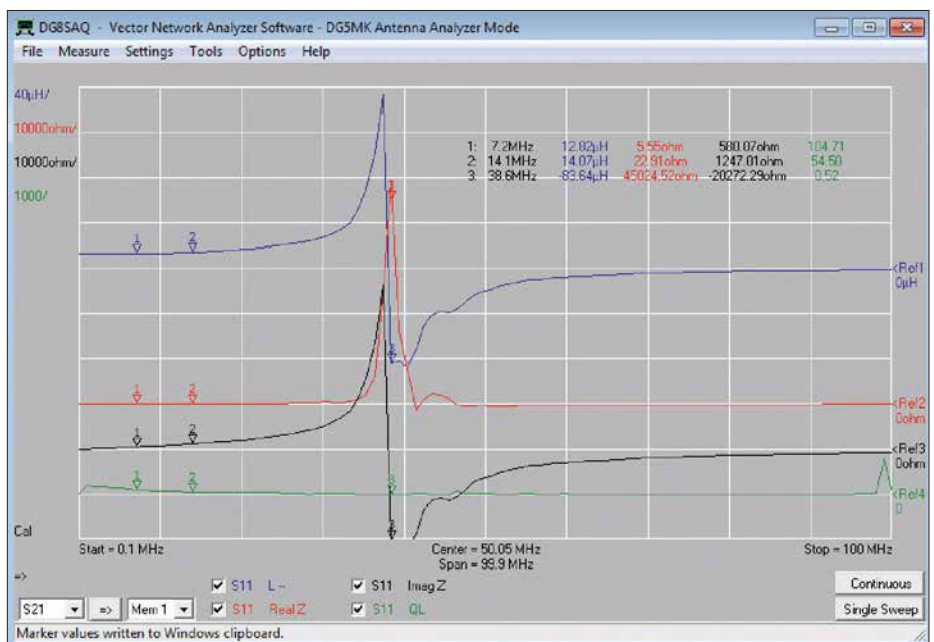


Bild 24: Ergebnis der Messung einer 12,6- μ H-Ringkernspule im Frequenzbereich von 0,1 MHz bis 100 MHz; gut zu erkennen ist die Eigenresonanzstelle.

aber auch ein Zeitkanal (*Time*) für den zweiten Kanal gewählt, wiederum in Dezibel. Die Konfiguration dieses Zeitkanals geschieht über einen Doppelklick auf das farbliche *tim1* oder *tim2* im Hauptfenster unten links. Es öffnet sich das Konfigurationsfenster (Bild 25). Die Einstellungen sind vorzunehmen, wie dort angegeben. Für RG58 kann der Verkürzungsfaktor (*Velocity Factor*) auf $VF = 0,66$ belassen werden. Durch Wahl einer Zeit zwischen 0 und 150 ns lässt sich eine Länge bis etwa 15 m (unten rechts angezeigt) betrachten.

Nach Schließen des Fensters ergibt sich nach entsprechender Konfiguration der Ausgabekanäle das Hauptfenster gemäß Bild 26. Zusätzlich wurden zwei Zeitmarker durch Rechtsklick im Gitterbereich mit *Add Time Marker* hinzugefügt.

Ein offenes Kabel sollte per Totalreflexion die gesamte Welle an den Eingang zurückwerfen. Daher entspricht die Rückflussdämpfung (blaue Kurve) dem Verlust der Leitung. 0,94 dB für 2×10 m entsprechen 4,7 dB Dämpfung für 100 m Kabellänge bei 10 MHz. Dies entspricht recht gut dem in Datenblättern angegebenen Dämpfungswerten von RG58.

Die in den Zeitbereich umgerechnete und skalierte rote Kurve ist ebenfalls das Maß für einen reflektierten Wellenanteil, nun aber abhängig von der Entfernung aufgrund der Laufzeit der Welle. Der positionierte *Marker 3* zeigt ein Maximum nach 104,5 ns, bzw. 10,3 m. Die Dämpfung ist mit 6,8 dB relativ gering, was auf eine starke Störung hindeutet (offenes Leitungsende). Schwächere Störungen wie Kabelstecker, Adapter usw. zeichnen sich durch ein geringeres Maximum aus. *Marker 1* zeigt solch ein Maximum nach einer Laufzeit von 50,9 ns bzw. nach 5,03 m. Genau hier sind die beiden 5-m-Kabel mit einer BNC-Kupplung verbunden.

Für die praktische Beurteilung von Leitungsstörungen ist daher die Leitung möglichst mit ihrem Wellenwiderstand abzuschließen. Die mehr oder weniger homo-

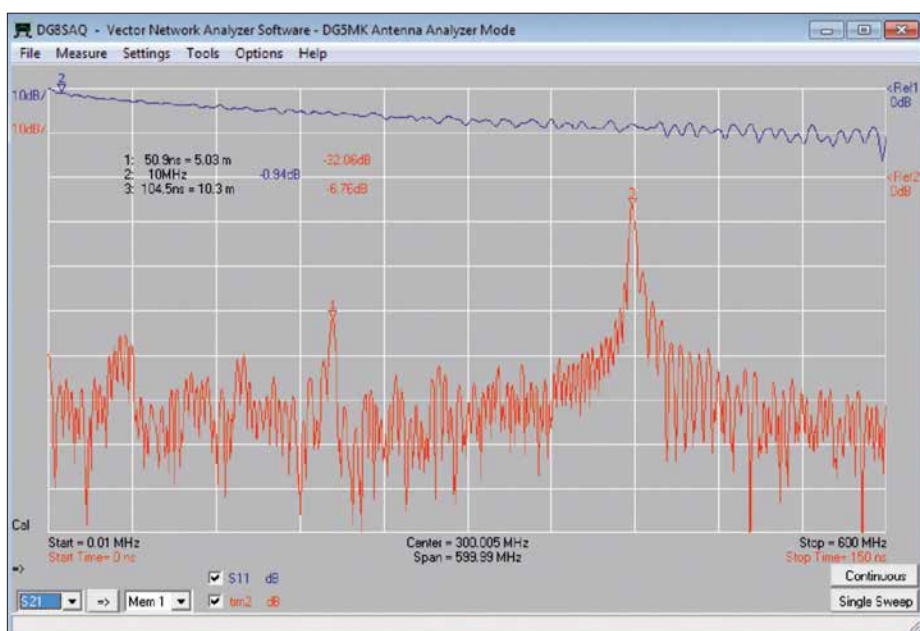


Bild 26: Ergebnis einer Zeitbereichsmessung zweier verbundener 5-m-Koaxialkabel RG58; das entgegengesetzte Kabelende ist offen. Screenshots: DG5MK

gene Kurve wird bei Störungen des Wellenwiderstands Maxima aufzeigen. Mittels der Marker lassen sich die Positionen ermitteln und auftretende Fehler somit gegebenenfalls beheben.

■ Ausblick

Die Software *VNWA* bietet aber auch noch weitere Möglichkeiten. So lassen sich Quarze ausmessen und deren Ersatzschaltbild mit Hilfe des integrierten Quarzanalysators qualifizieren (Bild 14). Kalibrierungsstandards können fast beliebig definiert werden, um exakt die vorhandene Messebene und Messsituation abzubilden. Allein die Darstellung im Smith-Diagramm und der Im- und Export von Mess- und anderen Daten bieten ein weites Tätigkeitsfeld. Die detaillierte Betrachtung solcher Themen würde jedoch den Umfang dieses Beitrags bei Weitem sprengen. Das Hilfedokument [4] bietet dazu weitere Informationen. Die für den FA-VA5 zutreffenden Inhalte zu Zweipolmessungen sind dort leicht identifizierbar.

Mit dem FA-VA5 und der *VNWA*-Software hat der Anwender nunmehr ein leistungsstarkes Gespann zur Hand, welches für portable und stationäre Messungen von Antennen und anderen Zweipolen sowie die Auswertung der erhaltenden Daten kaum noch Wünsche offen lässt.

Im ersten Teil des Beitrags wurde angedeutet, dass sich nicht nur Systeme mit einem Tor (zwei Pole), sondern auch solche mit zwei Toren (vier Pole) ausschließlich anhand von Reflexionsmessungen vollständig charakterisieren lassen. Dies ist daher auch mit dem FA-VA5 in Verbindung mit der Software *VNWA* möglich. Wie das im Einzelnen funktioniert und

welche Mathematik dem Ganzen zugrunde liegt, wird demnächst in [3] anhand von praxisnahen Beispielen beschrieben. Dies erweitert dann nochmals den Einsatzbereich des FA-VA5.

Wer sich in die Software *VNWA* eingearbeitet hat und dadurch auch mit deren Bedienphilosophie vertraut ist, wird wenig Schwierigkeiten haben, diese Software auch an der Original-Hardware *VNWA 3* erfolgreich zu betreiben [4]. Dieser vektorielle Netzwerkanalysator bietet die Möglichkeit für Messungen an Zwei- und Vierpolen bis 1,3 GHz. *mkh01@t-online.de*

Literatur und Bezugsquellen

- [4] Baier, T., DG8SAQ: VNWA-Software. www.sdr-kits.net → DG8SAQ VNWA 3 → Software & Documentation → VNWA Installer.exe
- [5] Palme, G.: Messen mit dem Vektor-Netzwerkanalysator VNWA2/VNWA3, Band 1 und 2. Eigenverlag, Dortmund, 2018; Bezug: FA-Leserservice Z-0036, Z-0037
- [6] Download VCP-Treiber: www.silabs.com/products/development-tools/software/usb-to-uart-bridge-vcp-drivers → VCP Driver

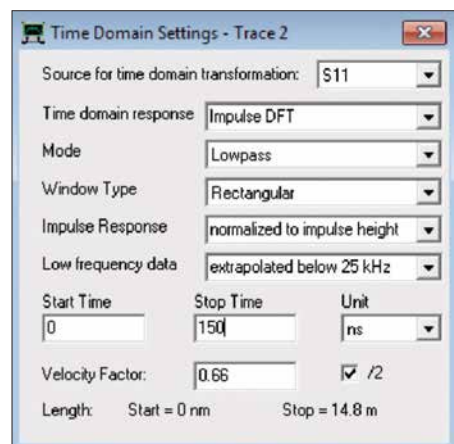


Bild 25: Konfigurationsfenster des Zeitkanals