

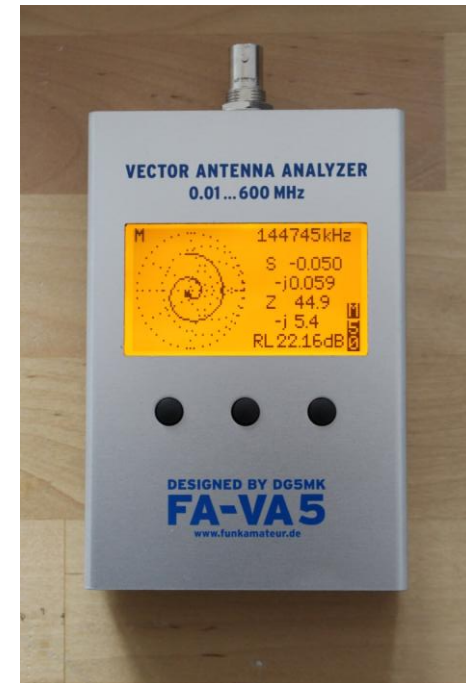


Der FA-VA 4 / FA-VA 5 Antennenanalysator

Ham Radio 2018, 02. Juni, Michael Knitter, DG5MK,
dg5mk@darc.de

Agenda

- Motivation und Entwicklung
- Funktionsprinzip
- Besonderheiten FA-VA 4 und FA-VA 5
- Messgenauigkeit
- Einfache Anwendungen
- Fortgeschrittene Anwendungen



Benötigen wir einen neuen Antennenanalysator?

HF/6M. 1.8-60MHZ ANTENNA ANALYZER



Click Image For Larger Picture

MFJ-213

HF/VHF/220MHZ /UHF,470-940KHZ,1-230,415-470MHZ,ANLZ



Click Image For Larger Picture

MFJ-269CM



Return loss dynamic range: 0 to -60 dB



Kosten?
Mobilität?
Genauigkeit?
Benutzerfreundlich?
Selbstbau?



02.06.2018



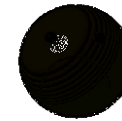
AA-30
(0.1 to 30 MHz)



AA-170
(0.1 to 170 MHz)



AA-600
(0.1 to 600 MHz)



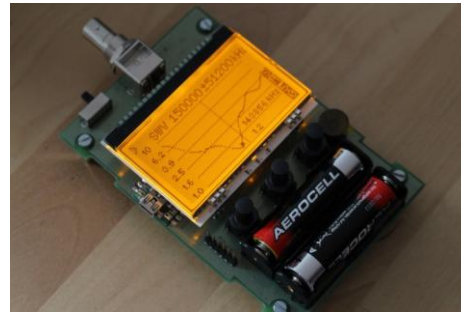
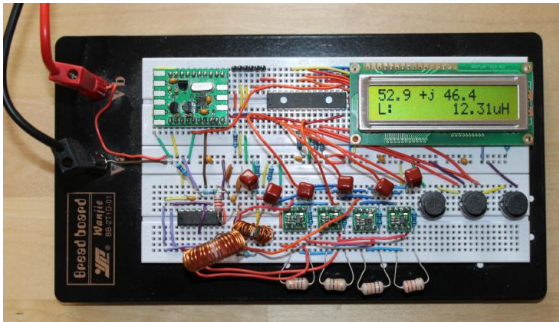
miniVNA PRO

VNA up to 180MHz
High Dynamic Range
Wireless with Bluetooth inside
Double Generator Mode



- Extended dynamic range: up to 90 dB in Transmission & 50 dB in Reflection

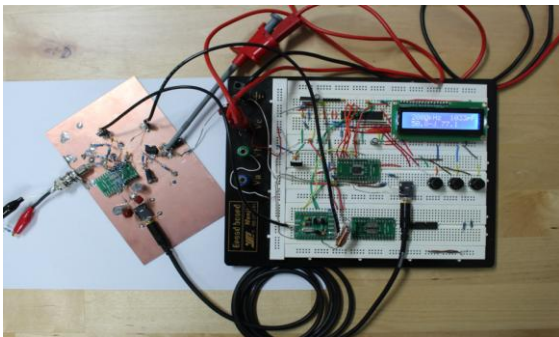
... vom Prototyp zum FUNKAMATEUR-Bausatz



2018



2017



2015



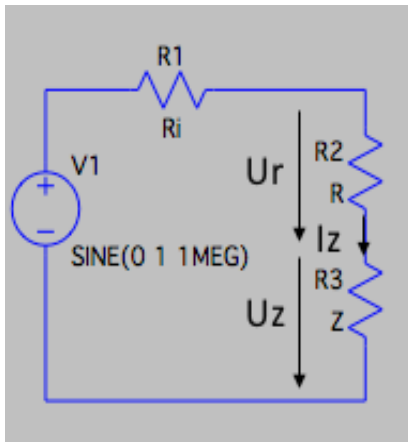
2016



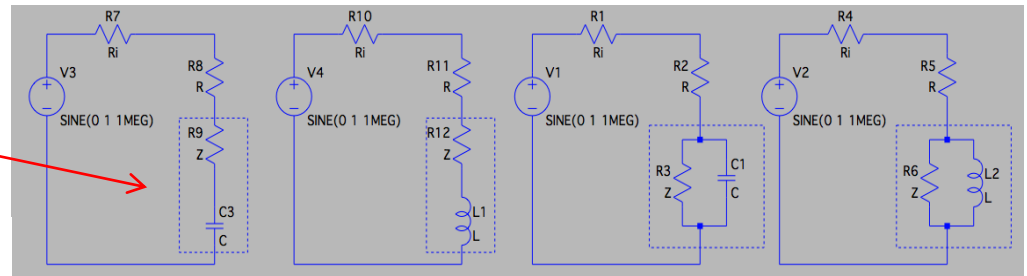
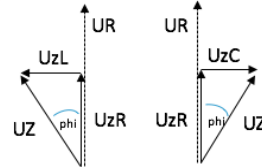
02.06.2018



Impedanzmessung: Ohmsches Gesetz, aber Komplex!



Antenne = Z



$$Z = \frac{U_Z}{I_Z} = R \frac{U_Z}{U_R}$$

$$\vec{Z} = R \frac{\vec{U}_Z}{\vec{U}_R} = R \frac{|U_Z| e^{j\varphi}}{|U_R| e^{j0}} = \frac{|U_Z|}{|U_R|} = \frac{|U_Z|}{|U_R|} (\cos \varphi + j \sin \varphi) = \frac{|U_Z|}{|U_R|} \cos \varphi + j \frac{|U_Z|}{|U_R|} \sin \varphi$$

Wirkwiderstand R

Scheinwiderstand X

$$z = 57.2 - j 2.2$$

Rezept:

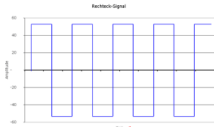
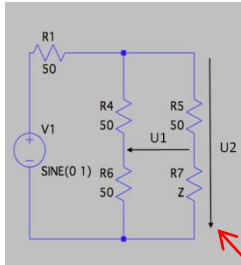
1. Gebe Signal auf zu untersuchende Impedanz (Antenne)
2. Messe Beträge von Spannung, Strom und deren Phasenunterschied
3. Phase phi und Betragsverhältnis liefert Impedanz
4. Impedanz liefert Reflektionsfaktor, SWV und andere Größen

$$\vec{\Gamma} = \frac{\vec{Z} - Z_0}{\vec{Z} + Z_0}, \quad C = \frac{1}{2\pi f X}$$

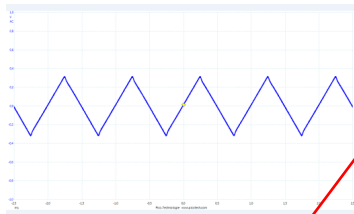
$$SWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}, \quad L = \frac{X}{2\pi f}$$

Funktionsprinzip: Überlagerungsempfänger mit passivem Mischer

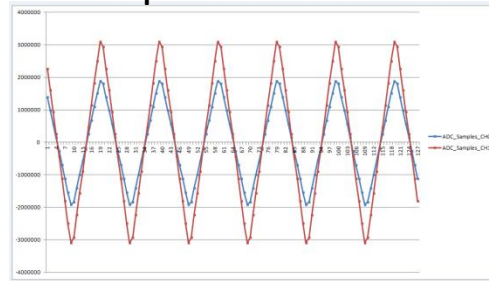
Messbrücke



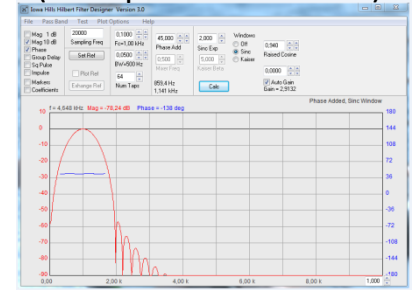
IF Analog



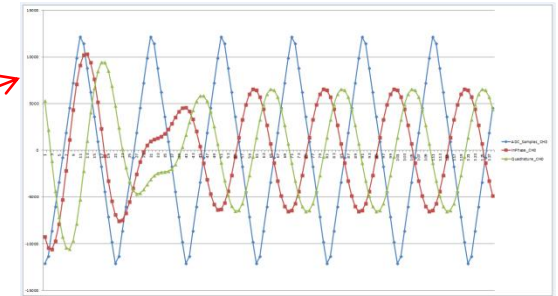
IF Sampled



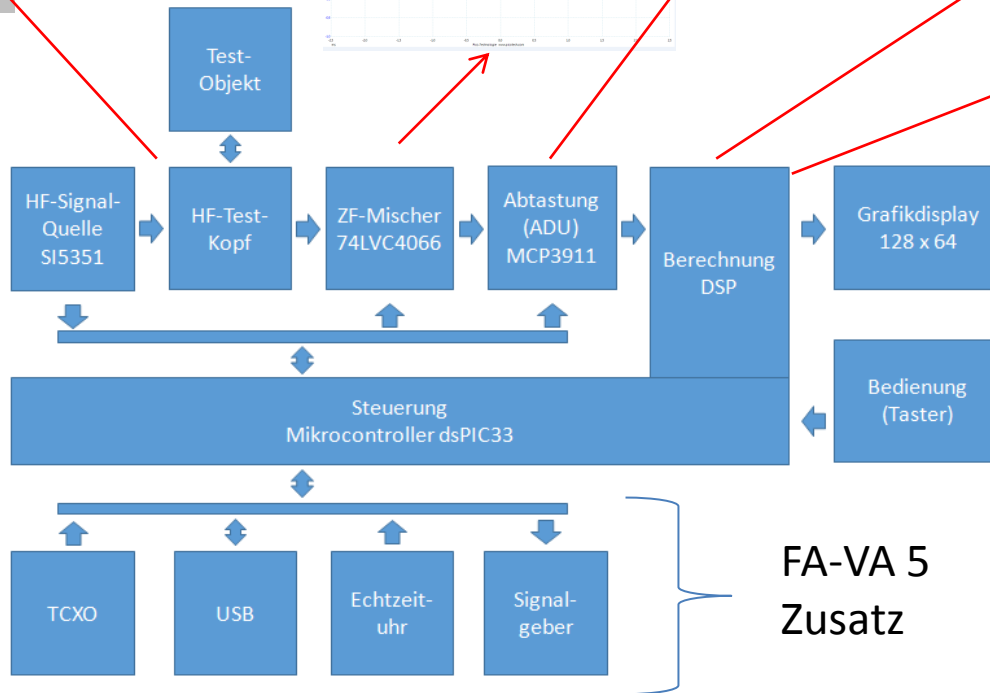
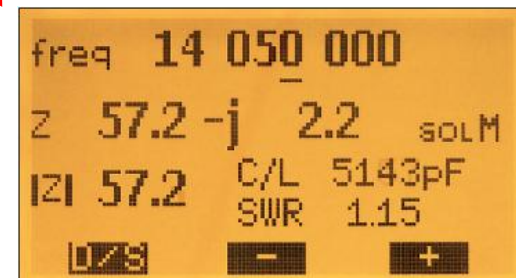
Digitales Filter
(Bandpass und Hilbert)



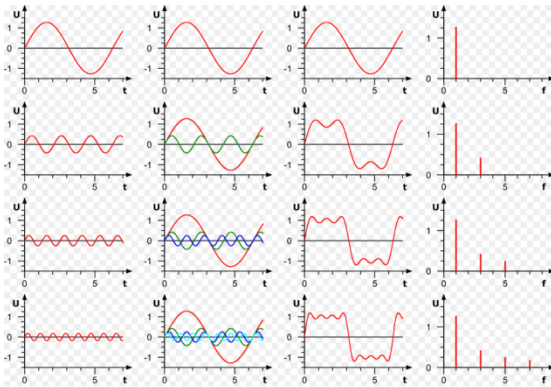
Signale nach Filterung



Berechnung Phase und Spannungsverhältnis



Mischung von Rechecksignalen auf Grund- und Oberwellen



Eingangssignal Mischer $\omega=2\pi f$

$$u(\omega_s t) = \frac{1}{2} U_b + \frac{2A_0}{\pi} \left(c_1 \cos(\omega_s t + \varphi_{u1}) - \frac{1}{3} c_2 \cos(3\omega_s t + \varphi_{u2}) + \frac{1}{5} c_3 \cos(5\omega_s t + \varphi_{u3}) \dots \right)$$

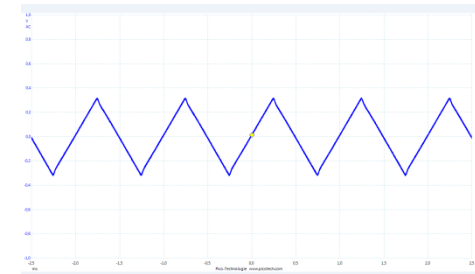
LO-Signal Mischer

$$v(\omega_0 t) = \frac{1}{2} U_b + \frac{2}{\pi} \left(\cos(\omega_0 t + \varphi_{L1}) - \frac{1}{3} \cos(3\omega_0 t + \varphi_{L2}) + \frac{1}{5} \cos(5\omega_0 t + \varphi_{L3}) \dots \right)$$

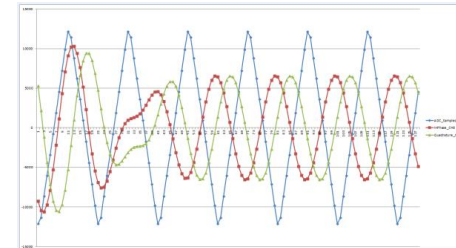
Ergebnis der Mischung/Multiplikation

	$\frac{1}{2} U_b$	$+\frac{2A_0}{\pi} c_1 \cos(\omega_s t + \varphi_{u1})$	$-\frac{2A_0}{\pi} \frac{1}{3} c_2 \cos(3\omega_s t + \varphi_{u2})$	$+\frac{2A_0}{\pi} \frac{1}{5} c_3 \cos(5\omega_s t + \varphi_{u3})$...
$\frac{1}{2} U_b$	$\frac{1}{4} U_b^2$	$+\frac{2A_0}{2\pi} U_b c_1 \cos(\omega_s t + \varphi_{u1})$	$\dots 3\omega_s t$	$\dots 5\omega_s t$...
$+\frac{2}{\pi} \cos(\omega_0 t + \varphi_{L1})$	$\dots \omega_0 t$	$+\frac{4A_0}{2\pi^2} c_1 [\cos((\omega_s + \omega_0)t + \varphi_{u1} + \varphi_{L1}) + \cos((\omega_s - \omega_0)t + \varphi_{u1} - \varphi_{L1})]$	$\dots (3\omega_s + \omega_0)t$ $\dots (3\omega_s - \omega_0)t$	$\dots (5\omega_s + \omega_0)t$ $\dots (5\omega_s - \omega_0)t$...
$-\frac{2}{\pi^3} \cos(3\omega_0 t + \varphi_{L2})$	$\dots 3\omega_0 t$	$\dots (\omega_s + 3\omega_0)t$ $\dots (\omega_s - 3\omega_0)t$	$+\frac{4A_0}{2^3 \pi^2} c_2 [\cos((3\omega_s + 3\omega_0)t + \varphi_{u2} + \varphi_{L2}) + \cos((3\omega_s - 3\omega_0)t + \varphi_{u2} - \varphi_{L2})]$	$\dots (5\omega_s + 3\omega_0)t$ $\dots (5\omega_s - 3\omega_0)t$...
$+\frac{2}{\pi^5} \cos(5\omega_0 t + \varphi_{L3})$	$\dots 5\omega_0 t$	$\dots (\omega_s + 5\omega_0)t$ $\dots (\omega_s - 5\omega_0)t$	$\dots (3\omega_s + 5\omega_0)t$ $\dots (3\omega_s - 5\omega_0)t$
...

Signal Ausgang Mischer nach Tiefpass (AA-Filter)

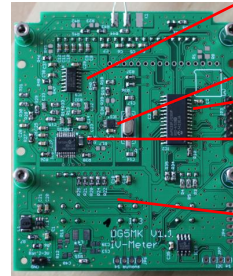


Signal nach IF – Bandpass und Hilbert-Filter



Besonderheiten FA-VA 4 und FA-VA 5

- Ungewöhnliche Bauteile erzielen exzellentes Preis-Leistungsverhältnis und hohe Reproduzierbarkeit



74 LVC 4066 Analog Switch als Mischer

CMOS Taktgenerator SI 5351

16-Bit DSP Microcontroller

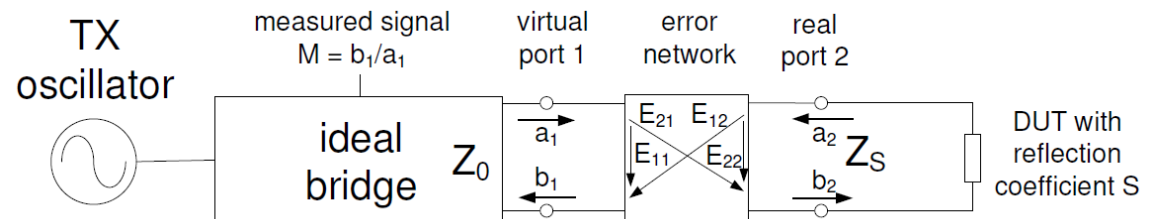
24-Bit ADC MCP3911

Bis auf Schaltregler KEINE Induktivitäten

- SOL-Kalibrierung liefert hohe Genauigkeit



Prinzip: Fehlerbehaftetes Messbrücke wird durch ideale Messbrücke und bestimmbares Fehlernetzwerk (per SOL) ersetzt.



Fehler rausrechnen statt vermeiden!

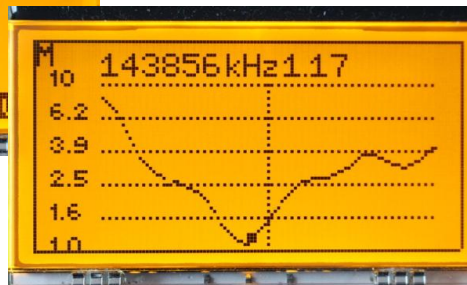
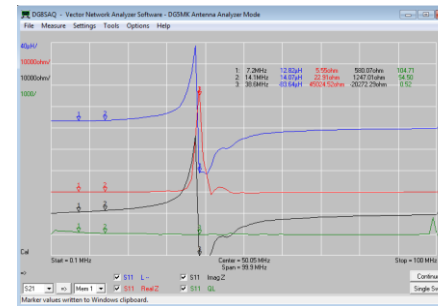
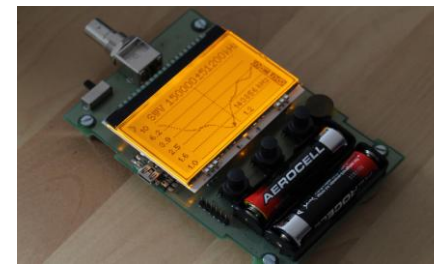
- Auslegung auf niedrigen Stromverbrauch in Hard- und Software (40 mA Z-Modus)

- Klein und leicht, großes Display, einfach zu bedienen

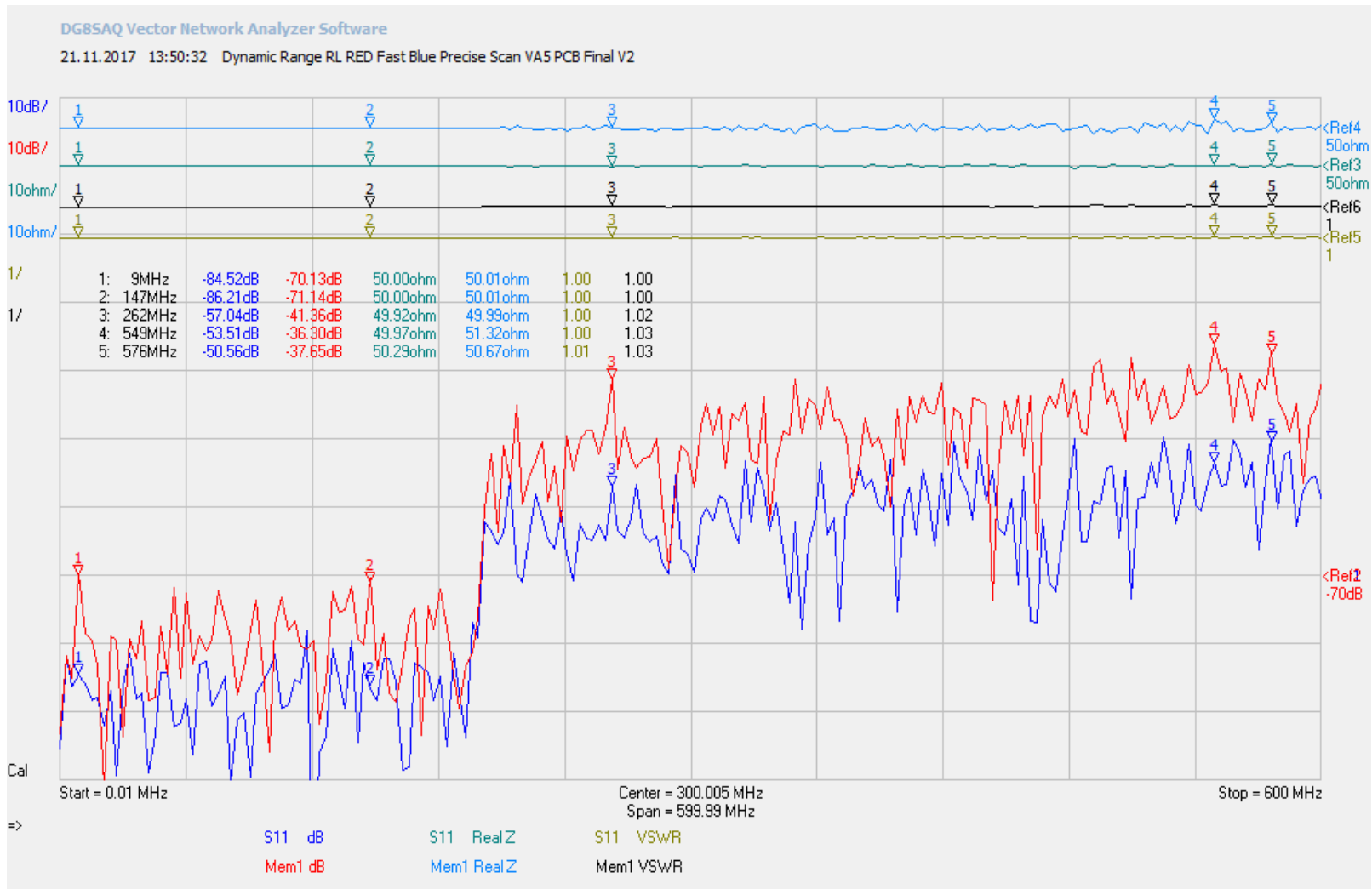
- Einfacher Bausatz für reproduzierbare, gute Messergebnisse

Neuerungen FA-VA 5

- 0,01... 600 MHz (200... 600 MHz reduzierte Genauigkeit)
- USB-Interface und Anbindung an VNWA
- RTCC, umfangreiche Speichermöglichkeiten
- Akustischer SWV-Modus
- TCXO 0.5 ppm
- Noch weniger Stromverbrauch (neuer Prozessor)
- Geringere Abmessungen
- Viele Verbesserungen in der Software:
 - Neues Menüsystem
 - Aktuelle-Kalibrierung für Sweeps
 - Echtzeituhr, Personalisierung
 - Wählbare DSP-Modi
 - Bezugsimpedanz wählbar (25, 50, 75 Ohm)
 - Impedanzmodell wählbar (seriell vs. parallel)
 - Z-Anzeigebereiche wählbar (200, 400, 800 Ohm)

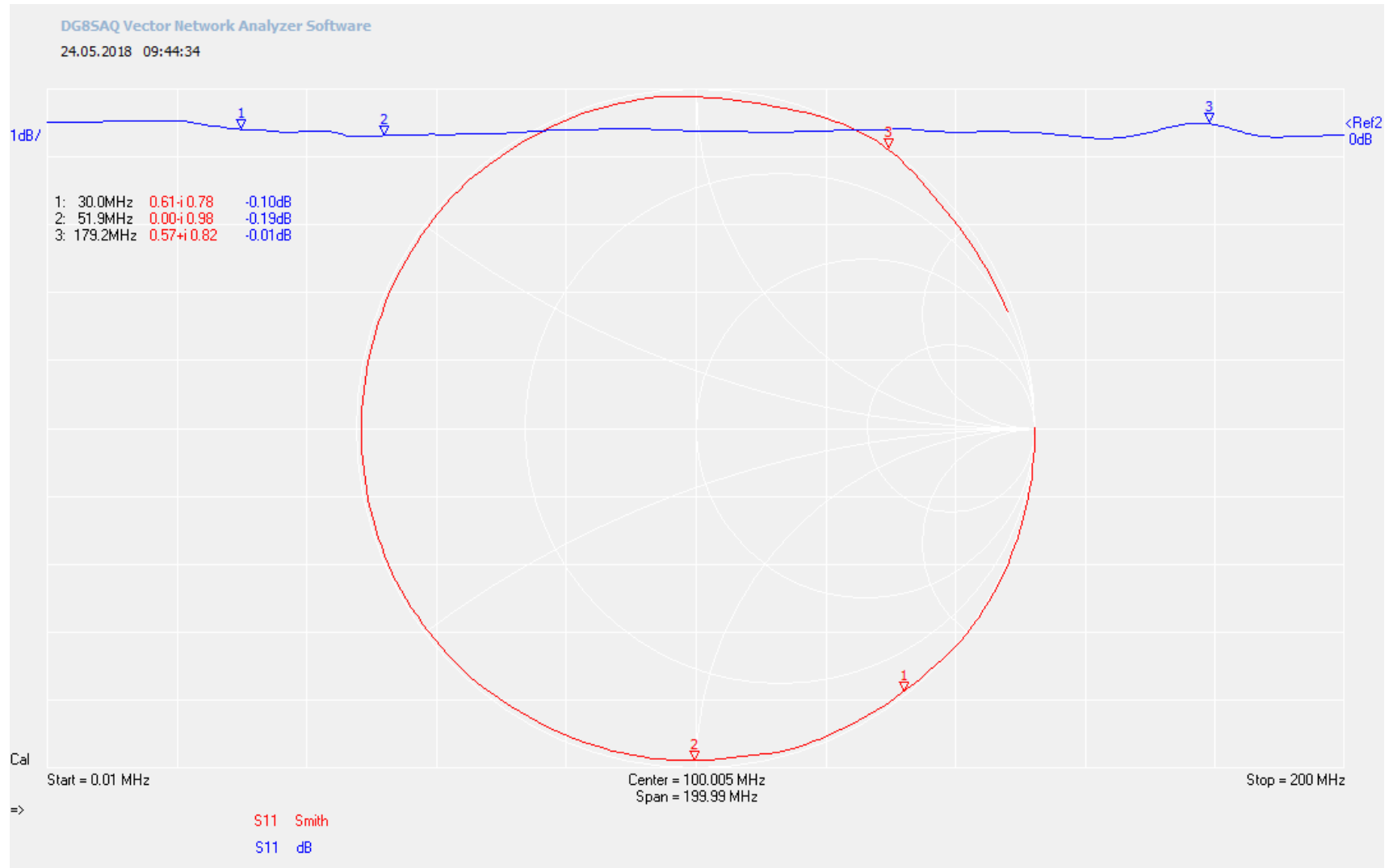


Messgenauigkeit FA-VA 5 nach (sorgfältiger) SOL-Kalibrierung



Dynamik-Bereich Rückflusdämpfung 80 dB bis 200 MHz, 50 dB 200... 600 MHz!

Gute Linearität des FA-VA 5 bis 200 MHz (Semi-Rigid offenes Ende)



Messgenauigkeit im Vergleich

Product Review

Mark J. Wilson, K1RO, k1ro@arrl.org

A Look at Four Antenna Analyzers

Table 1
Antenna Analyzer Feature Comparison

Analyzer	Price	Range MHz	SWR	Z	X	Sign of X	AA Batt	Exter Powe
Comet CAA-500	\$420	1.53-259 273-508	1-6	Yes	No	N/A	6	Yes
MFJ-266	\$320	1.5-71 85-185 300-490	1-9.9	Yes	Yes	No	β	Yes
RigExpert AA-54	\$320	0.1-54	1-10	Yes	Yes	Yes	2	Yes
Youkits FG-01	\$249	1-60	1-9	Yes	No	No	3***	Yes

Table 2
Impedance and SWR Measurements [continued]

Load	Frequency	Comet CAA-500	MFJ-266	RigExpert AA-54	Youkits FG-01	Agilent 4291B (reference)¹
200 Ω (4:1 SWR)	3.5 MHz	225 Ω (3.8:1)	160-j94 Ω (4.4:1)	197.8-j1.7 Ω (4.0:1)	205 Ω (4.0:1)	201-j1.2 Ω
	14 MHz	225 Ω (3.8:1)	149-j107 Ω (4.6:1)	195.0-j26.1 Ω (4.0:1)	205 Ω (4.0:1)	201-j4.8 Ω
	28 MHz	220 Ω (3.8:1)	144-j104 Ω (4.5:1)	187.5-j50.3 Ω (4.0:1)	205 Ω (4.0:1)	200-j9.4 Ω
	50 MHz	210 Ω (3.7:1)	132-j100 Ω (4.3:1)	164.2-j83.4 Ω (4.2:1)	195 Ω (4.0:1)	199-j16 Ω
	144 MHz	175 Ω (4.1:1)	72-j93 Ω (4.3:1)	—	—	189-j45 Ω
	223 MHz	125 Ω (4.8:1)	—	—	—	—
1000 Ω (20:1 SWR)	440 MHz	170 Ω (4.1:1)	— (3.8:1)	—	—	—
	3.5 MHz	—	—	883-j184 Ω (18.7:1)	—	998-j33 Ω
	14 MHz	—	—	505-j471 Ω (18.6:1)	—	981-j127 Ω
50 - j50 Ω (2.62:1 SWR)	28 MHz	—	—	202-j471 Ω (∞)	—	935-j230 Ω
	50 MHz	—	—	53-j270 Ω (∞)	—	825-j373 Ω
	3.5 MHz	70 Ω (2.5:1)	34-j39 Ω (2.6:1)	49.0-j46.1 Ω (2.5:1)	83 Ω (2.5:1)	50-j47 Ω
50 + j50 Ω (2.62:1 SWR)	14 MHz	75 Ω (2.8:1)	33-j51 Ω (3.5:1)	45.5-j51.5 Ω (2.8:1)	89 Ω (2.7:1)	48-j52 Ω
	28 MHz	70 Ω (2.5:1)	36-j45 Ω (2.8:1)	45.8-j46.9 Ω (2.6:1)	78 Ω (2.4:1)	51-j48 Ω
	3.5 MHz	80 Ω (2.6:1)	65+j54 Ω (2.6:1)	52.0+j50 Ω (2.6:1)	92 Ω (2.5:1)	52+j50 Ω
50 + j50 Ω (2.62:1 SWR)	14 MHz	75 Ω (2.5:1)	51+j51 Ω (3.0:1)	55.8+j48.1 Ω (2.4:1)	92 Ω (2.5:1)	53+j48 Ω

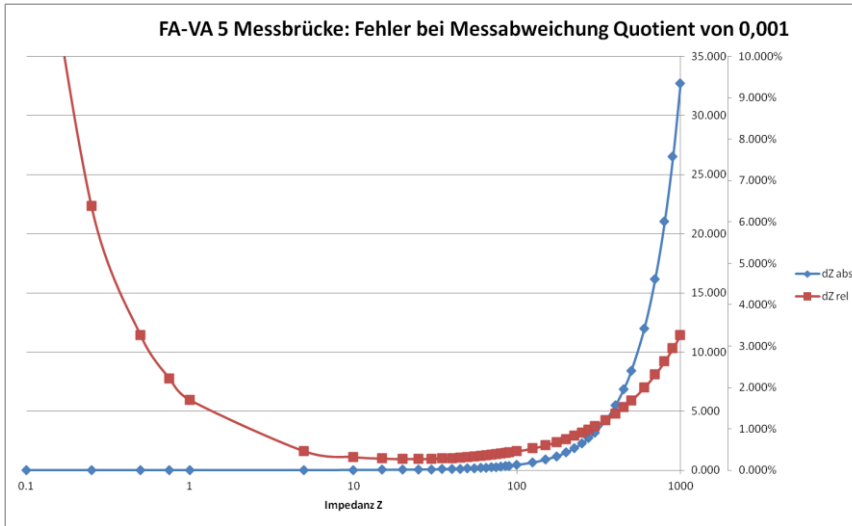
Mit größeren Impedanzen haben viele Analysatoren Probleme...

FA-VA 4 Messungen:

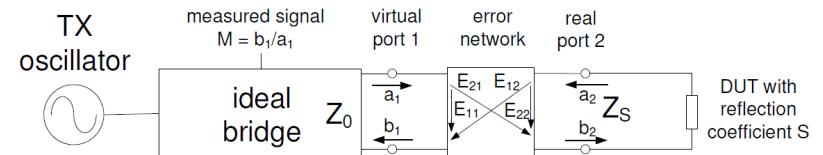
Measurement (after SOL f):	Accuracy: 1-2% 2-10% >10%													
	Nominal/VNWA RFID @ f ta		Measured 3,5 MHz		Measured 14 MHz		Measured 28 MHz		Measured 50 MHz		Measured 100 MHz			
	x	iy	delta / %x:	delta / %y:	delta / %x:	delta / %y:	delta / %x:	delta / %y:	delta / %x:	delta / %y:	delta / %x:	delta / %y:		
50 Ohm 1:1 SWR	50	0	0.0%	50.0	0.0	0.0%	50.0	0.0	0.0%	50.0	-0.1	0.2%	49.9	0.4
5 Ohm 10:1 SWR	5	0	0.0%	5.0	0.0	0.0%	5.0	0.1	2.0%	4.9	0.3	0.0%	5.0	0.9
25 Ohm 2:1 SWR	25	0	0.4%	24.9	0.3	0.4%	24.9	1.0	0.8%	24.8	2.4	0.4%	24.9	8.2
100 Ohm 2:1 SWR	100	0	0.4%	99.6	0.4	0.3%	99.7	1.7	0.3%	99.7	3.3	0.0%	100.0	11.8
200 Ohm 4:1 SWR	200	0	0.0%	200.0	0.6	0.0%	200.0	2.3	0.5%	199.0	5.3	-0.5%	201.0	15.5
1000 Ohm 20:1 SWR	1000	0	0.3%	997.0	0.4	0.3%	997.0	-2.0	1.4%	986.0	4.7	1.2%	988.0	-7.8
1000 pF 49,9 Ohm	49.9	-45.9	-0.2%	50.0	0.0%	-45.9	na	na	na	na	na	na	na	na
200 pF 49,9 Ohm	49.8	-50.3	na	na	-1.2%	50.4	-1.0%	-50.8	na	na	na	na	na	na
120 pF 49,9 Ohm	50	-44.7	na	na	na	na	na	1.4%	49.3	0.7%	-44.4	na	na	na
1,6 uH 49,9 Ohm	50.1	34.7	-0.4%	50.3	0.3%	34.6	na	na	na	na	na	na	na	na
0,6 uH 49,9 Ohm	50.4	55.4	na	na	-1.0%	50.9	0.9%	54.9	na	na	na	na	na	na
0,3 uH 49,9 Ohm	50.3	49.8	na	na	na	na	na	na	-0.4%	50.0	1.8%	48.9	na	na

Noch höhere Genauigkeit für Experten: RRR-Kalibrierung

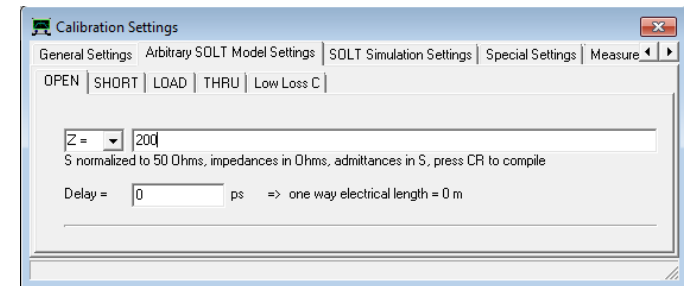
Brückenmesskopf hat höchste Genauigkeit nahe der Systemimpedanz, beim FA-VA 5 bei 25 Ohm.



SOL-Kalibrierung bei 2 Punkten der geringsten Genauigkeit (SO), aber Fehlernetzwerk lässt sich auch über RRR (3 Widerstände) bestimmen



Umsetzung per VNWA...



RRR-Kalibrierung mit 5, 15, 200 Ohm führt zu erheblich besseren Messwerten über einen weiten Bereich.

Messung @ 10 MHz:		5		10		15		50		100		200		1000	
	dRel	dRel	dRel	dRel	dRel	dRel	dRel	dRel	dRel	dRel	dRel	dRel	dRel	dRel	dRel
SOL L=50	4.48	10.40%	9.52	4.80%	14.57	2.87%	50	0.00%	100.57	-0.57%	201.6	-0.80%	1014.89	-1.49%	
SOL L=15	4.39	12.20%	9.69	3.10%	15	0.00%	52.17	-4.34%	105.27	-5.27%	211.24	-5.62%	1062.33	-6.23%	
5/200/15	5.02	-0.40%	9.98	0.20%	15	0.00%	50.1	-0.20%	100.17	-0.17%	199.95	0.03%	994.8	0.52%	

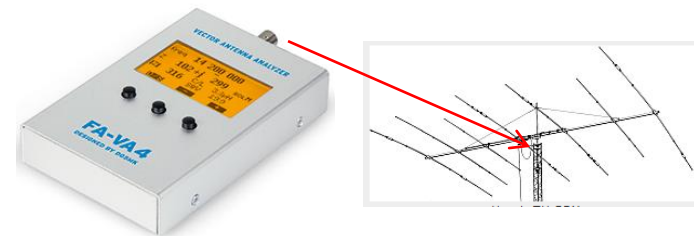
Einfache Anwendung: Messung Antenne SWV und Impedanz

Messung über Kabel an
Fußpunkt = Messung
Gesamtsystem (wie TRX)



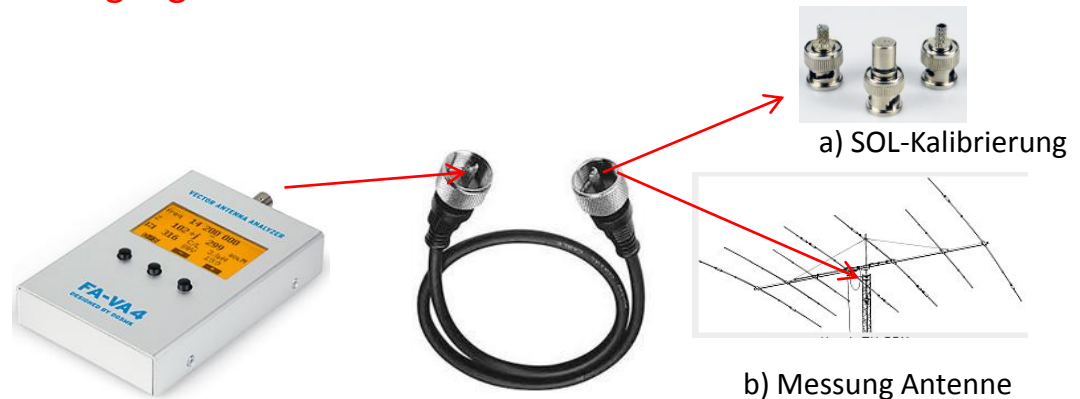
Aber: Das Kabel kann die Messungen verändern, da es die Antennenimpedanz transformiert

Besser Messung am
Fußpunkt der Antenne



Aber: Nicht immer praktikabel bei unzugänglichen Antennen

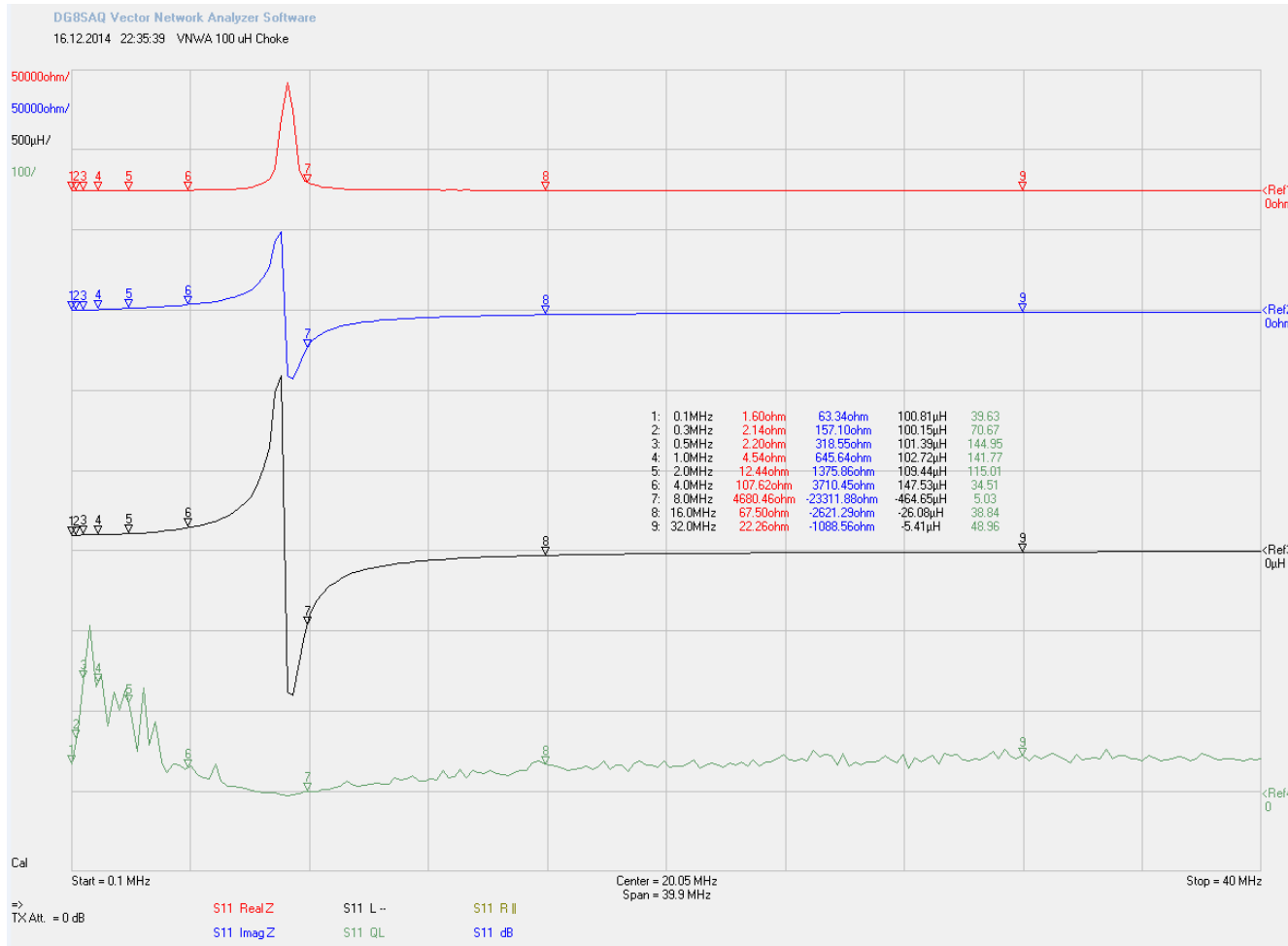
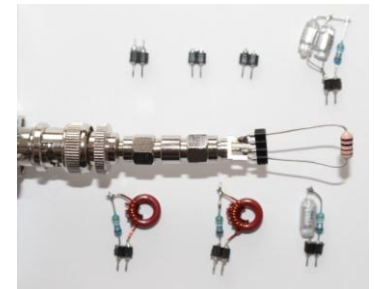
Alternative: Einbeziehung
des Kabels über SOL-
Kalibrierung



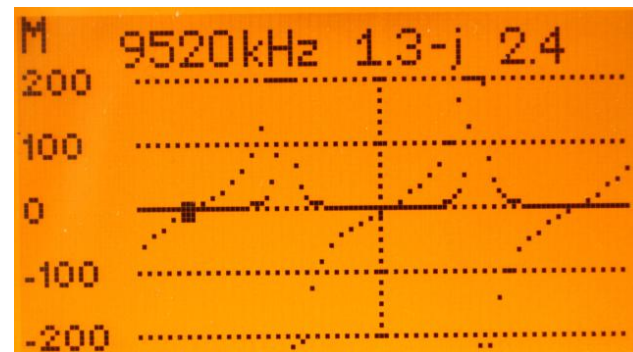
Weitere Alternative: Messung über Kabel und Verlagerung der Messebene per Port-Extension!

Einfache Anwendung: Messung Induktivität / Kapazität

Messung von C und L sind bei der Zielfrequenz durchzuführen, da nicht konstant!



Einfache Anwendung: Bestimmung von Kabellängen



Test mit 5 m BNC Kabel RG58, offenes Ende, Verkürzungsfaktor 0,66:

- $\lambda/4$ Resonator bei $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}$ usw. der Wellenlänge (siehe Bedienungsanleitung)

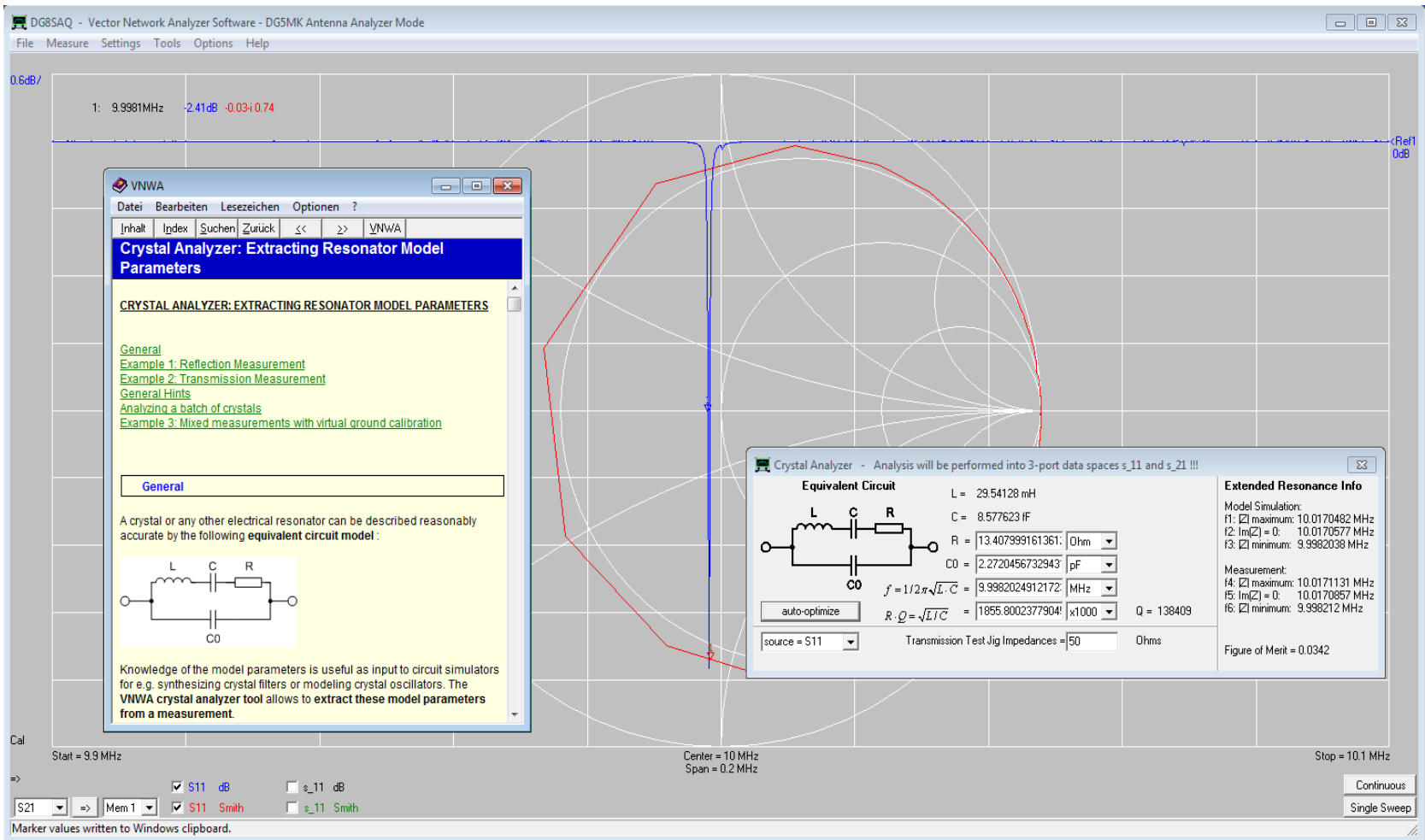
-Bei $\lambda/4$ ist der Scheinwiderstand = 0, hier erstmals bei 9520 kHz

$$l = \frac{v}{f} \cdot N$$

l = Lichtgeschwindigkeit * Verkürzungsfaktor / Resonanzfrequenz * N (N = $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}$,)

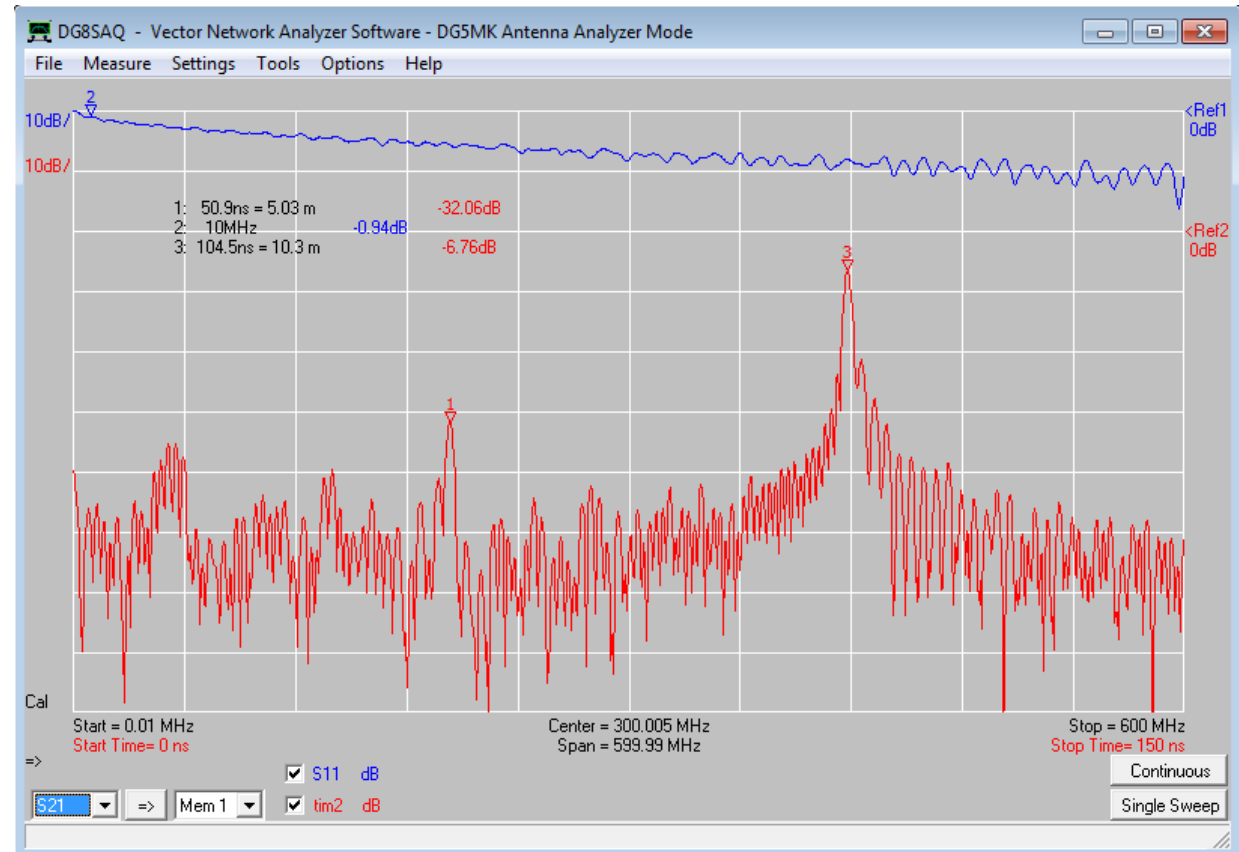
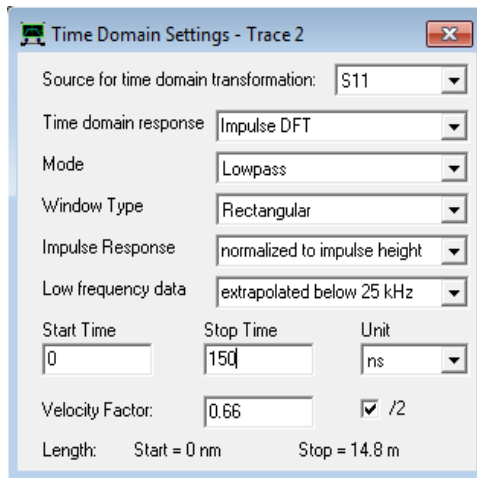
$l = 300000 \text{ km/s} * 0,66 / 9,52 \text{ MHz} * \frac{1}{4} = 5,2 \text{ m}$

Fortgeschrittene Anwendung: Quarzanalyse mit VNWA



10 MHz-Quarz vermessen und mit VNWA-Quarz-Analysator charakterisieren

Fortgeschrittene Anwendung: Zeitbereichsanalysen mit VNWA



2 Kabel a 5 Meter RG58, mit BNC-Kupplung verbunden, Ende offen:
Dämpfung des Kabels (4,7 dB/100m @ 10 MHz) und ‚Störstellen‘ sind direkt ermittelbar.

Zusammenfassung

Der FA-VA 4 / FA-VA 5 ist ein preislich attraktives, hochwertiges Messgerät für Einsteiger und Fortgeschrittene, klein, mobil, benutzerfreundlich und sollte in keinem Shack fehlen!



Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen und Anregungen gerne unter:
dg5mk@darcd.de



Weitere Informationen:

- Knitter, M., DG5MK: Vektorieller 100-MHz-Antennenanalysator für jedermann (1). FUNKAMATEUR 66 (2017) H. 3, S. 246-249
- Knitter, M., DG5MK: Vektorieller 100-MHz-Antennenanalysator für jedermann (2). FUNKAMATEUR 66 (2017) H. 4, S. 360-363
- Baier, Prof. Dr. T.: VNWA Software. <http://www.sdr-kits.net>
- Knitter, M., DG5MK: Vektorieller Antennenanalysator FA-VA 5 für 10 kHz bis 600 MHz (1). FUNKAMATEUR 67 (2018) H. 4, S. 322 - 326
- Knitter, M., DG5MK: Vektorieller Antennenanalysator FA-VA 5 für 10 kHz bis 600 MHz (2). FUNKAMATEUR 67 (2018) H. 5, S. 436 - 441
- Knitter, M., DG5MK: www.dg5mk.de