



# Vektorieller Antennenanalysator FA-VA4

Bausatz für einen einfach zu bedienenden, vektoriell messenden Antennenanalysator für den Frequenzbereich von 100 kHz bis 100 MHz



## Bau- und Bedienungsanleitung

Erstes Update  
8/2017



# Vektorieller Antennenanalysator FA-VA4

## FA-LESERSERVICE

*Funkamateure, die ihre Antennen selbst bauen, wissen den Wert eines vektoriell messenden Antennenanalysators zu schätzen. Das hier als Bausatz vorliegende Gerät zeichnet sich durch hohe Genauigkeit, geringe Abmessungen und einfache Handhabung aus. Es ermöglicht Zweipolmessungen im Frequenzbereich von 100 kHz bis 100 MHz in Bezug auf eine Systemimpedanz von 50  $\Omega$ .*

Experimente mit Antennen machen für viele Funkamateure einen wesentlichen Teil des Hobbys aus. Die Messung des Stehwellenverhältnisses (SWV) und die Bestimmung der Impedanzwerte gehören untrennbar dazu. Ersteres lässt sich beim Senden mittels eines SWV-Meters abschätzen. Umfangreichere und genauere Daten erhält man jedoch mithilfe eines Antennenanalysators. Gute Geräte sind allerdings teuer, preisgünstige meist unpräzise.

Der FA-VA4 schließt diese Lücke. Er wurde von Michael Knitter, DG5MK, entwickelt und in [1] vorgestellt. Es handelt sich hierbei um ein vollwertiges, vektoriell messendes Gerät für den Frequenzbereich von 100 kHz bis 100 MHz (Tabelle 1).

Vektorielle Messung bedeutet, dass im Gegensatz zu einer skalaren nicht nur das SWV ermittelt und angezeigt wird, son-

dern auch der Wert der Fußpunktimpedanz einschließlich des vorzeichenbehafteten Imaginärteils.

Die aus dem professionellen Bereich stammende sogenannte *SOL-Kompensation* dient zur Kalibrierung des Geräts und erlaubt präzise Messungen in unterschiedlichen Konfigurationen. Auf dem Grafikdisplay des FA-VA4 lassen sich die komplexe Impedanz, das Stehwellenverhältnis, die Kapazität und die Induktivität darstellen.

Der Bausatz FA-VA4 besteht aus einer SMD-bestückten Platine, dem Grafikdisplay einschließlich Hintergrundbeleuchtung sowie einigen mechanischen Bauteilen wie Steckverbinder, Tastschalter, Schiebeschalter, Batteriehalterung sowie bearbeitetem und bedrucktem Gehäuse. Der Mikrocontroller auf der Platine ist bereits programmiert.

Die Anforderungen des Aufbaus sind auch von Einsteigern gut zu bewältigen, wenn sauber gearbeitet wird und die entsprechenden Hinweise der Bauanleitung Beachtung finden.

Das erste Update (Ende August) der Anleitung beinhaltet ein kleine Verbesserungen der Beschreibung, die wir nach Anwenderhinweisen für erforderlich halten, um künftig Unsicherheiten und damit verbundene Nachfragen zu vermeiden.

Neu ist insbesondere, dass wir ab 23. 8. 2017 einen einfachen SOL-Satz mitliefern. Hochwertige Abschlusswiderstände kann man auf [2] optional erwerben.

Zum Einspielen von Firmware-Updates muss der Analysator eingeschickt werden, es sei denn, Sie nutzen eine der großen Veranstaltungen (Ham Radio, UKW-Tagung oder Funktag Kassel), um am FA-Stand ein Update vornehmen zu lassen.

# Bauanleitung

Für den Aufbau werden folgende Werkzeuge und Hilfsmittel benötigt:

- temperaturgeregelter Lötkolben 60 ... 80 W mit Bleistiftlötspitze, Lötzinn 0,5 ... 1 mm mit Flussmittelseele,
- 100-W-Lötkolben mit meißelförmiger Lötspitze,
- Elektronik-Seitenschneider,

- Flachzange,
- Schlitz-Schraubendreher,
- Kreuzschlitz-Schraubendreher,
- zwei 1,5-V-Batterien AA (Mignon) zur Stromversorgung.

Vor der Bestückung der Platine sollte der Inhalt des Bausatzes mit der Stückliste im Anhang (S. 21) verglichen werden.



Bild 1: Ansicht eines fertig aufgebauten FA-VA4 im ausgeschalteten Zustand

## ■ Bestückung der Platine

Bild 2 zeigt den Bestückungsplan, in dem die wenigen, noch aufzulötenden Bauteile eingezeichnet sind. **Sie sind ausschließlich auf der Oberseite zu bestücken**, also dort, wo sich bereits die sechspolige Stiftleiste der Programmierschnittstelle befindet.

Als Erstes wird zweckmäßigerweise der Schiebeschalter S4 an der Stirnseite der Platine bestückt. Er sollte mit seiner Unterseite auf der Platine aufliegen, sein

### Tabelle 1: Technische Daten

Frequenzbereich	0,1 ... 100 MHz (Auflösung: 1 Hz)
Genauigkeit	$\leq 2\%$ ( $f \leq 50$ MHz)
Messergebnis	vollständiger Impedanzwert
Messbereichsgrenzen*	$s \leq 100, Z \leq 1000 \Omega$
Messeingang	50 $\Omega$ , BNC
Ausgangsspannung	$U_{SS} \approx 1$ V an 50 $\Omega$
Spannungsvorsorgung	2 x 1,5-V-Batterie LR6
Stromaufnahme	49 mA** (110 mA)
Gehäuseabmessungen	137 mm x 90 mm x 25 mm (L x B x H)
Masse	290 g inkl. Batterien

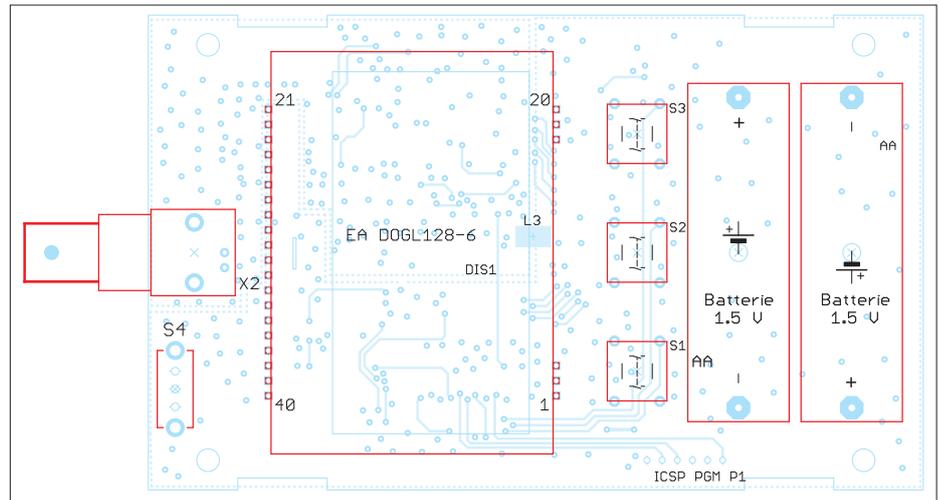
\* Messungen darüber hinaus mit geringerer Genauigkeit möglich

\*\* Mittelwert ohne Beleuchtung bei 100 MHz und 50  $\Omega$  Lastwiderstand, Spitzenwert in Klammern

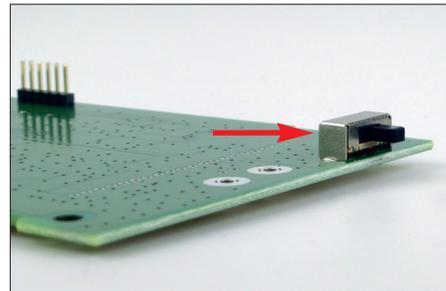
Betätigungsstift muss waagrecht in Bezug auf die Platinenoberfläche stehen (Bild 3). Am einfachsten gelingt dies, wenn zunächst einer der Lötstifte des Schalters provisorisch angelötet wird. Danach lässt sich der Schalter bei gleichzeitigem Erwärmen der Lötstelle noch bequem ausrichten. Wenn er schließlich die richtige Einbaulage hat, werden alle Anschlüsse sowie die beiden Gehäusefahnen verlötet.

Es folgen die drei Buchsenleisten zur Kontaktierung des LC-Displays. Diese müssen mit der Unterkante des Kunststoffkörpers auf der Platine aufsitzen und senkrecht stehen (Bild 4). Anstelle der 20-poligen Buchsenleiste können dem Bausatz auch zwei 10-polige beiliegen. Diese sind dann entsprechend nebeneinander zu setzen.

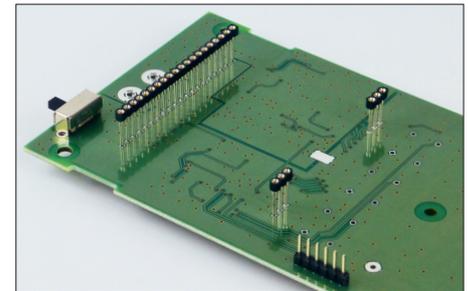
Das Display lässt sich bei der Ausrichtung der Buchsenleisten gut als Lehre benutzen. **Es darf beim Aufsetzen des Displays nur leichter Druck ausgeübt werden**, damit sich die Kunststoffteile der dreipoligen Buchsenleisten nicht verschieben und das Display deshalb später schief sitzt. (Wer die Möglichkeit hat, genau nachzumessen: Die Unterkante der aufgesetzten Displayeinheit muss einen umlaufend gleichmäßigen Abstand von 11,15 ... 11,2 mm von der Platinenoberfläche haben.)



**Bild 2: Bestückungsplan des FA-VA4 mit den noch aufzulötenden Bauteilen**



**Bild 3: In korrekter Position aufgelöteter Schiebeshalter**



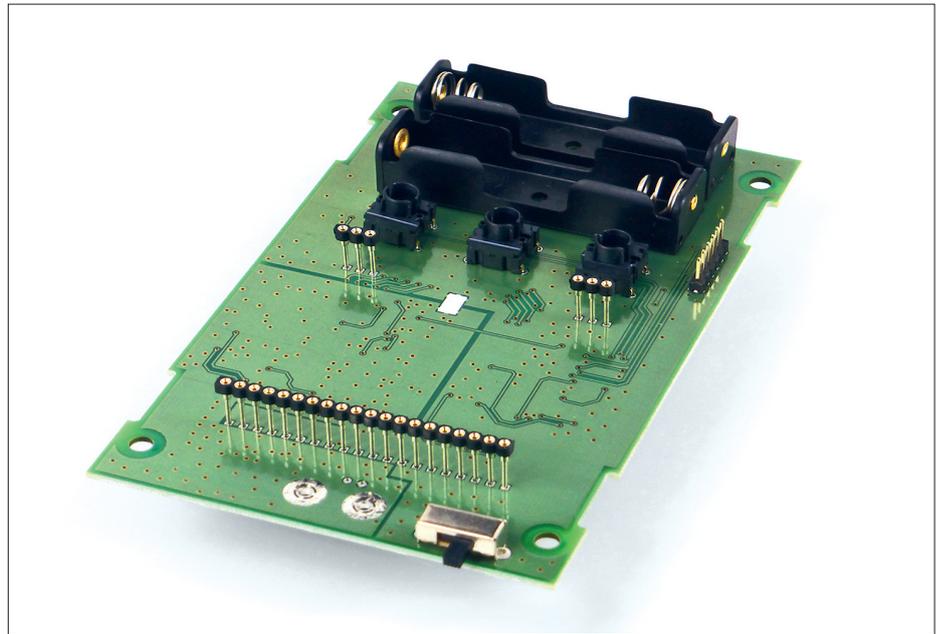
**Bild 4: Die drei Buchsenleisten dienen zur Kontaktierung des Displays.**

Danach werden die drei Tastschalter und die beiden Batteriehalterungen bestückt. Alle müssen mit ihrer Gehäuseunterkante auf der Platine aufliegen (Bild 5), d.h. beim Löten ist ggf. eine ausgleichende Unterlage zu verwenden, da die Buchsenleisten höher sind.

Die beiden Batteriehalter sind polaritätsrichtig einzulöten, der Federkontakt ist der Minuspol (Bild 5). Die Lötanschlüsse der Batteriehalterungen bestehen aus Federstahl. Bitte einen entsprechend robusten Seitenschneider zum Kürzen verwenden! Zum Schluss ist die BNC-Buchse auf die Platine zu löten. Sie muss bündig aufsitzen sowie waagrecht und im rechten Winkel zur Platinkante ausgerichtet sein. Die beiden Massestifte sind auf der Platineunterseite mit dem 100-W-LötKolben zu verlöten. Das Lot muss dabei gut fließen, um kalte Lötstellen zu vermeiden. Gleichzeitig sollte die Lötzeit relativ kurz gehalten werden, damit die Isolation im Inneren der Buchse nicht beschädigt wird (Bild 8). Die dünnen Anschlüsse sollten nach dem Einlöten gekürzt werden, um Kurzschlüsse mit dem Gehäuse zu vermeiden.

### *Display*

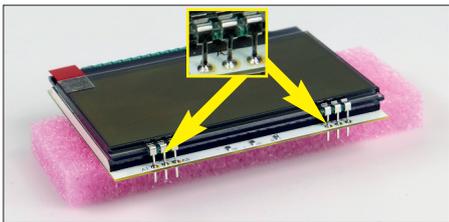
Zur Messwertanzeige dient ein grafisches LC-Display mit LED-Hintergrundbeleuch-



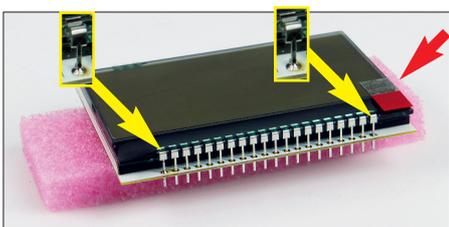
**Bild 5: Bestückte Tastschalter und Batteriehalterungen**

tung. Beide Komponenten werden bereits als Einheit zusammengefügt geliefert und sind nur noch teilweise zu verlöten. Das Display muss dazu bündig auf der LED-Hintergrundbeleuchtung aufsitzen, sodass kein Zwischenraum bleibt. Anschließend sind alle sechs Anschlüsse der beiden dreipoligen Displaykontakte auf der Oberseite

der Hintergrundbeleuchtung zu verlöten, ebenso die beiden äußeren Anschlüsse der 20-poligen Kontaktleiste (Bilder 6 und 7). Es empfiehlt sich, beim Löten eine passende Unterlage unter dem Display zu benutzen, um es bündig auf der Beleuchtungseinheit zu fixieren.



**Bild 6:** Display mit Hintergrundbeleuchtung; hier die Seite mit den sechs Anschlüssen, die von oben verlötet werden müssen.



**Bild 7:** Blick auf die 20-polige Kontaktleiste des Displays nach dem Zusammenbau. Nur die beiden äußeren Pins sind von oben zu verlöten.

An der roten Lasche muss man ziehen, um die Schutzfolie von Display zu entfernen.



**Bild 8:** Schiebeschalter in Stellung Aus

Die auf der Glasoberfläche des Displays noch vorhandene Schutzfolie ist erst vor dem Zusammenbau des Gehäuses ab-zuziehen.

**Wenn man dies vergisst, sieht man einen schwarzen Strich auf dem Display. Diesen haben einige schon als Fehler angesehen und das Display reklamiert!**

### *Funktionstest*

Vor dem Einbau der Platine in das Gehäuse ist ein kurzer Funktionstest angebracht. Dazu werden zunächst die drei Kappen auf die Tastschalter gedrückt und das zuvor montierte Display auf die entsprechenden Buchsen gesteckt. Der Schiebeschalter ist in Aus-Stellung zu bringen (Bild 8). Anschließend sind zwei 1,5-V-Batterien polaritätsrichtig einzulegen und das Gerät mit dem Schiebeschalter einzuschalten.

Auf dem Display muss nun kurz der Begrüßungstext erscheinen, der FA-VA4 schaltet danach in den Messmodus. Sollte das Display leer bleiben, sind die Lötstellen aller zuvor absolvierten Aufbausritte sorgfältig zu prüfen und ggf. nachzuarbeiten.

Wenn alles in Ordnung ist, werden der Schiebeschalter wieder auf Aus gestellt und die Batterien aus den Halterungen genommen. Die vollständig aufgebaute Platine ist in Bild 9 zu sehen.

### *Einbau ins Gehäuse*

Als Erstes sind die vier Gummifüße von der Unterseite her in die Gehäuseunter-schale einzusetzen. Dazu ist es hilfreich, mit der Flachzange am dünnen Gummi-nippel auf der Innenseite zu ziehen und den Gummifuß etwas zu drehen. Anschlie-ßend sind die überstehenden Gummi-nippel mit dem Seitenschneider auf 2 bis 3 mm zu kürzen, sodass sie später beim Festschrauben der Platine nicht stören können.

Die Platine wird nun mit der Buchse voran in die Gehäuse-Unterschale eingesetzt, die vier Zylinderschrauben M3×4 sind an den Ecken der Platine nur locker einzudrehen. Danach ist die BNC-Buchse mithilfe der beigelegten Mutter samt untergelegter Zahnscheibe zu verschrauben. Anschlie-ßend werden die vier Befestigungsschrau-ben der Platine festgezogen.

Nach dem polaritätsrichtigen Einlegen der Batterien wird der Gehäusedeckel aufge-  
setzt und mit vier Senkschrauben M3×4 befestigt. Zum Schluss das mitgelieferte Typenschild auf die Unterseite des Gehäuses kleben.

Der FA-VA4 ist nun schon betriebsbereit und kann bereits unkalibriert genutzt wer-den.

## Allgemeine Hinweise zum Betrieb

Der Antennenanalysator FA-VA4 kann bereits unmittelbar nach dem Zusammenbau als Messgerät betrieben werden. Er arbeitet dann im unkalibrierten Modus und die angezeigten Ergebnisse sind mit einem höheren Fehler behaftet als dies nach einer korrekten Kalibrierung der Fall ist. Dieser Modus kann auch später über das Menü *Einstellungen* gezielt eingeschaltet werden, wenn z. B. Zweifel an der Gültigkeit der gespeicherten Kalibrierdaten bestehen.

### ■ Warnhinweise

Der FA-VA4 ist ein empfindliches Messgerät. **Es darf keine HF-Energie an die Messbuchse gelangen, um die Bauelemente am Eingang nicht zu zerstören!** Dies könnte z. B. geschehen, wenn bei angeschlossener Antenne in unmittelbarer Nähe gesendet wird. Ebenso müssen statische Aufladungen von der Messbuchse ferngehalten werden. Isolierte Antennenstrukturen sind deshalb vor dem Anschluss zu entladen, indem sie geerdet bzw. gegen Masse kurzgeschlossen werden.

**Akkumulatoren sollten in den FA-VA4 nicht eingesetzt werden**, da kein elektronischer Schutz vor Tiefentladung integriert ist und keine Lademöglichkeit im

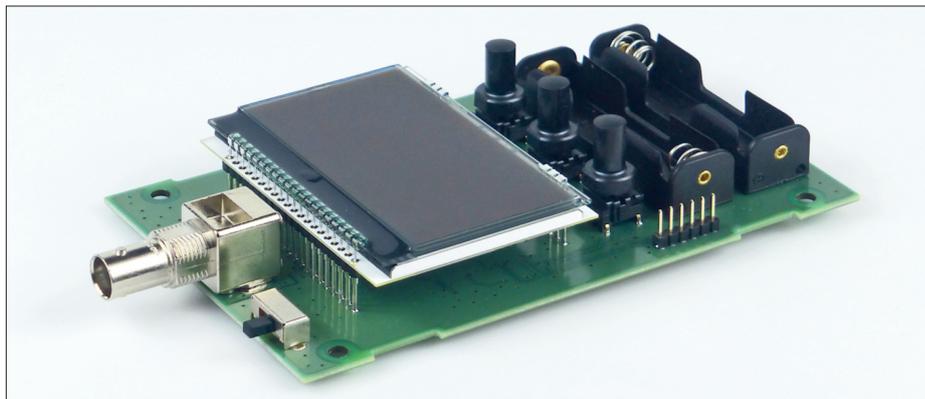


Bild 9: Vollständig aufgebaute Platine des FA-VA4

Gerät existiert. Tiefentladungen machen Akkumulatoren unbrauchbar oder sogar zerstören. Austretende Flüssigkeit kann auch das Gerät erheblich beschädigen.

Der FA-VA4 so ausgelegt, dass die Energie der 1,5-V-Alkaline-Zellen optimal genutzt wird. Verbrauchte Zellen sollte man unbedingt herausnehmen.

Um eine möglichst lange Batterielaufzeit zu erreichen, empfiehlt es sich, die Beleuchtung nur dann zu nutzen, wenn anderenfalls das Ablesen des Displays nicht möglich ist. Bei Tageslicht bzw. im Freien genügt meist die Anzeige ohne Hintergrundbeleuchtung.

Die Anzahl der Mess- bzw. Anzeigeyklen sollte nur so hoch gewählt werden, dass eine für die betreffende Messung als ausreichende Wiederholrate entsteht. Beide Parameter haben erheblichen Einfluss auf die Stromaufnahme und damit auf die Lebensdauer der Batterien. Sie lassen sich im Menü *Einstellungen* verändern.

BNC-Stecker sollten nach dem Einrasten des Bajonettverschlusses vorsichtshalber leicht hin und her gedreht werden, um die Kontaktgabe zu verbessern. Anderenfalls kann es unter Umständen zu „unerklärlichen“ Messfehlern kommen.

# Bedienungsanleitung

Obwohl der FA-VA4 über einen relativ großen Funktionsumfang verfügt, ist die Bedienung weitgehend intuitiv möglich. Deshalb hat die folgende Anleitung eher den Charakter eines Nachschlagewerks.

Die allgemeinen Betriebshinweise im vorangegangenen Abschnitt sind jedoch in jedem Fall zu beachten.

Das Gerät kann durch falsches Drücken von Tasten nicht zerstört werden, sondern liefert dann schlimmstenfalls unerwartete oder fehlerhafte Messergebnisse. Weniger erfahrenen Nutzern ist deshalb zu empfehlen, anhand eines Messobjekts mit bekannten Daten die Arbeitsweise des Antennenanalysators schrittweise durch Ausprobieren unterschiedlicher Mess- und Anzeigemodi zu erkunden und bei auftretenden Unklarheiten diese Anleitung zu Rate zu ziehen.

Für präzise Messungen ist das Thema Kalibrierung (*SOL-Kompensation*) bedeutsam. Es ist daher als eigenständiger Abschnitt der Funktionsbeschreibung vorangestellt.

Der Antennenanalysator arbeitet nach folgendem Messprinzip: Ein interner Oszillator erzeugt ein Signal mit definierter

Frequenz, welches über die Ausgangsbuchse des Geräts an das Testobjekt (z. B. Antenne) geleitet wird. Aufgrund der elektrischen Eigenschaften des Testobjekts wird das Testsignal in Amplitude und Phase verändert. Diese Änderung wird ausgewertet, um die Impedanz des Testobjektes zu bestimmen. Alle anderen Werte (z. B. SWV) werden vom eingebauten Mikrocontroller mathematisch aus der Impedanz abgeleitet.

## ■ Bedienungselemente und Anschlüsse

Einzigster Anschluss des Analysators ist die Messbuchse. Für die Bedienung stehen der Ein-/Ausschalter und drei Tasten zur Verfügung.

Alle eingestellten Parameter werden gespeichert. Daher befindet sich der Analysator nach dem Einschalten stets im selben Messmodus wie vor dem Ausschalten.

Die drei Tasten haben je nach aktuellem Mess- oder Bedienmodus unterschiedliche Funktionen. Zumeist wird über die linke Taste eine Funktion aufgerufen oder eine Auswahl durchgeführt. Mittlere und rechte dienen der Verringerung oder Erhöhung

von Zahlenwerten oder aber der Bewegung durch Menülisten. Die aktuell gültigen Funktionen werden im Display oberhalb der Tasten angezeigt.

Längerer Druck auf die linke Taste ruft im Messmodus den Menümodus auf. Danach erlauben mittlere und rechte Taste, einen Menüpunkt auszuwählen, der dann mit der linken Taste auswähl- bzw. aktivierbar ist. Die weiteren Funktionen der Tasten werden in den entsprechenden Folgeabschnitten erläutert.

## *Einschalten des Analysators*

Nach dem Einschalten des FA-VA4 wird auf dem Display der Begrüßungstext angezeigt, darunter die Firmware-Version und rechts daneben die aktuelle Batteriespannung. Die Werkseinstellung der Menüsprache ist *Englisch*. Um die folgenden Beschreibungen einfacher nachvollziehen zu können, empfiehlt es sich, die Menüsprache auf *Deutsch* umzuschalten. Dazu sind folgende Tastenbetätigungen erforderlich: D/S ( $\geq 3$  s)  $\rightarrow$  *Operating Mode*  $\rightarrow$  11  $\times$  Dwn  $\rightarrow$  *Setup* (Sel)  $\rightarrow$  3  $\times$  Dwn  $\rightarrow$  *Language* (Sel)  $\rightarrow$  2  $\times$  Dwn  $\rightarrow$  *German* (Sel).

## ■ Kalibrierung (SOL-Kompensation)

Jeder zusätzliche Stecker und jedes Kabel beeinflusst die Impedanzmessung am Testobjekt. Dieser ungewollte Einfluss lässt sich jedoch vollständig durch die *Short-Open-Load*-Methode (abgekürzt SOL-Methode) kompensieren.

Dabei werden anstelle des Testobjekts zunächst drei Referenzelemente gemessen. *Short* stellt einen Kurzschluss, *Open* ein offenes Kabelende und *Load* einen Widerstand in Höhe der Systemimpedanz dar (in unserem Fall 50 Ω). Diese Messreferenzen mit akzeptabler Genauigkeit können z. B. mithilfe von drei BNC-Koaxialkabelsteckern (50 Ω) problemlos selbst hergestellt werden.

Beim *Short*-Referenzelement sind Innenleiter und Steckergehäuse kurzgeschlossen, beim *Open*-Element bleibt der Stift des Innenleiters unbeschaltet (s. dazu S. 21) und beim *Load*-Element liegt ein kleiner 50-Ω-Metallschichtwiderstand zwischen Innenleiter und Gehäuse des Steckers.

Wenn man dem mitgelieferten Abschlusswiderstand (Bild 10 Mitte) nicht vertraut, kann man bei [2] hochwertige Alternativen bestellen.

Nach Abschluss der Kalibrierung werden

die ermittelten Werte automatisch im Analysator gespeichert, sodass bei anschließender Messung des Testobjektes die korrekte Impedanz ermittelt wird.

Der Analysator kennt zwei unterschiedliche Modi der SOL-Kompensation.

### *SOL für alle Frequenzen*

Menügesteuert ist es möglich, SOL-Referenzwerte für den gesamten Messbereich dauerhaft abzuspeichern. Dabei durchläuft der Analysator zunächst mit angeschlossenem *Short*-Referenzelement den gesamten Frequenzbereich und speichert die ermittelten Messwerte. Derselbe Vorgang wiederholt sich für angeschlossene *Open*- und *Load*-Referenzelemente. Empfehlenswert ist es, diese Basiskompensation für den eingebauten Stecker, ein permanent angeschlossenes Kabel oder einen permanent angeschlossenen Messaufbau einmalig nach Inbetriebnahme (oder zwischendurch bei Bedarf) durchzuführen. Danach ist die jederzeitige Messung eines Testobjekts ohne weitere Kompensationsmaßnahme möglich. Der Analysator verwendet diese Referenzwerte stets als Standard (Master-Kompensation), insbesondere bei allen Mehrfrequenz-Messungen. Diese Funktion ist über *Betriebsmodus* → *Einstellungen* → *SOL Alle Frequenzen* erreichbar (Bild 12).

**Achtung!** Der gesamte Vorgang dauert einige Minuten, lässt sich aber abbrechen. In diesem Fall können jedoch inkonsistente Referenzwerte entstehen, sodass diese Kalibrierung unbedingt bei nächster Gelegenheit wiederholt werden sollte.



**Bild 10:** Der Bausatz enthält einen Satz Referenzelemente: einen 50-Ω-Abschlusswiderstand aus chinesischer Produktion (Mitte) sowie zwei BNC-Koaxialkabelstecker zur Anfertigung der *Short*- und *Open*-Referenzelemente (s. S. 21).

Unter der Bestell-Nr. BX-240-L kann man auf [2] einen hochwertigen 50-Ω-Abschlusswiderstand von Telegärtner bestellen. Alternativ ist auch der 50-Ω-Abschlusswiderstand BNC-TRM von Mini-Circuits® lieferbar.



Bild 11: Menüpunkt zur SOL-Kompensation für eine Frequenz



Bild 12: Die Master-SOL-Kompensation (für alle Frequenzen) wird im Untermenü *Einstellungen* gestartet.

### SOL-Kompensation für eine einzelne Frequenz

Für alle Einzelfrequenz-Messungen ist es darüber hinaus möglich, eine SOL-Kompensation für die aktuelle Frequenz durchzuführen (*Betriebsmodus* → *SOL Eine Frequenz*, siehe Bild 11).

Der Vorgang entspricht der zuvor beschriebenen Methode, betrifft jedoch nur die aktuell eingestellte Frequenz und läuft deshalb recht schnell ab. Damit ist es möglich, temporäre Änderungen des Messaufbaus oder der Parameter infolge von Temperatur- oder anderen Einflüssen schnell und unkompliziert zu kompensieren.

Wenn eine besonders hohe Messgenauigkeit benötigt wird, ist es ratsam, eine solche Kompensation vor jeder Messung durchzuführen.

**Wichtig!** Verändert man die Messfrequenz des Analysators, werden die ermittelten SOL-Referenzwerte für die aktuelle Frequenz geräteintern als ungültig erklärt und stattdessen bei der nächsten Messung die Standardwerte der Master-Kompensation verwendet.

Welche Referenzwerte aktuell benutzt werden, ist aus der Display-Anzeige ersichtlich. So wird in Bild 18 bei der SWV-Messung die Master-Kalibrierung verwendet, erkennbar am Kürzel *solM* rechts neben der Balkenanzeige. Nach Einzelfrequenzkalibrierung stünde an dieser Stelle *solF*, auf eine unkalibrierte Messung weist *sol-* hin.

## ■ Erläuterung der Menüs

Mithilfe der linken Taste (*D/S*) wird der Menümodus aufgerufen (Taste lange drücken). Dann ergeben sich Einstellmöglichkeiten gemäß Tabelle 2 und Tabelle 3 (Bilder 13 bis 17).

## ■ Betriebsmodus

Der Betriebsmodus ermöglicht die Auswahl der in der Messpraxis am häufigsten benötigten Mess- und Anzeigeeinstellungen.

### *Einzelfrequenz-Messung des SWV*

Angezeigt werden die aktuelle Messfrequenz (*freq*), das Stehwellenverhältnis (SWV), der Wirkwiderstand der Impedanz (Formelzeichen *Z*), der Blindwiderstand der Impedanz (+j/-j), das SWV als Balkendarstellung und die aktuell verwendeten Referenzwerte der SOL-Kompensation (*solM* für Master-Kalibrierung, *solF* für Kalibrierung auf aktueller Frequenz oder *sol-* für unkalibrierten Betrieb).

**Tabelle 2: Einstellmöglichkeiten im Betriebsmodus des FA-VA4**

Menüpunkt	Bedeutung
Zurück	Rückkehr in den vorherigen Messmodus
SOL Eine Frequenz	SOL-Kompensation bei aktueller Frequenz
SWV Eine Frequenz	SWV-Messung bei aktueller Frequenz
Z Eine Frequenz	Impedanzmessung bei aktueller Frequenz
SWV Ein Durchlauf	Einzelner Durchlauf zur SWV-Messung im angegebenen Frequenzbereich
Z Ein Durchlauf	Einzelner Durchlauf zur Impedanzmessung im angegebenen Frequenzbereich
SWV 5 Frequenzen	SWV-Messung auf 5 Frequenzen (5-Band-Messung)
SWV Zyklischer Durchlauf	Zyklischer SWV-Messdurchlauf
Z Zyklischer Durchlauf	Zyklischer Durchlauf zur Impedanzmessung
Frequenz-Generator	HF-Generator-Modus
Speicher-Ansichten	Ansicht gespeicherter Messergebnisse (Display-Inhalte)
Einstellungen	Aufruf des Menüs <i>Einstellungen</i> (siehe Tabelle 3)

Nach Aufruf des Menüs *Einstellungen* stehen im Einstellmodus folgende Optionen zur Auswahl:

**Tabelle 3: Einstellungsmodus des FA-VA4**

Menüpunkt	Bedeutung
Zurück	Rückkehr in den Messmodus
SOL Alle Frequenzen	SOL-Kompensation über den gesamten Frequenzbereich (Master-Kalibrierung)
5 Band Frequenzen	Festlegung der Frequenzwerte zur 5-Band-Messung
Sprache	Auswahl der Menüsprache
Beleuchtung	Einstellung der Anzeigebeleuchtung
Korrektur-Frequenz	Kalibrierung der internen Referenzfrequenz
Anzeigen-Zyklus	Festlegung der Wiederholrate der Messungen
Werkseinstellungen	Rücksetzung aller Einstellungen auf den Auslieferungszustand

Mithilfe der drei Tasten ist die aktuelle Messfrequenz einstellbar. Mit der linken Taste wird die zu verändernde Stelle der Frequenz ausgewählt (*D/S*), erkennbar am Unterstrich bzw. Positionszeiger. Mit der mittleren oder rechten Taste wird der Wert der Ziffernstelle verringert (-) oder erhöht (+).

Für eine evtl. Kompensation (*SOL Eine Frequenz*) ist ggf. die entsprechende Funktion im Menü *Betriebsmodus* zu selektieren (siehe Abschnitt *Kalibrierung*). Nach Erfassung der Referenzwerte kehrt der Analysator in den aktuellen Messmodus zurück (Bild 18).



Bild 13: Betriebsmodus, erster Teil



Bild 16: Einstellungsmodus, erster Teil



Bild 14: Betriebsmodus, zweiter Teil



Bild 17: Einstellungsmodus, zweiter Teil



Bild 15: Betriebsmodus, dritter Teil

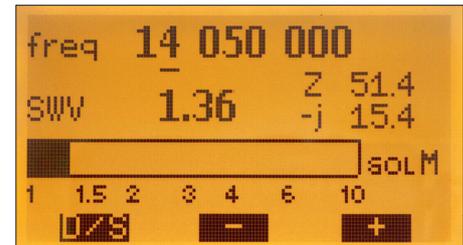


Bild 18: Einzelfrequenz-Messung SWV

### Einzelfrequenz-Messung Impedanz

Angezeigt werden die aktuelle Messfrequenz (*freq*), die komplexe Impedanz nach Wirkwiderstand und Blindwiderstand, der Scheinwiderstand der Impedanz (*|Z|*), die entsprechende Induktivität/Kapazität des Testobjekts, das SWV und die aktuell verwendeten Referenzwerte der SOL-Kompensation (siehe Abschnitt *Kalibrierung*). Hinsichtlich und SOL-Kompensation gelten die Ausführungen des Abschnitts *Einzelfrequenz-Messung SWV* (Bilder 19, 21).

### Einzelner SWV-Messdurchlauf

Alle Mehrfrequenz-Messungen haben drei unterschiedliche Modi, welche über die linke Taste selektiert werden und in der linken oberen Ecke des Displays mit einem Symbol gekennzeichnet sind.

1. **< (Kleiner-Zeichen)**: Übersicht und Einstellung der Mittenfrequenz. Es wird das SWV über der Frequenz angezeigt. Zusätzlich deutet ein kleines Rechteck auf der SWV-Kurve auf die Position des Markers (siehe Modus **M**). Die mittlere vertikale Linie entspricht der angezeigten Mittenfrequenz (hier 7950 kHz). Der Gesamtfrequenzbereich erstreckt sich links und rechts entsprechend der gewählten Frequenzspanne (hier  $\pm 3200$  kHz). Über die mittlere und rechte Taste

kann die Mittenfrequenz um jeweils 100 kHz verringert oder erhöht werden. Gleichzeitig wird bei jedem Tastendruck ein neuer Messzyklus über den definierten Frequenzbereich angestoßen.

2. **> (Größer-Zeichen)**: Übersicht, Markerwerte und Einstellung der Frequenzspanne. Es wird wieder das SWV über der Frequenz angezeigt. Zusätzlich deutet das kleine Rechteck auf der SWV-Kurve auf die Position des Markers (siehe Modus **M**). Mithilfe der mittleren und rechten Taste kann die Frequenzspanne jeweils um den Faktor 2 erhöht oder verringert werden (innerhalb des verfügbaren Frequenz- bzw. Messbereichs). Gleichzeitig wird bei jedem Tastendruck ein neuer Messzyklus über den definierten Frequenzbereich gestartet. Der Messwert bei der Markerfrequenz wird rechts unten im Display eingeblendet.

3. **M (Marker-Zeichen)**: Ansicht und Einstellung der Markerwerte über vorherige Frequenzspanne. Es wird die ausgewählte Frequenz des Markers und das zugehörige SWV angezeigt (ohne Randwertbegrenzung). Der Marker selbst ist wiederum als ein kleines Rechteck auf der SWV-Kurve dargestellt. Mithilfe



Bild 19: Einzelfrequenz-Messung Impedanz



Bild 20: Einzelner Durchlauf zur Impedanzmessung



Bild 21: Einzelner Durchlauf zur SWV-Messung



Bild 22: Marker auf 7900 kHz

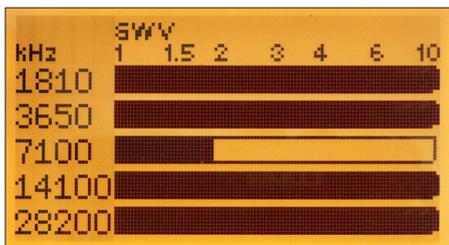


Bild 23: SWV-Messung auf fünf Frequenzen

der mittleren und rechten Taste kann nunmehr der Marker entlang der vorher durchgeführten Messkurve, in insgesamt 100 Schritten, bewegt werden.

Im Gegensatz zu Modus < und > wird bei Tastendruck kein neuer Messzyklus angestoßen, sondern lediglich die veränderte Markerposition einschließlich des dazugehörigen Messwerts angezeigt. Die vor dem Umschalten in den Modus M ermittelten Messwerte wurden „eingefroren“ und können jetzt mithilfe des Markers „abgefahren“ werden. Eine neue Messwertaufnahme findet erst wieder beim Umschalten in den Modus < oder > statt.

Die Kombination dieser drei Modi erlaubt es somit, auf einfache Weise Zielfrequenzbereiche bei Messungen „anzufahren“, einzugrenzen und bestimmte Werte an relevanten Stellen abzufragen.

Zur internen SOL-Kompensation verwendet das Gerät immer die Referenzwerte aus der Masterkalibrierung.

### Einzelner Durchlauf zur Impedanzmessung

Angezeigt werden der Wirkwiderstand (durchgezogene Kurve) und der Blindwiderstand (gestrichelte Kurve) über der Frequenz. Alle weiteren Anzeigen und Bedienungsmöglichkeiten entsprechen den Ausführungen im vorherigen Abschnitt.

### SWV-Messung auf fünf Frequenzen (5-Band-Messung)

Angezeigt werden fünf SWV-Werte im Balkendiagramm für fünf unterschiedliche Frequenzen. Deren Werte lassen sich über den Menüpunkt *Einstellung der Frequenzwerte zur 5-Band-Messung* im Einstellungsmodus definieren. Es besteht keine weitere Bedienungsmöglichkeit in diesem Messmodus. Mit diesem Messmodus lassen sich z.B. die Auswirkungen vorgenommener Änderungen an Mehrbandantennen praktisch zeitgleich erfassen. Die interne SOL-Kompensation wird immer unter Verwendung der Referenzwerte aus *SOL für alle Frequenzen* durchgeführt (Bild 23).

## Zyklischer Durchlauf zur SWV- bzw. Impedanzmessung

Hier wiederholen sich die zuvor beschriebenen Messdurchläufe fortlaufend, ohne dass ein Eingriff des Benutzers erforderlich ist. Die Bedienung ist ebenso wie bei den Einzeldurchläufen zur Messung von SWV und Impedanz.

## HF-Generator

Der FA-VA4 arbeitet jetzt als HF-Generator mit einem rechteckförmigen Ausgangssignal an der Messbuchse. Dessen Spitzenspannung beträgt etwa  $1 V_{SS}$  an  $50 \Omega$ . Angezeigt wird die aktuelle Signalfrequenz (Bild 24). Ihre Einstellung geschieht mithilfe der drei Tasten (Wahl der zu ändernden Dezimalstelle mit *D/S*, Wert verringern mit *-* und Wert erhöhen mit *+*).

## Ansicht gespeicherter Messergebnisse

In allen Messmodi besteht die Möglichkeit, eine Ansicht der aktuellen Anzeige zu speichern (Display-Inhalt). Dazu sind linke und rechte Taste gleichzeitig kurz zu drücken.

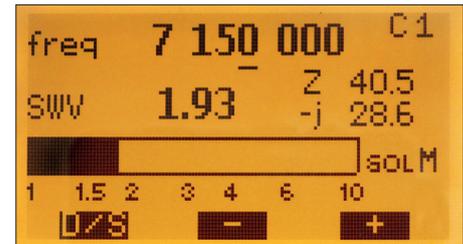
Im anschließenden Menü kann über die mittlere (*Ab*) und rechte Taste (*Auf*) eine von fünf Speicherstellen (0...4) eingestellt und mit der linken Taste (*Sel*) selektiert werden.

Das Speichern dauert einige Sekunden, da sämtliche Pixel des Displayinhalts in den EEPROM übertragen werden. Vorher gespeicherte Ansichten des selektierten Speicherplatzes werden dabei überschrieben.

Um sich diese Ansichten anzusehen, ist der Menüpunkt *Speicher Ansichten* (*Betriebsmodus* → *Speicher Ansichten*) auszuwählen. Mithilfe der Plus- und Minustaste kann der entsprechende Anzeigespeicher selektiert werden. Die Einblendung *C0* bis *C4* am rechten oberen Rand des Displays ermöglicht die Identifikation des Bildes. Nicht belegte Plätze werden komplett leer dargestellt. Die linke Taste *D/S* ermöglicht die Rückkehr in den vorherigen Messmodus (Bild 25).



**Bild 24:** Displayanzeige beim Betrieb des FA-VA4 als HF-Generator; die Frequenz ist mithilfe der drei Tasten einstellbar.



**Bild 25:** Gespeicherter Displayinhalt; oben rechts ist die Nummer des Speicherplatzes einblendend (hier C1).



**Bild 26:** Einstellung der Frequenz  $f_1$ , rechts ist das Kürzel *Eig* zu sehen; betätigt man jetzt die Plus- oder Minustaste, wird der Frequenzwert für  $f_2$  angezeigt und kann verändert werden, ebenso gelangt man zu  $f_3$  usw.



**Bild 27:** Einstellmöglichkeit der Menüsprache

## ■ Einstellungsmodus

Die folgenden Einstellungsmöglichkeiten sind in einem separaten Menü untergebracht, da sie in der Praxis seltener gebraucht werden. Sie sind über *Betriebsmodus* → *Einstellungen* erreichbar. Die mittlere und rechte Taste dienen zur Auswahl der entsprechenden Option, die linke selektiert die Auswahl. Der Analysator kehrt nach Änderung eines Parameters automatisch in den letzten Messmodus zurück.

### SOL Alle Frequenzen

Dieser Menüpunkt wurde bereits im Abschnitt *Kalibrierung (SOL-Kompensation)* behandelt.

### Frequenzwerte zur 5-Band-Messung

Nach Auswahl des Menüpunkts (*Betriebsmodus* → *Einstellungen* → *5 Band Frequenzen*) wird die Eingabe bzw. Änderung der ersten der fünf Frequenzen abgefragt ( $f_1$ ). Dazu wird mit der linken Taste (*D/S*) der Positionsanzeiger auf die zu ändernde Stelle des Frequenzwertes gesetzt und dieser ggf. mit der Plus- oder Minustaste korrigiert. Beim Sprung von der letzten Stelle links zur ersten Stelle rechts (1 Hz) erscheint das Kürzel *Eig* für *Eingabe*. Ein Druck auf die Plus- oder Minustaste führt

jetzt zum Speichern des eingestellten Wertes für  $f_1$  und zum Sprung zur Frequenzeingabe für  $f_2$ . Das Beschriebene wiederholt sich bis zur Frequenz  $f_5$  (Bild 26). Nach Bestätigung der letzten Frequenz kehrt der Analysator in den vorherigen Messmodus zurück.

### Sprache

Diese Option erlaubt die Auswahl der verwendeten Sprache in Menüs und Messwertanzeigen, möglich sind Deutsch oder Englisch (Bild 27).

## Displaybeleuchtung

Die Einstellmöglichkeiten sind *An*, *Aus* und *Automatik*. Bei Letzterer wird die Beleuchtung nach einiger Zeit ausgeschaltet, um bei einer erneuten Benutzeraktion (Tastendruck) wieder eingeschaltet zu werden. Empfohlen wird der Betrieb mit einer Anzeige ohne Beleuchtung oder aber im Automatik-Betrieb, da die Stromaufnahme der Beleuchtung von grafischen Anzeigen relativ hoch ist (Bild 28).

## Korrektur der Generatorfrequenz

Alle internen Frequenzwerte werden von einem 27-MHz-Quarz abgeleitet. Eine Abweichung von bis zu einigen hundert Hertz ist nicht ungewöhnlich und kann mittels Software kompensiert werden. Dazu ist zunächst im Modus Frequenz-Generator eine Frequenz von 27,000000 MHz einzustellen. Dann schließt man einen kalibrierten Frequenzzähler an die Ausgangsbuchse des Analysators an und ermittelt die Differenz zwischen gemessener und eingestellter Frequenz. Nach Auswahl des Menüpunkts *Korrektur-Frequenz* ist zunächst die linke Taste *D/S* zu betätigen. Anschließend wird der Wert für  $d_f$  mithilfe der mittleren und rechten Taste auf die er-

mittelte Differenz eingestellt (gemessene Frequenz abzüglich 27,000000 MHz). Die Taste *D/S* dient wieder zur Auswahl der Dezimalstelle. Wiederholtes Betätigen dieser Taste führt schließlich zur Anzeige des Kürzels *Eig*. Wird nun die Plus- oder Minustaste gedrückt, übernimmt der FA-VA4 den eingestellten Wert als Frequenzkorrekturbetrag. Danach sollte die Frequenz des Analysator-Ausgangssignals exakt der eingestellten entsprechen. Temperaturänderungen führen im Weiteren natürlich wieder allmählich zu Abweichungen der Quarzfrequenz, sodass eine solche Frequenzkorrektur hier an die Grenzen der Stabilität eines Quarzoszillators stößt. Bei Antennenmessungen sind jedoch Abweichungen von einigen Hundert Hertz oder auch wenigen Kilohertz in der Regel unkritisch, sodass die beschriebene Korrektur nur in seltenen Fällen nötig sein dürfte (Bild 29).



Bild 28: Einstellung der Displaybeleuchtung



Bild 29: Eingabemöglichkeit für den Korrekturbetrag der Frequenz



Bild 30: Der Anzeigenzyklus kann *langsam*, *mittel* oder *schnell* gewählt werden.



Bild 31: Dieser Menüpunkt erlaubt das Rücksetzen auf die Werkseinstellungen.

## Anzeigen-Zyklus

Für die Einzelfrequenzmessungen stehen die Optionen *langsam*, *mittel* und *schnell* zur Verfügung.

Die Auswahl hat keinen Einfluss auf die Messgenauigkeit, sehr wohl aber auf den Energiebedarf des Geräts. Außerhalb der Messzeit werden der Oszillator und andere Komponenten abgeschaltet, der Mikrocontroller wird auf einer niedrigeren Frequenz getaktet. Eine längere Anzeigedauer (Auswahl *langsam*) kommt einem niedrigeren Energiebedarf daher entgegen (Bild 30).

## Werkseinstellungen

Nach Auswahl des Menüpunkts und Bestätigung werden alle Parameter auf die Werkseinstellungen zurückgesetzt, die Master-Kalibrierung und alle gespeicherten Display-Ansichten werden aus dem EEPROM gelöscht (Bild 31).

## Zwangsrücksetzung (ohne Menüeintrag)

Sollte der (unwahrscheinliche) Fall eintreten, dass der Analysator plötzlich nicht mehr auf Bedieneingaben reagiert und sich dieser Zustand trotz einem Aus- und Einschalten nicht ändern, so kann auch ohne Menü eine Zwangsrücksetzung durchgeführt werden.

Dazu ist der Analysator auszuschalten. Dann sind alle drei Tasten gleichzeitig zu drücken und zu halten. Wird nunmehr der Einschalter betätigt, werden alle Parameter auf Werkseinstellungen zurückgesetzt und das Gerät sollte wieder wie gewohnt funktionieren. Gegebenenfalls sind Menüsprache, Beleuchtungs- und Frequenzeinstellungen zu korrigieren.

Die Zwangsrücksetzung löscht jedoch weder vorhandene Werte der Master-Kalibrierung, noch gespeicherte Display-Ansichten. Allerdings müssen ggf. vorhandene Werte der Master-Kalibrierung wieder als gültig deklariert werden. Dazu ist unter Betriebsmodus → *Einstellungen* → *SOL "An"* zu selektieren.

## ■ Tipps zur Messpraxis

Die Anwendungsmöglichkeiten der Messung einer komplexen Impedanz sind sehr vielfältig. Die nachstehend aufgeführten Messbeispiele können diese daher nur andeutungsweise behandeln. Weiterführende Erläuterungen der physikalischen und mathematischen Zusammenhänge sind der entsprechenden Fachliteratur zu entnehmen.

Es wird davon ausgegangen, dass mit oder ohne angeschlossenem Kabel (je nach Messaufbau) eine Master-Kalibrierung (*SOL Alle Frequenzen*) durchgeführt wurde. Wird der Messaufbau später verändert, z.B. durch Tausch des Kabels, ist die Kompensation erneut durchzuführen.

### *Messungen ganz allgemein*

Beim Messen an Antennen muss man sich bewusst sein, dass der FA-VA4 ein "aktives" Messgerät ist, das HF erzeugt und an die Antenne abgibt. Die Leistung an der BNC-Buchse beträgt etwa 3 dBm, was u.U. schon ausreicht, um andere Stationen zu stören.

**Daher sollte man die Dauer der Messungen so kurz wie möglich halten und Tests auf Frequenzen außerhalb der Amateurfunkbänder vermeiden.**

### *Mehrfrequenzmessung von Impedanz und SWV einer Antenne*

Die Antenne wird direkt am Fußpunkt oder über ein zuvor per SOL-Kompensation in die Kalibrierung einbezogenes Kabel an den Analysator angeschlossen.

Mithilfe der Mehrfrequenzmessung kann eine Übersicht des SWV- oder Impedanzverlaufs erzeugt werden. Dabei sind Mittenfrequenz und Frequenzspanne auf den zu messenden Bereich einzustellen. Über den Marker-Modus kann ein SWV-Minimum gezielt „angefahren“ werden.

Bei Antennen mit hoher Güte (z.B. Magnetantennen) ist erhöhte Aufmerksamkeit bei der Messung geboten. Die Maxima und Minima sind so schmal, dass sie je nach gewählter Frequenzspanne unter Umständen nicht dargestellt werden. Hier hilft nur, die Messfrequenz weiter einzuzugrenzen und die Spanne entsprechend zu verringern.

### *Messung von Impedanz und SWV einer Antenne bei einer Frequenz*

Die Antenne wird direkt am Fußpunkt oder über ein Kabel an den Analysator angeschlossen. Es ist zu entscheiden, ob das Gesamtsystem aus Antenne und Kabel oder nur die Antenne gemessen werden

soll. Trifft Letzteres zu, so ist das Kabel am Fußpunkt zu trennen (meistens als Steckverbindung ausgelegt). Der Analysator ist auf eine Einzelfrequenzmessung SWV bzw. Impedanz einzustellen. Danach wird die Zielfrequenz eingegeben. Das Kabel wird nunmehr über den Menüpunkt *SOL Eine Frequenz* (siehe Abschnitt *Kalibrierung*) für die aktuelle Frequenz in die Messung einbezogen, indem nacheinander wie beschrieben die Referenzelemente angeschlossen werden (anstatt der Antenne). Zuletzt ist das Kabel wieder am Antennenfußpunkt anzuschließen und das tatsächliche SWV oder die Impedanz der Antenne werden angezeigt.

Die Art und Weise der Abstimmung der Antenne auf optimales SWV und/oder Resonanz hängt vom Antennentyp ab. Ein Monoband-Dipol mit Balun kann z.B. durch Verkürzung oder Verlängerung der Dipolschenkel abgestimmt werden. Liegt eine Impedanz mit negativem Blindwiderstand vor (kapazitiv), so ist die Antenne zu kurz. Bei einem positiven Blindwiderstand (induktiv) ist sie hingegen zu lang. Ziel ist ein Wirkwiderstand von  $50 \Omega$  bei einem Imaginärteil der Impedanz von Null (Resonanzfall) zu erreichen.

## Messung von Kapazität und Induktivität

Für den KW-Bereich hat sich die Anfertigung einfacher Adapter aus 2,54-mm-Stiftleisten und Buchsen und dazu passender SOL-Referenzelemente bewährt (siehe Abschnitt *Kalibrierung*). Für die Messung wird der Modus *Z Eine Frequenz* verwendet. Die Zielfrequenz ist einzustellen und anschließend ist für den vorhandenen Messaufbau die Kalibrierung unter dem Menüpunkt *SOL Eine Frequenz* durchzuführen. Das zu Messobjekt wird direkt an den gewählten Messaufbau angeschlossen und die Kapazität oder Induktivität bei der Zielfrequenz kann unmittelbar auf dem Display abgelesen werden.

### FA-VA4 als Dip-Meter

Wird eine signalerzeugende Quelle (in unserem Fall der Analysator) lose an einen Parallelschwingkreis angekoppelt, zeigt sich außerhalb und bei Resonanzfrequenz des Schwingkreises jeweils ein unterschiedliche Energieabsorption durch den Kreis. Deren Änderung bewirkt auch eine Änderung des angezeigten SWV-Werts. Die lose Ankopplung an den Kreis wird zu meist induktiv ausgeführt. Es reicht, eine an die Buchse des Analysators ange-

schlossene Spule mit einer Windung (ein Draht) in der Nähe des Schwingkreises zu positionieren. Bei einem Ringkern ist der Draht durch den Ringkern zu führen. Bei sehr niedrigen Frequenzen ( $f < 1$  MHz) hilft ein Test mit mehreren Windungen.

Die SWV-Mehrfrequenzmessung ist so einzustellen, dass die erwartete Resonanzfrequenz als Mittenfrequenz gewählt wird. Dann ist das Intervall der Messung in mehreren Schritten zu reduzieren, um die Resonanzfrequenz mit bestmöglicher Genauigkeit ablesen zu können. Sie zeigt sich durch ein deutliches SWV-Minimum.

Es ist nicht immer ganz leicht, dieses Minimum zu finden, da es bei Schwingkreisen hoher Güte entsprechend schmal ist.

### Bestimmung von Kabelresonanzen und -resonatoren

Mit dem Analysator lassen sich sehr einfach Resonanzstellen von Koaxial- und anderen HF-Kabeln feststellen. Dazu wird das unbekannte Kabel an den Analysator angeschlossen. Das andere Ende kann offenbleiben oder kurzgeschlossen werden. Bei offenem Kabelende ergeben sich Resonanzen bei  $1/4, 3/4$  usw. der Wellenlänge der Resonanzfrequenz. Bei kurzgeschlossenem Kabelende liegen die Resonanzen bei  $1/2, 1, 3/2$  usw. der Wellenlänge der Resonanzfre-

quenz. Resonanz bedeutet, dass die Reaktanz der Impedanz gleich Null ist. Daher wird hier mit einer Z-Mehrfrequenzmessung gearbeitet. Für den KW-Bereich ergibt es Sinn, mit einer Mittenfrequenz von 15 MHz und einem maximalen Messintervall zu starten. Die Resonanzen zeigen sich an den Punkten, an denen die Reaktanz die x-Achse kreuzt (Betrag null). Die zugehörige Frequenz kann leicht im Marker-Modus angefahren werden. Umgekehrt kann diese Methode auch genutzt werden, um Kabelresonatoren für eine Zielfrequenz herzustellen. Dazu kann anhand der Methode des nächsten Abschnitts die physikalische Länge grob abgeschätzt werden. Ein etwas längeres Kabel ist dann schrittweise zu kürzen, bis die Ziel-Resonanzfrequenz erreicht ist.

### Ermittlung von Kabellänge und Verkürzungsfaktor

Wellenlänge und physikalische Länge sind bei einem resonanten Kabel über den Verkürzungsfaktor verknüpft. Gleichbedeutend ist dies die Verknüpfung der Freiraum-Lichtgeschwindigkeit mit der Geschwindigkeit der Welle auf dem Kabel, oder anders gesagt: die Welle breitet sich auf dem Kabel langsamer aus als im Vakuum.

Bei Koaxialkabel RG58 zum Beispiel beträgt der Verkürzungsfaktor 0,66. Die Aus-

breitungsgeschwindigkeit beträgt somit anstatt rund 300 000 km/s nur noch 198 000 km/s. Länge, Ausbreitungsgeschwindigkeit und Resonanzfrequenz sind über die Formel

$$l = \frac{v}{f} \cdot N \text{ miteinander verknüpft.}$$

N ist dabei ein Faktor  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$ , usw. je nachdem, welche Resonanzstelle betrachtet wird und ob das Kabel am anderen Ende offen oder kurzgeschlossen ist.

Wird anhand des vorherigen Abschnitts eine Resonanzfrequenz eines Kabels ermittelt, so kann über die genannte Gleichung und den für das Kabel typischen Verkürzungsfaktor die physikalische Länge berechnet werden. Umgekehrt lässt sich über die gleiche Formel auch der Verkürzungsfaktor bei bekannter physikalischer Kabellänge bestimmen.

Viel Spaß und Erfolg beim Aufbau und Betrieb des Antennenanalysators FA-VA4.

[shop@funkamateurl.de](mailto:shop@funkamateurl.de)

#### Literatur und Bezugsquellen:

- [1] Knitter, M., DG5MK: Vektorieller 100-MHz-Antennenanalysator für jedermann. FUNKAMATEUR 66 (2017) H. 3, S. 246–249, H. 4, S. 360–363
- [2] FUNKAMATEUR-Leserservice, Majakowskiring 38, 13156 Berlin, Tel. (030) 44 66 94-72, Fax -69; [www.funkamateurl.de](http://www.funkamateurl.de) → [BX-240-L](#)

## Anhang

### Stückliste

Kurzzeichen	Bauteil	Anzahl	Anmerkung
X2	BNC-Buchse	1	
S1 ... S3	Tastschalter	3	
(S1 ... S3)	Kappe für Tastschalter	3	
S4	Schiebeschalter	1	
G1, G2	Batteriehalter für Mignonzelle	2	
	Grafikdisplay mit LED-Hintergrundbeleuchtung	1	vormontiert, noch zu verlöten
	Buchsenleiste, 20-polig	1	für das Display
	Buchsenleiste, 3-polig	2	für das Display
	Platine, SMD-bestückt	1	6-polige Stiftleiste ist aufgelötet
	Gehäuse, bedruckt	1	Ober- und Unterschale
	Gummifuß	4	
	Zylinderschraube M3×4	4	Platinenbefestigung
	Senkschraube M3×4	4	Gehäuse
	Bauanleitung	1	
	Typenschild	1	auf die Unterseite zu kleben
SOL-Satz	50-Ohm-Abschlusswiderstand	1	Made in China
	BNC-Stecker	2	

## ■ Open-Element für BX-240



## ■ Short-Element



**Bestell-Nr. BX-240**



Box 73 Amateurfunkservice GmbH  
Majakowskiring 38  
13156 Berlin  
[www.funkamateurl.de](http://www.funkamateurl.de)      Stand August 2017

Probleme bitte an [support@funkamateurl.de](mailto:support@funkamateurl.de)  
mitteilen.

Englische Nutzerkommentare findet man auf  
[www.eham.net](http://www.eham.net).



Bei der Entsorgung dieses Produkts sind die Bestimmungen  
zum Umgang mit Elektronikschrott zu beachten.  
Elektronische Geräte, Batterien und Akkus gehören keinesfalls  
in den Hausmüll. Siehe dazu auch die Hinweise auf [www.box73.de](http://www.box73.de).