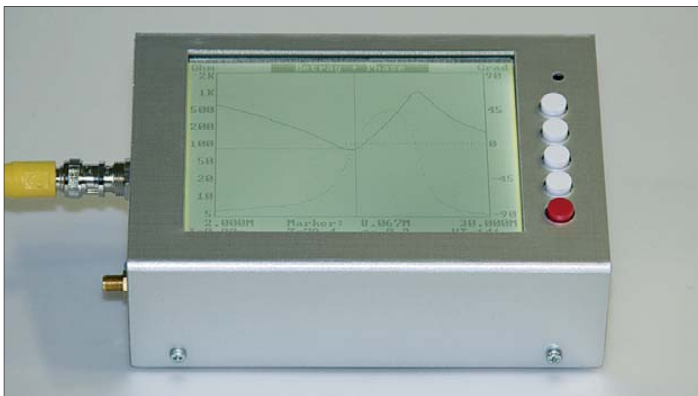


# Der neue Antennenanalysator FA-VA 3 (1)

NORBERT GRAUBNER – DL1SNG

*Der Bausatz FA-VA MkII war ein voller Erfolg. Es handelte sich um ein vektoriell arbeitendes Impedanzmessgerät, mit dem man den komplexen Widerstand einer Antenne oder anderer Objekte als Funktion der Frequenz ermitteln und dokumentieren konnte – und zwar ohne PC. Auf der Ham Radio 2011 wurde das Entwicklungsmuster des Nachfolge-modells vorgestellt, das eine ganze Reihe zusätzlicher nützlicher Eigenschaften aufweist und bei dem einige Schwachstellen des Vorgängers beseitigt werden konnten.*

Der folgende Beitrag beschäftigt sich vor allem mit den Neuerungen gegenüber dem Vorgängermodell. Dieses wurde seinerzeit in einer Beitragsserie [1] detailliert beschrieben. Auf grundlegende Ausführungen zu Funktion und Bedienung des Antennenanalysators verzichte ich deshalb im Folgenden.



**Bild 1:**  
Der FA-VA 3,  
hier noch als  
Prototyp in einem  
unbedruckten  
Mustergehäuse  
Fotos: DL1SNG,  
Red. FA

Die wichtigsten technischen Daten des FA-VA 3 sind in der Tabelle aufgeführt, im Kasten werden die Verbesserungen gegenüber dem Vorgängermodell zusammengefasst.

Bevor ich auf Details der Schaltung und Konstruktion eingehe, ist es sinnvoll, zunächst einige grundlegende Entwurfsentscheidungen zu erläutern.

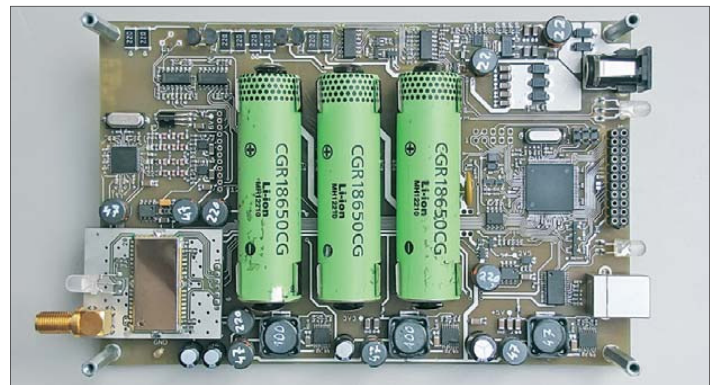
## ■ Eckfeiler der Konstruktion

Den Löwenanteil der Kosten des FA-VA verursachte bisher das Display. Deshalb wurde bei der Neukonzeption zunächst an dieser Stelle angesetzt und nach einer preisgünstigeren Lösung gesucht. Zudem erforderte die Umsetzung der über die Jahre gereiften zusätzlichen Ideen einen leistungsfähigeren Prozessor.

Um die Standzeit der Akkumulatoren zu erhöhen, bot es sich nunmehr an, LiIon-Akkumulatoren zu verwenden. Wie FA-Leser dank der aktuellen Beitragsfolge von DJ3TZ bereits wissen, bieten LiIon-Zellen in Bezug auf Masse, Energiedichte und Selbstentladung Vorteile gegenüber den bisher verwendeten NiMH-Akkumu-

latoren [4], [5]. Zum Laden in nur 1 1/2 Stunden benötigt man lediglich eine Konstantspannungsquelle mit Strombegrenzung und einen *Balancer*. Die Schaltung habe ich mit Standard-ICs realisiert und platzsparend auf der Hauptplatine untergebracht. Eine separate Ladeplatine [6] wird deshalb nicht mehr gebraucht.

**Bild 2:**  
Hauptplatine des  
Labormusters;  
auf der linken Seite,  
oberhalb des  
Bluetooth-Moduls  
befindet sich der  
Steckplatz für das  
Eingangsmodul.



## Grafikdisplay

Beim Vorgängermodell hatte ich wegen einiger äußerer Konstruktionsdetails ein Grafikdisplay wählen müssen, das zwar gute Eigenschaften aufwies, aber leider sehr teuer war. Seinerzeit sah ich aber keine Alternative. Als vor knapp zwei Jahren der Wunsch nach einer Überarbeitung und Neufassung des FA-VA laut wurde, war die Situation besser. Auf Anhieb fand ich mehrere preisgünstige Grafikdisplays, u. a. ein sehr schönes, großes in Schwarz-Weiß mit einer Auflösung von 320 × 239 Bildpunkten und einer sehr hellen, reinweißen Beleuchtung (Bild 1).

Der Haken daran war, dass diese Displays keinen Grafikcontroller enthielten. Stattdessen muss man – ähnlich wie früher beim Analogfernsehen – die kompletten Bild-

daten Zeile für Zeile periodisch wiederholt eingeben.

Die Veränderung dieser Marktsituation erklärt sich daraus, dass alle großen 32-Bit-Mikrocontroller, die heute in den Artikeln der Konsumelektronik Verwendung finden, einen eigenen Grafikcontroller an Bord haben. Deshalb werden abgesetzte Grafikcontroller-ICs für solch einfache Anwendungen nicht mehr produziert.

Um das schöne Display nutzen zu können, musste ich selbst einen Grafikcontroller entwickeln. Das ist jedoch ein Kapitel für sich, da sein Inhalt den Rahmen dieses Beitrags sprengen würde. Die Entwicklung des Grafikcontrollers wird daher in einem späteren, separaten Beitrag beschrieben.

## Bedieneinheit

Anfangs stand die Bedienung des Geräts über den Touchscreen des Grafikdisplays zur Diskussion. Dieser Ansatz wurde aber nach einigen Laborversuchen nicht weiter verfolgt. Hintergrund der Entscheidung war unter anderem, dass die Bedienbarkeit des Geräts auch unter widrigen Umständen und mit Handschuhen möglich sein sollte.

Moderne Touchscreen-Displays sind zwar inzwischen in dieser Hinsicht sehr tolerant – man denke nur an Fahrkarten- oder Bankautomaten –, trotzdem wollten wir kein unnötiges Risiko eingehen. Die neue

Grafik- und Bedieneinheit wurde deshalb wieder mit fünf bewährten mechanischen Tastern ausgerüstet.

Im Grundausbau besteht der FA-VA 3 nun aus zwei Platinen: der Grafik- und Bedieneinheit sowie der Hauptplatine inklusive Akkumulatoren und Ladeelektronik. Die Daten werden von der Hauptplatine zum Grafikcontroller über eine serielle Schnittstelle mit 115 200 Baud übertragen.

## ■ Hauptplatine

Die wichtigsten Komponenten der Hauptplatine sind Mikrocontroller und DDS-IC einschließlich Peripherie. Darüber hinaus befinden sich hier auch die Akkumulatoren und deren Ladeelektronik.

Das Impedanzmodul mit dem empfindlichen Mischer, das alternativ einsetzbare,

**Technische Daten des Antennenanalysators**

Frequenzbereich	50 kHz bis 165 MHz
Start/Stop-Frequenz	bis 1 MHz in 1-Hz-Schritten, darüber in 1-kHz-Schritten einstellbar
Leitungsimpedanz	50 Ω
messbare Impedanzen	5 Ω bis 1000 Ω unter Berücksichtigung von Länge und Verkürzungsfaktor der zwischengeschalteten Leitung
Darstellungsarten im Wobbelbetrieb	Real- plus Imaginärteil, Scheinwiderstand plus Phasenwinkel, Stehwellenverhältnis in Bezug auf 50 Ω, Smith-Diagramm, optional: lineare Amplitude plus Phase, Pegel (log.) plus Phase
Grafikdisplay	5,5 Zoll, beleuchtet, Auflösung 320 × 239 Bildpunkte
Schnittstellen	USB, optional: Bluetooth-Modul Class 1 (100 m)
Messdatenspeicherung	7 Speicherplätze, Datenübertragung zum PC via USB oder Bluetooth
Stromversorgung	3 Lilon-Akkumulatoren (12,6 V), Nutzungsdauer pro Akkumulatorenladung bis zu 5,5 h, integrierte Ladeschaltung, Ladedauer ≤1,5 h, Ladestrom ≤1,5 A
Abmessungen	164 mm × 115 mm × 52 mm
Masse	766 g inklusive Akkumulatoren
Erweiterungsmöglichkeiten	Steckmodul für Messungen an Vierpolen (Durchlasskurve, Phasengang; Pegel -64 dB bis 0 dB, dyn. Skalierung der Phasendrehung bis 20 π), Bluetooth-Modul zur drahtlosen Kopplung mit PC oder Laptop, Steuerung mittels PC oder Laptop und Windows-Software möglich

optionale Vierpolmodul sowie das ebenfalls optionale Bluetooth-Modul sind steckbar ausgeführt.

**Neuer Mikrocontroller**

Während im Vorgängermodell noch ein *ATMega644* seinen Dienst tat, fiel meine Wahl beim neuen Antennenanalysator auf den moderneren *ATXMega128A1*. Obwohl dessen Architektur und PDI-Programmierschnittstelle (*Program and Debug Interface*) beim Arbeiten unter *Bascom AVR* bei mir zunächst für manches Fragezeichen sorgten, kann ich im Nach-

ner *USBTiny MkII* von [8]. Dieser wird problemlos unter der kostenlosen Entwicklungsumgebung *AVR Studio 4* angesprochen. Das stattdessen im Forum empfohlene „Umbiegen“ der *Bascom*-Brennroutine auf einen anderen Treiber erschien mir zu riskant und die Verwendung eines Bootloaders zu kompliziert.

Das Einstellen der höchstmöglichen Taktfrequenz von 32 MHz ist etwas knifflig, denn der Controller arbeitet nach dem Einschalten zunächst mit einem internen 2-MHz-Oszillator. Für das Umschalten auf den Quarzoszillator nebst PLL muss man in einer bestimmten Weise auf einige Register zugreifen – aber das wars! Wenn diese Anfangsschwierigkeiten erst einmal überwunden sind, kann man in den fantastischen Möglichkeiten dieses Mikrocontrollers geradezu schwelgen:

- 32 MHz Taktfrequenz (bisher 20 MHz),
- acht Timer mit je 16 Bit (bisher zwei Timer mit 8 Bit, einer mit 16 Bit),
- zwei 8-Kanal-12-Bit-A/D-Umsetzer mit 0,5 μs Umsetzzeit (bisher ein 8-Kanal-A/D-Umsetzer mit 10 Bit bei 13 μs Umsetzzeit, zwingend notwendiger Sleep-Modus),
- acht USARTs (bisher ein USART),
- vier I<sup>2</sup>C-Schnittstellen (bisher per Software),
- vier SPI-Schnittstellen,
- neun Ports zu je 8 Bit, jeder Port-Pin in mehreren Prioritäten interruptfähig.

Freilich braucht man im FA-VA nicht alles aus dieser Liste, aber doch einiges. Allein wegen der gestiegenen Anzahl der Messpunkte pro Durchgang (267 gegenüber 203) war eine Erhöhung der Taktfrequenz dringend notwendig. Mit dem zusätzlichen Kommunikationskanal für die Bluetooth-Anbindung, der seriellen Schnittstelle zur Grafikplatine und der zum USB-Anschluss werden insgesamt drei UARTs benötigt. Hinzu kommen die SPI-Schnittstelle zum Frequenz-Synthesizer und die I<sup>2</sup>C-Schnitt-

stelle zum externen Speicher für bis zu sieben Messkurven.

Die Vielzahl der Timer lädt zum Gebrauch von Interrupts geradezu ein, z. B. bei der Kommunikation mit dem PC. Dank dieses üppig ausgestatteten Controllers konnte das alles ohne jedwede Tricks realisiert werden. Dabei erhöht sich auch noch die Bildwiederholrate von 31 auf immerhin 38 Durchgänge pro Minute.

Einziger Nachteil: Den neuen Controller gibt es nur im 100-poligen SMD-Gehäuse, die leichte Austauschbarkeit wie beim steckbaren Vorgängermodell ist nicht mehr gegeben.

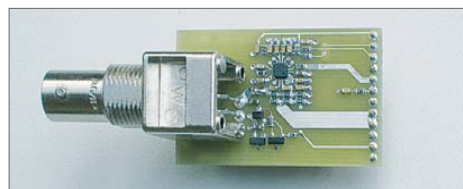
**Besonderheiten der Schaltung**

In Bild 5 ist der Schaltplan der Hauptplatine ohne die Teile *Hilfsspannungserzeugung* und *Ladeschaltung* zu sehen.

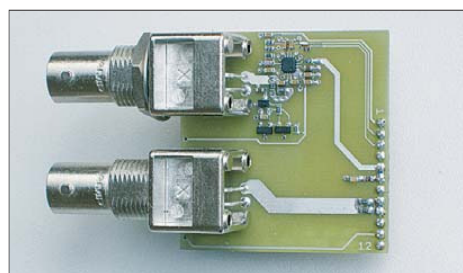
Da der A/D-Umsetzer im neuen Mikrocontroller ohnehin differenziell arbeitet und beim unipolaren Betrieb einen schwierig zu handhabenden, negativen Offset anfügt, wurde von vornherein die bipolare Betriebsart gewählt und die Schaltung für differenzielle Messungen konzipiert. Als Nullpunkt und Referenzwert wird die Hälfte der +2,5-V-Hilfsspannung herangezogen.

**Neue Leistungsmerkmale des FA-VA 3**

- 5,5-Zoll-Grafikdisplay mit einer Auflösung von 320 × 239 Bildpunkten und einer sehr hellen, neutral-weißen und dimmbaren CCFL-Beleuchtung,
- optionales Steckmodul für eine Bluetooth-Funkverbindung zu einem PC oder Notebook,
- Eingangsmischer-IC auf einer steckbaren Baugruppe,
- optionales Steckmodul für Messungen an Vierpolen,
- bidirektionale Kommunikation und dadurch Möglichkeit der Fernsteuerung vom PC aus,
- Kalibrierung ohne Öffnen und Schließen einer Lötbrücke möglich (lediglich 50-Ω-Abschlusswiderstand erforderlich),
- Eingabe des Handelsnamens des Kabels anstelle von Dämpfung, Verkürzungsfaktor und Wellenwiderstand bei der Auswahl der angeschlossenen Leitung,
- verbesserter Algorithmus zur Berechnung der Messergebnisse und damit größere Genauigkeit, speziell bei niederohmigen Werten,
- schnellerer Mikrocontroller mit 12-Bit-A/D-Umsetzer, dadurch höhere Auflösung und „ruhigere“ Kurven bei hohen Scheinwiderständen,
- Stromversorgung mittels Lilon-Akkumulatoren (bisher NiMH); das Gerät ist dadurch leichter, die Selbstentladung deutlich geringer. Das Aufladen ist in nur 1,5 Stunden möglich (bisher 16 Stunden). Der höhere Wirkungsgrad der Hilfsspannungsschaltregler ermöglicht eine Nutzungsdauer von bis zu 5 ½ Stunden pro Akkumulatorkomplettladung.



**Bild 3:** Impedanzmodul zur Messung an Zweipolen; zentrales Bauelement ist der Mischer AD8342.



**Bild 4:** Das optionale steckbare Vierpolmodul kann anstelle des Impedanzmoduls verwendet werden.

hinein nur sagen, dass sich die Mühe gelohnt hat.

An dieser Stelle herzlichen Dank an die erfahrenen Teilnehmer des deutschen *Bascom*-Forums [7], insbesondere *MAK3*, *six1*, *Michael*, *MagicWhite-Smoke* und *DL7SEP*, die mir schnell und kompetent weitergeholfen haben!

Fürs Brennen über die PDI-Schnittstelle verwende ich den kleinen Universalbren-

Bezogen auf die Referenzspannung hat das Nutzsignal einen Gültigkeitsbereich von  $-1,25\text{ V}$  bis  $+1,25\text{ V}$ . Dabei erstreckt sich das Ergebnis des 12-Bit-Umsetzers auf den Bereich von  $-2048$  bis  $+2047$  Auflösungsschritte.

Ein interessantes Detail sind die bidirektionalen Pegelkonverter, z. B. V3, R5, R6. Diese können Signale von einem Betriebsspannungspegel, z. B.  $3,3\text{ V}$ , in einen anderen übertragen, z. B.  $5\text{ V}$  – und zwar in beide Richtungen und ohne Umschalten! Der Konverter arbeitet schnell und niederohmig. Ein fähiger Mitarbeiter bei Philips/Eindhoven fand diese Lösung, die aus nur einem MOSFET und zwei Widerständen besteht [9].

Ursprünglich war die Schaltung für den Anschluss von I<sup>2</sup>C-Komponenten mit einer Betriebsspannung von  $+5\text{ V}$  an Mikrocontroller mit geringeren Betriebsspannungen vorgesehen. Die Schwierigkeit bestand vor allem darin, dass die Signalrichtung auf dem I<sup>2</sup>C-Bus bidirektional ist, d. h., ein I<sup>2</sup>C-Chip empfängt und sendet über dieselbe Leitung. Man konnte die üblichen Pegelkonverter-ICs also nicht verwenden.

Der aufmerksame Leser wird sich fragen, welche Aufgabe der Vorwiderstand R117 in der Stromversorgung zur Displaybaugruppe hat. Einerseits dient er als Sicherung bei einem eventuellen Kurzschluss in der Displayplatine, andererseits entkoppelt er die sehr niederohmigen Stützkondensatoren auf der Bedienbaugruppe vom Schaltregler der  $+5\text{-V}$ -Stromversorgung. Dadurch werden Spannungssprünge, die der mit  $100\text{ Hz}$  gepulst betriebene CCFL-Inverter verursacht, vom Rest der Schaltung ferngehalten und zudem deutlich stabiler ausgeglet.

In Bild 2 ist die komplette, handgelötete Hauptplatine mit aufgestecktem Bluetooth-Modul zu sehen. Rechts oben befindet sich der später in diesem Beitrag beschriebene SEPIC-Konverter mit den gut gekühlten Schottky-Dioden und  $10\text{-}\mu\text{F}$ -Keramik Kondensatoren, links oben der Balancer mit den Lastwiderständen.

Links am Rand der Platine sieht man den DDS-Schaltkreis mit dem Alias-Filter und den beiden HF-Differenzverstärkern, unten am Rand die Schaltregler für die Hilfsspannungserzeugung, rechts die USB-Buchse nebst Treiber-IC und Kontroll-LED und rechts in der Mitte den Mikrocontroller im SMD-Gehäuse mit  $0,5\text{-mm}$ -Raster.

Nebenbei sei gesagt, dass das Handlöten solcher Strukturen mit einer guten SMD-Arbeitsbrille auf der Nase auch mit zitterigen Händen bei Weitem nicht jene Schwierigkeiten macht, die manche Leser immer wieder befürchten.

Impedanzmodul

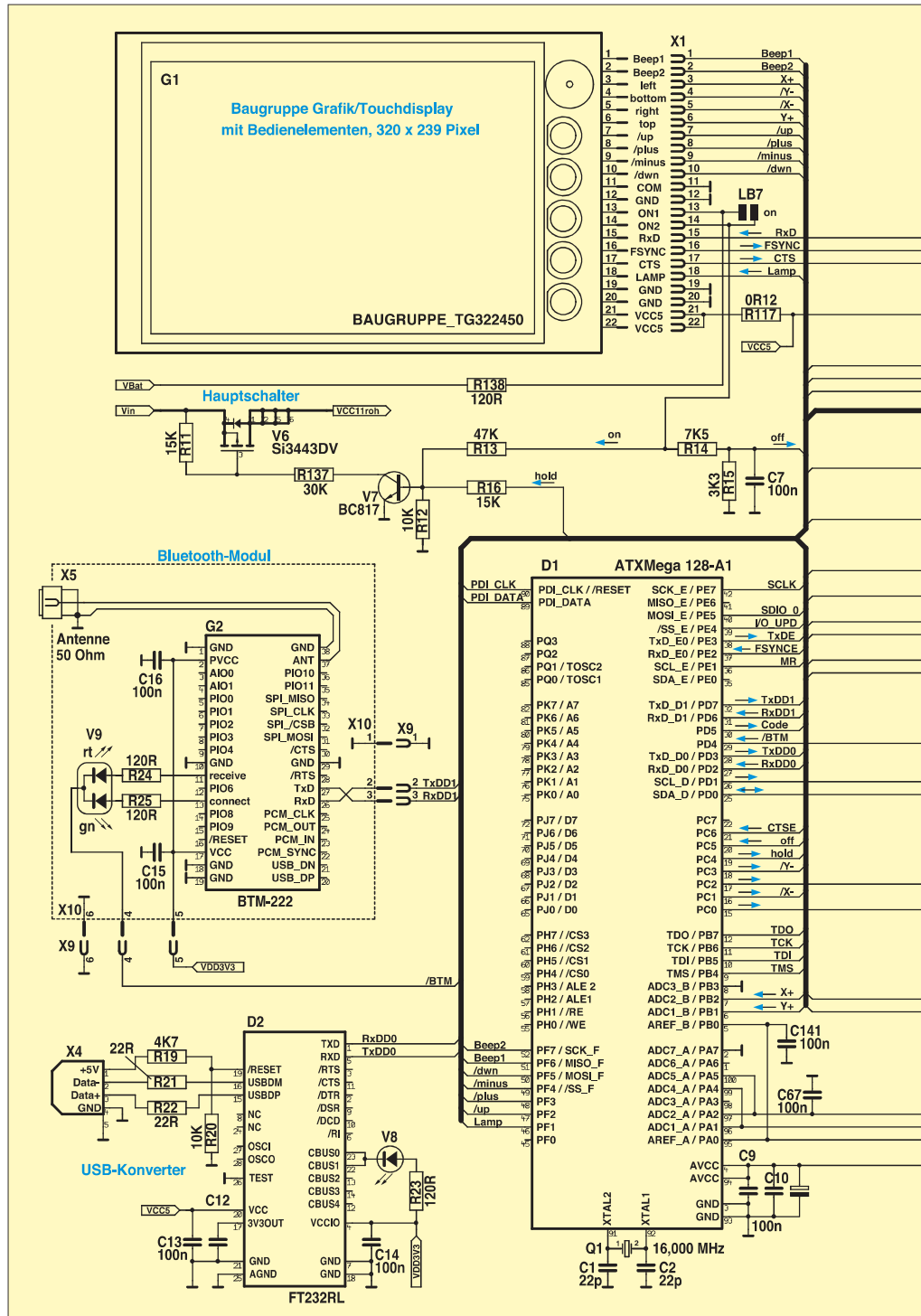
Auf Antennendrähten, die nicht wenigstens über einen hochohmigen Widerstand mit der Erde verbunden sind, können sich erhebliche elektrostatische Ladungen sammeln. Ursache ist die allgegenwärtige Luftelektrizität. Die Ladung kann so groß werden, dass weder der interne Eingangsschutz des Mischer-IC noch die im Vorgängermodell nachträglich angebauten antiparallelen Schutzdioden eine Zerstörung des IC verhindern können.

Der Grund liegt darin, dass die Durchlasskennlinie von Schottky-Dioden bei hohen Strömen in eine ohmsche Kennlinie übergeht, sodass u. U. ein Spannungsabfall von

etlichen Volt entstehen kann. Dieser zerstört die hochempfindliche Basis-Emitter-Sperrschicht der Eingangstransistoren im Mischer-IC.

Wegen des winzigen und fürs Handlöten denkbar schlecht geeigneten SMD-Gehäuses (die Anschlussflächen im  $0,5\text{-mm}$ -Raster liegen auf der Unterseite) war der Austausch eines defekten Mischer-IC außerordentlich schwierig.

Da diese handhabungsbedingten Ausfälle trotz verbesserter Schutzschaltung (rechts in Bild 5) auch in Zukunft vorkommen können, wurde die Mischerbaugruppe auf einer separaten, steckbaren Platine untergebracht (Bild 3).



Eine Reparatur ist nun ohne Lötarbeit von jedermann durchführbar, indem nur noch die Platine ausgetauscht wird.

Vierpolmodul

Anstelle des normalen Mischmoduls mit Messbrücke, mit dem sich Impedanzen – also Zweipole – messen lassen, lässt sich auch ein optionales Modul für Messungen an Vierpolen in die entsprechende Fassung stecken (Bild 4).

Hiermit kann man z. B. die Durchlasskurve und den Phasengang eines Filters oder Verstärkers abbilden. Allerdings wird dabei kein logarithmisch arbeitender Sensor verwendet, sondern der gleiche linear ar-

beitende IC-Typ wie bei der Impedanzmessung. Gegenüber einem echten VNA schränkt das die Messdynamik etwas ein. Trotzdem werden immerhin 60 dB erreicht.

(wird fortgesetzt)

[norbert.graubner@freenet.de](mailto:norbert.graubner@freenet.de)

Literatur

- [1] Graubner, N., DL1SNG: Vektorieller Antennenanalysator als Handgerät im Selbstbau. FUNKAMATEUR 56 (2007) H. 3, S. 282–285; H. 4, S. 394–399; H. 5, S. 506–507
- [2] Graubner, N., DL1SNG: Neues vom Antennenanalysator. FUNKAMATEUR 57 (2008) H. 1, S. 22–23
- [3] Graubner, N., DL1SNG: FA-Antennenanalysator – jetzt mit PC-Anschluss. FUNKAMATEUR 57 (2008) H. 5, S. 510–513; H. 6, S. 620–622
- [4] Gellerich, W., DJ3TZ: Nickel-Cadmium-Akkumulatoren ersetzen – aber wie? FUNKAMATEUR 61 (2012) H. 1, S. 36–39; H. 2, S. 152–153; H. 3, S. 264–266
- [5] Gellerich, W.: Akkumulatoren – Grundlagen und Praxis. Shaker Media, Herzogenrath 2011, FA-Leserservice Z-0033
- [6] Sander, K.: NiMH-Akkumulatorlader für den Antennenanalysator. FUNKAMATEUR 56 (2007) H. 7, S. 737–739
- [7] Offizielles Deutsches Bascom-Forum: <http://bascom-forum.de/forum.php>
- [8] Light, T.: USB Tiny Mkii Programmier. [http://tom-itx.dyndns.org:81/~webpage/boards/USBTiny\\_Mkii/USBTiny\\_Mkii\\_index.php](http://tom-itx.dyndns.org:81/~webpage/boards/USBTiny_Mkii/USBTiny_Mkii_index.php)
- [9] Schutte, H.: AN 97055; Bi-directional level shifter for I<sup>2</sup>C-bus and other systems. Philips Semiconductors Systems Laboratory Eindhoven, The Netherlands. <http://ics.nxp.com/support/documents/interface/pdf/an97055.pdf>

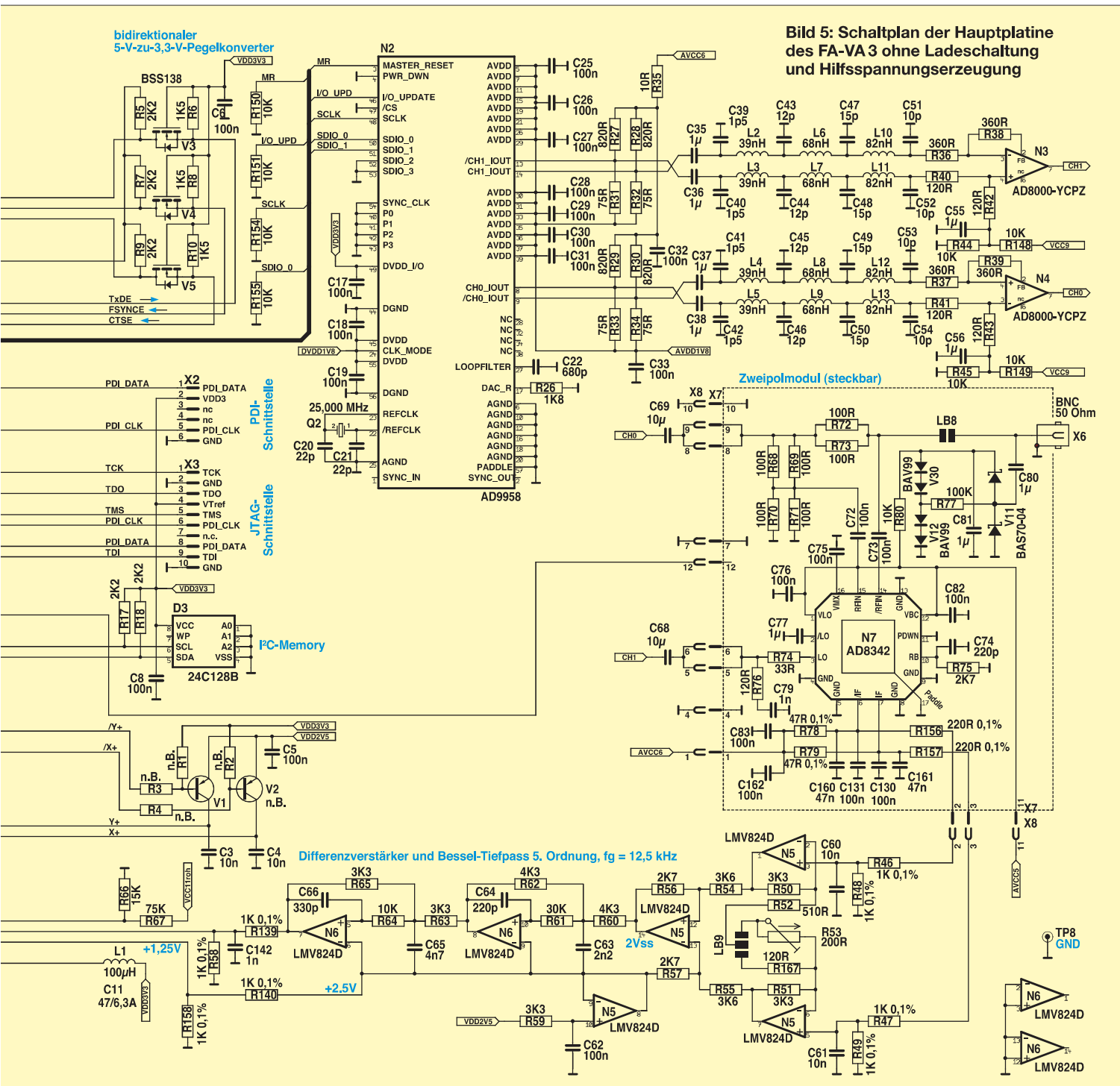


Bild 5: Schaltplan der Hauptplatine des FA-VA 3 ohne Ladeschaltung und Hilfsspannungserzeugung

# Der neue Antennenanalysator FA-VA 3 (2)

NORBERT GRAUBNER – DL1SNG

**Im ersten Teil des Beitrags standen Gerätekonzept, Hauptplatine und die beiden Module zur Impedanz- und Vierpolmessung im Mittelpunkt. Inhaltliche Schwerpunkte des zweiten Teils sind Stromversorgung, Bedienung und Software.**

Schon mehrfach hatte ich den Wunsch, Impedanzmessungen an Messobjekten durchzuführen, die während des Betriebs nicht direkt zugänglich sind. Das betrifft z.B. den Einspeisepunkt meines Kegelreusendipols [10] an der Spitze eines Schiebemastes, der sich fürs Besteigen nicht eignet. Da die Länge von USB-Leitungen auf 5 m begrenzt ist und das Messgerät in Dipolmitte zudem erdfrei betrieben werden muss, war das bisher nicht möglich. Mit dem nachrüstbaren, steckbaren Bluetooth-Modul (Bild 7) ist das jetzt anders.

### Bluetooth-Modul

Mittels eines im Fachhandel erhältlichen Class-1-Bluetooth-Sticks (gut geeignet ist z.B. das Modell [11]), der einfach in einen freien USB-Anschluss des PC oder Laptops gesteckt wird (die erforderlichen Treiber installieren sich normalerweise automatisch), kann man über eine Distanz von über 100 m eine drahtlose Verbindung zum Antennenanalysator realisieren. Dazu muss dieser mit dem optionalen Bluetooth-Modul ausgerüstet sein.

Der Antennenanschluss des eingebauten Moduls ist über eine SMA-Buchse aus dem Metallgehäuse des Messgeräts herausgeführt. Sie dient zum Anbringen einer ggf. schwenkbaren Bluetooth-Antenne mit nicht reversen Stecker.

### Hilfsspannungserzeugung

Auf der Hauptplatine werden etliche, gut stabilisierte Hilfsspannungen benötigt:

- für die HF-Operationsverstärker zwischen Frequenz-Synthesizer (N2) und Messbrücke +9 V,
- für die Arbeitswiderstände des Mischer-IC +6 V,
- als Stromversorgung für die Grafik- und Bedienplatine sowie den Mischer +5 V,
- für den Mikrocontroller und die meisten weiteren digitalen Bauteile +3,3 V,
- als Hilfsspannung für analoge Messungen +2,5 V,
- an zwei gegeneinander entkoppelten Ausgängen für den Digital- und Analogteil des DDS-IC (N2) 1,8 V.

Je nach Verbraucher werden diese Hilfsspannungen mithilfe von Abwärts-Schalt-

reglern (Bild 6) oder mit Low-Drop-Analogreglern erzeugt. Im Interesse eines geringen Streufelds habe ich für alle Speicherdrosseln (z.B. L17) abgeschirmte Ausführungen eingesetzt. Hingegen genügen preiswerte offene Bauformen bei den Drosseln, die nur zur gegenseitigen Entkopplung vorgesehen sind (z.B. L18).

Bei der Auswahl der IC-Typen hatten der Wirkungsgrad und damit die Betriebsdauer pro Akkumulatorladung die höchste Priorität.

Ein interessantes Detail sind die Gegenkopplungskondensatoren, im Schaltungsausschnitt Bild 6 ist es C104. Sie erzeugen in der Istwert-Rückführung eine voreilende Komponente und stabilisieren damit die Regelung, die ansonsten wegen des phasendrehenden Charakters der Speicherdrossel und der sehr verlustarmen Keramik-Glättungskondensatoren hart am Rande der Stabilität arbeiten würde. Wegen der sehr großen Stützkondensatoren auf der Grafik-Platine musste für C104 ein entsprechend hoher Wert gewählt werden.

### LiIon-Technologie und Ladetechnik

Neu gegenüber dem Vorgängermodell des Antennenanalysators ist die Verwendung von LiIon-Zellen anstelle von NiMH-Akkumulatoren. In der Standardgröße 18650 (Durchmesser 18 mm, Länge 65 mm) werden diese Rundzellen in Form von Akkupacks für Notebooks weltweit in Millio-

nenstückzahlen verwendet. Nur als Einzelzellen findet man sie bei uns kaum. Vielleicht liegt das daran, dass sie keine Falschbehandlung tolerieren. So darf man solche LiIon-Akkumulatoren nie auf eine Spannung von mehr als 4,2 V aufladen und der Ladestrom darf nicht größer als 1C (besser nur  $\frac{2}{3} C$ ) sein.

Eine Entladung auf weniger als 2,5 V pro Zelle muss vermieden werden. Das Gerät enthält eine Unterspannungsüberwachung, die bei 3,0 V (9,0 V Gesamtspannung) abschaltet. Kurzschluss ist streng verboten. In [4] sowie [5] werden Technologie und Umgang mit LiIon-Akkumulatoren ausführlich beschrieben.

Es gibt Ausführungen von Zellen, die innerhalb ihres Gehäuses eine Schutzelektronik enthalten. Das macht sie „narrensicher“.

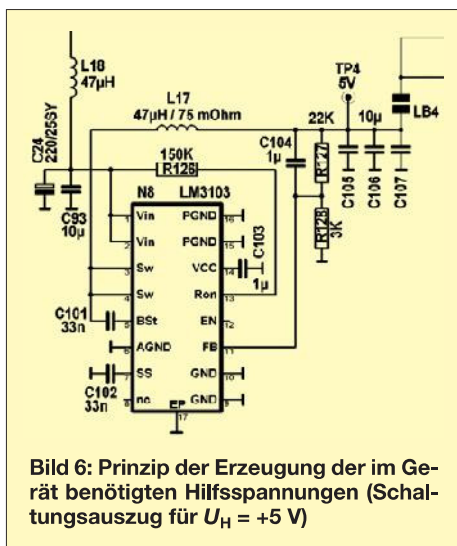


**Bild 7: Bluetooth-Modul des FA-VA3 und Class1-Bluetooth/USB-Adapter von DeLock; die Freifeldreichweite dieser Kombination mit einem  $\lambda/4$ -Rundstrahler betrug im Versuch 340 m.**

Leider sind sie sehr teuer und die Schutzschaltung braucht Platz innerhalb der Zelle. Das geht zu Lasten der Kapazität. Darüber hinaus erhöht sich der Innenwiderstand mindestens um den Durchlasswiderstand des Schutztransistors. Möglicherweise gibt es sogar noch einen in Reihe liegenden Strom-Messwiderstand. Denkbar wäre auch, dass diese Schutzschaltung selbst permanent Strom verbraucht, was einer entsprechenden Selbstentladung gleichkäme.

Ich meine, dass Funkamateure keine Narren sind. Für den Schutz der Zelle sorgen wir selbst und verwenden deshalb die deutlich preisgünstigeren Zellen mit höherer Kapazität.

Solange man LiIon-Akkumulatoren ohne interne Schutzschaltung respektvoll behandelt, hat man es mit einem „lammfrommen“, ausdauernden und kräftigen Energieträger zu tun. So steigt z.B. die Zellenspannung beim Laden kontinuierlich an, anders als beim NiMH-Akkumulator. Man braucht dazu nur eine Konstantspannungsquelle mit



**Bild 6: Prinzip der Erzeugung der im Gerät benötigten Hilfsspannungen (Schaltungsauszug für  $U_H = +5 V$ )**

Strombegrenzung. Solange noch nicht die maximale Ladespannung von 4,2 V pro Zelle erreicht ist, wird mit einem konstanten Strom von 1,5 A ( $I_{2/3C}$ ) geladen. Sobald die Lade-Endspannung von 4,2 V erreicht ist, wird diese konstant gehalten. Dabei geht der Strom asymptotisch gegen Null. Auch beim Entladen verhält sich ein Li-Ion-Akkumulator absolut berechenbar – allein anhand der aktuellen Akkuspannung lässt sich die vorhandene Restladung gut abschätzen.

Nur bei der Reihenschaltung mehrerer Zellen muss man aufpassen. Damit die Zellenspannungen keine unterschiedlichen Werte annehmen, braucht man zumindest beim Laden einen sogenannten *Balancer*. Das ist eine Schaltung, welche die Spannung von jeweils zwei Zellen miteinander vergleicht und parallel zu der Zelle mit der

len gegen Ende des Ladevorgangs genau die gleiche Spannung.

Ein *Balancer* lässt sich sehr leicht mit einem hochohmigen 1:1-Spannungsteiler, einem Operationsverstärker, zwei komplementären Kleinsignaltransistoren und zwei Leistungswiderständen aufbauen (Bild 8). Dabei hängt die Übereinstimmung der beiden Akkumulatorspannungen nur von der Präzision des Spannungsteilers und der Offsetspannung des Operationsverstärkers ab. Die Verwendung von 0,1%-Widerständen ergibt eine Abweichung von nur wenigen Millivolt. Bei drei Akkumulatorelementen wie im FA-VA 3 benötigt man zwei Balancer, wobei die mittlere Zelle zweimal für einen Vergleich herangezogen wird.

Nun braucht dieser Balancer aber auch selbst Strom. Die 100-k $\Omega$ -Messwiderstände sind dabei nicht das Problem, hingegen kann der Stromverbrauch der beiden Operationsverstärker auf Dauer nicht hingenommen werden.

Eine vollständig geladene Zelle mit einer Kapazität von etwa 2,25 Ah würde allein vom Balancer innerhalb von 5100 Stunden, d. h. in etwa 7 Monaten, vollständig entladen. Deshalb wird die Balancer-Steuerung nur für die Zeit des Ladens zugeschaltet. Als Schalter dient ein Vierfach-Analogschalter in 15-V-CMOS-Technik.

In Bild 9 ist die komplette Ladeschaltung zu sehen. Das Erkennen des Ladevorgangs erfolgt über die Doppeldiode V24, welche den Vierfach-Operationsverstärker mit Strom versorgt. Gleichzeitig werden auch die Transistoren V25 und V17 durchgeschaltet, sodass die Akkumulatorspannung

auch an den Steuereingängen des Analogschalters D5 anliegt. Dieser verbindet die Balancer-Steuerung mit dessen Endstufe, die im abgetrennten Zustand praktisch keinen Strom verbraucht. Da Schottky-Dioden (V21...V23) keine besonders geringen Sperrströme haben, müssen auch diese abgetrennt werden. Hierzu dient der Schalttransistor V27. Das Gleiche gilt für die Spannungsrückführung zur Regelung der Ladespannung (R98, R99). Wegen des hohen Spannungsabfalls an V27, der zu einem verfrühten Absenken des Ladestroms und damit zu unnötig langer Ladezeit führen würde, wird diese Verbindung aber über den Schalttransistor V17 gesteuert. Hier gibt es keinen nennenswerten Spannungsabfall.

Der verwendete Operationsverstärker TS 914 toleriert Eingangsspannungen von bis zu -0,5 V unterhalb seines negativen Betriebsspannungspegels. Dieses erlaubt das recht einfache Messen des negativen Spannungsabfalls über R111, R163 und R164 und damit die Anzeige des Ladevorgangs über die zweifarbige Leuchtdiode V26.

Interessant – wenn auch nicht neu – ist das Prinzip des Schaltreglers, der die für das Laden benötigte Spannungsquelle ( $3 \times 4,2 \text{ V} = 12,6 \text{ V}$ ) mit einer Strombegrenzung auf 1,5 A bereitstellt. Im Verlauf des Ladevorgangs könnte die Akkumulatorspannung anfänglich kleiner, zum Ladschluss aber größer als die Eingangsspannung sein. Üblicherweise benutzt man zum Abwärtstransformieren einen sogenannten *Buck Converter* und zum Aufwärtstransformieren einen *Boost Converter*. Die bei-

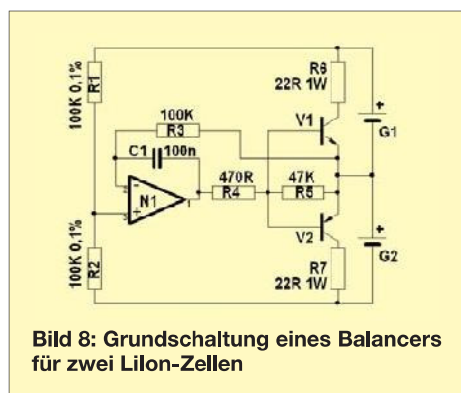


Bild 8: Grundschaltung eines Balancers für zwei Lilon-Zellen

höheren Spannung einen ohmschen Verbraucher legt. Auf diese Weise fließt an der Zelle mit der höheren Spannung ein Teil des Ladestroms vorbei und nur die Zelle mit der geringeren Spannung bekommt den vollen Ladestrom. So haben beide Zel-

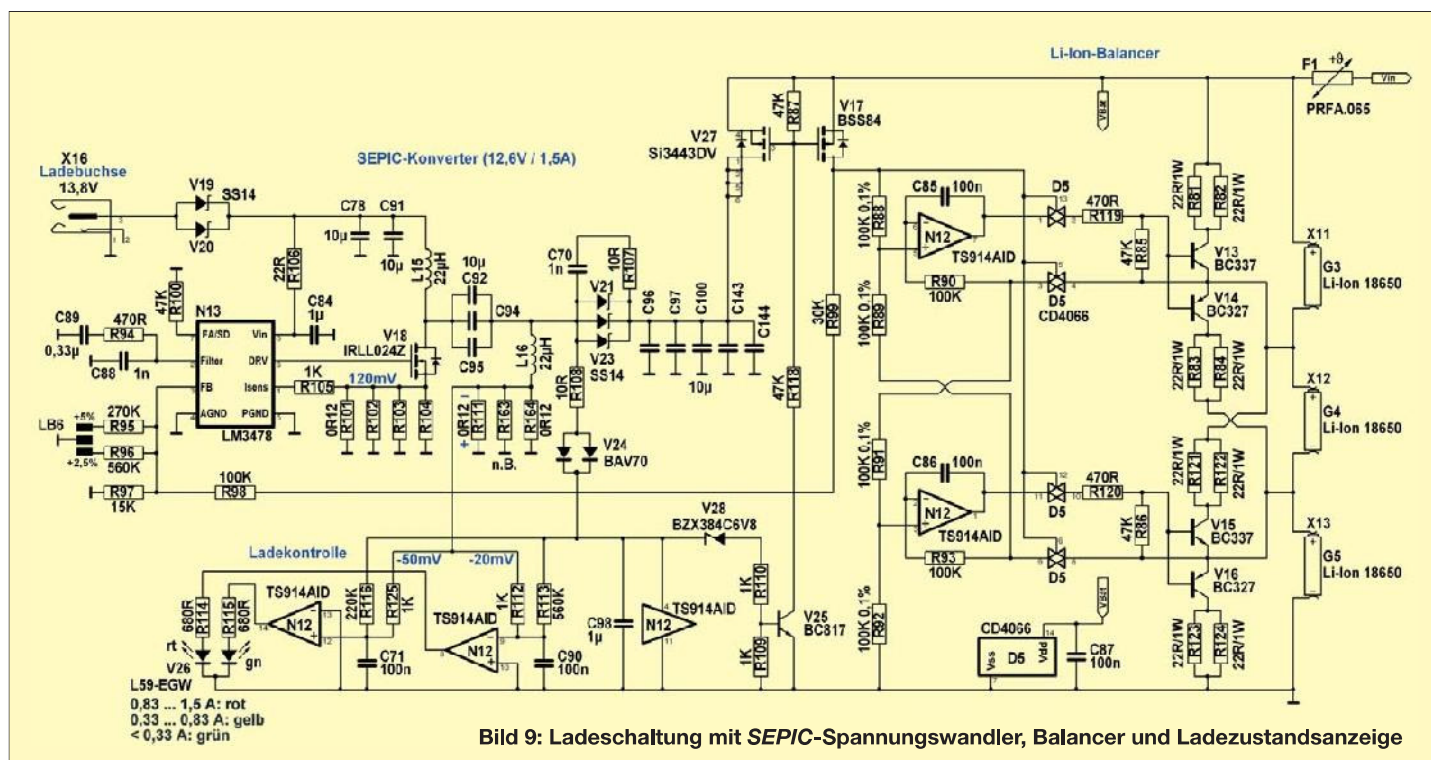
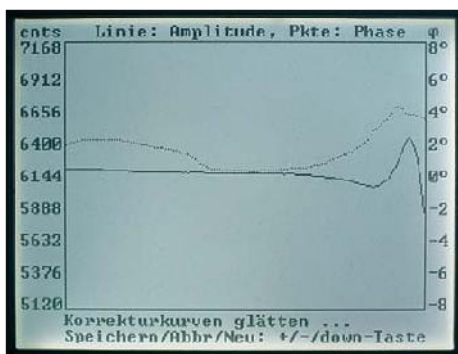


Bild 9: Ladeschaltung mit SEPIC-Spannungswandler, Balancer und Ladezustandsanzeige

L59-EGW  
0,83 ... 1,5 A: rot  
0,33 ... 0,83 A: gelb  
< 0,33 A: grün

den Wandlertypen unterscheiden sich sehr deutlich in ihrer Topologie. Nun kann man ja während des Ladevorgangs schlecht die Schaltung mal schnell umlöten.

Es gibt aber einen dritten Wandlertyp, den sogenannten *SEPIC Converter*, bei dem die Eingangsspannung sowohl größer als auch kleiner als die Ausgangsspannung sein darf. Dabei dürfen sich die Verhältnisse auch während des Betriebs ändern. *SEPIC* steht für *Single Ended Primary Inductance Converter*. Dieser ist dadurch gekennzeichnet, dass er zwei Drosseln enthält, wobei eine davon in Reihe zum Eingang liegt (*single ended*). Die zweite Drossel ist mit einem Ende an die sekundäre Masse angeschlossen und dabei eventuell galvanisch getrennt, dann aber magnetisch mit der ersten gekoppelt.



**Bild 10: Verlauf einer typischen Kalibrierkurve**

Einziger Nachteil der *SEPIC*-Topologie ist der relativ hohe Effektivstrom in den Bauteilen (im Schalttransistor bis zu 2,6 A) und deren damit verbundene Erwärmung. Dank der hohen Taktfrequenz von etwa 330 kHz können aber durchweg 10- $\mu$ F-Keramikkondensatoren verwendet werden. Diese haben im Gegensatz zu Elektrolytkondensatoren wesentlich kleinere Verlustwiderstände und auch bei sehr hohen Betriebstemperaturen kein Alterungsproblem. Auch die drei parallelgeschalteten 1-A-Schottky-Dioden (V21...V23) sind dieser Tatsache geschuldet.

## ■ Bedienung und PC-Software

Schon das Vorgängermodell bot die Möglichkeit, die Impedanztransformation der Verbindungsleitung zwischen Messobjekt und Messgerät aus dem angezeigten Ergebnis herauszurechnen. Dazu war die Eingabe der Leitungsdaten (Länge, Verkürzungsfaktor, Wellenwiderstand, Dämpfung) notwendig.

### Eingabe des Leitungstyps

Beim neuen Antennenanalysator wird diese Arbeit vereinfacht, indem aus einer Liste einfach nur der verwendete Leitungstyp auszuwählen ist. Gleichzeitig wurde die Genauigkeit der Dämpfung als Funktion der Frequenz durch Aufteilung des Para-

**Bild 11: PC-Bedienoberfläche des neuen FA-Antennenanalysators; als Messobjekt diente ein 25-MHz-Quarz mit einer Lastkapazität von 18 pF. Foto und Screenshots: DL1SNG**



eters in zwei Konstanten verbessert. Die erste beschreibt die Abhängigkeit derjenigen Dämpfung, die proportional zur Wurzel aus der Betriebsfrequenz verläuft und die zweite die linear frequenzproportionalen Anteile. Die Konstanten sind fest im Programm gespeichert, man braucht nur noch den Namen der Leitung bzw. den Kabeltyp aus einer Tabelle auszuwählen.

### Kalibrieren

Auch der FA-VA 3 muss einmalig kalibriert werden. Dabei wird der tatsächliche Verlauf der Signalamplitude und Phase gemessen und abgespeichert. Im Unterschied zum Vorgängermodell muss dazu jedoch keine Lötbrücke mehr geöffnet und geschlossen werden. Vielmehr wurde ein Algorithmus gefunden, bei dem nur noch ein 50- $\Omega$ -Abschlusswiderstand an den Messingang anzuschließen und dann im Verlauf des Kalibriervorgangs wieder zu entfernen ist. Das Justieren eines Potenziometers ist nur in Ausnahmefällen notwendig. In Bild 10 ist eine typische Kalibrierkurve zu sehen.

### PC-Bedienoberfläche

Das PC-Programm für den FA-VA 3 habe ich komplett neu geschrieben. Die Kommunikation mit dem Messgerät, welche über USB-Kabel oder Bluetooth-Funkverbindung laufen kann, arbeitet nun bidirektional. Über die Bedienoberfläche sind Start- und Stopp-Frequenz, Leitungslänge, Leitungstyp und (z. B. für einen schnellen Vergleich) auch die Nummer der auszulesenden Speicherbank im Messgerät fernsteuerbar. Zusätzlich können die Frequenzgrenzen über einen Tastenblock schnell auf die eines Amateurfunkbands umgeschaltet werden (Bild 11).

Da ferngesteuerte Messungen manchmal länger dauern, wird auch die Akkumulatorspannung angezeigt. Kurz vor dem Erreichen der Entladeschlussspannung wird der betreffende Farbbalken orange und

schließlich rot, dann schaltet das Gerät zum Schutz der Akkumulatoren ab.

Die Anzeigart (Wirk- und Blindwiderstand, Scheinwiderstand und Phase, Stehwellenverhältnis, Smith-Diagramm) ist frei wählbar und unabhängig von der aktuellen Darstellungsart am Messgerät.

Um Strom zu sparen und die Bildwiederholrate zu erhöhen, werden bei aktiver Verbindung mit dem PC-Programm die Displaybeleuchtung und die Berechnung der Grafikkoordinaten für das Display abgeschaltet.

Beim erstmaligen Kontakt mit dem PC-Programm wird der Name der COM-Schnittstelle (getrennt für USB und Bluetooth) automatisch ermittelt – das dauert einige Sekunden – und in der Windows-Registrydatei gespeichert. Dieses vermeidet eine neuerliche, zeitraubende Suche des Ports beim nächsten Einschalten.

Die Größe des Programmfensters ist frei skalierbar. Dabei werden die darin befindlichen Objekte gleichmäßig verteilt. Die Startgröße liegt bei 800 Pixel  $\times$  600 Pixel.

## ■ Zusammenfassung

Das neue Impedanzmessgerät FA-VA 3 ist eine konsequente Weiterentwicklung des bewährten Bausatzes. Schwächen wurden beseitigt und interessante Funktionen hinzugefügt.

Beim FA-Leserservice ist eine Bausatzserie in Vorbereitung. Neben dem Grundgerät, das für die Messung an Zweipolen ausgerüstet ist, werden das optionale Vierpol- und das Bluetooth-Modul erhältlich sein.

Ich wünsche allen Anwendern viel Freude mit dem neuen Gerät.

[norbert.graubner@freenet.de](mailto:norbert.graubner@freenet.de)

### Literatur

- [10] Graubner, N., DL1SNG: Breitband-Kegelreusendipol als Multibandlösung für KW. FUNKAMATEUR 57 (2008) H. 10, S. 1085–1089
- [11] USB-Bluetooth-Adapter Class 1; DeLock 61477. [www.delock.de/produkte/G\\_457\\_eBluetooth-Produkte.html](http://www.delock.de/produkte/G_457_eBluetooth-Produkte.html)