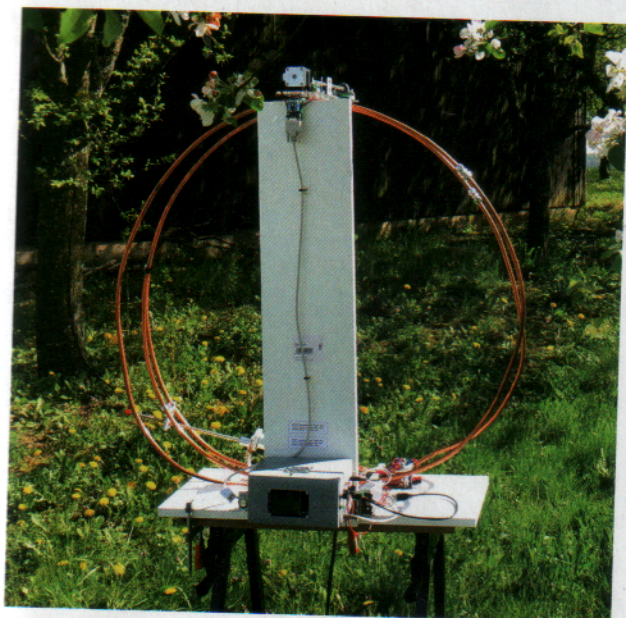


Mit Mikroprozessor

Magnetische Antenne – komfortabel abgestimmt

Arno H. Taruttis, DK3SS

Entgegen konventionellen Lösungen erfolgt hier die Abstimmung mit Mikroprozessor und Schrittmotor. Die komfortable Bedienung einer Magnetischen Antenne wird somit möglich.



praktischen Betrieb elegant gelöst. Für OMs mit kleinem Domizil oder Mietwohnung, ohne oder kaum Möglichkeiten, eine externe KW-Antenne für 80 m aufzubauen, bieten sie eine Chance, doch QRV zu werden.

Das gewählte Design weicht deutlich vom althergebrachten Standard ab, deshalb wird es hier näher beschrieben.

Magnetische Antenne allgemein und speziell

Über magnetische Antennen wurde von namhaften Autoren bereits viel Wissenswertes geschrieben, siehe [1–7, 11]. Der Autor begnügt sich daher damit, eine Liste von Quellen und Literaturstellen nebst Verweisen auf nützliche Berechnungen und Programme [8] wiederzugeben.

Diese magnetische Antenne strahlt bei senkrechten Leiterschleifen wie üblich mit vertikaler Polarisierung und hat auch eine gewisse Richtwirkung, ähnlich einer liegenden Acht. Durch Schwenken um 90° erreicht man also alle Himmelsrichtungen. Die Resonanzkurve (Bild 1) ist sehr scharf, die Bandbreite aber gut ausreichend für SSB-Betrieb. Wenn man jeglichen Übergangs-/Kontaktwiderstand minimiert und der Kondensator „verlustfrei“ ist, realisiert man Betriebsgüten von über 400 bei Verwendung von blankem Weichkupferrohr mit $D = 10$ mm und 1 mm Wandstärke. Die denkbare Verwendung größerer Rohrdurchmesser verteuert die Materialkosten und erschwert die Biegearbeiten zunehmend, bringt aber keine so deutliche Verbesserung beim Antennenwirkungsgrad. Es ist immer ein genaues Abstimmen auf die jeweilige Betriebsfrequenz erforderlich. Da Handbetrieb sehr umständlich ist, bietet sich der kleine Arduino-Nano V3 an, diese Aufgabe zu

Magnetische Antennen haben etwas Faszinierendes an sich und bieten erstaunliche Eigenschaften, die in der Messtechnik und im Funkbetrieb ausgenutzt werden können. Sie lassen sich selbst für die Bänder 80 und 160 m noch so klein genug bauen, um sie im Fahrzeug zu transportieren oder um im Zimmer, auf dem Balkon oder im Garten aufgestellt, mit ihnen zu funken. Bei Verwendung der geeigneten Materialien und Bauteile bekommt man eine Antenne mit optimaler Anpassung und durch den Einsatz eines Mikrocontrollers wird die Frequenzabstimmung im

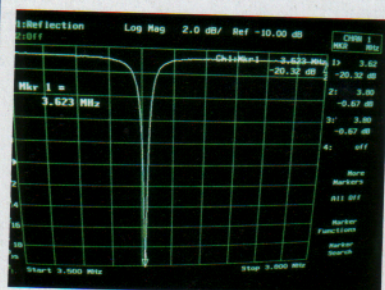


Bild 1: Typische Resonanzkurve als Rückflussdämpfung

Zur Person



Arno H. Taruttis, DK3SS
Jahrgang 1951
Amateurfunkgenehmigung seit 1970
Studium der Technischen Kybernetik an der Universität Stuttgart
Applikationsingenieur, fünf Jahre bei Rohde & Schwarz in München im Bereich HF-Messtechnik tätig, weitere Ingenieur Tätigkeiten und bis zum Ruhestand in 2012 über 20 Jahre bei einem großen Energieversorger, zuletzt als Leiter der Sekundärtechnik
Interessen: Funkbetrieb, Aktivitäten im OV, Entwicklung von Schaltungen, USA-Reisen

Anschrift:
Bildstr. 41
74360 Ilsfeld
dk3ss@darc.de

meistern. Auf Befehlseingabe per Taster S1/S2 oder über WLAN startet der Abstimmprozess, indem er die komplette Steuerung und Überwachung eines Schrittmotors übernimmt. Die Software („Sketch“ bei Arduino genannt) wurde lange erprobt und wiederholt optimiert. Der NEMA17-Schrittmotor ist in der 3D-Druckerwelt gebräuchlich, er macht Schritte von 1,8°, das erspart ein Getriebe und bringt die für den Abgleich nötige Präzision. Mit 200 Schritten pro Umdrehung über eine T8-Gewindespindel werden die beiden Windungen jeweils um 8 mm enger zusammen oder weiter auseinandergebogen. Der gesamte Verfahrensweg entspricht hier 5930 Schritten oder knapp 24 cm. Zusammen mit einem hochgütigen Festkondensator ergibt sich ein verlustarmer Schwingkreis ganz ohne verlustbringende Kontakte (Bild 2).

Kondensatoren mit extrem hoher Güte

Am Markt gibt es die so genannten Türknopfcondensatoren (Bild 3), die aufgrund ihrer typischen Bauform so genannt werden, welche bei Hochleistungs-Lasern und HF-Leistungstufen Verwendung finden. Sie sind für sehr

hohe Spannungen und Leistungen spezifiziert und eignen sich nahezu ideal für den Einsatz in magnetischen Antennen, wo bei 100 W Sendeleistung etwa 2,5 kV effektiv, oder 3,5 kV in der Spitze entstehen.

Zu Beginn dieses Projekts habe ich die extrem niedrigen Verluste dieser Kondensatoren erst einmal angezweifelt und bei 4 MHz mit einem Vektorvoltmeter ZPV (R&S) gemessen und bestätigt gefunden. Ermutigt davon, musste ich einfach sehen, wie sich damit eine Antenne bauen lässt. Weil aber diese Kondensatoren nur in einem Wertebereich von 150, 300, 500 pF verfügbar sind, bedurfte es noch der Glimmerkondensatoren, um in einer Reihenschaltung die tatsächlich benötigten Kapazitätswerte zu erhalten. Besonders Augenmerk war auf deren Erwärmung im Sendebetrieb zu legen, denn sie verstimmen die Resonanzfrequenz infolge temperaturabhängiger Kapazität. Hier zeigt Glimmer ebenfalls bekannte gute Eigenschaften (Bild 4).

Zur Sicherheit wurde mit einem Laser-Thermometer die Erwärmung bei Dauerträgerbelastung über eine und zwei Minuten gemessen. Um die Kapazitätsänderung durch Erwärmung so gering wie möglich zu halten, ist zusätzlich ein kleiner Fingerkühlkörper an der Anschlussfahne montiert. Mehr Einzelheiten dazu findet man auf meiner Webseite [9]. Somit konnte mithilfe eines zum Bandschalter umfunktionierten Netzschalters durch Zuschalten eines Kondensators das Problem gelöst werden, das darin bestand, dass durch mechanisches Abstimmen nur etwa 240 kHz des 80-m-Bands abgeglichen werden konnte. Jetzt geht der untere Bereich von unter 3,5 bis 3,74 MHz und der obere Bereich von etwa 3,56 bis

über 3,8 MHz. Der Bandschalter bekommt einen Neodyn-Magneten in die Wippe eingeklebt und außen einen Reed-Kontakt angebracht. So kann eine potenzialfreie Stellungsmeldung an die Steuerung abgegeben werden.

Erste praktische Erfahrungen

Schon bald wurde die manuelle Bedienung der Taster für „enger“ oder „weiter“ für zu umständlich empfunden. Dank einer hinzugefügten einfachen Funkfernsteuerung über WLAN kann man nun bequem vom Shack aus die Antenne abstimmen (Bild 5). Dazu wird ein separates WLAN aufgebaut. Klingt aufwändig, ist aber relativ einfach und preiswert. Ein preiswerter Router, Typ TL-WR841N von TP-Link, ein WLAN-Modul ESP8266-S01 in der Antennensteuerung und beispielsweise ein ASUS-Memopad oder ein Smartphone als Bedienpanel. Darauf läuft unter Android die kostenlose Steuerungs-App Shortcut aus dem Google PlayStore.

Es ist nicht zu empfehlen, das heimische WLAN dafür zu verwenden! Die Kommunikation zwischen Bedienteil und Steuerung erfolgt stets über den Router und nicht direkt/peer-to-peer. Damit alle Komponenten zusammenspielen können, müssen die Netzwerk-SSID und das WLAN-Passwort im ESP8266-S01 im Bedienteil eingetragen werden, ferner bekommt das WLAN-Modul in der Steuerung eine feste IP-Adresse eingetragen. Details siehe Bild 5.

Als weiterer Wunsch aus der Betriebspraxis war die Abfragemöglichkeit nach der momentanen Resonanzfrequenz vordringlich geworden. Hierzu findet der kleine NanoVNA, ein sehr günstiger vektorielles Netzwerkanalysator [10] seinen Einsatz. Er wird nur bei Bedarf über ein Antennenrelais anstelle der Speiseleitung

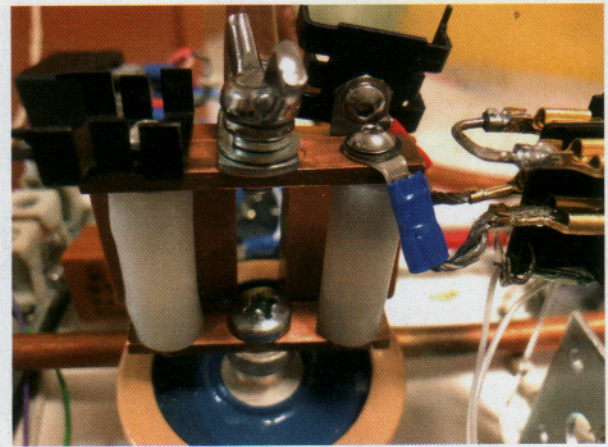


Bild 2: Kondensatorbaugruppe mit Bandschalter rechts



Bild 3: Türknopf-Kondensator mit guten Daten, wiegt 150 g

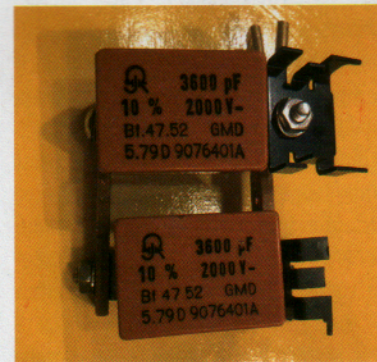


Bild 4: Zugeschaltete Glimmerkondensatoren

vom Sender direkt auf die Antenne geschaltet. Dies erfolgt ebenfalls über die WLAN-Fernsteuerung mit dem dritten möglichen Schaltbefehl (in Bild 5 oben). Durch die frei verfügbare Software nanovna.exe kann man die gewünschten Messkurven logmag S11 und Smith S11 über die USB-Schnittstelle des NanoVNAs auf einen PC übertragen und zur Anzeige bringen. Dazu verwende ich ein 10 m langes USB-Kabel (passiv) oder alternativ ein 15 m langes USB-Kabel mit Repeater. Sicherlich könnte man diese Daten auch über WLAN, also kabellos übertragen, da dies aber nicht mein Fachgebiet ist, bleibt es also erstmal beim Kabel.

Bau der magnetischen Antenne

Zugegeben, die am Ende des Beitrags angegebene Liste der Einzelteile ist sehr lang, enthält mehrere kleine Leiterplatten, und ganz viele mechanische Teile müssen gedreht, abgekantet und gebohrt werden, Gewinde müssen geschnitten



Bild 5: Fernsteuerung über eigenes WLAN

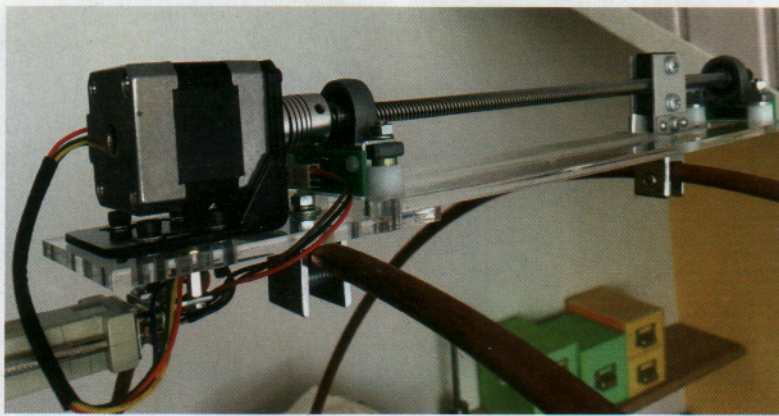


Bild 6: Abstimmereinheit mit Schrittmotor und T8-Spindel

werden, manche Teile sind auch tauchverzinnt auszuführen für bessere Kontakteigenschaften auf lange Sicht.

Die RND-Gehäuse wurden auf einer kleinen NC-Fräsmaschine bearbeitet, das Chassisblech mit seinen 21 Bohrungen bohrt auch die NC-Maschine. Die gesamte Abstimmmechanik ist isoliert auf laser-bearbeitetem Acryl aufgebaut (**Bild 6**). Anschließend wird alles genau passend zusammengefügt. Schraubensicherungsringe und Sicherungslack verhindern das Selbstlösen von Schrauben durch die Vibrationen des Schrittmotors. Aus diesem Grund wurde statt einer langen Teileliste eine detaillierte Liste der selbst zu beschaffenden Komponenten und nötigen Spezialwerkzeuge sowie der bereits fertig montierten Module erstellt, siehe unten.

Das Highlight und zugleich die Herausforderung beim Selbstbau ist die Bearbeitung des im Ring angelieferten 10-mm-Weichkupferrohrs zu einer Antennenspule mit zwei Windungen und einem mittleren Durchmesser von 86 cm. Sie wird auf dem Basisbrett mit den Niedax-Klemmschellen befestigt und die Anschlussbögen für die Kondensatorbaugruppe werden mit der Biegezange nach Bildvorlage gefertigt.

Die beiden Rohrenden mit einem 9-mm-Bohrer etwa 15 mm tief aufbohren, damit die Hülsen der Kabelschuhe hineinpassen. Danach werden diese Hülsen unter Zuhilfenahme der Lötlehre mit einem kleinen GaslötKolben verlötet. Den Masseanschluss lötet man genau mittig an die gefertigte Spule. Je ein Stück Schrumpfschlauch verbessert die Isolation gegen die Niedax-Schiene. Mehr Einzelheiten dazu auf [9].

Nach Montage der vorgefertigten Kondensatorbaugruppe ist der Antennenschwingkreis fertig, es fehlt noch die Gamma-Match-Einspeisung mit dem motorisch verstellbaren Anpassungsschieber

und einer isolierten Halteklammer am Ende. Der motorische Anpassschieber hat sich aus mehreren Gründen als sehr nützlich herausgestellt. Zum einen liegen die 50- Ω -Punkte von 3,5 und 3,8 MHz etwa 6 cm auseinander und ein Verschieben von Hand schadet mit der Zeit der blanken Oberfläche des Kupferrohres, was zu Übergangswiderständen führt. Dieser Rohrbereich sollte stets glattpoliert und blankgeputzt sein, dazu wird ein haushaltsübliches Mikrofasertuch empfohlen. Es kann durchaus sein, dass das angelieferte Rohr bereits sichtbare Fingerabdrücke und sonstige Beläge aufweist, die erst mit einem Metallputzmittel entfernt werden müssen.

Nun folgt die Verdrahtung des Montagewinkels mit der SO239-Koaxbuchse und des Antennenrelais' auf der äußeren Niedax-Klemmschelle sowie die Herstellung der Masseverbindung zur Antennenspulenmitte. Dann der Anschluss an die zentrale Gleichstromverteilung.

Das HF-Signal gelangt beim Messen mit dem NanoVNA über den Arbeitskontakt des Antennenrelais' und die Koppelkondensatoren aus Glimmer auf die Gamma-Match-Leitung.

Im Funkbetrieb ist das Antennenrelais stromlos und die HF geht über den Ruhekontakt von der SO239-Koaxbuchse auf die Gamma-Match-Leitung. Mehr Einzelheiten dazu auf [9].

Nachdem nun noch die Baugruppe „DC-Auskopplung“ im Alu-Gehäuse verdrahtet und nachdem die stabilisierten 9 und 5 V an die grauen Klemmen der Steuerung angeschlossen sind, werden alle DC-Hohlstecker rechts an der Steuerung gesteckt. Sowie der Bandschalter mit dem Reed-Kontakt zur Stellungsmeldung mit der Steuerung verbunden ist, kommt der große Moment des ersten Einschaltens. Im kleinen OLED-Display seitlich kann man ablesen, ob

der Mikrocontroller erfolgreich gestartet wurde und nur, wenn die beiden DSUB9-Buchsen mit dem Kabel verbunden sind, kann man auch den Schrittmotor zum ersten Mal laufen lassen, jetzt noch manuell per Taster.

Als nächsten Prüfschritt kontrolliert man die WLAN-Fernsteuerung. Sind alle Geräte im WLAN vom TP-Link-Router eingebucht? Falls ja, müssten die Fernsteuerbefehle funktionieren. Neben den Befehlen „enger AN“ und „enger AUS“, oder „weiter AN“ und „weiter AUS“, gibt es den dritten Befehl „VNA AN“ oder „VNA AUS“.

Das Wesen der WLAN-Fernsteuerung ist: „Befehl absenden, Quittung empfangen und vergessen“, deshalb benötigt man immer auch den korrespondierenden Befehl zum Absteuern („Aus“). Wird ein Laufbefehl mal nicht abgesteuert, so erreicht die Spindel das mechanische Ende, wo ein Endlagensensor (Gabellichtschranke) anspricht und den Laufbefehl sowie die Einschaltung des NanoVNA automatisch absteuert bzw. löscht, indem ein Reset-Befehl auf das WLAN-Modul ESP8266-S01 gegeben wird.

Noch ein Hinweis

Die drei Gleichstromleitungen 9, 5 V und Masse werden unterhalb der Steuerung im grauen RND-Gehäuse auf etwa 20 cm Länge in einem speziellen 8-mm-Edelstahlrohr auf die linke Seite geführt. Dieses Rohr, obwohl aus Edelstahl, ist auch magnetisch und bewirkt eine gewisse Schirmung gegen die parallel verlaufende Antennenspule, auf welcher bei 100 W im Resonanzfall etwa 16 A fließen. Hier sollte möglichst wenig HF einkoppeln, zusätzlich ist die 5-V-Versorgung stark verdrösselt. Allgemein sollten alle Gleichstromleitungen möglichst quer zur Antennenspule verlaufen für minimale HF-Einkopplung.

Der Netzwerkanalysator NanoVNA – hier sehr nützlich

Mithilfe des kleinen Netzwerkanalysators NanoVNA [10] kann jetzt zum ersten Mal die Antenne vermessen werden (**Bild 7**). Vermutlich muss die Antennenspule durch Rohrbiegen, wie auf meiner Webseite beschrieben, noch auf die Bandgrenzen hin getrimmt werden. Auf jeden Fall sollte eine exzellente Anpassung einstellbar sein, eine hohe Rückflussdämpfung und ein Kreis im Smith-Diagramm, der durch 1 geht, mit dem motorisch verstellbaren Anpassschieber erreicht werden. Geht

der Kreis links an 1 vorbei und ist somit zu klein, so steht der Schieber noch zu niedrig ($<50 \Omega$), steht der Schieber schon zu weit oben ($>50 \Omega$), so geht der Kreis rechts an der 1 vorbei und ist zu groß. Im Bild wird ein optimal abgestimmtes Beispiel gezeigt. Das ist der angenehme Vorteil einer Gamma-Match-Einspeisung gegenüber der einfachen, starren Koppelschleife, wie sie in vielen anderen Bauvorschlügen propagiert wird. Der Netzwerkanalysator mit seiner Stromversorgung über den USB-Port ist in einem eigenen, kleineren RND-Gehäuse untergebracht, welches mittels Scharnier hochklappbar am Deckel des RND-Gehäuses der Steuerung befestigt ist. Dies erleichtert die Ablesung des Displays erheblich, besonders bei Einsätzen draußen im Freien. Beim Einschalten des NanoVNA über einen aus dem WLAN gesteuerten Relaiskontakt, der den Schalter On/Off überbrückt, wird immer die Parametrierung von Speicherplatz 0 geladen.

Wichtig zu erwähnen: Der eingebaute LiPo-Akku muss abgesteckt werden! Um den Abgleich der Antenne zu erleichtern, sind 3450 kHz als Startfrequenz und 3850 kHz als Stoppfrequenz parametrierung und je eine Marke zeigt die Bandgrenzen an. Es gibt nichts mehr am NanoVNA einzustellen.

Stromversorgung der Antenne

Es sind zwei Alternativen vorgesehen, einmal die 12 V DC direkt in die zentrale Gleichstromverteilung an der Antenne einspeisen, oder etwa 14 V DC an der Senderseite über ein Bias-T/DC-Bloc einspeisen, um damit auch gleichzeitig die ohmschen Verluste auf dem Koaxialkabel auszugleichen. Mehr Einzelheiten dazu findet man auf [9].

Hauptstromverbraucher ist das Treibermodul TB6600 für den Schrittmotor, welches bei laufendem Motor impulsförmig relativ hohe Stromspitzen erzeugt und aus diesem Grund eine dynamisch niederohmige Quelle erwartet. Dies wird durch die großen Elkos mit je 5,6 mF erreicht, ohne sie würde der Motor nicht drehen. Durch sie sieht man beim Einschalten für einen kurzen Moment einen hohen Anlaufstrom. Bei laufendem Motor fließt im Mittelwert 1,1 A. Damit limitiert sich die Verwendung von RG-58/U-Koaxialkabel auf gut 10 m Kabellänge. Für größere Kabellängen ist RG-213/U einzusetzen. Natürlich kann man die 12 V auch über ein separates Kabel zuführen.

Zum Thema EMV

Das Treibermodul TB6600 mit seinen Stromspitzen hat sich, wie befürchtet, als große Störquelle entpuppt und die Ableitungen zum Schrittmotor waren die „Antenne“. Ein Abgleich der magnetischen Antenne auf maximales Empfangssignal war damit überhaupt nicht möglich.

Einfache Verdrosselungen hatten viel zu geringe Dämpfung. Die Lösung dieses Problems bringt ein kleines EMV-Board mit zwei SMD-Gleichtaktdrosseln und nachgeschalteten Entstörkondensatoren unmittelbar auf den Phoenix-Klemmen des TB6600. Mehr Einzelheiten dazu auf [9].

Im Ruhezustand der Steuerung (Motor steht) fällt kein Störsignal im 80-m-Band auf. Test-QSOs und Messungen auf der grünen Wiese, weitab von Häusern mit DSL und PowerLine ergaben keine unakzeptabel hohen Störsignale mehr bei laufendem Schrittmotor im 80-m-Band. Vom Mikrocontroller und seinen anhängenden Komponenten ist bei stehendem Schrittmotor nichts zu hören.

Das **Aufmacherfoto** zeigt die fertige Antenne bei Messungen. Die früh geäußerte Skepsis einiger OMs gegenüber einem Mikrocontroller an einer Antenne konnte also erheblich entkräftet werden. Tests mit WSPRnet zeigen erfreuliche Ergebnisse [9].

Liste der Beschaffungen

Um diese Antenne aufzubauen und all die vielen Erfahrungen zu nutzen, welche ich in den letzten zwei Jahren bei der Entwicklung und dem Aufbau damit sammeln konnte, sollte die optimale Teilebeschaffung wie folgt ablaufen:

- aus dem Baumarkt oder eBay oder Amazon das 10-mm-Weichkupferrohr (10-m-Ring eventuell günstiger) und nur evtl. noch zwei 10-mm-Verschraubungen mit Schneidklemmrings
 - Holzbohrer mit 6 und mit 7 mm
 - aus dem Baumarkt oder eBay oder Amazon die abgebildete Rohrbiege- zange, den Rohrabtschneider und den Mini-Gaslötbrenner
- Alle anderen Komponenten, programmiert, geprüft, vormontiert und im Zusammenspiel getestet, gibt's beim Autor. Optional beim Autor (ohne Gewähr):
- Bodenplatte, 19 mm stark u. 69×27 cm, mit professionellem Umleimer sowie das auf 88 cm gekürzte und 16 mm starke weiße, 20 cm breite Regalbrett

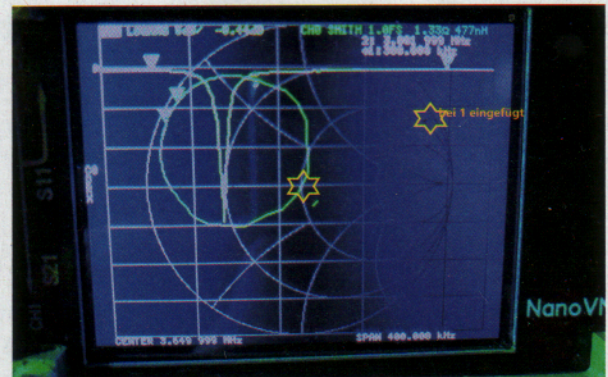


Bild 7: NanoVNA-Anzeige, Resonanz und 50-Ω-Punkt, alles passt!

- fertig montierte und funktionsgeprüfte Schrittmotoreinheit
- fertig im RND-Gehäuse aufgebaute Steuereinheit, programmiert und funktionsgeprüft, sowie den ins System integrierten NanoVNA im kleineren RND-Gehäuse
- Kondensatorbaugruppe mit Bandumschalter, funktionsgeprüft
- Gamma-Einspeisung mit den Glimmerkondensatoren und motorisch verstellbarem Anpassschieber und Abstandhalter und Drehschalter auf Montagewinkel
- Niedax-Schienen, -Klemmen, Geweideinsätze und Montagewinkel mit SO239-Koaxbuchse, Masseanschluss, gebohrter Hartholzklötz 28 × 28 mm und dazu die Schlossschrauben M6 × 60 mit Muttern
- fertig im Alugehäuse aufgebaute DC-Auskopplung mit Verdrosselung für 12 V Eingangsspannung und mit Spannungsreglern für 5 und 9 V
- antennenseitige Verdrosselung und zentrale Gleichstromverteilung
- fertige Gleichstromeinspeisung ins Koaxkabel (optional) an der Senderseite.



Literatur und Bezugsquellen

- [1] Ted Hart, W5QJR: „Small high efficiency loop antennas“, ARRL QST 6/86, S. 33ff.
- [2] Günter Schwarzbeck, DL1BU: „Rahmen- und Ringantennen“, CQ DL 5/84, S. 226ff.
- [3] Joachim Wollweber, DF5PY: „Die magnetische Antenne – eine Wunderantenne?“, CQ DL 3/87, S. 149ff.
- [4] Harald Zisler, DL6RAL: „Noch eine magnetische Antenne“, CQ DL 5/90, S. 302
- [5] Wikipedia, <https://de.wikipedia.org/wiki/Magnetantenne> mit weiteren Links
- [6] Christian Schneider, DL7JV: www.qsl.net/dl7jv/mag.htm
- [7] Alexander von Obert, DL4NO: www.dl4no.de/thema/magnetis.htm
- [8] Hochschule Stralsund, DG0KW: www.dl0hst.de/magnetlooprechner.htm
- [9] Homepage <https://dk3ss.darc.de>
- [10] Ernst Wawrzik, DK1VI: „Neues vom NanoVNA“, CQ DL 1/20, S. 19ff. und 11/19, S. 20ff.
- [11] Klaus Finkenzeller, DL5MCC: „Magnetic-Loop-Antenne nach DL5MCC“, CQ DL 1/20