

Digitale Matchbox für Dipol im Speisepunkt



Bild 1

Um symmetrische Antennen an eine Sendeendstufe anzupassen, gibt es verschiedene Lösungen. Karl Rothammel [1] beschreibt bereits in den 60er Jahren die Anpassung einer Doppel-Zepp (Doublet) mit einem symmetrischen Collins-Filter. Dieses Konzept ist Grundlage für den hier vorgestellten Entwurf. Zur Ermittlung der Impedanz im Fußpunkt symmetrischer Antennen sind im FA bereits mehrere Beiträge erschienen. [10], [11]

Nun verfügen die neueren Transceiver über automatische, unsymmetrische Antennentuner, allerdings sind rein symmetrische, externe Tuner rar bzw. teuer in der Anschaffung. Symmetrische Antennensysteme werden üblicherweise mit einer Hühnerleiter (450 Ohm oder höher) gespeist, und im Shack auf die nötigen unsymmetrischen 50 Ohm für die gängigen Transceiver transformiert. Dies ist für hohe Leistungen sicher eine günstige Lösung, da eine Matchbox mit einer hohen Leistung direkt im Speisepunkt einer symmetrischen Antenne aus gewichts- und stabilitätstechnischen Gründen nur den Big-Stations mit hohem mechanischen Aufwand vorbehalten sein dürfte. Ein 20m- Drahtdipol symmetrisch in der Mitte gespeist dürfte bei einer Matchbox mit einem Gewicht von ~1 kg stark durchhängen und nur mit einem zusätzlichen Mast zur Unterstützung in der Mitte die gleiche Höhe mit den Abspannpunkten an den Enden erreichen. Ein Drahtdipol mit 2 x 11m ist hier seit langer Zeit in Betrieb. Die 600 Ohm – Hühnerleiter (s. Bild 1) speist den Dipol und wird mit einem symmetrischen Anpassgerät im Shack an einen Transceiver mit 200W angepasst. Mit dieser Anordnung ist Funkbetrieb auf allen Kurzwellenbändern bei entsprechender Auslegung der Kapazitäten und Induktivitäten möglich. Einschränkungen muss man auf 160m bei dieser Dipollänge hinnehmen. Auf 80m sind selbst im Pile-up in CW seltene DX-entities möglich. Einen fest verspannten Drahtdipol kann man leider nicht drehen, so dass die Strahlungskeulen die Vorzugsrichtungen der Antenne bestimmen.

Diese Überlegungen führten zu der nachfolgenden, reduzierten Matchbox, in die die Erfahrungen der früheren Versionen der symmetrischen Anpassgeräte eingeflossen sind.

Zielvorgaben der neuen Version:

- Matchbox direkt im Einspeisepunkt des Dipols
- Frequenzbereich 18 MHz bis 30 MHz
- Transceiverleistung 100W / 50 Ohm
- Drehbarer Dipol aus leicht zu beschaffenden Alu-Rundprofilen [3] (tapered)
- Stabile und leichte Mechanik
- Dipollänge 8,50m (mein Antennenmast ist 4,25m von der Nachbargrenze entfernt)
- Größere Dipollängen sollten möglich sein
- Keine Elektronik im Gehäuse der Matchbox
- Leicht beschaffbare Bauteile, bzw. leicht zu fertigende Spulen und Kondensatoren
- Platinen aus Epoxy 1,5mm Dicke, alle Maße unter 80mm x 100mm mit Freeware Eagle [12]
- Nachbaumöglichkeit (sollte nicht das Erstprojekt sein)
- Steuerung der Relais mit Drehencodern
- Wahl der 32 Speicherplätze mit Drehencoder
- Frei verfügbare Steuerungssoftware [2] auf Basis eines Mega 2560
- LC-Display 2 x 16 für Abstimmung und Speicherergebnisse
- !! und, um es nicht zu vergessen: Bastelspaß

In der Version 1, die man im Bild 1 auf dem Antennenmast sieht, wurden alle Vorgaben mehr als erfüllt. Die Matchbox hat von 14 MHz bis 30 MHz alle Bänder mit einem SWR von mindestens 1,1 angepasst (sogar auf 50 MHz mit SWR 1.1). Auch auf 30m war noch eine Abstimmung möglich. Allerdings war auf der Senderseite das Kapazitätsmaximum bei SWR 2,0 erreicht. Dies hat zu der Version 2 und im Verlaufe der Tests zu dem Platinsatz der Version 4 geführt, die Grundlage dieses Artikels ist (siehe auch Messergebnisse im zweiten Teil des Projekts).

- Ein zusätzliches Relais auf der Tx-Seite verdoppelt nun das Kapazitätsmaximum, so dass eine ausreichende Anpassung auch auf 30m möglich ist. Bessere Wirkungsgrade werden mit einer Dipollänge von 2x 5m und mehr erreicht . Um größere Antennenlängen zu ermöglichen, wurde die Stabilität mit je 2 Stauff Schellen [4] pro Dipolzweig, einer Aluplatte 500mm x 5mm mit aufgeschraubtem Aluwinkel 3mm dick, Kantenlänge 30mmx30mm erhöht. [3]
- Modularer Aufbau der Matchbox in Sandwichbauweise. Die elektrische Verbindung zwischen C- und L-Platinen erfolgt mit 40mm langen Abstandsbolzen [5]. (Bild 2)
- Eine Heizung mit 2 x 5W-Widerständen à 100 Ohm auf der Platine soll gegen Kondenswasserbildung helfen (Betrieb mit 24V/ ca. 0,12A).

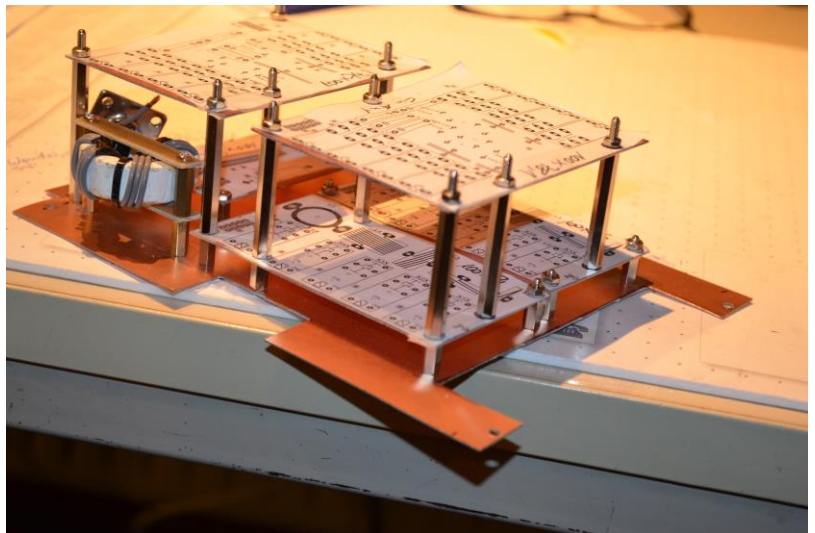


Bild 2

Module des Antennentuners im Überblick

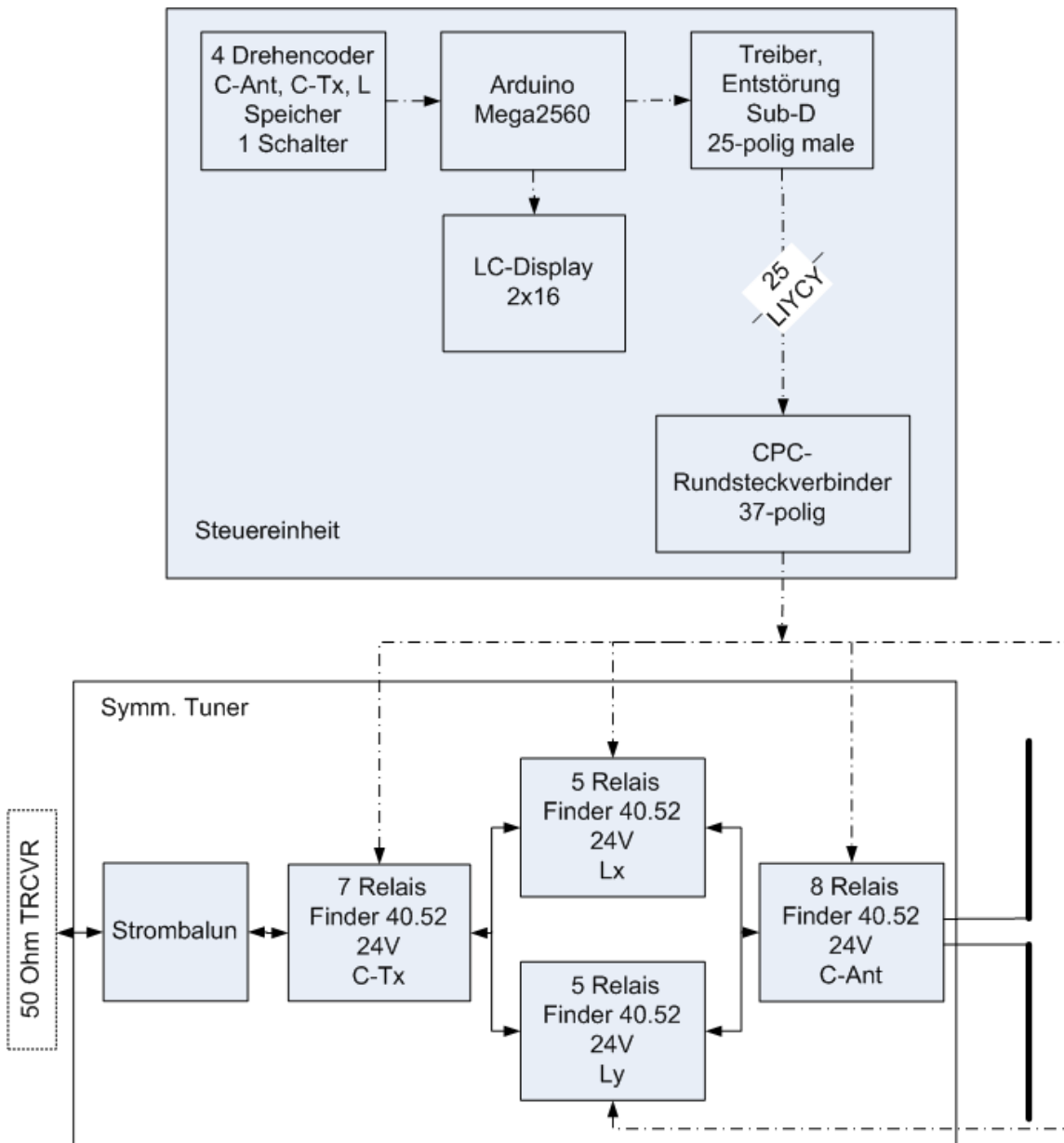


Bild 3

Prinzip des symmetrischen Antennentuners

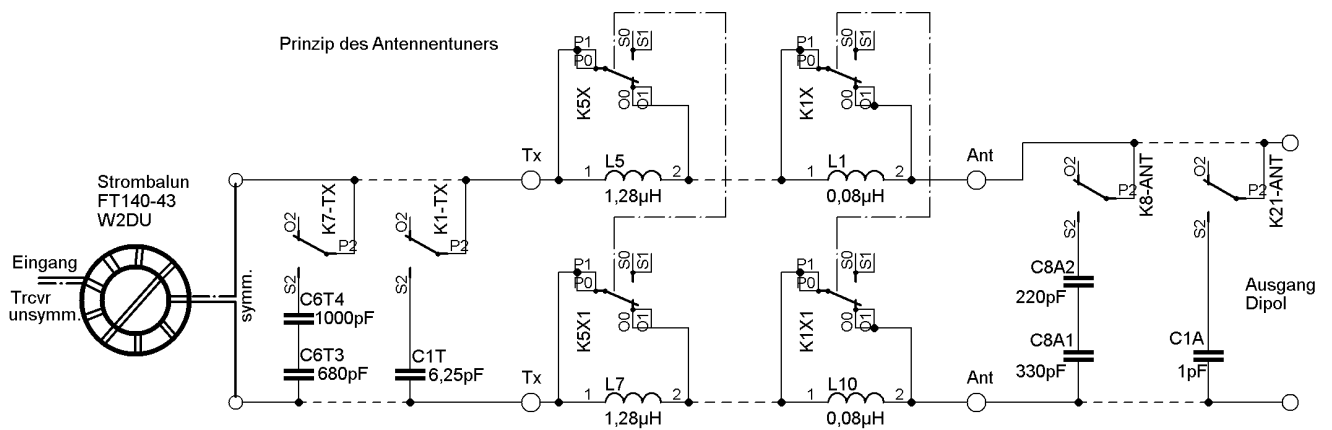


Bild 4 (geänderte L-Symbole)

Bestückung der Platinen

Das Ergebnis mehrerer Versionssprünge, bei der die Platinen optimiert wurden, ist den Eagle-Layouts zu entnehmen. Die kleineren Cs – bis 50 pF - sind aus doppelt-kaschiertem Epoxy-Material ($\epsilon_r = 4,6$) [8] hergestellt und entsprechend spannungsfest. Das Dielektrikum ist für die Kurzwelle gut geeignet. Die Maße für die selbst zu erstellenden Kondensatoren kann man dem Schaltplan entnehmen. Die übrigen Kondensatoren ab 100pF sind aus Kosten- und Beschaffungsgründen 2000V-Typen FKP-1 [6].

Schaltplan der Kondensatorplatine Antennenseite

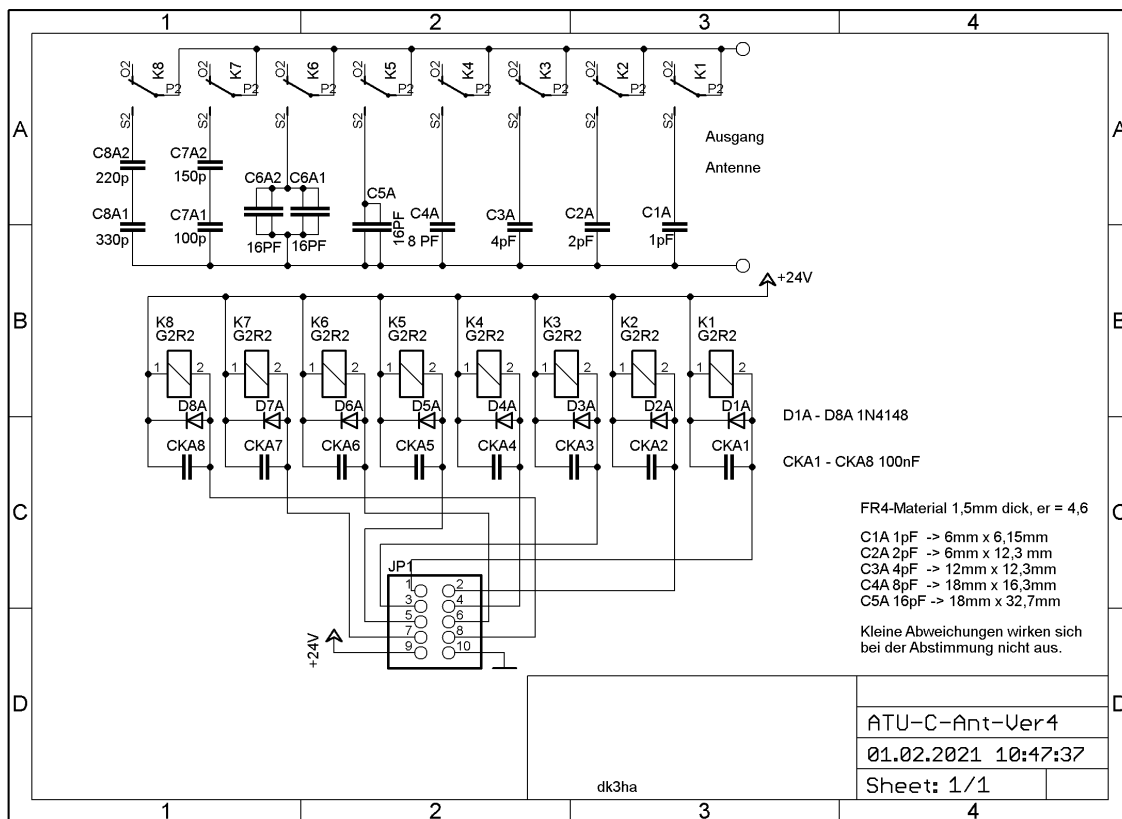


Bild 5

Stückliste Antennentuner 18 - 28MHz/Version 4/ATU-C-Ant-Ver4.sch

Die kleineren Cs – bis 50 pF - sind aus doppelt-kaschiertem Epoxy-Material ($\epsilon_r = 4,6$) hergestellt, [8]

- 1 Stk. 1pF Maße 6,2mm x 6mm
- 1 Stk. 2pF Maße 12,3mm x 6mm
- 1 Stk. 4pF Maße 12,3mm x 12mm
- 1 Stk. 8 PF Maße 16,4mm x 18mm
- 3 Stk. 16PF Maße 32,8mm x 18mm
- 1 Stk. 1000pF FKP-1 2000V
- 1 Stk. 150pF FKP-1 2000V
- 1 Stk. 220pF FKP-1 2000V
- 1 Stk. 330pF FKP-1 2000V
- 8 Stk. 100nF 1206 SMD CKA1-CKA8
- 8 Stk. 1N4148 DIODE SMD D1A- D8A
- 1 Stk. Stiftleiste 2X5 JP1
- 8 Stk. Finder Relais 50.52 24V K1- K8

Bestückungsplan der Kondensatorplatine Antennenseite

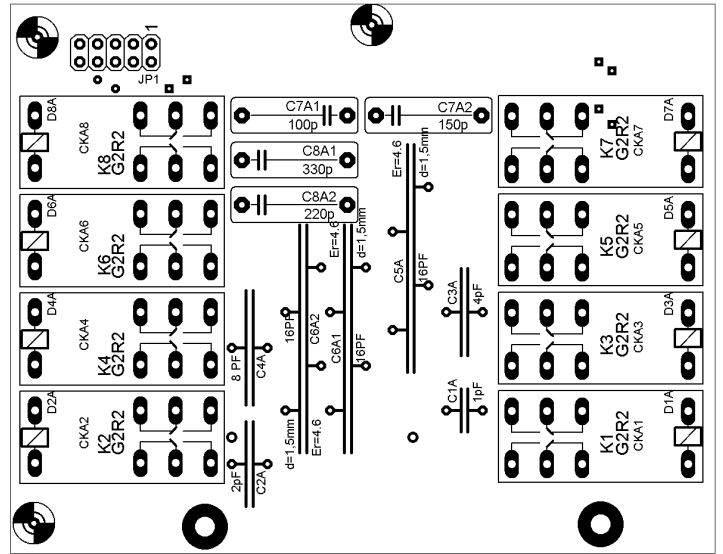


Bild 6

Schaltplan der Kondensatorplatine Senderseite

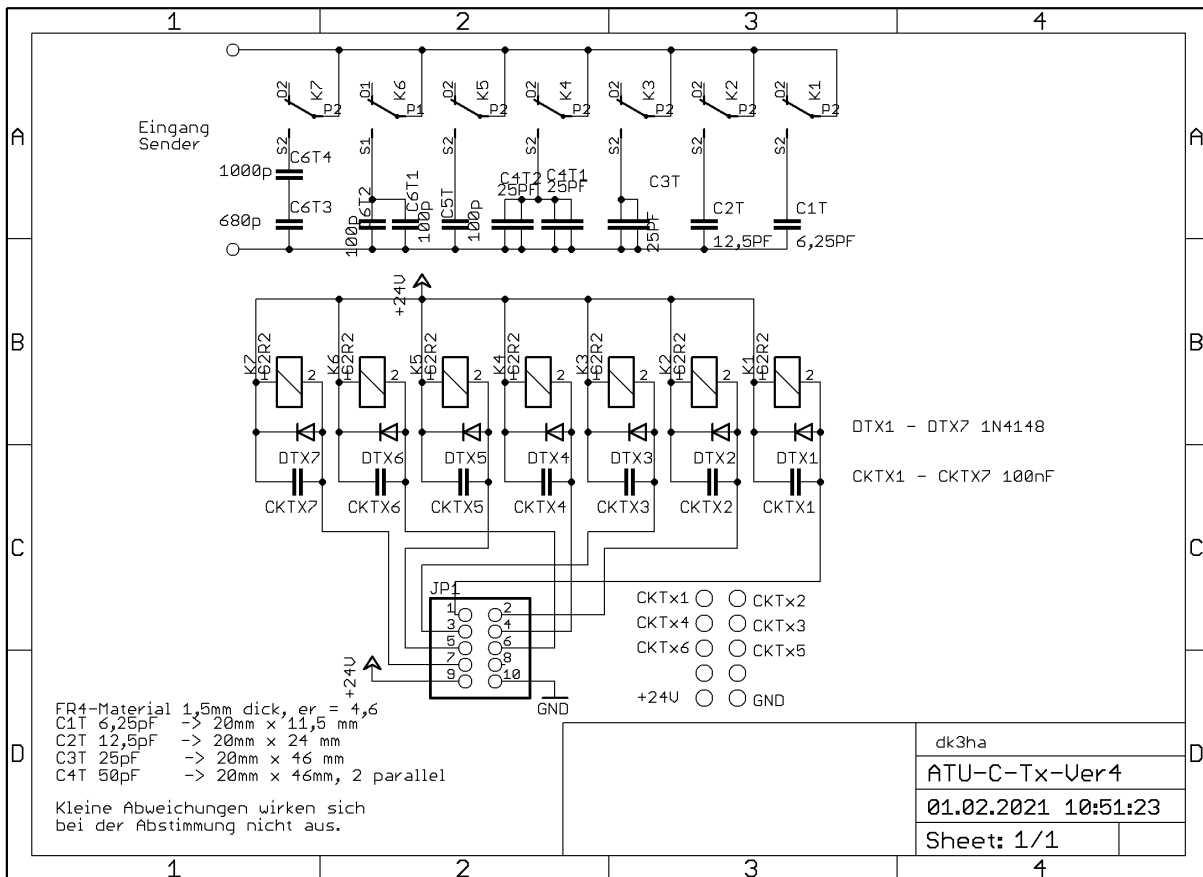


Bild 7

Stückliste Antennentuner 18 - 28MHz/Version 4/ATU-C-Tx-Ver4.sch

Die kleineren Cs – bis 50 pF - sind aus doppelt-kaschiertem Epoxy-Material ($\epsilon_r = 4,6$) hergestellt, [8]

- 1 Stk. 6,25pF Maße 18,7mm x 13mm
- 1 Stk. 12,5pF Maße 27,5mm x 18mm
- 3 Stk. 25pF Maße 49,4mm x 18mm
- 1 Stk. 8 PF Maße 16,4mm x 18mm
- 3 Stk. 16PF Maße 32,8mm x 18mm
- 3 Stk. 100pF FKP-1 2000V C5T, C6T1, C6T2
- 1 Stk. 680pF FKP-1 2000V C6T3
- 1 Stk. 1000pF FKP-1 2000V C6T4
- 1 Stk. 330pF FKP-1 2000V
- 7 Stk. 100nF 1206 SMD CKTX1-CKTX7
- 7 Stk. 1N4148 DIODE SMD DTX1- DTX7
- 1 Stk. Stiftleiste 2X5 JP1
- 7 Stk. Finder Relais 50.52 24V K1- K7

Bestückungsplan der Kondensatorplatine Senderseite

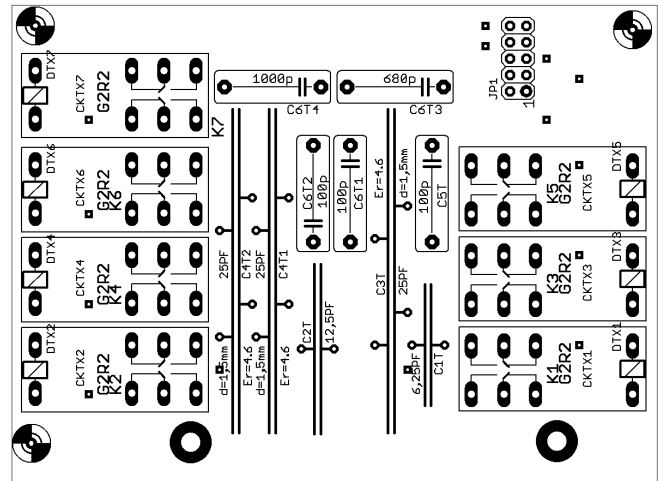


Bild 8

Schaltplan der 2 Platinen für die Induktivitäten

Die Induktivitäten mit $\mu_r = 1$ (Luftspulen) sind aus 1,8 mm (1,5 mm, was gerade da war) CuL alter Trafos auf 16mm Installationsrohr gewickelt. Die Anzahl der Windungen sind im Schaltplan zu finden. Wichtig sind nicht die absoluten Werte. Die Induktivitäten sollten allerdings aus Symmetriegründen möglichst gleiche Werte aufweisen. [9]

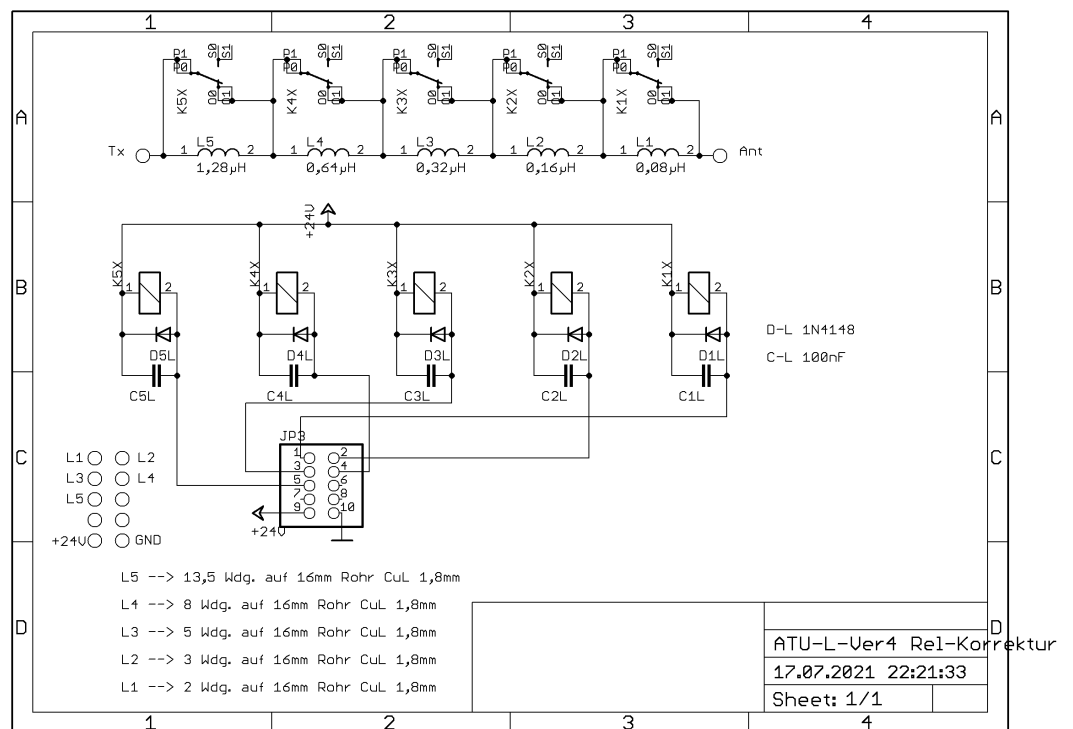


Bild 9 (geänderte L-Symbole)

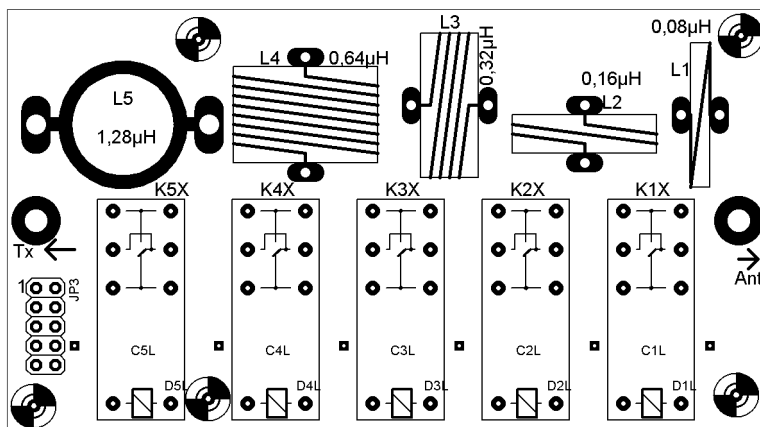
Stückliste für 2 Platinen Antennentuner 18 - 28MHz/Version 4/ATU-L-Ver4.sch

- 10 Stk. 100nF 1206 SMD C1L- C5L
- 10 Stk. 1N4148 DIODE- SMD D1L- D5L
- 2 Stk. Stiftleiste 2X5 JP3
- 10 Stk. Finder Relais 50.52 24V K1X- K5X
- 2 Stk. 0,08 μ H N=2 L1 Luftspule N=1,8mm auf 16mm Installationsrohr
- 2 Stk. 0,16 μ H N=3 L2 Luftspule d=1,8mm auf 16mm Installationsrohr
- 2 Stk. 0,32 μ H N=5 L3 Luftspule d=1,8mm auf 16mm Installationsrohr
- 2 Stk. 0,64 μ H N=8 L4 Luftspule d=1,8mm auf 16mm Installationsrohr
- 2 Stk. 1,28 μ H N=13,5 L5 Luftspule stehend d=1,8mm auf 16mm Installationsrohr

Der absolute Wert der Luftspulen ist weniger wichtig. Wegen der Symmetrie sollten die Werte der parallelen Spulen möglichst gleich sein. Die Drahtstärke darf auch 1,5mm CuL sein.

Bestückungsplan der 2 Platinen für die Induktivitäten

Alle Relais sind 24V-Typen FIN 40.52.9 24V. Die Stromaufnahme wird damit so gering, dass ein 25-poliges Steuerkabel mit geringem Querschnitt (0,14 mm² LIYCY 25-polig erhältlich u. a. bei [6]) über lange Strecken funktioniert. Die internen Verbindungen im Antennentuner werden mit 10-poligem Flachbandkabel hergestellt. Die Quetschverbindungen für die Pfostenstecker können leicht mit Hilfe eines Schraubstocks gefertigt werden. Mit einem 26-poligen Flachbandkabel wird die Platine mit dem Rundsteckverbinder [6] CPC mit 25 Kontakten verbunden. Bild 10



Aufbau der Matchbox

Wie im Überblick (Bild 3) und im Modell (Bild 2) zu sehen ist, besteht der eigentliche Antennentuner aus 4 Platinen, und einer weiteren Platine, auf der die Pfostensteckverbinder für die Relais zusammengeführt werden. Die 4 Platinen werden auf eine zugeschnittene, Cu-beschichtete Grundplatte in Sandwichbauweise befestigt. Die beiden Platinen für die Induktivitäten werden parallel direkt nebeneinander mit Abstandshaltern (10mm) auf der Grundplatte befestigt. Die Verbindungspads der Kapazitäten für Ein- und Ausgang sollten genau über den korrespondierenden Anschlusspunkten der Platinen für die Induktivitäten liegen, so dass die Platinen mit Abstandshaltern (40mm) stabil und fest verbunden werden können. Die konfektionierte Grundplatte wird so zugeschnitten, dass sie in ein Gehäuse des Typs Bopla ET-240 bzw ET-241 mit den Maßen l= 250 x b=160 passt.

Platine Verbindung L-C auf Pinhead 26

Diese Platine ist auf der Grundplatte unterhalb der Platine für die senderseitigen Kondensatoren platziert. Die Bohrungen auf der Grundplatte werden mit der unbestückten Platine markiert. Die Platine fasst mit Flachbandkabel die 4 Relais-bestückten Platinen zusammen und verbindet sie über eine 26-polige Stiftleiste mit dem CPC-Einbaufanschstecker. Eine Heizung aus 2 100-Ohm-5W-Widerständen zur Verhinderung von Kondenswasserbildung befindet sich auf der Platine.

Schaltplan

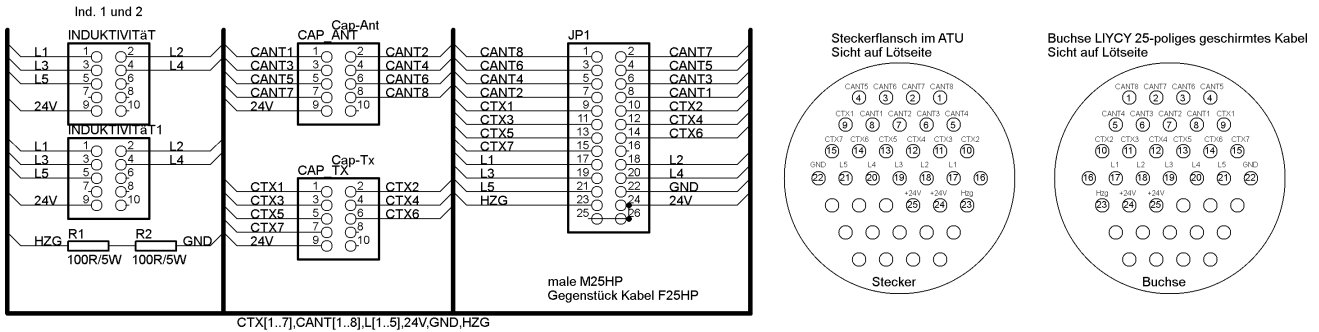


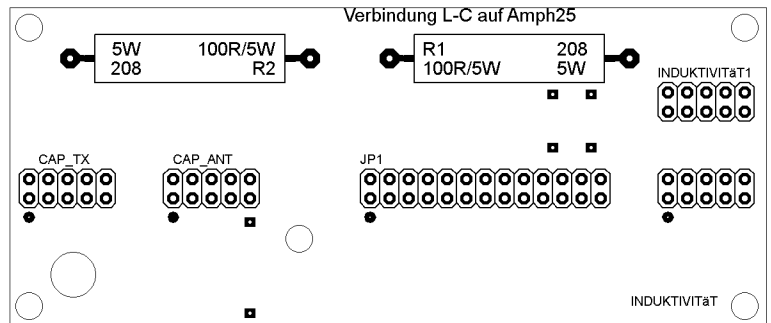
Bild 11 (geändert wegen 24V-Hz.)

Stückliste

- 4 Stk. Stiftleiste 2X5
- 1 Stk. Stiftleiste 2X13
- 2 Stk. Widerstände 100 Ohm/5W

Bestückungsplan

Bild 12



Grundplatte für Bopla ET-240/241 zur Aufnahme der 5 Platinen der Matchbox.

Die Grundplatte wird aus einseitigem CU-beschichtetem Epoxy-Material oder einem anderen Material angefertigt. Die schraffierten Flächen müssen ausgeschnitten werden. Die Koordinaten der vier Bohrungen auf der Grundplatte, die zur Befestigung mit dem Gehäuse dienen, sind Bild 13 zu entnehmen.

Die geätzten Platinen sind gemäß Bild 2 so auf die Grundplatte zu legen, dass man die Bohrungen ($d = 3,5\text{mm}$) für die Distanzhülsen markieren kann.

Folgende Materialien werden zur Befestigung der Platinen benötigt:

- 15 Stk. DA 10MM Distanzhülsen [5]
- 8 Stk. DA 40MM Distanzhülsen [5]
- 2 Stk. DA 50MM Distanzhülsen [5]
- 50 Stk. * M3 x 5mm VA-Schrauben
- 50 Stk. * M3 VA Muttern
- 50 Stk. * M3 Sprengringe

Anmerkung: Für die 4 Verbindungen der Platinen für die Induktivitäten mit den korrespondierenden Platinen für Antennen- und Senderseite sollten 2Stk. 20mm lange Distanzhülsen (HF-Verbindung) verwendet werden. In der Mitte der Hülsen werden die flexiblen Drahtverbindungen zum Einspeisepunkt des Dipols bzw. zum Strombalun vorgenommen. Alle anderen Distanzhülsen dienen nur der mechanischen Befestigung und können aus dem Bestand gestückt werden.

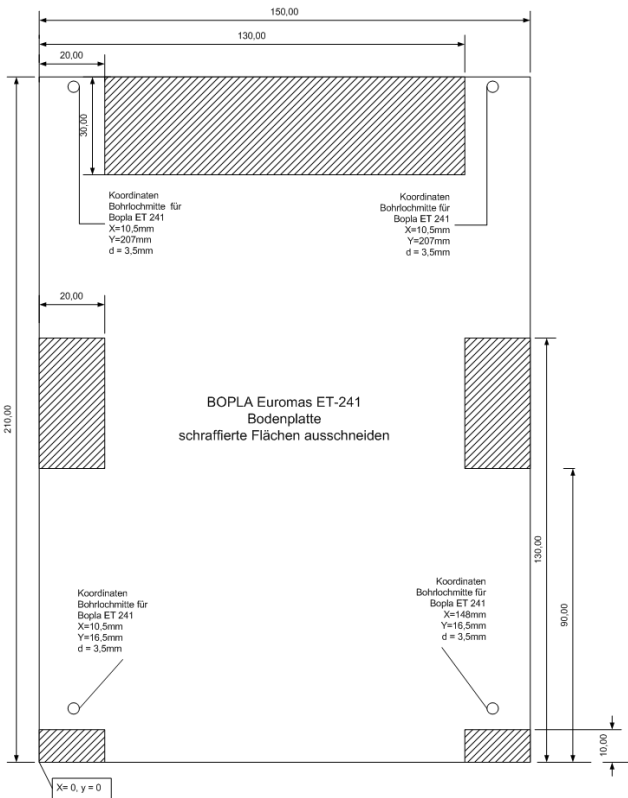


Bild 13

Anordnung der Platinen auf der Grundplatte und Einbau in das Gehäuse

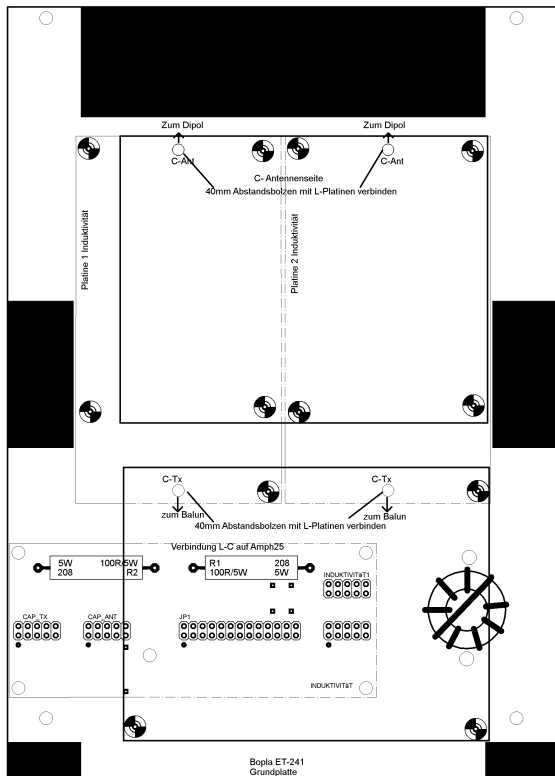


Bild 14

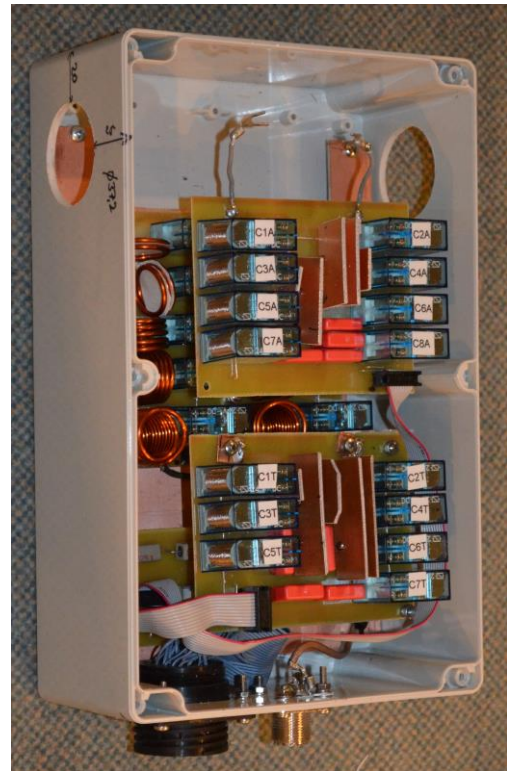


Bild 15

Vor dem Einbau des gesamten Modulblocks müssen die Durchführungen für den Dipol, die Löcher für die Flanschbuchse für das 25-polige Steuerkabel und die SO239-Buchse (N-Buchse) in das Bopla-Gehäuse gebohrt werden. Die drei Bohrdurchmesser für den Dipol und die Flanschbuchse betragen jeweils etwa 37,2mm. Ein Lochsägeaufsatz für die Bohrmaschine ist in jedem Baumarkt erhältlich. Für die beiden Bohrungen des Dipols werden folgende Maße verwendet:

38,6mm von der oberen Stirnseite und 43,6mm von der Oberkante des geöffneten Gehäuses.

In die Bohrungen für den Aluminium-Dipol mit $d = 25\text{mm}$ passen die Kabelverschraubungen mit Gegenmutter (PG29), die bei [13] erhältlich sind (Bild 14, 15).

Die beiden Bohrungen für den CPC-Einbaufanschstecker und die SO-239-Buchse kann man nach eigener Maßgabe auf der unteren Stirnseite anbringen. Natürlich kann man den CPC-Einbaufansch durch eine andere Verbindung ersetzen, die wasserdicht ist und 25 Kontakte aufweist.

Der Aluminiumdipol

Wie in Bild 16 zu sehen ist, wird das Gehäuse der Matchbox durch die PG29-Schraubverbindungen mechanisch befestigt. Die Isolation in der Mitte des Dipols mit einem 21mm PVC-Rohr ist nicht zwingend erforderlich, da die Dipolhälften durch die vier sehr stabilen STAUFF-Schellen ausreichend befestigt sind. Will man diese zusätzliche Stabilisierung in der Dipolmitte beibehalten, muss man ein Stück PVC- oder Teflonrohr mit 25mm Durchmesser auf $\sim 21\text{mm}$ abdrehen.

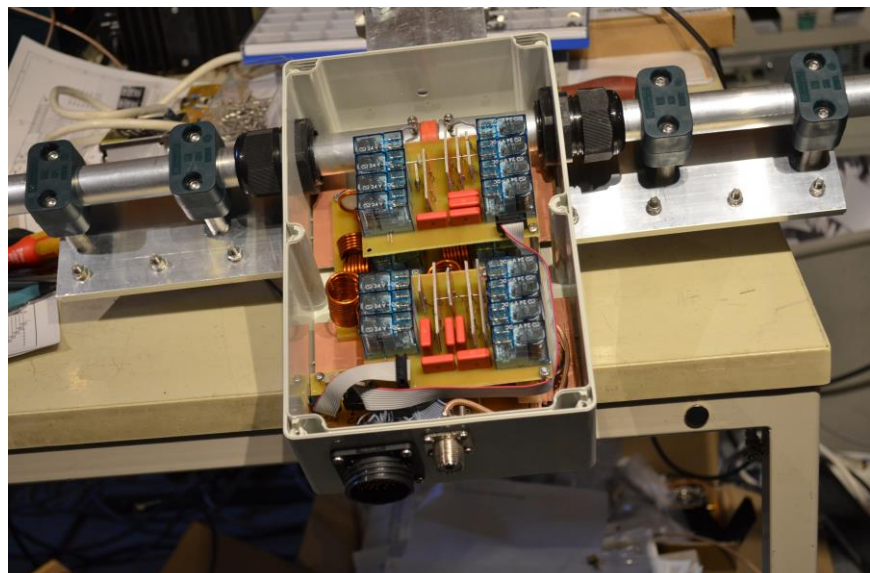


Bild 16

Die Messergebnisse beziehen sich auf einen Aluminiumdipol mit der Gesamtlänge von 8340 mm erhältlich bei [3].

Länge Dipolhälfte	Durchmesser Alu-Rohr	Wandstärke
1250 mm	25mm	2mm
750 mm	20 mm	1,5mm
1420 mm	16mm	1,5mm
750mm	12mm	1mm

Die Alurohre werden an den Enden mit einer Metallsäge kreuzförmig geschlitzt und mit Edelstahl-Schlauchschellen rutschfest verbunden. Die Stabilität des Dipols erfolgt mit den o. a. STAUFF Schellen [4], die mit zugeschnittenen Alu-Abstandsrohren auf einer Alu-Platte $l = 500\text{mm}$, $b = 80\text{mm}$ und $d = 5\text{mm}$ verschraubt sind. Die Aluplatte ist unterhalb mit einem Aluwinkel zusätzlich verstärkt (Bild 16). Eine weitere Aluplatte dient zur Aufnahme der Bügelschellen für die Mastbefestigung. Hier sind auch andere Lösungen möglich, gerade, was der Bastelkeller hergibt. Viel Spaß beim Nachbau!

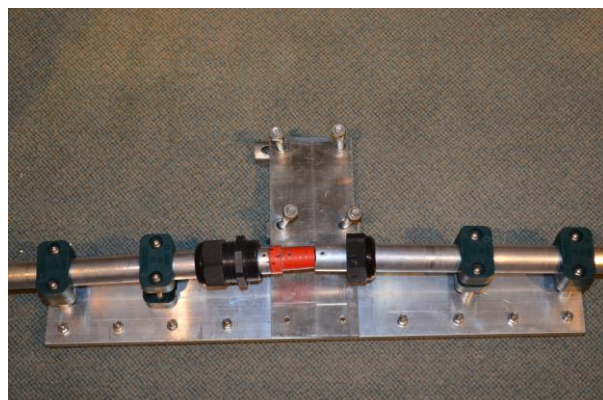


Bild 17

Im zweiten Teil wird die Steuerung der Matchbox beschrieben.

Dies ist ein Selbstbauprojekt. Für jegliche Nachbauten des Tuners und der Steuerung kann der Autor keine Garantie übernehmen. Nachbau und Weitergabe der Schaltungen sind ausdrücklich gestattet. Eine kommerzielle Nutzung des gesamten Projekts ist nicht vorgesehen und untersagt. Dies gilt insbesondere für die Schaltpläne und Eagle-Layouts, die im Downloadbereich abgelegt sind. Alle Platinen sind mit Amateurmitteln erstellt. Eagle Version 6.5, Folienausdruck mit Tintenstrahldrucker, Belichtung mit selbst gebautem Belichtungsgerät, fotopositiv beschichtetes Platinenmaterial [8], Entwicklung in Fotoschale, Ätzen mit EisenIII-Chlorid in Jenaer Schüssel, Bohrungen mit gehärteten Bohrern [8], Durchmesser 0,8mm, 1mm, 1,3mm 3,2mm, Oberflächenveredelung der Platinen mit Anreibesilber.

Ein Support durch den Autor ist nicht vorgesehen. Anfragen zur Lieferung von Platinen sind zwecklos und werden nicht beantwortet.

Aufbaureihenfolge

- Fertigung der Grundplatte nach Vorgabe mit den 4 Bohrungen für das Gehäuse
- Markierung der Bohrlöcher (Induktivitäten) auf die Grundplatte
- Provisorischer Aufbau aller Platinen unbestückt (Sandwich) mit den Distanzbolzen auf der Grundplatte zur Markierung der restlichen Bohrlöcher
- Erstellung und Messung der Kondensatoren aus Platinenmaterial nach den Vorgaben
- Erstellung und Messung der Induktivitäten (auf gleiche Werte achten)
- Bestückung der 4 Platinen mit den 100nF-Kondensatoren und Dioden
- Bestückung der 4 Platinen mit den Relais
- Bestückung der HF-relevanten Kondensatoren und Induktivitäten
- Bestückung der Platine „Verbindung L-C auf Pinhead 26“ (Bild 12)
- Fertigung aller Flachbandkabel
- Fertigung des 26-poligen Flachbandkabels zur Verbindung mit dem CPC-Einbaufanschstecker
- Zusammenbau des HF-Blocks aus Kapazitäten und Induktivitäten auf der Grundplatte
- Wickeln des W2DU-Baluns auf FT140-43 Kern [6] mit RG58 oder besser mit RG 316 U [14]
- Bohrungen auf der Grundplatte zur Befestigung des Baluns
- Aufbau aller Module auf der Grundplatte

- Messung der Grundlast gemäß Teil 2 dieser Beschreibung.
- Anfertigung der Bohrungen des Bopla-Gehäuses gemäß Vorgabe
- Anfertigung der mechanischen und elektrischen Befestigung des Dipols gemäß Beispiel
- Test der Anlage in nachfolgendem Beitrag 2 „Steuerung“

Quellenangaben und Hinweise

- [1] https://de.wikipedia.org/wiki/Karl_Rothammel
- [2] <https://www.arduino.cc/en/software>
- [3] <https://www.alu-verkauf.de/>
- [4] <https://www.schellen-shop.de/>
- [5] <https://www.ebay.de/itm/M3-5-50mm-DISTANZH%C3%9CLSEN-DISTANZBOLZEN-ABSTANDSHALTER-ABSTANDSH%C3%9CLSEN/392271253914?ssPageName=STRK%3AMEBIDX%3AIT&var=661232409511&trksid=p2060353.m2749.12649>
- [6] www.reichelt.de
- [7] <https://forum.arduino.cc/index.php?topic=572128.0>
- [8] www.bungard.de
- [9] Funkamateurl Heft 3.2021 Seite 199
- [10] Schick, R., DL3AO: Impedanzmessungen an Antennen mit L-Glied und SWV-Meter. Funkamateurl 56 (2007) H. 7, S. 742–743
- [11] Roggenkamp, K., DK3HA: Symmetrischer Antennentuner Funkamateurl Heft 9 2010 S. 945
- [12] <https://www.autodesk.de/products/eagle/free-download>
- [13] <https://gtech-shop.de/navi.php?qs=SL0046&search>
- [14] https://kabel-kusch.de/Koaxkabel/PTFE-Koax/RG316/rg_316.htm

Hinweis: Der Artikel ist in überarbeiteter Form im Funkamateurl Heft 1/22 erschienen.
www.funkamateurl.de