

Ergänzung zum Beitrag in FA 7/21, S. 548 ff. „Experimente mit Magnetfeldantennen“

Formeln

Skineffekt: äquivalente Leitschichtdicke

$$\delta = \sqrt{\rho / (\pi f \mu)}$$

$$\text{mit } \rho_{\text{Cu}} = 0,0172 \, \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

$$\rightarrow \delta_{\text{Cu}} = 66 \, \mu\text{m} / \sqrt{f/\text{MHz}}$$

und für die gebräuchliche Legierung

$$\text{AlMgSi0,5: } \rho_{\text{Al}} \approx 0,033 \, \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

$$\rightarrow \delta_{\text{Al}} \approx 90 \, \mu\text{m} / \sqrt{f/\text{MHz}}$$

Zur Veranschaulichung: Schon ab 1,8 MHz ist $\delta_{\text{Cu}} < 50 \, \mu\text{m}$ → glatte Leiteroberfläche ist wichtig!

Verlustwiderstand eines Rohres bei Hochfrequenz (ohne Strahlung):

$$R_V = \rho \cdot l/A = \rho \cdot l/(\pi \cdot d \cdot \delta)$$

z. B. für $\Omega 4$ bei 14 MHz

$$R_V = 0,033 \cdot 2,5/(\pi \cdot 16 \cdot 0,09/\sqrt{14}) = 68 \, \text{m}\Omega$$

Strahlungswiderstand einer ebenen Schleife, die eine Fläche A umspannt, deren Umfang $<$ Wellenlänge λ ist:

$$R_S = \pi^4 \cdot 320 \, \Omega \cdot n^2 \cdot A^2/\lambda^4$$

mit n = Anzahl der Windungen (dicht aufeinander liegend)

→ für einen Kreisring, Durchmesser D

$$R_S = \pi^6 \cdot 20 \, \Omega \cdot n^2 \cdot D^4/\lambda^4$$

z. B. für $\Omega 4$ und $\Omega 6$ bei 14 MHz

$$\rightarrow R_S = 40 \, \text{m}\Omega$$

$$R_S \sim n^2 \cdot D^4$$

→ für einen Draht gegebener Länge:

$$R_S(n \text{ Wdg.})/R_S(1 \text{ Wdg.}) = n^2/n^4 = 1/n^2$$

→ $n = 1$ ist optimal

Induktivität einer Leiterschleife mit Umfang u :

$$L = 0,2 \, \mu\text{H} \cdot n^2 \cdot u \cdot (\ln\{u/d\} - k)$$

mit u und d (= Drahtdurchmesser) in Meter und $k = 1,06$ für einen Kreisring, $k = 1,16$ für ein Sechseck und $k = 1,46$ für ein Quadrat.

Güte

$$Q = \omega L/(R_V + R_S)$$

Strahlungswirkungsgrad

$$\eta = R_S/(R_S + R_V)$$

z. B. $\Omega 4$ bei 14 MHz → $\eta = 36 \%$

(mit 4-m Ω -Kontaktwiderständen, ohne Absorption im Nahbereich)

Mehrwindungs-Loops sind extrem schmalbandig: Solange R_V überwiegt, gilt:

$$Q(n) = n \cdot Q(1)$$

Aluminium oder Kupfer? Kupfer leitet besser, aber ist schwerer.

$$\text{Dichten: } \gamma_{\text{Cu}} = 8,93 \, \text{g/cm}^3$$

$$\gamma_{\text{Al}} = 2,7 \, \text{g/cm}^3$$

Bei einem Rohr gleicher Länge und Wandstärke verhalten sich für gleichen HF-Widerstand R_V die Rohrdurchmesser

$$d_{\text{Al}} : d_{\text{Cu}} = \sqrt{\rho_{\text{Al}} : \rho_{\text{Cu}}} \approx 1,39$$

und damit die Massen

$$m_{\text{Al}} : m_{\text{Cu}} = \gamma_{\text{Al}} : \gamma_{\text{Cu}} \cdot d_{\text{Al}} : d_{\text{Cu}} \approx 2,7/8,93 \cdot 1,39 = 42 \%$$

Tabelle 5: Stückliste zu den portablen Magnetfeldantennen $\Omega 4$, $\Omega 5$ und $\Omega 6$

Menge	Bauteil	Bestellnummer
2	Kabelverschraubungen M32 × 1,5 für Ø 11 ... 21 mm	Reichelt: Lapp 53111240
2	Gegenmuttern dazu M32 × 1,5 SN 41	Reichelt: Lapp 53119140
2	Kabelschuhe für 4 ... 6 mm ² Cu	Conrad: 731708
1	Kippschalter 1-0-1 15 A 1500 V für Flachstecker	Conrad: 1587674
1	Dichtkappe dazu	Conrad: 1587684
1	Kunststoffgehäuse: im Muster 190 × 110 × 60 mm ³ , Vorschläge für Schubert-Drehko 200 × 120 × 90 mm ³ oder 120 × 120 × 90 mm ³	Reichelt: RND 455-00049, Reichelt: RND 455-00126, Reichelt: RND 455-00173
4	Gehäusefüße (1 Satz) Ø 15,8 mm × 4,5 mm	Conrad: 546571
1	Drehkondensator mit ≥ 1,5 mm Plattenabstand, sonst Schubert-Drehko	eventuell Flohmarkt DK4 als Bausatz
1	Feineinstelltrieb Mentor 101.2, alternativ von Voelkner	Conrad: 2162585, Voelkner: Q853632
1	Keramik-Leistungskondensator „door knob“ 22 pF, ≥ 3 kV	Flohmarkt
1	Glimmerkondensator 680 pF, 500 V, alternativ Keramik	Reichelt: KERKO-500 680P
1	Glimmerkondensator 56 pF, 500 V, alternativ Keramik	Reichelt: KERKO-500 56P
1	Drehschalter 1 × 12, einstellbar auf acht Positionen	Reichelt: DS1 oder DS1PC
1	Knebelknopf für 6-mm-Achse	Conrad: 183383
1	Abdeckkappe dazu	Conrad: 183609
1	Ferrit-Ringkern FT114-61 (FT140-61 bietet mehr Platz für die Wicklung) für $\Omega 4$: Rohr Ø 16 mm × 1 mm Wandstärke, 2,5 m lang, silbern eloxiert für $\Omega 6$: Al-Flachprofil 25 × 2 mm ² , 1 × 2,5 m + 1 × 1 m lang	Reichelt: FT114-61, Baumarkt

Tabelle 6: Sonderzubehör für $\Omega 5$

Menge	Bauteil	Bestellnummer
3 bzw. 4	Buchenholzstäbe Ø 8 mm, 1 m lang	Baumarkt
1	Hartholzkugel etwa Ø 45 mm, durchbohrt mit Ø 8 mm	Baumarkt
4	Gummipuffer (1 Satz) Ø 8 × 8 mm, beidseitig M3-Bolzen	Conrad: 2110714
5	Lamellenstecker Ø 4 mm mit M3-Innengewinde	Conrad: 000730896
1	Gewindestange M3 × 0,5 m, Messing	Baumarkt oder Conrad: 297984
2	Befestigungsschellen, Metall	Conrad: 540427
1	25-m-Bündel Schalllitze 1,5 mm ² blau	Reichelt: H07VK 1,5-25 BL
1	25-m-Bündel Schalllitze 1,5 mm ² braun	Reichelt: H07VK 1,5-25 BR
	eventuell: Hula-Hoop-Ring Ø 80 ... 85 cm	TEDI, 1-€-Laden
	oder Wasserleitungsrohr	Baumarkt

■ Aufbauhinweise

$\Omega 4$, Bild 14: An den Enden des 2,5 m langen Aluminiumrohrs: Eloxalschicht außen auf den letzten 10 mm abschleifen, zuerst z. B. mit 80er, zuletzt mit 600er Schleifpapier. Drähte im Kabelschuh: 3 × 1,5 mm oder 1 × 2 mm Durchmesser CuAg.

$\Omega 5$: Holzstäbe für Sechseckstern, Bilder 6 und 7 im Beitrag:

- zwei Stück mit $l = 430$ mm, mit M3-Bohrung an einer Seite → waagerechte Speichen sowie zwei Stück mit $l = 417$ mm → Speichen 60° nach oben, Zubehör: vier Zylinderkopfschrauben M3 × 16 mm,
- zwei Stück mit $l = 367$ mm und Schrauben M3 × 16 mm sowie ein Stück mit $l = 354$ mm erhalten Schwinggummipuffer auf einer Seite, bilden Stativ zusammen mit der zentralen Holzkugel.

Von der M3-Gewindestange 5 × 30 mm lange Stücke für die 4-mm-Stecker absägen. Holzkugel = Zentrum des Sechsecks = Tragegriff: Die beiden zuerst genannten Holzstäbe werden in die vorhandene 8-mm-Bohrung gesteckt, jeweils bis zur Kugelmitte; einer wird gleich fest darin verleimt, Bild 7 im Beitrag. Auf einem Umfangskreis durch die beiden Bohrlöcher werden auf einer Seite, in je 60° Abstand, zwei 4-mm-Bohrungen bis zum Zentrum angebracht für die Stecker der beiden schräg nach oben gerichteten Speichen. Auf der anderen Seite werden drei 4-mm-Bohrungen für die Stativstreben zum Gehäuse benötigt, die enger beieinander liegen, sich aber nicht gegenseitig in die Quere kommen dürfen. Winkel und Bohrrichtung, wo die drei Stützen auf der Kugel

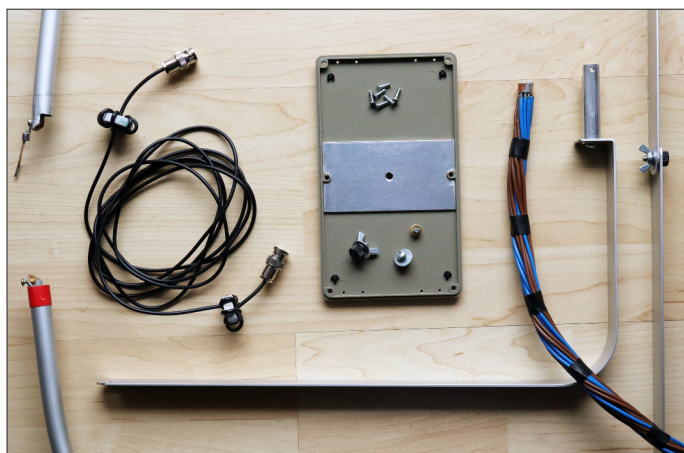


Bild 14:
Konstruktionsdetails
Foto: DJ8IL

landen, vorher mit ins Gehäuse eingeschraubten Stäben mit Gummipuffer ausprobieren.

Für Hula-Hoop-Ring oder Wasserleitungsröhr, Bild 9 im Beitrag, mit mittlerem Durchmesser $D = 0,80$ m bzw. Außenumfang $u = 2,57$ m:

zwei Holzstäbe mit $l = 736$ mm + einer mit $l = 734$ mm; sie erhalten Schwinggummipuffer auf einer Seite.

Drahtbündel, Bild 14: Aus den beiden 25-m-Kabelrollen jeweils acht 2,67 m lange Stücke schneiden, Enden 12 mm abisolieren, verzinnen, das Bündel mit 8 mm breitem Kupferblechstreifen (0,4 mm dick) eng umschlingen, dabei einen möglichst

kreisrunden Gesamtquerschnitt anstreben. Mit einem etwa 400 °C heißen, kräftigen Lötkolben diese Bündelenden miteinander verzinnen. Das Bündel verdrillen, bis sich eine Länge von 2,60 m einstellt, und etwa alle 7 cm mit Isolierband zusammenbinden. Die Bündelenden werden am Drehkondensator z. B. mit Metallschellen festgeschraubt.

Ω6-Endstücke aus Rundaluminium mit 14 mm Durchmesser, Bild 14: Länge ist abhängig von Gehäuse und Drehkondensator. Im Mustergerät beträgt sie 58 mm bzw. 72 mm. Je eine Endfläche soll eben und glatt (fast glänzend) sein. Zubehör: vier Schrauben M4 × 16 mm, zwei Feder-

ringe und zwei Scheiben mit 15 mm Durchmesser für M4.

Biegedorn für die drei Loop-Teile ist eine eingespannte Bierflasche mit 70 mm Durchmesser, scharfe Biegungen am Schraubstock mit Schutzzwischenlage aus Aluminiumblech.

Loop-Oberteil: gestreckte Länge: 1,444 m; gerade Mittelzone: 567 mm; Fertigmaß außen 645 mm × 420 mm.

Loop-Unterteile, Bild 14 zeigt ein fertiges mit gestreckter Länge 598 mm¹⁾; Fertigmaß außen 400 mm × 190 mm¹⁾ × 27 mm; Eloxalschicht auf den inneren zwei Endflächen des Oberteils und den äußeren vier Endflächen der Unterteile ≥ 25 mm weit abschleifen, zuerst mit 80er, dann 240er und schließlich mit 600er Schleifpapier. Gehäuseboden, Bild 14: In der Mitte wurde zur Verstärkung gegen Biegemomente eine 54 mm breite und 2 mm dicke Platte aus Aluminium mit Zweikomponentenkleber (*Stabilit express* oder *UHU plus endfest*) massiv aufgeklebt. Das zentrale Gewindeloch $\frac{1}{4}$ "-20 UNC, vorgebohrt mit 5,0 mm Durchmesser, dient zur Montage auf einem Fotostativ.

¹⁾ Im Mustergerät; Zubehör: zwei Flügelmuttern M4, zwei Rändelschrauben M4 × 10 bis 12 mm, zwei Scheiben mit 15 mm Durchmesser für M4.