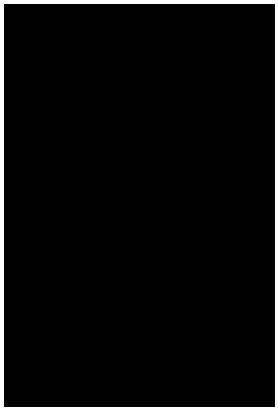
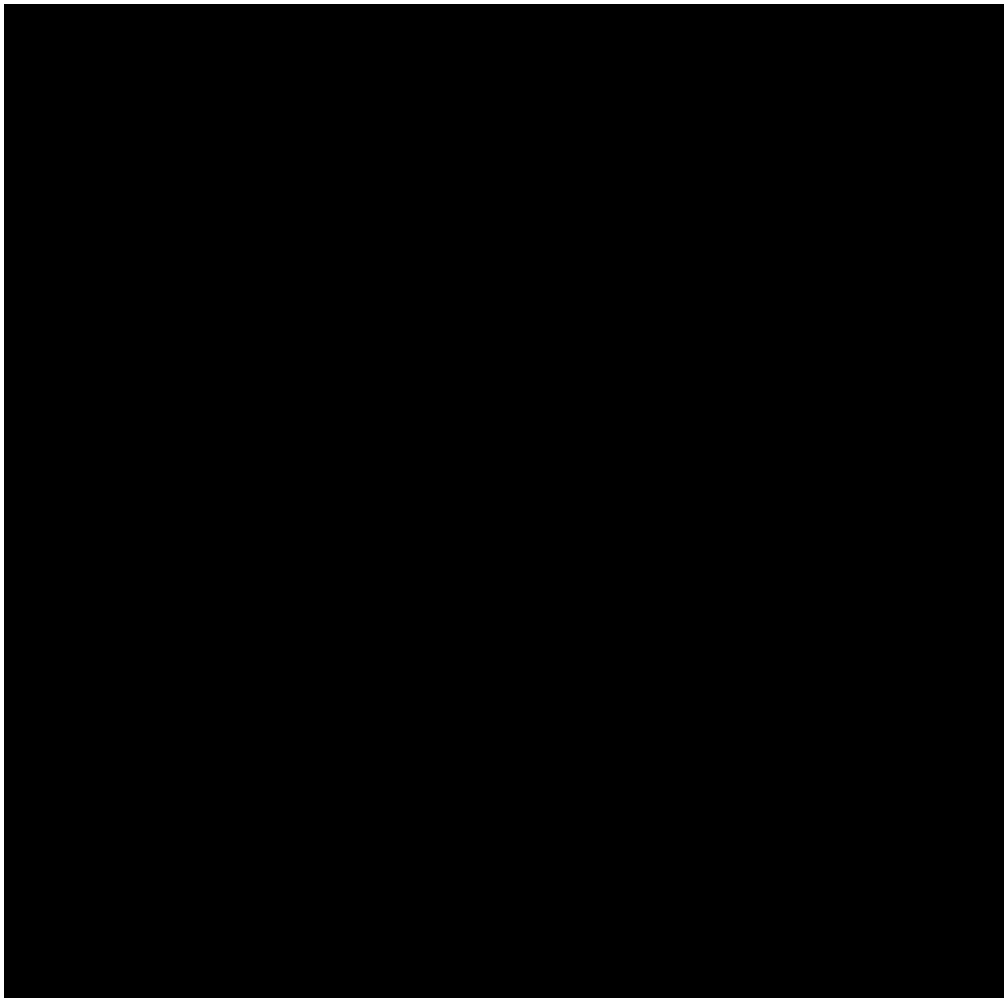
Magnetische Antennen - Ein Bauprojekt der OV‘s Z 84 und H 55

Zusammengestellt von Matthias Neuß,
DJ 7 RS @ DB 0 CEL





Unter Mithilfe von DL 2 OAM, DG 9 OAD und DF 2 OAG
Wienhausen, im März 2002

Stand der Bearbeitung: 5. 3. 2002

Wir wollen gemeinsam Magnetische Antennen bauen, die unter Dach zu betreiben sein werden und nach Möglichkeit mit vorhandenem Material des OV Z 84 bestückt werden können.

Das setzt Einschränkungen voraus, mit denen wir als spätere Benutzer leben müssen:

- Leiter aus 75 Ω-Koaxkabel
- Rahmen aus Dachlatten
- Selbstbau-Kondensator
- Unterdach-Konstruktion
- Individuelle Bauformen
- Individuelle Kondensatoren
- Mehrband-Betrieb

Über Magnetische Antennen gibt es zahlreiche Veröffentlichungen, die Theorie ist bekannt – und der relativ geringe Wirkungsgrad auch. Dafür besteht die Möglichkeit, mit räumlich kleinen Antennen (mit Einschränkungen) QRV sein zu können. Der Wirkungsgrad steigt bei gleichen Bauabmessungen mit der Betriebsfrequenz, damit eröffnen sich bei Frequenzen > 14 MHz immerhin echte Alternativen, zumindest bei den derzeit im Schnitt guten Kurzwellenbedingungen.

1. Ohne Theorie geht’s, aber mit geht’s besser (GLESNER 1997a)

Die Magnetische Antenne ist ein Parallelresonanzkreis, für den die Formeln eines herkömmlichen Schwingkreises zur Anwendung kommen. Im einfachsten Fall handelt es sich um eine Spule mit einer oder wenigen Windungen, die mit einem Kondensator zusammen geschaltet werden. Die Einspeisung dieses Antennengebildes erfolgt in der Regel durch eine kleine Kopplungsspule, deren Durchmesser klein gegenüber dem Durchmesser der großen Spule (im folgenden „Loop“ genannt) ist.

Im Parallelresonanzkreis fließen große Ströme in der Loop und es werden große Spannungen am Kreiskondensator entstehen. Das bedeutet, dass die Loop und alle elektrischen Verbindungen so niederohmig wie möglich auszuführen sind und der Kondensator eine Spannungsfestigkeit von einigen Kilovolt aufweisen muss.

Da die Antenne als Parallelresonanzkreis anzusehen ist, bestimmen die Induktivität L, die Abstimmkapazität C und ein Dämpfungswiderstand R_A die elektrischen Eigenschaften dieser Antenne maßgeblich. R_A setzt sich aus dem Strahlungswiderstand R_S und dem Verlustwiderstand R_V zusammen. R_V besteht aus Verlusten in der Spule, im Kondensator und in Verlusten, die an Übergangsstellen entstehen. Anteile von Verlusten, die durch den Skineffekt hervorgerufen werden, werden hier nicht berücksichtigt.

Für uns Bastler sind zur Berechnung und zum Verständnis der Loop-Antenne die folgenden Parameter von Bedeutung:

- Berechnung oder Messung der Induktivität L der Schleife
- Berechnung der Kapazität C mit Hilfe der Betriebsfrequenz f

Für weitergehende Betrachtungen, die dem Verständnis der Wirkungsweise dienlich sind:
- Berechnung des Strahlungswiderstandes R_s
- Berechnung des Wirkungsgrades η
- Berechnung oder Messung der -3 db-Bandbreite B
- Berechnung oder Messung der Kreisgüte Q

Alle folgenden Berechnungsgrundlagen zur Bestimmung der Selbstinduktion L gehen von einer einzigen Windung aus. Sollte sich die Zahl der Windungen um n verändern, so gilt:

$$L' = n^2 * L$$

Unter der Voraussetzung, dass der Leitungsdurchmesser sehr klein gegenüber dem Ringdurchmesser ist, und das dürfte für unsere Loops immer zutreffen, gilt für die Ermittlung der Induktivität eine Näherungslösung:

$$L = \frac{1}{2} \mu * D * \ln \frac{D}{d}$$

Es bedeuten:

μ [As/Vm]	Permeabilität des leeren Raumes, = $4\pi \times 10^{-7}$
L [H]	Ringinduktivität
D [m]	Ringdurchmesser
d [m]	Rohrdurchmesser

Den gleichen Formelzusammenhang beschreibt ROTHAMMEL (1991) auf S. 393 in etwas verständlicherer Form:

$$L = 2\,U \left(\ln \frac{U}{d} - 1{,}07 \right)$$

wobei U (Schleifenumfang) und d (Leiterdurchmesser) in der gleichen Einheit einzusetzen sind und sich L in [nH] = 10^{-9} [H] ergibt. Setzt man U und d in [m] ein, erhält man L in [µH] (GLESNER 1997a).

Die analoge Berechnung einer Schleife mit rechteckigem Querschnitt wird hier nicht weiter betrachtet, sie kann bei GLESNER (1997a) nachgelesen werden.

Die Berechnung der erforderlichen Abstimmkapazität für eine vorzugebende Resonanzfrequenz f ergibt sich aus der Thomsonschen Schwingungsformel:

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L * C}}$$

Durch Umstellung der Formel nach C ergibt sich:

$$C = \frac{25330}{f^2 L}$$

C erhält man in [pF], wenn man f in [MHZ] und L in [µH] einsetzt. Dabei ist C die Gesamtkapazität, die sich aus der Kapazität des Abstimmkondensators und einer Kapazität, die über die Leiterlänge der Loop verteilt ist, zusammensetzt. Für die „verteilte Leiterkapazität" C_{ver} gibt Hart (1986) eine Formel an:

$$C_{ver} = 2,69 * U$$

C_{ver} erhält man in [pf], wenn U in [m] eingesetzt wird.

Berechnung des Strahlungswiderstandes:

Zur Berechnung des Strahlungswiderstandes wird angenommen, dass der Antennenstrom auf dem Leiter eine konstante Amplitude hat. Rs ergibt sich zu:

$$R_S = 320 * \pi^4 * \frac{n^2 * F^2}{\lambda^4}$$

Da in der Regel Loops mit kreisförmigem Querschnitt gebaut werden, stellt man diese Formel um, indem man $F=D^2\pi/4$ und $U=2\pi D$ benutzt, wobei D der Durchmesser des Kreises und U der Umfang des Kreises ist. Damit gilt für eine kreisförmige Loop:

$$R_S = 197 * n^2 * \left(\frac{U}{\lambda}\right)^4$$

Rs ergibt sich in Ω, wenn U und λ in [m] eingesetzt werden. Magnetantennen haben bekanntlich einen sehr kleinen Strahlungswiderstand im Bereich von 1 bis 1000 mΩ. Daher sollte einer kreisförmigen Antenne im Hinblick auf den Wirkungsgrad der Vorzug gegeben werden.

Berechnung des Wirkungsgrades η:

Der Wirkungsgrad ist das Verhältnis der eingespeisten Leistung zur abgestrahlten Leistung. Da hierbei neben dem Strahlungswiderstand R_s auch der Verlustwiderstand R_v entscheidend ist, wird der formelmäßige Zusammenhang dargestellt:

$$\eta = \frac{R_S}{R_S + R_V}$$

Abb. 1: Verluste in der Antenne

Da in der Regel der Stahlungswiderstand von Magnetantennen sehr klein ist, gewinnt diese Formel deswegen an Bedeutung, weil sie klar stellt, dass die Verlustwiderstände unbedingt auch sehr klein gehalten werden müssen.

Berechnung der Bandbreite (-3 dB):
Die -3-db Bandbreite ist derjenige Wert der zu variierenden Frequenz (f_1 und f_2), bei der die Resonanzspannung und der Resonanzstrom auf den 0,71-fachen Wert der Amplitude im Resonanzfall (f_{res}) abgefallen sind. Diese Bandbreite zählt nach beiden Seiten der Resonanzfrequenz. Je verlustärmer die Antenne gebaut ist, desto kleiner ist auch deren Bandbreite. Sie ergibt sich durch Messung der in der Loop induzierten Spannung bei Variation der Frequenz und lässt sich dann graphisch einfach ermitteln.

Abb. 2: Die graphische Bestimmung der Bandbreite

Aus der so bestimmten Bandbreite b läßt sich die Kreisgüte zu:

$$Q = \frac{f_{res}}{f_2 - f_1}$$

ermitteln. Aus der so ermittelten Güte läßt sich auf die möglichen Verluste schließen. Magnetantennen können eine hohe Güte (Q > 500 (Glesner 1997a) haben. Diese Werte lassen sich nur durch einen guten mechanischen Aufbau und saubere Lötverbindungen realisieren. Solche hohen Gütewerte bedeuten allerdings auch eine hohe Spannung und einen hohen Strom im Resonanzfall. Das bedeutet für die Abstimmkapazität einen ausreichenden Plattenabstand (ca. 2 mm bei 100 Watt Sendeleistung). Es ist beim Sendebetrieb dafür Sorge zu tragen, dass keine brennbaren Materialien mit dem Antennenleiter in Berührung kommen.

2. Der mechanische Antennen-Aufbau:
Wir wollen unsere Loop kostengünstig auf einem Kreuz aus Dachlatten aufbauen; die mechanischen Abmessungen sind individuell und richten sich nach den lokalen Gegebenheiten, wie z.B. Zugang zum Dachboden, Platz im Funkraum etc. Die Idee mit einer Dachlattenkonstruktion hat SCHREGLMANN (1996) beschrieben. In diesem Fall (Abb. 3) wurde eine Loop für 1,8 MHz beschrieben. Diese Idee wollen wir, was den mechanischen Bau anbelangt, nachvollziehen.

Wie auf der Skizze ersichtlich wird, ist dies eine einfache Lösung und eignet sich nur für den „unter Dach Betrieb“, wie eingangs bereits erwähnt. Dennoch muss diese Lösung nicht schlecht sein, wie ich es in einem Nachbau testen konnte (160 Meter, 1997 – 1999). Einen Prototyp „unserer“ Loop ist bei DL 2 OAM im Versuchsbetrieb.

Es wird sich also jeder, der eine solche Antenne bauen möchte, über die zu benutzenden Bänder, die mechanischen Abmessungen des Kreuzes und der Frequenzvariation seine eigenen Vorstellungen entwickeln müssen. Diese Überlegungen können durch das Freeware-Programm „MLOOP31“ von DK1NB (1997) unterstützt werden. Erst wenn die gewünschten Parameter bekannt sind – und es sinnvoll ist, diese zu realisieren- , kann mit den mechanischen Arbeiten begonnen werden.

Abb.: 3 Bauvorschlag nach SCHREGLMANN (1996)

In der Regel wird man für 80 und 40 Meter eine Loop wählen und ggfs. eine zweite Loop für 20, 15 und 10 Meter. Für 160 Meter ist eine Loop mit einem minimalen Durchmesser von ca. 1 Meter als eigene Antenne zu wählen. Die Zuschaltung von Parallelkondensatoren über Relais ist schwierig, da die Relais einen minimalen Übergangswiderstand aufweisen müssen.
Die Auswahl des geeigneten Drehkondensators ist weniger problematisch, da unser Baukonzept den Eingenbau eines Drehkondensators vorsieht. Dazu muß der Frequenzbereich, in dem die Loop arbeiten soll, bekannt sein.

Der Bau des Drehkondensators soll selbst vorzunehmen sein, nachdem die Kondensatorplatten (Statoren und Rotoren) durch eine Firma gestanzt werden sollen, sofern ein kostengünstiges Angebot im Celler Raum gefunden werden kann.

Das Endprodukt kann so aussehen, wie es von PIEHLER (1999) beschrieben wurde.

Abb. 4: Möglicher Aufbau des Drehkondensators

Der Zusammenbau soll, nachdem die Einzelnen ihre Dachlatten bearbeitet haben, im OV-Heim in Wathlingen erfolgen. Dort wird dann auch jede Spule angefertigt und ausgemessen und die dazugehörige Kapazität bestimmt, wie es im Konzept der einzelnen „Bauherren“ vorher bestimmt wurde (z.B.):

- 3 - 4 Windungen für den Betrieb von 80 bis 40 Meter
- 1 - 2 Windungen von 20 bis 10 Meter
- 4 Windungen mit integriertem Festkondensator und zusätzlichem Drehko für 160 Meter

Da damit zu rechnen sein wird, dass jeder unterschiedliche Baumaße für sein Antennenkreuz wünscht, werden diese individuellen Möglichkeiten durch einzelnes Ausmessen mit exakter Festkapazität, HF-Generator, Oszillograph und Zähler erforderlich sein. Die gemessenen Daten werden wir dann einem oder mehreren PC-Programmen (COIL 200 und MLOOP 31) als Input geben, um die Dimensionierung der Abstimmkapazität und der Koppelspule zu bestimmen bzw. zu optimieren.

Der Drehko wird selbst zusammenzubauen sein. Uns schwebt vor, entweder einen Kondensator mit Splitstatoren oder einen Schmetterlingskondensator zu bauen. deren Platten vorgefertigt sein werden.

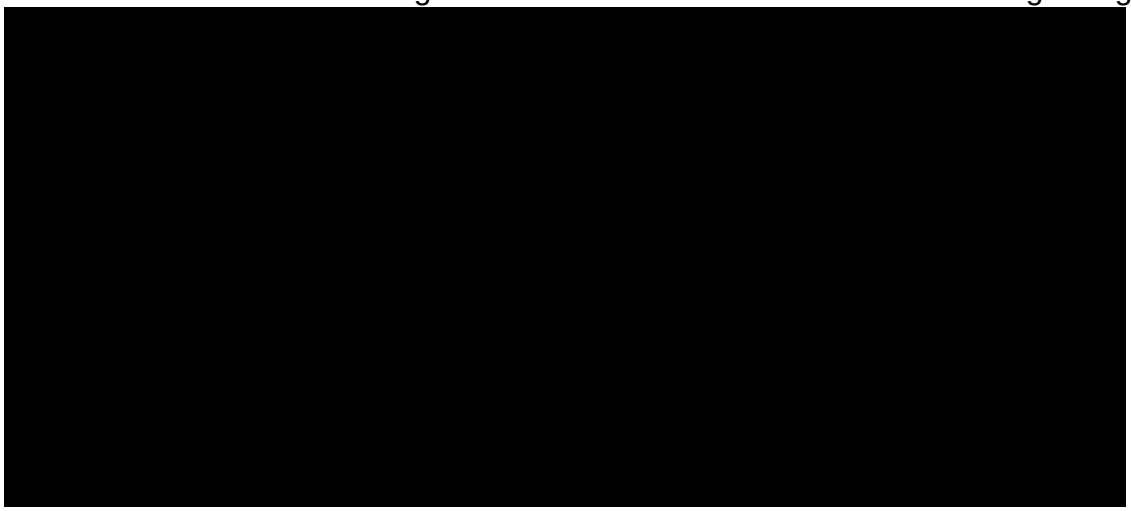


Abb. 5: Mögliche Bauformen unseres Drehkondensators (Piehler, 1999)

Der Zusammenbau erfordert neben den Platten Gewindestangen (MS, M3), Distanzringe mit ca. 2mm Stärke, Federscheiben und 2 oder 3 PVC-Platten als Halterung für die Plattenpakete.

Wer seine Kondensatoren auch selbst berechnen möchte, nachdem die erforderliche Kapazität errechnet wurde, kann dies nach der folgenden Formel machen:

$$C = \frac{\varepsilon * \varepsilon_0 * A\,(N-1)}{d}$$

mit: (CARR, 1997)

C = Kapazität in [F]

ε = Dielektrizitätskonstante (Luft = 1,0006)

ε_0 =elektrische Feldkonstante = 8,85 x 10^{-12} [F/m]

A = Fläche der Platten [m^2]

d = Plattenabstand [m]

Um einen möglichst großen Variationsbereich der Abstimmkapazität zu erzielen, sollte durch geschicktes Beschalten mit Parallelkondensatoren und entsprechender variabler Kapazität (wir können ja Drehkos unterschiedlichster Kapazität zusammenstellen) der gewünschte Frequenzbereich so stark wie möglich gespreitzt werden; damit kann man auch die Drehwinkel der Schrittmotoren ausnutzen. Als Parallelkondensatoren sind Stubs aus Koaxkabel sehr gut zu verwenden.

Ein aktueller Selbstbauvorschlag eines Drehkos ist von PEREZ (2002) beschrieben worden.

3. Motorsteuerung

Eine Motorsteuerung ist zwingend erforderlich, um den Drehkondensator von Shag her abzustimmen. Es gibt mehrere Wege, das Problem zu lösen. Beim ersten Test (bei DL2OAM) mit einem normalen Drehkondensator aus einem Antennen-Abstimmgerät war geplant, diesen mit einem „Garten-Grill-Motor" zu steuern (SCHREGLMANN 1997). Dieses stellte sich dann aber als nicht praktikabel heraus, da dieser Kondensator zu schwergängig ist und der Grillmotor bei der geringen benötigten Drehgeschwindigkeit noch nicht mal mehr sein Getriebe selbst sicher bewegen konnte. Da kam dann die Idee, es mit einem Modellbau-Servo zu versuchen. Damit hat man noch eine ungefähre Anzeige, wo sich der Drehko im Moment befindet. Also wurden die Suchmaschinen im Internet gequält und nach Servo-Testern gesucht. Im Modellbauladen hier im Ort ist so etwas vorrätig.(wie ich feststellte, muß der auch garnicht immer teurer sein als beim Versender seines Vertrauens, die Versandkosten darf man ja auch nicht vergessen.. und man hat den Servo sofort.).
Nun galt es eine Schaltung auszuwählen von der die meisten Bauteile auch in der Bastelkiste sind. Ohne Sende-HF funktionierte auch gleich die erste Schaltung, bei Sende- HF machte sie aber was sie wollte - und nicht was sie sollte. Also mußte ein anderes Konzept versucht werden. Da gab es das Problem, das der benutzte Drehko nicht ausreichend variabel war. Also dritter Versuch, man nehme Schaltung 1(SCHREGLMANN 1997) und Schaltung 2 (Abb. 7) und würfele sie solange bis sie das, tut was man möchte. Herausgekommen ist dabei folgende Schaltung (Abb. 6):

Abb.. 6: Servosteuerung nach DL2OAM

Diese Schaltung funktioniert bei DL 2 OAM in einer 80cm 4fach Loop mit ca. 100 Watt HF, ohne dass sie sich selbst bewegt. Es ist zu beachten sollte, das man die Steuerleitung des Servo möglichst weit vom Drehko entfernt aus der Antenne führt. Weiterhin wurde dann die Abstimmung auf 2 Potis verteilt, einem „Groben“ für den Bereich und einem „Feinen“ (10Gang) für die „Fein“-Abstimmung. Damit kommt man recht gut mit klar. Wenn man nur ein Band überstreichen möchte, reicht auch das Fein-Poti, welches die Einstellung leichter reproduzierbar macht.
Als drittes gibt es noch die Möglichkeit, den Drehkondensator durch Schrittmotoren zu steuern, ein Beispiel dafür folgt weiter unten (Abb. 9).

Welche Schaltung wir für unseren Drehkondensator bevorzugen sollten, ist im derzeit noch nicht zu entscheiden, da die benötigte Kraft und der Drehweg noch nicht bekannt sind. Derzeit wird die Servo-Schaltung nach DL 2 OAM (Abb. 6) favorisiert. An zweiter Stelle wird die Abstimmautomatik nach PFADLER (Abb. 10) favorisiert.

Abb. 7 Steuerung eines Servos nach SM 0 VPO

Abb. 8:Zusammenbau von Servo und Kondensator

Es gibt auch andere Lösungsvorschläge, die mit Gleichspannungsmotor oder Schrittmotor beschrieben wurden. Auch eine Abstimmautomatik ist beschrieben worden. Diese Hilfen können den Sendebetrieb erheblich erleichtern.

Unter dem Titel: Einen Versuch wert – Magnetantennensteuerung mit Schrittmotor - hat HÖDLMAYR (1997) eine interssante Variante beschrieben, mit der man einen Schrittmotor mittels einer Gabellichtschranke vom Shag her steuert. Dabei werden nur gängige Teile (Conrad-Elektronic) benutzt. Die Schaltung bzw. die Realisierung dieser Idee ist als Abb. 9 dargestellt. Sie soll als beispielhafte Lösung genannt sein, wer sich mit solchen Vorschlägen beschäftigen will, wird in dem entsprechendem Aufsatz eine nützliche Anleitung finden.

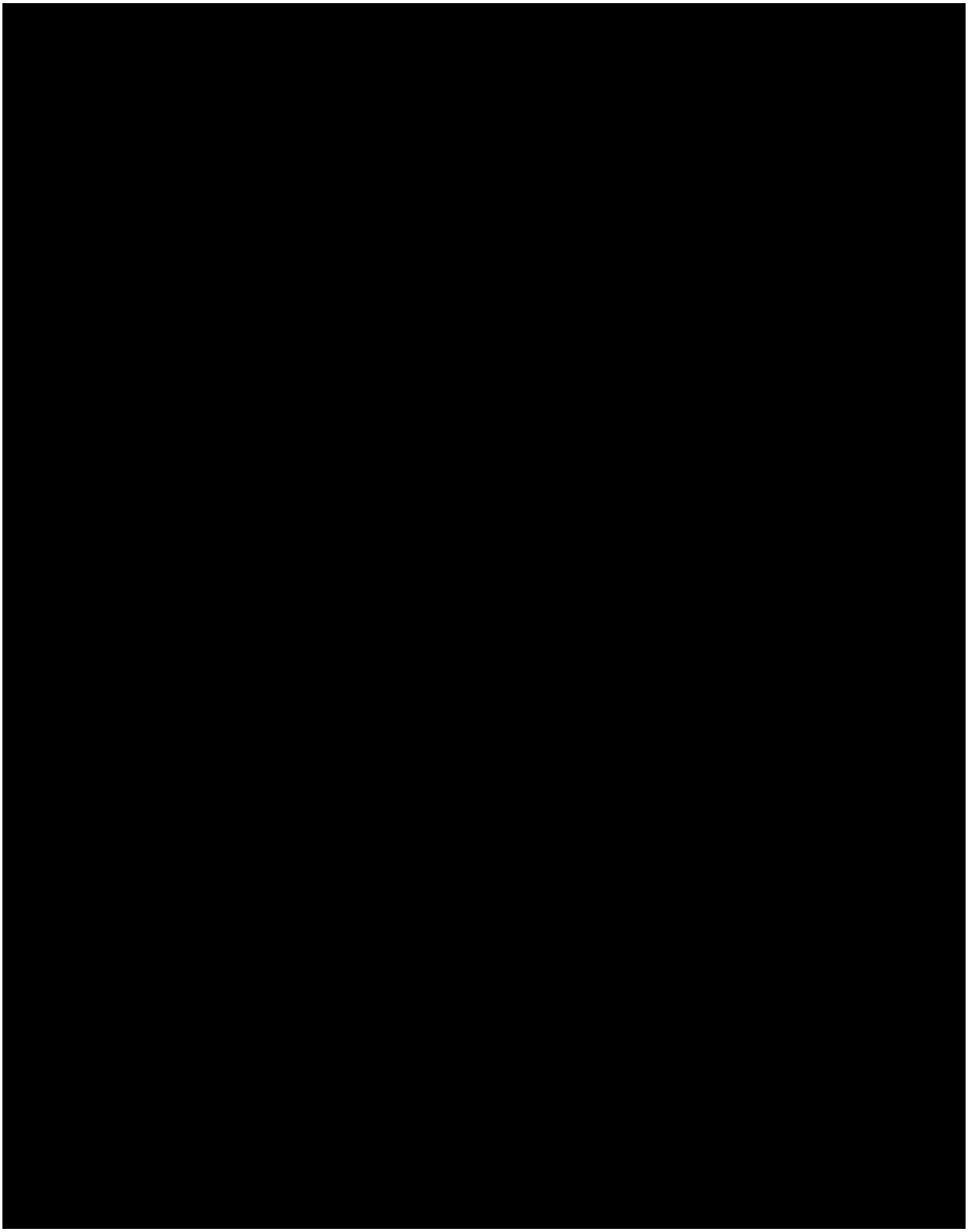


Abb. 9: Manuelle Abstimmung mit Schrittmotor nach HÖDLMAYR (1997)

Eine weitere interessante Variante zur Abstimmung ist sehr ausführlich von PFADLER (1998) beschrieben worden. Dort ist eine Baubeschreibung und eine Schaltung vorgelegt, die die Abstimmung des Drehkondensators automatisch erledigt. Um das Interesse an dieser Lösung zu wecken, ist die Schaltung in Abb. 10 dargestellt. Weiteres kann der geneigte Leser in dem Originalaufsatz, der gut bebildert ist, nachlesen.

Abb. 10: Abstimmautomatik nach PFADLER (1998)

Für die numerische Abschätzung der zahlreichen Parameter stehen unterschiedliche Programme zur Verfügung, so z.B. COIL 200 zur Berechnung des Schwingkreises, MLOOP31 oder weitere Programme. Allerdings können zahlreiche Programme nur eine LOOP mit einer Windung verarbeiten.

Viel zu berechnen gibt es nicht, wenn einen die Theorie nicht weiter interessiert. Allerdings sollte man schon Angaben über den Wirkungsgrad und die Bandbreite seiner Magnetischen Loop kennen. Außerdem sind wir Amateurfunker und haben gelernt, uns mit den grundlegenden mathematischen Zusammenhängen unseres Hobbys auseinander zu setzen.

Mit den Abbildungen 11, 12, 13 und 14 auf den Seiten 12 und 13 wird die bisher gebaute Loop in Detailfotos dargestellt. Es handelt sich um das beschriebene Baumuster einschließlich der Servo-Steuerung nach DL 2 OAM und DJ 7 RS.

Anregungen, Hinweise und konstruktive Kritik nehme ich gerne entgegen.

Die Musterantenne, die wir zur Probe gebaut haben, soll hier vorgestellt werden:
Es ist sicher keine optimale Arbeit, aber sie zeichnet sich durch technisch und finanziell wenig Aufwand aus. In ähnlicher Form könnten die Antennen unseres Bauprojektes nachvollzogen werden.

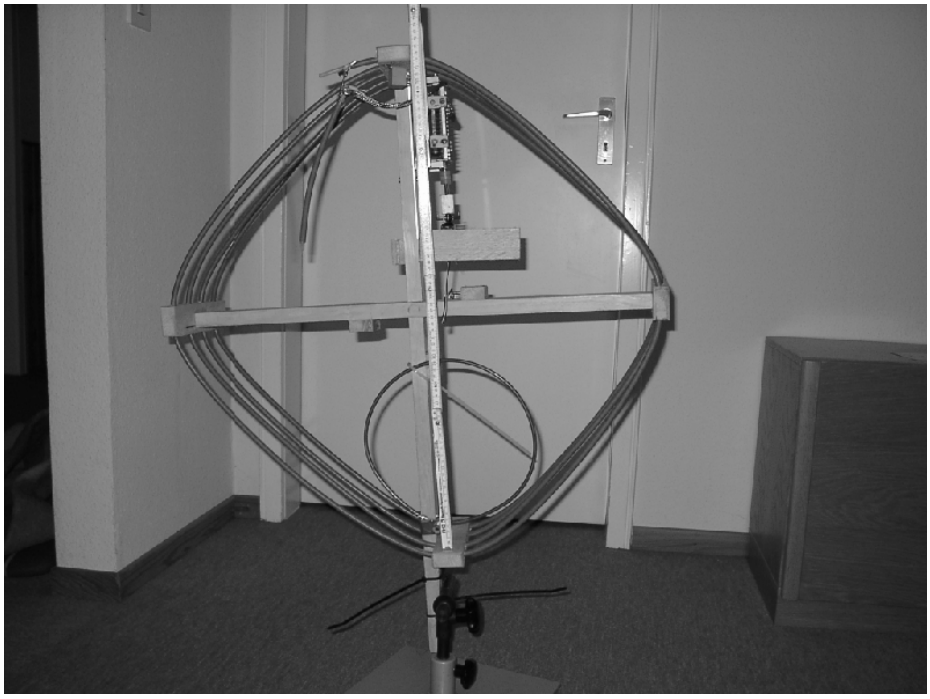


Abb. 11 Der „Prototyp“ in Vollansicht (Photo DJ 7 RS)

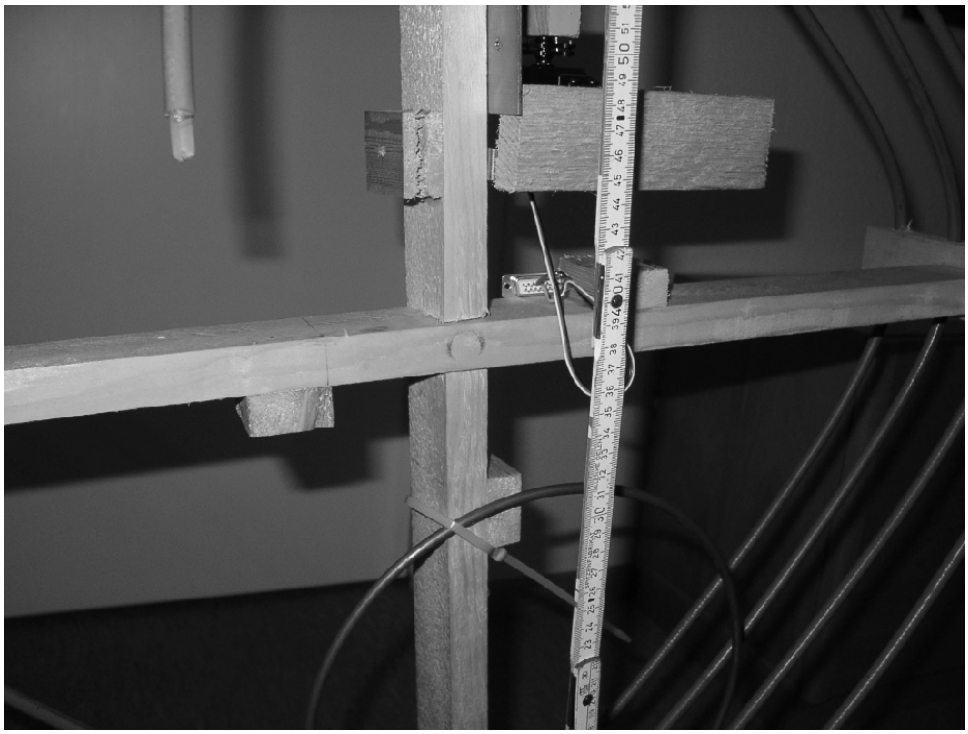


Abb.: 12 Das Lattenkreuz im Detail (Zollstock als Maßstab) (Photo DJ7RS)

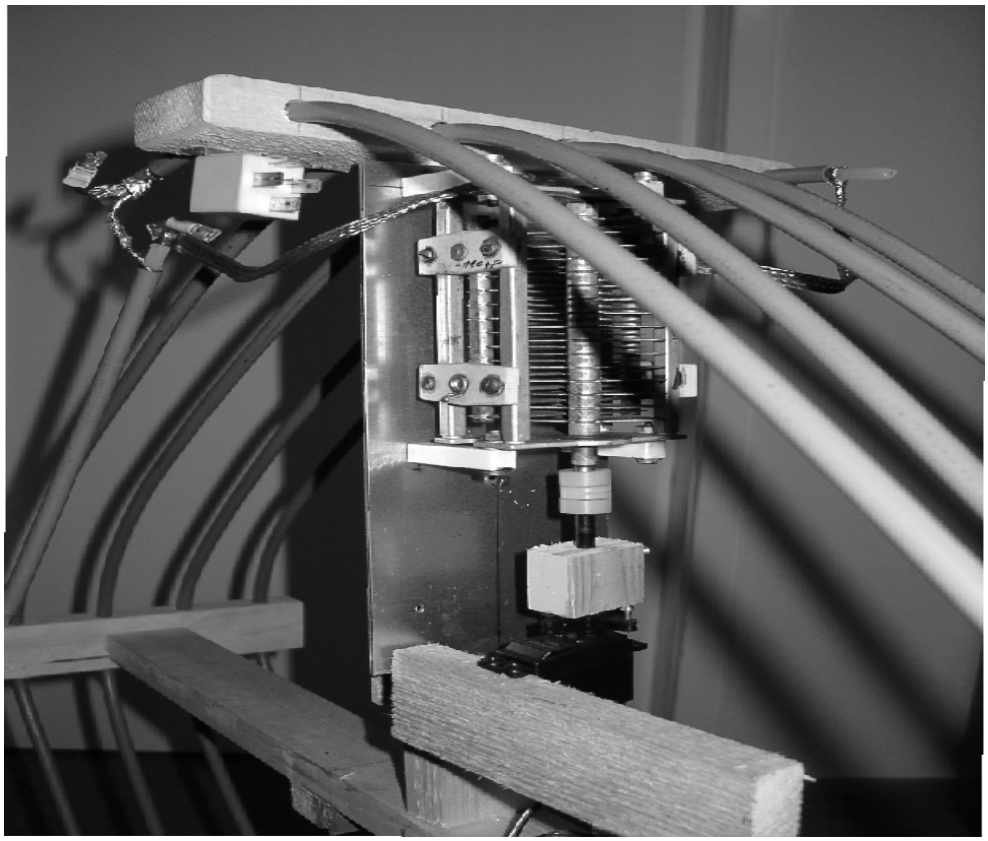


Abb.:13 Detail : Drehkondensator mit Servo (Photo DJ7RS)

Abb.: 14 Detail der Kopfleiste und der Verdrahtung (mit plattgedrücktem Koax-Mantel)
(Photo DJ7RS)

4. Angeführte Schriften:

Carr, J.,(1997):Geheimnisse des HF-Schaltungsentwurfs.- 276 S., zahlr. Abb., Elektorverlag, Aachen.

Glesner, D. (1997a): Erst simulieren – dann bauen. Rechnerische Behandlung von Magnetantennen (1)- CQ DL H. 1, 1997, S. 36 – 39, Baunatal.

Glesner, D. (1997b): Erst simulieren – dann bauen. Rechnerische Behandlung von Magnetantennen (2).-CQ DL, H. 3, 1997, S. 208 – 210. Baunatal.

Hart, T. (1986): Small:High-Efficiency Loop Antennas.- QST, June 1986.

Hödlmayr, W. (1997): Magnetansteuerung mit Schrittmotor.- CQ DL, H. 6/97, S. 459., Baunatal.

Perez, L.S. (2002): Baut eure Drehkondensatoren selbst.- CQ-DL, H. 2, S. 119–122, 9 Abb., Baunatal.

Pfadler, W. (1998): Abstimmautomatik für Magnetantennen.- CQ DL, H.9/1998, S. 707 – 708, Baunatal.

Piehler, R. (1999): „Magnet"-Antennen – Überblick und Erfahrungen.- Funkamateur, H. 8/1999 (http://home.t-online.de/home/Rudolf.DL3AYJ/magnetan.htm)

Rothammel, K., (1991): Antennenbuch.- 10. Auflage, 744 S., 832 Zeichn., Stuttgart

Schreglmann, U. (1996): Indoor-Magnetic-Loop für 160 m.- CQ-DL, H.3, S.962-963, Baunatal.

Schregelmann, U. (1997): Preiswerte Motorabstimmung für Magnetantennen.- CQ DL, S. 213, Baunatal.

Weiterführende Literatur:

Hausdorf, C.(2001):Magnetische Antennen in der Praxis.- CQ-DL, H.11, S.800-802, Bau natal.

Schäfer, J. (1990): Die Rahmenantenne – eine Behelfsantenne zum Selbstbau.- CQ DL, H. 1, 1990, S. 21 – 26, Baunatal.

Töpfer, F. (1996): Die etwas andere Loop - Magnetantenne mit kapazitiver Einspeisung.- CQ DL, H. 12, 1996, S. 964 – 965, Baunatal.

Wiche, G. (1992): Praktische Hilfen für den Magnetantennenbau.- CQ DL, H. 2, 1992, S. 72 – 75, Baunatal.

NN (1992): Motorsteuerung für Magnetantennen.- CQ DL, H. 4, 1992, S. 209, Baunatal.

Software:

MLOOP31, (DOS),eine Freeware von Kromer, H.J., DK 1 NB @ DB 0 TCP.#HES.DEU.EU

COIL 200, (DOS) „cardware" von Laurentiu, E. & Moschier, S., 1996