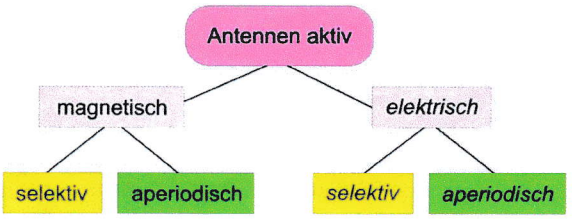
Aktivantenne AS643

Vorbemerkungen

Moderne Empfänger für den Bereich bis 30MHz sind inzwischen so hoch entwickelt, dass in einer bestimmten Empfangssituation der verwendeten Antenne und deren Montage sowie der Störsituation am Empfangsort die entscheidende Bedeutung zukommen. Dabei ist der absolute Signalpegel weniger wichtig als ein genügender Abstand zu den Störungen. Die Aufgabe einer Antenne als wichtiges Element in einer Signalverarbeitungskette besteht also darin, in einer gegebenen Empfangssituation das gewünschte Signal mit einem möglichst hohen Störabstand an einen Empfänger zu liefern.

Angestrebt werden sollten dabei immer Symmetrie und Abmessungen einer Antenne, die von der verwendeten Wellenlänge bestimmt werden. Eine große Wirkfläche einer Antenne ist gleichbedeutend mit einem hohen Gewinn. Falls die örtlichen Gegebenheiten keine mechanischen Ausführungen in Bezug zur Wellenlänge zulassen oder sich die Antenne zusätzlich in einer gestörten Umgebung befindet, sind Kompromisse erforderlich. Aktive Antennen stellen einen solchen Kompromiss dar, denn sie enthalten meistens einen im Bezug zur Wellenlänge kleinen Strahler. Geringere Signalpegel, die von aktiven Antennen geliefert werden, bedeuten oft Entlastung der Empfängerdynamik und bewirken unter Umständen dadurch eine Verbesserung des Signal-Rauschabstandes.

Das elektromagnetische Feld besteht aus zwei Komponenten: E- und H-Anteil. Je nachdem, auf welche Komponente die Antenne reagiert, kann eine Einteilung vorgenommen werden:



Zur Anpassung verkürzter Strahler an 50 Ohm benötigt man reaktive Elemente, die Verluste und dadurch einen niedrigen Wirkungsgrad verursachen. Der Vorteil einer solchen Anordnung ist allerdings eine zusätzliche Selektion.

Ersetzt man die schmalbandige Anpassung mit Blindelementen durch eine breitbandige, aktive Impedanztransformation, so lassen sich diese Verluste vermeiden. Allerdings sind diese Anordnungen dann nicht reziprok, sondern nur für den Empfang geeignet.

Aktivantennen können als elektrische Ausführung als Antennenelement entweder einen Stab oder als magnetische Variante eine Schleife aufweisen. Ein Stab liefert eine Spannung, die zur aperiodischen Anpassung mit einem hochohmigen Verstärker abgenommen werden muss. Eine Schleife liefert Strom und sollte im Kurzschluss an einem möglichst niederohmigen Verstärkereingang betrieben werden. Die ausführliche Abhandlung von DB1NV in [2] sei empfohlen.

Aktive Antennen mit einem kleinen Strahlerelement und hochohmiger Anpassung sind keineswegs neu. In [6] findet sich eine einfache Schaltung nach dem gleichen Prinzip. Eine grundlegende Abhandlung und praktische Beispiele befinden sich in [7]. Die Idee zu einer solchen Antenne mit einer modernen Stromversorgung durch Solarenergie ist in [8] angegeben und erhält unter Umständen aktuelle Bedeutung.

Aktive Antennen in einer elektrischen Ausführung haben folgende Eigenschaften:

Vorteile:
- hohe Bandbreite von 100kHz bis mindestens 30MHz
- Strahlungsdiagramm meist für alle Frequenzen identisch
- kleine Abmessungen und somit unauffällig
- Einsatz außerhalb von „Störnebeln" möglich

Nachteile:
- nur Empfang
- Stromversorgung notwendig
- Elektronik zerstörbar

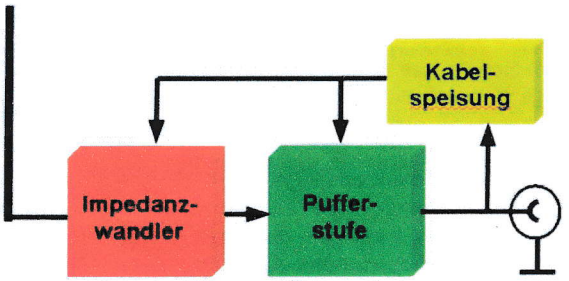


Abb.1: Blockschaltbild einer aktiven Antenne

Aktives Element

Als Empfangselement sind verschiedene Ausführungen möglich. Entscheidend für die Funktion ist weniger die Geometrie des Strahlers als dessen Kapazität gegen den Raum. Ein Stab von einem Meter Länge weist ca. 10pF Kapazität und einen Realteil von 1kΩ auf. Diese Impedanz muss transformiert werden, wozu ein Feldeffekttransistor verwendet wird.

Ein Stück Platinenmaterial von ca. 3cm x 5cm ist ebenfalls geeignet. PA0RDT zeigt in einigen Artikeln ausführlich, die man als PDF-Dateien auf verschiedenen Webseiten [4] findet, wie das funktioniert. Daher scheint es sinnvoll, den Verstärker und das Antennenelement zu trennen.

© AATiS e.V.

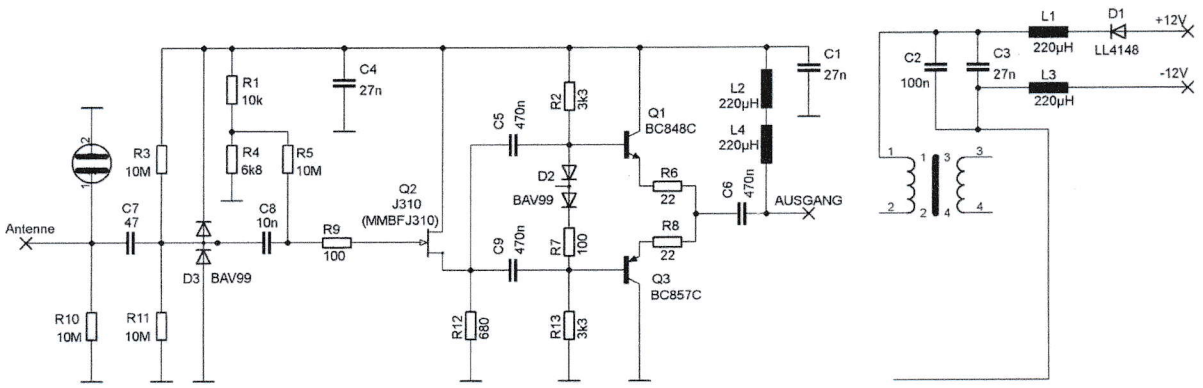


Abb.2: Schaltplan der Aktivantenne

In der Literatur befinden sich mehrere, sehr ähnliche Konzepte für elektrische Antennen. Allen Varianten gemeinsam ist ein hochohmiger Eingang zur Signalabnahme am kapazitiven Element und ausschließlich Stromverstärkung.

In Abbildung 2 ist die Schaltung im Detail angegeben, die in einer Anlehnung an [1] entstand. Aus [5] wurden verschiedene Details ergänzt, z.B. die Eingangsschutzbeschaltung.

Der Aufbau des Verstärkers kann in mehrere Funktionsbereiche unterteilt werden. Der Impedanzwandler ist ein Feldeffekttransistor BF245, J310 oder ähnlich. Die Pufferstufe besteht aus zwei bipolaren Transistoren im Gegentakt. Der Verstärker erzeugt keine Spannungsverstärkung.

Zum Schutz des empfindlichen Eingangs des FET vor statischer Aufladung ist eine Anordnung aus mehreren Bauteilen vorgesehen: Zunächst kommt eine Glimmlampe mit einer Zündspannung von ca. 100V zum Einsatz. Dieses Bauteil dient vorwiegend dem Blitzschutz. Parallel dazu ist ein hochohmiger Widerstand R15 angeordnet, der statische Aufladungen des Antennenelementes ableitet. Solche Aufladungen entstehen durch Wind oder Schneefall. Überspannungen ober- oder unterhalb der Betriebsspannung werden durch die beiden Dioden, die in der BAV99 enthalten sind, abgeführt. Zur Erreichung einer geringen Sperrschicht-Kapazität sind diese Dioden über R6 und R11 vorgespannt.

Die Gatespannung für den FET wird mit R1, R3 und R5 hochohmig erzeugt und liegt etwa bei der halben Betriebsspannung. In Verbindung mit einem geeigneten Wert des Source-Widerstandes R13 ergibt sich ein Drainstrom im Bereich einiger Milliampere. Die impedanzgewandelten Signale werden am Source von Q2 abgegriffen und an die komplementäre Gegentakt-Endstufe weitergeleitet. Zur Sicherung einer niedrigen, unteren Grenzfrequenz müssen die Kondensatoren C6 und C11 entsprechend dimensioniert werden. R4, R8 und R14 gewährleisten einen Arbeitspunkt für die beiden komplementären Transistoren Q1 und Q3. Über die beiden Widerstände R7 und R10 wird das Signal ausgekoppelt.

Ausgehend davon, dass die Antenne meist vom Empfänger abgesetzt betrieben wird, ist die Speisung des Verstärkers grundsätzlich über das Koaxialkabel vorgesehen. Dazu gibt es die Drossel L1, die einen Gleichstrompfad bildet. Maßnahmen zur Stabilisierung der Arbeitspunkte gegen Schwankungen der Speisespannung sind nicht enthalten, denn es darf davon ausgegangen werden, dass eine stabile 12V-Versorgung bereitgestellt wird.

Die Temperaturstabilität der beiden Stufen erfordert hingegen etwas mehr Aufmerksamkeit. Der Arbeitspunkt des FET ist durch den Sourcewiderstand ausreichend stabil. Die Basisvorspannungen der bipolaren Transistoren erfordern einen negativen TK. Dafür werden zwei Dioden in D4 verwendet. Die Übersicht in Abbildung 3 zeigt die Stromaufnahme beider Stufen im Klimaschrank.

Temperatur [°C]	-25	0	25	50	75
FET	11	10,9	10,9	10,9	10,8
Puffer	29,7	30,8	31,6	32,3	32,8

Abb.3: Stromaufnahme bei verschiedenen Temperaturen

Kommerzielle Lösungen sind analog aufgebaut, enthalten meist noch aufwändigere Stabilisierungsschaltungen gegen schwankende Temperaturen und Speisespannungen.

Bestandteil des Bausatzes ist eine Platine mit der Verstärkerschaltung und Sieb- und Abblockelementen für die Speisung des Verstärkers über das Ableitungskabel. Als Gehäuse ist z.B. eine Aufputzabzweigdose in halber Breite geeignet. Eine Schirmung der Verstärkerplatine ist wenig sinnvoll, da ohnehin ein hochohmiger Eingang vorhanden ist, der an den Antennenstab angeschlossen wird. Wichtiger ist die Verhinderung der Signalaufnahme über das Ableitungskabel. Das gelingt mit einer Gleichtaktdrossel.

Intermodulationsverhalten

Um ein Gefühl dafür zu bekommen, wie linear der Verstärker ist, wurde der in Abbildung 4 gezeigte Versuchsaufbau erstellt.

© AATiS e.V.

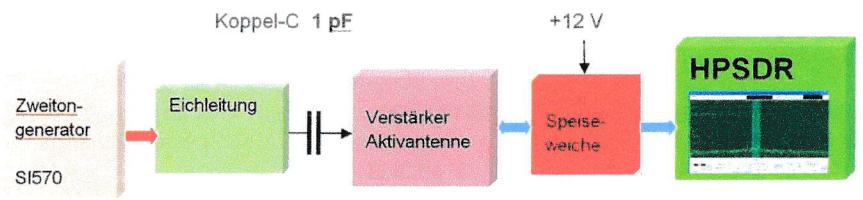


Abb.4: Testaufbau für IM-Abschätzung

Ein Zweitongenerator mit Si570 liefert nach Tiefpässen ca. zweimal -8dBm-Pegel. Über eine vorgeschaltete Eichleitung wird das Signal über einen Kondensator von 1pF an den Eingang des Verstärkers angekoppelt.

Wie der folgende Bildschirminhalt in Abbildung 5 zeigt, kann man den Verstärker weit aussteuern, ohne dass IM-Produkte erkennbar werden. Durch den kleinen Koppelkondensator kann der am Verstärkereingang liegende, tatsächliche Pegel nur sehr schwer angegeben werden. Die Eichleitung war beim Test auf 10dB Dämpfung eingestellt.

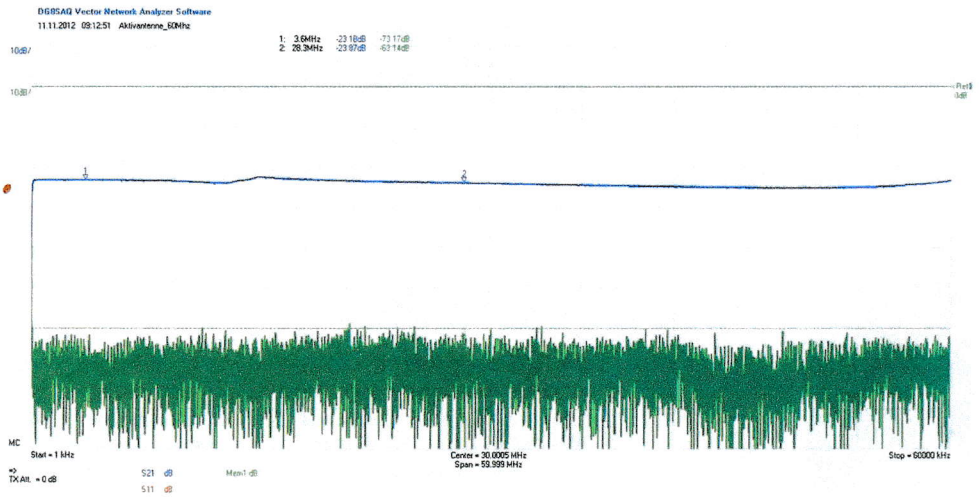
Die Messung ist sicher mit einiger Skepsis zu betrachten, grundsätzlich scheint die Linearität des Verstärkers aber ausreichend zu sein.

Frequenzgang

Beim Versuch, den Frequenzgang eines Testaufbaus des Verstärkers zu erfassen, kommt Abbildung 6 zustande. Die blaue Kurve ist S21 des Verstärkers. Die untere, grüne Kurve ist das Rauschen des VNWA-Empfängers. Zur Messung ist der hochohmige Verstärkereingang extrem lose an den Tx-Ausgang des VNWA angekoppelt. Dadurch ist auch der ca. 25dB geringere Pegel unterhalb der 0dB-Referenzlinie zu erklären. Wie die Grafik zeigt, funktioniert der Verstärker von VLF bis zum 6m-Band. Das deckt sich mit den meisten Angaben in der Literatur

Abb.5: IM-Spektrum der Aktivantenne

Abb.6: VNWA-Bildschirm mit Frequenzgang



Rauschen des Verstärkers

Auf Grund der verwendeten NF-Transistoren in der Pufferstufe ist die Angabe einer Gesamtrauschzahl des Verstärkers schwierig. Experimentell kann man jedoch feststellen, wenn die Eingangsstufe mit dem FET von der Spannungsversorgung getrennt wird, dass das Rauschen in einem angeschlossenen Rx deutlich abnimmt. Das lässt den Schluss zu, dass das Rauschverhalten des Verstärkers maßgeblich von der Eingangsstufe bestimmt wird.

Montage

Aktivantennen sollten grundsätzlich außerhalb von Gebäuden

betrieben werden, weil der „Störnebel" dort geringer ist. Ideal ist ein Aufbau in großer Höhe. Die mögliche Montage des Verstärkers an einem nichtmetallischen Halter unterhalb der Antenne zeigt Abbildung 7. Das Gehäuse muss gegen Witterungseinflüsse abgedichtet werden. Für eine dichte Durchführung zum Strahleranschluss wäre eine Schraube denkbar.

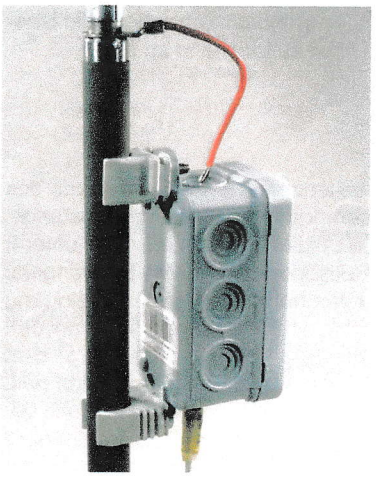


Abb.7: Gehäuse mit Clip als Halterung und Antennenstab

Betrieb der Antenne

Lokale Störungen gelangen zusätzlich zur Aufnahme durch die Antenne auch über Mast und Kabel in den Empfänger. Eine aktive Antenne ist empfindlich gegenüber elektrischen (Stör)-Feldern.

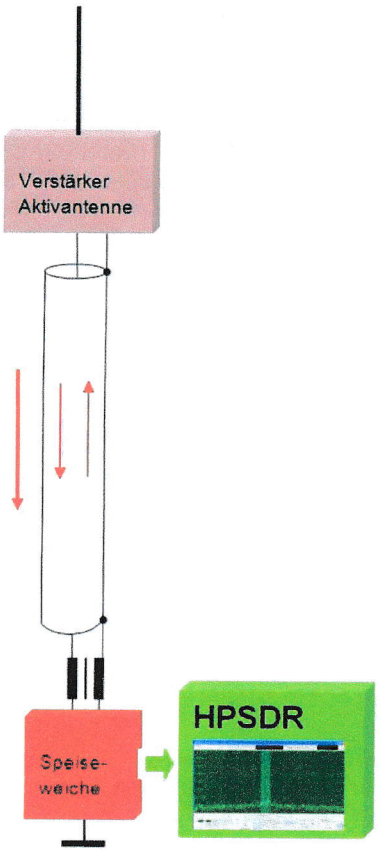


Abb.8: Koaxialdrossel

Gleichtaktunterdrückung

Beim Betrieb der Antenne an einem längeren Kabel ist es daher sinnvoll, auf die Vermeidung von Störeinstrahlungen auf das Kabel zu achten. Das erreicht man durch Einfügen einer Drossel vor der Speiseweiche, wie in Abbildung 8 gezeigt.

Der normalerweise im Kabel fließende Gegentakt-Strom, der das vom Verstärker abgegebene Nutzsignal repräsentiert, wird durch Störungen mit einem Gleichtaktstrom auf der Außenseite des Kabels überlagert. Dieser Strom wird auch als Mantelstrom bezeichnet. Eine koaxiale Drossel, bestehend aus einem Kabel, welches auf einen Ferritkern gewickelt wird, stellt für den Gegentaktstrom kein Hindernis dar; der Mantelstrom wird aber bei ausreichender Induktivität der Drossel unterdrückt. Das gilt übrigens grundsätzlich für alle Arten von Antennenspeisungen oder Ableitungen.

Für störarmen Empfang bzw. zur Vermeidung der störenden Beeinflussung anderer Geräte durch die eigene Aussendung ist der Unterschied zwischen Gleich- und Gegentaktströmen auf einer Leitung elementar. Dabei ist es unerheblich, ob es sich um ein geschirmtes Kabel oder eine Hühnerleiter handelt.

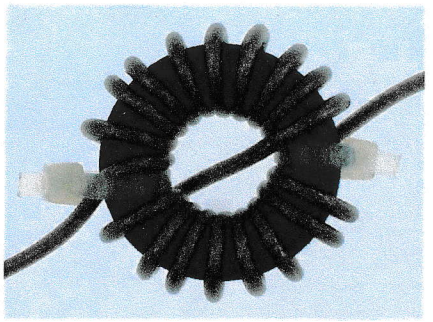


Abb.9: Balun aus Teflonkabel

Abbildung 9 zeigt einen Balun, gewickelt aus Koaxialkabel. Nach der halben Windungszahl wird auf der gegenüberliegenden Seite des Kerns weitergewickelt. Der Wickelsinn bleibt gleich, lediglich Ein- und Ausgang stehen sich dann gegenüber.

Wenn der Verstärker aus verständlichen Gründen an der Mastspitze geerdet ist, dann sollte nach dem Verstärker ebenfalls eine Gleichtaktunterdrückung vorgesehen werden.

Speiseweiche

Für die Spannungsversorgung des Verstärkers ist eine stabile Gleichspannung von 12V erforderlich. Die Stromaufnahme liegt bei ca. 40mA.

Zur Trennung von HF-Signalen und der Gleichspannung ist eine Speiseweiche notwendig. Für eine ausreichende Entkopplung zwischen der zum Empfänger zu leitenden HF und der Speisespannung darf die Drossel nicht zu klein bemessen werden. Wie die nachfolgende Tabelle in

© AATiS e.V.

Abbildung 10 beispielhaft zeigt, ist für den VLF-Bereich 1mH noch nicht ausreichend.

L [µH]	Frequenz [kHz]	Blindwiderstand [Ohm]
100	3500	2198
330	3500	7253,4
1000	10	62,8

Abb.10: Blindwiderstände einer Drossel bei verschiedenen Frequenzen

Möglicherweise können mehrere Drosseln in Serie geschaltet werden, so wie in Abbildung 11 angegeben.

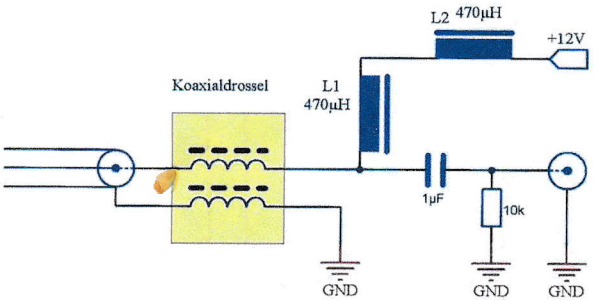


Abb.11: Einfache Speiseweiche

Die Koaxialdrossel (gelber Kasten) vermeidet HF-Gleichtaktstrom auf dem Kabel und verhindert das Eindringen lokaler Störungen.

Wenn die Gleichspannung aus einem geerdeten Netzteil kommt, dass möglicherweise gegenüber der Empfängererde auf einem anderen (gestörten) Potential liegt, muss unbedingt eine HF-mäßige Trennung der Erdverhältnisse angestrebt werden. Wie Abbildung 12 zeigt, wird das durch Verdrosselung auch der Minusleitung der Spannungszuführung erreicht.

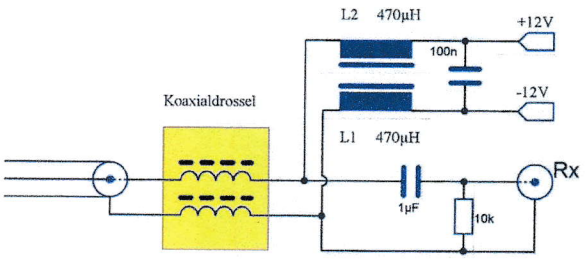


Abb.12: Speiseweiche mit entkoppelter DC-Versorgung

Der Widerstand am Ausgang zum Empfänger soll wenig Nutzsignal verbrauchen, aber dafür sorgen, dass sich dort keine Gleichspannung aufbauen kann. Beim Anschließen eines Empfängers vermeidet das den Ladestromstoß, hervorgerufen durch den Koppelkondensator. Dieser sollte nämlich zur Sicherung des VLF-Empfangs nicht zu klein gewählt sein.

Zur Störungsreduzierung ist auch eine transformatorische Kopplung an den Empfänger wie in Abbildung 13 vorstellbar. Zu beachten ist dabei, dass die Primärwindung des Trafos die Speisespannung für den Verstärker nicht kurzschließt.

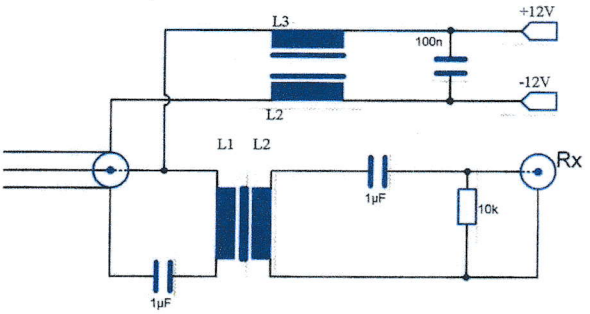


Abb.13: Speiseweiche mit Trafokopplung

Auskoppeltrafo für die Speiseweiche

Für die galvanische Trennung zum Empfänger wird ein Auskoppeltransformator mit einem Doppellochkern vorgeschlagen. Es handelt sich um den Amidon-Kern BN73-202 mit den Abmessungen 13,3x14,5x7,5mm³. Die Bohrungen weisen einen Durchmesser von 3,8mm auf. Laut AMIDON-Datenblatt beträgt der A_L-Wert von 8500nH/n². Praktische Messungen mit 10 Windungen ergaben einen höheren A_L-Wert von etwa 11900nH/n².

Die Wicklung für den AS643-Bausatz besteht aus CuL mit 0,25mm Durchmesser.Zur bifilaren Wicklung werden zwei Drahtstücke mit je 400mm Länge miteinander verdrillt. Mit zehn Windungen ergibt sich eine Induktivität der Teilwicklung von ca. 1mH. Eine Windung bedeutet, dass der Draht einmal durch jedes Loch gesteckt wird. Das ist für die Verwendung der Primärwindung des Übertragers als HF-Drossel ausreichend. Der Wickelraum lässt sicher auch noch Draht der Stärke 0,3mm zu. Der Übertrager und Draht liegen zum Selbstbewickeln bei.

Der Trafo ist für eine vertikale Montage vorgesehen. Der Kern kann mit doppelseitigem Klebeband oder Schmelzkleber stehend auf der Platine befestigt werden. Selbstverständlich eignen sich auch andere Kerne, falls die Permeabilität für ca. 1mH Induktivität ausreicht.

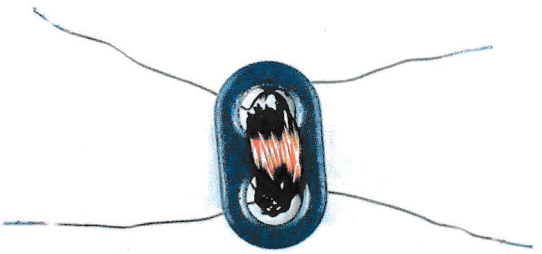


Abb.14: Auskoppeltrafo

© AATiS e.V.

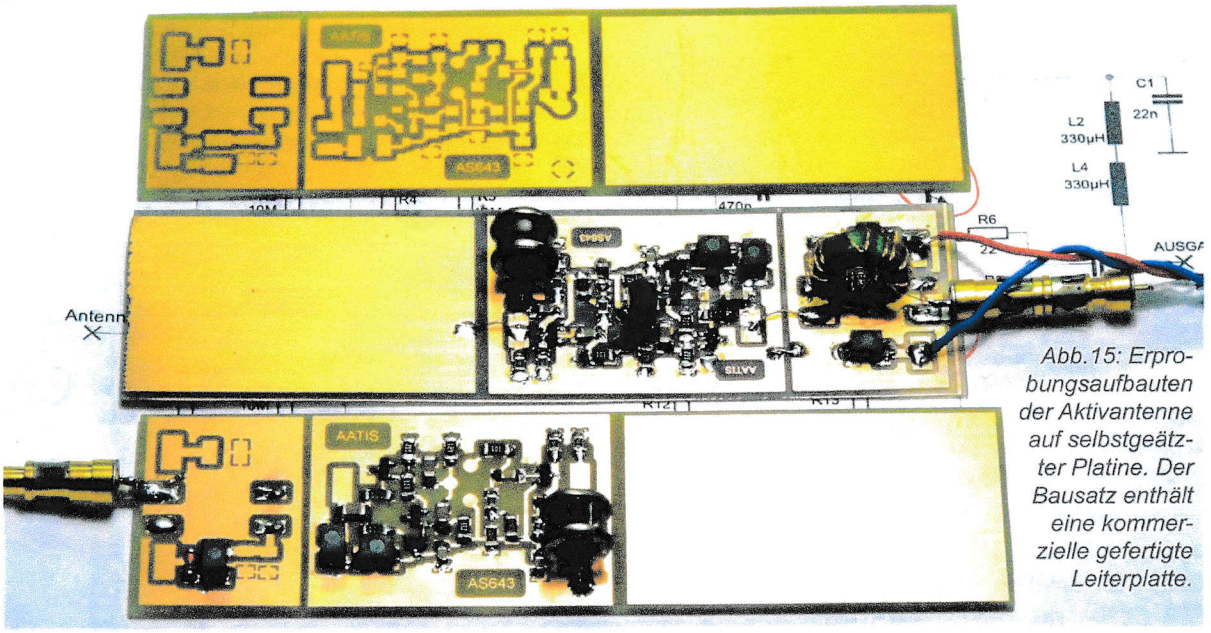


Abb.15: Erprobungsaufbauten der Aktivantenne auf selbstgeätzter Platine. Der Bausatz enthält eine kommerzielle gefertigte Leiterplatte.

Bausatz

Der Bausatz AS643 enthält einen Verstärker für eine elektrische Aktivantenne, die den Lang-, Mittel- und Kurzwellenbereich abdeckt. Es sind verschiedene Antennenformen verwendbar. Die Platine AS643 enthält bereits ein optionales Antennenelement, bestehend aus einer Kupferfläche. Sie lässt sich wetterfest in ein PVC-Rohr einbauen. Da die Platine AS643 vorgeritzt ist, kann diese Fläche ohne großen mechanischen Aufwand entfernt und z.B. durch einen Antennenstab ersetzt werden.

Die Platine ist mit Lötstopplack versehen. Der Bausatz enthält SMD-Bauteile der Größe1206 für einen unproblematischen Aufbau. Der Bestückungsplan und zwei Musteraufbauten sind auf dieser Seite abgedruckt.

Beim Nachbau sollten - neben dem eigentlichen Verstärker - der Ableitung und der Spannungsversorgung entsprechende Aufmerksamkeit zuteil werden.

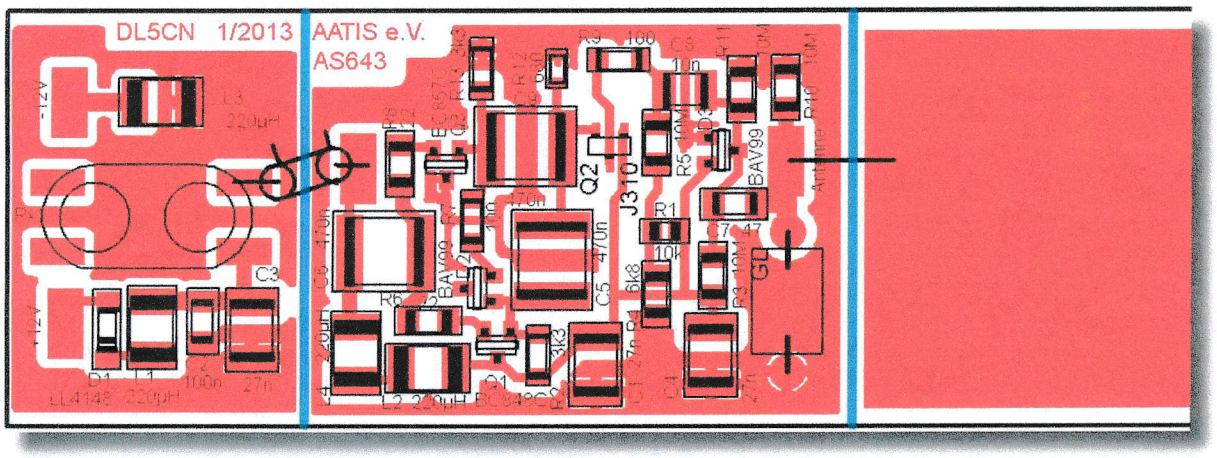
Abb.16: Bestückungsplan der Aktivantenne. Die rechte Seite wurde aus drucktechnischen Gründen gekürzt!

Quellen

[1] Prof. Dr. Jochen Jirmann:, Aktive Antennen für den Frequenzbereich 10 KHz bis 50 MHz, UKW-Berichte 1992, Seite 37-42 92
[2] Prof. Dr. Jochen Jirmann: Aktive magnetische Empfangsantennen, CQ-DL 1995, Heft 5, Seite 342
[3] Prof. Gerd Janzen: Kurze Antennen, Franck'sche Verlagshandlung Stuttgart 1986
[4] Roelof Bakker, PA0RDT, Mini Whip
[5] Aktivantenne KAA1000, Erzeugnisunterlage RFT
[6] E. Reiss: Aktivantenne, Funkamateur 41 (1992), Heft 11, Seite 639
[7] Frank Sichla: Aktive Antennen in Theorie und Praxis, Funkamateur 39 (1990), Heft 6, Seite 293, Heft 7, Seite 347, Heft 8, Seite 401
[8] Jens Altenburg: Aktivantenne mit Solarstromversorgung, Funkamateur 45 (1996), Heft 6, Seite 656

Autor

Dipl.-Ing. Andreas Auerswald · DL5CN
eMail: *dl5cn@t-online.de*



© AATiS e.V.