

Aktivantenne „Mini-Whip“ reloaded

Von Guenter Fred Mandel, DL4ZAO

www.dl4zao.de

1. Einführung

Für den breitbandigen Empfang von VLF bis 50 MHz, bietet sich eine Aktivantenne als platzsparende und effektive Lösung an. Aktive Antennen werten entweder überwiegend die elektrische (E-Feld Sonde, Aktiv-Monopol) oder die magnetische Feldkomponente (Aktivloop) einer elektromagnetischen Welle aus. Beide Varianten haben ihre jeweiligen Vorzüge und Nachteile [14].

Breitbandige E-Feld Aktivantennen erfordern wegen der anstehenden Summensignale lineare Verstärkerstufen mit geringer Intermodulation. Insbesondere in den unteren Kurzwellenbändern und LF/VLF Frequenzbereichen sind sehr gute Intermodulationseigenschaften gefordert. Eine niedrige Rauschzahl oder Spannungsverstärkung ist dabei weniger wichtig, da in diesem Frequenzbereich das Außenrauschen aus industriellen und atmosphärischen Quellen dominiert [4].

Das grundsätzliche Prinzip nahezu aller E-Feld Aktivantennen ist ähnlich: Ein zur Wellenlänge elektrisch kurzes Antennenelement, ein Stab oder eine Fläche, wirken als Feldsonde für die elektrische Feldkomponente. Ein FET Impedanzwandler nimmt die Potentialdifferenz der Feldsonde gegenüber Masse hochohmig ab und eine nachfolgende Treiberstufe bringt das Signal auf die Leistung, damit ein 50 Ohm Koaxialkabel zum Empfänger angeschlossen werden kann.. Eine einfache Schaltung einer kurzen Monopol-Aktivantenne ist die weit verbreitete „Mini-Whip“ von Roeloff Bakker, PA0RDT [1]. Der Empfang mit nur 35 x 45mm Fläche einer kupferkaschierten Leiterplatte als „Antenne“ ist erstaunlich. Von den beeindruckenden Empfangsleistungen einer derartigen Aktivantenne kann man sich per Internetradio mit dem von 10Khz bis 30 MHz durchgehenden [WebSDR der Uni Twente](http://www.web-sdr.uni-twente.nl) überzeugen.

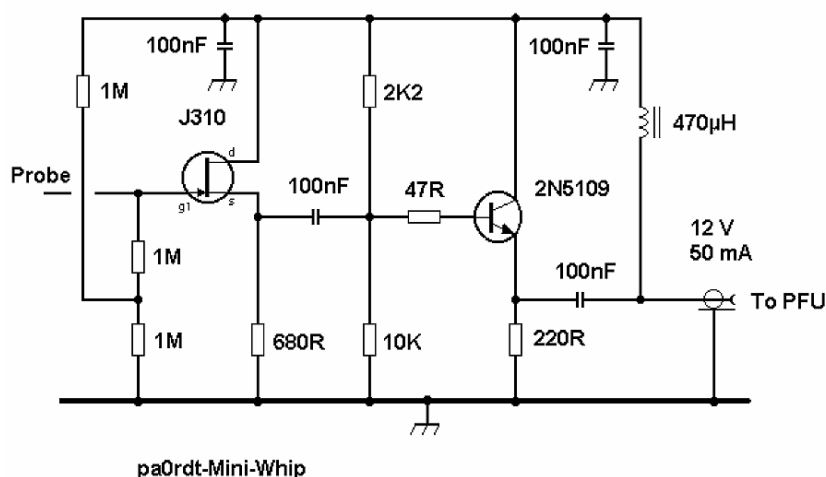


Bild 1 Schaltung der ursprünglichen Mini-Whip nach PA0RDT, wetterfest montiert in einer PVC-Rohr-Muffe

2. Kennwerte der Mini-Whip:

Frequenzgang: 10 kHz – >30 MHz +/- 4db, 100kHz – 18 MHz +/- 1 dB

Stromversorgung: 12 ...13,8 V, 60 mA

IP2 > + 50 dBm.

IP3: > + 30 dBm.

Maximale Ausgangsleistung, $\geq -10\text{dBm}$, Kabellängen >50m.

3. Schaltungsbeschreibung der Mini-Whip

Bild 2 zeigt das Schaltbild des Verstärkers der verbesserten „Mini-Whip reloaded“ Aktivantenne. Im Layout auf einer einseitig kaschierten Leiterplatte wurde ergänzend zur Ursprungsschaltung ein zusätzliches Relais zum Schutz gegen induzierte Überspannungen spendiert, wie sie bei Gewitter oder in der Nähe von Sendeantennen auftreten können. Der schwer erhältliche 2N5109 Transistor wurde durch einen modernen CATV Transistor BFG591 ersetzt. Ein Widerstand am Ausgang sorgt für eine moderate Zwangsanpassung ans Kabel.

Ein Stück kupferkaschierte Fläche der Leiterplatte dient in der Mini-Whip als Antenne. Das Betrachtungsmodell von PAORDT beschreibt die Kupferfläche als isolierte kapazitive Sonde für das elektrische Feld. Untersuchungen von Owen Duffy [5] und Pieter-Tjerk de Boer [9] zeigen, dass diese vereinfachte Sicht allein nicht ausreicht. Ein Einfluss des Außenleiters des Speisekabels bzw. eines leitfähigen Mastes auf die Antenneneigenschaften sind nicht zu vernachlässigen.

Im Ersatzschaltbild wirkt die Antennenfläche wie ein Generator mit einem reellen Innenwiderstand im Milliohm Bereich in Serie zu einem kleinen C mit einem hohen frequenzabhängigen Blindwiderstand X_c . Der nachfolgende Verstärker muss also eine sehr hohe Eingangsimpedanz und eine kleine Eingangskapazität aufweisen, um die Generatorspannung verlustarm abgreifen zu können.

Die Verstärker-Schaltung ist sehr einfach: eine hochohmige Impedanzwandler-Eingangsstufe T1 ist mit einem J310 FET als Sourcefolger ausgeführt. Das Relais X2 legt den Eingang der aktiven Stufe auf Masse, so lange keine Betriebsspannung anliegt, um den FET zu schützen. Die Elektronik ist damit im ausgeschalteten Zustand vor Überspannungsimpulsen am Eingang geschützt. Auf den FET Impedanzwandler folgt als Emitterfolger eine 50 Ω Treiberstufe im A-Betrieb mit dem kräftigen BFG591 Multi-Emitter Transistor. Die Spannungsverstärkung der Mini-Whip beträgt -4dB, ist also kleiner als eins.

Eine weitere an die Schaltung der Mini-Whip angelehnte Variante der Aktivantenne, jedoch mit SMD Bauelementen und moderneren Transistoren, ist als „M-Whip“ in [7] beschrieben.

Eine etwas komplexere Aktivantenne mit 50 Ω Treiberstufe in Gegentaktschaltung ist in [6] und beschrieben.

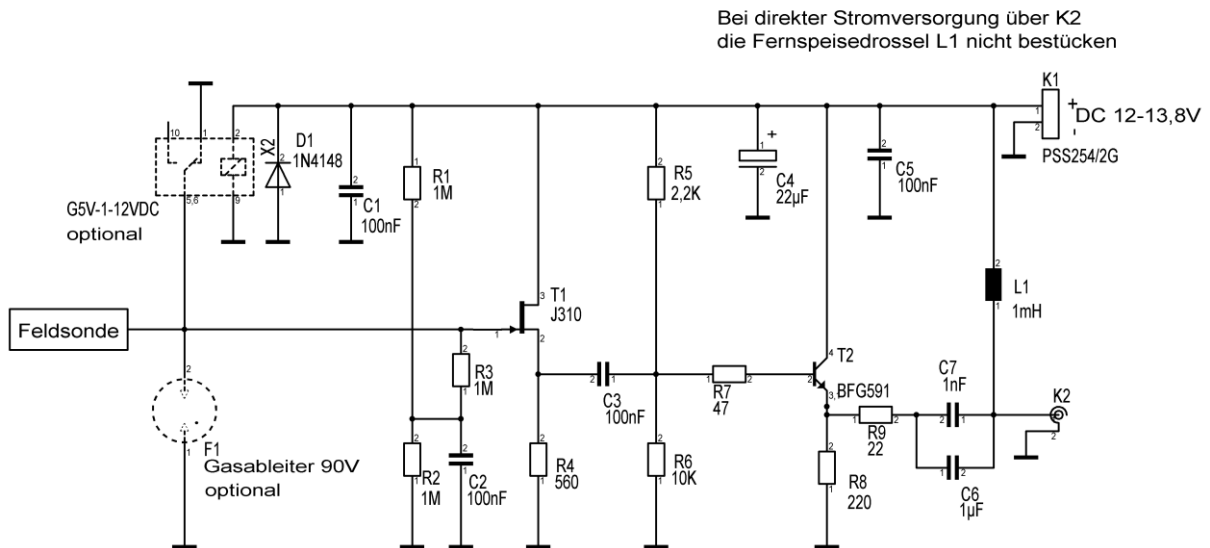


Bild 2 Schaltbild der „Mini-Whip reloaded“ Aktivantenne

Die Mini-Whip wird in dieser Ausführung auf einer Leiterplatte mit den Abmessungen ca 80 x 40 mm aufgebaut, und kann einfach in eine 50mm HT Muffe mit zwei PVC Muffenstopfen aus dem Baumarkt wettergeschützt eingebaut werden. Die einseitige Kupferkaschierung bildet auf einer Fläche von 45 x 40 mm die E-Feldsonde, die Antenne.

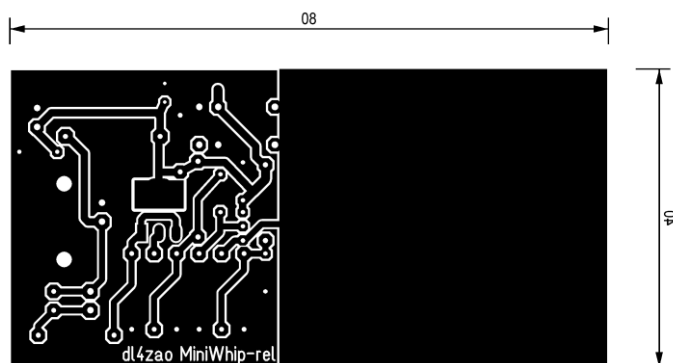


Bild 3 – Leiterplattenlayout der „Mini-Whip“ (Leiterbahnseite), Umriss 80x40 mm

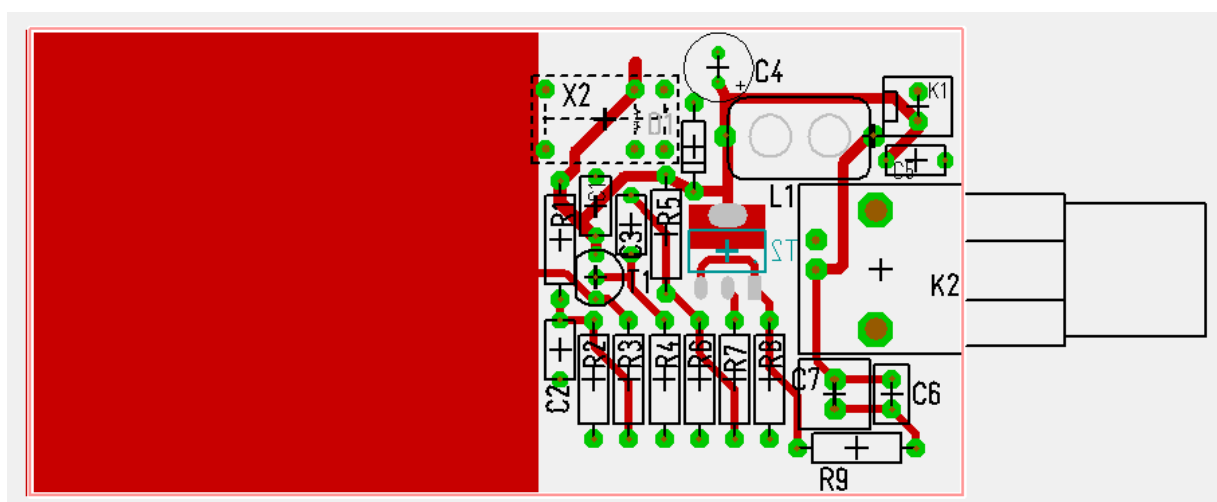


Bild 4 – Bestückung, von oben (größerer Maßstab)

4. Aufbau

Bis auf T2, ein BFG591 Transistor im großen SMD Gehäuse, werden nur bedrahtete Bauelemente verwendet. T2 wird zuerst auf der Unterseite der Platine bestückt. Dann kommend die konventionellen Bauteile von oben an die Reihe. Die flachen Bauteile, Widerstände, Dioden und Kondensatoren zuerst, danach die höheren Bauteile wie Transistoren Relais und Drossel und zum Schluss die BNC Buchse für Leiterplatteneinbau. Beim J310 FET ist auf kurze Anschlussdrähte zu achten.

Handelsübliches HT PVC-Abflussrohr aus dem Baumarkt eignet sich gut als wetterfestes Gehäuse. Der Gewindeflansch der BNC Buchse dient als Befestigung der Antenne in einem 50mm HT-Muffenstopfen. Mit der Überwurfmutter kann die kleine Leiterplatte mit dem Muffenstopfen verschraubt und zum Wetterschutz in eine HT-Muffe gesteckt werden, die oben mit einem weiteren Muffenstopfen als Deckel abgedichtet wird. Die Leiterplatte ist dazu mit einer Feile oder einem Fräser auf Passform zu bringen.

5. Wirkungsweise - E-Feld Sonde als Antennenfläche

Man kann sich eine elektrisch stark verkürzte Monopol-Aktiv-Antenne ($l \ll \lambda$) als eine Kondensatorfläche vorstellen. Das elektrische Feld am Aufstellungsort verursacht daran eine Potentialdifferenz gegen Erdpotential/Gegengewicht die in der aktiven Elektronik verstärkt wird, um ein 50 Ω Koaxkabel zu treiben. Die Fläche der Antenne hat bestimmenden Einfluss auf den Spannungspegel, den die Antenne abgibt. Die Form der Antenne, ob Stab oder wie als Kupferfläche hat nur untergeordnete Bedeutung für die Funktion. Die Feldstärke des empfangenen Signals steigt auch proportional mit der Antennenhöhe, solange diese klein im Verhältnis zur Wellenlänge ist. Die Antennenfläche der E-Feldsonde wird bei der Mini-Whip durch die einseitige Kupferkaschierung der Leiterplattenfläche von ca 45 x 35 mm gebildet. Eine weitere Verlängerung der Antennenfläche erhöht die Empfangsspannung, birgt aber die Gefahr, dass sich im Verstärker Intermodulationsprodukte bilden oder dass der nachfolgende Empfänger überfahren wird. In der Praxis hat sich gezeigt, dass eine Vergrößerung der Antenne das Signal/Rauschverhältnis nicht mehr merklich verbessert, da das Außenrauschen dominiert. Das externe Rauschen (atmosphärisches Rauschen und man-made noise) liegt bei 100kHz 90dB über dem Eigenrauschen der Mini-Whip, und bei 30 MHz immer noch 20 dB über dem externen Rauschpegel. [4]. Um unerwünschte Mischprodukte zu vermeiden, ist es daher ratsam, die Feldsonde nur so klein wie nötig zu halten. Mehr zur grundsätzlichen Funktionsweise der elektrisch kurzen Monopol-Aktiv-Antenne im Abschnitt 10 dieses Dokuments und in [9].

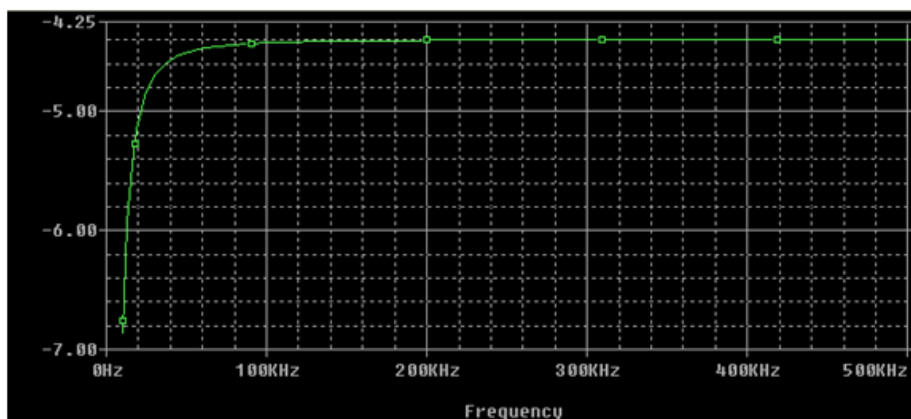


Bild 5a Frequenzgang der Mini-Whip. Oben VLF/LF.

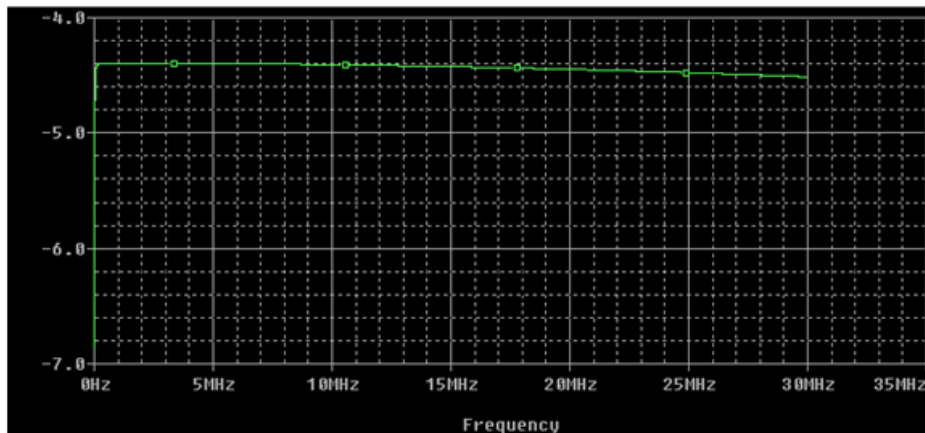


Bild 5b Frequenzgang der Mini-Whip. KW bis 30 MHz.

Die Aktivantenne weist eine Spannungs-Verstärkung von ca -4dB (Dämpfung) auf, hat aber eine hohe Leistungsverstärkung. Maßgeblich für eine gute Empfangsleistung ist nicht der absolute Ausgangspegel, sondern der Signal/Störabstand, den die Aktivantenne liefert. Wegen der Breitbandigkeit kann es zu Übersteuerung durch starke FM-Radiostationen kommen. Abhilfe schafft eine Kombination aus Widerstand und Induktivität in Serie zum Gate des FET, die mit den parasitären Kapazitäten einen bedämpften Tiefpass bilden. Die erforderlichen Bauteil-Werte des Tiefpasses sind am besten experimentell zu ermitteln.

6. Stromversorgung - Fernspeiseweiche (Bias-Tee)

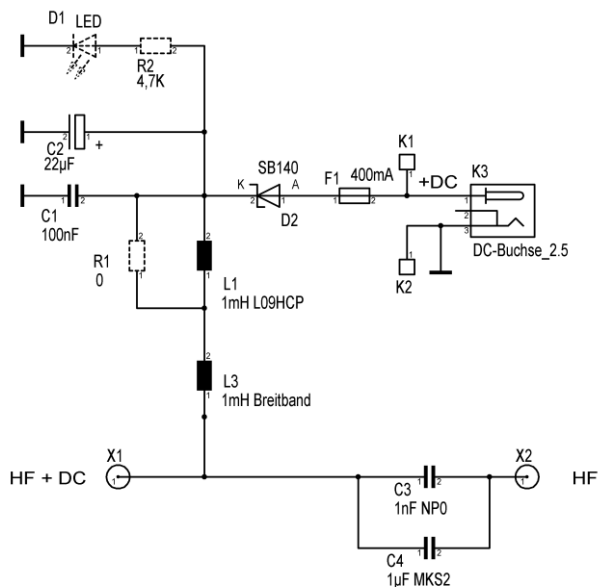


Bild 6 Schaltbild einer Fernspeiseweiche (Bias Tee)

Die Strom-Versorgung kann entweder direkt an der Antenne über K4 oder per Fernspeisung über das Koaxkabel erfolgen. Der Pluspol wird auf die Seele des Koaxkabels gelegt. Dazu ist eine Fernspeiseweiche wie in Bild 6 erforderlich. Zur Speisung wird ein Steckernetzteil mit einer stabilisierten Gleichspannung zwischen 12 und 13,8 Volt und mindestens 150 mA Strom benötigt. Damit die Weiche bis herunter auf 20 kHz verwendbar wird, soll die Drossel L1 etwa 1mH Induktivität haben, der Widerstand R1 ist optional und bedämpft ein evtl.

auf tretende Eigenresonanz der Drossel. Die Breitbanddrossel L3 verblockt die höheren Frequenzen. Es ist ratsam, hier eine kapazitätsarme Ferritkern Drossel ausreichender Größe zu wählen. Als Kondensatoren eignen sich NP0 und X7R Keramik Vielschicht Kondensatoren oder 1µF MKS Folienkondensatoren mit einem parallel geschalteten Keramik Kondensator. Die Schottky Diode D1 dient dem Schutz der Elektronik gegen versehentliche Verpolung, sie kann entfallen wenn eine Verpolung ausgeschlossen werden kann. Auf die Sicherung kann verzichtet werden, wenn die Stromquelle dauerkurzschlussfest ist.

7. Aufstellung

Wie bei allen Aktivantennen, die vorzugsweise die elektrische Feldkomponente auswerten, ist eine Anbringung in möglichst freiem Umfeld außerhalb des häuslichen Störnebels wichtig. Die empfindliche Feldsonde koppelt Nahfeldstörungen von Schaltnetzteilen, TV-Geräten, Energiesparlampen und Modems. Ein beträchtlicher Teil der Störungen wird leitungsgebunden über den Außenleiter des speisenden Koax-Kabels eingeschleppt, wirksame Mantelwellensperren können diesen unerwünschten Effekt reduzieren. Praktische Erfahrungen haben gezeigt, dass eine Anbringung auf einem Stab in einer Höhe von etwa 2 bis 5m über Grund und mindestens 15m vom Haus entfernt gute Empfangsleistungen bringen.

Bei einem leitfähigen oder geerdetem Montagemast muss darauf geachtet werden, dass die Antennenfläche der Whip über den Mast hinausragt und nicht daneben angebracht ist.

Der größte Nutzen einer derartigen Aktivantenne zeigt sich im Bereich bis 20 MHz. Das Augenmerk ist dabei auf den Signal/Rauschabstand zu richten und weniger auf den maximal Ausschlag des S-Meters.

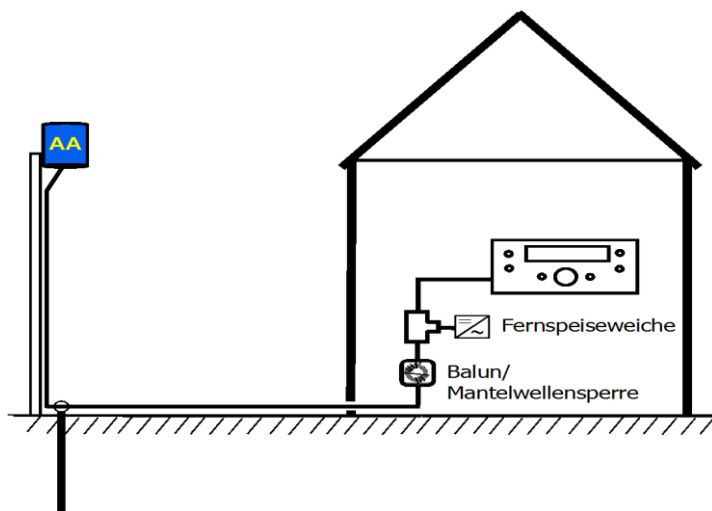


Bild 7 Aufstellung der Aktivantenne außerhalb des häuslichen Störnebels

Zur Ableitung bei im Falle von Gewittern induzierten Überspannungsimpulsen empfiehlt es sich bei einer dauerhaften Montage einer Aktivantenne den Masseanschluss des Verstärkers über eine kurze Leitung mit einem Erdungsstab zu verbinden. Eine Erdverbindung ausschließlich über die Fernspeiseweiche und den langen Weg über den Koax-Außenleiter bietet keinen ausreichenden Schutz.

8. Einfluss der Speiseleitung - Störimpfindlichkeit

Untersuchungen und Simulationen von Owen Duffy, VK1OD [5] und Pieter-Tjerk de Boer [9] zeigen, dass die isolierte Betrachtung der Mini-Whip als Kapazität, die ausschließlich in das elektrische Feld des Raumes koppelt, das Verhalten der Aktivantenne nicht ausreichend

abbildet. Sie zeigen, dass der Schirm der Koaxleitung bzw. ein metallischer Mast als Teil der Antenne wirken. Das Empfangssignal ist quasi die Potentialdifferenz der Antennenfläche und dem Koaxschirm bzw. einem leitenden Mast. Daher koppeln auch auf den Außenmantel induzierte Gleichtaktsignale, die am Außenleiteranschluss der Mini-Whip als Spannung gegen Erde anstehen, über die unvermeidlichen Streu-Kapazitäten auf die Antennenfläche und den hochohmigen Verstärkereingang und addieren sich als Störsignal zum Nutzsignal. Abhängig von der Länge der Leitung bis zur HF-Erde wirkt die Mini-Whip nicht nur mit ihrer Antennenfläche als E-Feld Sonde, sondern der Außenmantel der Leitung trägt ungewollt zum Empfang bei und beeinflusst auch den Antennenfaktor.

Die meisten Störungen erreichen die Mini-Whip leitungsgebunden über den Schirm des Koaxkabels. Dieser ist meist über den Empfänger mit dem PE der Hausverteilung verbunden. Die Störausbreitung erfolgt überwiegend über elektrische und magnetische quasistatische Nahfelder. Dies ist mit ein Grund, dass E-Feld Aktiv-Antennen wie die Mini-Whip, bei allen positiven Eigenschaften, meist schlechtere Störabstände liefern als vergleichbare passive Drahtantennen. Diese ungewollten Empfangswege und die Ausbreitung von Störströmen auf Mast und Kabel gilt es zu durch einen geeigneten Aufbauort und durch Verdrosselung der Zuleitung zu verhindern.

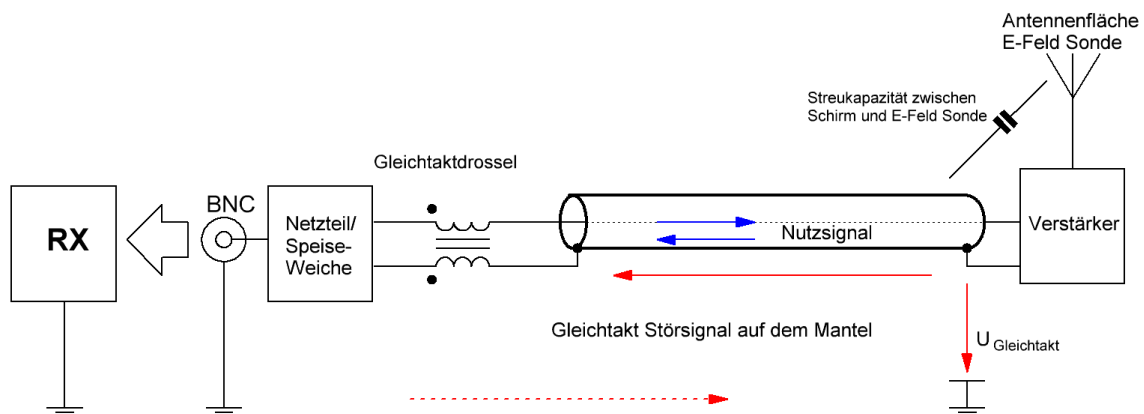


Bild 8 Unterdrückung von Leitungsgeführten Störungen mit einer Gleichtaktdrossel

9. Verhinderung von Mantelströmen durch eine Gleichtaktdrossel

Im Gegensatz zum Nutzsignal, das als Gegentaktsignal auf der Speiseleitung übertragen wird, treten leitungsgebundene Störströme als Gleichtaktströme auf dem Schirm eines Koaxkabel auf, man spricht man daher auch von Mantelwellen. Grundsätzlich können Gleichtaktstörungen gleichermaßen auch bei symmetrischen Leitung auftreten. Durch das Einfügen einer Gleichtaktdrossel (Common Mode Choke, Strombalun) in die Speiseleitung

10. Elektrische Grundlagen zur Funktion der Mini-Whip E-Feld-Aktivantenne

Pieter-Tjerk deBoer, PA3FWM beleuchtet in seiner Abhandlung „Fundamentals of the Mini-Whip Antenna“ [9] ausführlich die elektrischen Grundlagen zur Funktion einer E-Feld Aktiv-Antenne. Wie er aufzeigt, misst der hochohmige Verstärker die Potentialdifferenz zwischen dem Antennenelement und „Erde“ des Verstärkers. Als „Erde“ fungiert in der Regel das Potential des Koaxmantels bzw. bei einem leitfähigen Mast - das Potential des Mastes, worauf die Aktivantenne montiert ist.

Die Whip verhält sich wie eine Spannungsquelle in Serie mit einem kleinen Kondensator. Die Leerlaufspannung der Quelle ist proportional zur elektrischen Feldstärke. Der ohmsche Verlustwiderstand ist vernachlässigbar klein im Verhältnis zu dem in Reihe geschalteten kapazitiven Blindwiderstand und kann daher vernachlässigt werden. Der stark verkürzte Monopol kann im Ersatzschaltbild als Generator gesehen werden, der über einen kleinen Kondensator an den Verstärkereingang gekoppelt ist. Bild 9

In der Modellbetrachtung die eine elektrisch sehr stark verkürzte Antenne wie einen Kondensator betrachtet, der mit dem elektrischen Feld koppelt, ist die Form des Strahlers zweitrangig, maßgeblich ist seine Kapazität. Das dient als Erklärung, warum die kleine Leiterplattenfläche der MWhip ausreicht, um bis hinunter in den VLF Bereich zu empfangen.

Pieter-Tjerk de Boer, PA3FWM hat die Kapazität einer rechteckigen Fläche, wie sie die MWhip verwendet, berechnet [10]. Nach seinen Untersuchungen hängt die Kapazität der Fläche in den Raum von der Länge des Umfanges der Rechteck-Fläche ab, das Seitenverhältnis hat dabei einen geringfügigen Einfluss. In seinen Berechnungen hat er als Daumenregel eine Kapazität von ca 10pF pro Meter Umfang der Antennen-Fläche ermittelt.

Der Blindwiderstand X_c der Antennenkapazität, der bei niedrigen Frequenzen sehr hohe Werte annimmt, bildet mit dem Eingangswiderstand des FET und dem Blindwiderstand der Gate-Source Kapazität und den Schaltungskapazitäten einen kapazitiven Spannungsteiler, der die Eingangsspannung am Gate des FET vermindert. Um die Leerlaufspannung verlustarm einem kurzen Monopol entnehmen zu können, ist also ein hochohmiger Impedanzwandler mit geringer Eingangskapazität erforderlich. Die Eingangsimpedanz des FET-Impedanzwandlers wird im Wesentlichen durch die parasitären Kapazitäten des FET und des Schaltungsaufbaus bestimmt.

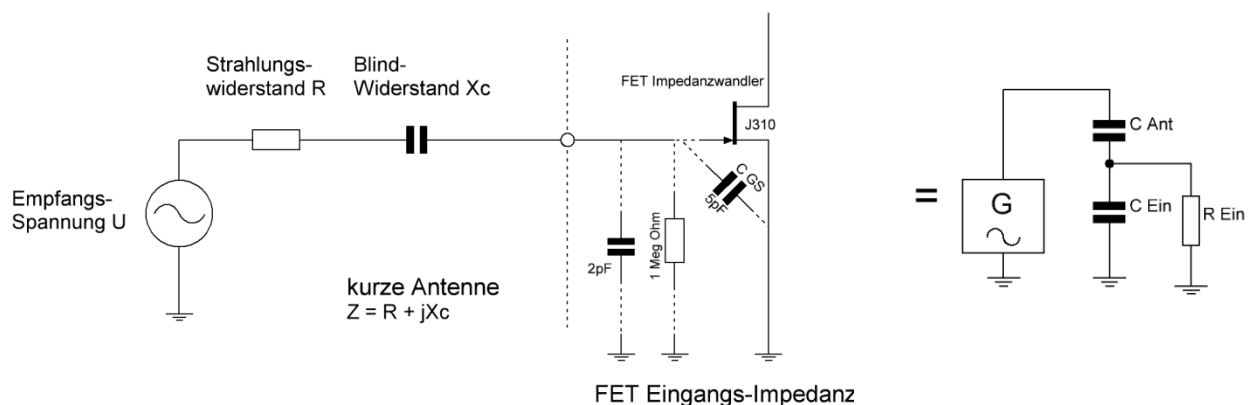


Bild 9 Elektrisches Ersatzschaltbild für einen kurzen Monopol mit FET Impedanzwandler

Die Ausgangsspannung eines elektrisch stark verkürzten Monopols nimmt proportional mit der Länge zu, denn damit nimmt gleichzeitig auch seine Kapazität zu. Längere Monopole ergeben eine höhere Ausgangsspannung, der Signal/Rauschabstand bleibt gleich, solange das Außenrauschen größer als das Rauschen der Elektronik ist. Die Feldstärke des empfangenen Signals steigt auch proportional mit der Antennenhöhe, solange diese klein im Verhältnis zur empfangenen Wellenlänge ist.

11. Richtfaktor und Strahlungswiderstand einer elektrisch kurzen Antenne

Die Mini-Whip ist eine „elektrisch kurze Antenne“. Ein Dipol oder ein Monopol wird als "kurz" bezeichnet, wenn die tatsächliche geometrische Antennenlänge l des Monopols wesentlich kürzer als ein Viertel der Betriebswellenlänge ist.

Die Leistung, die eine Antenne dem elektromagnetischen Feld entnehmen kann, wird durch ihre Wirkfläche A beschrieben[2][3].

$$A = \frac{\lambda^2}{4\pi} D$$

D ist dabei der Richtfaktor, der für den Halbwellendipol 1,64, und für den elektrisch kurzen Dipol 1,5 beträgt. Analog gelten für den kurzen Monopol ein D von 3,28 bzw 3. Ein Monopol, der klein gegenüber der Wellenlänge λ ist führt also zu einer Empfangsleistung, die nur etwa 10% geringer ist als beim resonanten $\lambda/4$ Monopol! Wenn es so ist, dass eine elektrisch stark verkürzte Antenne gegenüber einer resonanten Antenne nur geringfügig weniger Gewinn oder Wirkfläche hat, warum plagen wir uns dann mit Viertel- oder Halbwellenantennen ab? [6]Ein Blick auf die Anpassungsverhältnisse macht schnell klar, warum.

Bei stark verkürzten Antennen besteht der Fußpunktwidestand aus der Reihenschaltung des Strahlungswiderstandes und des Verlustwiderstandes sowie einer kleinen Kapazität. Der Strahlungswiderstand R_S eines kurzen Monopols der Länge l errechnet sich nach der Beziehung

$$R_S = 395 \times \left(l/\lambda \right)^2$$

Bei Antennenlängen wie bei der Mini-Whip liegt der Strahlungswiderstand bei tiefen Frequenzen im Milliohm Bereich. Dazu in Serie liegt die Antennen-Kapazität wenigen Picofarad.

12. Kurz Zusammengefasst

- Der hochohmige Verstärker der Mini-Whip misst die Potentialdifferenz zwischen dem Antennenelement und "Erde" des Verstärkers.
- Eine aktive Monopol E-Feld-Antenne wie die Mini-Whip empfängt vertikal polarisierte Signale, unabhängig davon, ob das Antennenelement vertikal oder horizontal ausgerichtet ist. Das gilt, so lange Mast und Aktivantenne kurz sind im Vergleich zur Wellenlänge. [9]
- Die Form des eigentlichen Antennenelementes, Stab oder Fläche, ist von untergeordneter Bedeutung. [9]
- Die Größe des Antennenelementes bestimmt seine Kapazität, diese bildet einen Spannungsteiler mit der Eingangsimpedanz des Verstärkereingangs. Zur Ermittlung der Kapazität einer Fläche siehe in [10]
- Eine Erdung oder ein ausreichendes metallisches Gegengewicht an Masse der Aktivantenne ist wichtig. Erfolgt die Erdung nur über den Schirm des Koaxkabels und über die Erdverbindung im Shack besteht die Gefahr, dass durch eine derartige „schmutzige Erde“ Störungen auf die Antenne übertragen und verstärkt werden.

13. Referenzen

- [1] Roelof Bakker, PA0RDT – Mini-Whip"
- [2] Rothammel/Krischke, „Rothammels Antennenbuch“, Kap.4, DARC Verlag
- [3] Best, Siegfried „Aktive Antennen für DX Empfang“, ISBN 3-7723-1821-5
- [4]ITU Recommendation ITU-R P.372-10 (2011) „Radio Noise“
- [5] Duffy, Owen, VK1OD, "How does the PA0RDT Mini-Whip work"
- [6] Guenter Fred Mandel, DL4ZAO, "[Die MidiWhip Aktivantenne](#)", www.dl4zao.de
- [7] Guenter Fred Mandel, DL4ZAO, "[Die M-Whip Aktivantenne](#)", www.dl4zao.de
- [8] Chavdar Levkov, LZ1AQ "Reducing the Noise in Dipole Mode with Common Mode Filter"
- [9] Pieter-Tjerk de Boer, PA3FWM, "[Fundamentals of the Mini-Whip Antenna](#)"
- [10] Pieter-Tjerk de Boer, PA3FWM, "[Capacitance of Antenna Elements](#)"
- [11] Guenter Fred Mandel, DL4ZAO, "[Whip und Loop – Aktivantennen für den Empfang](#)"

Stückliste

Pos	Anzahl	Name	Wert	Gehäuse	Hersteller / Bezugsquelle
1	4	C1,C2,C3,C5	100nF Keramik	2,54X5,08_RM5,08	Reichelt
2	1	C4	22µF, Elko	D6R2,54_ELKO	Reichelt
3	1	C6	1nF Keramik	3X5R2,54	Reichelt
4	1	C7	1µF MKS-02 Folienkondensator	6X6R2,54	Reichelt
5	1	D1	1N4148	DO35	Reichelt
6	1	K1	PSS254/2G	PSS254/2G	Reichelt
7	1	K2	BNC-BUCHSE_ABGEWINKELT	BNC-BUCHSE_ABGEWINKELT	Reichelt
8	1	L1	BN73-0202 Doppellochkern	Doppellochkern 7,5x13mm (202)	Amidon/Reichelt
9	3	R1,R2,R3	1M	0207	Reichelt
10	1	R4	560	0207	Reichelt
11	1	R5	2,2K	0207	Reichelt
12	1	R6	10K	0207	Reichelt
13	1	R7	47	0207	Reichelt
14	1	R8	220	0207	Reichelt
15	1	R9	22	0207	Reichelt
16	1	T1	J310	TO92(1)	Mouser
17	1	T2	BFG591	SOT223	Conrad
18	1	X2	G5V-1-12VDC	G5V SERIES, OMRON	Reichelt

Stückliste