
Hochfrequenz-Messtechnik

-symmetrischer Antennenkoppler-

Prüfung von HF-Eigenschaften an symmetrischen Anpassgeräten

Inhalt

1	Einleitung	2
1.1	Zweck des Dokuments	2
1.2	Ziel des Dokuments	2
1.3	Sicherheitshinweise	2
2	HF-Messungen mit einfachen Messgeräten an symmetrischen Antennensystemen	2
2.	Art und Typ der verwendeten Messgeräte	
3.	Beschreibung der Gesamtschaltungen	
4.	Darstellung und Erklärung von Diagrammen	
5.	Messung der Eingangs- und Ausgangsimpedanz	
6.	Messungen des Eingangs SWR	
7.	Messung von HF-Strömen	
8.	Messung von HF-Spannungen	
9.	Messungen von Unsymmetrien	
10.	Messung von hochohmigen Impedanzen	

1.1 Zweck des Dokuments

Zweck des Dokuments ist es eine einfache Messbeschreibung aufzuzeigen, um mit amateurmäßigen Messgeräten an Aufbauten zur Anpassung von symmetrischen Antennen und den dazugehörigen Prüfeinrichtungen hochfrequenztechnische Untersuchungen durchführen zu können.

1.2 Ziel des Dokuments

Ziel ist es, einfache Messungen mit entsprechenden Messgeräten an symmetrischen Antennenkopplern und den dazugehörigen Anzeigegeräten ausführen zu können. Des Weiteren sollen durch diese Einstell- und Prüfanweisung Fehlmessungen sowie fehlerhafte Einstellungen vermieden werden. Die Dokumentation soll dazu dienen, dass durch den Betreiber Messungen nach dieser Vorlage durchführbar sind. Weiterhin soll eine Reproduzier- und Vergleichbarkeit mit den Messungen und deren Ergebnisse möglich sein.

Der hier beschriebene Messaufbau mit den dazu erforderlichen Messgeräten kann nicht die Absolutmessung der tatsächlichen S-Parameter wiedergeben. Um derartige Messungen durchführen zu können, sind Vector-Netzwerk-Analysatoren von R&S oder Agilent (früher HP) erforderlich – Darstellung von Smith Charts.

Es soll vielmehr dem Betreiber das Verständnis über Ein- und Ausgangsparameter Messungen mit einfachen Messmitteln vermitteln.

Die Messungen werden daher derart durchgeführt, dass man mit Messgeräten die im gut sortierten Amateurfunkhandel zu beziehen sind, eine ausreichende Genauigkeit erzielt.

1.3 Sicherheitshinweise

Hinweis zum Umgang mit hoher Senderleistung:

Bei allen Messungen die ein Eingreifen in die Schaltung erfordern, wenn z.B. irgendwelche Modifikationen während des Betriebes durchgeführt werden müssen, ist es unumgänglich die Senderleistung auf $< 10\text{W}$ zu reduzieren. Sicherheitshalber sollte immer eine komplette Abschaltung vorgenommen werden. Abstimmversuche und Einstellungen grundsätzlich mit reduzierter Leistung ausführen – Vermeidung von Überschlägen und Leistungsspitzen.

Erst nach ausreichender Optimierung der Tunereinstellung mit kleiner Leistung kann dann mit der maximalen Senderleistung eine Endabstimmung durchgeführt werden.

2. Typ und Art der verwendeten Standard Messgeräte

1. MFJ - 259B Antennen-Analyzer von 1,8 bis 170 MHz
2. MFJ - 822 Kreuzzeiger SWR und Wattmeter 30/300Watt
3. MFJ - 835 RF-Ammeter for Balanced Lines 1,8 bis 30MHz
4. Leader LIM 870 Antennen-Impedanz-Meter
5. MFJ - 854 RF- Current Meter 1 MHz to 30 MHz 1 mA to 3 Amps
6. Annecke Kurzwellen Antennen-Koppler
7. L/C Meter IIB von AADE
8. Selbstbau Rel. „HF Spannungsschnüffler“
9. Selbstbau 500Ω Last Widerstand min. 20W (symmetrisch)
10. Selbstbau 400Ω Last Widerstand min. 100W (symmetrisch)



Prüf- und Messgeräte Einsatz

Bei Verwendung der folgenden Messgeräte muss eine Netzunabhängigkeit und sonstige externe kabelgebundene Stromversorgungen ausgeschlossen werden:

MFJ – 259B Antennen-Analyzer von 1,8 bis 170 MHz

Leader LIM 870 Antennen-Impedanz-Meter

MFJ - 854 RF- Current Meter 1 MHz to 30 MHz 1 mA to 3 Amps

Selbstbau Rel. „HF Spannungsschnüffler“

Der Grund dafür ist, dass über irgendwelche Kabel die nicht unmittelbar in einer Messnotwendigkeit stehen, eine Messverfälschung durch ungünstige Verkabelungen entstehen kann. undefinierte Gegengewichte, Erzeugung von Unsymmetrien sind dadurch nicht vermeidbar und gehen daher in die Messungen ein.

Darum die Messkabel so kurz als möglich an das zu prüfende DUT anschließen.

Steckverbindungen sollten den Hochfrequenz- technischen Standart entsprechen.

Anmerkung zur Stromversorgung:

All die aufgeführten Messgeräte verfügen übrigens über eine interne 9 bzw.12 Volt Stromversorgung.

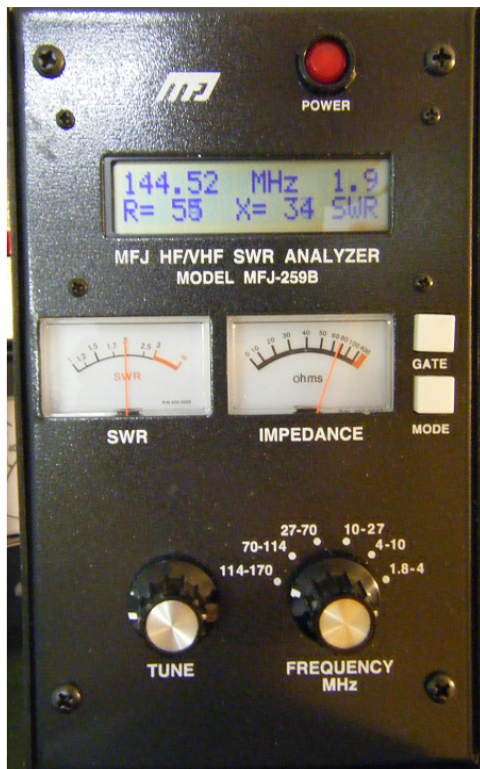
Es muss sichergestellt sein, dass die verwendeten Batterien in den Geräten noch eine ausreichende Kapazität haben, um die Messungen mit einer möglichst hohen Genauigkeit durchführen zu können. Insbesondere der MFJ - 259B Antennen-Analyzer ist bei Unterspannungen unstabil, die dann unweigerlich zu Fehlmessungen führen (dazu bitte auch die Bedienungsanleitung lesen).

Zusatzinformation zum Einsatz des MFJ - 259B Antennenanalysator

Messungen an Antennen mit dem MFJ - 259B Antennenanalysator im Feld an den Antennen bereiten noch zusätzlich Probleme, wenn diese in der Nähe von Rundfunksendern betrieben werden. Aber auch durch angehobene Ausbreitungsbedingungen auf Kurzwelle sind Beeinträchtigungen auf das Messergebnis nicht auszuschließen.

Darum sollten die Messungen an den Antennen in einer Zeit durchgeführt werden, in denen keine übermäßigen Signalstärken zu erwarten sind, z.B. tagsüber auf 160 oder 80 Meter. Oder aber es sind geeignete abstimmbare Eingangfilter vor dem Analyzer eingefügt.

2.1 MFJ – 259B Antennen- Analyzer von 1,8 bis 170 MHz



Beschreibung MFJ – 259B

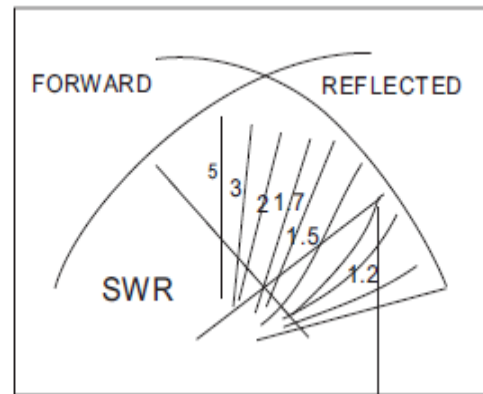
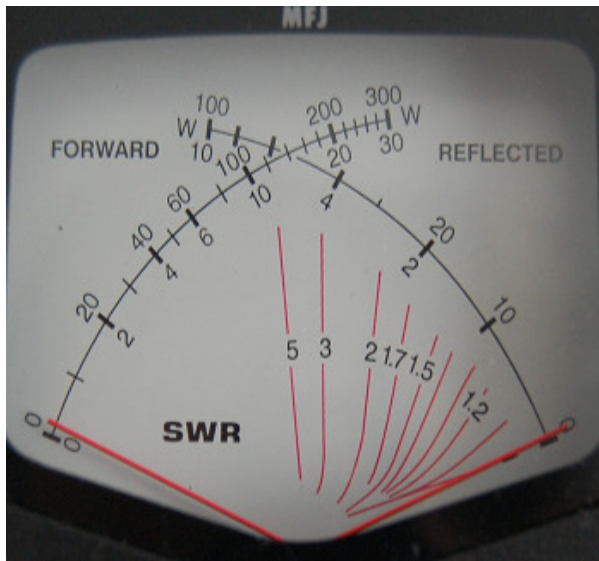
Der MFJ-259B und der Vectronics SWR-584B sind baugleich bis auf folgenden Unterschied: Der Mikroprozessor ist beim MFJ-259B im SMD-Gehäuse und beim SWR-584B im gesockelten DIL-Gehäuse und beim SWR-584B ist die Platine lackiert. Der HF-Analysator MFJ-259B ist ein kompakter, batteriebetriebener HF-Impedanz-Analysator. Dieses Gerät kombiniert fünf Basismodule:

1. Einen variablen Oszillator (mit Amplituden-Regelung)
2. einen Frequenzzähler (über Frequenzteiler und Mikroprozessor)
3. eine 50Ω HF-Brücke
4. einen 8 Bit A/D-Wandler (im Mikroprozessor)
5. einen Mikroprozessor

Mit diesem Gerät kann man eine große Anzahl von nützlichen Antennen- und HF-Impedanzmessungen durchführen, einschließlich der Messung von Kabelverlusten und dem elektrischen Abstand zu einer offenen oder kurzgeschlossenen Stelle eines Koaxkabels.

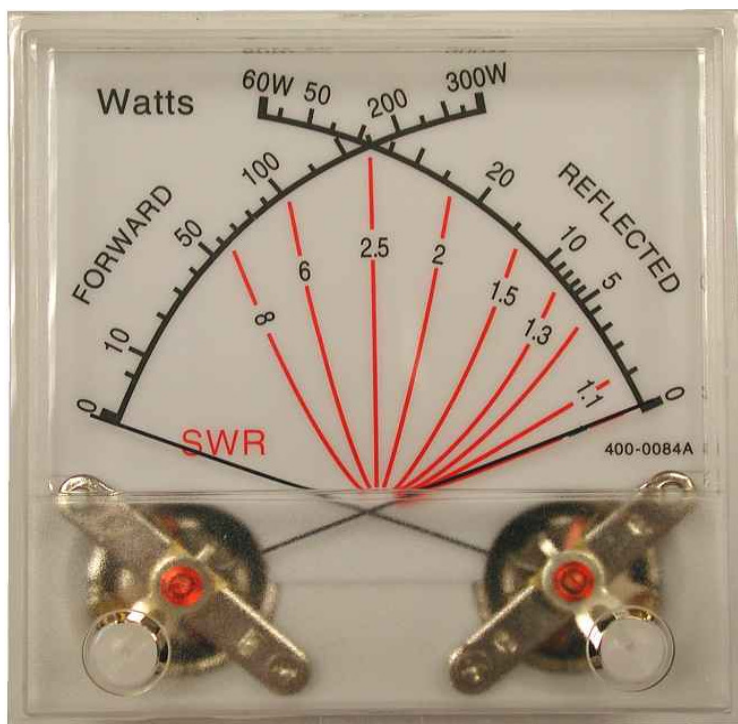
In erster Linie ist der MFJ-259B zum Analysieren von 50Ω-Antennen- und Speiseleitungssystemen entwickelt worden, er misst aber auch HF-Impedanzen zwischen einigen wenigen Ohm und mehreren hundert Ohm. Er fungiert auch als eine Nichtpräzisions-Signalquelle (Messsender) und Frequenzzähler. Dabei unbedingt auf eine ausreichende Versorgungsspannung achten. Der Arbeitsbereich dieses Gerätes erstreckt sich von 1,8 bis 170 MHz in 6 überlappenden Bereichen.

2.2 MFJ - 822 Kreuzzeiger SWR und Powermeter 30/300Watt



Beispiel SWR = 1,7

Ist wohl bekannt und gehört zur Standardausrüstung.



Bei der Auswahl der SWR-Powermeter-Geräte sollte man auch genau auf die Skalierungen achten. Diese Instrumentenskala hat als Besonderheit einen weit gedehnten Skalengang für die SWR Anzeige, dadurch gute Ablesbarkeit, sie sind für die üblichen Transceiver Leistungen von 100 – 200W ideal.

2.3 MFJ-835, HF Ampèremeter, Paralleldrahtleitung, max. 3A



Meter	Range		
	300 mA	1 A	3 A
10	30	0.1	0.3
20	60	0.2	0.6
30	90	0.3	0.9
40	120	0.4	1.2
50	150	0.5	1.5
60	180	0.6	1.8
70	210	0.7	2.1
80	240	0.8	2.4
90	270	0.9	2.7
100	300	1.0	3.0

Beschreibung MFJ-835

Direkt zum Einfügen in die Paralleldraht-Speiseleitung hinter dem Tuner zur Antenne, misst es den Antennenstrom in drei kalibrierten Bereichen.

Man verwendet HF Ampèremeter für genaue Messungen des Antennenstromes, zum Abstimmen der PA oder des Tuners und zur Impedanz Berechnung. Es eignet sich gut für Experimente mit Paralleldraht gespeisten Antennen oder um Veränderungen an den Antennen zu beobachten.

Die Abstimmung auf maximalen Antennenstrom ergibt auch immer die höchste Abstrahlbare Leistung. Die Leistung steigt sehr schnell (nämlich mit zum Quadrat des Antennenstromes). Das minimale SWR einer Antenne bedeutet nicht unbedingt die beste Abstrahlung, mit dem HF Ampèremeter kann man die beste Abstimmung für maximal Abstrahlbare Leistung besser bestimmen. Auch Vergleiche zur Effizienz von Tunern lassen sich mit dem HF-Ampèremeter prima durchführen, entstehende Verluste werden schnell erkannt.

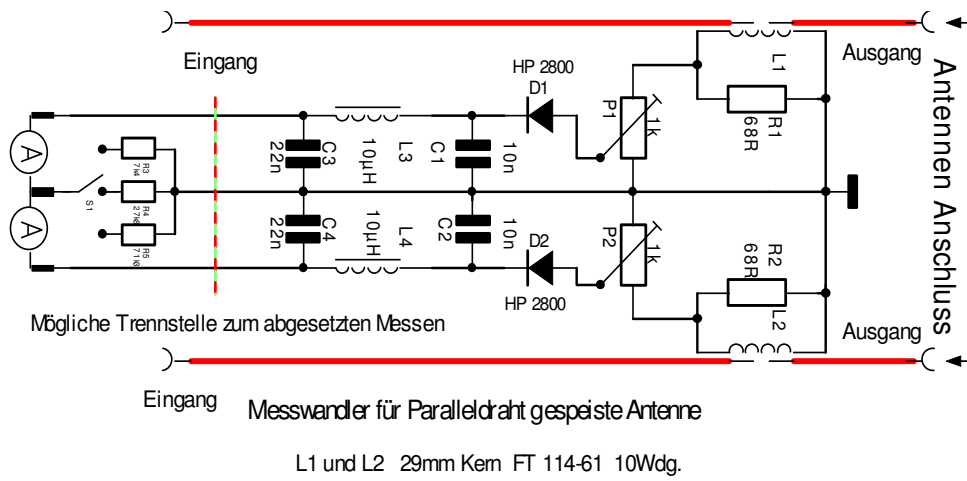
Die MFJ HF Ampèremeter sind robuste Strommessgeräte für HF. Frequenzbereich 1 bis 30 MHz, kalibrierte Messbereiche für max. 0,3, 1 und 3 Ampère. 3A entsprechen etwa 450Watt an 50Ω.

*Beispiel: Formel hierzu $P = I^2 * R$ ($3*3= 9*50= \underline{450W@50\Omega}$)*

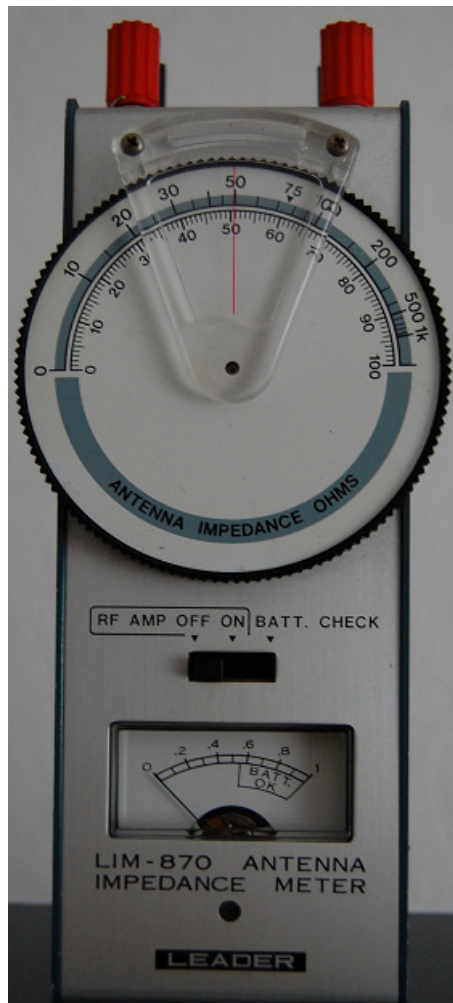
Ideal zum Ausmessen der Strombalance bei Paralleldrahtgespeisten Dipolen. Der Balken in der Mitte der Anzeige markiert den Bereich ausgeglichener Ströme auf beiden Leitungen. Bei gleichgroßen Strömen in beiden Drähten wird die Abstrahlung der Speiseleitung reduziert, das Abstrahldiagramm wird nicht verzerrt, die Gefahr von BCI/TVI reduziert. Eine Abweichung darf im ungünstigsten Fall < 10% betragen.

Mit dem MFJ-835 kann man diesen Problemen exakt auf den Grund gehen.

Schaltung mit der Möglichkeit der abgesetzten Messung - Eigenentwicklung DK8AR



2.4 Impedance Messer LIM 870 von Leader



Beschreibung LIM-870

Dieses Gerät eignet sich zur Bestimmung der Impedanz von Antennenleitungen im Bereich von/bis 0 -1000 Ohm. Der Frequenzbereich ist angegeben von 1,8 MHz bis 150 MHz. In einer HF-Brückenschaltung befindet sich ein kalibrierter Differentialkondensator. Bei Brüchen >Null< siehe Anzeigeinstrument kann dann der ermittelte Widerstand an der Drehscheibe abgelesen werden. Die Empfindlichkeitsverstärkung erfolgt durch einen HF Verstärker und wird auf dem Abgleichindikator angezeigt. Die HF-Messspannung selbst kann von einem Generator z.B. MFJ-259B entnommen werden. Sollte der Generatorpegel zu gering sein, kann durch den eingebauten Verstärker das Signal auf die nötige Stärke gebracht werden (ich hoffe, den LIM-870 gibt es noch auf dem einen oder anderen Flohmarkt).

Kurze einfache Erklärung zur Impedanz:

Unter Impedanz einer Antenne versteht man allgemein den komplexen Eingangswiderstand bei Betrachtung einer Sendeantenne.

Eine Antenne ist ein resonanzfähiges Gebilde, demzufolge kann die Impedanz, ähnlich wie bei Schwingkreisen und anderen Reaktanznetzwerken, durch eine Reihen- oder Parallelersatzschaltung von Blind- und Wirkwiderstand gesehen werden (komplexer Widerstand). Im Resonanzfall ist nur ein reiner Wirkwiderstand vorhanden.

2.5 MFJ 854 RF- Current Meter 1 MHz to 30 MHz 1 mA to 3 Amps



Meter	Range				
	30 mA	100 mA	300 mA	1 A	3 A
10	3	10	30	0.1	0.3
20	6	20	60	0.2	0.6
30	9	30	90	0.3	0.9
40	12	40	120	0.4	1.2
50	15	50	150	0.5	1.5
60	18	60	180	0.6	1.8
70	21	70	210	0.7	2.1
80	24	80	240	0.8	2.4
90	27	90	270	0.9	2.7
100	30	100	300	1.0	3.0

The <30 mA range is uncalibrated and meter readings represent a relative indication only. It is normal, at high sensitivity, to see some residual meter reading (up to 15%).

Beschreibung MFJ-854

Das MFJ-854 ist ein sehr empfindliches HF-Ampèremeter, im Prinzip eine Strommesszange. Die Messspule wird um den Leiter gelegt und misst so den tatsächlichen Stromfluss. Dadurch lassen sich Ströme in Antennenleitern, Radial- und Erdnetzen und auf Koaxkabel (Außenleiter) präzise messen und die Antenne optimieren.

Induzierte HF-Ströme auf Anschlussleitungen anderer Geräte lassen sich ebenfalls leicht untersuchen, zum Beispiel um Störungen (TVI, BCI) aufzuspüren. Fünf feste Messbereiche von 30 mA bis 3A sind umschaltbar, zusätzlich gibt es einen sehr empfindlichen, variablen Messbereich. In diesem Bereich können Ströme ab 1mA gemessen werden. Hier reicht also ein einfacher Messsender wie das MFJ – 259B Antennen-Analyzer-Messgerät zur Ansteuerung aus.

Hohe Genauigkeit auch bei kleinen Strömen durch entsprechende Kompensation der Schaltung. Weiter Messbereich von 1mA bis 3A in sechs Bereichen, volle Abdeckung der Kurzwellenbereiches von 1.8 bis 30MHz, geringe Beeinflussung des Messobjektes durch die Spule
Messspule umfasst Leiter bis ca. 13mm Dicke.

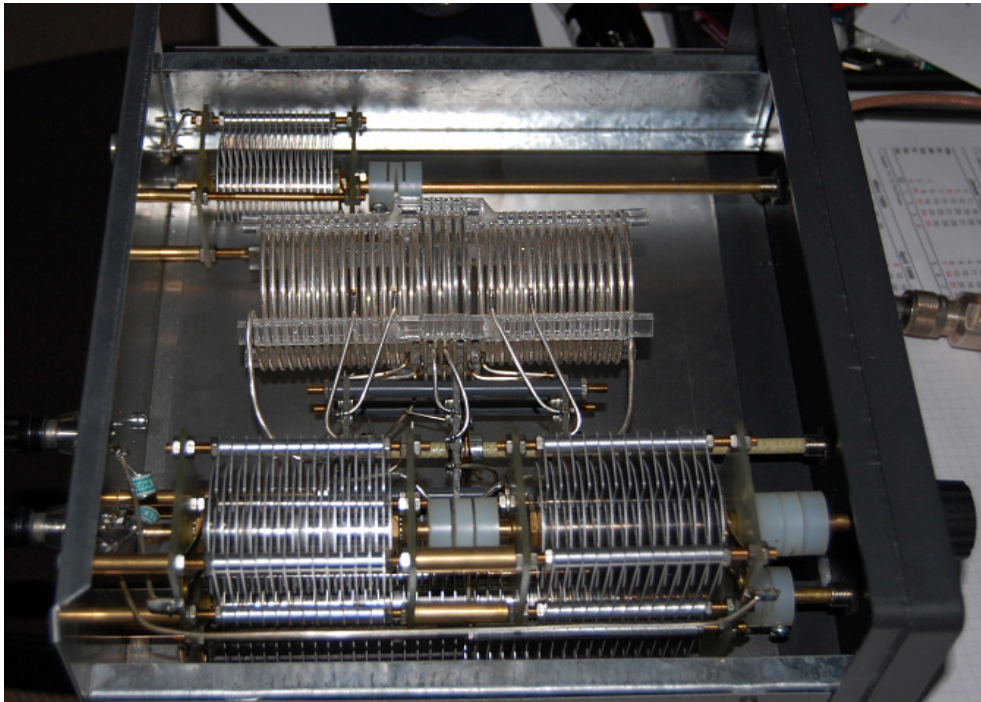
Niedriger Stromverbrauch und Stromsparmmodus erlauben sehr lange Batterielebensdauer

2.6 Symmetrischer – Kurzwellen – Antennen - Koppler



Hier sind die Bedienelemente des Anneck- Antennen-Koppler zu sehen.

Hier sind die durch die Bedienelemente abzustimmenden Kreise von dem Annecke-Antennen-Koppler zu sehen.



max. 200 Watt PEP Durchgangsleistung

Beschreibung von symmetrischen Antennenanpassgeräten

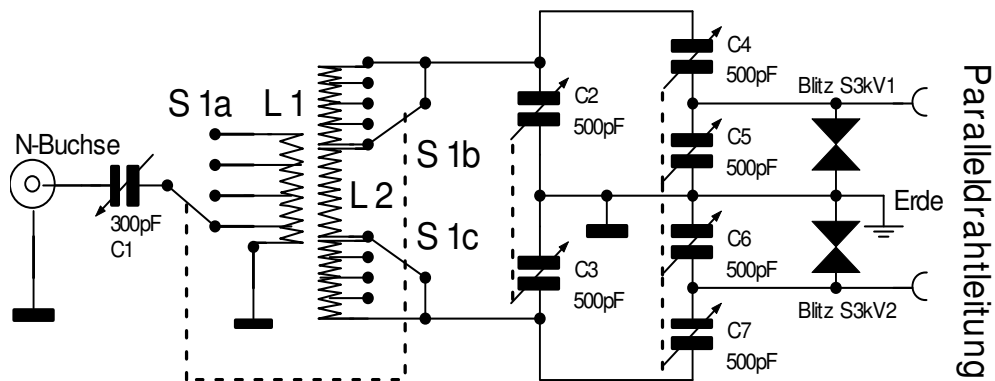
Annecke Koppler

Der symmetrische Resonanz-Tuner, hierbei handelt es sich um einen symmetrisch aufgebauten Antennentuner mit Anpassung und Abstimmung bei gleichzeitiger Symmetrisierung.

Ein Serienresonanzkreis dient als Eingangsschaltung, der induktiv über eine Link-Kopplung in einen doppelten Parallelresonanzkreis gekoppelt wird. Der Vorteil ist, dass die folgenden Abstimmelemente nicht miteinander galvanisch verbunden sind. Von der Link-Kopplung geht es auf einen parallelen Spannungskreis, der dann auf einen Stromkopplungskreis übergeht, an der dann eine Paralleldrahtleitung beliebiger Länge angeschlossen werden kann. Eine derartige Schaltung wird auch als Universalkopplung (Strom-/Spannungskopplung) bezeichnet.

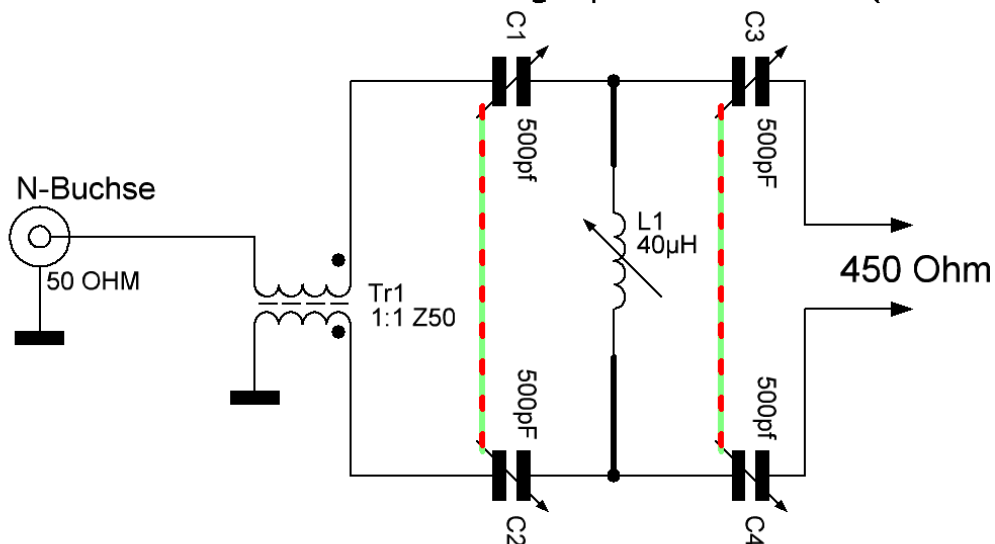
Vorstellung verschiedener Antennen Koppler Schaltungen zur Anpassung von symmetrisch Paralleldraht gespeisten Antennen an unsymmetrische Transceiver-Systeme (Koaxial Buchse).

Anneck Antennen Koppler für Paralleldrahtleitung



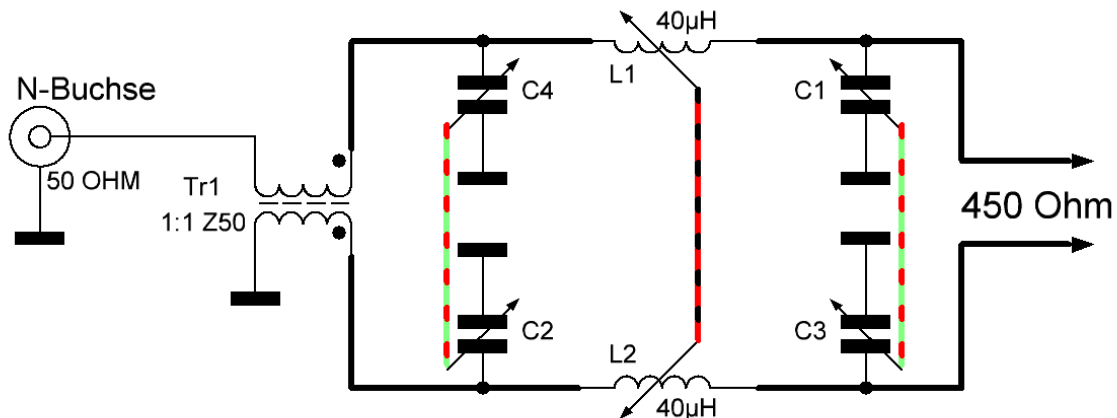
Das hier gezeigte Schaltbild zeigt den Anneck-Tuner-Stromlaufplan. Der Blitzschutz ist nicht Serie, sondern ist von mir nachgerüstet worden. Die komplette Funktion des Tuners ist im oberen Kapitel beschrieben.

Antennentuner für Paralleldraht gespeiste Antennen (HP Schaltung)



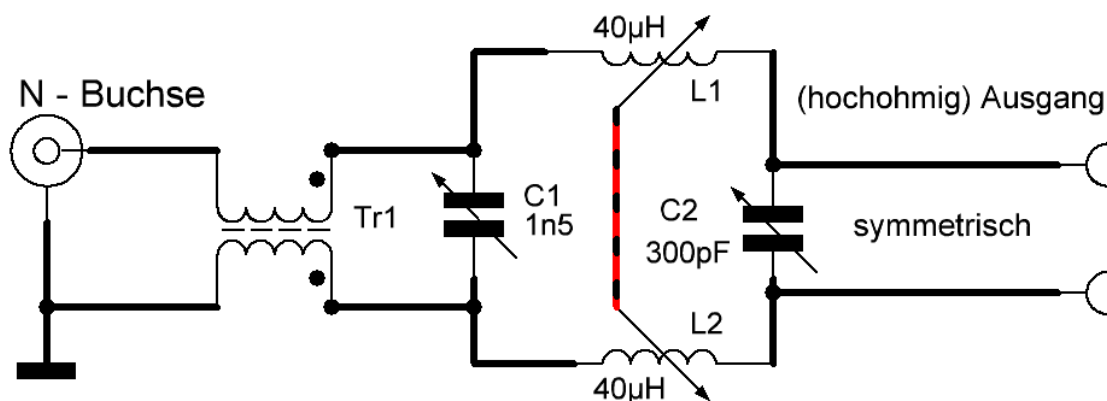
Diese Schaltung eignet sich sehr gut zum ferngesteuerten Selbstbautuner. Der Eingang wird durch den Trafo Tr1 von seinem unsymmetrischen Eingang auf die symmetrische LC Schaltung die hier in Hochpassschaltung arbeitet geleitet. Derartige Schaltungen haben einen großen Variationsbereich und sind relativ unkritisch. Motorsteuerung ist sehr gut möglich wenn dann auch die Spule als Rollspule ausgelegt wird. C1 und C2 sowie C3 und C4 sind doppeldifferenzial Drehkondensatoren. Alternativ können auch Einzel-Drehkondensatoren, verbunden je mit entsprechend gekoppelter Antriebs Mechanik, eingesetzt werden.

Antennentuner für Paralleldraht gespeiste Antennen (TP Schaltung)



Diese Schaltung ist die typische PI Ausführung mit dem Vorteil nicht nur der Impedanztransformation sondern unterdrückt gleichzeitig auch Oberwellen. Der Eingang wird auch hier durch den Trafo Tr1 von seinem unsymmetrischen Eingang auf die symmetrische LC Schaltung die hier in Tiefpassschaltung arbeitet geleitet.

Tuner 50R unsymmetrisch auf symmetrisch (hochohmig)



Balun 1:1 50R unsymmetrisch auf symmetrisch

Dieser Tuner ist mit geringem Aufwand nachzubauen. Der Vorteil ist, dass der eingangsseitige Kondensator hier die 50Ω Seite kein Hochspannungstyp sein muss. Lediglich der ausgangsseitige, muss ein solcher sein und ist daher abhängig von:

Senderleistung, Antennenlänge bezogen auf die Nutzfrequenz.

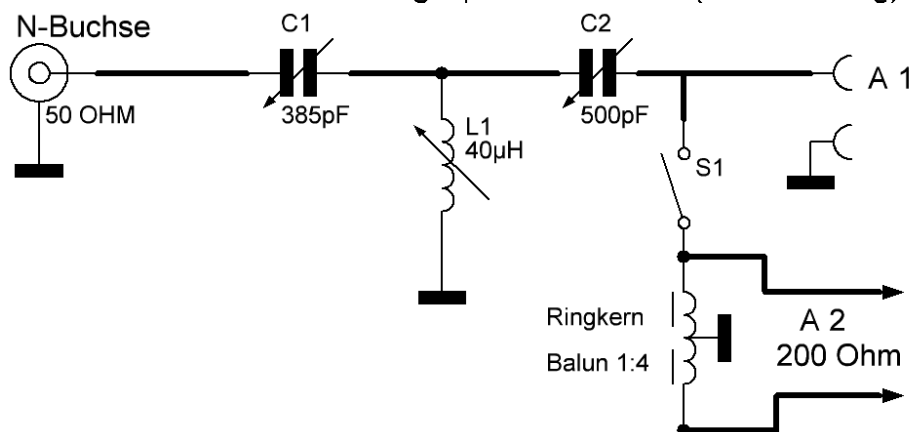
Wie bei allen Drehkondensatoren mit „Schleifer Masseabgriff“ muss hier ein besonders Augenmerk auf eine gute und sichere Kontaktgabe des Rotors geachtet und sichergestellt werden.

Diese gesamte Schaltung sollte möglichst in einem Kunststoffgehäuse untergebracht werden, um die symmetrischen Eigenschaften nicht zu beeinträchtigen, wie es durch ein Metallgehäuse entstehen könnte z.B. durch Umgebungseinflüsse bei dieser Art der Schaltungsauslegung. Die Bedienachsen für die Spulen und Drehkondensatoren müssen isoliert herausgeführt werden. Die Induktivitäten können einzeln oder in mechanisch gekoppelter Ausführung eingestellt werden.

Bei Verwendung von Rollspulen sollte grundsätzlich nicht auf ein Zählwerk verzichtet werden, um die Einstellungen bei getrennter mechanischer Kopplung reproduzierbar zu halten.

Hier die typische einfache Hochpass-Schaltung eines unsymmetrischen Tuners der durch einen Trafo A2 eine geringe Variation einer „symmetrischen“ Einstellung zulässt.

Antennentuner für Paralleldraht gespeiste Antennen (HP Schaltung) mit Balun 1:4



Anpassungsschaltung für symmetrische Speiseleitungen durch einen Balun 1:4 (50/200Ω). Diese Schaltung findet man in den meisten unsymmetrischen Tuner – funktioniert auch, jedoch ist der Impedanzbereich stark eingeschränkt. Deshalb können nur Speiseleitungen mit bestimmten Längen angepasst werden. Diese Tuner gehören schaltungsbedingt nicht zur Kategorie der reinen Balance Tuner.

Dazu noch eine Anmerkung zum „Koaxialkabeltuner“

Man kann kein Koaxialkabel zwischen Tuner und Antenne dessen Z weitab von 50Ω liegt anpassen. Ein Koaxialkabel hat in der Sendertechnik etwa 50 Ohm mit einer Toleranz von etwa ± 2 Ohm.

Durch eine erzwungene Anpassung werden unweigerlich Mantelwellen entstehen mit einhergehenden Strahlungen auf dem Speisekabel (vagabundierende Hoch-

frequenz). Durch diesen Effekt sind HF-Störungen nicht auszuschließen, es drohen Beeinträchtigungen anderer elektronischer Geräte.

Allgemeiner Hinweis zu Hochpassschaltungen:

Bei allen hochpassähnlichen Schaltungen werden die Oberwellen aus dem Sender, soweit sie nicht durch dessen Tiefpassfilter gedämpft werden, je nach Band zum Teil abgestrahlt. Jedoch auch hier gibt es Vorteile, nämlich dass auch Außerband-Signale unterhalb der eigentlichen Betriebsfrequenz je nach Güte der Schaltung gedämpft werden.

2.7 L/C Meter II mit PIC von AADE zum Messen von Kondensatoren und Induktivitäten



**Dieser Bausatz ist erhältlich beim Funkamateurlerserservice
Quelle der Spezifikationen aus der Zeitschrift: *Funkamateurl***

Almost All Digital Electronics L/C Meter IIB Neil Heckt

_ Spezifikation

Bereich

0,001 H (1nH) bis 100 mH (meist bis 150 mH)
0,010 pF bis 1 F (meist auch bis 150 F)
(Kondensatoren müssen unpolarisierte Typen sein)
AUTOMATISCHE BEREICHSWAHL

Genauigkeit

1% der Anzeige typisch
Typisch bedeutet, der durchschnittliche Fehler von 83 verschiedenen Bauteilen verglichen mit einem

- _ HP4275A Digital L/C Messgerät (bei einer Testfrequenz von 1 MHz) für Bauteile im Bereich von 0,1 H bis 1 mH und 2,7 pF bis 0,068 F
- _ B&K878 Digital LCR Messgerät (bei einer Testfrequenz von 100 kHz) für Bauteile im Bereich von 1 mH bis 100 mH und 0,1 H bis 1,6 H

SELBSTKALIBRIEREND

Anmerkung: Ich habe ein solches Gerät einmal vergleichen lassen mit einem professionellen HP LC Meter welches in der Lage ist Kondensatoren bis zu 1GHz messen zu können – Resultat des Vergleiches - **GUT**

2.8 Selbstbau Rel. „HF Spannungsschnüffler“

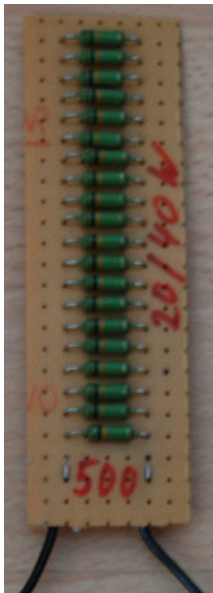


Beschreibung Selbstbau „Hochfrequenzschnüffler“

Dieses Gerät dient der relativen Spannungsmessung. Mit diesem einfachen Messgerät, die Schaltung ist übrigens aperiodisch, kann die Erfassung von Spannungsbäuchen auf Paralleldrahtleitungen / Antennen nachgewiesen und ermittelt werden. Voraussetzung ist, wenn diese mindestens eine Viertelwellenlänge lang ist, für ein möglichst genaues Ergebnis sollte man an diesen Stellen prüfen. Bei diesem Gerät handelt es sich um eine stark vereinfachte E-Feld-Sonde.

Zusätzlich ist es mit diesem Gerät auch möglich, irgendwelche „HF Undichtigkeiten“ in der Funkbude festzustellen – Kabel, Geräte oder auch als Abstimmindikator usw. nutzen.

2.9 Selbstbau 500Ω Last Widerstand min. 20W (symmetrisch)



Beschreibung:

Der Abschlusswiderstand besteht aus 20 Stück 10kΩ 2 Watt Einzelwiderständen in Parallelschaltung 500Ω R_{ges} , keine Drahtwiderstände verwenden, sondern Metalloxidschicht Widerstände.

Die Nennlast dieser Widerstände liegt bei - 2W / 1,5W bei einer max. Dauerspannung von 500V.

Um Messungen und Einstellungen an dem Gesamtaufbau durchführen zu können, ist ein Abschluss Widerstand erforderlich. Dieser Lastwiderstand muss symmetrisch aufgebaut sein.

Der Gesamtwert ist nicht so kritisch, sollte jedoch zwischen 200 und 600 Ω liegen und mindestens 20 Watt Dauerleistung verkraften - vielleicht zwecks Kühlung ein kleiner Luftstrom

2.10 Selbstbau 400 Ω Last Widerstand 100Watt (symmetrisch)



Dieser Abschlusswiderstand besteht aus vier 100 Ω induktivitätsarmen Hochlastwiderständen in Serienschaltung um auf einen gesamt Widerstand von 400 Ω zu gelangen.

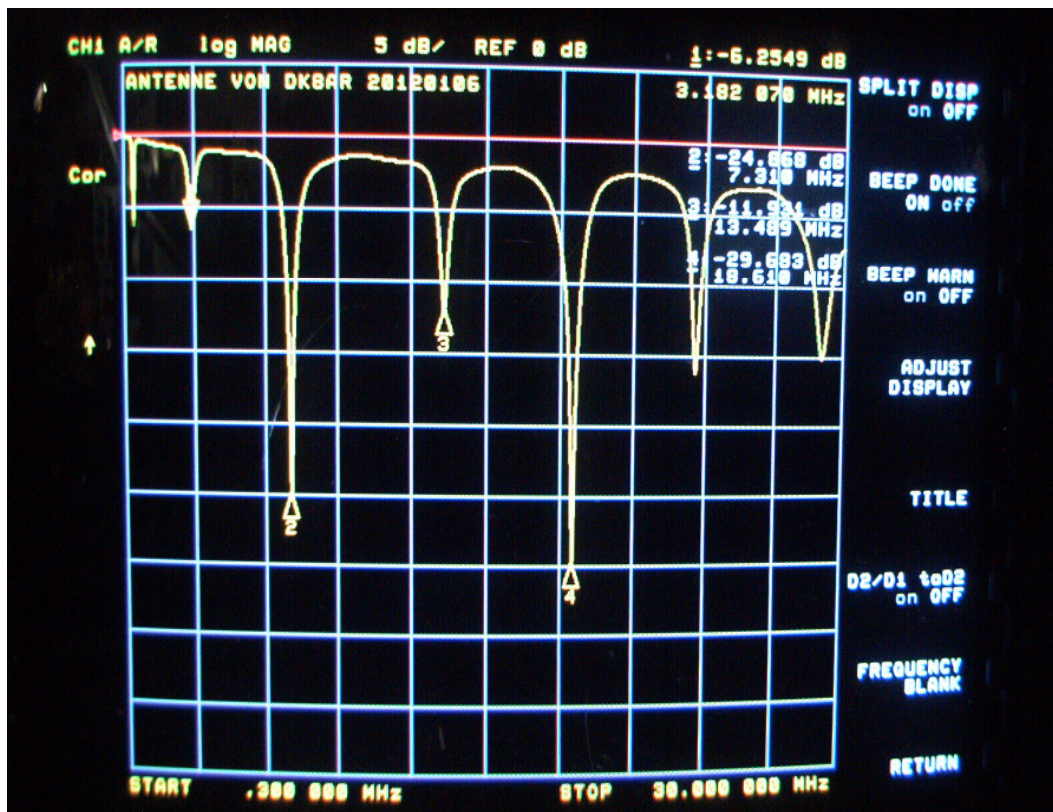
Die 100 Ω Lastwiderstände mit einer Belastbarkeit von 100Watt sind zu beziehen bei dem Funkamateurl-Leserservice.

Die Widerstände werden dazu auf einen entsprechenden Kühlkörper montiert. Um kapazitive / induktive Einflüsse möglichst gering zu halten, sollte eine Schaltung entsprechend dem oben gezeigten Bild nachgebaut werden. Die Telefonbuchsen befinden sich etwa 1,5cm entfernt von dem Kühlkörper.

Darstellung der Resonanzstellen einer unabgestimmten Antenne

Da eine Antenne die zum Beispiel nur eine Länge von 2mal 15 Meter und eine Paralleldrahtspeiseleitung von etwa 10,5 Meter aufweist, ergeben sich abhängig von Umgebungseinflüssen, folgende Resonanzstellen die hier in dem Bild wiedergegeben sind. Die S11 Messung ist mit einem Network Analyzer 8753C von HP durchgeführt worden. Hier nicht dargestellt ist das Smith Diagramm, mit den induktiven und kapazitiven Anteilen um nicht zu sehr von dem eigentlichem Thema der Messung mit **-amateurmäßigen Mitteln-** der Messtechnik abzuweichen.

**Darstellung einer 2x15 Meter Antenne plus 10,5 Meter Paralleldrahtleitung jedoch unabgestimmt, noch einmal zur Erinnerung die Zuleitung ist Teil der Antenne!
Gemessen wurde hier mit einer Z 50Ω Messbrücke.**



Man sieht hier schon die eine oder andere Resonanzstelle von der späteren Nutzfrequenz. Bei Zuführung von kapazitiven oder einem induktiven Anteil, durch das Anpassgerät, wird nun die Antenne auf die entsprechende Betriebsfrequenz gebracht. Einfach beschrieben - ist eine Antenne für die Arbeitsfrequenz zu kurz, ist der kapazitive Blindwiderstand vorhanden, ist sie zu lang dann ist der induktive Blindwiderstand vorhanden.

Hinweis: Bei Tunern mit Relais-Umschaltung der Kondensatoren und Spulen ist eine mehr oder weniger große Schaltmatrix vorhanden. Jedoch kann es vorkommen, dass

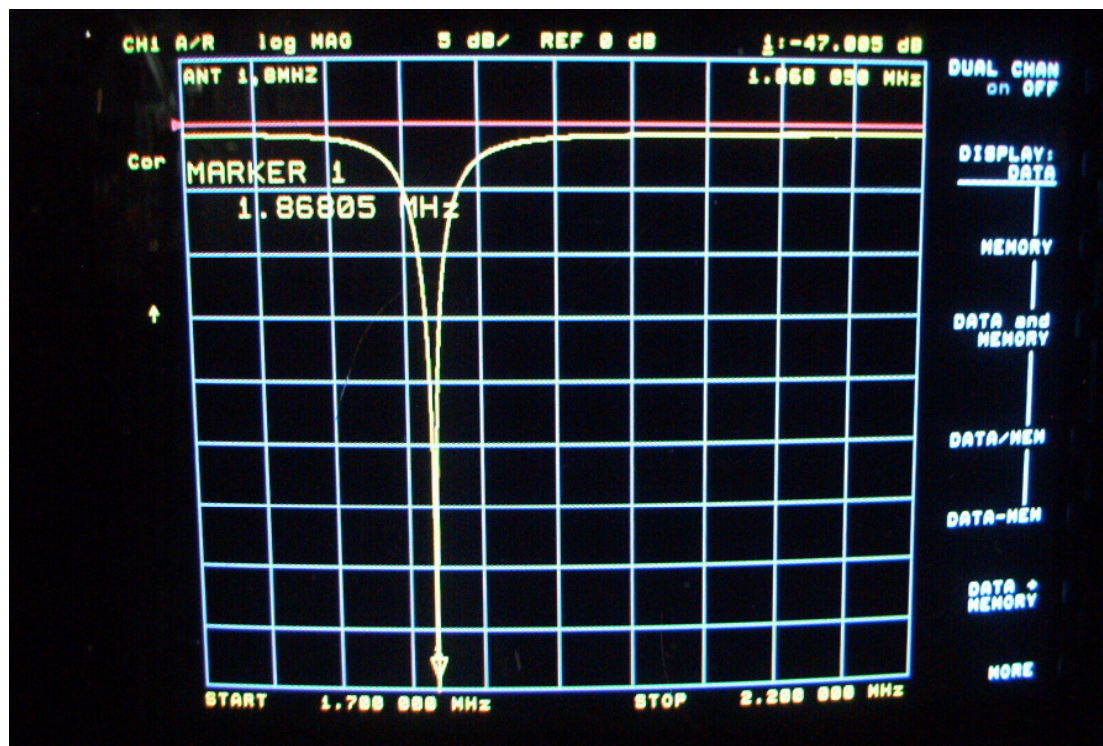
diese nicht mit den entsprechenden Schaltstufen in der Lage ist alle Konstellationen abzudecken. Daher ist eine kontinuierliche Steuerung von Drehkondensatoren und Rollspulen den Vorzug zu geben. Da diese aber bei Selbstbau ein nicht unerhebliches handwerkliches Geschick erfordern, sollte der nicht so vorbelastete Betreiber einer AFU-Station auf fertige Produkte zurückgreifen. Es gibt einige Firmen die Paralleldraht Tuner mit Fernsteuerungen anbieten. In den wenigsten Fällen hat man die Möglichkeit der direkten Verbindung Sender-Tuner-Paralleldrahtleitung.

Darstellung einer abgestimmten Resonanz durch den Tuner

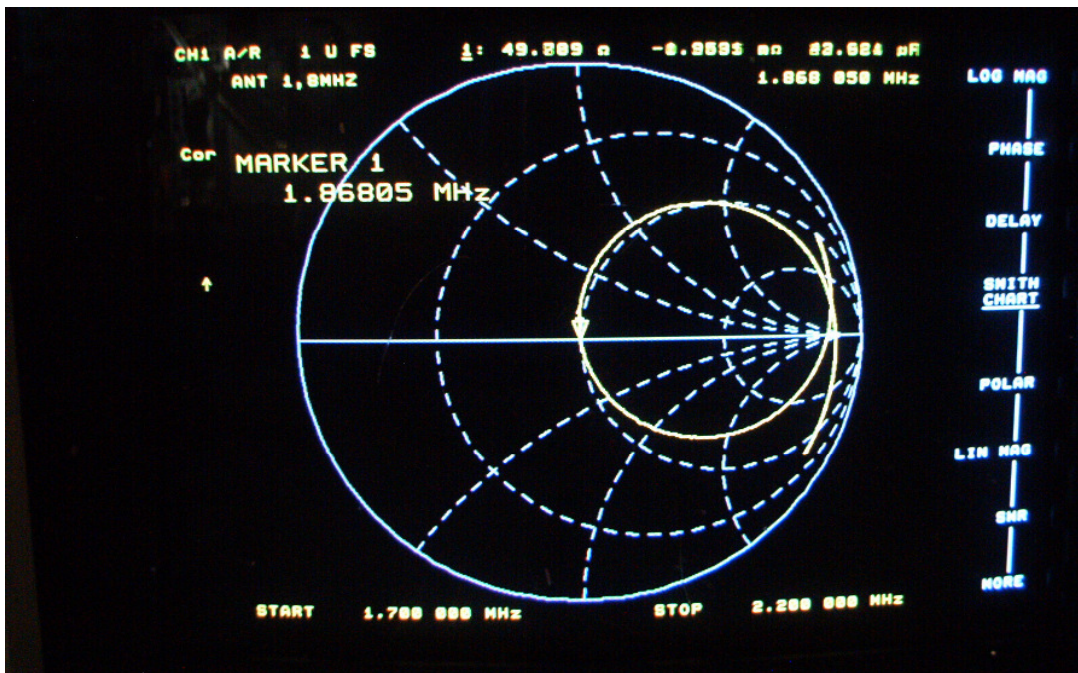
Hier eine sehr selektive Darstellung mit geringer Nutzbandbreite, da es sich um eine viel zu kurze Antenne für diesen Bereich (160 Meter) handelt. Das bedeutet, es muss bei entsprechenden Frequenz-Änderungen stets eine neue Einstellung vorgenommen werden, um eine entsprechende Anpassung zu erreichen.

Der Wirkungsgrad bei zu kurzen Antennen nimmt natürlich auch rapide ab.

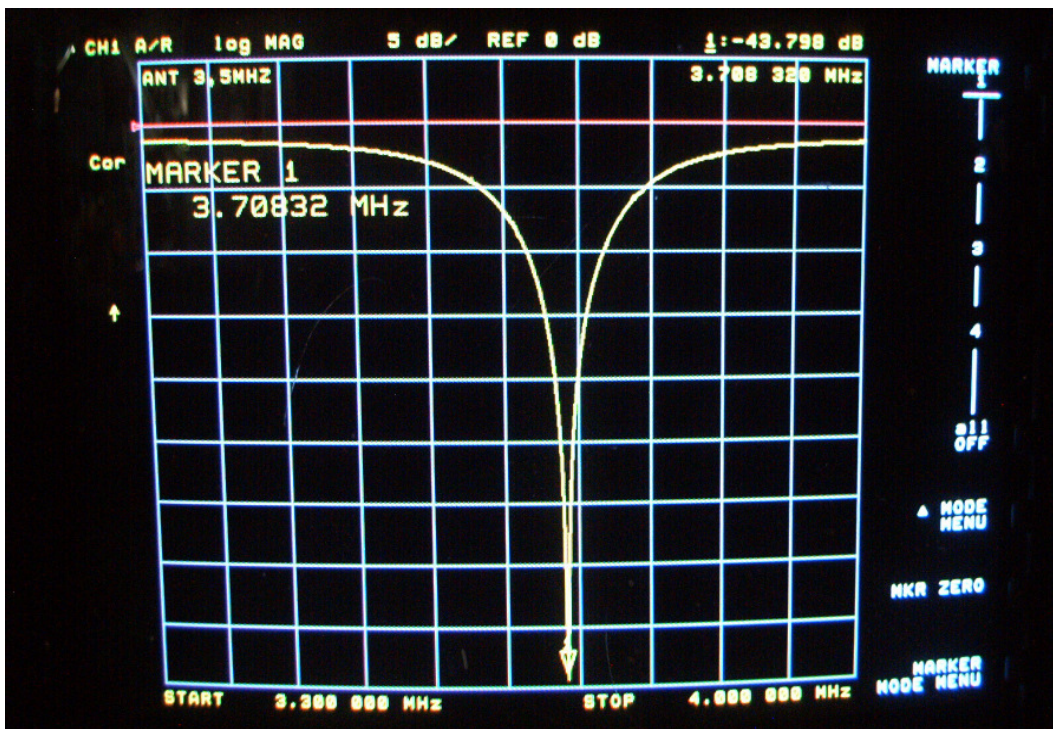
Der Antennenwirkungsgrad charakterisiert die in der Antenne selbst entstehenden Verluste. Wird einer Senderantenne eine Leistung zugeführt, so geht der Antenne selbst die Leistung durch die ohmschen Verluste verloren, die verbleibende Leistung wird abgestrahlt (Strahlungsleistung). Das Verhältnis der abgestrahlten Leistung zur zugeführten Leistung bezeichnet man als den Antennenwirkungsgrad η .



Smith Darstellung Anpassgerät abgestimmt auf 160Meter



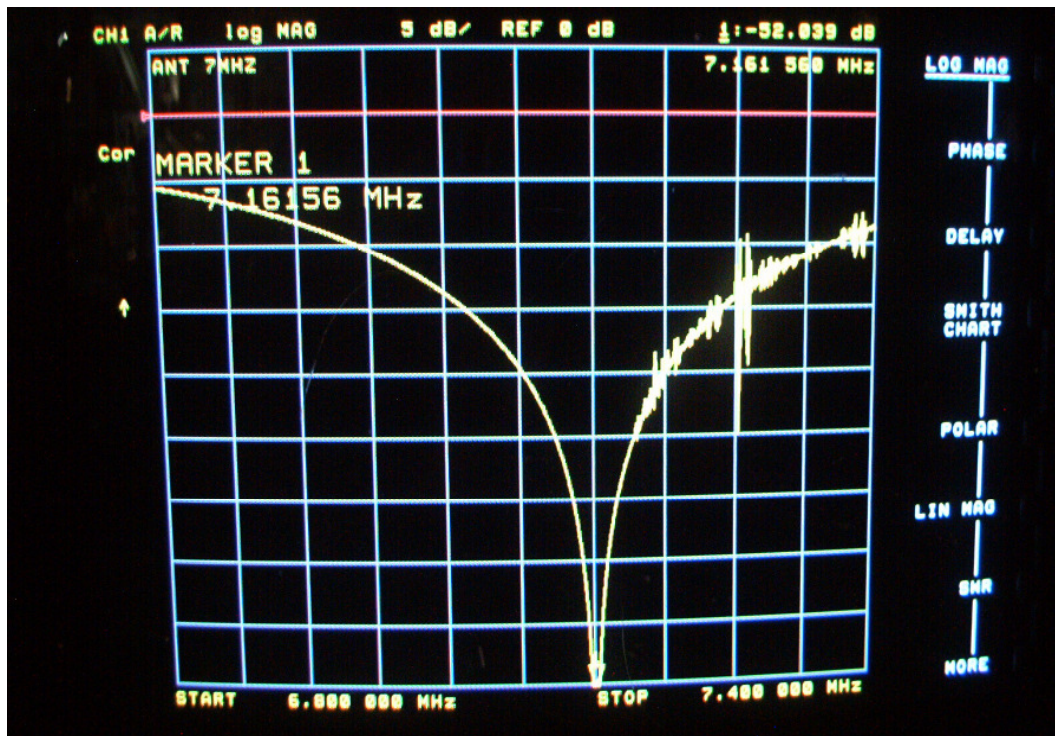
Dieses S11 Parameter Bild zeigt einen optimalen Verlauf, der durch den Tuner abgestimmten Resonanz Kurve im 80Meter Band F_{res} ist 3,70MHz.



Smith Darstellung Anpassgerät abgestimmt auf 80Meter



Kartesische Darstellung: Anpassgerät abgestimmt auf 40 Meter

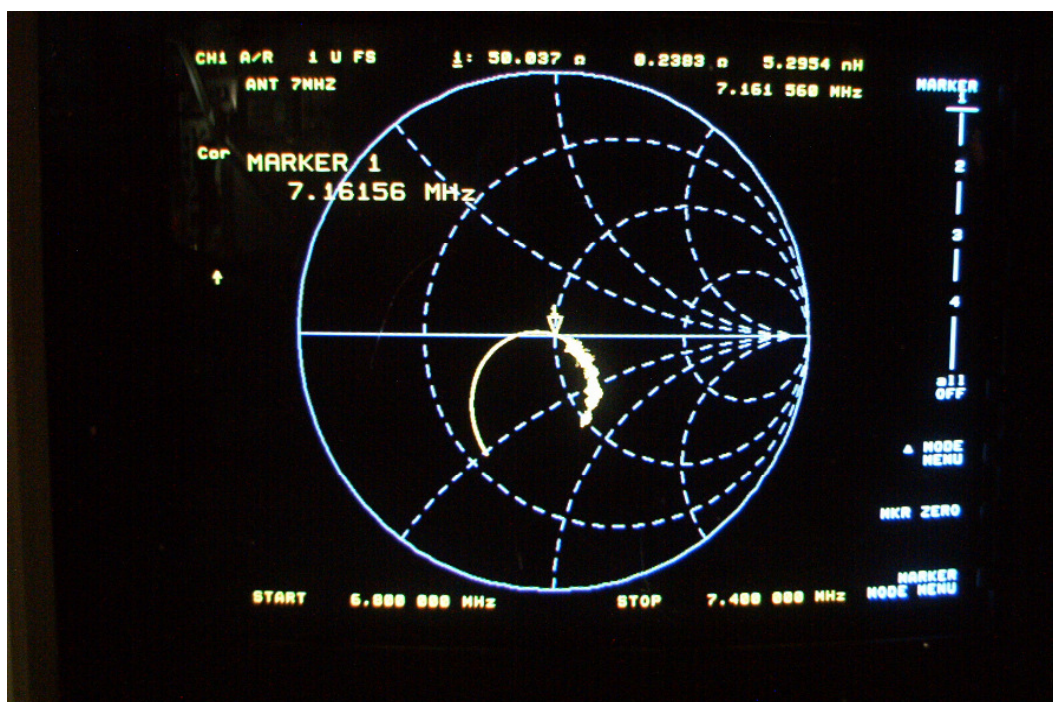


Diese S11 Parameter Bild zeigt einen optimalen Verlauf der, durch den Tuner abgestimmten, Resonanz Kurve im 40Meter Band F_{res} ist 7,16MHz.

Auch hier muss natürlich bei größeren Frequenzschritten nach oben oder unten nachgestimmt werden, die Anpassungskurve verläuft hier aber schon wesentlich flacher. Das kommt daher, weil dieses Antennen Beispiel in der Nähe von einer ihrer Eigenresonanzen (7,31MHz) betrieben wird, wie es in der kartesischen Darstellung dem Bild der nicht abgestimmten Antennen Darstellung zu sehen ist.

Weiterhin sind sichtbar Rundfunkstationen oberhalb von 7,2 MHz bis 7,4 MHz die wie oben beschrieben zum MFJ 259B - dessen Messungen beeinträchtigen können. Bei einer nicht ausreichenden Vorselektion, die Brücke ist breitbandig, können diese unerwünschten Eingangssignale das Messergebnis erheblich negativ beeinflussen. Dieses kann jedoch beseitigt werden durch einen vorgeschalteten „Tunable Analyzer Filter Typ von MFJ-731“.

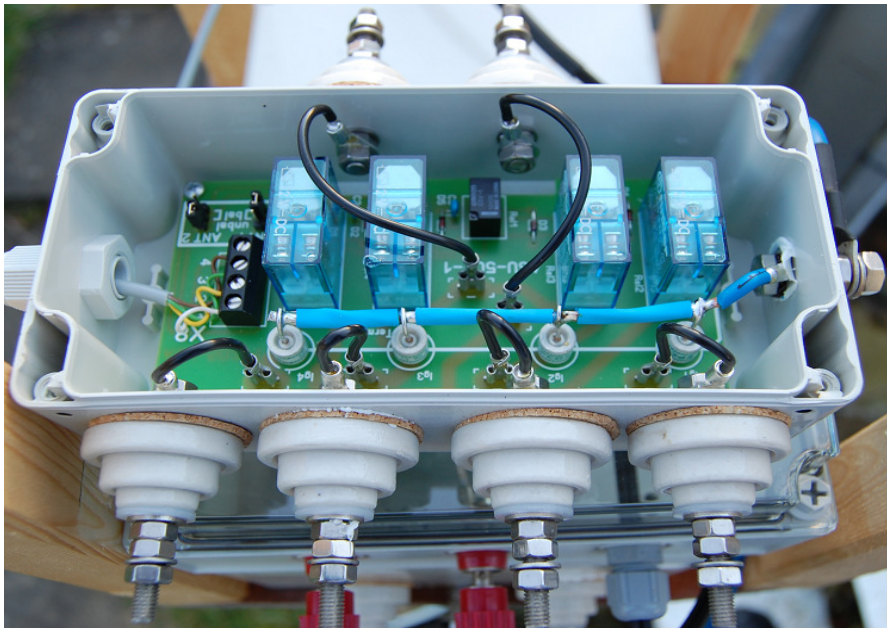
Smith Darstellung - Anpassgerät abgestimmt auf 40Meter



Eine fernsteuerbare Umschaltseinheit zum Betreiben von zwei Paralleldraht gespeisten Antennen an einem Tuner Ausgang.

Leider sind hier schon einige Unsymmetrien eingebaut, somit nicht unbedingt zu empfehlen. Es sind auch andere Konstellationen möglich, z.B. eine Paralleldrahtspeisung und Langdrahtspeisung, diese sind veränderbar mit einer vorhandenen internen Umschaltung durch Steckbrücken.

Eine Beseitigung der Unsymmetrie ist möglich, wenn man jeweils eine Längs Induktivität, nach Ausmessen der Differenz, des Anschluss Antenne Nr.1 und Anschluss Antenne Nr.2 gemessen zum Ausgang einbauen würde.



Die eigentlichen Unsymmetrien entstehen aus unterschiedlichen Induktivitäten die durch die Leiterbahn und interne Leitungsführungen hervorgerufen werden. Das Delta der beiden Leitungswege, ausgehend von dem Ausgang (hier die beiden Anschlüsse oben im Bild), beträgt lediglich 19nH bei Antenne 1 und 35nH bei Antenne 2. Dazu kommt jeweils eine Parallelkapazität bei Antennenanschlüssen (unten im Bild) Nr.1 von 7,8pF und Antennenanschluss Nr.2 von 8,8pF. Diese machen sich natürlich in den oberen Kurzwellen-Bändern bemerkbar. Da das Konzept von diesem kommerziellen fernabstimmbaren Paralleldraht-Tuner keinen Ausgleich der Induktiven als auch der kapazitiven zulässt, kann man durch zusätzliche Induktivitäten in dem jeweiligen Zweig eine Anpassung durchführen. Lediglich auf 10 Meter könnte der Abstimmbereich des Tuners nicht mehr ausreichend sein. Dazu kommen noch ständige Veränderungen der Induktiven-Anteile bei Schaltvorgängen durch die eingesetzten Relais.

Messungen der Abweichungen wurden durchgeführt mit: **L/C Meter IIB von AADE**

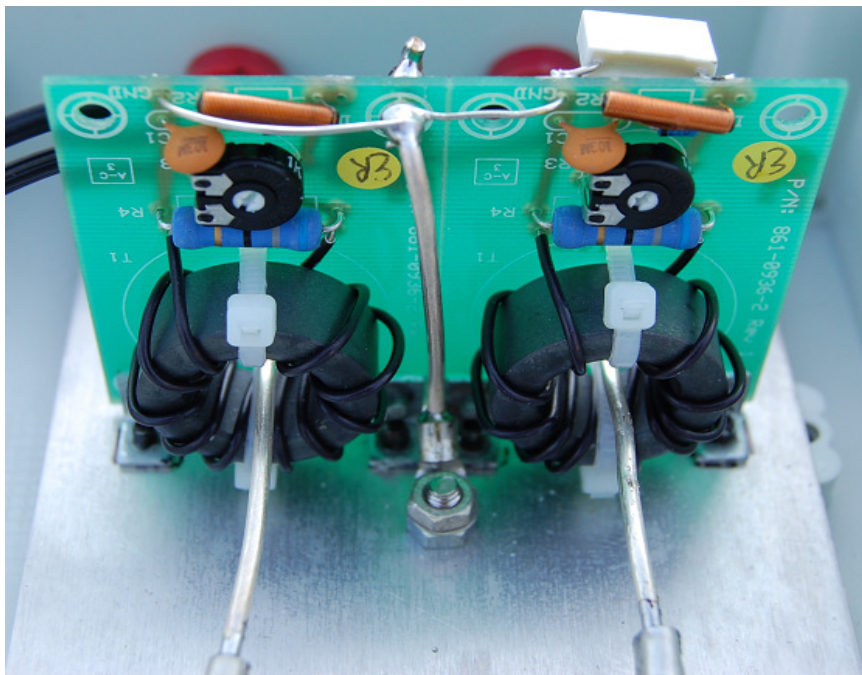
MFJ – 835 Ammeter - Teil Innenaufbau des Stromwandler

Diese Einheit kann aus dem eigentlichen Metallgehäuse des MFJ-835 Ammeter entfernt und in einem feuchtigkeitsgeschützten Kunststoffgehäuse eingebaut werden. Dadurch besteht die Möglichkeit, die Ströme in der Paralleldrahtleitung abgesetzt zu messen. Dazu verbleibt dann nur noch das Kreuzzeiger-Instrument im Gehäuse auf dem Stationstisch im Funkraum. Über ein 3adriges geschirmtes Kabel und zusätzlicher EMV-Abblockung wird dann die Verbindung wieder hergestellt. Um eine exakte Symmetrie der Anzeige zu erreichen, muss dann ein Abgleich der beiden Einstellwiderstände vorgenommen werden. Diese Einstellung muss so genau wie möglich durchgeführt werden, um dann bei den späteren Messungen hohe Genauigkeiten der Symmetrie Anzeige zu erzielen. Diese Einstellungen erfolgen ersatzweise an einer rein ohmschen Last (Paralleldraht Dummy) z.B. mit dem oben angegebenen Lastwiderstand (400 Ohm).

Zum Abgleich sind folgende Arbeitsschritte durchzuführen:

1. Ersatzantenne 400 Ohm Lastwiderstand statt Paralleldrahtleitung anklemmen
2. Sender auf etwa 7,1 MHz einstellen
3. Senderleistung auf ca. 45 Watt einstellen, das sind etwa 1dB mehr, als in der nachfolgenden Anzeige und Berechnung durch die gesamten Durchgangsverluste des Tuner, Kabel und SWR/Powermeter entstehen.
4. An dem RF-Ammeter den Ampère-Schalter auf 1A stellen.
5. Die beiden Trimmwiderstände nun so einstellen das beide Zeiger jeweils auf „30“ der jeweiligen Skala stehen, das entspricht 0,3 Ampère

$$P = I^2 * R \quad (0,3^2 * 400 = 0,09 * 400 = \underline{36W@400\Omega})$$



Messungen an dem Antennenkoppler

Der Paralleldraht-Tuner sollte auf jeden Fall einen, soweit wie möglich, symmetrischen Aufbau haben.

Dieser Aufbau lässt sich leider nicht immer realisieren, da die Draht-Anschlusslängen Bauteileanordnungen Gehäuse usw. nicht unerheblich in die gesamt Symmetrie der Schaltung eingehen. Das Ganze ist auch noch mehr oder weniger frequenzabhängig und macht sich unterschiedlich bemerkbar.

Hinzu kommt dann noch das gesamte Antennensystem mit den in den allermeisten Fällen nicht symmetrisch aufgehängten Dipol, dass wollen wir hier jetzt aber nicht näher untersuchen.

Die Messungen werden hier nur an dem eigentlichen Tuner durchgeführt, um dem Betreiber einmal die Zusammenhänge der verschiedenen Einstellmöglichkeiten dieses Gerätes näher zu bringen.

Die Messungen beginnen mit der Vorbereitung:

Tuner Anschlüsse verdrahten:

1. Eingang des RF Ammeter **MFJ - 835** am symmetrischen Ausgang des Tuners anklemmen.
2. Den Ausgang des RF Ammeter **MFJ – 835** mit einem Abschlusswiderstand 400Ω abschließen
3. Das **MFJ - 822** Kreuzzeiger SWR und Wattmeter an die 50Ω Anschlussbuchse des Tuners mit einem kurzen Koaxialkabel anschließen.
4. Nun können die ersten Messungen mit dem **MFJ – 259B** Antennen-Analyzer von 1,8 bis 30 MHz beginnen.
5. Bei Einsatz des **MFJ – 259B** werden natürlich keinerlei Anzeigen, mangels Ausgangspegel, auf den Anzeigeinstrumenten erreicht. Vielmehr soll hier einmal ein gefahrloser Gebrauch der Tuner-Einstellelemente auf die Einflüsse und Änderungen der Anpassungen abweichend von 50Ω demonstriert werden, mit der kompletten späteren Verschaltung. Dazu kann man dann auch einmal verschiedene Bänder überprüfen und deren Einstellungen durchspielen – Konstellationen der Bedienelemente notieren.
6. Jetzt kann man den Antennen-Analyzer durch einen Sender ersetzen, aber dabei auf kleine experimentale Leistungen <20 Watt achten.
7. Bei dieser Messung können nun die vorher ermittelten Einstellungen der Bedienknöpfe wiederholt werden - man wird nun sehen, dass die Anzeigeinstrumente bei deren niedrigen Leistungsanzeige bereits Messwerte anzeigen.
8. Nun wird mit den Tuner-Bedienelementen ein Optimum des kleinsten Eingangs SWR und der maximalen Antennenstrom Anzeige gesucht.
9. Allein die Eingangs-SWR Optimierung sagt absolut nichts über die tatsächliche dämpfungsarme Einstellung des Tuner aus. Hier können durchaus unsinnige Einstellungen bedient werden, wodurch Dämpfungen von bis zu 2dB entstehen können.
10. Das **Ammeter MFJ-835** zeigt nun den Antennenstrom an, dabei ist es wichtig, dass das Kreuzzeiger Instrument seinen Kreuzungspunkt auf der rot markierten vertikalen Anzeige auf der Scala mit einer maximalen Abweichung von $<10\%$ inne hält. Bei $>10\%$ liegt bereits eine nicht unerhebliche Unsymmetrie vor und die Paralleldrahtleitung beginnt zu strahlen.

11. Mit diesem Aufbau kann man auch die Ausgangsleistung an dem Ausgangswiderstand (hier ein Dummy mit 400R) $P = I^2 * R$ berechnen. Durch diese Messung ist nun die gesamte Dämpfung des Systems feststellbar 50Ω unsymmetrisch Eingangsleitung zu symmetrischer Ausgangsleistung.
12. Wer kein Doppelampere einsetzen möchte, kann auch die symmetrischen Ströme bei eingeschaltetem Sender (CW Betrieb) und Erreichbarkeit der Paralleldrahtleitung mit dem **MFJ - 854 RF- Current Meter** eine genaue Messung durchführen. Nachteil dieser Prüfung man muss die Messeinrichtung „umklemmen“ auf die jeweilige Antennenzuleitung und die beiden Ströme vergleichen.
13. Wenn man nun noch den genauen Ausgangswiderstand (Paralleldrahtanschluss) von seinem gesamt System ermitteln möchte, sollte diese Messung der Ausgangsseitigen Impedanz mit dem **Impedance Messer LIM 870** von Leader durchführen. Nachdem nun alle Abstimmungen optimiert sind, wäre einmal interessant zu wissen, welche Impedanz man nun eingestellt hat. Dazu das Gerät mit dem **Analyzer MFJ- 259B** verbinden, zwecks Messsignal-erzeugung und den unsymmetrischen Eingang des Balancetuner mit einem 50Ω Widerstand abschließen. Eine Messung ohne Änderungen der Tuner Einstellelemente durchführen und den angezeigten Wert aufnehmen.

Ich bedanke mich für Eure Aufmerksamkeit und hoffe, dass dieser Vortrag zum Verständnis über den Umgang mit einfachen Hochfrequenzmessgeräten in Verbindung von Messungen an einem symmetrischen Antennenanpassgerät beigetragen hat.

**73 de DK8AR
Henri Lüddecke**