Antennen Messtechnik I

Messtechnische Erfassung der Verluste in KW-Antennen Systemen mit einem Stehwellenmessgerät

Mitteilungen aus dem Institut für Umwelttechnik, Nonnweiler-Saar
Dr. Schau
DL3LH

Vorwort:

„Wer viel misst, misst viel Mist“, lautete ein Wahlspruch von Werner Diefenbach, einer der bekanntesten Funkamateure in den 60gern! An dieser Binsenweisheit hat sich nichts geändert. Heute sind in Amateurhand vielerlei Messgeräte aus Altbeständen der Bundeswehr oder der amerikanischen Armee vorhanden, ebenso auch neue Entwicklungen wie Impedanzmessgeräte von MFJ, CIA, HP, Tektronix u.a.
Wichtig ist: Die oben genannten Messgeräte sind sehr empfindlich gegen Fremdspannungen. Also niemals bei Gewitter oder nahendem Gewitter messen, keine Leistung in den Messeingang geben und keine Leistung auf der Antenne durch einen anderen Sender während einer Messung.

Wir wollen der Frage nachgehen, was man so alles mit diesen wertvollen Messgeräten anfangen kann?
Die Messgeräte zeigen u.a. folgende Größen an:

1. Den Realteil einer Impedanz in Ohm
2 Den Imaginärteil einer Impedanz in Ohm
3 Den Phasenwinkel einer Impedanz in grad sowie das Vorzeichen + oder -
4. Der Betrag der Impedanz in Ohm
5. Das Stehwellenverhältnis S
6. Den Return-Loss R_L in dB

Wenn auch nicht immer Messgeräte dieser Güte zur Verfügung stehen, dann ist als Grundaus - rüstung eine Stehwellenmessbrücke vorhanden, mit der man nicht nur stehende Wellen feststellen kann.

1. Messtechnische Bestimmung der Verluste einer Antennenzuleitung

Die Kenntnis der Leistungsverluste ist von eminenter Bedeutung. Muss der Amateur doch wissen, welche Leistung von der Antenne abgestrahlt wird. Die Verluste einer Antennenzuleitung setzen sich zusammen aus den Verlusten bei totaler Anpassung und den Verlusten durch stehende Wellen.

Die Verluste bei Anpassung können durch einfache Stehwellenmessung ermittelt werden. Misst man das Stehwellenverhältnis VSWR einer am Ende kurz geschlossenen Leitung, so kann aus diesem Messwert der Verlust dieser Leitung bei Anpassung (Matched-Line-Loss-Ratio) direkt berechnet werden.

Der „Matched-Line-Loss“ M_L ergibt sich bei Kurzschluss am Ende der Leitung aus der Beziehung

$$M_L = 10 \log [(S_K + 1) / (S_K - 1)] \text{ in dB} \qquad \text{(Gl.1.1)}$$

wobei S_k das Stehwellenverhältnis der kurzgeschlossenen Leitung ist.

Bei Kurzschluss einer Leitung ist außerdem das Produkt aus dem Betrag des Reflexions- und des Dämpfungsfaktors eine Konstante und zwar

$$|\underline{r}| * a = 1 \qquad \text{(Gl.1.2)}$$

Der so definierte Dämpfungsfaktor a ist größer 1. Der Betrag des Reflexionsfaktors r kann zwischen 0 und 1 liegen. Null bedeutet Anpassung, 1 totaler Kurzschluss oder Leerlauf. Der „Matched-Line-Loss“ ist der Verlust der Leitung bei vollständiger Anpassung am Leitungsende, d.h. keine stehenden Wellen.

Damit man nicht lange rechnen muss, zeigt Tab. 2 die Verluste bei totaler Anpassung für verschiedene S-Messwerte im Kurzschlussfall.

S – Wert	Verluste in dB	a	S – Wert	Verluste in dB	a
1.1	13.22	21	6.0	1.46	1.40
1.2	10.41	11	7.0	1.25	1.33
1.3	8.84	7.66	8.0	1.09	1.28
1.4	7.78	6.00	9.0	0.97	1.25
1.5	6.98	5.00	10	0.87	1.22
1.6	6.36	4.33	11	0.79	1.20
1.7	5.86	3.85	12	0.72	1.18
1.8	5.44	3.50	13	0.69	1.16
1.9	5.08	3.22	14	0.62	1.15
2.0	4.77	3.00	15	0.58	1.14
3.0	3.01	2.00	20	0.43	1.10
4.0	2.21	1.66	25	0.36	1.08
5.0	1.76	1.50	30	0.29	1.06

$M_L = 10 \log [a]$ in dB*

$a = [(S_K + 1)/ (S_K - 1)]$ *

* Bei Kurzschluss der Antennenzuleitung am Fußpunkt der Antenne!

Tab. 2: S – Werte und Verluste bei Anpassung

Merke:
Je kleiner der S_K-Wert bei Kurzschluss, umso höher sind die Verluste bei Anpassung

Ist der „Matched-Line-Loss“ bekannt, kann der Dämpfungsfaktor a aus der Beziehung

$$a = 10^{ML/10} \qquad \text{(Gl.1.3)}$$

berechnet werden. Dazu ist nur ein Taschenrechner erforderlich.

Manche Stehwellenmessgeräte oder Leistungsmesser gestatten die vorlaufende und die rücklaufende Leistung getrennt voneinander zu messen. Dabei kommt es nicht auf die Absolutwerte an, sondern nur auf das Verhältnis beider Leistungen.
Kennt man das Verhältnis, so ergibt sich der Betrag des Reflexionsfaktors aus der Beziehung

$$r^2 = Pr / Ph \qquad \text{(Gl.1.4)}$$

Beispiel 1.1
Der Verlust eines Koaxkabel H-100 ist bei der Frequenz f = 28 MHz zu M_L = 2 dB /100 m angegeben. Daraus berechnen wir den Dämpfungsfaktor a = 1,58. Verwenden wir von dem H-100 Kabel nur 50 m, dann ist der Dämpfungswert M_L = 1 dB / 50 m und der Dämpfungsfaktor wird a = 1,258.

Beispiel 1.2
Bei Kurzschluss am antennenseitigen Ende der 50 Ω Zuleitung wird mit einem „ Bird “ Leistungsmesser eine hinlaufende Leistung von Ph = 1 W und eine rücklaufende Leistung von Pr = 0.64 W gemessen. Das Messgerät zeigt außerdem ein Stehwellenverhältnis von S = 9 an. Stimmt der S Wert?
Aus (Gl.1.4) wird

$$r^2 = 0.64 \text{ W}/1 \text{ W} = 0{,}64 \quad \text{und daraus} \quad r = 0{,}8.$$

Das VSWR berechnet sich zu

$$S = (1 + 0{,}8) / (1 - 0{,}8) = 9$$

Die Werte passen also zusammen, denn aus dem VSWR von S = 9 wird der Reflexionsfaktor wieder zu

$$|\underline{r}| = (S_k - 1) /(S_k + 1) = 8 / 10 = 0{,}8$$

und der Dämpfungsfaktor nach (Gl.1.2)

$$a = 10 / 8 = 1{,}25$$

der sofort nach (Gl.1.1) zu einem „Matched-Line-Loss-Ratio“ von

$$M_L = 10 \log a = 10 \log (1{,}25) = 0{,}969 \text{ dB führt.}$$

Wird jetzt der Kurzschluss an der Antenne aufgehoben und an deren Stelle die Antenne angeklemmt, zeigt das Leistungsmessgerät eine vorlaufende Leistung von Ph = 100 W und eine rücklaufende Leistung von 25 W. Wir berechen aus diesen Leistungen den eingangsseitigen Reflexionsfaktor

$$r^2 = 25 \text{ W} / 100 \text{ W} = 0{,}25 \text{ und daraus } r = 0{,}5.$$

Das VSWR wird S = (1+ 0,5) / (1- 0,5) = 3.

Der Reflexionsfaktor oben an der Antenne wird mit (Gl.1.2) zu

$$r_{ant} = r * a = 0.429 * 1{,}25 = 0{,}625$$

und daraus das Stehwellenverhältnis **oben** an der Antenne

$$S = (1 + r) / (1 - r) = 1{,}3432 / 0{,}6568 = 4{,}33$$

das immer höher ist, als das „unten“ gemessene VSWR.

Aus dieser einfachen Kurzschluss-Messung haben wir das Stehwellenverhältnis direkt an der Antenne ermittelt, ohne in luftiger Höhe messen zu müssen. Das VSWR „oben“ an der Antenne **muss** bekannt sein, da es für die Verluste durch Stehwellen verantwortlich ist.

Die Gesamtverluste der Leitung durch Dämpfung **und** stehende Wellen berechnen zu (siehe /1/)

$$T_L = - 10 \log [a (1 - r_{ant}^2) / (a^2 - r_{ant}^2)] \qquad \text{(Gl.1.5)}$$

und in unserem Beispiel

$$T_L = - 10 \log [1{,}25 (0{,}7124) / 1{,}275] = 1{,}87 \text{ dB}$$

Da der „Matched-Line-Loss“ M_L = 0,969 dB war, ist der Verlust durch stehende Wellen in diesem Beispiel

$$A_L = 1.56 \text{ dB} - 0.969 \text{ dB} = 0{,}904 \text{ dB.}$$

und fast genau so groß wie die Verluste bei Anpassung. A_L wird als „Additional Loss“ (zusätzlicher Verlust) bezeichnet.

Bei einer Eingangsleistung von P = 500 W wird mit einem Gesamtverlust von T_L = 1,87 dB die Leistung oben an der Antenne nur noch P_2 = 325 W. Ein Verlust von Pv = 175 W, der nutzlos in Wärme gewandelt wird.
Ein weiterer Nachteil: Bei einem Stehwellenverhältnis von S = 4,33 reduziert sich auf der Leitung die maximal übertragbare Leistung um den Faktor 4,33. Gibt der Hersteller wie beim RG 213 Pmax = 600 W an, dann ist die noch übertragbare Leistung nur P = 138,57 W!

Fassen wir zusammen:

Wir haben durch zwei einfache Messungen alle für die Verluste der Antennenzuleitung relevanten Daten ermittelt, ohne oben an der Antenne messen zu müssen. Natürlich ist ein wenig einfache Rechenarbeit notwendig.
Die Messung läuft in 2 Schritten ab.

Schritt 1:
Messung des VSWR bei Kurzschluss an der Antenne.

Schritt 2:
Messung des VSWR am betriebsfähigen System - also Antenne inklusive Zuleitung.

Aus dem Stehwellenverhältnis nach Schritt 2 kann jetzt das Stehwellenverhältnis „oben“ an der Antenne berechnet werden. Aus diesem Wert und dem Dämpfungsfaktor a ergibt sich der Gesamtverlust auf der Leitung und wen es interessiert, auch der zusätzliche Verlust durch stehende Wellen. Aus dem ermittelten Gesamtverlust T_L berechnet sich die wichtige Leistung am Fußpunkt der Antenne und die Leistung EIRP.

Eine exakte Rechnung hat also immer nur Vorteile für den OM bezüglich der Sicherheitsabstände und ist immer einer Messung im Nahfeld vorzuziehen – die nicht so einfach ist, wie immer gesagt wird.

Mit Stehwellenmessgeräten in koaxialer Ausführung können nur unsymmetrische Leitung gemessen werden. Für Messungen an symmetrischen Leitungen hat man entweder eine Stehwellenmessbrücke für symmetrische Leitungen /1/ oder ein Messgerät das die Impedanz $\underline{Z}$ nach Realteil R und Imaginärteil X anzeigt. Dann muss das VSWR berechnet oder durch Eintrag ins Smith-Chart ermittelt werden (siehe Abschnitt 3).

Noch einfacher gestaltet sich die Ermittlung der Verlustwerte durch die Messung des „Return-Loss“.

2. Der Return – Loss

2.1 Der Return-Loss und die Eingangsimpedanz

Eine besondere Funktion der oben genannten Messgeräte ist die Anzeige des „Return-Loss“. Dieser ist definiert als

$$R_L = -20 \log |\underline{r}| \qquad \text{(Gl.2.1)}$$

und ein Maß für die Qualität der Anpassung. Der Return-Loss ist immer bezogen auf die Systemimpedanz des Messgerätes – meist Z = 50 Ω. Hohe Werte bedeuten eine gute Anpassung, niedere Werte eine schlechte.

Der Betrag des Reflexionsfaktors in dem Logarithmus der (Gl.2.1) hängt mit dem VSWR wieder in bekannter Weise zusammen

$$|\underline{r}| = (S - 1) / (S + 1) \qquad \text{(Gl.2.2)}$$

bzw.

$$S = (1 + |\underline{r}|) / (1 - |\underline{r}|) \qquad \text{(Gl.2.3)}$$

Beispiel 2.1
Bei der Resonanz-Frequenz fo = 3,6 MHz und einer Systemimpedanz von Z = 50 Ω wird ein Return-Loss von R_L = 15 dB gemessen. Wie hoch ist das VSWR? Durch Umstellung der (Gl.2.1) wird r = 0,177 und mit (Gl.2.3) das Stehwellenverhältnis nach S = 1,43. Welche Impedanz am Messport des Messgerätes liegt, kann aus den Werten R, X und dem Phasenwinkel ersehen werden.

Probe:
Das Messgerät zeigt einen Realteil von R = 71,50 Ω, X = 0 und φ = 0. Daraus ergibt sich der Reflexionsfaktor

$$r = (71{,}50 - 50) / (71{,}50 + 50) = 0{,}177$$

und der Return-Loss nach (Gl.2.1) wird R_L = 15 dB. Damit ist der obige Wert bestätigt.

Beispiel 2.2
Bei der Resonanz-Frequenz fo = 3,6 MHz und einer Systemimpedanz von Z = 50 Ω wird ein Return-Loss an einer 600 Ω Leitung von R_L = 6,97 dB angezeigt. Die Abschlussimpedanz wird mit R = 50 Ω, X = 50 Ω und einem Phasenwinkel φ = + 45 angezeigt.
Wie hoch ist das VSWR bezogen auf die 600 Ω Leitung? Aus (Gl.2.1) wird r = 0,448 und das Stehwellenverhältnis bezogen auf 50 Ω wird S = 2,62.
Da die Eingangsimpedanz unverändert ist, berechnet sich der Betrag des Reflexionsfaktors bezogen auf 600 Ω zu

$$|\underline{r}_{600}| = |(50 + j50 - 600) / (50 + j\,50 + 600)| = |(-11 + j\,1) / (13 + j\,1)| = 0{,}847$$

und daraus das

$$VSWR_{600} = (1 + r) / (1 - r) = 1{,}847 / 0{,}153 = 12{,}08.$$

Mit (Gl.2.1) wird der Return-Loss bezogen auf 600 Ω R_{L600} = - 20 log (0,847) = 1,44 dB. Die Anpassung im 600 Ω System ist wesentlich schlechter – wie zu erwarten war.

2.2 Return-Loss und die Verluste

Die **Return-Loss** ist eine elegante Methode zur Bestimmung des „Matched-Line-Loss-Ratio". Misst man den „Return-Loss" an einer kurz geschlossenen Leitung, dann ist die Hälfte des Messwertes der Matched-Line-Loss, also

$$M_L = R_{LK} /2, \qquad \text{(Gl.2.4)}$$

aber nur bei dieser Frequenz und bei dieser verwendeten Leitung! Man braucht also nur den Messwert durch Faktor 2 teilen und hat die Verluste bei Anpassung. Wird gleichzeitig das VSWR bei Kurzschluss notiert, kann nach obiger Rechnung das VSWR am Fußpunkt der Antenne und die Gesamtverluste T_L berechnet werden.

Beispiel 2.3
An einer kurz geschlossenen Antennenzuleitung der Länge l = 25 m wird ein Return-Loss von R_{LK} = 1,938 dB gemessen. Der Verlust der Leitung bei totaler Anpassung ist M_L = 1.938 dB /2 = 0,969 dB.

Bislang haben wir immer direkt am Eingang der Antennenzuleitung gemessen. Mit dem Return-Loss kann auch die Qualität der Anpassung zwischen Sender und Koppler gemessen werden.

Beispiel 2.4
Ein Sender habe eine verfügbare Leistung von Pv = 500 W an 50 Ω, die durch Messung an einer Dummy-Load bestimmt wurde. Wir messen bei der Frequenz f = 3,6 MHz am Eingang des Koppler ein Return-Loss von R_L = 10 dB. Welche Leistung steht dem Tuner am Eingang zur Verfügung?
Aus der (Gl,2.1) erhalten wir den Betrag des Reflexionsfaktors zu r = 0,63. Die Leistung in den Tuner-Eingang wird Pin = Pv $(1-r^2)$ = 500 W (0,601) = 300,9 W. Wir verschenken Pd = 199 W.

3. Das Stehwellenverhältnis

Das Stehwellenverhältnis beschreibt das Verhalten der Leitung aus der Sicht des Leistungstransportes. Hier sei auf /1/ verwiesen.

Beispiel 3.1
Wir messen mit an einer Zweidrahtleitung Zo = 600 Ω den reellen Wert R = 450 Ω. Das Messgerät zeigt ein VSWR = 9 an. Wie hoch ist das VSWR bezogen auf die Zweidrahtleitung?
Aus der Beziehung für den Reflexionsfaktor

$$\underline{r} = (\underline{Z}_2 - Zo) / (\underline{Z}_2 + Zo) \qquad \text{(Gl.3.1)}$$

und hier bezogen auf Zo = 600 Ω wird

$$\underline{r} = (450 - 600) / (450 + 600) = -\ 0{,}142$$

und daraus das VSWR im 600 Ω System

$$S = (1 + 0.14) / (1 - 0.14) = 1{,}33.$$

Beispiel 3.2
Wir messen an einer Zweidrahtleitung Zo = 600 Ω bei der Frequenz f = 3.6 MHz die Werte R = 450 Ω, X = 250 Ω und einen Phasenwinkel φ = + 29 grad. Die Messung zeigt eine VSWR = 11,7. Wie hoch ist jetzt das VSWR bezogen auf die 600 Ω Leitung? Nach (Gl.3.1) wird der Reflexionsfaktor

$$\underline{r} = (450 + j\,250 - 600) / (600 + 450 + j\,250) = -\ 0{,}081 + j\,0{,}2575.$$

Unter Anwendung des Pythagoras wird der Betrag r = 0,270 und daraus das Stehwellenverhältnis bezogen auf die 600 Ω - Leitung S_{600} = 1,74.

Bemerkung:
Das Messgerät zeigt im 50 - Ω-System einen Wert von S = 11,73. Wir überprüfen dessen Richtigkeit und berechnen im 50 - Ω - System

$$\underline{r} = (50 - 450 - j\,250) / (50 + 450 + j\,250)$$

und daraus der Betrag r = 0,843 und das VSWR = 11,73. Damit ist die Richtigkeit bestätigt.

Beispiel 3.3
Wurde bei der gleichen 600 Ω Leitung im Kurzschlussfall ein Return-Loss von R_L = 8 dB gemessen, ist der „Matched-Line-Loss“ M_L = 4 dB. (Bei Kurzschluss ist der Return-Loss unanhängig von der Systemimpedanz (siehe Gl.1.2 und /1/).
Aus (Gl.1.3) berechnet sich der Dämpfungsfaktor a zu

$$a = 10^{0.4} = 2{,}51$$

und daraus der Reflexionsfaktor am antennenseitigen Ende

$$r_{ant} = 0{,}270 * 2{,}51 = 0{,}678.$$

Das Stehwellenverhältnis VSWR oben an der Antenne ist bei diesem Dämpfungswert von $M_L = 4$ dB

$$S = (1 + 0.678) / (1 - 0.678) = 5{,}22$$

und hat sich durch die Kabeldämpfung von S = 5,22 direkt an der Antenne zum Leitungsanfang hin auf S = 1,74 verbessert. Bei hoher Kabeldämpfung ist bekanntlich das Stehwellenverhältnis am Kabeleingang immer S = 1. Dafür kommt aber „oben“ an der Antenne auch keine Leistung mehr an.

In Beispiel 3.2 war der Reflexionsfaktor für eine komplexe Last zu bestimmen. Die Messwerte waren R = 450 Ω, X = 250 Ω, Phasenwinkel φ = + 29 grad.
Will man nicht rechnen und braucht nur den ungefähren Wert des Reflexionsfaktors kann das Smith-Chart verwendet werden. Dazu müssen im ersten Schritt die Messwerte normiert werden. Die Normierungsimpedanz muss Zn = 600 Ω sein, will man den Reflexionsfaktor im 600 Ω System ermitteln.

Die Normierung ergibt

$$\underline{z} = (450 + j\,250)\ \Omega / 600\ \Omega = 0.75 + j\,0.42$$

Trägt man diesen normierten Wert ins Smith-Chart ein, so hat man den Radius-Vektor von diesem Punkt zum Mittelpunkt des Diagramms. Danach kann mit einem Zirkelschlag (r = konst.) auf die reelle Achse (im Uhrzeigersinn) das VSWR abgelesen werden. Dieser ist mit ausreichender Genauigkeit S = 1.72.

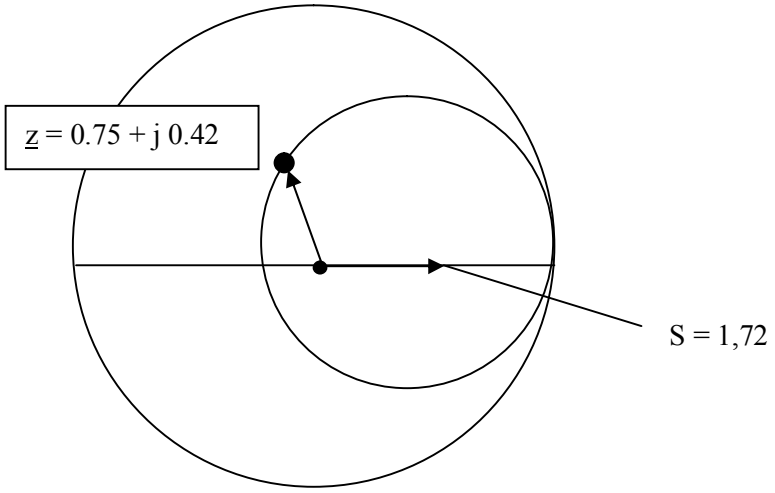

Bild 1

Die Genauigkeit reicht für Amateurzwecke allemal aus. Wir haben hier also eine sehr einfache Möglichkeit aus der Messung einer komplexen Impedanz sofort das VSWR zu ermitteln.

Manchmal ist unter dem Smith-Chart auch eine Skala angebracht. An dieser kann der Reflexionsfaktor r und das Stehwellenverhältnis direkt abgelesen werden.

4. Die messtechnische Bestimmung des Wellenwiderstandes

Der Wellenwiderstand Zo ist neben der Dämpfung eine wichtige Kenngröße einer Leitung. Bei allen Berechnungen wird die Kenntnis des Zo vorausgesetzt. Es gibt diverse Möglichkeiten den Wellenwiderstand zu bestimmen (siehe /1/). Will man messtechnisch den Wellenwiderstand ermitteln, so ist die einfachste Methode die Kapazitätsmessung eines ausreichend langen Leitungsstückes bei offenem Kabelende.
Für den Wellenwiderstand gilt die zugeschnittene Größengleichung /1/

$$Ro = \sqrt{\varepsilon_r} / (C' * v) = 33,3\ \Omega \quad \sqrt{\varepsilon_r} \quad \frac{pF/cm}{C'} \qquad \text{(Gl.4.1)}$$

Es genügt also die Messung der Kapazität und daraus der Kapazitätsbelag C` um den Wellenwiderstand Zo einer Leitung berechnen zu können. v ist die Lichtgeschwindigkeit mit 3 mal 10^{10} cm/s.

Beispiel 4.1
Gemessen wird eine 10 m lange Zweidrahtleitung. Der Kapazitätsmesswert ist 55 pF. Der Kapazitätsbelag ist somit C`= 55 pF/1000 cm.
Eingesetzt in die (Gl.4.1) berechnet sich mit $\varepsilon_r = 1$ für Luftisolation der Wellenwiderstand zu

$$Ro = 33.3 * 1000 / 55 = 605\ \Omega.$$

Dabei ist es für Amateurzwecke unbedeutend, ob der Wellenwiderstand Zo = 600 oder 605 Ω ist.

Bild 2

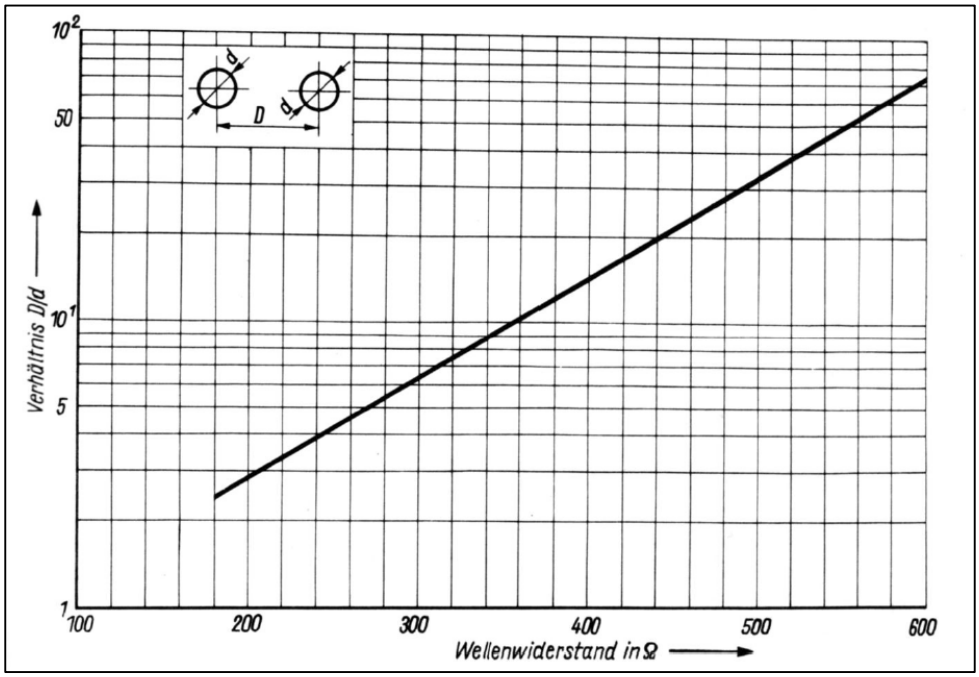

Bild 2: zeigt den Wellenwiderstand einer Zweidrahtleitung bei Luftisolation $\varepsilon_r = 1$

5. Messung der Symmetrie

Auf HF-Leitungen ist der Gegentaktmode der gewünschte Betriebszustand. Der hochfrequente Strom fließt in dem einen Leiter in Richtung Antenne und in dem anderen zurück. Durch unsymmetrische Belastungen können sich Gleichtaktanteile überlagern. Die Ströme in den Leitern sind dem Betrage nicht mehr gleich und führen zu Ausgleichströmen, die über Erde und dann auf der Außenhaut von Geräten und koaxialen Zuleitungen zurück fließen. Sie sind oftmals Ursache für nicht erklärbare Störungen und Einstreuungen in den Modulationskanal. Daher ist es von Wichtigkeit die Symmetrie zu kennen und zu überprüfen.

5.1 Messungen der Symmetrie durch Impedanzmessung

Die Messung erfolgt mit oben genannten Messgeräten in 2 Schritten.

Schritt 1:
Eine Ader der Zweidrahtleitung wird an Masse gelegt. An der anderen Ader wird die Impedanz gegen Masse gemessen. Dieses sei der Wert $\underline{Z}_1$.

Schritt 2:
Jetzt wird das Verfahren an der anderen Ader durchgeführt. Der Messwert sei $\underline{Z}_2$. Ist die Leitung symmetrisch sollte $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2$ sein. Wichtig ist, das jeweils die andere Ader an Masse liegt. Der Messwert zwischen den beiden Leitern ergibt die frequenzabhängige Eingangsimpedanz der Leitung. Aus allen drei Messwerten können die Konstanten der symmetrischen Leitung bestimmt werden /1/.

5.2 Bestimmung von Gleichtakt- und Gegentaktströmen durch Strommessung

Eine Methode zur messtechnischen Ermittlung der Gleichtaktanteile ist die Messung der HF-Ströme bei einer Zweidrahtleitung durch Wandler. Zwei gleiche Stromwandler werden über die Adern a und b einer Zweidrahtleitung geschoben und der sich einstellende sekundäre Strom gemessen. Der Wandler muss niederohmig – nahe dem Kurzschluss – mit einem induktionsarmen Widerstand abgeschlossen werden, weil dieser Transformator mit einem eingeprägten Strom arbeitet.
Danach kann eine Gleichrichtung mit nachfolgendem µA-Meter folgen oder es wird ein 2-Kanal Oszillograph oder ein HF-Voltmeter zur Anzeige verwendet. Die Ströme müssen bei Symmetrie dem Betrage nach gleich sein. Die halbe Differenz ist der Gleichtaktanteil. Absolutwerte müssen nicht ermittelt werden, es reichen Relativwerte.

Beispiel 5.1
Mittels Strom-Wandler werden auf einer „ Hühnerleiter“ in Ader a ein HF-Strom von I = 8 A und in der Rückleitung I = 6 A gemessen. Die halbe Differenz ist D/2 = (8 - 6) A/2 = 1 A.
Der Gleichtaktstrom beträgt Ig = 1 A.

Die Frage, die sich anschließt: „Was kann ich tun, damit meine Gleichtaktanteile verschwinden? Diese Frage ist nicht einfach zu beantworten und hängt davon ab, wodurch die Unsymmetrie verursacht wird.
Eine erste Maßnahme ist die Verwendung eines Übertragers hinter dem Koppler. Hier heben sich die Gleichtaktanteile im antennenseitigen Sekundärkreis auf und die Anpassschaltung wird von Gleichtaktanteilen verschont.
Dazu hat sich ein Variometer aus russischen Beständen als besonders geeignet herausgestellt, das als 1 : 4 Transformator geschaltet werden kann, wenn die Impedanzverhältnisse der Zuleitung einen Übertrager mit 1 : 4 zulassen.

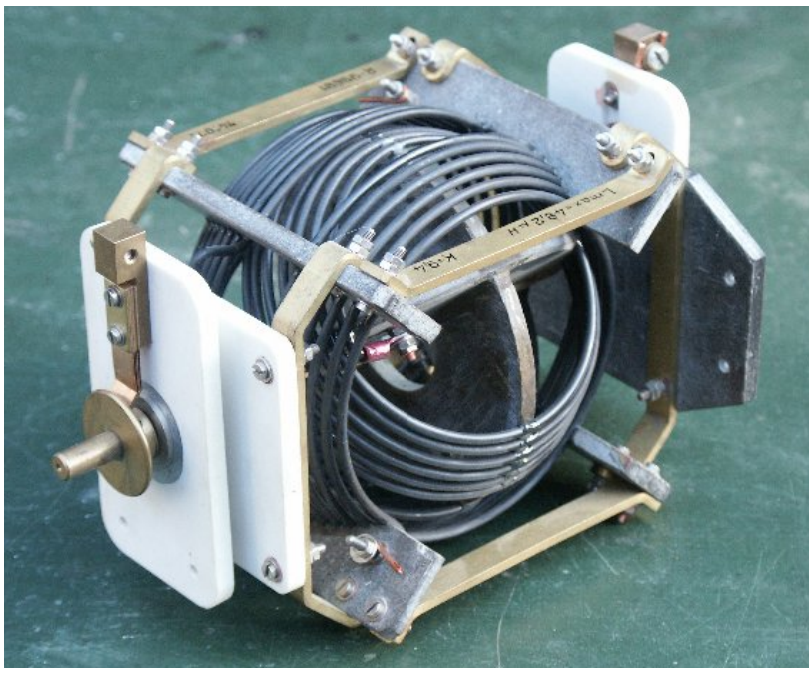

Bild 3:

Bild 3 zeigt ein Variometer aus russischen Beständen mit $L_1 = L_2 = 12$ µH und einem Koppelgrad k = 0.916 – eine gekonnt gute Ausführung.

Damit der OM seinen Nachbarn nicht ständig als „ Gast “ hat, ist der Gegentaktbetrieb von Vorteil. Bei einer netten Nachbarin ein Möglichkeit zur Kontaktaufnahme.

DL3LH, Walter
wa-schau@t-online.de
dl3lh@gmx.de
www.heide-holst.de
http://www.baeckerei-heitmann.de/DF1BT

This document was created with Win2PDF available at http://www.win2pdf.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.