

Antennen Messtechnik III

**Messtechnische und rechnerische
Erfassung der Verluste
in KW - Koppel - Systemen**

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

Vorwort

Der Betrieb einer Antenne im KW - Bereich erfordert eine Anpassschaltung, Hier greift der Amateur auf die von vielen Firmen angebotene Industriemodellen zurück oder baut manchmal noch selbst. Pi- und T-Filter, Z- und S- Match, Resonanzkoppler kommen zur Anwendung. Hier kann ja nichts verkehrt gehen, ist die gängige Meinung. Doch auch Koppelsysteme haben so ihre Eigenheiten und vor allem Verluste, die bei falscher Dimensionierung einen Großteil der teuer erzeugten Leistung in Wärme wandeln. Meist werden die Verluste nicht offensichtlich, da sich bei kurzen Sprach-Durchgängen die Wärmeentwicklung kaum bemerkbar macht. Erst bei einem Dauerträger zu Testzwecken geht so mancher Tuner in Rauch und Flammen auf oder die Einschübe verziehen sich durch die Wärmeentwicklung. Die richtige Dimensionierung ist daher von großer Wichtigkeit /2/. Welche Verluste hat das von mir eingesetzte Koppelsystem an meiner Antennenanlage? Dieser Frage wollen wir nachgehen.

1. Verluste in Koppelsystemen

Am Eingang einer Antennenzuleitung treten beliebige komplexe Impedanzen \underline{Z} auf. Damit die maximal mögliche Wirkleistung in die Antennenzuleitung abgegeben werden kann, wird zur Anpassung ein Koppelsystem eingesetzt. Das Anpassnetzwerk besteht aus Induktivitäten, Kapazitäten und Transformatoren. Maßgeblich für Verluste sind die Induktivitäten, deren Güte kaum höher als 200 liegt. Auch Kapazitäten haben Verluste, die allerdings wesentlich geringer sind.

Aus dieser einfachen Tatsache kann schon abgelesen werden, dass die Anzahl der verwendeten Induktivitäten die Verluste bestimmt. Je mehr Induktivitäten im Einsatz sind, desto größer sind auch die Verluste. Die sinnvollste Lösung ist eine Anpassschaltung ganz ohne Induktivitäten, was durch die richtige Wahl der Länge der Antennenzuleitung und dessen Wellenwiderstandes in den meisten Fällen erreicht werden kann /2/. Die Verluste in Koppelsystemen sind immer abhängig von der Lastimpedanz - reell, induktiv, kapazitiv, hoch- oder niederohmig. Kapazitive Lasten führen immer zu höheren Verlusten als induktive, weil verlustbehaftete Induktivitäten zur Anpassung erforderlich werden. Hochohmige Impedanzen bedingen geringere Ströme und damit geringere Verluste in den Induktivitäten /3,4/.

2. Bestimmung der Verluste des Koppel-Systems

In einer Antennenanlage interessieren die tatsächlichen Verluste des Koppelsystems und die Verluste auf der Zuleitung. Die Ermittlung der Verluste auf der Antennenzuleitung ist in Messtechnik I beschrieben. Bleibt noch die Frage: Wie viel Verluste hat mein Koppelsystem an meiner Antenne? Messtechnisch ist die Ermittlung der tatsächlichen Verluste eine Kleinigkeit, wenn die betreffende Ausrüstung zur Verfügung steht. Doch auch ohne ein voll ausgestattetes Labor ist es dem Amateur möglich die Verluste durch einfache Messung und ein wenig Rechnung zu ermitteln. Die tatsächliche Leistung „oben“ an der Antenne wird für die gesetzlich vorgeschriebene „Selbsterklärung“ notwendig und ist entscheidend für eine Betriebsgenehmigung. Wie kann ich mit „Amateur-Mitteln“ die Verluste bestimmen?

Um diese Frage zu beantworten betrachten wir das Ersatzschaltbild einer Antennenanlage nach Bild 1. Der Sender erzeugt die hochfrequente Leistung. Zwischen Sender und Anpassschaltung ist ein VSWR - Meter eingefügt um den Anpassungszustand zwischen Senderausgang und Eingang APN zu messen. Im richtig abgestimmten Fall muss hier immer $S = 1$ sein.

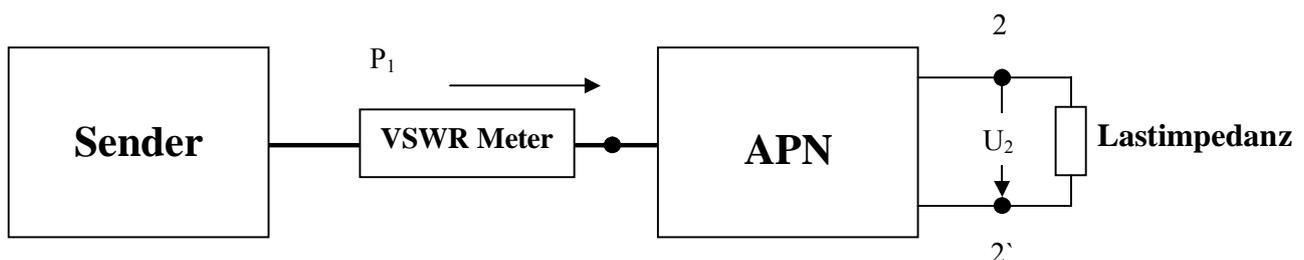


Bild 1: Ersatzschaltbild einer Antennenanlage mit VSWR Meter zur Messung der Anpassung zwischen Anpassschaltung und Sender

Vom Sender wird die Leistung P_v zur Verfügung gestellt, die nur bei totaler Anpassung zwischen Anpassnetzwerk und Sender auf die Anpassschaltung übergeht. Es gilt

$$P_1 = P_v \cdot 4S / (1 + S)^2. \quad (\text{Gl.1})$$

An den Ausgangsklemmen 2 – 2` des APN bestimmen wir die Wirkleistung P_2 . Die Differenzleistung zwischen Ein- und Ausgang ist die gesuchte Verlustleistung $\Delta L = P_1 - P_2$ des Koppelsystems.

Die Eingangsleistung P_1 wird mit einem Leistungsmesser, das eingangsseitige VSWR mit einem Stehwellenmessgerät gemessen. Kombigeräte beinhalten beides. Bei $S = 1$ ist die rücklaufende Leistung Null und nach (Gl.1) wird $P_1 = P_v$. An den Ausgangsklemmen 2 – 2` können wir mit einem HF-Voltmeter die Effektivspannung \underline{U}_2 und die Impedanz mit den bekannten Messgeräten wie AEI, Vectronics, HP usw. bestimmen. Aus Impedanz und Spannung erfolgt mittels Rechnung die Wirkleistung P_2 .

2.1 Wirkleistung an einer komplexen Serien-Last

Die genannten Messgeräte stellen bei einer bestimmten Frequenz f die Impedanz mit Real-, Imaginärteil und Phasenwinkel dar. Die komplexe Impedanz entspricht einer Serienschaltung und ist

$$\underline{Z} = R \pm j X \quad (\text{Gl.2})$$

mit R als dem Realteil und $\pm X$ als Imaginärteil. Wird der Phasenwinkel (+) gezeigt, haben wir eine Serieninduktivität, bei (-) liegt eine Kapazität in Reihe.

Bei bekannter Spannung \underline{U}_2 , fließt nach dem Ohmschen Gesetz der komplexe Strom

$$\underline{I} = \underline{U}_2 / \underline{Z} \quad (\text{Gl.3})$$

und die Wirkleistung wird mit (Gl.3)

$$P_w = |\underline{I}|^2 \cdot R = U_2^2 R / |\underline{Z}|^2 \quad (\text{Gl.4})$$

wobei sich der Betrag von \underline{Z} aus der bekannten Beziehung nach dem Pythagoras

$$|\underline{Z}| = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (\text{Gl.5})$$

ergibt /8/. Mit diesen Kenntnissen ausgerüstet, können wir die Verluste eines beliebigen Koppelsystems bestimmen und einzelne Systeme bezüglich ihrer Effektivität vergleichen.

3. Notwendige Messungen am Koppelsystem

Um die Verluste im Koppelsystem zu ermitteln, sind folgenden Messungen erforderlich:

1. **Messung des VSWR zwischen Sender und Anpassnetzwerk** – es sollte $S = 1$ sein
2. **Messung der Abschlussimpedanz nach Real- und Imaginärteil, $\underline{Z} = R \pm j X$**
3. **Messung der Eingangsleistung**
4. **Messung der Effektiv-Spannung an den Klemmen, an denen die Impedanz gemessen wurde**

4. Beispiele

4.1 Beispiel I

Es wird ein unbekanntes, symmetrisches Koppelsystem zur Anpassung an eine symmetrische 600Ω Leitung der Länge 22 m verwendet. Das Stehwellenmessgerät zeigt bei $P_1 = 100 \text{ W}$ Eingangsleistung ein $S = 1.2$ an. Am Ausgang ergab sich durch Differenzmessung $\underline{U}_{\text{eff}} = 205 \text{ V}$.

Die Impedanz bei der Frequenz $f = 3,6 \text{ MHz}$, gemessen mit einem AEI (am gleichen Klemmenpaar an dem die Spannung gemessen wurde) ist $\underline{Z} = (77 + j 190) \Omega$. Wie hoch sind die Verluste in diesem Koppelsystem?

Die tatsächlich in das System gelieferte Leistung nach (Gl.1) ist

$$P_1 = 100 \text{ W} \cdot 1,2 \cdot 4 / (2,2)^2 = 100 \text{ W} \cdot 0,9917 = 99,17 \text{ W}$$

und die rücklaufende Leistung nur $P_r = 100 \text{ W} - 99,17 \text{ W} = 0,83 \text{ W}$.

An den Ausgangsklemmen liegt die gemessene Spannung $\underline{U}_2 = 205 \text{ V}_{\text{eff}}$.

Die Wirkleistung P_2 wird mit (Gl.4)

$$P_2 = (205 \text{ V})^2 \cdot 77 \Omega / [77^2 + 190^2] \Omega^2 = 76,99 \text{ W}.$$

Die Differenzleistung ist $\Delta L = (99,17 - 76,99) \text{ W} = 22,17 \text{ W}$ und der gesuchte Verlust des Anpasssystems. Der Verlust in dB berechnet sich zu

$$D_{\text{eff}} = 10 \log (76,99 / 99,17) = 1,099 \text{ dB}$$

und der Wirkungsgrad wird

$$\eta = P_2 / P_1 = 76,99 / 99,17 = 0,7763 \text{ oder auch } 77,63 \%$$

d.h. rund 23 % der Sendeleistung wird im System in Wärme gewandelt – viel zu hoch, denn zu den Verlusten im Koppelsystem addieren sich noch die Verluste auf der Antennenzuleitung, die nach [7] bestimmt werden können und sich zu $T_L = 0,122 \text{ dB}$ berechnen.

Die Gesamtverluste sind $T_{\text{ges}} = 0,122 \text{ dB} + 1,099 \text{ dB} = 1,221 \text{ dB}$, d.h. bei einer verfügbaren Leistung von $P_v = 1000 \text{ W}$ erreicht die Antenne eine Wirkleistung von $P = 754,91 \text{ W}$, die sich mit einem Antennenwirkungsgrad von $\eta = 90 \%$ auf $P_{\text{ant}} = 679,42 \text{ W}$ reduziert.

4.2 Beispiel II

Es sollen die Gesamtverluste eines APNs für eine Mobilantenne bestimmt werden. Die Fußpunktimpedanz der Auto-Antenne bei $f = 3,6 \text{ MHz}$ wird zu $\underline{Z} = (5 - j 400) \Omega$ gemessen. Die Spannung am Fußpunkt der Antenne ist $U_{\text{eff}} = 2663 \text{ V}$ bei einer Eingangsleistung von $P = 500 \text{ W}$. Die Anpassschaltung wurde auf exakt $\text{VSWR } S = 1$ eingestellt. Wie hoch sind die Verluste des verwendeten Anpassnetzwerkes?

Mit (Gl.4) wird die an die Mobilantenne abgegebene Wirkleistung

$$P_2 = (2663 \text{ V})^2 \cdot 5 \Omega / [5^2 + 400^2] \Omega^2 = 221,57 \text{ W}.$$

Die Differenz zwischen Eingangs- und der am Fußpunkt des Mobilstrahlers berechneter Leistung beträgt $\Delta L = (500 - 221,57) \text{ W} = 278,42 \text{ W}$ und ist der Verlust des Anpassnetzwerkes. Berechnen wir noch den Verlust in dB, dann ist dieser $D = 10 \log (500/221,57) = 3,534 \text{ dB}$ - viel zu hoch, denn 278 W werden nutzlos in Wärme gewandelt. Abhilfe unter [3].

5. Zusammenfassung:

Mit der vorgestellten Vorgehensweise haben wir eine einfache Möglichkeit die Verluste unseres Anpasssystems oder auch die Verluste eines Gesamtsystems zu ermitteln. Es kann aus beliebig vielen Komponenten bestehen. Wichtig ist nur, dass Impedanz- und Spannungsmessung am gleichen Klemmenpaar erfolgen. Ist der Ausgang eine symmetrische Leitung und steht für die Spannungsmessung nur ein asymmetrisches HF-Voltmeter zu Verfügung, kann durch Differenzmessung gegen Erde der Betrag der Spannung am Klemmenpaar $2 \cdot U$ ermittelt werden. Mit der vorgestellten Methode lassen sich beliebige Koppelsysteme messtechnisch erfassen und wirklich vergleichen.

DL3LH, Walter
wa-schau@t-online.de
d3lh@gmx.de
www.heide-holst.de

Literatur:

- /1/ ARRL Handbock,
- /2/ „Kurze Antennen“, Janzen
- /3/ „Passive Netzwerke“, DL3LH, W. Schau
- /4/ „Die Antenne macht die Musik“ DL3LH
- /5/ „Pi –Filter mit Verlusten“ DL3LH
- /6/ „T – Anpassnetzwerk“ DL3LH
- /7/ „Antennenmesstechnik I“, DL3LH
- /8/ „Antennenmesstechnik II“, DL3LH

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.