

SWR-Meter-Berechnung – nicht nur für Langwelle

HANS-JOACHIM BRANDT – DJ1ZB

Die Sendeleistung wird der Amateurfunkantenne auf Langwelle wie auf Kurzwelle über ein Kabel zugeführt. Für die Kontrolle der Anpassung ist dann ein geeignetes SWR-Meter erforderlich.

SWR-Meter für den Mittel- und Langwellenbereich sind nicht handelsüblich, deshalb sei hier die Berechnung eines solchen Geräts beschrieben. Der leicht überschaubare Rechengang gilt aber ebenso für Stehwellenmesser mit Ferritringkern, die für Kurzwelle dimensioniert werden.

Vor allem kleinere Sendeanlagen stehen oft direkt am Einspeisepunkt der Antenne und enthalten dann auch die erforderlichen Abstimmmittel und -anzeigen. Eine derartige Installation ist bei Amateurfunkantennen auf Langwelle nicht zu empfehlen.

Um BCI und TVI zu vermeiden, sollten das Zentrum des Erdnetzes und damit die Einspeisestelle der Antenne ausreichend vom Haus abgesetzt sein. Die Sendeleistung wird der Antenne wie auf Kurzwelle über ein Kabel zugeführt. Für die Kontrolle der Anpassung ist dann ein geeignetes SWR-Meter erforderlich, das selbstverständlich nicht im Handel erhältlich ist, weshalb nur ein Selbstbau in Frage kommt.

Arbeitsprinzip

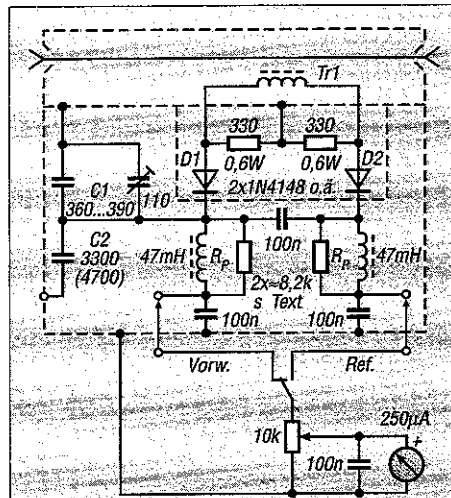
SWR-Meter für 1,8 MHz und darüber gibt es mit Ringkern und in Streifenleitertechnik. Letztere sind bei 1,8 MHz schon recht unempfindlich und nur bei hoher Leistung zu gebrauchen. Eine Verlängerung des Streifenleiters um den Frequenzfaktor $1800/136 = 13$ für den Einsatz auf Langwelle ist daher praktisch nicht durchführbar.

Das Prinzip des SWR-Meters mit Ringkernübertrager und kapazitivem Spannungsteiler läßt sich dagegen ohne weiteres auch bei niedrigeren Frequenzen anwenden. Wenn man sich in ein neues Frequenzgebiet begibt, in dem Erfahrungswerte nicht vorliegen, tut man gut daran, etwas zu rechnen.

Stromlaufplan

Der Stromlaufplan gibt eine von der Kurzwelle her bewährte Schaltung wieder. Für 30 MHz beträgt der maximal mögliche Parallelwiderstand zur Wicklung des Stromwandlers etwa 430Ω ; bei höheren Werten machen sich kapazitive Nebenschlüsse störend bemerkbar. Auf Langwelle tritt dieses Problem so schnell nicht auf; man könnte diesen Widerstand für ein spezielles QRPP-SWR-Meter wesentlich höher machen.

Unangenehm wären dann eher die vielen Windungen dünnen Drahtes, die man durch den Ringkern wickeln müßte, denn der Blindwiderstand der Stromwandlerwicklung soll entsprechend einer Dimensionie-



Stromlaufplan des LW-Stehwellenmessers. Für C1 ist ein Styroflex- oder Glimmerkondensator für 400/630 V – empfehlenswert, für C2 ein Wima FK2 für 63 V. Für D1 und D2 eignen sich 1 N 4148, HPA 2800, AA 117, AA 118 o.ä. Für Tr1 wurde ein Ringkern Amidon FT 50B-77 mit 60 Wdg. CuL eingesetzt.

rungsregel für Stromwandler mit geringem Phasenfehler mindestens zehnmal so groß sein wie der daran angeschlossene ohmsche Parallelwiderstand.

Berechnung des Stromwandlers

Setzen wir als Parallelwiderstand für die Vorlauf- und die Rücklaufseite je 330Ω an. Dieser Wert hat sich nach einigem Rechnen als guter Kompromiß herausgestellt (s.u.). Bei einem Gesamt-Parallelwiderstand von 660Ω muß der induktive Widerstand der Stromwandlerspule bei 136 kHz mindestens 6600Ω betragen. Die benötigte Induktivität ist dann

$$L = \frac{XL}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{6,6 \text{ k}\Omega}{6,28 \cdot 136 \text{ kHz}} = 7,73 \text{ mH}$$

Nun beginnt die Suche nach einem geeigneten Ringkern. Er soll nicht zu groß sein, samt Wicklung gerade über einen Innenleiter des bekannten Kabels RG-58/u mit Isolation passen und nicht zu viele Windungen benötigen. Die Wahl fiel auf den Amidon-Kern FT50B-77 mit einem A_1 -Wert

von 2,16 nH (bezogen auf 1 Wdg.). Als Windungszahl ergibt sich

$$n = \sqrt{\frac{7730 \text{ nH}}{2,16 \text{ nH}}} \approx 60$$

Der Innendurchmesser des Ringkerns beträgt 7,8 mm, der Innenumfang demnach 24,5 mm. Der Außendurchmesser des Kupferlackdrahtes muß also deutlich unter 0,4 mm liegen.

Spannungsteilung

Welche Spannung entsteht nun an einem der 330Ω -Widerstände? Als glattes Zahlenbeispiel eignet sich gut eine Leistung von 50 W an einem 50Ω -Kabel. Die Kabelspannung beträgt dann

$$U = \sqrt{P \cdot Z} = \sqrt{50 \text{ W} \cdot 50 \Omega} = 50 \text{ V}$$

und der Strom im Kabel

$$I = \sqrt{\frac{P}{Z}} = \sqrt{\frac{50 \text{ W}}{50 \Omega}} = 1 \text{ A}$$

Nach den Gesetzen des Transformators entsteht daher in der Stromwandlerspule ein Strom von 1/60 A. Der Spannungsabfall an jedem der 330Ω -Widerstände beträgt somit 5,5 V.

Leistungsbereich

Setzen wir als Gleichrichter eine Germanium- oder Hot-Carrier-Diode voraus, können wir bereits mit 1/10 von 5,5 V eine brauchbare Anzeige erwarten (was die Praxis später bestätigt hat). Das entspräche einer Leistung von einem Hundertstel von 50 W, also 0,5 W.

Übliche HF-Dioden besitzen eine Durchbruchspannung von 75 V. In Gleichrichterschaltungen mit Ladekondensator sollte man sie nur mit 1/3 davon belasten, also mit $U_{\text{eff}} \leq 25 \text{ V}$. Von dieser Spannung entfällt die Hälfte auf den Parallelwiderstand des Stromwandlers für den Vorlauf. Die andere Hälfte stammt phasenrichtig addiert von einem kapazitiven Teiler, der an die Kabelspannung angeschlossen ist. Zur Ermittlung der maximal möglichen Leistung können wir daher folgenden Ansatz machen:

$$P_{\text{max}} = \left(\frac{12,5 \text{ V}}{5,5 \text{ V}}\right)^2 \cdot 50 \text{ W} = 258 \text{ W}$$

Bei dieser Leistung müssen die 330Ω -Widerstände eine Leistung von

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{12,5^2 \text{ V}^2}{330 \Omega} = 473 \text{ mW}$$

aushalten. Für die Widerstände müssen also Bauformen mit einer Belastbarkeit von mindestens 0,5 bis 0,6 W eingesetzt werden. Um die maximal zulässige Durchgangsleistung des SWR-Meters zu verringern und damit die Empfindlichkeit bei niedrigen Durchgangsleistungen zu verbessern, muß

man einen höheren Parallelwiderstand des Stromwandlers ansetzen und die Induktivität sowie die Windungszahl der Stromwandlerspule neu berechnen.

Für die Erhöhung der maximalen Durchgangsleistung ist der umgekehrte Weg zu wählen. Im einfachsten Falle verringert man bei gleicher Spule den Parallelwiderstand ($X_L/R_p > 10$); wird der Ferritkern zu warm, kann das ggf. einen größeren Kern oder einen mit geringerer Permeabilität erforderlich machen.

■ Kapazitiver Teiler

Wenn der Stromwandler bei 50 W Leistung an 330 Ω eine Spannung von 5,5 V abgibt, muß der kapazitive Teiler dasselbe tun. Bei exakter Anpassung verdoppelt sich so die Spannung für die Vorlaufanzeige bzw. reduziert sich für die Rücklaufanzeige auf Null. Die Teilerkapazitäten müssen sich dann zueinander verhalten wie

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{U_1 - U_2}{U_2} = \frac{50 \text{ V} - 5,5 \text{ V}}{5,5 \text{ V}}$$

Das Anzeigeinstrument benötigt für Vollausschlag 250 µA. Damit der kapazitive Teiler auch bei einer Leistung von 0,5 W (entsprechend einer Spannung von nur 5 V) noch das Zehnfache dieses Stroms als HF-Strom aufnimmt, müßte er einen Blindwiderstand von

$$X_C = \frac{5 \text{ V}}{2,5 \text{ mA}} = 2 \text{ k}\Omega$$

haben. Ein solcher Wert beeinflusst ein 50-Ω-System in der Anpassung praktisch noch nicht. Bei 136 kHz entspräche das einer Kapazität von

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 136 \text{ kHz} \cdot 2 \text{ k}\Omega} = 585 \text{ pF}$$

Für einen Teilungsfaktor von 8,09 müßte die obere Kapazität dann 657 pF betragen und die untere 5315 pF. Wählt man für den unteren Kondensator einen Normwert von 4700 pF, wird die Kapazität des oberen 581 pF. Da dies kein Normwert ist und beide Kapazitäten des Teilers Toleranzen aufweisen, muß man die kleinere abgleichbar gestalten.

Der Kondensator setzt sich daher aus einem spannungsfesten Festkondensator von 510 pF oder 560 pF und einem Trimmer von 110 pF, dem größten handelsüblichen Folientrimmer, zusammen. Eine ebenfalls noch brauchbare Lösung wäre 3300 pF für den unteren Kondensator und 408 pF für den oberen, realisiert mit einem Festkondensator von 360 pF oder 390 pF und dem gleichen Trimmer.

■ Resonanz der Verdrosselung

Die HF-Drosseln im Gleichstromweg bilden mit dem Kondensator C2 des kapazitiven Teilers eine Resonanz, die eine frequenz-

unabhängige Spannungsteilung stören kann. Zur Abhilfe muß diese Resonanz möglichst tief gelegt werden. Bei einem Wert von $C_2 = 3300 \text{ pF}$ und einer Drosselinduktivität von 47 mH liegt diese bei

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{47 \cdot 10^{-3} \cdot 3000 \cdot 10^{-12}}} = 12,8 \text{ kHz}$$

und damit um den Faktor 10 ausreichend unterhalb der Betriebsfrequenz. Die Abblockkondensatoren der Gleichstromausgänge sind mit 0,1 µF auch für Langwelle genügend niederohmig. Damit wären die wesentlichen Bauteile der Schaltung (s. Bild 1) bestimmt.

■ Bedämpfung von C2

Bei der Inbetriebnahme des SWR-Meters wird man feststellen, daß das Rückflußminimum auch bei Abschluß mit einem einwandfreien 50-Ω-Widerstand nach dem Abgleich von C1 einen gewissen Restfehler aufweist. Er ließe sich durch Erhöhen des Faktors X_L/R_p des Stromwandlers über 10 hinaus oder aber durch eine leichte, empirisch zu ermittelnde Bedämpfung der Teilerkapazität C2 verkleinern.

Dazu schaltet man parallel zu C2 ein Trimpotentiometer von 10 bis 22 kΩ in Reihe zu einem 0,1-µF-Kondensator zur Gleichstromtrennung. Durch Abgleich des Trimpotentiometers und Nachgleichen von C1 läßt sich ein einwandfreies SWR-Minimum erzielen. Um den Trennkondensator zu sparen, bedämpfe ich die 47-mH-HF-Drosseln (unter Verwendung des nächsthöheren Widerstands der Normreihe) gern mit dem doppelten Wert ihres Blindwiderstandes.

■ Hinweise für den praktischen Aufbau

Für das Mustergerät habe ich ein handelsübliches CB-SWR-Meter einfachster Art gekauft und dessen HF-Teil, üblicherweise eine Leiterplatte, entfernt. Empfindlichkeitssteller und Instrument werden weiterhin benutzt. Für die Verbindung zwischen den beiden Koaxialbuchsen habe ich ein passendes Stück vom Innenleiter des Kabels RG-58/u mit Isolation zurechtgeschnitten und zusätzlich einen Rüscheschlauch darüber geschoben. Dadurch hat der aufgeschobene bewickelte Ringkern des Stromwandlers einen guten Halt.

Die Befestigungsschrauben der Koaxialbuchsen des SWR-Meters (im Muster je zwei pro Buchse) wurden durch überlange M3-Schrauben ersetzt. Sie tragen innen zunächst mit Kontermuttern in einem Abstand von 17 mm zur Rückwand eine Abschirm-

platte aus Aluminium. In diesem Zwischenraum befindet sich auf dem Verbindungskabel zwischen den Koaxialbuchsen nur der Ferritkern mit dem Stromwandler. Die Anschlüsse des Stromwandlers werden durch ein Loch in der Abschirmwand geführt.

Hinter der Schirmwand ist auf den gleichen überlangen Schrauben auf 5 mm hohen Abstandsrohrchen eine selbstgefertigte Leiterplatte mit der übrigen Meßschaltung befestigt. Sie enthält ebenfalls eine Bohrung für die Durchführung der Stromwandleranschlüsse auf die Bestückungsseite.

Für das Instrument muß die Leiterplatte u.U. eine Aussparung erhalten. Eine weitere Aussparung kann für eine seitliche Blechschraube (zur Befestigung des Gehäusedeckels) erforderlich werden. Nach der Montage wird der heiße Anschluß des kapazitiven Teilers mit einem isolierten Draht mit der einen Koaxialbuchse verbunden.

Die Masseverbindungen erfolgen über die überlangen Schrauben. Zuletzt sind die Verbindungen vom Umschalter Vorw.-Ref und vom Minuspol des Instruments mit der neuen Leiterplatte zu verbinden. Durch Vertauschen dieser Verbindungen oder durch Umpolen der Stromwandleranschlüsse läßt sich die richtige Funktion der Vor- und Rücklaufanzeige erreichen.

Eine Abschirmung zwischen dem RG-58-Innenleiter und der Stromwandlerwicklung hat sich bei den mittengeerdeten Parallelwiderständen (auch bei Kurzweile) nicht als erforderlich erwiesen.

■ Nichtlinearität der SWR-Anzeige

Abschließend sei auf einen Mangel hingewiesen, der bei preiswerten SWR-Metern offensichtlich schwer auszuräumen ist. Theoretisch sollte der Strom durch das Meßinstrument beim Eich- oder Setpunkt immer das Doppelte des Stroms für $S = 3$ und das Dreifache des Stroms für $S = 2$ betragen. Bei einem linearen Meßinstrument liegt daher der Skalenstrich für $S = 3$ stets bei 50 % des Vollausschlags.

Die Skalen der meisten SWR-Meter sind auch dementsprechend gezeichnet, jedoch zeigen die verwendeten Meßwerke deutliche Linearitätsfehler. Mit einer variablen Spannungsquelle und einer geeigneten Einstellung des Potentiometers des SWR-Meters kann man leicht nachprüfen, ob das eingebaute Instrument den genannten Bedingungen entspricht. Wenn nicht, verdreifacht man den Strom für die Anzeige $S = 2$, verdoppelt ihn für die Anzeige $S = 3$ und definiert sich aus den resultierenden Ausschlägen einen neuen Setpunkt auf der Skala. Er liegt meist bei etwa 80 % des Skalenendwertes. Bei Verwendung des Skalenendwertes als Setpunkt wäre das angezeigte SWR andernfalls zu hoch. Ein Abgleich auf minimales SWR ist natürlich trotzdem immer möglich.