

Herwig Feichtinger

Hf-Leistungsmesser – auch für nicht sinusförmige Spannungen

Das Prinzip

Normalerweise, und das heißt bei sinusförmigem Spannungsverlauf, errechnet sich die Leistung einer angepaßten Quelle aus der Beziehung

$$P = \frac{U_{\text{eff}}^2}{R}$$

wobei U_{eff} nicht ohne weiteres direkt gemessen werden kann, sondern meist über den Umrechnungsfaktor 0,707 aus der leichter meßbaren Spitzenspannung abgeleitet wird. Bei Leistungsmessern, die nach diesem Prinzip arbeiten, ergibt sich eine nichtlineare, etwa quadratische Skala [1, 2].

Wesentlich schwieriger ist schon die Messung der Leistung nicht sinusförmiger Spannungen; der obige Zusammenhang zwischen Spitzen- und Effektivwert gilt dann nicht mehr. Als Beispiel sei eine 100 %ig modulierte

Bei sinusförmigen Spannungen und Strömen, wie etwa am Ausgang eines FM-Senders, ist die Bestimmung der Leistung über die bekannten Umrechnungsformeln und -faktoren relativ leicht, wenn man übliche Spitzenwert-Gleichrichter verwendet. Der folgende Bericht zeigt, daß auch andere Kurvenformen mit einer noch recht unaufwendigen Schaltung ausgewertet werden können.

Schwingung (AM mit $m = 1$) angeführt; *Bild 1* zeigt das resultierende Oszillogramm. Der Effektivwert beträgt jetzt nicht mehr etwa 71 %, sondern nur noch 43 % des Spitzenwertes. Ferner würde ein Spitzenwertgleichrichter gegenüber der unmodulierten Spannung die vierfache Leistung anzeigen, obwohl die tatsächliche Leistungszunahme nur 50 % beträgt.

Um diese Probleme zu umgehen, verwendet man teilweise thermische Meßmethoden und nutzt dabei die Widerstandsänderung eines Heißleiters durch die zu messende Hochfrequenz aus. Leider sind übliche NTC-Widerstände wegen ihrer thermischen Trägheit und ihrer Eigenkapazität weniger geeignet, und spezielle Meßheißleiter für diesen Zweck sind nur schwer erhältlich [3].

Die in *Bild 2* vorgestellte Meßmethode arbeitet im Prinzip ebenfalls

thermisch, allerdings wird hier eine Glühbirne als Absorber verwendet.

Diese Glühbirne wird nun gleichzeitig von der zu messenden Hochfrequenz und einem Gleichstrom gespeist, der immer gerade so groß eingestellt wird (dafür sorgt die Regelung in Verbindung mit einem Fototransistor), daß die Helligkeit der Lampe konstant ist. Das bedeutet, daß der Gleichstrom verringert wird, wenn die Hochfrequenz-Eingangsleistung ansteigt, und umgekehrt. Der Rückgang des Gleichstromes wird von einem Instrument angezeigt.

Die Schaltung

Bild 3 zeigt eine Möglichkeit der schaltungstechnischen Realisierung. Die Hochfrequenz gelangt vom Eingang über ein Anpaßnetzwerk, das gleichzeitig durch seine Abschwächung den Meßbereich festlegt, zu einem kleinen 6-V-Glühlämpchen. Als steuerbare

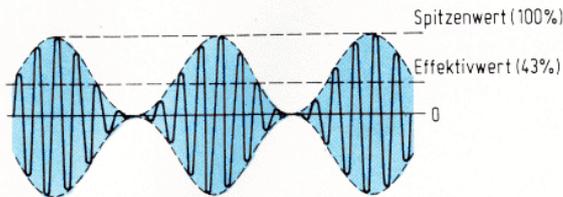
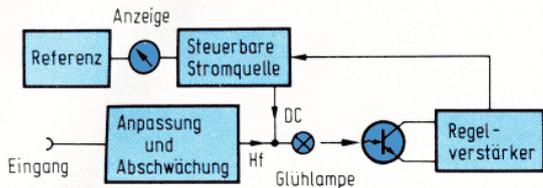


Bild 1. Bei nicht sinusförmigem oder zusammengesetztem Signalverlauf ist der Umrechnungsfaktor zwischen Spitzen- und Effektivwert nicht mehr 0,707



Gleichstromquelle dient ein PNP-Transistor (2 N 2905), dessen Kollektor mit einer Hf-Drossel von diesem Glühlämpchen getrennt ist, um den störenden Einfluß der Kollektorkapazität zu eliminieren. Für diese Drossel kann entweder eine fertige Ausführung mit etwa 50...100 µH verwendet werden, oder man wickelt ca. 30 Wdg. dünnen Kupferlackdraht auf einen kleinen Ferritkern.

Der zweistufige Regelverstärker ist durch ein RC-Glied (1 µF/6,8 kΩ) in seinem Phasengang so korrigiert, daß keine Regelschwingungen auftreten können. Die Einstellzeit der Regelung beträgt bei dieser Dimensionierung nur etwa 100 ms, ein Wert, der bei thermischen Meßmethoden wohl recht selten ist.

Eine zur Schaltung passende Platine zeigt Bild 4, und die Bestückung geht aus Bild 5 hervor. Die Verbindung zwischen Eingangsbuchse und Platine soll über ein 50-Ω-Koaxkabel geschehen, um Fehlanpassungen bei hohen Fre-

quenzen zu vermeiden. Ferner müssen die Widerstände der Eingangsschaltung ungewendelte Schichtausführungen sein. Hält man sich an diese beiden Forderungen, so lassen sich Leistungen etwa zwischen 100 kHz und 150 MHz zuverlässig und genau messen.

Noch eine Bemerkung zu dem Fototransistor: Im Prinzip eignet sich praktisch jede Ausführung. Sollte sich aber in der Bastelkiste nichts Passendes finden, kann man auch zur Feile greifen und einem BC 107 oder einem ähnlichen Transistor mit Metallgehäuse die Kopfplatte abfeilen. Versuche des Verfassers zeigten, daß das Endprodukt den meisten „echten“ Fototransistoren ebenbürtig, ja teilweise sogar an Empfindlichkeit überlegen ist! Im Mustergerät fristet ein solcher „BP 107“ bislang ohne Schwierigkeiten hinsichtlich Empfindlichkeit oder Reststrom sein Krüppeldasein.

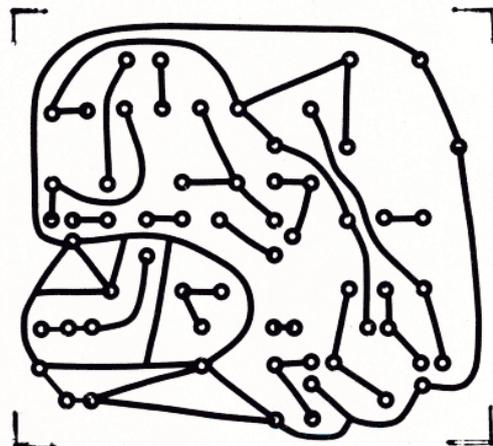


Bild 4. Platine zu der Schaltung in Bild 3

Bild 5. ► Bei der Bestückung ist darauf zu achten, daß besonders die Bauelemente am Eingang (auch das Glühlämpchen) kurzbeinig eingelötet werden

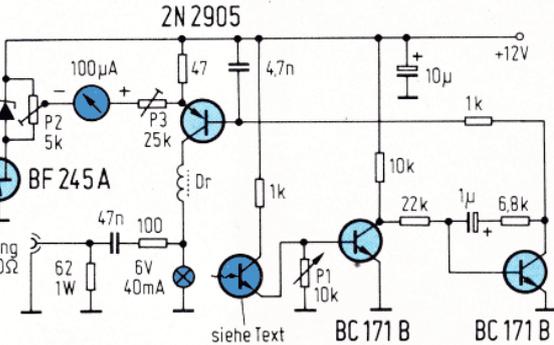


Bild 3. Einfache Realisierung eines thermischen Leistungsmessers. Statt des aus drei Transistoren bestehenden Regelverstärkers wäre natürlich auch ein Operationsverstärker geeignet

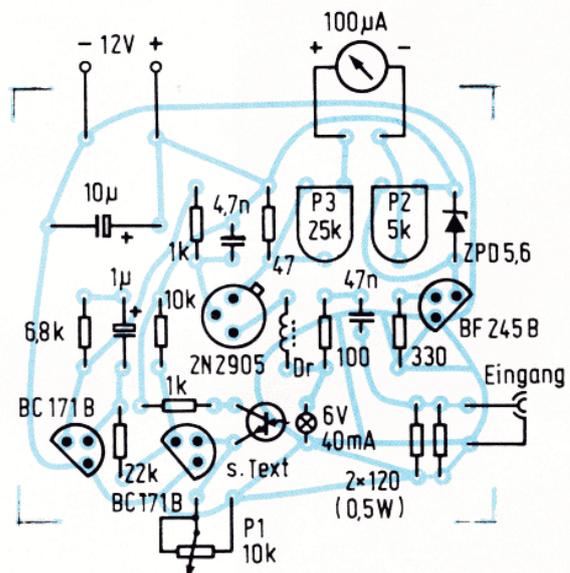
◀ Bild 2. Prinzip eines thermischen Leistungsmessers mit Glühlampe als Absorber

Abgleich des Wattmeters

Den Abgleich des fertig aufgebauten Gerätes nimmt man am besten folgendermaßen vor:

Zunächst stellt man mit P 1 den Gesamtstrom, den das Gerät der 12-V-Stromversorgung entnimmt, auf 42 mA ein (dabei ändert sich natürlich die Helligkeit des Glühlämpchens). Es ist natürlich darauf zu achten, daß möglichst wenig Fremdlicht auf den Fototransistor fällt. Der Nullpunkt des Anzeigeinstruments kann dann mit P 2 eingestellt werden. Sollten sich Hf-Einstreuungen in den Regelverstärker bemerkbar machen, so ist der Fototransistor mit einem 4,7-nF-Kondensator zu überbrücken; solche Einstreuungen machen sich durch eine Änderung der Lämpchen-Helligkeit beim Einschalten der Hf bemerkbar.

Für das Eichen, d. h. den Abgleich von P 3, muß eine Hf-Quelle bekannter



Ausgangsleistung als Vergleichsnormale zur Verfügung stehen. Als Notbehelf kann aber auch eine Nf-Quelle (ca. 1 kHz) mit etwa 5...7 V_{eff} verwendet werden, wobei der Koppelkondensator der Eingangsschaltung (47 nF) mit etwa 25 µF überbrückt werden soll (der Pluspol liegt auf der Seite der Glühbirne). Mißt man den gauen Wert der Wechselspannung nach dem Anschließen des Leistungsmessers mit einem Vielfach-Meßinstrument, so kann aus der Beziehung

$$P = \frac{U_{\text{eff}}^2}{50 \Omega}$$

die tatsächliche Leistung errechnet werden. Schließlich kann dann mit P 3 die Anzeige der errechneten Leistung auf dem Instrument eingestellt werden.

Da im späteren Betrieb P 1 zur elektrischen Nullpunkteinstellung verwendet wird, geht die Alterung der Glühbirne oder ihr mechanischer Abstand zum Fototransistor nicht in die Anzeigegenauigkeit ein.

Da die Skala praktisch linear verläuft und nicht etwa quadratisch wie bei Spitzengleichrichter-Wattmetern, ist es nicht notwendig, sie umzuzeichnen. Die angezeigten Werte auf dem Instrument (0...100 µA) können direkt als Leistung (0...1 W) interpretiert werden.

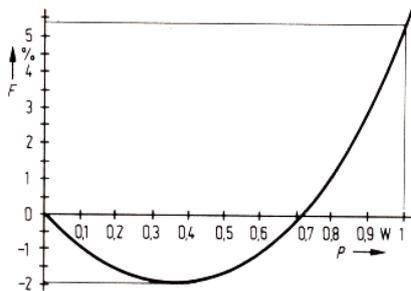


Bild 6. Systematischer Fehler bei Verwendung einer linearen Anzeigeskala

Allerdings: ganz so genau, wie man erwarten könnte, stimmt diese Linearität nun auch wieder nicht. Um das zu zeigen, hier noch eine etwas mathematisch-trockene Betrachtung.

Der systematische Linearitätsfehler

Die Glühlampe wird gleichzeitig von dem Hf-Strom I_{Hf} und dem Gleichstrom I_{DC} durchflossen. Der resultierende Gesamtstrom ist

$$I_{\text{ges}} = \sqrt{I_{\text{DC}}^2 + I_{\text{Hf}}^2}$$

Mittels einiger einfacher Umformungen ergibt sich bei der vorliegenden Dimensionierung der im Anzeigeinstrument fließende Strom zu

$$I_{\text{Anz.}} = \frac{40 \text{ mA} - \sqrt{(40 \text{ mA})^2 - \frac{P_{\text{Hf}}}{150 \Omega}}}{10 \text{ mA}} \cdot 100 \mu\text{A}$$

Aus dieser Beziehung ist sofort ersichtlich, daß kein exakt linearer Zusammenhang zwischen der Hf-Eingangsleistung P_{Hf} und dem Instrumentenstrom bestehen kann. Der auf den Skalenendwert bezogene Linearitätsfehler ist in Bild 6 dargestellt. Dieser Fehler ließe sich zwar durch ein Umzeichnen der Instrumentenskala beseitigen; da er aber ohnehin nur relativ gering ist, kann er in den meisten Fällen als unerheblich toleriert werden.

Als tatsächliche Anzeigegenauigkeit kann wegen unvermeidlicher Toleranzen und Frequenzabhängigkeiten ein Wert von etwa ± 10 % angenommen werden.

Literatur

- [1] Hf-Wattmeter – dimensioniert mit einem programmierbaren Taschenrechner. FUNKSCHAU 1977, Heft 1, S. 38.
- [2] Universelles Nf-Wattmeter. FUNKSCHAU 1975, Heft 1, S. 60.
- [3] Mäusl, R.: Hochfrequenzmeßtechnik. Verlag Hüthig, Heidelberg 1974.