

mW Wattmeter mit Thermistor Mount

In der Regel wird dazu die Spannung an einem 50 Ohm Widerstand (Dummy-Load) als Spitze-Spitze Wert U_{ss} mit dem vorhandenen Oszilloskop gemessen. Die Leistung wird nun nach der Formel $P = U \times U / R$ berechnet. Für U ist dabei der Effektivwert der Spannung $U_{eff} = 0,707 \times U_{ss} / 2$ einzusetzen.

Bei dieser Art der Leistungsbestimmung über eine Spannungsmessung gibt es verschiedene Fehlerquellen: Ein von 50 Ohm abweichender Widerstandswert der Dummy-Load bei Erwärmung, die Grundgenauigkeit des Oszilloskops, der Amplitudenabfall des Y Verstärkers bei höheren Frequenzen und ein evtl. nicht richtig kalibrierter 10:1 Teiler.

Aufgrund von U -Quadrat hat jedes mehr oder weniger gemessene Volt einen entsprechenden Einfluss auf das Ergebnis der Berechnung (Leistung). 50 % Abweichung von der tatsächlichen Leistung nach oben bzw. unten sind im ungünstigsten Fall durchaus möglich.

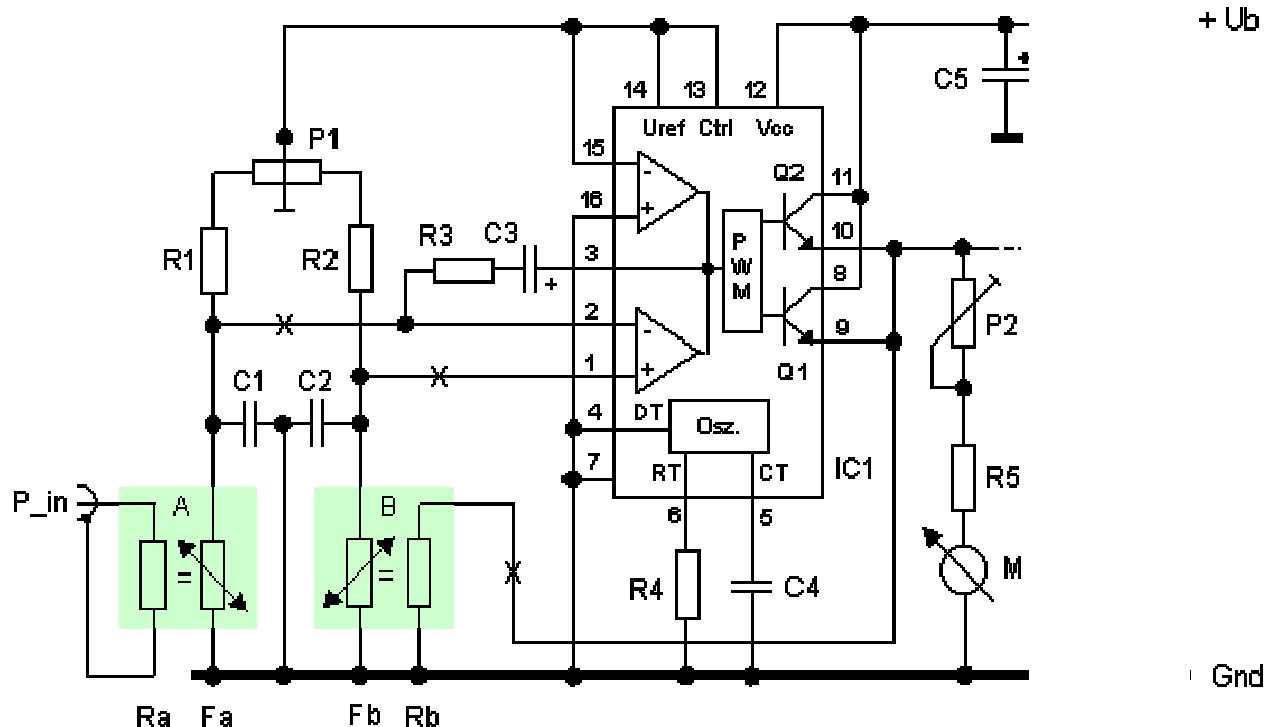
Thermische Umformung

Eine andere Methode der Leistungsmessung kommt ohne Messung der HF-Spannung aus. Sie arbeitet nach dem Prinzip der thermischen Umformung. Ein Regler sorgt dafür, dass die Temperatur an den beiden Heizwiderständen R_a und R_b identisch ist. R_b wird dazu solange aufgeheizt bis die aus den Temperaturfühlern F_a/F_b und den Vorwiderständen R_1/R_2 aufgebaute Messbrücke im Gleichgewicht ist. Die von R_b in Wärme umgesetzte Gleichstromleistung entspricht dann exakt der in R_a in Wärme umgesetzten HF-Leistung.

Schaltregler-Variante

Das Besondere der Schaltung ist die Verwendung eines Schaltreglers anstelle eines kontinuierlichen Reglers. Der Schaltregler TL494 setzt die Regeldifferenz X_d in eine dazu proportionale Impulsdauer t_p um. Die Ausgangsspannung ist jetzt konstant und es entfällt damit die störende quadratische Komponente im Regelkreis. Die Heizleistung wird ausschließlich über die mit $Y_s = f(X_d)$ proportional steigende Impulsdauer nachgeführt. Die Umschaltverluste in den beiden Schalttransistoren im IC sind vernachlässigbar gering.

- Echte Effektivwertmessung;
- Unabhängig von der Kurvenform
- Lineare Skalierung der Anzeige
- Einfache Kalibrierung mit einem Multimeter
- Stabile Regelung bei jedem Sollwert
- Verlustlose Leistungsverstärkung

Abb.1: Schaltbild des thermischen Leistungsmessers**Bauteile :**

Fa, Fb

KTY10-6, KTY81-210 o.ä. Typ, R25 = 2000 Ohm, 1 % in SMD

Ra, Rb

50 Ohm, (1 W 0,1 %) SMD Metall- oder Kohleschichtwiderstände

R1,2 2,7 kOhm, 1%

R3 22 kOhm

R4 10 kOhm

R5 33 kOhm

P1 100 Ohm, lin.

P2 50 kOhm, lin.

C1,2 4,7 nF

C3 1000 uF Elko, 10 V

C4 22 nF

C5 1000 uF Elko, 25 V

IC1 TL494CN, KA7500, IRMO2 etc.

M 100 uA Drehspulinstrument

Durch die Parallelschaltung der Schalttransistoren ist eine Einschaltdauer von $t_p = 0,95 \times T$ möglich. Die fehlenden 5% sind, durch das für einen Gegentaktbetrieb ausgelegte Design des Schaltreglers, prinzipbedingt. Der als PI-Regler beschaltete Operationsverstärker im TL494 sorgt für eine optimale Regelgüte und Einschwingverhalten bei Sollwertänderungen. Die Anzeige der Leistung ist sehr einfach; ein Drehspulinstrument integriert die Impulse. Die Skalierung ist aufgrund der Beseitigung der quadratischen Komponente linear ($P \sim t_p \sim Y_s$).

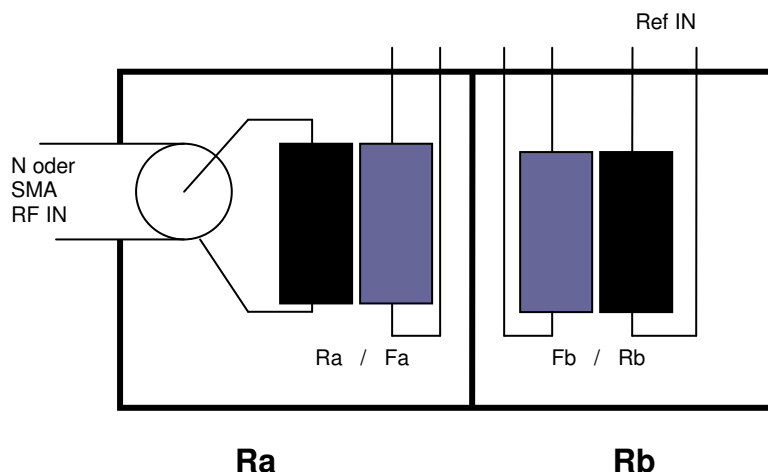
Konstruktive Erfordernisse

Die konstruktive Seite dieser Schaltung ist für die Funktion ebenfalls von großer Bedeutung. Gleiche Widerstandswerte $R_a = R_b$ und $R_1 = R_2$, Temperaturfühler mit gleicher Charakteristik und ein streng symmetrischer Aufbau sind die Voraussetzung für ein hohe Messgenauigkeit. Nicht die absoluten Bauteiledaten sondern möglichst gleiche Daten sind wichtig.

Der Lastwiderstand (SMD 50 Ohm 1 W 1%) und der Temperaturfühler bilden eine thermisch eng gekoppelte Einheit (Modul A und B). Der Fühler liegt auf dem Widerstand. Etwas Wärmeleitpaste verbessert die thermischen Kopplung.

Die gemäß Skizze aufgebauten Module A und B sind im Messgerätgehäuse so anzuordnen, dass sie sich nicht gegenseitig erwärmen und gleiche Umgebungsbedingungen (Temperatur , Luftströmung ..) vorfinden. Ein Abstand von 5 ... 10 mm zwischen den Modulen, eine Trennwand und Lüftungsschlitze im Dachblech sind die entsprechenden konstruktiven Maßnahmen.

Abb.3: Module A und B



Abgleich und Kalibrierung bei $U_b = 12,0 \text{ V}$ konst.

Die Qualität der Brücke wird zuerst bei Raumtemperatur geprüft. Die OP-Eingänge sind dabei abgetrennt und die Heizwiderstände sind spannungslos. Die mit (X) markierten Stellen in der Schaltung sind dafür zu unterbrechen. Nun werden R_a und R_b parallel stufenweise mit 1 V, 2 V und 5 V versorgt. Die Temperatur steigt jetzt an, wobei die Spannung im Brückenzweig im Bereich von 0 ... +/-10 mV bleiben muss. Bei größeren Abweichen ist davon auszugehen, dass die Temperaturfühler zu unterschiedliche Kennlinien haben. Es sind in diesem Fall andere Exemplare einzusetzen und auszumessen. Einen geringen Offset bei gleicher Steigung der Kennlinien kann man mit P1 ausgleichen. Wenn die Brücke korrekt arbeitet, folgt der zweite Schritt.

Es werden nun die OP-Eingänge mit der Brücke verbunden und R_b an IC1 angeschlossen. Der Messeingang erhält eine Konstantspannung von 5 V, was einer Leistung von 0,5 Watt entspricht. Mit P2 nun das Drehspulinstrument so einstellen, dass der Zeiger am Skalenende (100 % = 0,5 W) steht. Der Vorgang dauert aufgrund der Trägheit des Reglers und der Strecke einige Sekunden. Zur Kontrolle nun die Spannung auf 3,54 V reduzieren. Der Zeiger muss jetzt auf die 50% Stellung (250 mW) zurückgehen.

Hinweise: Nach der Kalibrierung bei $U_b = 12,0 \text{ V}$ ist diese Versorgungsspannung für alle Messungen einzuhalten. Eine davon abweichender Spannungswert bewirkt einen erheblichen Messfehler.

Beim Aufbau des Thermokopfes sollte das Augenmerk auf die HF Parameter gelegt werden. Je idealer der Eingang des Messkopfes (50Ohm SMD Widerstand) gestaltet wird, desto größer ist der Frequenzbereich den das Messgerät abdeckt. Dieser kann durchaus von DC bis 10 GHz reichen.

Messbereichserweiterung

Hierzu sind entsprechende Dämpfungsglieder vor den HF Eingang zu schalten.

10dB	->	5W
13dB	->	10W
16dB	->	20W

Kalibrierdaten

$U_{in} \text{ V}$	$P \text{ mW}$
0,1	0,20
0,5	5,00
1	20,00
1,5	45,00
2	80,00
2,5	125,00
3	180,00
3,1	192,20
3,15	198,45
3,2	204,80
3,25	211,25
3,4	231,20
3,5	245,00
3,54	250,63
4,5	405,00
5	500,00