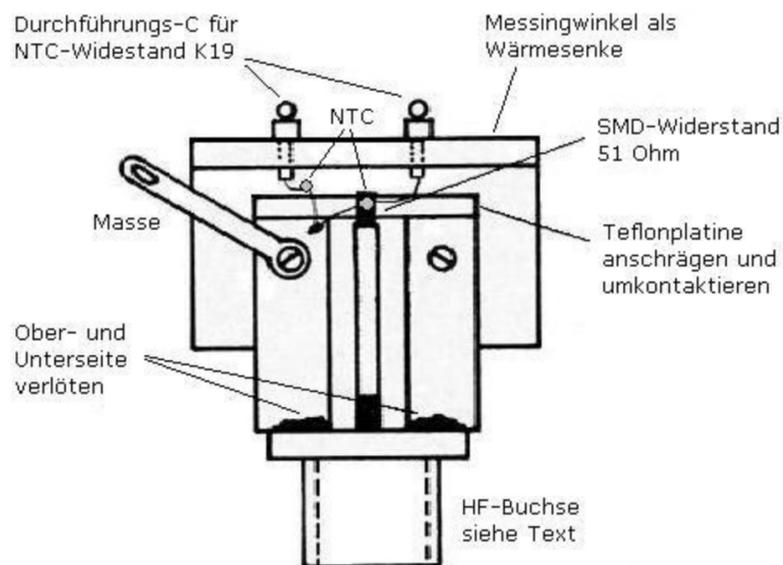


Präzisionsleistungsmesser von Gleichstrom bis in den Mikrowellenbereich

Carsten Vieland, DJ4GC



Das Problem der Leistungsmessung hochfrequenter Signale ist fast so alt wie die Funktechnik überhaupt. Die erreichbare Meßgenauigkeit vor allem im UHF- und SHF-Bereich ist jedoch oft nur gering. Die meisten Meßverfahren nutzen den Gleichrichtwert der hochfrequenten Wechselspannung zur Realisierung einer einfachen Meßanzeige.

Bei diesem Verfahren ist jedoch eine mehr oder weniger starke Abhängigkeit von der Frequenz, der Kurvenform des Signals sowie wegen der Nichtlinearität der Dioden auch von der Amplitude des Eingangssignals in Kauf zu nehmen. Ohne Zugang zu sündhaft teuren Breitbanddetektorköpfen (z. B. von HP, Wiltron, Marconi usw.) lassen sich genaue Messungen nur in eingeschränkten Frequenzbereichen realisieren. Probleme ergeben sich sowohl wegen des über der Frequenz nicht konstanten Übertragungsfaktors (AC zu DC) der Dioden als auch durch Anpassungsprobleme an das 50-Ohm-System infolge der Dioden.

Ein Leistungsmesser, dessen Eingangsimpedanz von der normierten Impedanz des Meßsystems abweicht, kann nicht den korrekten Betrag anzeigen. Beim Selbstbau bedarf es daher immer einer individuellen Kalibrierung der Geräteskala mit Hilfe einer definiert abgeschwächten Eichquelle.

Eine weitgehende Abhilfe dieser Probleme schafft das im Prinzip seit langem bekannte kalorimetrische Meßprinzip. Dabei wird ein hochfrequenztauglicher 50-Ohm-Widerstand mehr oder weniger stark erwärmt. Seine Temperaturerhöhung gegenüber der Umgebung wird über einen Mikro-NTC-Widerstand abgefühlt, in einem Meßverstärker aufbereitet und zur Anzeige gebracht (Bolometerprinzip).

Infolge des in weiten Bereichen linearen Zusammenhanges zwischen der hochfrequenten Eingangsleistung und der Widerstandsänderung des NTC-Fühlers ergibt sich eine lineare

(!) Meßwertskala. Es ist also keine individuelle Eichung wie bei Dioden-Leistungsmessern erforderlich.

Da ausschließlich die Temperaturerhöhung des Lastwiderstandes als Maß für die Meßanzeige dient, ergibt sich erst da eine obere Frequenzgrenze, wo größere Anteile der Eingangsleistung nicht mehr an den Wärmewandler (50-Ohm-Widerstand) gelangen. Solche Störungen können durch die Übergänge von der Anschlußbuchse zum Lastwiderstand, durch ungünstige Bauformen des Widerstandes, durch ungünstigen Einbau des Widerstandes oder durch wenig geeignete Anschlußbuchsen hervorgerufen werden.

Eine Systemgrenze stellt sich etwa da ein, wo ein SWR von 2:1 unterschritten wird. Der angezeigte Meßwert ist dann auf knapp 90 % der tatsächlichen Leistung abgefallen. Es treten vor allem bei noch schlechteren Rückflußdämpfungen starke Abhängigkeiten von der Länge der angeschlossenen Koaxialverbinder auf.

Bei den hier vorgestellten Meßköpfen umfaßt der Frequenzbereich alle Amateurbander von Kurzwelle bis einschließlich des X-Bandes (10,36 GHz). Da natürlich auch Gleichstromleistung eine Erwärmung bewirkt, kann das ganze Meßgerät mit Hilfe eines Digitalmultimeters an

einer Gleichstromquelle einjustiert werden. Bei sorgfältiger Einstellung des Meßverstärkers läßt sich über den gesamten Frequenzbereich eine Meßgenauigkeit erreichen, die der eines Digitalmultimeters nur wenig nachsteht.

Die Empfindlichkeit eines so aufgebauten Meßgerätes hängt in erster Linie von der Bauform und dem Einbau des 50-Ohm-Widerstandes ab. Bei den vorgestellten Meßinstrumenten reicht der Dynamikumfang von 100 Mikrowatt (Vollausschlag) bis etwa 200 mW für lineare Anzeige. Als Nachweisgrenze kann ein Mikrowatt angesehen werden.

Der vor allem älteren Geräten dieses Prinzips (z. B. NRD von R&S) anhaftende Nachteil der sehr trägen Anzeigegeschwindigkeit wird beim Einsatz von SMD-Widerständen (Chip-Widerstände) sowie Mikro-NTCs vermieden. Das Einlaufverhalten entspricht etwa dem eines stark gedämpften Drehspul-Meßwerks und wird auch bei Abgleicharbeiten als nicht störend empfunden.

Gestaltung des Bolometerkopfes

Der Bolometerkopf wandelt die hochfrequente Eingangsleistung in eine DC-Brückenspannung um. Er muß also so konstruiert sein, daß sowohl die hochfrequenten Eigenschaften als auch das thermische Verhalten optimiert sind. Für den Vollausschlag von 100 Mikrowatt erhöht sich die Temperatur des 50-Ohm-Abschlusses nur um etwa zwei hundertstel Grad. Er muß deshalb von der Anschlußbuchse und der Frontplatte möglichst stark wärmeisoliert sein. Zusätzlich dient ein Messingwinkel als Wärmesenke. Diese Pufferwirkung läßt selbst im empfindlichsten Meßbereich eine geringe Eigendrift zu.

Als gute Lösung hat sich die Zwischenschaltung einer 50-Ohm-Streifenleitung oder eines dämpfungsarmen Koaxkabels zwischen Anschlußbuchse und Lastwiderstand erwiesen. Aus hochfrequenztechnischen Gründen sollte das Trägermaterial der Platine aus verlustarmem Teflon-Dielektrikum bestehen (z. B. RT-Duroid 5870). Die Streifenleitungsbreite beträgt für das 0,79 mm dicke Trägermaterial etwa 2,4 mm. Der Lastwiderstand (3,1 x 1,6 x 0,5 mm) wird auf eine Anchrägung der Platine gesetzt

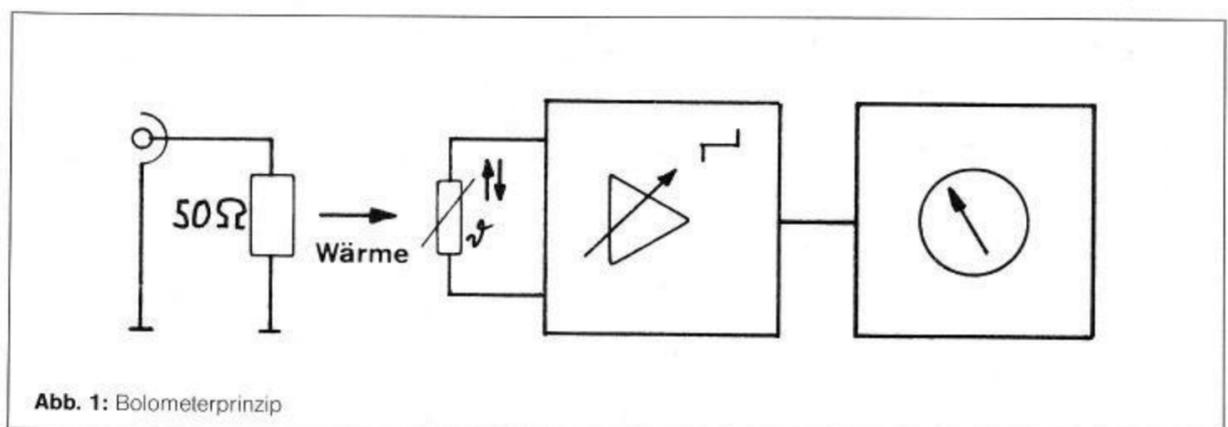


Abb. 1: Bolometerprinzip

(Widerstandsbahn zur Masseseite). Der NTC-Widerstand wird mit wenig UHU-Plus mitten auf den Chip geklebt. Die Anschlüsse der NTCs lassen sich über Durchführungskondensatoren abfangen. Der zweite NTC (Temperaturkompensation) erhält in einem Tropfen Wärmeleitpaste neben dem Chip-Widerstand seine Bleibe.

Da infolge äußerer Temperatureinflüsse selbst auf der massiven Wärmesenke gewisse Temperaturdifferenzen auftreten, sollten beide Temperaturfühler möglichst dicht nebeneinander angeordnet werden.

Der Übergang von der HF-Anschlußbuchse auf die Streifenleitung ist bezüglich des Frequenzverhaltens der ganzen Schaltung eine besonders kritische Stelle. Hier sind Buchsen mit möglichst dünnen Innenleitern auf der Rückseite (z. B. SMA- oder N-Präzisionsbuchse) eindeutig überlegen. Die Standard-N-Buchse hat sich wegen ihrer grobsinnlichen Geometrie als ungünstig erwiesen. Die BNC-Flanschbuchse zeigt hingegen bis etwa 3 GHz nur geringe Abweichungen gegenüber wesentlich teureren Mikrowellen-Steckverbindern.

Der Meßkopf wird mit Hilfe der Anschlußbuchse an der Geräte-Frontplatte befestigt. Die Wärmesenke sollte jedoch zusätzlich abgestützt werden, da infolge von Vibrationen sonst langfristig die Streifenleitung reißt.

Eine interessante Konstruktionsvariante ist mit SMA-Verbindern realisierbar. Die Streifenleitung wird hierbei durch ein Festmantelkabel (UT 141) ersetzt, wofür qualitativ sehr hochwertige Stecker und Buchsen verfügbar sind. Der Hochfrequenzabschluß besteht hier aus zwei 100-Ohm-Widerständen, die zwischen Innen- und Außenleiter des plan abgetrennten Leitungsendes liegen. Wegen des geringen Kabeldurchmessers (3,56 mm außen) müssen hier Widerstände einer kleineren Baureihe verwendet werden. Der NTC-Fühler wird auf einen dieser 100-Ohm-Chips geklebt. Als mechanischer Träger und Wärmesenke dient hier ein längs aufgebohrtes quadratisches Messingprofil, das zum Fixieren des Kupfermantelkabels zusätzlich geschlitzt und verschraubt wird.

Die eigentliche Wandlerschaltung befindet sich in einem ausgefrästen Raum dieses Profils. In einem temperaturisolierenden, mehrschaligen Aufbau läßt sich dieser Meßkopf auch vom Gerät abgesetzt verwenden. Seine hochfrequenten Eigenschaften sind denen der anderen Meßköpfe überlegen.

Schaltungsauslegung

Der als Temperaturfühler fungierende NTC-Widerstand unterliegt natürlich in starkem Maße den Einflüssen der Außentemperatur. Diese Störgröße kann durch einen zweiten NTC so weit kompensiert werden, daß der Nullpunkt der Anzeige nur noch ein geringfügiges Driftverhalten zeigt. Die Ausgangsspannung der Meßbrücke ist dann das Maß für die hochfrequente Eingangsleistung.

Eine besonders leicht zu realisierende Meßwertanzeige läßt sich mit Hilfe eines digit. Span-

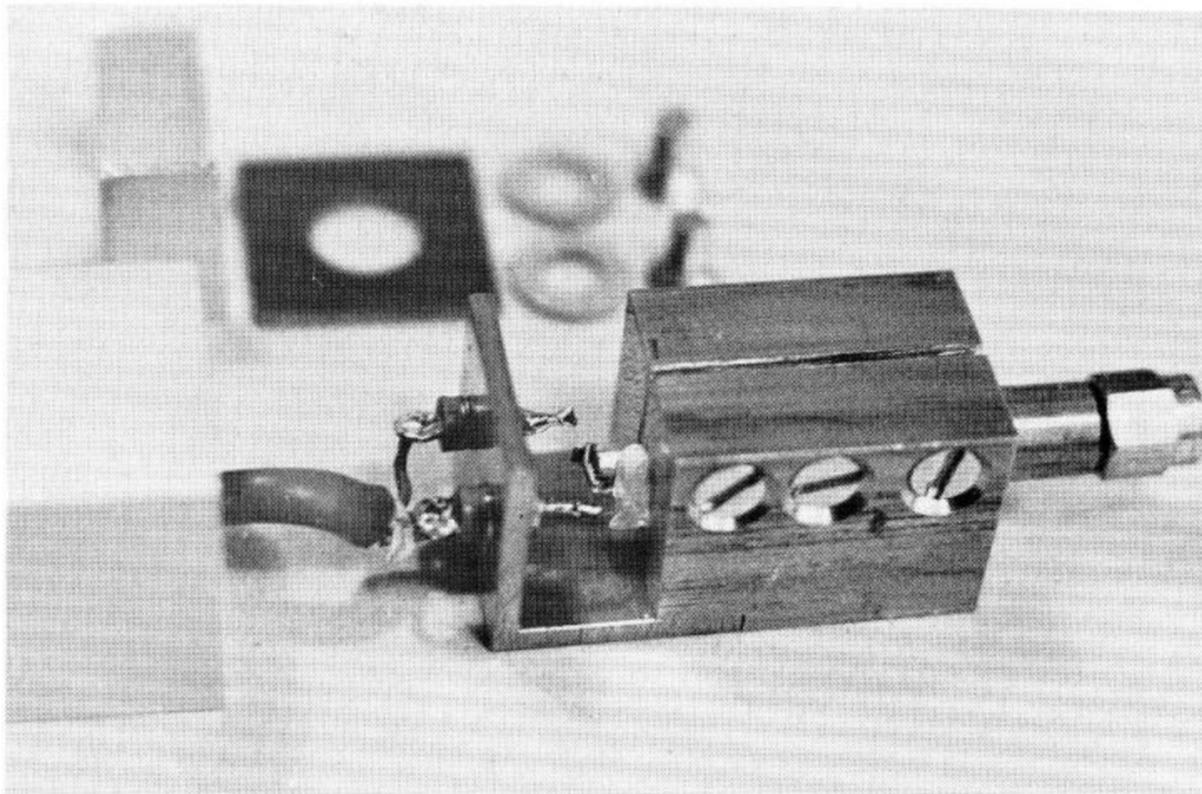


Abb. 4: Innenleben mit Abschlußwiderständen und Meßfühler

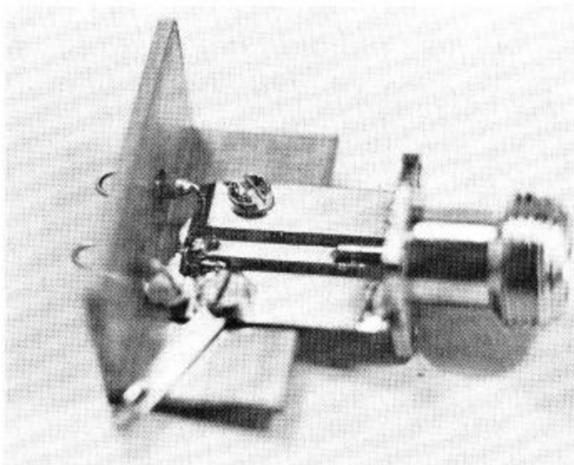


Abb. 2: Aufbau eines Bolometerkopfes mit Streifenleitung und N-Präzisionsbuchse

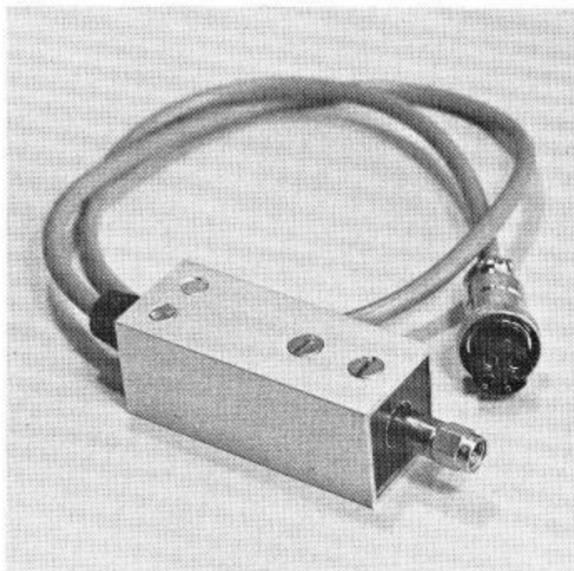


Abb. 3: Vom Gerät abgesetzter Bolometerkopf mit SMA-Stecker

nungsmessermoduls (Dual-Slope-Wandler) aufbauen. Aus Gründen des Strombedarfs und der geringen Eigenerwärmung ist eine 3 1/2-stellige LCD-Anzeige der LED-Version vorzuziehen. Durch einen auf dem Baustein angebrachten Spindeltrimmer läßt sich dessen Empfindlichkeit von ursprünglich 200 mV für Vollausschlag so stark erhöhen, daß die Maxi-

malanzeige von 2000 Digit einer Eingangsleistung von 20 mW entspricht. Dazu ist eine stabilisierte und potentialfreie Brückenversorgung von 5 V erforderlich. Die Auflösung (1 Digit) beträgt dann 10 Mikrowatt.

Eine Verzehnfachung der Maximalanzeige ist ganz einfach dadurch zu bewerkstelligen, daß die Brückenversorgung auf ein Zehntel reduziert wird (Spannungsteiler auf 0,5 V). Bei Eingangsleistungen von dann maximal 200 mW ist auch etwa die Grenze der linearen Leistungsanzeige erreicht.

Als Thermofühler sind die leider nicht ganz billigen NTC-Widerstände Typ K19 von Siemens besonders geeignet. Deren Platin-Tritium-Anschlußdrähte müssen mit hoher Temperatur verlötet werden.

Es werden zwei potentialfreie Versorgungsspannungen benötigt, wobei diejenige für das LCD-Modul nicht stabilisiert werden muß. Bei Verwendung eines potentialtrennenden Spannungswandlers auf (je nach NTC) 5 bis 20 V läßt sich die zweite Batterie einsparen.

Die Vorteile dieser ganz einfachen Schaltung liegen darin, daß kein Meßverstärker benötigt wird und die Zahlenwerte der Anzeige leicht für Verstärkungs- oder Dämpfungsberechnungen ausgewertet werden können. Dafür ist die Digitalanzeige zumindest für Abgleicharbeiten ein wenig gewöhnungsbedürftig.

Eine analoge Meßanzeige läßt sich nur mit Hilfe eines im Eingang hochohmigen Meßverstärkers realisieren. Da noch Eingangsspannungsdifferenzen von wenigen Mikrovolt verstärkt werden müssen, sollte der verwendete Operationsverstärker eine möglichst geringe Offset-Drift aufweisen. Herausragende Eigenschaften zeigen Chopper-stabilisierte OPs, von denen der Typ ICL 7650 (Intersil, ca. 22 DM) am ehesten beschafft werden kann. Auf der Basis dieses OP wurde eine Schaltung mit Platinenlayout entwickelt, die einen sicheren Nachbau gestattet.

