

Der Impedanzwobbler ZWD, bestehend aus Sender, Zweikanal-Mitlaufempfänger, Mischer und Richtkopplern, bildet einen hochwertigen Meßplatz für die Netzwerkanalyse. Die Meßgrößen – Reflexionsfaktor, Übertragungsfaktor, Übertragungsmaß oder S-Parameter – werden auf dem Bildschirm dargestellt.

Impedanzwobbler ZWD, ein Vierpolmeßplatz großer Dynamik und hoher Genauigkeit für 10 bis 1000 MHz

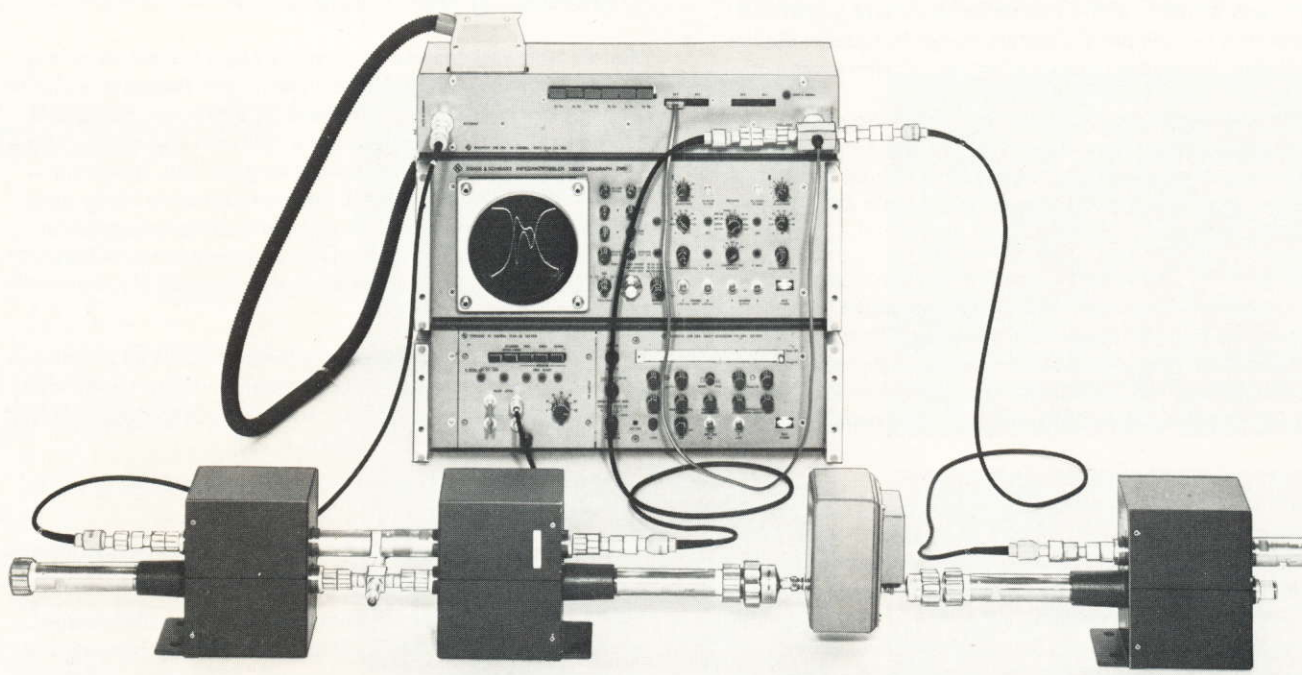


BILD 1 Impedanzwobbler ZWD. Unten Sender, Mitte Zweikanal-Mitlaufempfänger, oben Mischer.

Foto 21 224

Einen Vierpolmeßplatz zu schaffen, dessen technische Eigenschaften den bisher verwendeten Meßanordnungen weit überlegen sind, war das Ziel der Entwicklung des Impedanzwobblers ZWD (Bild 1).

Der ZWD besteht im wesentlichen aus einem wobbelbaren Sender 10 bis 1000 MHz als Meßgenerator und einem Zweikanal-Mitlaufempfänger (Bild 2). Der große Wobbelhub wird durch elektronische Aneinanderreihung der Teilbereiche 10 bis 500 MHz und 500 bis 1000 MHz erreicht. Die Überlappungsstelle ist zwischen 480 und 520 MHz frei wählbar. Der Zweikanal-Empfänger enthält eine Fang- und Synchronisierereinrichtung (APC), die bei jeder Frequenzänderung des Senders den Empfänger automatisch nachstimmt. Das Konzept des ZWD ermöglicht also den Betrieb des Mitlaufempfängers auch mit anderen Sendern, zum Beispiel Synthesizern und Leistungsmeßsendern.

Eigenschaften und Meßmöglichkeiten

Messung komplexer Größen

Durch die Wahl des **Zweikanal-Prinzips**, bei dem zwei verschiedene Wechsellspannungen amplituden- und phasengetreu verstärkt werden können, hat man die Möglichkeit, aus zwei Meßgrößen den Quotienten zu bilden, beispielsweise den Reflexionsfaktor als Verhältnis der reflektierten und vorlaufenden Welle oder den Übertragungsfaktor als Verhältnis der Welle am Ausgang des Meßobjekts zu der am Eingang. Die Meßaufbauten hierzu zeigen Bild 3 und 4.

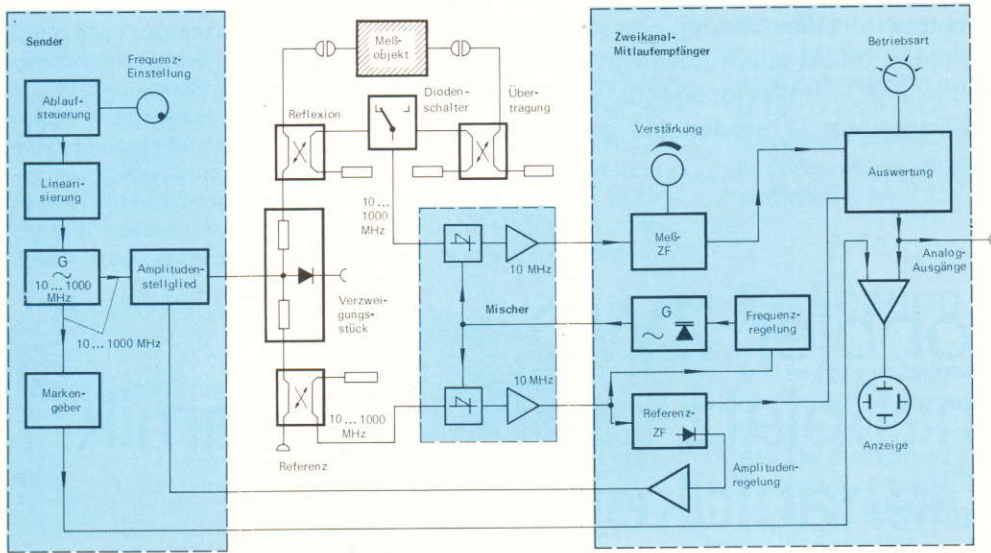


BILD 2 Blockschaltung des Impedanzwobblers ZWD.

Für die **Darstellung in der komplexen Ebene** ist nicht nur der Betrag des Reflexions- und Übertragungsfaktors nötig, sondern auch die dazu gehörende Phase. Zur Gewinnung dieser Größen zerlegen zwei Synchronmischer im ZWD die Meßspannung in eine Sinus- und Cosinus-Komponente. Die beiden Spannungen werden dann an die X- und Y-Platten der Bildröhre gelegt und erzeugen dort die komplexe Darstellung der Meßgröße, die im gewobbelten Betrieb als Ortskurve auf dem Schirm erscheint.

Der **Synchronmischer** im ZWD ist extrem linear. Seine Abweichung von der Linearität ist kleiner als 1%. Der Amplitudenbereich der Anzeige (Dynamik) beträgt 90 dB. Unter Verwendung eines 30-dB-Dämpfungsgliedes läßt sich die Anzeige sogar bis 120 dB steigern.

Bemerkenswerte Eigenschaften des Impedanzwobblers ZWD werden durch den Einsatz von **Dünnschichtschaltungen** erreicht. Bild 5 zeigt als Beispiel einen Trennverstärker. Er entkoppelt im ZWD-Mischer die beiden Meßkanäle. Die Dünnschichttechnik ermöglicht in diesem Fall, den Amplituden- und Phasengang sowie die Rückwirkung in sehr engen Grenzen zu halten.

durch das Wechseln der Richtkoppler der Wellenwiderstand von 50, 60 und 75 Ω variiert wird. Das Richtverhältnis der Richtkoppler beträgt 50 dB.

Darstellung der Meßgröße

Für die Netzwerkanalyse ist es von großem Vorteil, wenn die Meßgröße in ihre Komponenten, also in den Betrag und die Phase aufgespalten wird und diese für sich allein dargestellt werden. Dieser Forderung wird der ZWD mit elf verschiedenen Arten einer übersichtlichen Darstellung gerecht. Bemerkenswert ist dabei die Möglichkeit, zwei verschiedene Meßgrößen gleichzeitig darzustellen, zum Beispiel den Reflexionsfaktor zusammen mit der Phase des Übertragungsfaktors in einem Bild (Bild 6 a und b). Im einzelnen sind folgende Möglichkeiten gegeben:

1. Komplexe Darstellung des Reflexionsfaktors im Smith-Diagramm oder erweiterten Smith-Diagramm zur Bestimmung der äquivalenten Impedanz oder im Polaren Diagramm für den Reflexionsfaktor (Bild 6 c, d, e, f).
2. Komplexe Darstellung des Übertragungsfaktors (Polares Diagramm).
3. Darstellung des Reflexions- oder Übertragungsfaktorbetrages über der linearen Frequenzachse (Bild 6 a).
4. Darstellung des Übertragungsmaßes (Logarithmus des Übertragungsfaktors bis 90 dB) nach Betrag über der Frequenz (Bild 6 b).

Wellenwiderstand 50, 60, 75 Ω

Um die Meßgröße (Information) zu erhalten, verwendet man beim Impedanzwobbler ZWD Richtkoppler, die entsprechend den üblichen Wellenwiderständen in 50, 60 und 75 Ω ausgeführt sind. Dabei ist die Einspeisung der Generatorwelle in den Richtkoppler so gewählt, daß bei ein und demselben Gerät nur

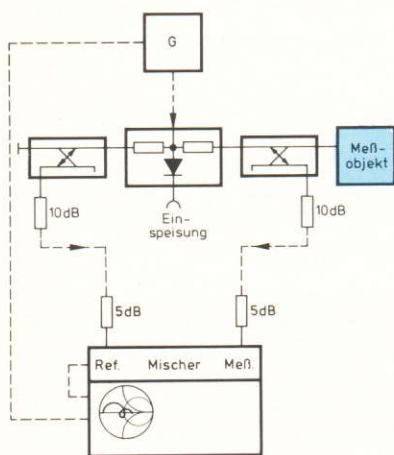


BILD 3 Meißaufbau zur Reflexionsfaktormessung; Kabelverbindungen gestrichelt gezeichnet.

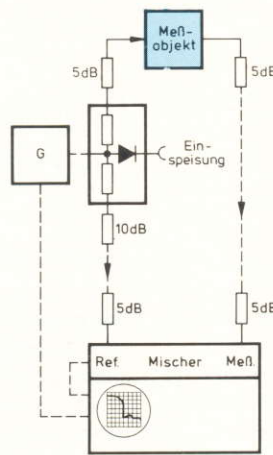


BILD 4 Aufbau zum Messen von Dämpfungen und Verstärkungen.

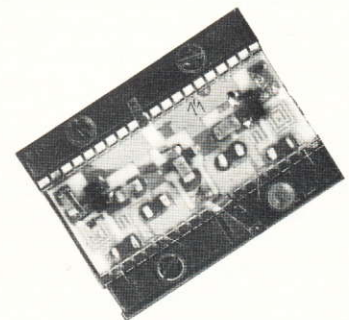


BILD 5 Trennverstärker in Dünnschichttechnik. Foto 21 250

5. Darstellung des Winkels des Übertragungsmaßes über der Frequenz (Bild 6 b).
6. Darstellung des Reflexionsfaktorbetrag über der Frequenz.
7. Darstellung des Winkels des Reflexionsfaktors über der Frequenz (maximale Auflösung $0,1^\circ$).
8. Darstellung des Realteils der gemessenen komplexen Größe.
9. Darstellung des Imaginärteils der gemessenen komplexen Größe.
10. Darstellung einer Meßgröße, die einem fremden Gerät entnommen wird (z. B. Spannung hinter einem Diskriminator).
11. Darstellung von Signalen, die von aktiven Meßobjekten geliefert werden (z. B. von Antennen aufgenommene Signale oder Signale auf Fernseekabeln). Die Empfangsbandbreite des ZWD ist dabei 200 kHz. Auch die Pegel dieser Signale lassen sich messen.

Anwendungsbeispiele

Die Messung der Übertragungskurve, der Eingangsreflexion, der Anpassung, der Phasenlinearität, des Phasengangs und der Rückwirkung mit dem Impedanzwobbler ZWD sind nur einige

Beispiele aus der Vielfalt der möglichen Anwendungen dieses neuen Universalgerätes in der **Verstärkertechnik** (Bild 7 a).

Unentbehrliche Dienste leistet der ZWD aber auch in der Entwicklung von **Trägerfrequenzanlagen** der neuen V 10 800-Systeme, die bis 60 MHz hinauf reichen, und beim **Kabelfernsehen**, dessen Frequenzbandbreite im Laufe der Zeit immer mehr zugenommen hat. Der Frequenzumfang des ZWD ist den Meßaufgaben in diesen Gebieten angepaßt.

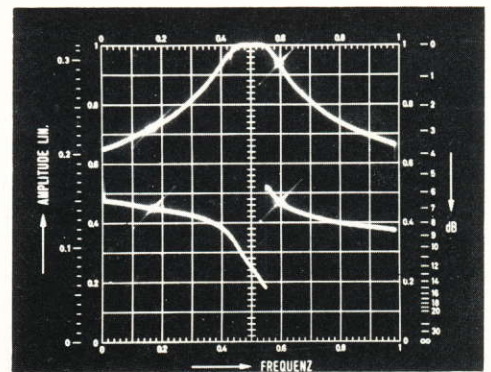
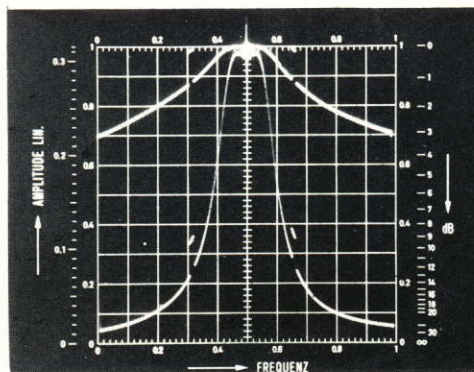
Andere Meßobjekte sind **Antennenverstärker** und **Eingangsstufen von Fernsehempfängern**, wobei bei den letzteren die Übertragungscharakteristik und Anpassung in Abhängigkeit von der getasteten Regelung gemessen werden (Bild 6 d). Der ZWD ermöglicht hier die Messung bei einstellbaren Pegeln, wie sie später beim praktischen Betrieb herrschen.

Das primäre Problem bei der Entwicklung von **Antennen** ist die breitbandige Anpassung des Eingangswiderstandes. In diesem Fall ist im allgemeinen eine größere Anzahl von Impedanzmessungen erforderlich. Eine zeitsparende Lösung liefert hier der ZWD durch die Darstellung der Meßwerte in einer übersichtlichen Kurve, die dem Entwickler zur Lösung seiner Aufgabe wichtige Anhaltspunkte gibt.

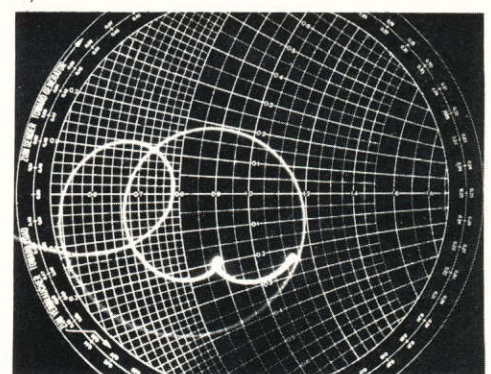
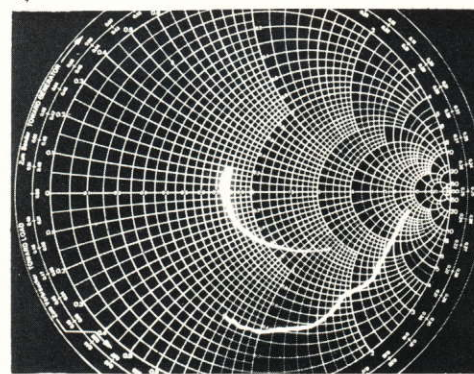
Bei Antennen, die aus mehreren gespeisten Strahlern bestehen, sind bestimmte Phasenbeziehungen Voraussetzung für die gewünschte Funktion der Anlage. Phasenmessungen und der

BILD 6
Die verschiedenen Darstellmöglichkeiten von Vierpolgrößen mit dem Impedanzwobbler ZWD.

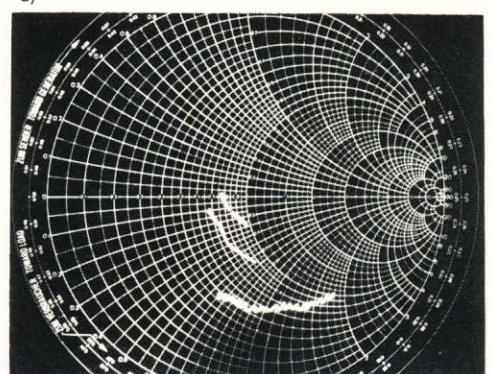
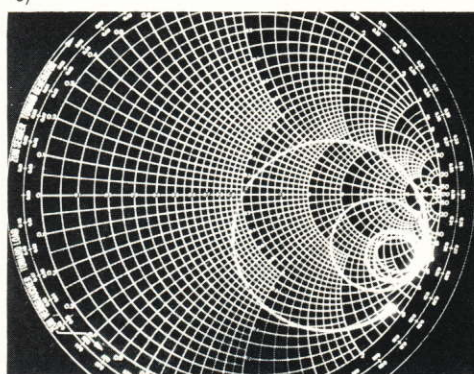
- a) Übertragungsverhalten eines Bandpasses im linearen und logarithmischen Maßstab (Rechteckmarken bei + und - 30 MHz, bezogen auf die Mittenfrequenz)
- b) Übertragung des gleichen Bandpasses logarithmisch sowie Phasenverlauf (100-MHz-Marken).

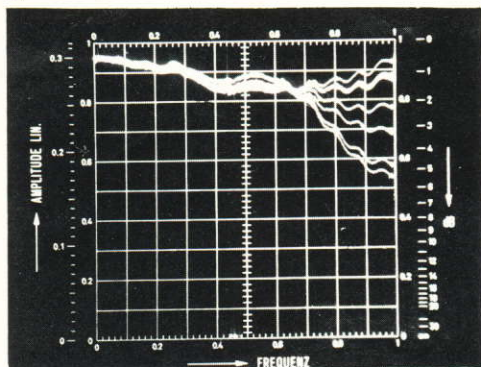


- c) Parameter S_{11} und S_{22} des BC 107 komplex dargestellt. Frequenzbereich 50 bis 1000 MHz.
- d) Eingangsimpedanz eines Tiefpasses im Durchlaßbereich 500 bis 750 MHz. Darstellung um 10 dB gedehnt.

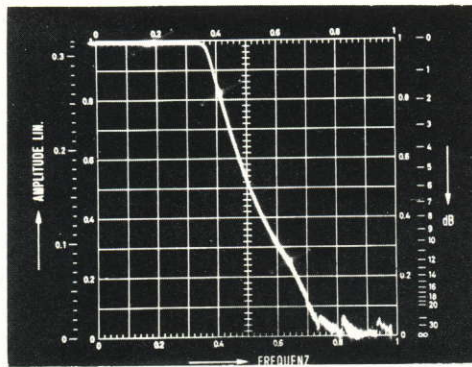


- e) Eingangsimpedanz eines 104-MHz-Oberwellenquarzes mit Hauptresonanz und vier Nebenresonanzen.
- f) Eingangsimpedanz S_{11} eines HF-Transistors bei verschiedenen Meßspannungen. Frequenzbereich 570 bis 1000 MHz.

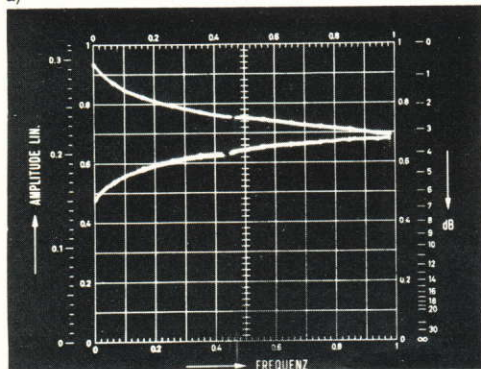




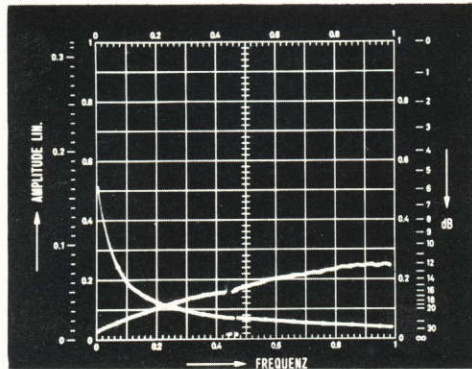
a)



b)



c)



d)

BILD 7
Mit dem ZWD gemessene
Vierpolgrößen.

- a) Frequenzgang eines Breitbandverstärkers.
- b) Übertragungsverhalten eines Tiefpasses (log., ganze Skala 100 dB); Grenzfrequenz 170 MHz, Frequenzbereich etwa 30 bis 480 MHz.
- c) Parameter S_{21} und S_{12} des NF-Transistors BC 107 logarithmisch dargestellt (0 dB bei 0,8). Frequenzbereich 50 bis 1000 MHz.
- d) S_{21} und S_{12} des gleichen Transistors linear; S_{21} 20 dB unempfindlicher dargestellt.

Abgleich der Speisekabel auf bestimmte elektrische Längen lassen sich ebenfalls mit dem ZWD zeitsparend ausführen.

Die Anwendung des ZWD in der **Kabeltechnik** betrifft häufig die Messung der Eingangsreflexion und Dämpfung eines Kabels bestimmter Herstellungslänge. Fehlerhafte Kabel zeigen dabei an selektiven Stellen deutliche Abweichungen, die durch

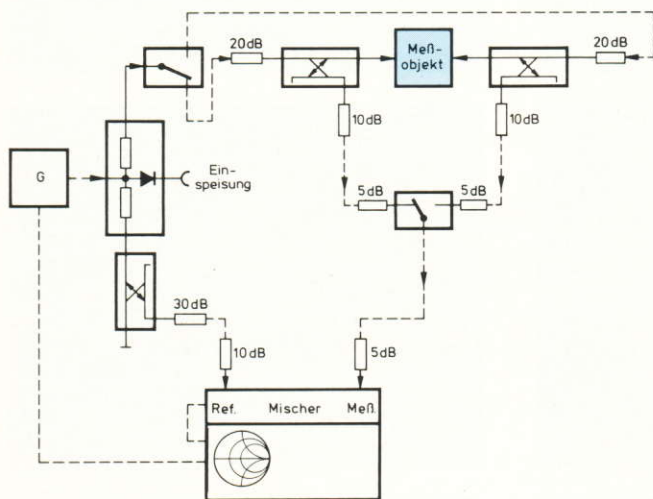


BILD 8 Aufbau für Halbleitermessungen mit kleinen Pegeln.

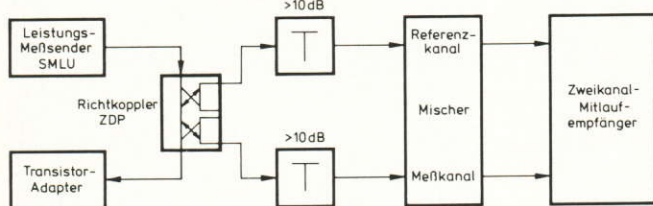


BILD 9 Meßplatz zur Impedanzmessung mit hoher Meßspannung an Transistoren.

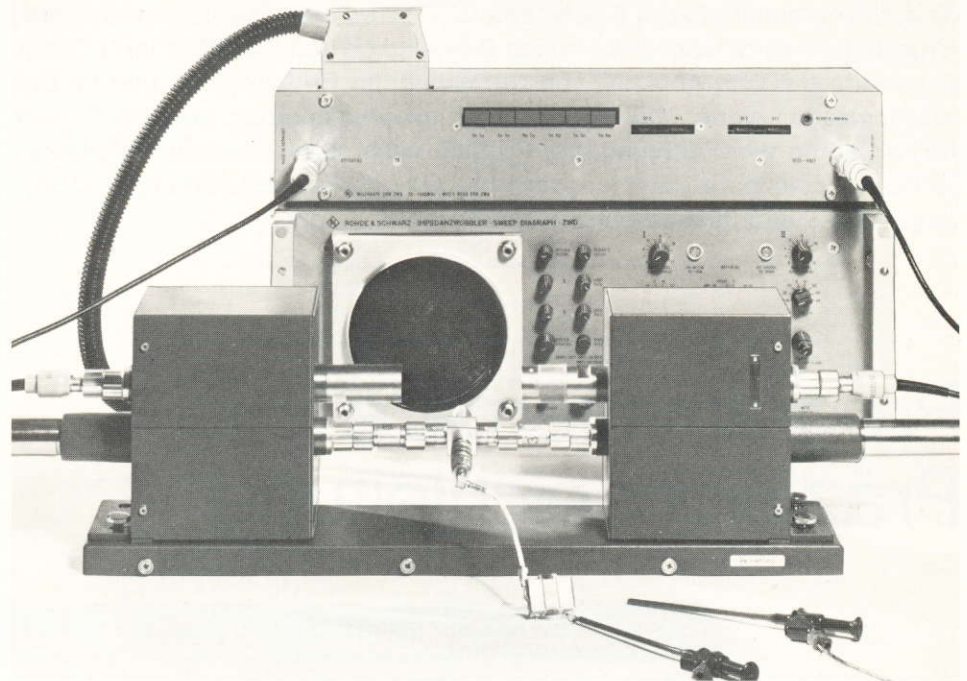
periodisch auftretende Störungen verursacht werden. Zum Aufsuchen dieser Reflexions- und Dämpfungsspitzen ist der ZWD durch die gewobbelte Darstellung in seinem großen Frequenzbereich bis 1000 MHz ein ideales Hilfsmittel.

Andere Beispiele für die Anwendung des ZWD sind Messungen an Leitungselementen und Kabelarmaturen (Steckern), wobei der äußerst kleine Eigenfehler ($< 0,003$) des ZWD und die Möglichkeit, die Meßebeine zu verschieben, erwähnenswert sind.

Eingangs- und Ausgangsreflexionsfaktor (S_{11} , S_{22}), Vorwärtsverstärkung und Rückwärtsdämpfung (S_{21} , S_{12}) sind die charakteristischen Größen (S-Parameter) bei Transistoren der höheren Frequenzbereiche, die mit dem ZWD gemessen und als Ortskurven dargestellt werden (Bild 7 c, d und 6 c). Bei diesen **Halbleitern** ist allerdings zu beachten, daß Kleinsignaltransistoren mit kleinen Pegeln zu betreiben sind, damit sie nicht übersteuert werden, Leistungstransistoren dagegen mit großen Pegeln. Die entsprechenden Meßanordnungen sind in Bild 8 und 9 dargestellt. Für diese Fälle kann man die Meßspannung des ZWD kontinuierlich von 1 mV bis 0,5 V regeln (Bild 6 f) und unter Zuhilfenahme eines Fremdsenders sogar beliebig steigern, so daß die vielseitigen Anforderungen, die die Halbleitertechnik an das Meßgerät ZWD stellt, erfüllt werden. Schließlich werden auch negative Widerstandsverläufe, wie sie zum Beispiel bei Tunnel-dioden auftreten, vom ZWD gemessen. Dafür ist das erweiterte Smith-Diagramm verfügbar.

Die Vielseitigkeit des Impedanzwobblers ZWD kommt besonders deutlich bei der **Messung von Filtern** zum Ausdruck, denn diese Bauelemente können heute auch im Frequenzbereich des ZWD Eigenschaften aufweisen, die man mit den üblichen Impedanzmeßgeräten nicht ohne weiteres feststellen kann. Das gilt für Filter mit besonders kleiner oder besonders großer Bandbreite, wie sie durch **Quarze** (Bild 6c) oder Hoch- und Tiefpässe (Bild 7b) erreicht wird. Mit dem ZWD läßt sich das Problem der Quarzfilter-Messung dadurch lösen, indem man an Stelle des vorhandenen Senders einen Synthesizer hoher Frequenzkonstanz anschließt (z. B. SMDA + Frequenzkontroller oder SMDW). Bei etwas breiteren Filtern genügt dagegen die Stabilität des eigenen Senders, und man hat dann in der Stellung

BILD 10 Wobbelmeßplatz, bestehend aus dem Zweikanal-Mitlaufempfänger des ZWD und einem externen Sender.
Foto 21 248



„Wobbelung fein“ zu jeder einstellbaren Mittenfrequenz einen zwischen 0,01 und 100 MHz kontinuierlich regelbaren Hub.

Störende Anomalien (Einbrüche) der Dämpfung oder des Reflexionsfaktors im Durchlaß- oder Sperrbereich kommen häufig bei Hoch- und Tiefpässen höherer Frequenzbereiche vor. Um sie feststellen zu können, muß man über große Frequenzbereiche analysieren. Der Frequenzhub des ZWD von 10 bis 1000 MHz macht diese Prüfung möglich.

Schließlich muß noch gesagt werden, daß der ZWD Dämpfungen bis 90 dB (120 dB) messen und logarithmisch anzeigen kann. Dieser hohe Wert dürfte für alle praktischen Filter ausreichen. Außerdem kann man aus der Darstellung der Phasenkurve das Gruppenlaufzeitverhalten des Filters abschätzen.

Betrieb mit Fremdsender

Der Impedanzwobblers ZWD, bestehend aus Wobbelsender, Zweikanal-Mitlaufempfänger, Anzeigeteil und Richtkopplern, bildet einen vollständigen Meßplatz für die Netzwerkanalyse. In der Regel wird er vom Kunden auch in dieser Zusammenstellung verwendet. Unter Umständen kann es aber zweckmäßig sein, den Wobbelsender durch einen externen Sender zu ersetzen. Dieser Fall ist nicht häufig; er tritt nur dann ein, wenn die Frequenzkonstanz oder die Leistung größer sein müssen als die verfügbare, etwa bei der Messung von Quarzfiltern oder Leistungstransistoren.

Der Betrieb des ZWD-Empfängers mit einem fremden Sender bildet kein Problem, denn der Mitlaufempfänger hat eine Fang- und Synchronisierereinrichtung, die ihn der Frequenz jedes Senders zwischen 10 MHz und 1000 MHz selbständig folgen läßt. In diesem Fall besteht der Meßplatz aus dem Fremdsender, dem ZWD-Empfänger mit Anzeige und den Richtkopplern, die für sich funktionell abgeschlossene Baugruppen bilden (Bild 10). Die erforderliche Mindestspannung des Generators beträgt dabei 50 mV, die zulässige Frequenzablaufgeschwindigkeit 50 GHz/s. Sonst werden an die Qualität des Fremdsenders keine Anforderungen gestellt, denn der ZWD-Mitlaufempfänger ist selektiv, und der Sender darf ohne Beeinträchtigung der Messung auch ein erhebliches Maß an Oberwellen liefern. Als Fremdsender kann auch ein varaktorabgestimmter Leistungoszillator, der sich im Labor unter Umständen selbst herstellen läßt, verwendet werden.

Um die Vierpoleigenschaften von Quarzbauerelementen oder von anderen Meßobjekten geringerer Bandbreite zu bestimmen, kann man als externen Sender beispielsweise einen SMDF, SMDW oder SMDH einsetzen. So zeigt Bild 6 c die gemessene Eingangsimpedanz eines 104-MHz-Oberwellenquarzes. Im Bild sind mehrere kräftige Nebenresonanzen zu erkennen. Für diese Messung wurde der quarzstabilisierte AM-FM-Meßsender SMDF mit Frequenzkontroller benutzt.

Zur Messung des Großsignalverhaltens von Dioden und Transistoren ist der Leistungs-Meßsender SMLU als externer Sender vorteilhaft. Bild 6 d zeigt beispielsweise die gemessene Eingangsimpedanz S_{11} des HF-Transistors BFY 90 in Emitterschaltung. Dabei wurde im Frequenzbereich 570 MHz die Aussteuerung zwischen den Werten 0,1, 0,3 und 1 V variiert.

J. Richter; W. Rathai; W. Diezel

KURZDATEN DES IMPEDANZWOBBLERS ZWD

Frequenzbereich	10...1000 MHz in einem wobbelbar
Wobbelung	a) beliebige Start- und Stopfrequenz b) Feinwobbelung zu jeder Mittenfrequenz mit regelbarem Hub bis max. 1, 10, 100 MHz
Ablaufzeit	10 ms...1 s (Hin und Rücklauf gleich)
Schreiben	1...100 s Vorlauf, 1 s Rücklauf
Frequenzmarken	2 Rechteckmarken, beliebig verschiebbar; Interferenzmarken bei Vielfachen der Quarzfrequenzen 1, 10, 100 MHz
Meßwertdarstellung	Ortskurven der Reflexion und des Übertragungsfaktors, Übertragungsmaß nach Betrag und Phase, Ortskurven der S-Parameter, Ortskurven der Impedanz im Smith-Diagramm, Logarithmische Darstellung 90 dB, Getrennte Darstellung jeder komplexen Größe nach Real- und Imaginärteil
Darstellbereich	90 (120) dB
Fehler der Reflexionsanzeige	0,003 + 0,02 r
Frequenzgang	$\pm 0,5$ dB $\pm 3^\circ$
Meßspannung	1...500 mV, definiert einstellbar
Bestellbezeichnung	
Grundausrüstung	Ident-Nr. 202.2019...
(Sender, Empfänger, Mischer)	

NÄHERES LESERDIENST KENNZIFFER 55/4