

Mit dem Vektorvoltmeter ZPU bietet Rohde & Schwarz ein preisgünstiges Meßgerät für komplexe HF-Spannungen sowie Spannungsverhältnisse an; Betrag und Phase werden gleichzeitig auf zwei Zeigerinstrumenten angezeigt. Eine Abstimmautomatik, die jeweils eine Frequenzoktave erfaßt, gewährleistet exakte Synchronisation des Meßempfängers auf das zu messende Signal.

## Vektorvoltmeter ZPU für 1 bis 1000 MHz

Bei der Entwicklung und Fertigung hochfrequenztechnischer Geräte oder Baugruppen sind oft Messungen von Impedanzen, Phasendrehungen, Übertragungsfaktoren, Gruppenlaufzeiten, Feldstärkeverteilungen und ähnlichen Größen nötig. Für all diese Aufgaben eignet sich das Vektorvoltmeter ZPU (BILD 1), das im Frequenzbereich 1 bis 1000 MHz Spannungen dem Betrag und der Phase nach mißt. In jedem der zwölf Frequenzbereiche, die jeweils etwas mehr als eine Oktave überdecken,

stimmt sich das ZPU automatisch ab — selbst bei gewobbelten Eingangssignalen mit einer Ablaufgeschwindigkeit bis zu 30 MHz/s. Es hat zwei völlig gleichartige, aber voneinander unabhängige Meßkanäle: Kanal A für die Bezugsspannung im Amplitudenbereich von 0,3 mV bis 1 V und Kanal B für die zu messende Spannung im Bereich 3  $\mu$ V bis 1 V. Mit dem zum Lieferumfang gehörenden Vorsteckteiler erweitert sich der Meßbereich beider Kanäle um den Faktor 100.



BILD 1 Verstärkermessung mit Vektorvoltmeter ZPU und Universal-Meßsender SMDU. Die winzigen Tastspitzen des ZPU ermöglichen Messungen an praktisch jedem Punkt der Baugruppe. Foto 23 390

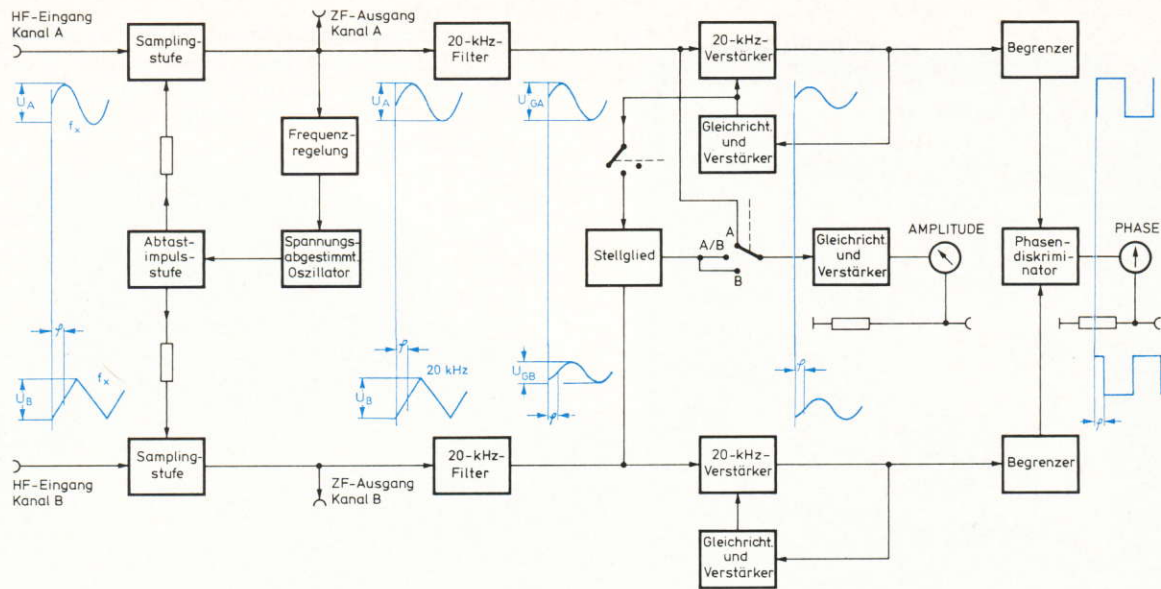


BILD 2 Prinzipschaltung des Vektorvoltmeters ZPU.

Angezeigt werden die Amplitudenwerte der Signale in Kanal A und B sowie der Phasenwinkel zwischen den beiden Signalen an großen, spiegelhinterlegten Weitwinkelskalen. Neuartig ist beim ZPU die Möglichkeit der Direktanzeige des Spannungsverhältnisses  $B/A$ , was besonders wichtig für die  $s$ -Parametermessung eines HF-Vierpols ist. Es werden gleichzeitig der Quotient aus den Spannungsbeträgen von Kanal A und B und der Phasenwinkel zwischen den beiden Spannungen angezeigt. Der Meßbereich des Phasenwinkels läßt sich in vier Bereichen mit  $\pm 6^\circ$ ,  $\pm 18^\circ$ ,  $\pm 60^\circ$  und  $\pm 180^\circ$  für Vollausschlag umschalten. Die mit Hilfe der Offset-Einstellung erreichbare Auflösung beträgt  $0,1^\circ$ .

Für die **Phasenmessung** werden die beiden sinusförmigen ZF-Spannungen zunächst in den selektiven 20-kHz-Verstärkern auf konstante Amplitude gebracht, dann je einem Begrenzer zugeführt und in rechteckförmige Signale umgewandelt. Eine Differenzierschaltung formt die Rechtecke in kurze Nadelimpulse um, die zeitlich entsprechend der Phasendifferenz verschoben sind. Diese Nadelimpulse gelangen in eine bistabile Kippschaltung, deren Ausgang mit dem zeitlich vorangehenden Impuls geöffnet und mit dem nachfolgenden Impuls wieder geschlossen wird. Der durch das Tastverhältnis gesteuerte Strom hinter der Kippstufe ist damit der Phasendifferenz proportional und dient der Anzeige.

## Aufbau und Arbeitsweise

Das Vektorvoltmeter ist ein fernsteuerbarer Zweikanal-Überlagerungsempfänger mit automatischer Frequenzabstimmung in den Teilbereichen (BILD 2). Der spannungsabgestimmte Überlagerungssoszillator arbeitet im Frequenzbereich 1 bis 3 MHz. Seine sinusförmige Ausgangsspannung wird in kurze Impulse umgewandelt und das so erzeugte Oberwellenspektrum den beiden Abtast-Mischstufen, die in den fest angeschlossenen Tastköpfen des ZPU untergebracht sind, zugeführt. Diese setzen die Meßsignale in Kanal A und B im ganzen Frequenzbereich 1 bis 1000 MHz in zwei getrennte Zwischenfrequenzsignale von 20 kHz um, wobei Amplitude, Kurvenform und Phasendifferenz der Signale erhalten bleiben. Der Vorteil dieser Umsetzung liegt darin, daß das HF-Signal zeitlich gedehnt wird und sich somit besser beobachten läßt. BILD 3 zeigt, wie beispielsweise eine HF-Sinussschwingung abgetastet wird.

Aus den so gewonnenen ZF-Signalen werden mit den schmalbandigen 20-kHz-Filtern die Grundwellen  $U_{GA}$  und  $U_{GB}$  ausgesiebt und zur **Spannungsanzeige** geführt. Die elektronischen Schalter, die den Eingang des Spannungsmessers direkt an den ZF-Ausgang in Kanal A oder an das Stellglied schalten, können entweder von Hand an der Frontplatte oder durch Anlegen von Gleichspannungen an die Fernbedienungsanschlüsse an der Rückseite des Gerätes betätigt werden. Bei der Messung der Amplitude im Kanal B ist die Verstärkung des Stellgliedes konstant.

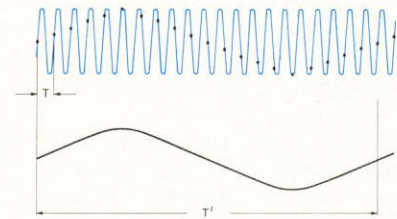


BILD 3 Abtastung eines Hochfrequenzsignals. Die Schwingungsdauer  $T$  läßt sich dadurch auf  $T'$  dehnen.

Für die **Bildung des Verhältnisses  $B/A$**  enthalten beide ZF-Kanäle je ein elektronisches Amplitudenstellglied. Die Stellglieder sind gleichartig aufgebaut und liegen an derselben Regelspannung, so daß sich die Verstärkung in beiden Kanälen jeweils um den gleichen Faktor ändert. Der gesamte Regelbereich beträgt 40 dB. Die Nennergröße  $A$  wird auf konstanter Amplitude gehalten, und die mitgesteuerte Größe  $B$  ist dann proportional dem Quotienten  $B/A$ .

## Meßbeispiele

Zu den Haupteinsatzgebieten des Vektorvoltmeters ZPU gehören die HF- und Nachrichtenmeßtechnik, die Rundfunk- und Fernseh-technik, die Antennentechnik sowie die Bauelemente-Entwicklung und -Herstellung. Einige Meßbeispiele sollen die Vielseitigkeit des Gerätes demonstrieren.

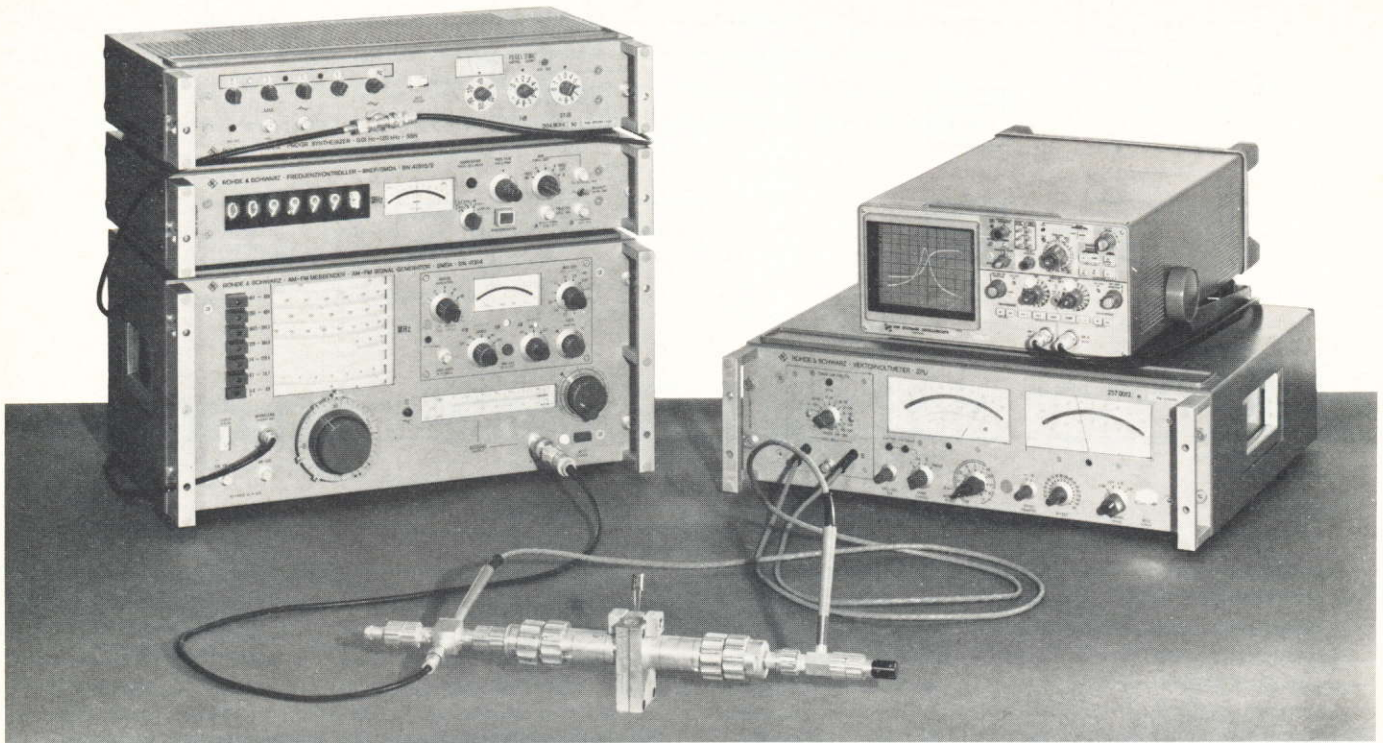


BILD 4 Meßplatz mit Vektorvoltmeter ZPU, AM-FM-Meßsender SMDA, Frequenzkontroller zum SMDA und NF-Präzisionsgenerator SSN zum Messen von schmalbandigen Filtern. Foto 23 236

## Filtermessung

BILD 4 zeigt einen Meßplatz, mit dem sich die Durchlaßkurve und der Phasenverlauf eines Quarzes oder schmalbandigen Filters aufnehmen lassen. Durch die Abstimmautomatik des ZPU, die das schmalbandige Wobbeln mit Ablaufgeschwindigkeiten bis zu 30 MHz/s gestattet, können die Kurven direkt auf einem Oszillografenschirm angezeigt oder von einem Schreiber aufgezeichnet werden.

## Verstärkermessungen

Bei der Entwicklung von Verstärkern interessieren die **Verstärkung**, der **Phasenverlauf** und die **Gruppenlaufzeit** als Funktion der Frequenz. Zur Messung dieser drei Größen werden nur ein Meßsender und das ZPU benötigt (siehe BILD 1). Die Verstärkung und den Phasenwinkel zeigt das Vektorvoltmeter bei der jeweils eingestellten Frequenz direkt an.

Die Gruppenlaufzeit  $t_G$  kann entweder grafisch aus der Steilheit der Phasenänderung ermittelt oder auch am Phasenmesser abgelesen werden, und zwar ist sie als Phasendifferenz in einem kleinen Frequenzbereich definiert:

$$t_G = \frac{\Delta\varphi}{360^\circ \cdot \Delta f}$$

Bei einer gewählten Frequenzänderung von beispielsweise  $\Delta f = 2,778 \text{ kHz}$  (27,78 kHz, 277,8 kHz usw.) entspricht  $1^\circ$  der Phasenänderung einer Gruppenlaufzeit von  $1 \mu\text{s}$  (100 ns, 10 ns usw.).

Die **Verstärkung eines Verstärkers mit Rückkopplung** ist

$$A = \frac{A_o}{1 - \beta A_o}$$

wobei  $\beta \cdot A_o$  die **Verstärkung der offenen Regelschleife** bedeutet. Wenn  $\beta \cdot A_o \geq 1$  (bzw.  $\geq 0 \text{ dB}$ ) ist, handelt es sich um eine Mitkopplung, und der Verstärker wird zu einem Oszillator, das heißt, er schwingt. Beim Entwurf rückgekoppelter Systeme sind

die Verstärkungsreserve und die Phasenreserve der offenen Schleife die entscheidenden Kriterien, die es gestatten, den Stabilitätsgrad oder die Stabilitätsreserve der ganzen Schaltung zu beurteilen. Als Verstärkungsreserve (gain margin) gilt die Verstärkung der offenen Schleife bei der Frequenz, bei der die Phasendrehung der Schleife  $-180^\circ$  ist. Als Phasenreserve (phase margin) bezeichnet man die Phasendifferenz zwischen  $-180^\circ$  und der Phasendrehung der offenen Schleife bei der Frequenz, bei der die Verstärkung der offenen Schleife  $\beta \cdot A_o = 0 \text{ dB}$  ist. Typische Werte für einwandfreie Stabilität sind eine Verstärkungsreserve zwischen  $-10$  und  $-40 \text{ dB}$  und eine Phasenreserve von etwa  $30^\circ$ . BILD 5 zeigt oben den Schaltungsaufbau zum Messen dieser beiden Größen und unten das Meßergebnis, das aussagt, daß es sich um einen stabilen Verstärker handelt.

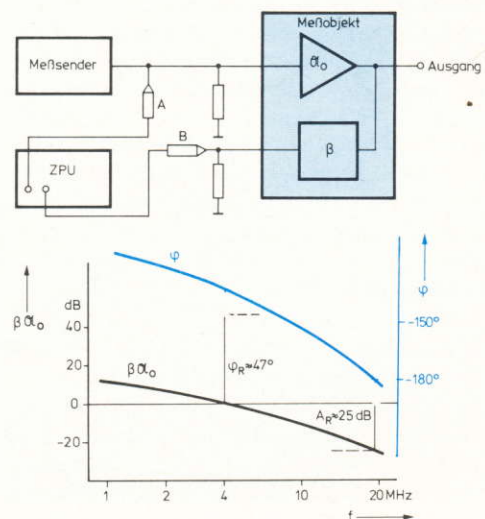


BILD 5 Aufbau zum Messen der Verstärkung bei offener Schleife eines rückgekoppelten Verstärkers. Aus den Meßkurven können die Verstärkungsreserve  $A_R$  und die Phasenreserve  $\varphi_R$  entnommen werden.

Bei Regelschleifen mit großer **Verstärkung** ist es oft günstiger, **bei nicht unterbrochener Regelschleife** zu messen. In die Schleife wird dann ein Störsignal eingespeist und die Übertragungscharakteristik gemessen (BILD 6).

### Frequenzvergleich

Bei der Mehrzahl der Meßmethoden für den Frequenzabgleich genauer Oszillatoren sowie bei der Messung der Frequenzstabilität sind verhältnismäßig lange Meßzeiten erforderlich. Mit Hilfe des Vektorvoltmeters ZPU ist es möglich, innerhalb einer Minute zwei Frequenzen von beispielsweise 1 MHz mit einem Fehler von höchstens  $3 \cdot 10^{-11}$  zu vergleichen (BILD 7). Unter der Voraussetzung, daß die beiden Eingangsfrequenzen  $f_A$  und  $f_B$  fast gleich sind, ändert sich die Phasendifferenz  $\Delta\varphi$  zwischen beiden Oszillatoren sehr langsam ( $\Delta t$ ). Die Frequenzdifferenz  $\Delta f$  läßt sich dann folgendermaßen berechnen:

$$\Delta f = \frac{\Delta\varphi}{360^\circ \cdot \Delta t}$$

### Messungen an Antennen

Dank seiner gleichbleibend hohen Selektivität im gesamten Frequenzbereich 1 bis 1000 MHz kann das ZPU als Meßempfänger beim Aufnehmen von Antennenstrahlungsdiagrammen dienen. Das Vektorvoltmeter wird auf die Meßfrequenz synchronisiert und der B-Tastkopf an eine Meßantenne angeschlossen (BILD 8). Die Bandbreite des Meßzweiges ist etwa 1 kHz; in den Spannungs-Meßbereichen 10  $\mu$ V und 30  $\mu$ V beträgt die Empfängerbandbreite 2 Hz. In gleicher Weise wie die Strahlungsdiagramme lassen sich auch andere elektrische und magnetische Felder messen.

### Modulationsgradmessung

Das Vektorvoltmeter bildet das empfangene HF-Signal getreu auf die ZF-Ebene ab. Schließt man an den ZF-Ausgang des Vektorvoltmeters einen NF-Oszillografen, dann kann man den Modulationsgrad  $m$  aus dem abgebildeten Signal folgendermaßen ermitteln:

$$m = \frac{A_1 - A_2}{A_1 + A_2} \cdot 100\%$$

Das Modulationssignal läßt auch Aussagen über die Nichtlinearität und die Phasendrehung des Modulators zu (BILD 9).

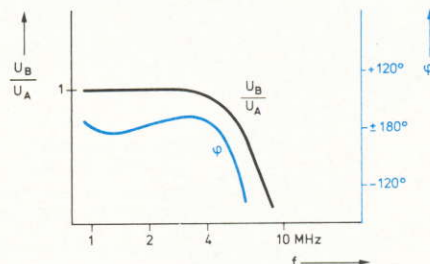
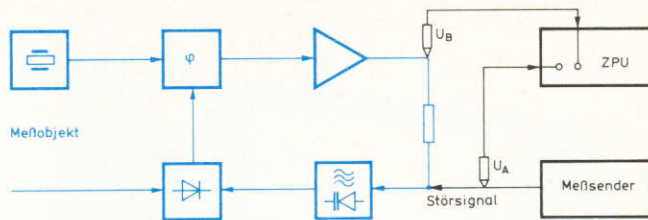


BILD 6 Messung der Übertragungscharakteristik eines rückgekoppelten Verstärkers bei geschlossener Regelschleife.

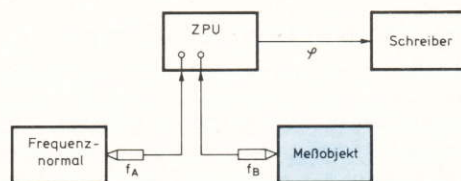


BILD 7 Das Vektorvoltmeter ZPU als Frequenzkomparator. Bei  $f_A \approx f_B$  ist  $\Delta f = \Delta\varphi/360^\circ \cdot \Delta t$ .

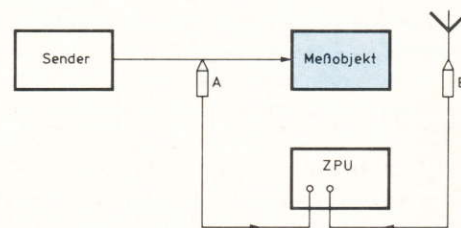


BILD 8 Messung von Antennenstrahlungsdiagrammen mit dem Vektorvoltmeter ZPU.

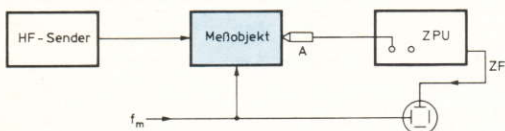
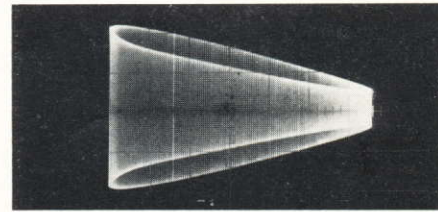
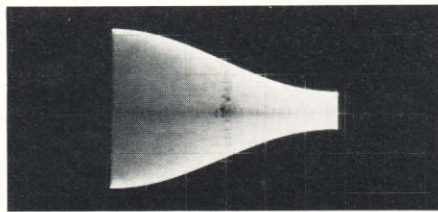
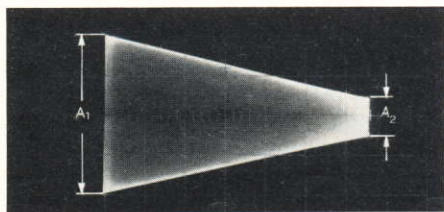


BILD 9 Messungen an einem Modulator mit dem Vektorvoltmeter ZPU (links der Meßaufbau, unten die Meßergebnisse). Das linke Oszillogramm zeigt das Modulationstrapez eines einwandfrei arbeitenden Modulators. Der Modulationsgrad läßt sich aus  $A_1$  und  $A_2$  ermitteln ( $m = 60\%$ ). Die beiden anderen Oszillogramme geben Auskunft über die Nichtlinearität (Mitte) und die Phasendrehung eines Modulators (rechts).



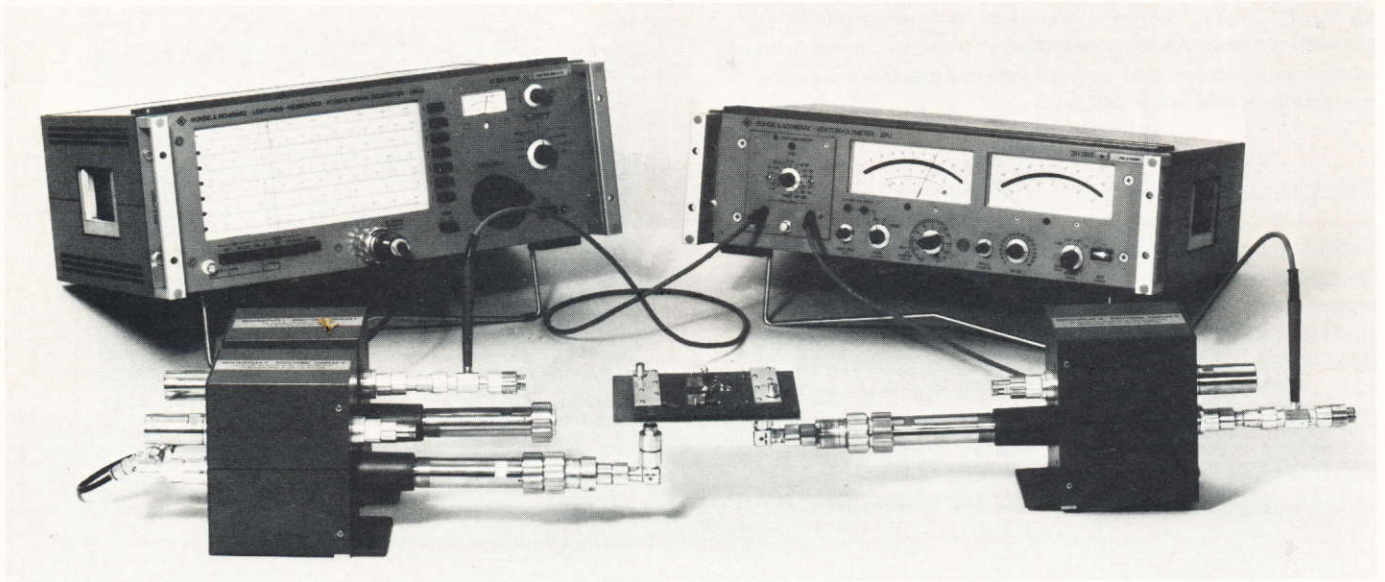


BILD 11 Meßplatz zur s-Parametermessung mit dem Vektorvoltmeter ZPU und dem Leistungs-Meßsender SMLU (für große Pegel). Der zu messende Vierpol wird zwischen Richtkoppler II (links vorn) und Richtkoppler III (rechts vorn) geschaltet. Foto 23 252

## Messung der elektrischen Länge von Kabeln

Die hohe Genauigkeit der Phasenanzeige erweist sich bei der Messung der elektrischen Länge von Kabeln als besonders günstig. BILD 10 zeigt den Meßaufbau. Bei Leerlauf wird das Phasenanzeige-Instrument auf 0 gestellt und dann das zu messende Kabel angeschlossen. Wenn die Kabellänge  $n \cdot \lambda/4$  bei der eingestellten Frequenz ist, ist die gemessene Phasendifferenz  $\varphi_A - \varphi_B = 0^\circ$ . Dabei muß selbstverständlich die Anzahl der Viertelwellen entlang des Kabels bekannt sein. Wird als Meß-

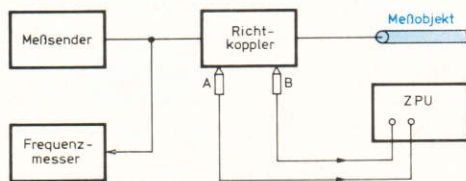


BILD 10 Messung der elektrischen Länge eines Kabels.

frequenz 41,666 MHz gewählt, entspricht  $1^\circ$  Phasenänderung einer Kabellänge von 10 mm. Die Meßgenauigkeit steigt proportional mit der verwendeten Meßfrequenz. Für den Abgleich zweier Kabel auf die gleiche elektrische Länge kann man auch die Phasendifferenz am Ausgang der Kabel messen, wobei die beiden Kabeleingänge parallel am Meßsender angeschlossen werden. Die angezeigte Phasendifferenz ist proportional der Differenz der elektrischen Länge der beiden Kabel.

## Messung der s-Parameter

BILD 11 zeigt einen Meßaufbau für die Ermittlung der Streu-(s-) Parameter eines Vierpols\*. Da die s-Parameter definitionsgemäß Quotienten aus zwei Wellen darstellen, wird das ZPU in der Betriebsart „Quotientenmessung“ verwendet. Der Meßbereich für die Übertragungsfaktoren, also  $s_{12}$  und  $s_{21}$ , geht von 0,001 bis 1000 und für die Reflexionsfaktoren,  $s_{11}$  und  $s_{22}$ , von 0,003 bis 2. (Reflexionsfaktoren über 1 ergeben sich bei

\* Hierzu in diesem Heft unser Repetitorium „Einführung in die Impedanzmeßtechnik“, Seite 22 bis 25, und die R&S-Sonderschrift R 29 406: Messung der s-Parameter mit dem Vektorvoltmeter ZPU.

Meßobjekten mit negativem differentiellem Widerstand, z. B. bei Verstärkern oder Oszillatoren, die mit Tunnelnioden arbeiten.)

Zur Messung der s-Parameter werden die Tastköpfe des ZPU in die mitgelieferten Durchgangsadapter gesteckt und diese außen reflexionsfrei abgeschlossen. Die andere Seite der Durchgangsadapter – je ein reflexionsfreier Meßeingang – wird mit einem Richtkoppler verbunden. (Die entsprechenden Richtkopplersätze für 50, 60 oder 75  $\Omega$  sind bei R&S erhältlich.) Der Richtkoppler II (siehe BILD 11) mißt das Eingangssignal (vor dem zu untersuchenden Objekt), der Richtkoppler III das Ausgangssignal, und der Vergleichsrichtkoppler I dient zur Kompensation der Frequenzabhängigkeit der von den Richtkopplern abgegebenen Spannungen.

Die Einspeisung der Generatorspannung zwischen Richtkoppler I und II geschieht über das mitgelieferte Versorgungs-T-Stück „Einspeisung“. Da die Empfindlichkeit des ZPU durch die Wahl der Meßbereiche in weiten Grenzen verändert werden kann, liegt der Bereich der über die Richtkoppler zuführbaren HF-Meßleistung zwischen 2 W und wenigen  $\mu$ W, was für die Messung von Halbleitern günstig ist. Bei der Verwendung eines Richtkopplers mit zwei Auskoppelsystemen (z. B. des ZDP) kann die Meßleistung entsprechend größer sein.

J. Beranek

## KURZDATEN DES VEKTORVOLT METERS ZPU

Frequenzbereich	1 ... 1000 MHz
Eingangsimpedanz	100 k $\Omega$    1,8 pF
Zulässige Eingangsspannung	< 3 V (U~), < $\pm$ 5 V (U-)
Spannungsmeßbereich	
Kanal A	300 $\mu$ V ... 1 V
Kanal B	3 $\mu$ V ... 1 V
Fehler der Spannungsanzeige	< 2 % (1 ... 100 MHz) < 6 % (100 ... 500 MHz) < 15 % (500 ... 1000 MHz)
Phasenmeßbereich	0° ... $\pm$ 180°
Auflösung	0,1°
Fehler der Phasenanzeige	< 1 % +1°
Bestellnummer	237.0012 ...

NÄHERES LESERDIENST KENNZIFFER 68/1