
Mehrtormessungen mit dem Netzwerk-Analysator ZVR

Application Note 1EZ37_1D

Änderungen vorbehalten

10. 10. 1997, Olaf Ostwald

Produkte:

ZVR mit Option ZVR-B8, ZVR-B14 oder ZVR-B26
ZVRE mit Option ZVR-B8, ZVR-B14 oder ZVR-B26
ZVRL mit Option ZVR-B8



ROHDE & SCHWARZ

INHALT	SEITE
1 KURZFASSUNG	2
2 ÜBERBLICK	2
3 DREITOR-MESSUNGEN	3
3.1 AUFBAU DES <i>DREITOR-ADAPTERS</i>	3
3.2 PRAKTISCHE ANWENDUNG	3
4 VIERTOR-MESSUNGEN	5
4.1 AUFBAU DER <i>VIERTOR-ADAPTER</i>	6
4.2 PRAKTISCHE ANWENDUNG	7
4.2.1 ALLGEMEINES	7
4.2.2 MODELLVARIANTE 02	8
4.2.3 MODELLVARIANTE 03	9
4.3 <i>ZUSATZEINGÄNGE VIERTOR</i>	11
5 ZUSAMMENFASSUNG	12
5.1 <i>DREITOR-ADAPTER</i>	12
5.2 <i>VIERTOR-ADAPTER VARIANTE 02</i>	12
5.3 <i>VIERTOR-ADAPTER VARIANTE 03</i>	12
5.3 <i>ZUSATZEINGÄNGE VIERTOR</i>	12
6 APPLIKATIONSSCHRIFTEN	13
7 BESTELLANGABEN	13

1 Kurzfassung

Mit Hilfe der optionalen *Dreitor-* oder *Viertor-Adapter* (ZVR-B8 und ZVR-B14) lassen sich die beiden Meßtore PORT 1 und PORT 2 der Netzwerkanalysatoren der ZVR-Familie (ZVRL, ZVRE und ZVR) auf bis zu vier Meßtore erweitern. So sind dann auch automatische Messungen an **Dreitor- und Viertor-Meßobjekten** ohne manuelles Umklemmen der Anschlußtore leicht möglich. Im Betrieb wird durch elektronische Umschalter in den Adaptern zwischen den verschiedenen Toren so schnell umgeschaltet, daß die traditionell bekannte hohe Meß- und Darstellungsgeschwindigkeit der Analysatoren der ZVR-Familie voll erhalten bleibt.

2 Überblick

Vier verschiedene **Optionen** ermöglichen die Messung von **Drei- oder Viertoren**:

- ZVR-B8: *Dreitor-Adapter*
- ZVR-B14 Var.02: *Viertor-Adapter „2xSPDT“*
- ZVR-B14 Var.03: *Viertor-Adapter „SP3T“*
- ZVR-B26: *Zusatzeingänge Viertor*

Jede bietet unterschiedliche Vorteile, die im folgenden betrachtet werden.

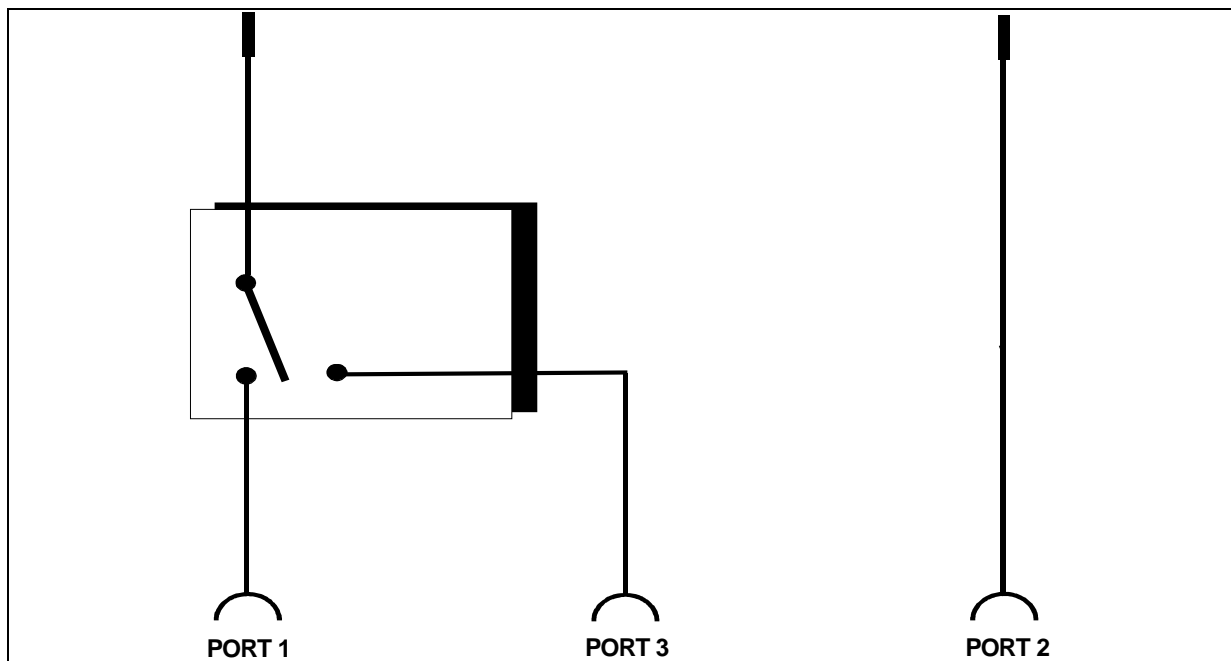


BILD 1: Deckelzeichnung des *Dreitor-Adapters* ZVR-B8

3 Dreitor-Messungen

Der *Dreitor-Adapter* (engl.: *3-Port Adapter*) ist eine optionale Ergänzung für **alle** Netzwerkanalysatoren der ZVR-Familie, also ZVRL, ZVRE und ZVR. Er erweitert die beiden Meßtore PORT 1 und PORT 2 des Netzwerkanalysators auf insgesamt **drei Meßtore PORT 1, PORT 2 und PORT 3**. Dazu enthält er einen elektronischen Umschalter, der PORT 1 des Analysators abwechselnd auf PORT 1 oder PORT 3 des *Dreitor-Adapters* umschaltet. Das PORT 2 des Analysators ist direkt mit dem gleichnamigen Meßtore des Adapters verbunden und wird nicht umgeschaltet. Der *Dreitor-Adapter* wird über eine optionale Rückwandschnittstelle angesteuert.

3.1 Aufbau des Dreitor-Adapters

Der Aufbau und die Funktionsweise des *Dreitor-Adapters* ist anhand seiner Zeichnung auf dem Gehäusedeckel ersichtlich (vgl. BILD 1). Er enthält einen elektronischen Umschalter (SPDT = "Single Pole Double Through"), der mit Feldeffekttransistoren aufgebaut ist und ein nahezu leistungsloses und verzögerungsfreies Schalten von Signalen zwischen 9 kHz und 4 GHz erlaubt. Seine Durchlaßdämpfung beträgt typisch etwa 1,6 dB bei 9 kHz und steigt auf etwa 4,2 dB bei 4 GHz an. Das jeweils gesperrte Ausgangstor, also beispielsweise PORT 3 bei durchgeschaltetem PORT 1, wird durch einen integrierten 50-Ω-Widerstand reflexionsarm abgeschlossen.

Der *Dreitor-Adapter* wird über die optionale Rückwandschnittstelle MULTIPORT ADAPTER (früherer Name: 3-PORT ADAPTER) durch ein TTL-Signal CHNBIT0 angesteuert. Bei den Analysatoren der ZVR-Familie ändert dieses Signal synchron zum jeweils aktiven Darstellkanal (CH 1 bis CH 4) seinen Zustand, falls die Betriebsart **entkoppelte Kanäle** eingestellt wurde, also:

[SWEEP]: COUPLED CHANNELS = OFF.

- Für die beiden **ungeraden Darstellkanäle**, also CH 1 und CH 3, befindet sich der Umschalter dann in Stellung **PORT 1**.
- Für die beiden **geraden Darstellkanäle**, also CH 2 und CH 4, befindet sich der Umschalter in Stellung **PORT 3**.

3.2 Praktische Anwendung

Der *Dreitor-Adapter* eignet sich besonders gut zur Vermessung spezieller Dreitore wie beispielsweise **Antennen-Diplexer**. Diese besitzen ein erstes Tor, in das beim praktischen Einsatz des Diplexers ein Sendesignal eingespeist wird. Es gelangt über den Diplexer zu seinem zweiten Tor, an das gewöhnlich eine Antenne angeschlossen wird, die sowohl sendet als auch empfängt. Das empfangene Signal wird dann durch den Diplexer an sein drittes Tor geleitet. Hier wird üblicherweise der Empfänger angeschlossen.

Zur Vermessung solch eines Antennen-Diplexers schließt man seinen Generatoreingang an PORT 1, den Antennen-Aus/Eingang an PORT 2 und den Empfängerausgang an PORT 3 des *Dreitor-Adapters* an. Benutzt man einen bidirektionalen Netzwerkanalysator, also ZVRE oder ZVR, ist man nun in der Lage, die Reflexionen an allen drei Toren des Diplexers zu messen sowie die Transmissionen von Tor 1 zu Tor 2 und umgekehrt und von Tor 2 zu Tor 3 und umgekehrt. (Bei Verwendung des unidirektionalen Netzwerkanalysators ZVRL sind natürlich nur die Vorwärts-Streuparameter, also S_{11} , S_{21} , S_{23} und S_{33} meßbar.) Niemals möglich ist die direkte Messung der Transmissionen zwischen Tor 1 und Tor 3, da diese beiden Tore über den Umschalter des *Dreitor-Adapters* mit demselben Meßtore des Analysators, nämlich PORT 1 verbunden sind.

Von den insgesamt drei mal drei – also neun – Streuparametern eines Dreitors können sieben mit Hilfe des *Dreitor-Adapters* direkt und ohne Umklemmen des Meßobjektes gemessen werden. Diese sind in der folgenden allgemeinen Streumatrix eines beliebigen Dreitors durch Fettdruck hervorgehoben:

$$(S) = \begin{pmatrix} \mathbf{S}_{11} & \mathbf{S}_{12} & S_{13} \\ \mathbf{S}_{21} & \mathbf{S}_{22} & \mathbf{S}_{23} \\ S_{31} & \mathbf{S}_{32} & \mathbf{S}_{33} \end{pmatrix}$$

Falls erforderlich, können die beiden nicht direkt meßbaren Streuparameter S_{13} und S_{31} durch Umklemmen des Meßobjektes zusätzlich gemessen werden. In vielen praktischen Anwendungsfällen ist deren Kenntnis jedoch nicht nötig. Dann können sämtliche interessierenden Streuparameter des Meßobjektes mit Hilfe des *Dreitor-Adapters* quasi-gleichzeitig gemessen werden. Bis zu vier davon sind gleichzeitig neben- oder übereinander auf dem Bildschirm des Netzwerkanalysators darstellbar.

Ein **typisches Meßbeispiel** ist die gleichzeitige Prüfung der beiden Transmissionspfade eines Diplexers. Soll z.B. die Transmission S_{21} von PORT 1 zu PORT 2 und die Transmission S_{23} von PORT 3 zu PORT 2 gemessen werden, so kann man S_{21} im Darstellkanal CH 1 (PORT 1 durchgeschaltet) anzeigen und S_{23} im Darstellkanal CH 2 (PORT 3 durchgeschaltet). Die Umschaltung zwischen den beiden entkoppelten Darstellkanälen und damit zwischen den beiden Meßpfaden des Diplexers erfolgt automatisch nach jedem „Sweep“. Bei beispielsweise 400 Meßpunkten je Kanal und 10 kHz Meßbandbreite geschieht dies jeweils im Takte von 200 ms. Somit können eventuelle Änderungen der Übertragungseigenschaften des Diplexers in „Echtzeit“ auf dem Bildschirm des Analysators verfolgt werden, und ein Abgleich des Meßobjektes ist ohne Verzögerung möglich.

Hinweis:

Bei der **Anzeige der S-Parameter** bezieht sich der in der oberen Zeile auf dem Bildschirm des Analysators ganz links angezeigte Wert immer auf die nur zwei Meßtore PORT 1 und PORT 2 des Netzwerkanalysators selbst. Dies ist unabhängig vom Vorhandensein und der Schalterstellung des Dreitor-Adapters.

Sowohl bei der Messung von S_{21} als auch bei S_{23} erscheint folglich auf der Anzeige immer „S21“, da in beiden Fällen die Transmission über PORT 1 zum PORT 2 des Netzwerkanalysators gemessen wird.

Mit Hilfe der weiteren verfügbaren Darstellkanäle können zusätzliche interessierende Meßgrößen angezeigt werden. Beispielsweise kann mit Hilfe des Darstellkanals CH 3 (PORT 1 durchgeschaltet) die Anpassung S_{11} des Meßobjektes an PORT 1 und mit Hilfe des Darstellkanals CH 4 (PORT 3 durchgeschaltet) seine Anpassung S_{33} an PORT 3 dargestellt werden.

Eine **Kombination von zwei Dreitor-Adapttern** eröffnet weitere Meßmöglichkeiten. Schließt man beispielsweise einen Dreitor-Adapter mit seinem Umschaltereingang an PORT 1 des Netzwerkanalysators an und einen weiteren Dreitor-Adapter an PORT 2 des Analysators, so ist die simultane Messung zweier Zweitormeßobjekte möglich. Diese können auf diese Weise direkt miteinander verglichen und einfach abgeglichen werden. Beide Dreitor-Adapter werden hierzu über ein einfaches Y-Kabel von der Rückwandschnittstelle des Analysators parallel angesteuert.

Weitere Anwendungen sind möglich, wenn man zur Ansteuerung des Dreitor-Adapters nicht das erwähnte TTL-Signal CHNBIT0 verwendet sondern stattdessen ein alternatives TTL-Signal CHNBIT1, das ebenfalls über die Rückwandschnittstelle des Analysators verfügbar ist. Hierzu ist nur eine kleine Modifikation auf der Ansteuerplatine des Dreitor-Adapters erforderlich. Das Signal CHNBIT1 ändert seinen Zustand ebenfalls synchron zum aktiven Darstellkanal; es nimmt jedoch den einen Zustand für die beiden niedrigen Kanäle CH 1 und CH 2 an und den anderen für die beiden höheren Kanäle CH 3 und CH 4. Das heißt, der Umschalter befindet sich nun in Stellung PORT 1, wenn Darstellkanal CH 1 oder CH 2 aktiv ist und in Stellung PORT 3, sobald der Darstellkanal CH 3 oder CH 4 aktiv wird.

Verwendet man zwei Dreitor-Adapter, von denen einer von CHNBIT0 und der andere von CHNBIT1 angesteuert wird, so ist auch die Messung von Viertormeßobjekten möglich. Schließt man beispielsweise die Tore 1 und 2 des Meßobjektes an den ersten Dreitor-Adapter und die Tore 3 und 4 an den zweiten an, so läßt sich die Reflexion an allen vier Toren des Meßobjektes bestimmen. Von den insgesamt zwölf Transmissionsfaktoren kann man acht messen, wie man an der folgenden TABELLE 1 sieht.

Darstellkanal	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4
CHN BIT 1	1	1	0	0
CHN BIT 0	1	0	1	0
Schaltstellung	PORT 1	PORT 3	PORT 1	PORT 3
Viertormeß-Par.	S_{31} und S_{13}	S_{32} und S_{23}	S_{41} und S_{14}	S_{42} und S_{24}

TABELLE 1: Viertormessung mit zwei Dreitor-Adapttern

Zur **Steigerung der Meßgenauigkeit** läßt sich wie üblich eines der Systemfehlerkorrekturverfahren verwenden, z.B. TOM. Es wird empfohlen, in jedem der verwendeten entkoppelten Darstellkanäle eine eigene Kalibrierung durchzuführen. Im Betrieb wird dann synchron mit dem Kanalwechsel und dem Umschalten des Dreitor-Adapters automatisch auch zwischen den dazugehörigen unabhängigen Kalibrierdatensätzen umgeschaltet. Dies geschieht so schnell, daß die bekannte hohe Meßgeschwindigkeit der Netzwerkanalysatoren der ZVR-Familie voll erhalten bleibt.

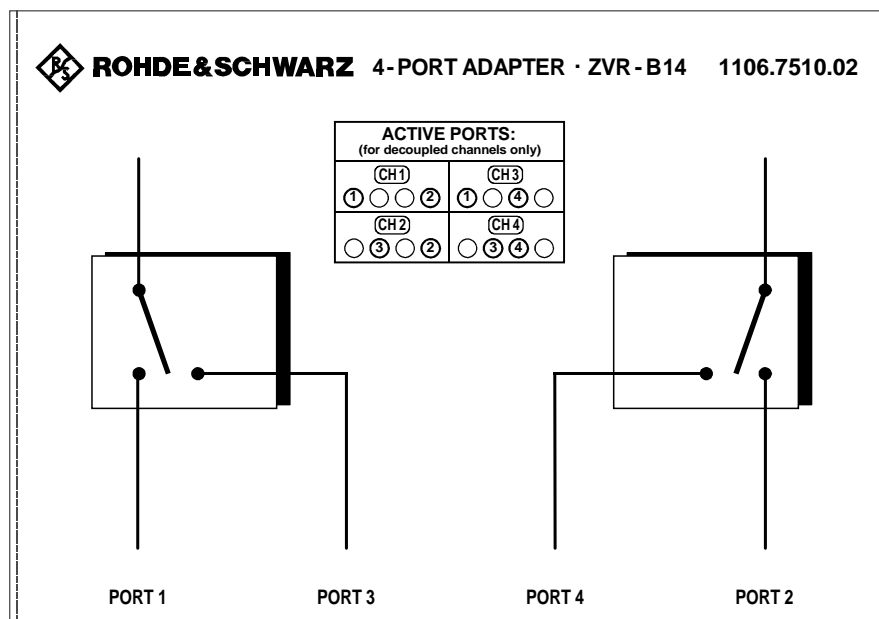


BILD 2: Deckelzeichnung der Variante **02** des *Viertor-Adapters* ZVR-B14

4 Viertor-Messungen

Der *Viertor-Adapter* (engl.: *4-Port Adapter*) dient zur Erweiterung der beiden Meßstore PORT 1 und PORT 2 der Netzwerkanalysatoren der ZVR-Familie auf vier Meßstore PORT 1, PORT 2, PORT 3 und PORT 4. Er ist in zwei Modellvarianten (**02** und **03**) erhältlich, die unterschiedliche Schaltfunktionen zur Verfügung stellen und somit jeweils für andere Viertormeißobjekte besonders gut geeignet sind.

Die **Variante 02** (vgl. BILD 2) enthält zwei unabhängige Umschalter (SPDT). Der erste schaltet PORT 1 des Analysators abwechselnd auf PORT 1 oder PORT 3 des *Viertor-Adapters*. Der zweite schaltet PORT 2 des Netzwerkanalysators abwechselnd auf PORT 2 oder PORT 4 des *Viertor-Adapters*. Es können besonders gut Meißobjekte mit **zwei** Eingängen und **zwei** Ausgängen, wie doppelpolige Umschalter oder Richtkoppler, aber auch gleichzeitig zwei Zweitore, beispielsweise zwei Verstärker oder zwei Filter, vermessen werden.

Die **Variante 03** (vgl. BILD 3) hingegen verbindet PORT 1 des Netzwerkanalysators direkt mit dem gleichnamigen PORT 1 des *Viertor-Adapters*, während PORT 2 des Analysators wahlweise auf eines der drei übrigen Tore des *Viertor-Adapters*, also PORT 2, PORT 3 oder PORT 4 geschaltet

werden kann. Die **Variante 03** eignet sich daher speziell für Meißobjekte mit einem Eingang und **drei** Ausgängen oder umgekehrt, bei denen Transmissionen von einem Tor zu allen **drei** übrigen Toren gemessen werden sollen, wie beispielsweise Frequenzweichen.

Beide Varianten des *Viertor-Adapters* ermöglichen (bei Verwendung mit einem bidirektionalen Analysator) die gleichzeitige Messung der Reflexionen an allen vier Toren eines Meißobjektes oder die Messung von bis zu vier unterschiedlichen Transmissionen sowie auch Kombinationen von Reflexions- und Transmissionsmessungen. In allen Fällen stehen sämtliche Fähigkeiten der vektoriellen Netzwerkanalysatoren der ZVR-Familie, wie beispielsweise die vielfältigen Darstellmöglichkeiten, alle komplexen Auswertefunktionen sowie die breite Palette an Systemfehlerkalibrierverfahren, für jeden einzelnen der vier gewählten Meißparameter unabhängig voneinander zur Verfügung.

Der *Viertor-Adapter* wird über die optionale Rückwandschnittstelle des Netzwerkanalysators „**MULTIPOINT ADAPTER**“ (früherer Name: „3-PORT ADAPTER“) mit Betriebsspannung versorgt und angesteuert.

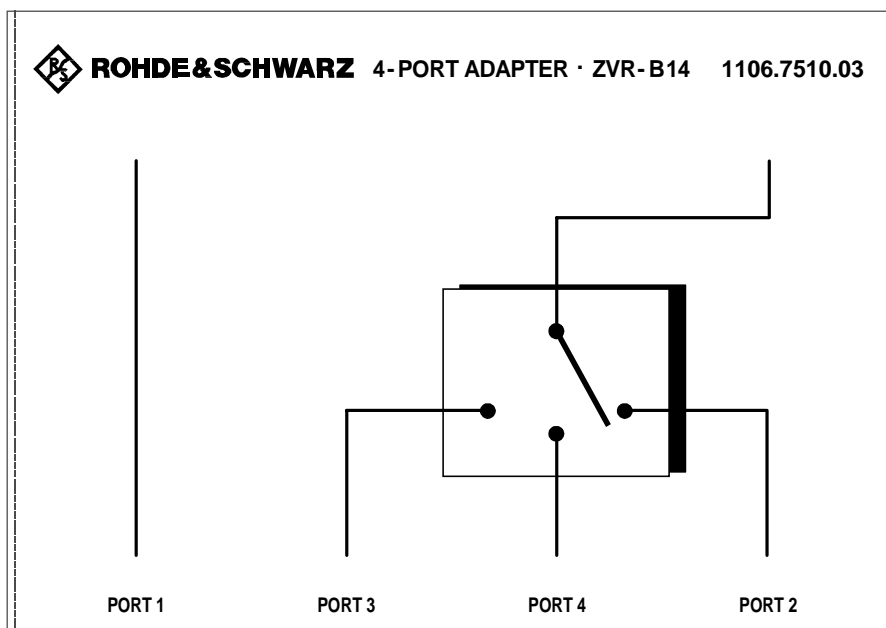


BILD 3: Deckelzeichnung der Variante **03** des *Viertor-Adapters* ZVR-B14

4.1 Aufbau der *Viertor-Adapter*

Wie bereits erläutert, ist der *Viertor-Adapter* in **zwei unterschiedlichen Modellvarianten** erhältlich, nämlich in der **Variante 02** und der **Variante 03**. Beide enthalten zwei elektronische Umschalter, die jedoch unterschiedlich verkabelt sind und für die äußeren Schnittstellen der beiden Varianten zu unterschiedlichen Funktionsweisen führen.

Der Aufbau und die prinzipielle Funktionsweise ist anhand der jeweiligen Zeichnung auf dem Gehäusedeckel des *Viertor-Adapters* ersichtlich.

Die **eine Variante (.02)** (vgl. BILD 2) enthält zwei Umschalter (**SPDT = „Single Pole Double Throw“**), von denen der eine PORT 1 des Analysators abwechselnd auf PORT 1 oder PORT 3 des *Viertor-Adapters* schaltet (linke Hälfte der Baugruppe). Der andere Umschalter schaltet PORT 2 des Netzwerkanalysators abwechselnd auf PORT 2 oder PORT 4 des *Viertor-Adapters* (rechte Hälfte der Baugruppe).

Die **andere Variante (.03)** (vgl. BILD 3) enthält ebenfalls zwei Umschalter. Im Gegensatz zur Variante **02** wird hier jedoch das PORT 1 des Analysators direkt auf PORT 1 des *Viertor-Adapters* durchgeschleift (linker Teil der Bau-

gruppe) und nicht umgeschaltet. Auf der anderen Seite im rechten Teil der Baugruppe sind die beiden elektronischen Umschalter so verkabelt, daß sie von außen wie ein 1-auf-3-Umschalter (**SP3T = „Single Pole Triple Throw“**) wirken. Auf diese Weise wird PORT 2 des Netzwerkanalysators wahlweise auf PORT 2, PORT 3 oder PORT 4 des *Viertor-Adapters* umgeschaltet.

Die beiden elektronischen Umschalter sind mit Feldeffekttransistorschaltungen aufgebaut, die ein nahezu leistungsloses und verzögerungsfreies Schalten von Signalen zwischen 9 kHz und 4 GHz erlauben. Die Transmissionsdämpfung eines elektronischen Umschalters im durchgeschalteten Zustand (Durchlaßdämpfung) beträgt typisch etwa 1,6 dB bei 9 kHz und steigt auf etwa 4,2 dB bei 4 GHz an. (Bei der Variante **03** ist zu beachten, daß die Pfade zu PORT 3 und PORT 4 aufgrund der Hintereinanderschaltung beider Umschalter die doppelte Transmissionsdämpfung aufweisen.) Die jeweils gesperrten Tore des *Viertor-Adapters*, also beispielsweise PORT 3 und PORT 4 bei durchgeschalteten PORT 1 und PORT 2, werden durch integrierte 50-Ω-Widerstände reflexionsarm abgeschlossen.

4.2 Praktische Anwendung

4.2.1 Allgemeines

Der *Viertor-Adapter* ermöglicht die Vermessung von unterschiedlichen Viertoren. (Als Spezialfälle können auch zwei Zweitore, ein Dreitor und ein Eintor oder vier Eintore gleichzeitig gemessen werden.) Ein allgemeines Viertor wird durch seine **Streumatrix (S)** von vier mal vier gleich sechzehn Streuparametern beschrieben.

$$(S) = \begin{pmatrix} \mathbf{S}_{11} & \mathbf{S}_{12} & S_{13} & \mathbf{S}_{14} \\ \mathbf{S}_{21} & \mathbf{S}_{22} & \mathbf{S}_{23} & S_{24} \\ S_{31} & \mathbf{S}_{32} & \mathbf{S}_{33} & \mathbf{S}_{34} \\ \mathbf{S}_{41} & S_{42} & \mathbf{S}_{43} & \mathbf{S}_{44} \end{pmatrix}$$

Meßbare Streuparameter mit Variante 02

Mit Hilfe jeder der beiden Varianten des *Viertor-Adapters* können (bei Verwendung mit einem bidirektionalen Netzwerkanalysator) alle vier Reflexionsfaktoren S_{11} bis S_{44} eines Viertors gemessen werden. Von den insgesamt zwölf Transmissionsfaktoren S_{12} bis S_{43} kann man in Abhängigkeit von der gewählten Modellvariante des *Viertor-Adapters* sechs oder acht messen.

Die **Variante 02** erlaubt es, acht Transmissionsfaktoren zu messen. Alle meßbaren Streuparameter sind in der obigen Streumatrix durch Fettdruck hervorgehoben. Die restlichen vier Transmissionsfaktoren, nämlich S_{13} , S_{31} , S_{24} und S_{42} lassen sich aufgrund des internen Aufbaus der Variante **02** des *Viertor-Adapters* nicht direkt messen. Ist deren Messung erforderlich, so muß das Meßobjekt umgeklemmt werden oder man kann die Variante **03** des *Viertor-Adapters* verwenden.

Mit Hilfe der **Variante 03** des *Viertor-Adapters* können ebenfalls alle vier Reflexionsfaktoren S_{11} bis S_{44} eines Viertors gemessen werden. Von den insgesamt zwölf Transmissionsfaktoren S_{12} bis S_{43} lassen sich sechs messen, nämlich die Übertragungen von PORT 1 zu allen übrigen drei Toren hin und zurück. Alle mit der Variante 03 des *Viertor-Adapters* meßbaren Streuparameter sind in der nachfolgenden Streumatrix durch Fettdruck hervorgehoben. Die restlichen sechs Transmissionsfaktoren, nämlich S_{23} , S_{32} , S_{24} , S_{42} , S_{34} und S_{43} lassen sich aufgrund des internen Aufbaus der Variante **03** des *Viertor-Adapters* nicht direkt messen.

$$(S) = \begin{pmatrix} \mathbf{S}_{11} & \mathbf{S}_{12} & \mathbf{S}_{13} & \mathbf{S}_{14} \\ \mathbf{S}_{21} & \mathbf{S}_{22} & S_{23} & S_{24} \\ \mathbf{S}_{31} & S_{32} & \mathbf{S}_{33} & S_{34} \\ \mathbf{S}_{41} & S_{42} & S_{43} & \mathbf{S}_{44} \end{pmatrix}$$

Meßbare Streuparameter mit Variante 03

Der *Viertor-Adapter* wird über die optionale Rückwandbuchse **MULTIPOINT ADAPTER** betrieben, die bereits für den *Dreitor-Adapter* unter dem Namen 3-PORT ADAPTER eingeführt wurde und danach den neuen, allgemeingültigen Namen erhalten hat.

Die Steuerung der beiden Umschalter im *Viertor-Adapter* erfolgt in der Weise, daß bei **entkoppelten** Darstellkanälen des ZVR (also nach [SWEEP]: COUPLED CHANNELS = OFF) je nach aktivem Darstellkanal (CHANNEL CH 1, CH 2, CH 3 oder CH 4) unterschiedliche Pfade des *Viertor-Adapters* durchgeschaltet werden. Dabei verhalten sich die beiden Modellvarianten des *Viertor-Adapters* (**02** und **03**) unterschiedlich:

Die genaue Zuordnung von aktivem Darstellkanal und durchgeschalteten Meßtoren ist für die **Variante 02** der Tabelle auf dem Gehäusedeckel des *Viertor-Adapters* zu entnehmen (siehe folgende TABELLE 2):

CH 1	CH 3
① ○ ○ ②	① ○ ④ ○
CH 2	CH 4
○ ③ ○ ②	○ ③ ④ ○

TABELLE 2: Kanalzuordnung für Variante **02**

Wie man sieht, ist für die beiden ungeraden Darstellkanäle (CH 1 und CH 3) das Meßtore PORT 1 des *Viertor-Adapters* aktiviert; für die beiden geraden Kanäle (CH 2 und CH 4) hingegen das PORT 3. Die Umschaltung des linken Schalters des *Viertor-Adapters* erfolgt also im Rhythmus des Umschaltens zwischen ungeraden und geraden Darstellkanälen. Auf der anderen Seite befindet sich für die beiden kleineren Kanalnummern (CH 1 und CH 2) der rechte Umschalter in der Stellung PORT 2 und für die beiden größeren Kanalnummern (CH 3 und CH 4) in der Stellung PORT 4. Die Umschaltung des rechten Schalters erfolgt somit im Rhythmus des Umschaltens zwischen den beiden kleineren Kanälen zu den beiden größeren Kanälen.

Insgesamt werden im Laufe des Umschaltens von CH 1 bis CH 4 alle vier möglichen Schaltkombinationen des *Viertor-Adapters* (Variante **02**) zyklisch durchlaufen.

Die Torbezeichnung und Kanalbelegung für die **Variante 02** des *Viertor-Adapters* ist so gewählt, daß der Grundzustand für CH 1 angenommen wird. Dann werden die Tore PORT 1 und PORT 2 des Netzwerkanalysators direkt auf die gleichnamigen Tore des *Viertor-Adapters* durchgeschaltet. Diese sind mechanisch genauso und im gleichen Abstand angeordnet wie die beiden Meßstore des Analysators. Das PORT 3 des *Viertor-Adapters* befindet sich wie beim *Dreitor-Adapter* neben PORT 1. Beide Adapter sind somit bezüglich PORT 1 bis PORT 3 von ihrem Aufbau und der Funktionsweise gleichwertig. Das Meßtor PORT 1 des Analysators kann alternativ zu PORT 1 oder zu PORT 3 des *Viertor-Adapters* durchgeschaltet werden. Symmetrisch dazu wird das Meßtor PORT 2 des Analysators mit Hilfe des *Viertor-Adapters* alternativ auf PORT 2 oder auf PORT 4 geschaltet.

Die Zuordnung von aktivem Darstellkanal und durchgeschalteten Meßstoren kann für die **Variante 03** einfach erläutert werden: Wie bei der Variante **02** ist auch bei der **Variante 03** die Torbezeichnung und Kanalbelegung des *Viertor-Adapters* so, daß der Grundzustand für CH 1 angenommen wird. Dann werden die Tore PORT 1 und PORT 2 des Netzwerkanalysators direkt auf die gleichnamigen Tore des *Viertor-Adapters* durchgeschaltet. Die übrigen drei Darstellkanäle bewirken, daß das jeweils gleichlautende Tor des *Viertor-Adapters* durchgeschaltet wird, also für CH 2 wiederum PORT 2, für CH 3 wird PORT 3 durchgeschaltet und für CH 4 schließlich PORT 4. Wie man sieht, ist bei der **Variante 03** das PORT 1 in jedem Fall durchgeschaltet (vgl. TABELLE 3).

CH 1	CH 3
①○○②	①③○○
CH 2	CH 4
①○○②	①○④○

TABELLE 3: Kanalzuordnung für Variante **03**

Identisch wie bei der Variante **02** sind die Tore PORT 1 und PORT 2 genauso angeordnet wie die beiden Meßstore des Analysators selbst. Das PORT 3 des *Viertor-Adapters* befindet sich auch hier wie bei der Modellvariante **02** und wie beim *Dreitor-Adapter* neben PORT 1.

4.2.2 Modellvariante 02

Zur **Messung von Viertor-Streuparametern** mit Hilfe der **Variante 02** des *Viertor-Adapters* wird folgende Vorgehensweise vorgeschlagen:

1. Zur Messung von **Vorwärts-Transmissionsfaktoren** (S_{21} , S_{23} , S_{41} , S_{43}) wählt man als Meßparameter in allen vier Darstellkanälen den Streuparameter S_{21} aus.

- [MEAS]: S21
- [SWEEP]: COUPLED CHANNELS = OFF
- [DISPLAY]: QUAD CHANNEL QUAD SPLIT

Unter der Voraussetzung von **entkoppelten** Darstellkanälen erhält man bei Vierquadranten-darstellung der Streuparameter die S-Parameter des Meßobjektes in der folgenden Form:

$$\begin{array}{c|c} S_{21} & S_{41} \\ \hline S_{23} & S_{43} \end{array}$$

2. Zur Messung von **Rückwärts-Transmissionsfaktoren** (S_{12} , S_{32} , S_{14} , S_{34}) wählt man als Meßparameter in allen vier Darstellkanälen den Streuparameter S_{12} aus. Unter den gleichen Bedingungen wie oben erscheinen nun die folgenden S-Parameter des Meßobjektes auf dem Bildschirm:

$$\begin{array}{c|c} S_{12} & S_{14} \\ \hline S_{32} & S_{34} \end{array}$$

3. Zur Messung der **Reflexionsfaktoren** (S_{11} , S_{22} , S_{33} , S_{44}) wählt man als Meßparameter beispielsweise in den Darstellkanälen CH 1 und CH 4 den S-Parameter S_{11} aus und in den Darstellkanälen CH 2 und CH 3 den S-Parameter S_{22} . Alle vier Reflexionsfaktoren des Meßobjektes werden dann in der folgenden Form angezeigt:

$$\begin{array}{c|c} S_{11} & S_{44} \\ \hline S_{22} & S_{33} \end{array}$$

Selbstverständlich ist es auch möglich, unterschiedliche Kombinationen von Vorwärts- und Rückwärts-Transmissions- sowie Reflexionsfaktoren gleichzeitig darzustellen. Die genaue Zuordnung ergibt sich jeweils aus dem in den unterschiedlichen Darstellkanälen ausgewählten Streuparameter und dem vorgegebenen Zusammenhang zwischen aktiven Darstellkanälen und durchgeschalteten Meßstoren.

Vorab kann wie üblich zur Steigerung der Meßgenauigkeit eine **Systemfehlerkalibrierung** durchgeführt werden. Hierzu wird empfohlen, diese für jeden einzelnen Darstellkanal unabhängig voneinander vorzunehmen und dabei die Kalibrierstandards jeweils an die beiden durchgeschalteten Tore des *Viertor-Adapters* (oder daran angeschlossene Meßkabel) anzuschließen. Im Betrieb wird dann beim Wechsel der Darstellkanäle und synchron mit dem Umschalten des *Viertor-Adapters* zwischen den bis zu vier Systemfehlerkorrekturdatensätzen automatisch umgeschaltet. Die **Meß- und Umschaltgeschwindigkeit** ist in allen Fällen so hoch, daß ein Abgleich eines Meßobjektes ohne Verzögerung möglich ist.

Hinweis:

Bei der Anzeige der S-Parameter sollte beachtet werden, daß der auf dem Bildschirm des Analyzers im jeweiligen Quadranten in der oberen Zeile ganz links signalisierte Streuparameter sich immer auf die nur zwei Meßtore PORT 1 und PORT 2 des Netzwerkanalysators selbst bezieht und zwar unabhängig vom Vorhandensein und der Schalterstellung des Viertor-Adapters. Beispielsweise erscheint daher auf der Anzeige sowohl bei der Messung von S_{21} als auch bei der Messung von S_{31} folglich immer „S21“, da in beiden Fällen die Transmission von PORT 1 zu PORT 2 des Netzwerkanalysators gemessen wird.

4.2.3 Modellvariante 03

Zur **Messung von Viertor-Streuparametern** mit Hilfe der **Variante 03** des *Viertor-Adapters* wird folgende Vorgehensweise vorgeschlagen:

1. Zur Messung von **Vorwärts-Transmissionsfaktoren** (S_{21} , S_{31} , S_{41} in der ersten Spalte der **Streumatrix (S)**) wählt man als Meßparameter in allen vier Darstellkanälen den Streuparameter S_{21} aus.

- [MEAS]: S21
- [SWEEP]: COUPLED CHANNELS = OFF
- [DISPLAY]: QUAD CHANNEL QUAD SPLIT

Unter der Voraussetzung von **entkoppelten** Darstellkanälen erhält man bei Vierquadranten-darstellung der S-Parameter alle drei meßbaren Vorwärts-Transmissionsfaktoren des Meßobjektes in der folgenden Form:

$$\begin{array}{c|c} S_{21} & S_{31} \\ \hline S_{21} & S_{41} \end{array}$$

2. Zur Messung von **Rückwärts-Transmissionsfaktoren** (S_{12} , S_{13} , S_{14} in der oberen Zeile der **Streumatrix (S)**) wählt man als Meßparameter in allen vier Darstellkanälen den Streuparameter S_{12} aus. Unter den gleichen Bedingungen wie oben erscheinen nun alle drei meßbaren Rückwärts-Transmissionsfaktoren des Meßobjektes auf dem Bildschirm in der folgenden Form:

$$\begin{array}{c|c} S_{12} & S_{13} \\ \hline S_{12} & S_{14} \end{array}$$

3. Zur Messung der **Reflexionsfaktoren** (S_{11} , S_{22} , S_{33} , S_{44} in der Hauptdiagonale der **Streumatrix (S)**) wählt man als Meßparameter beispielsweise in den Darstellkanälen CH 1 und CH 3 den S-Parameter S_{11} aus und in den Darstellkanälen CH 2 und CH 4 den S-Parameter S_{22} . Alle vier Reflexionsfaktoren werden dann in der folgenden Form angezeigt (vgl. BILD 4):

$$\begin{array}{c|c} S_{11} & S_{33} \\ \hline S_{22} & S_{44} \end{array}$$

Selbstverständlich ist es auch möglich, unterschiedliche Kombinationen von Vorwärts- und Rückwärts-Transmissions- sowie Reflexionsfaktoren gleichzeitig darzustellen. Die Zuordnung ergibt sich jeweils aus dem in den unterschiedlichen Darstellkanälen ausgewählten Streuparameter und dem vorgegebenen Zusammenhang zwischen aktiven Darstellkanälen und durchgeschalteten Meßtoren.

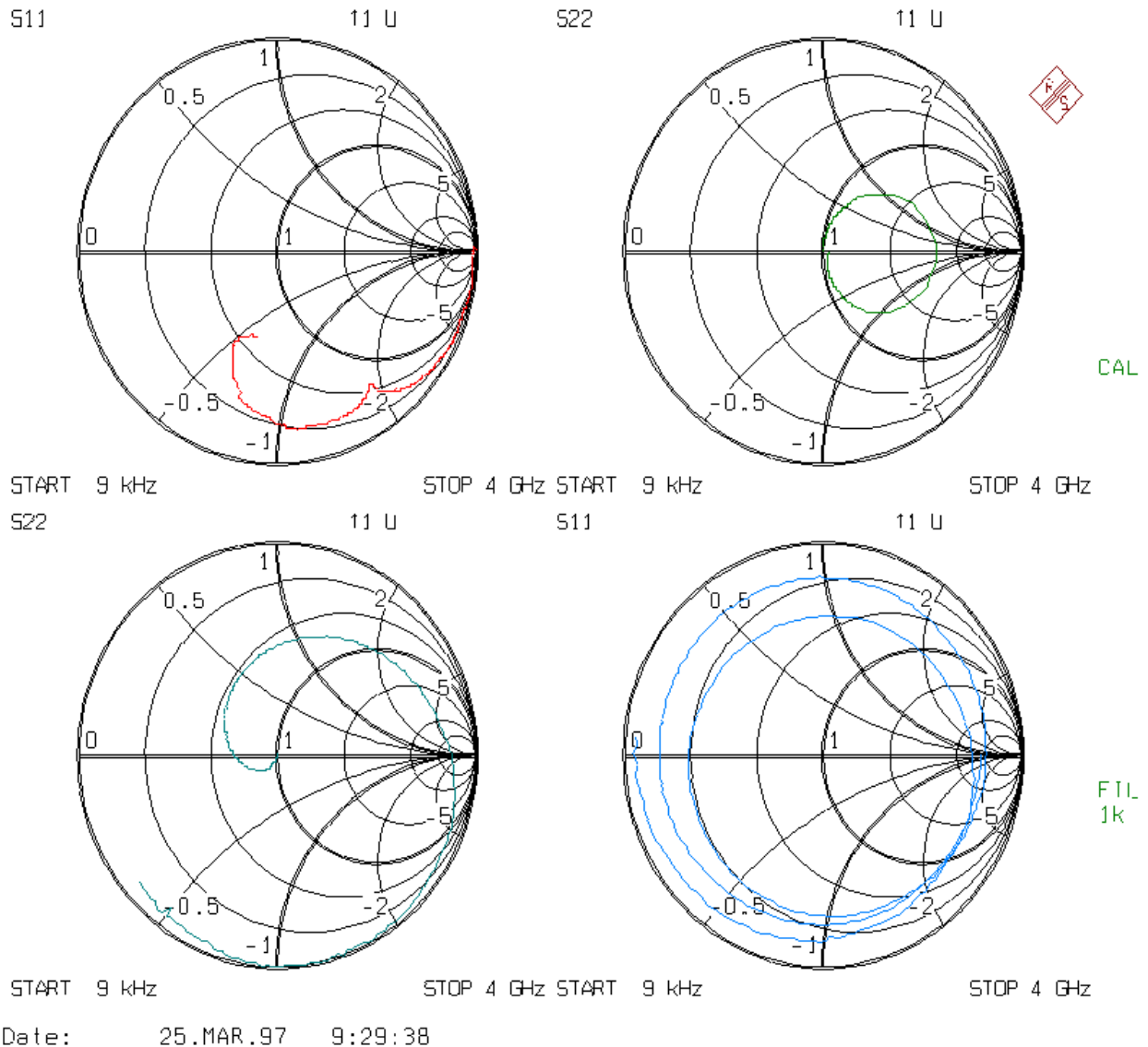


BILD 4: Gleichzeitige Messung aller vier Reflexionsfaktoren eines Viertor-Meßobjektes

Vorab kann auch hier zur **Steigerung der Meßgenauigkeit** eine Systemfehlerkalibrierung durchgeführt werden. Es wird empfohlen, diese für jeden einzelnen Darstellkanal unabhängig voneinander vorzunehmen und dabei die Kalibrierstandards jeweils an die beiden durchgeschalteten Tore des *Viertor-Adapters* (oder daran angeschlossene Meßkabel) anzuschließen. Im Betrieb wird dann beim Wechsel der Darstellkanäle synchron mit dem Umschalten des *Viertor-Adapters* zwischen den bis zu vier Systemfehlerkorrekturdatensätzen automatisch umgeschaltet. Die **Meß- und Umschaltgeschwindigkeit** ist in allen Fällen so hoch, daß ein Abgleich eines Meßobjektes ohne Verzögerung möglich ist.

Hinweis:

Bei der **Anzeige der S-Parameter** muß beachtet werden, daß der auf dem Bildschirm des Analyzers im jeweiligen Quadranten in der oberen Zeile ganz links signalisierte S-Parameter sich immer auf die nur zwei Meßtore PORT 1 und PORT 2 des Netzwerkanalysators selbst bezieht und zwar unabhängig vom Vorhandensein und der Schalterstellung des *Viertor-Adapters*. Beispielsweise erscheint daher auf der Anzeige sowohl bei der Messung von S_{11} als auch bei der Messung von S_{33} folglich immer „S11“, da in beiden Fällen die Reflexion an PORT 1 des Netzwerkanalysators gemessen wird.

4.3 Zusatzeingänge Viertor

Die Option ZVR-B26 *Zusatzeingänge Viertor* (engl.: *Extra Inputs 4-Port*) stellt eine dritte alternative Möglichkeit zur Messung von Viertoren dar. Hierbei wird im Gegensatz zur erläuterten Option ZVR-B14 *Viertor-Adapter* kein externer Adapter an die beiden Meßtore PORT 1 und PORT 2 angeschlossen, sondern es werden die von der Option ZVR-B25 *Externe Messungen* bekannten zusätzlichen Eingänge INPUT b1 und INPUT b2 in modifizierter Form als neue Eingänge PORT 3 und PORT 4 zum Anschluß von Viertor-Meßobjekten benutzt (vgl. TABELLE 4). Diese Option ist nur für die bidirektionalen Netzwerkanalysatoren der ZVR-Familie, also ZVRE und ZVR, verfügbar.

Frontplatte:	PORT 1	PORT 2	INPUT b1	INPUT b2
4-Port:	PORT 1	PORT 2	PORT 3	PORT 4

TABELLE 4: Frontplatte für Option ZVR-B26

Die beiden Tore PORT 1 und PORT 2 dienen wie gewohnt als bidirektionale Meßtore, können also sowohl senden als auch empfangen. Die durch die Option ZVR-B26 neu geschaffenen Tore PORT 3 und PORT 4 hingegen sind nur Empfangertore. Sie können nicht senden. Aus diesem Grund lassen sich auch mit dieser Option nur ein Teil der sechzehn Streuparameter eines Viertor-Meßobjektes messen. Die Streuparameter, bei denen die Tore 3 oder 4 senden müßten, also S_{i3} und S_{i4} ($i=1,2,3,4$), sind nicht direkt meßbar.

In der folgenden Streumatrix sind die mit Hilfe der Option ZVR-B26 *Zusatzeingänge Viertor* meßbaren S-Parameter durch Fettdruck hervorgehoben.

$$(S) = \begin{pmatrix} \mathbf{S}_{11} & \mathbf{S}_{12} & S_{13} & S_{14} \\ \mathbf{S}_{21} & \mathbf{S}_{22} & S_{23} & S_{24} \\ \mathbf{S}_{31} & \mathbf{S}_{32} & S_{33} & S_{34} \\ \mathbf{S}_{41} & \mathbf{S}_{42} & S_{43} & S_{44} \end{pmatrix}$$

Die ersten vier Streuparameter S_{11} bis S_{22} lassen sich wie üblich messen, wobei auch sämtliche Systemfehlerkorrekturverfahren verfügbar sind. Die übrigen vier S-Parameter S_{31} bis S_{42} werden im speziellen „4-Port Mode“ des Analysators gemessen. Hierbei begnügt man sich mit einer einfachen Normalisierung mit Hilfe der „Trace-Mathematik“. Die empfohlene Vorgehensweise wird am Beispiel des Kanals CH 1 und dem dazugehörigen Streuparameter S_{31} erläutert:

- PORT 1 und PORT 3 direkt verbinden.

- [MODE]: 4-PORT und [CH 1] sowie [MEAS]: S11 betätigen, um S_{31} zu messen.
- [TRACE]: DATA TO MEMORY: SHOW MATH betätigen, wobei MATH=DATA/MEM ist.

Die Normalisierung für diesen Darstellkanal ist damit abgeschlossen und sollte für die übrigen Darstellkanäle auf ähnliche Weise durchgeführt werden. Nach Normalisierung aller vier Darstellkanäle kann dann das Viertormeßobjekt angeschlossen und gemessen werden. Zur **Anzeige der ersten vier S-Parameter S_{11} bis S_{22}** wird der 4-PORT-Mode wieder ausgeschaltet.

- [MODE]: 4-PORT (Softkey wird wieder grau.)

Es sollte beachtet werden, hierbei die „Trace-Mathematik“ und den UNCAL-Softkey wieder auszuschalten, um voll systemfehlerkorrigierte Meßergebnisse zu erhalten.

- [TRACE]: SHOW DATA und
- [CAL]: UNCAL (Der Softkey wird wieder grau.)

Danach kann in den 4-PORT-Mode zurückgeschaltet werden und die **übrigen vier Streuparameter S_{31} bis S_{42}** in den Darstellkanälen CH 1 bis CH 4 unter Benutzung der „Trace-Mathematik“ DATA/MEM, wie oben erläutert, gemessen werden.

Eine Zuordnung der gemessenen Streuparameter des Viertor-Meßobjektes zum jeweiligen Darstellkanal ist mit Hilfe der TABELLE 5 möglich:

Darstellkanal:	CH 1	CH 2	CH 3	CH 4
Softkey-Bezeichnung im MEAS-Menü:	S11	S21	S12	S22
Gemessener S-Parameter des Viertor-Meßobjektes:	S31	S41	S32	S42

TABELLE 5: Viertormessung mit ZVR-B26

Die beschriebenen Bedienschritte können selbstverständlich auch automatisch mit Hilfe von Makro-Operationen oder durch ein IEC-Bus-Programm abgewickelt werden. Bei Vorhandensein der Option ZVR-B15 *Rechnerfunktion* kann dies bequem ohne einen zusätzlichen Computer direkt auf dem Netzwerkanalysator geschehen.

5 Zusammenfassung

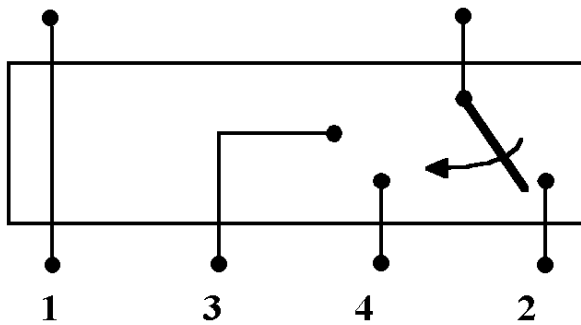
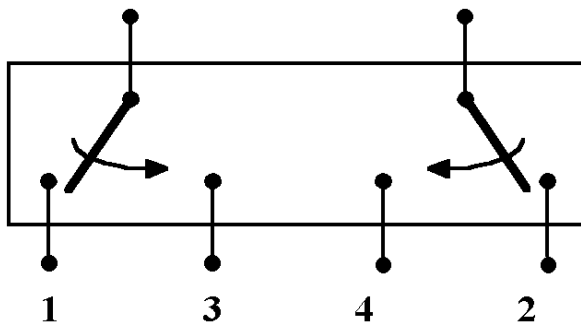
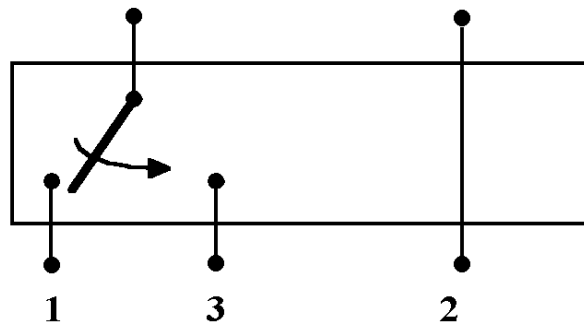


BILD 5: Dreitor-Adapter (oben)
 Viertor-Adapter Variante 02 (mitte)
 Viertor-Adapter Variante 03 (unten)

5.1 Dreitor-Adapter

Dreitor-Meßobjekte lassen sich mit Hilfe der Option ZVR-B8 *Dreitor-Adapter* und einem Netzwerkanalysator ZVRL (nur unidirektional), ZVRE oder ZVR messen. Aufgrund des inneren Aufbaus (vgl. BILD 5 oben) des *Dreitor-Adapters* (SPDT-Schalter an PORT 1) können jedoch die Streuparameter S_{13} und S_{31} nicht gemessen werden.

$$(S) = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{pmatrix}$$

5.2 Viertor-Adapter Variante 02

Zwölf der insgesamt sechzehn S-Parameter eines beliebigen **Viertor-Meßobjektes** kann man mit einem bidirektionalen Netzwerkanalysator ZVRE oder ZVR zusammen mit der Option ZVR-B14 *Viertor-Adapter Modellvariante 02* messen.

$$(S) = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} \end{pmatrix}$$

5.3 Viertor-Adapter Variante 03

Speziell für **Viertor-Meßobjekte**, bei denen die Übertragungen von einem Tor zu allen anderen Toren gemessen werden müssen, ist die Option ZVR-B14 *Viertor-Adapter Modellvariante 03* besonders geeignet.

$$(S) = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} \end{pmatrix}$$

5.4 Zusatzeingänge Viertor

Eine dritte Alternative zur Messung von Viertoren stellt die Option ZVR-B26 *Zusatzeingänge Viertor* dar.

$$(S) = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} \end{pmatrix}$$

Hierbei wird im Gegensatz zu den anderen Optionen, kein Adapter vor die beiden Meßtore PORT 1 und PORT 2 des Netzwerkanalysators geschaltet, sondern seine Frontplatte wird um zwei zusätzliche Meßeingänge PORT 3 und PORT 4 erweitert.

Olaf Ostwald, 1ES3
 Rohde & Schwarz
 10.10.1997

6 Applikationsschriften

- [1] H.-G. Krekels: Automatic Calibration of Vector Network Analyzer ZVR, Appl. Note 1EZ30_2E.
- [2] O. Ostwald: 3-Port Measurements with Vector Network Analyzer ZVR, Appl. Note 1EZ26_1E.
- [3] O. Ostwald: 4-Port Measurements with Vector Network Analyzer ZVR, Appl. Note 1EZ25_1E.
- [4] T. Bednorz: Measurement Uncertainties for Vector Network Analysis, Appl. Note 1EZ29_1E.
- [5] P. Kraus: Frequenzumsetzende Messungen mit dem Netzwerkanalysator ZVR, Appl. Note 1EZ31_1D.
- [6] J. Ganzert: Accessing Measurement Data and Controlling the Vector Network Analyzer via DDE, Appl. Note 1EZ33_1E.
- [7] J. Ganzert: File Transfer between Analyzers FSE or ZVR and PC using MS-DOS Interlink, Appl. Note 1EZ34_1E.
- [8] O. Ostwald: Group and Phase Delay Measurements with Vector Network Analyzer ZVR, Appl. Note 1EZ35_1E.
- [9] O. Ostwald: Mehrformmessungen mit dem Netzwerkanalysator ZVR, Appl. Note 1EZ37_1D.
- [10] O. Ostwald: Fragen und Antworten zum Netzwerkanalysator ZVR, Appl. Note 1EZ38_3D.
- [11] A. Gleißner: Interner Datentransfer zwischen Windows 3.1 / Excel und vektoriellem Netzwerkanalysator ZVR, Appl. Note 1EZ39_1D.
- [12] A. Gleißner: Power Calibration of Vector Network Analyzer ZVR, Appl. Note 1EZ41_2E.
- [13] O. Ostwald: Pulsed Measurements on GSM Amplifier SMD ICs with Vector Network Analyzer ZVR, Appl. Note 1EZ42_1E.
- [14] O. Ostwald: Zeitbereichsmessungen mit dem Netzwerkanalysator ZVR, Appl. Note 1EZ44_1E.

7 Bestellaufgaben

Bestellbezeichnungen	Kurz-bez.	Frequenzbereich	Bestellnummer
Netzwerkanalysatoren (Testset enthalten) *			
3-Kanal unidirektional 50Ω, passiv	ZVRL	9 kHz...4 GHz	1043.0009.41
3-Kanal bidirektional 50Ω, passiv	ZVRE	9 kHz...4 GHz	1043.0009.51
3-Kanal bidirektional 50Ω, aktiv	ZVRE	300 kHz...4 GHz	1043.0009.52
4-Kanal bidirektional 50Ω, passiv	ZVR	9 kHz...4 GHz	1043.0009.61
4-Kanal bidirektional 50Ω, aktiv	ZVR	300 kHz...4 GHz	1043.0009.62
3-Kanal bidirektional 50Ω, aktiv	ZVCE	20 kHz...8 GHz	1106.9020.50
4-Kanal bidirektional 50Ω, aktiv	ZVC	20 kHz...8 GHz	1106.9020.60
Alternative Testsets *			
75-Ω-Meßbrücke für ZVRL (anstelle 50 Ω) ¹⁾			
75 Ω, passiv	ZVR-A71	9 kHz...4 GHz	1043.7690.18
75-Ω-Meßbrückenpaare für ZVRE und ZVR (anstelle 50 Ω) ¹⁾			
75 Ω, passiv	ZVR-A75	9 kHz...4 GHz	1043.7755.28
75 Ω, aktiv	ZVR-A76	300 kHz...4 GHz	1043.7755.29
Optionen			
AutoKal	ZVR-B1	0...8 GHz	1044.0625.02
Zeitbereichstransformation	ZVR-B2	wie Analysator	1044.1009.02
Frequenzumsetzende Messungen ²⁾	ZVR-B4	wie Analysator	1044.1215.02
Referenzkanalitore	ZVR-B6	wie Analysator	1044.1415.02
Pegelkalibrierung ³⁾	ZVR-B7	wie Analysator	1044.1544.02
Dreitor-Adapter	ZVR-B8	0...4 GHz	1086.0000.02
Virtuelle Transformationsnetzwerke ⁴⁾	ZVR-K9	wie Analysator	1106.8830.02
Viertor-Adapter (2xSPDT)	ZVR-B14	0...4 GHz	1106.7510.02
Viertor-Adapter (SP3T)	ZVR-B14	0...4 GHz	1106.7510.03
Controller (deutsch) ⁵⁾	ZVR-B15	-	1044.0290.02
Controller (englisch) ⁵⁾	ZVR-B15	-	1044.0290.03
Ethernet BNC für ZVR-B15	FSE-B16	-	1073.5973.02
Ethernet AUI für ZVR-B15	FSE-B16	-	1073.5973.03
IEC/IEEE-Bus Interface für ZVR-B15	FSE-B17	-	1066.4017.02
Generatoreichleitung PORT 1	ZVR-B21	wie Analysator	1044.0025.11
Generatoreichleitung PORT 2 ⁶⁾	ZVR-B22	wie Analysator	1044.0025.21
Empfängereichleitung PORT 1	ZVR-B23	wie Analysator	1044.0025.12
Empfängereichleitung PORT 2	ZVR-B24	wie Analysator	1044.0025.22
Externe Messungen, 50 Ω ⁷⁾	ZVR-B25	10 Hz...4 GHz (ZVR/E/L) 20 kHz...8 GHz (ZVC/E)	1044.0460.02

¹⁾ Nur zusammen mit Bestellung von ZVR/E/L.

²⁾ Beinhaltet Oberwellenmessungen.

³⁾ Benötigt einen Leistungsmesser mit Sensor.

⁴⁾ Nur für ZVR oder ZVC mit ZVR-B15.

⁵⁾ Beinhaltet DOS, Windows 3.11, Tastatur und Maus.

⁶⁾ Nur für ZVR oder ZVC.

⁷⁾ Eichleitungen erforderlich.

*** Hinweis:**

Aktiv-Testset enthält im Gegensatz zum Passiv-Testset eine Gleichstromzuführung, z. B. zur Versorgung aktiver Meßobjekte.