

# AUTOMATISCHE MESSUNGEN

Lösung:

```

4 RUN 130
8 RUN 100
100 INIT
105 PRINT
110 PRINT @26:"B@BTTET1SLG0K0Q1FR08"
120 PRINT @15:"N0U38.880 0B_"
130 PRINT @26:"0BT1F0LR0"
140 PRINT @15:"38.920_"
150 PRINT @26:"F3LSPSLRT0DRSL"
160 PRINT @15:"32.10_"
170 INPUT @26,1:A1
180 PRINT @15:"33.50_"
190 INPUT @26,1:A2
200 PRINT @15:"34.20_"
210 INPUT @26,1:A3
220 PRINT @15:"35.30_"
230 INPUT @26,1:A5
240 PRINT @15:"40.20_"
250 INPUT @26,1:A8
260 PRINT @15:"41.30_"
270 INPUT @26,1:A9
290 PRINT @15:"33.150_"
290 PRINT @26:"SHD1LR0"
300 PRINT @15:"33.190_"
310 PRINT @26:"F3LR"
330 INPUT @26:A4,T4
340 PRINT @15:"36.720_"
350 PRINT @26:"F0LR0"
360 PRINT @15:"36.760_"
370 PRINT @26:"F3LR"
390 INPUT @26:A6,T6
400 PRINT @15:"38.080_"
410 PRINT @26:"F0LR0"
420 PRINT @15:"38.120_"
430 PRINT @26:"F3LR"
450 INPUT @26:A7,T7
460 PRINT @15:"38.880_"
520 PRINT T4*1.0E+9,T6*1.0E+9,T7*1.0E+9
590 END
    
```

Durch Drücken der Taste 1 oder 2 am Rechner 4051 wird das Programm automatisch bei Zeile 130 bzw. 100 gestartet

Grundeinstellung des Rechners 4051

Leerzeile

ZPV-Einstellung: B/A, LOG,  $\tau$ , Frequenzbereich 30 ... 60 MHz, normale Meßgeschwindigkeit, Tendenzanzeige und Schreiberausgänge AUS, Trigger Extern

Einstellung am SMPU

1. Messung bei 38,88 MHz

Senderfrequenz auf 38,92 MHz

B/A- und Gruppenlaufzeitmessung; Speichern der Meßergebnisse;  $\tau$  ausschalten

Messung von B/A bei den Frequenzen 32,1/33,5/34,2/35,3/40,2/41,3 MHz

1. Gruppenlaufzeitmessung

alle Gruppenlaufzeitwerte werden automatisch auf den Referenzwert bei  $f = 38,9$  MHz bezogen

2. Gruppenlaufzeitmessung

3. Gruppenlaufzeitmessung

SMPU auf Referenzfrequenz einstellen

Ausgabe aller Gruppenlaufzeitwerte

Programmende

Meßergebnis: Gruppenlaufzeitwerte, bezogen auf 1,229  $\mu$ s, bei einer Frequenz von 38,9 MHz

**91.12**      **-104.6**      **-126.7**  
 (33,15 MHz)      (36,72 MHz)      (38,08 MHz)

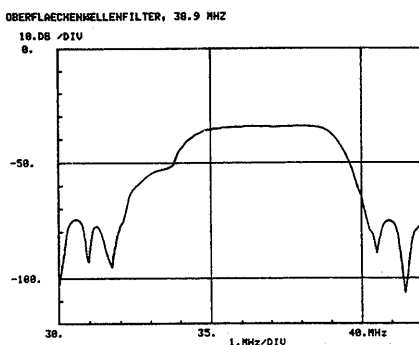


Diagramm-Ausgabe von der Hardcopy-Einheit

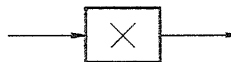
# BESTELLBEZEICHNUNGEN

Im Abschnitt MESS- UND KALIBRIERAUFBAU wurde der prinzipielle Meßaufbau behandelt. Die entsprechenden Bestellbezeichnungen sind in den folgenden Tabellen angegeben; dabei wurde nur noch die Kurzbezeichnung benutzt. Im einzelnen bedeuten:

Kurzbezeichnung	Erläuterung (Abbildungen siehe Ausklappseite)	Bestellnummer
ZPV	Vector Analyzer (Grundgerät)	291.4012.92
ZPV-E2	Tunereinschub zum Grundgerät (0,1 ... 1000 MHz)	292.0010.02
ZPV-E3	Tunereinschub zum Grundgerät (0,3 ... 2000 MHz)	301.7018.02
ZPV-K1	Grundsoftware (Kassette mit Beschreibung)	292.2113.02
ZPV-K2	s-Parameter-Korrektursoftware (Kassette mit Beschreibung)	292.2213.02
ZPU	Vektorvoltmeter (0,1 ... 1000 MHz)	237.0012.12
ZPV-Z1	Durchgangsadapter	292.2713.50
ZPV-Z2	Einspeisung	292.2913.50
ZPV-Z3	Richtkoppler (50 $\Omega$ , 45 dB)	292.3110.50
ZPV-Z4	Meßkabelpaar in N-Technik	335.1012.50
ZWD-Z	Richtkoppler (75 $\Omega$ , 45 oder 50 dB)	219.6270.70
DNF	Dämpfungsglied (10 dB, 50 $\Omega$ )	272.4210.50
SWOB4-Z	VSWR-Meßbrücke (10 ... 1000 MHz, 50 $\Omega$ , 40 dB)	912.7003.00
SWOB4-Z	VSWR-Meßbrücke (10 ... 1000 MHz, 75 $\Omega$ , 40 dB)	912.7303.00
ZRB	VSWR-Meßbrücke (5 ... 2000 MHz, 50 $\Omega$ , 46 dB)	335.2819.50
RNA	Präzisionsabschlußwiderstand (50 $\Omega$ , N-Stecker)	272.4510.50
RNB	Abschlußwiderstand (50 $\Omega$ , N-Stecker)	272.4910.50
	Kurzschluß (50 $\Omega$ , N-Stecker)	017.8080.00
	Kurzschluß (75 $\Omega$ , N-Stecker)	017.8145.00
	Kurzschluß (Dezifix B)	408.5028.00
	Winkelstück (50 $\Omega$ , N-Technik)	018.4495.00
	T-Stück (50 $\Omega$ , N-Technik)	018.4537.00
	N/BNC-Adapter (50 $\Omega$ )	118.2812.00
	N/N-Kupplung (50 $\Omega$ , Stecker)	092.6581.00
	N/N-Kupplung (50 $\Omega$ , Buchsen)	092.6700.00
	Adapter (50 $\Omega$ , N-Stecker/Dezifix A)	408.4521.00

# BESTELLBEZEICHNUNGEN

## Übertragungsmessungen



Mit Vector Analyzer ZPV und Tuner ZPV-E2 oder Vektorvoltmeter ZPU (0,1 ... 1000 MHz)

**50 Ω**

0,1 ... 100 MHz

**ZPV u. ZPV-E2**

2 x ZPV-Z1  
1 x ZPV-Z2  
2 x RNA (oder RNB)  
1 x N/BNC-Adapter  
1 x N/N-Kupplung (Buchsen)  
evtl.  
ZPV-B1, -B2, -B3, -K1, -K2

**ZPU**

2 x RNA (oder RNB)  
1 x N/BNC-Adapter

**ZPV u. ZPV-E2**

2 x ZPV-Z1  
1 x ZPV-Z2  
2 x RNA (oder RNB)  
1 x N/BNC-Adapter  
1 x N/N-Kupplung (Buchsen)  
1 x Anpaßglied 50/75 Ω<sup>1)</sup>  
1 x Anpaßglied 75/50 Ω<sup>1)</sup>  
evtl.  
ZPV-B1, -B2, -B3, -K1, -K2

**ZPU**

2 x RNA (oder RNB)  
1 x N/BNC-Adapter  
1 x Anpaßglied 50/75 Ω<sup>1)</sup>  
1 x Anpaßglied 75/50 Ω<sup>1)</sup>

**75 Ω**

0,1 ... 100 MHz

**50 Ω**

100 ... 1000 MHz

**ZPV u. ZPV-E2**

wie oben  
zusätzlich: 2 x DNF

**ZPU**

wie oben  
zusätzlich: 2 x DNF

**ZPV u. ZPV-E2**

wie oben  
zusätzlich: 1 x DNF

**ZPU**

wie oben  
zusätzlich: 1 x DNF

**75 Ω**

100 ... 1000 MHz

Mit Vector Analyzer ZPV und Tuner ZPV-E3 (0,3 ... 2000 MHz)

**50 Ω**

0,3 ... 2000 MHz

**ZPV u. ZPV-E3**

1 x ZPV-Z1  
1 x ZPV-Z4  
1 x N/BNC-Adapter  
1 x N/N-Kupplung (Buchsen)  
evtl.  
ZPV-B1, -B2, -B3, -K1, -K2

**ZPV u. ZPV-E3**

1 x ZPV-Z1  
1 x ZPV-Z4  
1 x N/BNC-Adapter  
1 x N/N-Kupplung (Buchsen)  
1 x Anpaßglied 50/75 Ω<sup>1)</sup>  
1 x Anpaßglied 75/50 Ω<sup>1)</sup>  
evtl.  
ZPV-B1, -B2, -B3, -K1, -K2

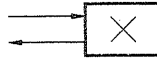
**75 Ω**

0,3 ... 2000 MHz

<sup>1)</sup> Nicht im Lieferprogramm von Rohde & Schwarz

# BESTELLBEZEICHNUNGEN

## Reflexionsmessungen



Mit Vector Analyzer ZPV und Tuner ZPV-E2 oder Vektorvoltmeter ZPU (0,1 ... 1000 MHz)

<p><b>50 Ω</b> 0,1 ... 100 MHz ohne Richtkoppler und VSWR-Meßbrücke</p>	<p><b>ZPV u. ZPV-E2</b> ZPV-B2 2 x ZPV-Z1 1 x ZPV-Z2 2 x RNA (oder RNB) 1 x N/BNC-Adapter evtl. ZPV-B1, -B3, -K1, -K2</p> <p><b>ZPU</b> 2 x RNA (oder RNB) 1 x N/BNC-Adapter</p>	<p><b>75 Ω</b></p> <p>nicht möglich, da ZPV 50 Ω</p>	
<p><b>50 Ω</b> 10 ... 1000 MHz mit Richtkoppler ZPV-Z3</p>	<p><b>ZPV u. ZPV-E2</b> ZPV-B2 2 x ZPV-Z1 1 x ZPV-Z2 2 x ZPV-Z3 3 x RNA (oder RNB) 1 x N/BNC-Adapter 1 x Kurzschluß (50 Ω, N) 2 x DNF evtl. ZPV-B1, -B3, -K1, -K2</p> <p><b>ZPU</b> 3 x RNA (oder RNB) 1 x N/BNC-Adapter 2 x ZPV-Z3 1 x Kurzschluß (50 Ω, N) 2 x DNF</p>	<p><b>ZPV u. ZPV-E2</b> ZPV-B2 2 x ZPV-Z1 1 x ZPV-Z2 2 x ZWD-Z 2 x RNA (oder RNB) 1 x N/BNC-Adapter 1 x Kurzschluß (Dezifix B) 4 x N/Dezifix A-Adapter 2 x N/N-Kupplung (Buchsen) 1 x Abschlußwiderstand (75 Ω<sup>1)</sup>) evtl. ZPV-B1, -B3, -K1, -K2</p> <p><b>ZPU</b> 2 x RNA (oder RNB) 2 x ZWD-Z 1 x N/BNC-Adapter 1 x Kurzschluß (Dezifix B) 4 x N/Dezifix A-Adapter 2 x N/N-Kupplung (Buchsen) 1 x Abschlußwiderstand (75 Ω<sup>1)</sup>)</p>	<p><b>75 Ω</b> 10 ... 1000 MHz mit Richtkoppler ZWD-Z</p>
<p><b>50 Ω</b> 10 ... 1000 MHz mit VSWR-Meßbrücke SWOB 4-Z</p>	<p><b>ZPV u. ZPV-E2</b> ZPV-B2 2 x ZPV-Z1 1 x ZPV-Z2 1 x SWOB 4-Z 3 x RNA (oder RNB) 2 x DNF 1 x N/BNC-Adapter 1 x N/N-Kupplung (Buchsen) 1 x N/N-Kupplung (Stecker) 1 x Kurzschluß (50 Ω, N) evtl. ZPV-B1, -B3, -K1, -K2</p> <p><b>ZPU</b> 1 x SWOB 4-Z 3 x RNA (oder RNB) 2 x DNF 1 x N/BNC-Adapter 1 x N/N-Kupplung (Buchsen) 1 x N/N-Kupplung (Stecker) 1 x Kurzschluß (50 Ω, N)</p>	<p><b>ZPV u. ZPV-E2</b> ZPV-B2 2 x ZPV-Z1 1 x ZPV-Z2 1 x SWOB 4-Z 2 x RNA (oder RNB) 1 x DNF 1 x N/BNC-Adapter 1 x Kurzschluß (75 Ω, N) 1 x Abschlußwiderstand (75 Ω<sup>1)</sup>) 1 x N/N-Kupplung (Buchsen, 75 Ω<sup>1)</sup>) 1 x Anpaßglied 50/75 Ω<sup>1)</sup>) 1 x Anpaßglied 75/50 Ω<sup>1)</sup>) evtl. ZPV-B1, -B3, -K1, -K2</p> <p><b>ZPU</b> 1 x SWOB 4-Z 2 x RNA (oder RNB) 1 x DNF 1 x N/BNC-Adapter 1 x Kurzschluß (75 Ω, N) 1 x Abschlußwiderstand (75 Ω<sup>1)</sup>) 1 x N/N-Kupplung (Buchsen, 75 Ω<sup>1)</sup>) 1 x Anpaßglied 50/75 Ω<sup>1)</sup>) 1 x Anpaßglied 75/50 Ω<sup>1)</sup>)</p>	<p><b>75 Ω</b> 10 ... 1000 MHz mit VSWR-Meßbrücke SWOB 4-Z</p>

<sup>1)</sup> Nicht im Lieferprogramm von Rohde & Schwarz

# BESTELLBEZEICHNUNGEN

Reflexionsmessungen 

Mit Vector Analyzer ZPV und Tuner ZPV-E3 (0,3 ... 2000 MHz)

**50 Ω**

0,3... 2000MHz  
T-Meßverfahren  
ohne  
Richtkoppler  
und  
VSWR-Meßbrücke

ZPV u. ZPV-E3  
ZPV-B2  
1 x ZPV-Z1  
1 x ZPV-Z4  
1 x RNA (oder RNB)  
1 x N-Winkelstück  
1 x N-T-Stück  
1 x N/BNC-Adapter  
evtl.  
ZPV-B1, -B3, -K1, -K2

ZPV u. ZPV-E3  
ZPV-B2  
1 x ZPV-Z1  
1 x ZPV-Z4  
1 x Abschlußwiderstand (75 Ω)<sup>1)</sup>  
1 x N-T-Stück (75 Ω)<sup>1)</sup>  
1 x N/BNC-Adapter  
1 x Anpaßglied 50/75 Ω<sup>1)</sup>  
1 x Anpaßglied 75/50 Ω<sup>1)</sup>

**75 Ω**

0,3... 2000MHz  
T-Meßverfahren  
ohne  
Richtkoppler  
und  
VSWR-Meßbrücke

**50 Ω**

10... 1000MHz  
mit  
Richtkoppler  
ZPV-Z3

ZPV u. ZPV-E3  
ZPV-B2  
1 x ZPV-Z1  
1 x ZPV-Z4  
2 x ZPV-Z3  
1 x RNA (oder RNB)  
1 x Kurzschluß (50 Ω, N)  
1 x N/BNC-Adapter  
evtl.  
ZPV-B1, -B3, -K1, -K2

ZPV u. ZPV-E3  
ZPV-B2  
1 x ZPV-Z1  
1 x ZPV-Z4  
2 x ZWD-Z  
1 x N/BNC-Adapter  
1 x Kurzschluß (Dezifix B)  
4 x N-St./Dezifix A-Adapter  
2 x N/N-Kupplung (Buchsen)  
1 x Abschlußwiderstand (75 Ω)<sup>1)</sup>  
evtl.  
ZPV-B1, -B3, -K1, -K2

**75 Ω**

10... 1000MHz  
mit  
Richtkoppler  
ZWD-Z

**50 Ω**

5... 2000MHz  
mit  
VSWR-Meßbrücke  
ZRB

ZPV u. ZPV-E3  
ZPV-B2  
1 x ZPV-Z1  
1 x ZPV-Z4  
1 x ZRB  
1 x RNA (oder RNB)  
1 x Kurzschluß (50 Ω, N)  
1 x N/BNC-Adapter  
1 x N/N-Kupplung (Stecker)  
evtl.  
ZPV-B1, -B3, -K1, -K2

ZPV u. ZPV-E3  
ZPV-B2  
1 x ZPV-Z1  
1 x ZPV-Z4  
1 x SWOB4-Z  
1 x Kurzschluß (75 Ω, N)  
1 x N/BNC-Adapter  
1 x Abschlußwiderstand (75 Ω)<sup>1)</sup>  
1 x N/N-Kupplung (Buchsen, 75 Ω)<sup>1)</sup>  
1 x Anpaßglied 50/75 Ω<sup>1)</sup>  
1 x Anpaßglied 75/50 Ω<sup>1)</sup>  
evtl.  
ZPV-B1, -B3, -K1, -K2

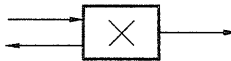
**75 Ω**

10... 1000MHz  
mit  
VSWR-Meßbrücke  
SWOB4-Z

<sup>1)</sup> Nicht im Lieferprogramm von Rohde & Schwarz

# BESTELLBEZEICHNUNGEN

## Reflexions- und Übertragungsmessung



Mit Vector Analyzer ZPV und Tuner ZPV-E2 oder Vektorvoltmeter ZPU (0,1 ... 1000 MHz)

<p><b>50 Ω</b> 0,1 ... 100 MHz ohne Richtkoppler und VSWR-Meßbrücke</p>	<p><b>ZPV u. ZPV-E2</b> ZPV-B2 3 x ZPV-Z1 1 x ZPV-Z2 2 x RNA (oder RNB) 1 x N/BNC-Adapter 1 x N/N-Kupplung (Buchsen) evtl. ZPV-B1, -B3, -K1, -K2</p> <p><b>ZPU</b> 1 x ZPV-Z1 2 x RNA (oder RNB) 1 x N/BNC-Adapter</p>	<p>nicht möglich, da ZPV 50 Ω</p>	<p><b>75 Ω</b></p>
<p><b>50 Ω</b> 10 ... 1000 MHz mit Richtkoppler ZPV-Z3</p>	<p><b>ZPV u. ZPV-E2</b> ZPV-B2 3 x ZPV-Z1 1 x ZPV-Z2 3 x ZPV-Z3 4 x RNA (oder RNB) 1 x N/BNC-Adapter 1 x Kurzschluß (50 Ω, N) 1 x N/N-Kupplung (Buchsen) 1 x N/N-Kupplung (Stecker) evtl. ZPV-B1, -B3, -K1, -K2</p> <p><b>ZPU</b> 1 x ZPV-Z1 3 x ZPV-Z3 4 x RNA (oder RNB) 1 x N/BNC-Adapter 1 x Kurzschluß (50 Ω, N) 1 x N/N-Kupplung (Buchsen) 1 x N/N-Kupplung (Stecker)</p>	<p><b>ZPV u. ZPV-E2</b> ZPV-B2 3 x ZPV-Z1 1 x ZPV-Z2 3 x ZWD-Z 4 x RNA (oder RNB) 1 x N/BNC-Adapter 1 x Kurzschluß (Dezifix B) 4 x N/N-Kupplung (Buchsen) 6 x N-St./Dezifix A-Adapter evtl. ZPV-B1, -B3, -K1, -K2</p> <p><b>ZPU</b> 1 x ZPV-Z1 3 x ZWD-Z 4 x RNA (oder RNB) 1 x N/BNC-Adapter 1 x Kurzschluß (Dezifix B) 4 x N/N-Kupplung (Buchsen) 6 x N-St./Dezifix A-Adapter</p>	<p><b>75 Ω</b> 10 ... 1000 MHz mit Richtkoppler ZWD-Z</p>
<p><b>50 Ω</b> 10 ... 1000 MHz mit VSWR-Meßbrücke SWOB 4-Z</p>	<p><b>ZPV u. ZPV-E2</b> ZPV-B2 3 x ZPV-Z1 1 x ZPV-Z2 1 x SWOB 4-Z 3 x RNA (oder RNB) 2 x DNF 1 x N/BNC-Adapter 1 x N/N-Kupplung (Buchsen) 1 x N/N-Kupplung (Stecker) evtl. ZPV-B1, -B3, -K1, -K2</p> <p><b>ZPU</b> 1 x ZPV-Z1 1 x SWOB 4-Z 3 x RNA (oder RNB) 2 x DNF 1 x N/BNC-Adapter 1 x N/N-Kupplung (Buchsen) 1 x N/N-Kupplung (Stecker)</p>	<p><b>ZPV u. ZPV-E2</b> ZPV-B2 3 x ZPV-Z1 1 x ZPV-Z2 1 x SWOB 4-Z 3 x RNA (oder RNB) 1 x DNF 1 x Kurzschluß (75 Ω, N) 1 x N/BNC-Adapter 1 x N/N-Kupplung (Buchsen, 75 Ω<sup>1)</sup>) 1 x Anpaßglied 50/75 Ω<sup>1)</sup>) 2 x Anpaßglied 75/50 Ω<sup>1)</sup>) evtl. ZPV-B1, -B3, -K1, -K2</p> <p><b>ZPU</b> 1 x ZPV-Z1 1 x SWOB 4-Z 3 x RNA (oder RNB) 1 x DNF 1 x Kurzschluß (75 Ω, N) 1 x N/BNC-Adapter 1 x N/N-Kupplung (Buchsen, 75 Ω) 1 x Anpaßglied 50/75 Ω<sup>1)</sup>) 2 x Anpaßglied 75/50 Ω<sup>1)</sup>)</p>	<p><b>75 Ω</b> 10 ... 1000 MHz mit VSWR-Meßbrücke SWOB 4-Z</p>

<sup>1)</sup> Nicht im Lieferprogramm von Rohde & Schwarz

# BESTELLBEZEICHNUNGEN

## Reflexions- und Übertragungsmessungen



Mit Vector Analyzer ZPV und Tuner ZPV-E3 (0,3 ... 2000 MHz)

### 50 Ω

0,3 ... 2000 MHz  
T-Meßverfahren  
ohne  
Richtkoppler  
und  
VSWR-Meßbrücke

vgl. entsprechende Angaben  
unter „Übertragungsmessung“  
oder „Reflexionsmessung“

### 75 Ω

0,3 ... 2000 MHz  
T-Meßverfahren  
ohne  
Richtkoppler  
und  
VSWR-Meßbrücke

vgl. entsprechende Angaben  
unter „Übertragungsmessung“  
oder „Reflexionsmessung“

### 50 Ω

10 ... 1000 MHz  
mit Richtkoppler  
ZPV-Z3

ZPV u. ZPV-E3  
ZPV-B2  
1 x ZPV-Z2  
1 x ZPV-Z4  
2 x RNA (oder RNB)  
3 x ZPV-Z3  
1 x Kurzschluß (50 Ω, N)  
1 x N/BNC-Adapter  
1 x N/N-Kupplung (Buchsen)  
1 x N/N-Kupplung (Stecker)  
evtl.  
ZPV-B1, -B3, -K1, -K2

ZPV u. ZPV-E3  
ZPV-B2  
1 x ZPV-Z2  
1 x ZPV-Z4  
2 x RNA (oder RNB)  
3 x ZWD-Z  
1 x Kurzschluß (Dezifix B)  
1 x N/BNC-Adapter  
6 x N-St./Dezifix A-Adapter  
4 x N/N-Kupplung (Buchsen)  
evtl.  
ZPV-B1, -B3, -K1, -K2

### 75 Ω

10 ... 1000 MHz  
mit  
Richtkoppler  
ZWD-Z

### 50 Ω

5 ... 2000 MHz  
mit  
VSWR-Meßbrücke  
ZRB

ZPV u. ZPV-E3  
ZPV-B2  
1 x ZPV-Z2  
1 x ZRB  
1 x RNA (oder RNB)  
1 x Kurzschluß (50 Ω, N)  
1 x ZPV-Z4  
1 x N/BNC-Adapter  
1 x N/N-Kupplung (Stecker)  
evtl.  
ZPV-B1, -B3, -K1, -K2

ZPV u. ZPV-E3  
ZPV-B2  
1 x ZPV-Z2  
1 x RNA (oder RNB)  
1 x Kurzschluß (75 Ω, N)  
1 x SWOB 4-Z  
1 x N/BNC-Adapter  
1 x ZPV-Z4  
1 x N/N-Kupplung (Buchsen, 75 Ω<sup>1)</sup>)  
1 x Anpaßglied 50/75 Ω<sup>1)</sup>)  
2 x Anpaßglied 75/50 Ω<sup>1)</sup>)  
evtl.  
ZPV-B1, -B3, -K1, -K2

### 75 Ω

10 ... 1000 MHz  
mit  
VSWR-Meßbrücke  
SWOB 4-Z

<sup>1)</sup> Nicht im Lieferprogramm von Rohde & Schwarz

# ANHANG

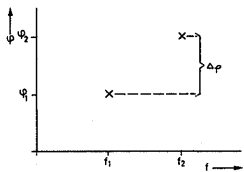
## Die Gruppenlaufzeitmessung

Ein Eingangssignal kann von einem Vierpol in zweierlei Hinsicht verändert werden:  
in der Amplitude und  
in der Phase

**Amplitudenverzerrungen** können über eine Übertragungsmessung (vgl. Beispiel 10, Seite 14) ermittelt werden. Bei der Messung der Gruppenlaufzeit interessieren jedoch die nichtlinearen Phasenverzerrungen des Übertragungssystems. Die Gruppenlaufzeit ist definiert als

$$\tau = \frac{d\varphi}{d\omega} = \frac{d\varphi}{2\pi df}$$

Allgemein betrachtet wird also zwischen zwei Frequenzen  $f_1$  und  $f_2$  die Phasendifferenz  $\Delta\varphi$  gemessen und auf die Frequenzdifferenz bezogen (siehe Bild unten).



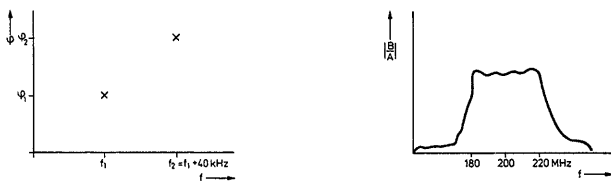
### Meßablauf:

- Sender auf  $f_1$  stellen
- $\varphi_1$  ablesen (Phase zwischen Kanal A und B)
- Sender auf  $f_2$  stellen
- $\varphi_2$  ablesen (Phase zwischen Kanal A und B)

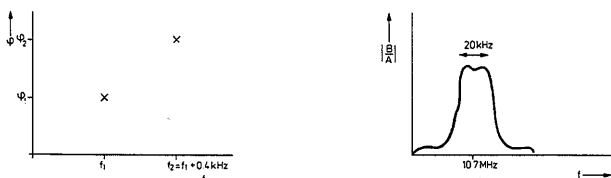
Ergebnis: 
$$\tau = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{360^\circ \cdot (f_2 - f_1)}$$

Je kleiner der Frequenzsprung, desto kleiner ist im allgemeinen auch die gemessene Phasendifferenz  $\Delta\varphi$  zwischen den beiden Signalen. Dies stellt an den Phasenmesser sehr hohe Anforderungen. Andererseits darf der Frequenzsprung auch nicht zu groß sein, da sonst bei schmalbandigen Meßobjekten falsche Werte gemessen werden.

### Beispiel 1: Breitbandiges Meßobjekt



### Beispiel 2: Schmalbandiges Meßobjekt



Als Faustregel gilt folgendes:

Soll mit einem Frequenzsprung  $\Delta f = 27 \text{ kHz}$  die Gruppenlaufzeit auf  $1 \text{ ns}$  genau gemessen werden, so muß der Phasenmesser mit einer Auflösung von  $1/100$  Grad arbeiten. Dies folgt aus der Formel

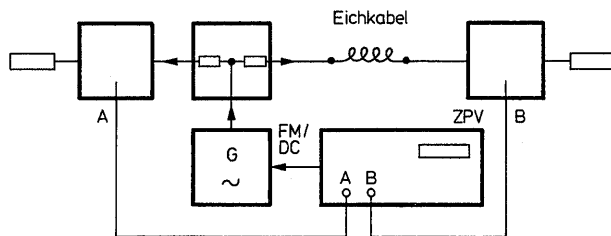
$$\tau = \frac{\Delta\varphi}{360^\circ \cdot \Delta f} = \frac{1/100}{360 \cdot 27 \cdot 10^3} = 10^{-9} \text{ [s]}$$

Die Schwierigkeit beim Messen der Gruppenlaufzeit liegt darin, eine **direkte** Anzeige für diesen Parameter zu erhalten. Bisher behalt man sich mit einer Skala, die speziell für einen ganz bestimmten Frequenzsprung  $\Delta f$  galt. Andere Werte von  $\Delta f$  konnten nur über mühsames Umrechnen „gemessen“ werden. Dieses zeitraubende Verfahren wird beim ZPV durch den eingebauten Mikroprozessor auf ein Minimum reduziert.

Es gibt drei hauptsächliche Methoden, die Gruppenlaufzeit zu messen:

### Die FM-DC-Methode

Ein FM-DC-modulierbarer Sender wird um das gewünschte  $\Delta f$  (40 kHz, 4 kHz, 400 Hz) verstimmt. Vor der eigentlichen Messung muß der Meßaufbau kalibriert sein.



### Kalibrieraufbau

Über den DC-Ausgang des ZPV, der mit dem FM-DC-Eingang des Senders verbunden ist, wird der Hub nun so lange vergrößert, bis der ZPV  $\tau = 50 \text{ ns}$  anzeigt. Damit ist das Kalibrieren beendet. Nach Anschließen des Meßobjektes können die Werte von  $\tau$  **direkt** in Mikrosekunden abgelesen werden.

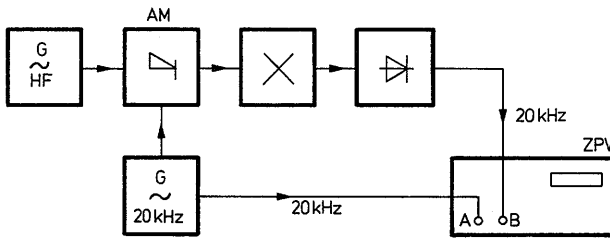
Das Eichkabel ist in der Option ZPV-B3 enthalten. Es hat einen Gruppenlaufzeitwert von  $50 \text{ ns}$ .

### Das Spaltfrequenzverfahren

Beim Spaltfrequenzverfahren wird das HF-Signal des Senders im allgemeinen mit  $20 \text{ kHz}$  amplitudenmoduliert und am Ausgang des Meßobjektes wieder demoduliert. Aus der Phasendifferenz zwischen dem  $20\text{-kHz}$ -Referenzsignal und dem demodulierten  $20\text{-kHz}$ -Signal wird dann die Gruppenlaufzeit ermittelt.

Der Frequenzbereich des ZPV reicht von  $100 \text{ kHz}$  bis  $2 \text{ GHz}$ . Bei genau  $20 \text{ kHz}$  funktioniert das Gerät jedoch auch, da die Samplingstufe das HF-Signal auf eine ZF von  $20 \text{ kHz}$  umsetzt. Beim Spaltfrequenzverfahren kann auch breitbandig gewobbelt werden, da dem ZPV immer ein  $20\text{-kHz}$ -Signal angeboten wird. Dadurch entfällt das Umsynchronisieren bei Wobbelbetrieb. Die Frequenzgrenzen werden durch den Modulator und den Demodulator festgelegt und können außerhalb des Frequenzbereiches des ZPV liegen.





Meßaufbau beim Spaltfrequenzverfahren

### Nachteile dieses Verfahrens

Zusätzlicher Aufwand (Modulator, Demodulator);  
Zusätzliche Fehler, bedingt durch die Laufzeit des Modulators und des Demodulators. Diese können kompensiert werden, wenn auch in den Referenzkanal A ein Demodulator eingefügt wird (symmetrischer Aufbau).

### Vorteil

Breitbandiger Wobbelbetrieb **auch außerhalb** der Frequenzgrenzen des ZPV möglich.

### Die statische Messung der Gruppenlaufzeit (Einzelmessung)

Der Sender wird manuell oder über Rechner auf zwei verschiedene Frequenzen gesetzt. Dabei gilt im Fall der manuellen Messung

$$f_2 = f_1 + 400 \text{ Hz (oder 4 kHz, 40 kHz)}$$

Beim Rechnerbetrieb kann jeder gewünschte Frequenzschritt gewählt werden, da eine Umrechnung hierbei keine Schwierigkeiten bereitet.

Abhängig vom gewählten Hub kann mit dem ZPV die Gruppenlaufzeit mit folgender Auflösung gemessen werden:

$\Delta f = 40 \text{ kHz}$ : Auflösung 1 ns

$\Delta f = 4 \text{ kHz}$ : Auflösung 10 ns

$\Delta f = 400 \text{ Hz}$ : Auflösung 100 ns

### Wichtige Meßgrößen bei Richtkopplern und VSWR-Meßbrücken

Da Richtkoppler und VSWR-Meßbrücken nur im Idealfall eine vollständige Trennung zwischen vor- und rücklaufender Welle gewährleisten, sind Meßgrößen eingeführt, die die tatsächlichen Eigenschaften erfassen (vgl. auch Meßbeispiel 11, Seite 15).

Die **Durchgangsdämpfung (Einfügungsdämpfung)** ist eine frequenzabhängige Größe, die angibt, um wieviel die eingespeiste Leistung abgeschwächt wird, bevor sie an den Meßgeräteausgang gelangt.

Die **Auskoppeldämpfung** gibt an, um wieviel die vom Meßobjekt reflektierte Leistung abgeschwächt wird, bevor sie an den Meßgeräteausgang gelangt. Sie ist stark frequenzabhängig und bestimmt die untere Grenzfrequenz des Richtkopplers bzw. der VSWR-Meßbrücke.

Das **Richtverhältnis** gibt den Anteil der reflektierten Welle zum unerwünschten Anteil der hinlaufenden Welle (Störgröße in Richtung Meßgerät) an. Je größer das Richtverhältnis ist, um so geringer ist der durch den Richtkoppler bzw. die VSWR-Meßbrücke bedingte Meßfehler (typischer Wert: 45 dB).

Je kleiner der **Welligkeitsfaktor s (VSWR)**, d. h. der Eigenreflexionsfaktor des Richtkopplers bzw. der VSWR-Meßbrücke ist, um so geringer wird das Meßergebnis verfälscht. Es gilt:  $s = \frac{1+r}{1-r}$ .

# ANHANG

## Häufig gebrauchte Formeln

$$\text{Impedanz } \underline{Z} = Z_0 \cdot \frac{1+r}{1-r} = R + jX = Z \cdot e^{j\varphi_Z}$$

Sonderfälle: Kurzschluß ( $Z = 0$ ):  $r = -1$   
 Leerlauf ( $Z = \infty$ ):  $r = +1$   
 Anpassung ( $Z = Z_0$ ):  $r = 0$

$$\text{Admittanz } \underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}}$$

$$\text{Welligkeitsfaktor (VSWR)} \quad s = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{1+r}{1-r}$$

$$\text{Reflexionsfaktor } \underline{r} = r \cdot e^{j\varphi_r} = r_x + jr_y = \frac{b_1}{a_1} = s_{11} \text{ (vgl. s-Parameter)}$$

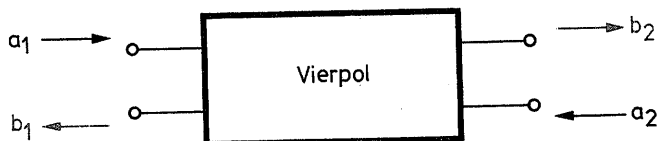
$$\text{Rückflußdämpfung} = 20 \lg r$$

$$\text{Durchgangsdämpfung} = 20 \lg \frac{b_2}{a_1} \text{ (vgl. s-Parameter)}$$

$$\text{Dämpfung (oder Verstärkung)} = 20 \lg \frac{b_2}{a_1} \text{ (vgl. s-Parameter)}$$

$$\text{Gruppenlaufzeit } \tau = \frac{\Delta \varphi}{2\pi \Delta f}$$

s-Parameter



Definition: in den Vierpol hineinlaufende Wellen:  $a_1, a_2$   
 aus dem Vierpol herauslaufende Wellen:  $b_1, b_2$  (blau)

$$\text{Eingangsreflexionsfaktor } s_{11} = \frac{b_1}{a_1} \Big|_{a_2 = 0}$$

$$\text{Ausgangsreflexionsfaktor } s_{22} = \frac{b_2}{a_2} \Big|_{a_1 = 0}$$

$$\text{Vorwärtsübertragungsfaktor } s_{21} = \frac{b_2}{a_1} \Big|_{a_2 = 0}$$

$$\text{Rückwärtsübertragungsfaktor } s_{12} = \frac{b_1}{a_2} \Big|_{a_1 = 0}$$