

## 17. Reflexion

Die Reflexion ist ein Effekt in der Hochfrequenztechnik, der die Wirkungen auf Grund von vorhandenen Impedanzen im 50-Ohm-System beschreibt. So ist jede Reflexionsmessung als Impedanzmessung von komplexen Widerständen zu sehen. Ein Abschluß (Load; Termination) an einer Leitung mit der Impedanz von genau 50 Ohm real, oft mit  $Z_0$  oder auch  $Z_L$  (Leitungswiderstand) bezeichnet, hat einer Reflexionsfaktor von  $r=0$ . Es ist keine Reflexion vorhanden, da die hinlaufende Hochfrequenzwelle voll absorbiert wird.

### 17.1 Reflexionsdefinitionen

Die allgemeine Lösung der Leitungsgleichungen zeigt, daß die Spannung der Leitung an einem beliebigen Punkt in einen hin- und rücklaufende Welle zerlegt werden kann. Ein Maß für die Anteile von hin- (h) und rücklaufender (r) Welle auf einer Leitung ist der komplexe Reflexionsfaktor. Eine Leitung ist als Verbindungselement in jede Hochfrequenzschaltung vorhanden.

$$\underline{r}(l) = \frac{\underline{U}'_r}{\underline{U}'_h} = |\underline{r}| * e^{-j2\beta l} \quad (17.1)$$

Der Reflexionsfaktor wird oft nur als Betrag angegeben, es gilt dann:  $|\underline{r}| \stackrel{!}{=} r$ . Die Spannungen in Gleichung 17.1 sind auf  $Z_L$  bezogene Größen und entsprechen im Quadrat den hin- und rücklaufenden Leistungen. Die folgenden Gleichungen geben dies wieder.

$$\frac{\underline{U}'_r}{\sqrt{Z_L}} = \frac{U_r}{\sqrt{Z_L}} \quad \frac{\underline{U}'_h}{\sqrt{Z_L}} = \frac{U_h}{\sqrt{Z_L}} \quad (17.2)$$

$$|\underline{U}'_r|^2 = P_r \quad |\underline{U}'_h|^2 = P_h \quad (17.3)$$

$$P_{Last} = P_h - P_r \quad (17.4)$$



Bei verlustlosen Leitungen ist der Betrag des Reflexionsfaktors konstant aber die Phase ändert sich. Am Ende der Leitung wird die Länge zu 0 bestimmt.

$$\underline{r} = \frac{\underline{U}_r}{\underline{U}_h} \quad (17.5)$$

$$r = \frac{\sqrt{P_r}}{\sqrt{P_h}} \quad (17.6)$$

Durch umrechnen läßt sich der Reflexionsfaktor als Funktion der Abschlußimpedanz ( $Z$ ) darstellen.

$$\underline{r} = \frac{\underline{Z} - Z_L}{\underline{Z} + Z_L} \quad (17.7a)$$

$$|\underline{r}| = \sqrt{\frac{(R-Z_L)^2 + X^2}{(R+Z_L)^2 + X^2}} \quad \text{mit } Z=R+jX \quad (17.7b)$$

$$\underline{Z} = Z_L * \frac{1+\underline{r}}{1-\underline{r}} \quad (17.8)$$

Statt über den Reflexionsfaktor gibt es noch andere Möglichkeiten eine Lastanpassung oder Impedanz auszudrücken. Dies ergibt sich aus dem Meßverfahren wie beim VSWR oder auch aus dem praktischen Umgang mit der Reflexion wie bei der Rückflußdämpfung.

$$(V)SWR = s = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{1}{m} = \frac{1+r}{1-r} \quad (17.9)$$

$$s = \frac{Z_0}{R_0} \Big|_{R_0 < Z_0} \quad s = \frac{R_0}{Z_0} \Big|_{R_0 > Z_0} \quad (17.10)$$

$$r = \frac{1-m}{1+m} = \frac{s-1}{s+1} \quad (17.11)$$

Leerlauf:  $r=1$ ; Anpassung:  $r=0$ ,  $s=1$ ; Kurzschluß:  $r=-1$ ,  $s=$

VSWR bezeichnet man als das Stehwellenverhältnis, was sich bei einer Meßleitung einstellt. Mit  $m$  ist die Welligkeit oder der Anpassungsfaktor gemeint und  $s$  bedeutet Welligkeitsfaktor. Mit  $R_0$  ist ein reeller Abschlußwiderstand gemeint. Die Minimum- und Maximumangaben für die Spannung können in der Gleichung 17.7 auch für die E- oder H-Feldstärken gemacht werden.

$$U_{\max} = \left| \underline{U}'_h \right| + \left| \underline{U}''_r \right| \quad U_{\min} = \left| \underline{U}'_h \right| - \left| \underline{U}''_r \right| \quad (17.12)$$

$U_{\max}$  und  $U_{\min}$  sind wie später noch beschrieben wird mit einer Meßleitung zu bestimmen. Oft werden die Reflexionsangaben im logarithmischen Maß gemacht. Es sind dann einfache Überschlagsrechnungen im Kopf zu machen. Die Formel 17.13a gibt die Rückflußdämpfung (Return Loss) an, hinlaufende zu rücklaufende Leistung. Mit 14.1 folgt Gleichung 17.13b).

$$a_r = 20 \log \frac{1}{r} \quad [\text{dB}] \quad (17.13a)$$

$$r = \frac{1}{10^{\left(\frac{a[\text{dB}]}{20}\right)}} \quad (17.13b)$$

$$\frac{dr}{da} = r * \ln 10 * \left(\frac{-1}{20}\right) \quad \text{mit } \ln 10 = 2,3 \quad (17.13c)$$

$$a_r = R = 10 \log \frac{\left| \underline{U}_h \right|^2}{\left| \underline{U}_r \right|^2} \quad (17.14)$$

**Beispiel:** Ein ideales Dämpfungsglied von 3dB erzeugt mit einem offenen Ende ein Return Loss von  $2*3=6\text{dB}$ . Es läßt sich so leicht ein Offsetnormal herstellen.

Die hinlaufende Leistung im Verhältnis zu der in der Last absorbierten Leistung heißt Reflexionsdämpfung (Reflexion Loss). Dies ist auch im Kapitel 16 über Dämpfung behandelt.

$$L_R = 10 \log \frac{\left| \underline{U}_h \right|^2}{\left| \underline{U}_h \right|^2 - \left| \underline{U}_r \right|^2} = 10 \log \frac{1}{1-|r|^2} \quad (17.15)$$

Kurzschluß bedeutet, daß die Spannung zu Null wird und  $U_r$  um  $180^\circ$  zu  $U_h$  phasenverschoben liegt. Bei 25 Ohm  $1/3 U$  und  $180^\circ$ .

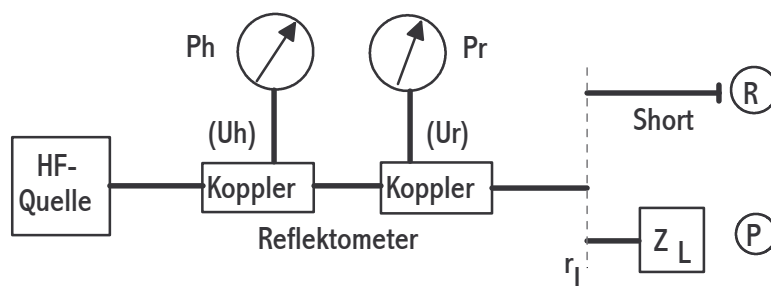
## 17.2 Reflexionsnormale

Zu den Reflexionsnormalen gehören Open ( $I=0$ ), Short ( $U=0$ ) und die ideale 50 Ohm Last ( $Z_0$ ). Es gibt auch Offset-Loads, die ein definiertes VSWR haben. Sie können im einfachsten Fall aus einem Dämpfungsglied mit aufgeschraubtem Kurzschluß bestehen. Bei Hohlleitern erreicht man einen Fehlabschluß in dem man die Spitze des 50 Ohm Abschlusses entsprechend tief abbricht und damit eine stumpfe Last bekommt. ....neu .....

### 17.3 Meßaufbauten

Der Reflexionsfaktor, wird meist über Spannungs- oder Leistungsmessung mit Richtkoppler, Powersplitter, Meßleitung, Spannungsteiler oder auch Impulsreflektormeter bestimmt. Dabei handelt es sich um Impedanzmeßverfahren, die auch von einem Netzwerkanalysator durchgeführt werden können. Als Referenznormal zur Grundkalibrierung des Meßaufbaus dient meistens entweder eine Kurzschluß ( $r=-1$ ) oder eine ideale Last ( $r=0$ ).

a) Richtkoppler: Bei der Verwendung mit Richtkopplern, sind diese als Reflektometer aufgebaut. Durch diese Schaltungsart von zwei gegeneinander angebrachten Richtkopplern ist es möglich sowohl die hinlaufende- als auch die rücklaufende Hochfrequenzwelle gleichzeitig zu detektieren. Als Leistungsempfänger an den Koppelarmlen können Power-Sensoren oder



Thermistoren in Verbindung mit einem Powermeter eingesetzt werden. Dieser Meßaufbau ist gut für automatische Meßplätze mit Rechnersteuerung für einen weiten Frequenzbereich einsetzbar. Wegen der Verwendung von Sensoren ist nur eine Bestimmung

des Betrages des Reflexionsfaktors möglich. Es ist auch das 1810A von Weinschel für  $U_h$  und  $U_r$  mit einer Verhältnismessung zu gebrauchen. Mit einem Kurzschluß wird zuerst eine Referenzmessung durchgeführt, bei der angenommen wird, daß  $r=-1$  und  $a_r=0$  [dB] gilt. Danach folgt die Prüflingsmessung. Hierbei dient die Bestimmung von  $P_h$  dazu, die Generatorschwankungen zu korrigieren. Alle Leistungen in den Gleichungen 17.16 und 17.17 sind in dBm zu betrachten, da hier ein Verhältnis (Bruch) als Subtraktion dargestellt wird, siehe auch Kapitel 14 über Dezibel.

$$a_r = (P_{rR} - P_{rP}) - (P_{hR} - P_{hP}) = 20 \log \frac{1}{r_L} \quad [\text{dB/mW}] \Rightarrow [\text{dB}] \quad (17.16a)$$

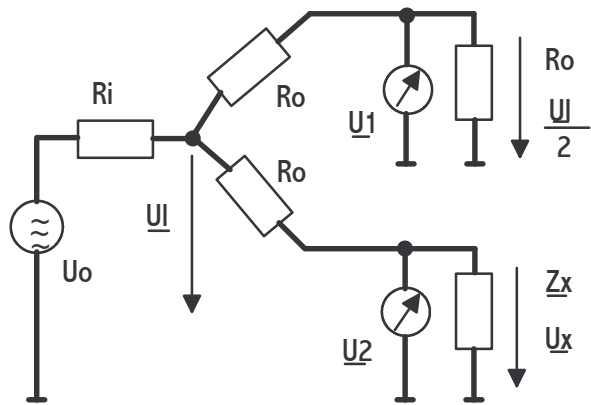
$$a_r = P_{rR} - P_{rP} - P_{hR} + P_{hP} \quad (17.16b)$$

$$a_r = P_{rR} - P_{rP} = \Delta P_r \quad [\text{dB}] \quad (17.17)$$

**Beispiel:**  $P_{hR} = -10\text{dBm}$ ;  $P_{hP} = -12\text{dBm}$ ;  $P_{rR} = -15\text{dBm}$ ;  $P_{rP} = -38\text{dBm} \Rightarrow$  mit Gl. 17.16:  $-15+38-(-10+12) = 23-2=21\text{dB}$

Während Gleichung 17.16 allgemein mit R=Referenz und P=Prüfling gilt, ist 17.17 nur für den Fall  $P_{hR}=P_{hP}$ , das heißt keine Generatorschwankungen vorhanden, gültig. Die Leistungsermittlung und Reflexionsberechnung muß für jeden Frequenzpunkt getrennt durchgeführt werden, wobei für die Referenz- und Prüflingsmessung je ein Frequenzdurchlauf benötigt wird.

b) Power-Splitter: Diese Messung ist in dieser Art nicht so häufig anzutreffen. Die Leistung wird aufgeteilt und dann mit einem selektiven zweikanaligen Voltmeter angezeigt. Es wird auch mit Ratio-Spannungsverhältnismessung bezeichnet.



$$r_x = \frac{2U_x}{U_I} - 1 \quad (17.18)$$

c) **Spannungsteiler:** Das Prinzip wurde bereits beim Power-Splitter angewendet. Es ist eine Spannungsquelle mit einem Innenwiderstand, hier üblicherweise 50 Ohm, vorhanden, an die ein komplexer Widerstand abweichend von  $R_i$  einer Reflexion durch Nichtanpassung entspricht.

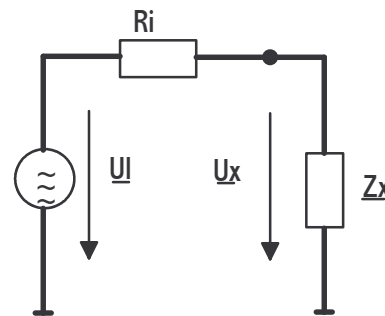
$$\frac{U_x}{U_I} = \frac{Z_x}{R_i + Z_x}$$

$U_{II} = U_I / 2$  aus  $U_I$  in die vorherige

Gleichung eingesetzt.  $U_{II}$  wird bestimmt in einer Messung mit  $Z_x = R_i$ .

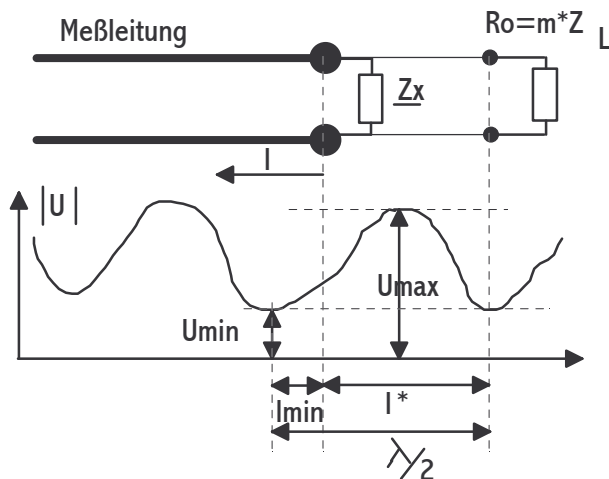
$$\frac{U_x}{U_{II}} = \frac{2 \cdot Z_x}{R_i + Z_x} = 1 + \frac{Z_x - R_i}{Z_x + R_i} = 1 + r \quad \text{mit 17.7}$$

$$r = \frac{U_x}{U_{II}} - 1 \quad (17.19)$$



Die Gleichung 17.19 ist vergleichbar mit 17.18. Nach der Bestimmung von  $U_{II}$  kann dann nach der Spannungsmessung von  $U_x$  der Reflexionsfaktor, der aus der nicht angepassten Last  $Z_x$  resultiert, berechnet werden.

d) **Meßleitung:** Mit Hilfe einer Meßleitung und einer Sonde kann über die Maximum- und Minimumbeträge der Spannungen und deren Lage bezogen auf das Leitungsende der komplexe Lastwiderstand (Impedanz) und somit der komplexe?? Reflexionsfaktor bestimmt werden. Es wird die Messung bei je einer Frequenz an der stehenden Welle durchgeführt. Dabei wird das Spannungsminimum und Maximum bestimmt, indem man mit der Sonde durch den Schlitz in der Luftmeßleitung entlangfährt. Die Messung sollte möglichst am Ende der Leitung durchgeführt werden, an dem sich der Prüfling befindet, da sonst die Leitungsdämpfung besonders bei hohen Frequenzen einen Einfluß auf das Meßergebnis hat. Durch die



Abstände von Wellenberg und Wellental und die Leitungslänge ist die Meßfrequenz nach unten hin begrenzt. Für verschiedenen Frequenzbänder gibt es meist eigene Meßleitungs- und Sondenkonstruktionen. Das Hauptproblem bei der Messung ist die Bestimmung der Maxima wenn diese nicht so prägnant sichtbar vorhanden sind. Der Begriff VSWR (Voltage Standing-Wave-Ratio) aus dem englischen Sprachraum gibt genau die Meßmethode, nämlich die

Bestimmung eines Spannungsverhältnisse einer stehenden Welle wieder, wie in Gleichung 17.21 zu sehen.

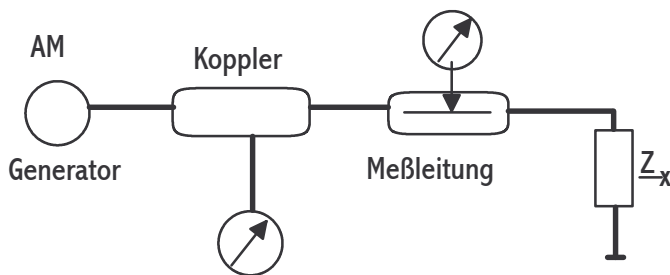
$$\underline{Z}_x = Z_L * \frac{m + j \tan(2\pi \frac{l^*}{\lambda})}{1 + jm \tan(2\pi \frac{l^*}{\lambda})} \quad (17.20)$$

$$m = \frac{U_{\min}}{U_{\max}} = \frac{1}{s} \quad (17.21)$$

$$\lambda = \frac{v(c)}{f} \quad (17.22)$$

Für die Abbildung ist noch die Gleichung 17.23 zu beachten.

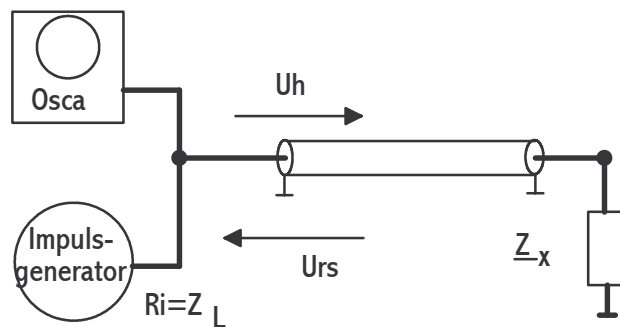
$$l_{\min} + l^* = \frac{\lambda}{2} \quad (17.23)$$



Bei der rechnergesteuerten Messung wird auch die einfache Welle gemessen um so die Generatorschwankungen zu korrigieren. Zuerst werden einige Spannungsknoten bei einem Kurzschluß an der Meßleitung bestimmt, um so die halbe Wellenlänge anhand der Verschiebung zu berechnen. Danach

wird  $\underline{Z}_x$  angeschlossen. Es wird der Betrag durch Verschieben und Suchen der Max.- und Min.-Spannung festgestellt.  $\Rightarrow m \Rightarrow r$ . Um  $\underline{Z}_x$  zu bestimmen muß das erste Minimum vom Leitungsende gesucht werden und  $l_{\min}$  gemessen werden.  $\Rightarrow l^* \Rightarrow \underline{Z}_x$  mit m.

e) Impulsreflektormeter: Ein Impulsreflektormeter ist eine Kombination von schnellem Impuls-generator und einem Samplingoszilloskop. Es wird eine sehr kurzer Impuls mit schneller Anstiegszeit auf die Leitung gegeben. Dieser läuft über die Leitung und wird dann an  $\underline{Z}_x$  reflektiert läuft danach zurück und wird verändert im Oszilloskop sichtbar. Aus der Laufzeit des Impulses kann der Ort der Reflexion und aus der Amplitude und der Kurvenform die Art und Größe des Reflexionsfaktors bestimmt werden. Die Genauigkeit von r bei dieser Meßart beträgt etwa 1%. Mit der Generatorspannung von  $U_0$  folgt  $U_{\text{hin}} = U_0/2$  wegen der Anpassung von  $R_i = Z_L$ . Für die Summe der rücklaufenden Spannung gilt:



$$U_{rs} = U_{\text{hin}} + U_{\text{hin}} * r \Rightarrow$$

$$U_{rs} = U_{\text{hin}} * (1+r) \quad (17.24)$$

$$\frac{U_{rs}}{U_h} - 1 = r \quad (17.25)$$

Es gibt drei wichtige Fälle, die nun genauer beschrieben werden.

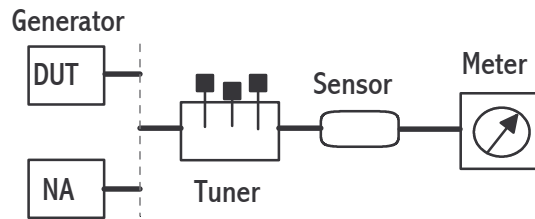
$$\underline{Z}_x = Z_L \quad \Rightarrow \quad r = 0 \quad \Rightarrow \quad U_{rs} = U_{\min}$$

$$\begin{aligned} Z_x=0 & \Rightarrow r = -1 & \Rightarrow U_{rs}=0 \\ Z_x=\infty & \Rightarrow r = +1 & \Rightarrow U_{rs}=2*U_{hin}=U_0 \end{aligned}$$

f) Reflektorbrücke: Wiltron....Unterlagen Ordner

.....

g) Tuner: Mit dem Tuner kann man den Innenwiderstand eines Generators bestimmen. Dazu muß die Kombination Tuner mit Powersensor an den Ausgang des Generators angeschlossen werden und bei einer festen Frequenz mit dem Tuner auf das Maximum der Leistung abgestimmt werden. Danach wird die Kombination unverändert an einen komplexen Netzwerkanalysator angeschlossen. Der Reflexionsfaktor entspricht dann konjugiert komplex dem Innerwiderstand des Generators.



$$\Gamma_i \stackrel{!}{=} \Gamma_L^* \quad (17.26)$$

h) Vektorieller-Netzwerkanalysator: jrtziertzierutzeru aus PTB-Antrag!!!

## Umrechnungstabelle Reflexion

Reflexionsfaktorbetrag r	Rückflußdämpfung Alpha[dB]	Anpassungsfaktor m	VSWR s	Reflexionsverlust in dB	Reflektierte Leistung in %		
0,891	1		17,39				
0,794	2		8,72				
0,708	3		5,85				
0,501	6		3,01	1,2500	25,00		
0,447	7		2,61				
<b>0,316</b>	<b>10</b>	<b>0,520</b>	<b>1,923</b>	<b>0,4600</b>	<b>10,00</b>		
0,298 (30%)	10,5	0,541	1,850	0,4100	8,16		
0,282	11	0,561	1,780	0,3600	7,94		
0,252	12	0,598	1,671	0,2800	6,31		
0,224	13	0,634	1,578	0,2200	5,01		
0,199	14	0,668	1,497	0,1800	3,98		
0,178	15	0,699	1,430	0,1400	3,16		
0,158	16	0,727	1,374	0,1100	2,51		
0,150	16,5	0,740	1,350	0,1000	2,22		
0,141	17	0,752	1,329	0,0900	2,00		
0,126	18	0,777	1,285	0,0694	1,58		
0,112	19	0,799	1,251	0,0550	1,26		
<b>0,100</b> (10%)	<b>20</b>	<b>0,819</b>	<b>1,220</b>	<b>0,0436</b>	<b>1,00</b>		
0,0891	21	0,837	1,193	0,0346	0,79		
0,084	21,5	0,846	1,180	0,03	0,7		
0,0794	22	0,853	1,171	0,0275	0,63		
0,075	22,5	0,861	1,160	0,023	0,5		
0,0708	23	0,868	1,151	0,0218	0,50		
0,0631	24	0,882	1,133	0,0173	0,40		
0,060	24,5	0,888	1,124	0,016	0,3		
0,0562	25	0,894	1,118	0,0138	0,32		
0,053	25,5	0,900	1,111	0,012	0,3		
0,0501	26	0,904	1,105	0,01	0,3		
0,047	26,5	0,914	1,094	0,01	0,2		
0,0447	27	0,909	1,100	0,009	0,2		
0,042	27,5	0,919	1,088	0,008	0,2		
0,0398	28	0,924	1,082	0,007	0,2		
0,038	28,5	0,928	1,078	0,006	0,2		
0,0355	29	0,932	1,073	0,006	0,1		
<b>0,0316</b>	<b>30</b>	<b>0,939</b>	<b>1,064</b>	<b>0,0043</b>	<b>0,10</b>		
0,03 (3%)	30,5	0,942	1,060	0,004	0,09		
0,0282	31	0,945	1,056	0,003	0,08		
0,0251	32	0,951	1,051	0,003	0,07		
0,024	32,5	0,953	1,048	0,003	0,06		
0,0224	33	0,956	1,045	0,003	0,06		
0,021	33,5	0,958	1,043	0,002	0,05		
0,0200	34	0,961	1,040	0,002	0,04		
0,019	34,5	0,963	1,038	0,002	0,04		
0,0178	35	0,965	1,036	0,0014	0,03		
0,0159	36	0,969	1,032	0,001	0,03		
0,015	36,5	0,971	1,030	0,001	0,02		
0,0141	37	0,972	1,028	0,0	0,02		
0,0126	38	0,975	1,025	0,0	0,02		
0,0112	39	0,978	1,022	0,0	0,02		
<b>0,010</b> (1%)	<b>40</b>	<b>0,980</b>	<b>1,021</b>	<b>0,0004</b>	<b>0,01</b>		
0,009	40,5	0,980	1,020	0,0	0,01		
0,009	41	0,982	1,018	0,0	0,01		
0,008	42	0,984	1,016	0,0	0,01		
0,007	43	0,986	1,014	0,0	0,01		
0,006	44	0,988	1,012	0,0	0,01		
0,0056	45	0,989	1,0112	0,0001	0,00		
0,005	46	0,989	1,011	0,0001	0,00		
0,004	47	0,991	1,009	0,0	0,00		
0,004	48	0,992	1,008	0,0	0,00		
0,004	49	0,993	1,007	0,0	0,00		
<b>0,0032</b>	<b>50</b>	<b>0,994</b>	<b>1,0064</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,00</b>		
0,0018	55		1,0036	0,0000	0,00		
<b>0,0010</b> (0,1%)	<b>60</b>		<b>1,0020</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,00</b>		

Reflexionsfaktor in % =  $r \cdot 100$ : z.B.  $r=0,1=10\%$

Leistungsverlust: z.B: VSWR 2 ~ 11% Leistungsverlust  $\Leftrightarrow P_{in}=100\% \Rightarrow P_{out}=89\%$

Nicht überarbeitete Zusatztexte !!!!

Netzwerkanalysatoren sind in der Lage, komplexe Streuparameter eines Vierpols zu messen. Ihre Meßunsicherheit wird durch die Kalibrierverfahren mit den Kalibrier-Kits unter Verwendung eines aufwendigen Fehlermodells und einer entsprechenden Fehlerkorrektur erheblich reduziert. Mit der Kalibrierung eines Netzwerkanalysators kann die Reflexionsdämpfung an den Messports von etwa 17dB auf 35dB bis 60dB je nach Kalibrierverfahren und Frequenzbereich erhöht werden. Die Directivity hat einen starken Einfluß auf die Reflexionsmessungen.

### 3.1 HP 8753 B Netzwerkanalysator

Der vektorielle Netzwerkanalysator besteht aus zwei Komponenten, dem aktiven Meßsystem und dem zugehörigen, mit passiven Bauteilen bestückten S-Parameter-Test-Set. Das aktive Meßsystem, wie in dem vereinfachten Blockdiagramm zu erkennen ist, setzt sich zusammen aus einem HF-Synthesizer mit hoher Frequenzauflösung, der die Quelle darstellt und das gewünschte Meßsignal zur Verfügung stellt, einem Empfänger, der die veränderten Meßsignale detektiert, auswertet und die Fehlerkorrekturen durchführt und einem Bildschirm mit Menüsteuerung zur Signaldarstellung. Zur Synchronisierung von Quelle und Empfänger sind diese miteinander verbunden. Das Test-Set, das vom aktiven Meßsystem gesteuert wird, dient dazu, das Meßsignal zum Referenz Ausgang (R) auszukoppeln und gleichzeitig über schaltbare Dämpfungsglieder und einen Port-Umschalter an die beiden Meßkoppler weiterzuleiten. Dort wird das Prüflingssignal an den beiden Anschlüssen (Port1+2) empfangen und über die Anschlüsse A (Port1) und B (Port2) dem Empfänger zugeleitet. Der Empfänger ist in der Lage, die Signale nach Betrag und Phase auszuwerten und auf dem Bildschirm die komplexen S-Parameter in verschiedenen Arten darzustellen.

### 3.2 HP 8510 B Netzwerkanalysator

Der vektorielle Netzwerkanalysator besteht aus vier Komponenten, die zum Teil nach Anwenderwunsch frei wählbar sind. Die beiden Hauptkomponenten, Display-Prozessor und IF-Detektor gehören zusammen und bilden die Kerneinheit für die Verarbeitung der komplexen Signale, deren Umrechnungen mit Fehlerkorrektur, die Abspeicherung der Arbeits- und Kalibrierdaten, sowie die Anzeige und Menüsteuerung für den Anwender. Je nach Anwenderwunsch können verschiedene S-Parameter-Test-Sets gewählt werden. Das hier vorhandene hat einen Frequenzbereich von 45 MHz bis 20 GHz mit 3.5mm Anschlüssen für die Meßkabel. In dem Test-Set befinden sich Dämpfungsglieder für das Eingangssignal, die Koppler zum Messen der Prüflingssignale und die erste Mischerstufe, die auf eine Zwischenfrequenz von 20 MHz herabmischt. Die zwei gemischten Kopplersignale und Referenzsignale werden zum IF-Detektor weitergeleitet und dort nochmals vor der eigentlichen Amplituden-Phasenmessung auf 100kHz herabgemischt. Auch bei dem HF-Generator bestehen Wahlmöglichkeiten.