

XIII.2 Kalibrieren von HF-Leistungsmessgeräten und Leistungsmessköpfen

XIII.2 Kalibrieren von HF-Leistungsmessgeräten und Leistungsmessköpfen	1
XIII.2.1 Messverfahren	1
XIII.2.2 Messunsicherheitsbudget	4
XIII.2.3 Erweiterung auf HF- Absolutleistungsanzeige	6
XIII.2.4 Relativer Kalibrierungsfaktor $\eta_{cal,rel}$	6
XIII.2.5 Empfänger mit HF-Spannungsanzeige bezüglich 50 Ω	6
XIII.2.6 2,92mm Konnektor	7
XIII.2.7 Kalibriersystem R&S NRVC	8
XIII.2.7.1 Absolutgenauigkeit	8
XIII.2.7.2 (Nicht-) Linearität	9
XIII.2.8 Rechenbeispiele	9
XIII.2.8.1 Kalibrierungsfaktor η_{cal} , thermischer Sensor	9
XIII.2.8.2 Kalibrierungsfaktor $\eta_{cal,rel}$, Diodensensor	9
XIII.2.8.3 HF-Spannungsanzeige $U_{ind,DUT}$	9
XIII.2.8.4 Frequenzgang HF-Spannung $F_{U,DUT}$	10
XIII.2.8.5 Ergebnistabellen	11
XIII.2.8.6 Ergebnis Ringvergleich PTB-esz vom 23.03.2004	13

Ähnlich dem in XIII.1 beschriebenen Messverfahren können durch direkten Vergleich (engl. direct comparison method) mit den HF-Leistungsmessköpfen R&S NRV-Z1 und NRV-Z51 HF-Leistungsmessgeräte und Leistungsmessköpfe kalibriert werden. Dazu wird in mehreren Messungen an einem Power-Splitter die von einem Generator erzeugte Leistung gemessen und mit den Anzeigewerten des Kalibriergegenstandes verglichen.

XIII.2.1 Messverfahren

XIII.2.1.1 Messgeräten

Bei Leistungsmessgeräten die ohne den zugehörigen Messköpfen zur Kalibrierung erscheinen. Sollten zusätzlich zum Kalibrator Ausgang die Eingänge mit einer Gleichspannung simuliert werden.

XIII.2.1.2 Messköpfe

Um den Frequenzgang und Linearität von Leistungsmessköpfen oder -Messgeräten aufzunehmen werden pro Frequenz insgesamt sechs Messungen durchgeführt. Zwischen jeweils 3 Messungen in mindestens drei axial rotierten Stellungen (um festzustellen ob ein Konnektor schadhaft ist, nämlich genau dann, wenn die Standardabweichung zwischen den Einzelmessungen sehr hoch ist) werden Referenzmesskopf und Kalibriergegenstand an den Ausgängen eines Power Splitters getauscht und die axiale Rotation wiederholt.

Als Generatoren stehen im Messgerätepark u.a. folgende Geräte zur Verfügung (s.a. Kapitel II):

Generator	Frequenzbereich	Leistungsbereich
Rohde & Schwarz SMT 03 N-Typ-Ausgang, 50 Ω KL 17037 und KL 17038	5 kHz bis 3GHz	-140 dBm bis 13 dBm gemäß [9]
Rohde & Schwarz SMP 04 (Option B17 und B11) N-Typ-Ausgang, 50 Ω KL 17043	2 GHz bis 40 GHz	-130 dBm bis 10 dBm siehe [10]
HP 6116 A BNC-Ausgang, 50 Ω KL 17044	1 mHz bis 50 MHz	100 mVss bis 16 Vss (ca. -16 dBm bis 28 dBm, 50 Ω) siehe [11]
Wavetek 395 BNC-Ausgang, 50 Ω KL 17046	1 μ Hz bis 40 MHz	10 mVss bis 10 Vss (ca. -36 dBm bis 24 dBm, 50 Ω) siehe [14]

Tabelle XIII.3

Ausgabe: 5.5.11	erstellt von: IM am: 08.01.2009	geprüft/genehmigt von: SF am: 08.01.2009	Kapitel XIII.2 - Kalibrieren von HF- Leistungsmessgeräten und Messköpfen	Seite 1 von 13
---------------------------	--	---	---	--------------------------

Abhängig vom Frequenzbereich werden als Powersplitter eingesetzt:

Powersplitter	Frequenzbereich	max. SWR / Reflexionsfaktor ¹
Weinschel 1870 Typ N KL18011 oder KL18159	DC bis 18 GHz	$SWR_{max}=1,3$ [12] $ \Gamma_{G,max} = 0,11$
Rohde & Schwarz RVZ Typ N KL 18056	DC bis 2,7 GHz	$SWR_{max}=1,1$ [11] $ \Gamma_{G,max} = 0,05$

Tabelle XIII.4

Der Anschluss erfolgt entsprechend Bild XIII.2. Am Eingang des Powersplitters (KL18011) wird die Leistung aus einem der o.g. Generatoren eingespeist (BNC Ausgänge werden durch BNC-Typ N-Konnektor adaptiert) und an den „Test-Ports“ A und B werden mit dem Messkopf NRV-Z1 am NRVD (bzw. NRV-Z51, je nach Messbereich) als Normal (N) und dem Kalibriergegenstand (Leistungsmesser, Leistungsmesskopf und Anzeigegerät etc.) als Messobjekt (DUT) die ausgekoppelten Leistungen gemessen. Mit kalibrierten oder ausgemessenen Dämpfungsgliedern lassen sich auch sehr empfindliche Leistungsmessköpfe, Spektrumanalysatoren oder Messempfänger bei kleinen Leistungen kalibrieren. Sowohl für Linearitäts- als auch Absolutleistungskalibrierung wird zunächst in der ersten Messung der Generatorpegel so eingestellt, dass am NRVD der gewünschte Kalibrierwert abgelesen werden kann (z.B. 0 dBm in der Anzeige des NRVD), da dieser Wert als Eingangssignal für den Kalibriergegenstand nach Umdrehen des Powersplitters verwendet wird. Die Kalibrierfrequenzen müssen sowohl am Generator als auch am NRVD (wg. der Korrektur) eingestellt werden (s.a. XIII.1.1). Die korrekte Bedienung ist im Zweifelsfall den Benutzerhandbüchern [9], [10], [11] und [2] zu entnehmen. Danach dürfen die Ausgangsparameter des Generators nicht mehr verändert werden.

Die Absolut-Leistungsmessung erfolgt in der Regel bei 0 dBm bzw. 1 mW über den gesamten Frequenzbereich des Kalibriergegenstandes. Die Linearitätsvermessung entsprechend bei fest eingestellter Frequenz über den Leistungsmessbereich. Ausschlaggebend sind in beiden Fällen die Betriebsbereiche des Kalibriergegenstandes. In beiden Fällen werden mindestens zehn Messpunkte aufgenommen und ausgewertet.

1. Messung

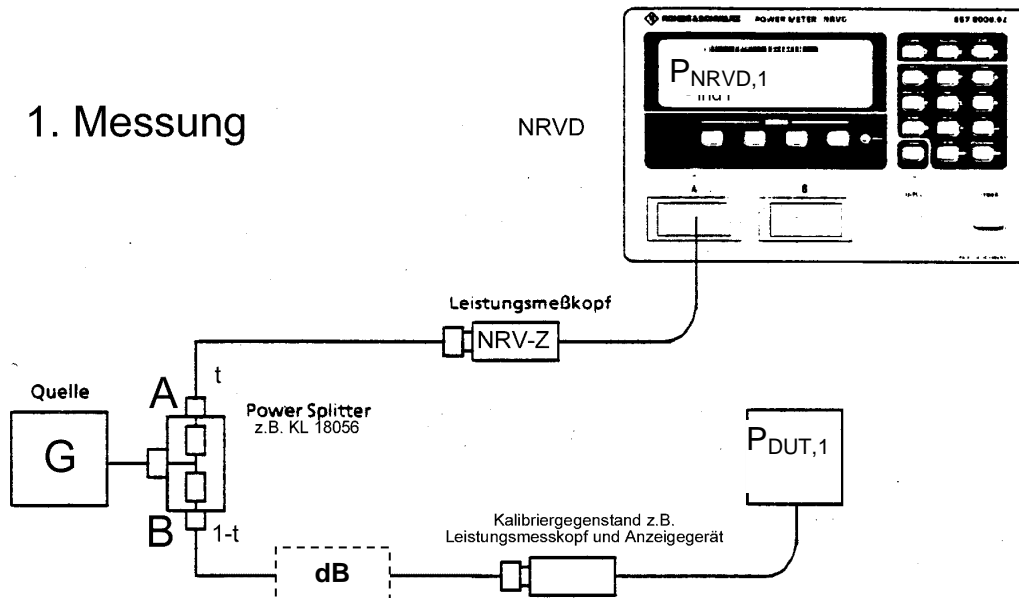


Bild XIII.2 Anschluss NRVD und Powersplitter (nach [2]) – Messung 1

Das Messverfahren geht davon aus, dass die Generatorleistung etwa symmetrisch auf die beiden Leistungs-Messgeräte, das Messobjekt (DUT) und den kalibrierten Messkopf (N), aufgeteilt wird. Damit eine mögliche Unsymmetrie der Leistungsteilung nicht zu Messabweichungen führt werden zwei Messungen mit gedrehtem Splitter, d.h. getauschtem A-B, B-A Anschlüssen (s. Abbildung)

¹ gemäß Herstellerspezifikation

Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
5.5.11	von: IM am: 08.01.2009	von: SF am: 08.01.2009	XIII.2 - Kalibrieren von HF- Leistungsmessgeräten und Messköpfen	2 von 13

durchgeführt und die beiden Messergebnisse gemittelt, wodurch eine mögliche Unsymmetrie eliminiert wird. Die zur Verfügung gestellte gemittelte Leistung an Port A ergibt sich beispielsweise dann mit dem Teilungsverhältnis t des Power Splitters als

$$\bar{P}_A = \frac{tP_G + (1-t)P_G}{2} = \frac{P_G}{2} = \bar{P}_B$$

2. Messung

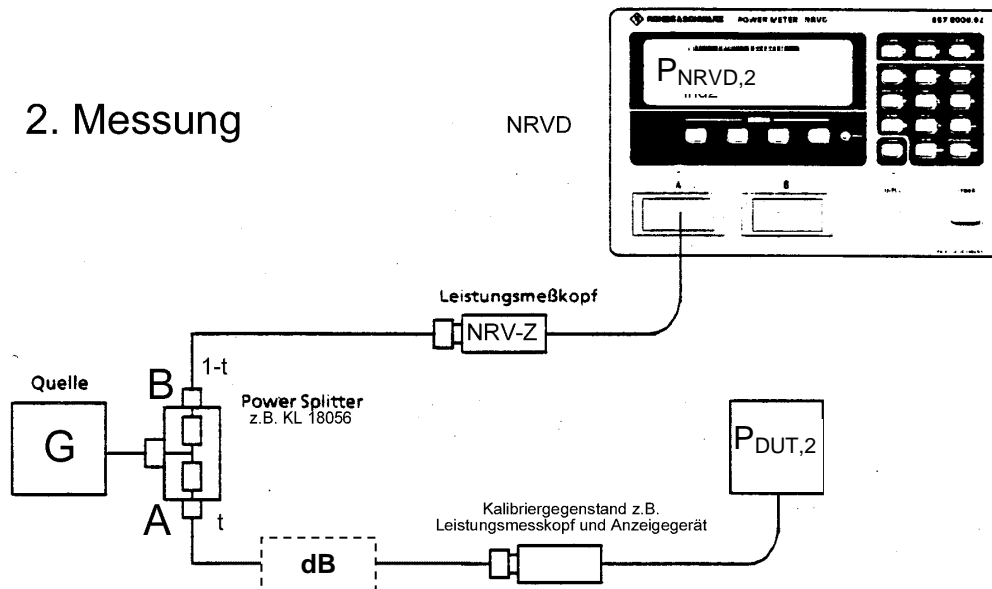


Bild XIII.3 Anschluss NRVD und Powersplitter (nach [2]) – Messung 2

Kalibriert und dokumentiert wird der Kalibrierungsfaktor η des Leistungsmessgerätes bzw. des Leistungsmesskopfes (DUT). Für absolut anzeigende Anzeigeräte ist der Kalibrierungsfaktor definiert als

$$\eta_{cal,abs}(f) = \frac{P_{DUT}(f)}{P_{inc}(f)} \quad \text{mit} \quad P_{DUT}(f) = \frac{P_{DUT,1} + P_{DUT,2}}{2} \quad \text{bzw.} \quad P_{inc}(f) = \frac{P_{NRVD,1} + P_{NRVD,2}}{2}$$

mit $P_{DUT,n}(f)$: Leistungsanzeige am Messobjekt (DUT) in Messung 1 (Bild XIII.2) bzw. Messung 2 (Bild XIII.3)

und $P_{inc}(f)$: Auf den unbekanntem Messkopf (DUT) eingestrahlte Leistung der Frequenz f

Wenn Prüfling, Messanwendung oder Kalibrierauftrag es erfordern, kann er durch einfache Umrechnung bezogen auf die Anzeige bei 50 MHz oder beliebiger Referenzfrequenz angegeben werden, also für Leistungsmessköpfe und Sensoren unabhängig vom Anzeigerät bezogen auf 50 MHz als

$$\eta_{cal,rel} = \frac{P_{inc}(f_{ref}) \cdot P_{DUT}(f)}{P_{inc}(f) \cdot P_{DUT}(f_{ref})} \quad \text{mit} \quad f_{ref} = 50 \text{ MHz}$$

Bei gleicher Anzeige P_{DUT} am Leistungsmesser:

$$\eta_{cal,rel} = \frac{P_{inc}(f_{ref})}{P_{inc}(f)}$$

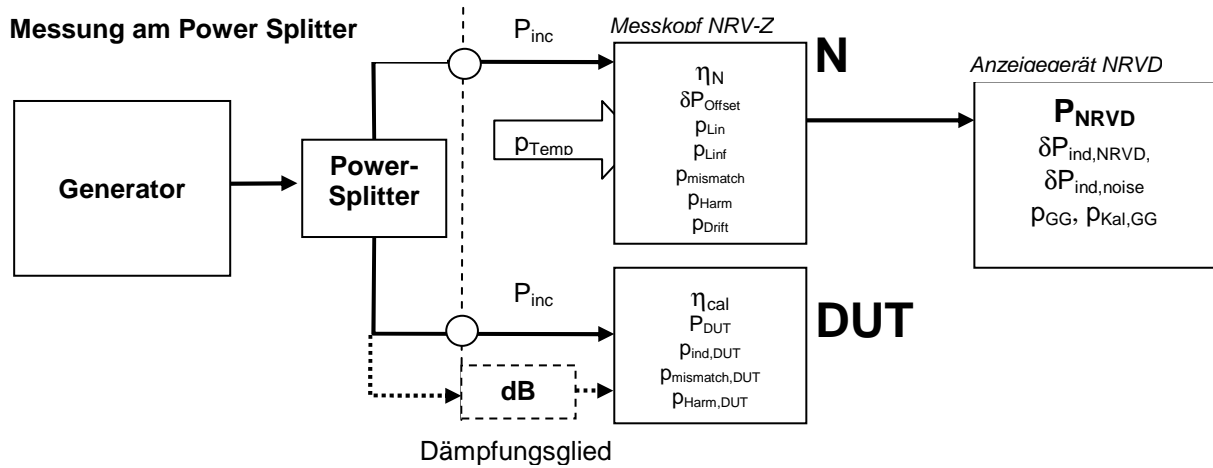
P_{DUT} : angezeigte Leistung des Leistungsmesser-Grundgerät(DUT) bei der Frequenz f
 $P_{inc}(f)$: auf den Messkopf (DUT)einflappende Leistung bei Frequenz f
 $P_{inc}(f_{ref})$: einfallende Leistung bei Referenzfrequenz 50 MHz

Definitionsgemäß ist der Kalibrierungsfaktor bei Referenzfrequenz immer 1,000 und besitzt keine Messunsicherheit.

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
5.5.11	von: IM am: 08.01.2009	von: SF am: 08.01.2009	XIII.2 - Kalibrieren von HF- Leistungsmessgeräten und Messköpfen	3 von 13

XIII.2.2 Messunsicherheitsbudget

Skizze des Messverfahrens (Normal N und Messobjekt DUT):



Modellgleichung:

$$\eta_{cal} = \frac{P_{DUT} \cdot \eta_N}{P_{NRVD} - \delta P_{ind,NRVD} - \delta P_{noise} - \delta P_{offset}} \cdot \frac{P_{mismatch,DUT}}{P_{mismatch,N}} \cdot P_{Drift} \cdot P_{Lin} \cdot P_{Linf} \cdot P_{Harm} \cdot P_{Harm,DUT} \cdot P_{GG} \cdot P_{Kal,GG}$$

bzw. mit eingefügtem Dämpfungsglied $\geq 20\text{dB}$

$$\eta_{cal} \approx \frac{P_{DUT} \cdot \eta_N}{|S_{21}|^2 \cdot P_{NRVD} - \delta P_{ind,NRVD} - \delta P_{noise} - \delta P_{offset}} \cdot \frac{P_{mismatch,DUT} \cdot P_{mismatch,Att}}{P_{mismatch,N}} \cdot P_{Drift} \cdot P_{Lin} \cdot P_{Linf} \cdot P_{Harm} \cdot P_{Harm,DUT} \cdot P_{GG} \cdot P_{Kal,GG}$$

$$\text{mit: } w^2(\eta_{cal}) \approx w^2(P_{Dut}) + w^2(\eta_N) + w^2(P_{NRVD}) + \sum_i \left(\frac{\delta P_i}{P_{NRVD}}\right)^2 w^2(\delta P_i) + \sum_j w^2(p_j)$$

$$= w^2(\eta_{cal}) \approx w^2(P_{Dut}) + w^2(\eta_N) + w^2(P_{NRVD}) + \sum_i \frac{1}{P_{NRVD}^2} \cdot u^2(\delta P_i) + \sum_j w^2(p_j) \quad \text{da } P_{NRVD} \gg \delta P_i$$

Vorgegebene bzw. abgelesene Größen:

P_{NRVD} gemessene Leistung am HF-Leistungsmesser NRVD

η_N Kalibrierfaktor des Bezugsnormal. Bei eingeschalteter Frequenzgangkorrektur mit den Werten aus dem EEPROM der Leistungsköpfe gilt $\eta_N=1$. Die Unsicherheit des Kalibrierfaktors ist dabei dem Kalibrierschein entnehmbar (0,011 dB bis 0,058 dB).

P_{DUT} gemessene Leistung am Kalibriergegenstand

S_{21}, S_{22}, S_{11} Vierpolparameter des verwendeten Dämpfungsgliedes mit den Unsicherheiten aus dem DKD-Kalibrierschein

Gesuchte Größe:

η_{cal} Kalibrierungsfaktor des Kalibriergegenstandes (DUT) zum Zeitpunkt der Kalibrierung

Ausgabe: 5.5.11	erstellt von: IM am: 08.01.2009	geprüft/ genehmigt von: SF am: 08.01.2009	Kapitel XIII.2 - Kalibrieren von HF- Leistungsmessgeräten und Messköpfen	Seite 4 von 13
---------------------------	--	--	---	--------------------------

Gemäß DKD-3:2002 Abschnitt4 [8] ergibt sich aus der Modellgleichung für die dem Ergebnis η beizuordnende erweiterte Messunsicherheit (k=2):

$$W(\eta_{cal}) = 2w(\eta_{cal})$$

Die Zahlenwerte der Berechnungen für die einzelnen Messgrößen sind der Tabelle

- **„Messunsicherheiten Tabelle XIII.2 Kalibrieren von HF-Leistungsmessgeräten.XLS“ zu entnehmen, die Ergebnisse sind im Leistungsnachweis aufgeführt.**

Ausgabe: 5.5.11	erstellt von: IM am: 08.01.2009	geprüft/ genehmigt von: SF am: 08.01.2009	Kapitel XIII.2 - Kalibrieren von HF- Leistungsmessgeräten und Messköpfen	Seite 5 von 13
---------------------------	--	--	---	--------------------------

XIII.2.3 Erweiterung auf HF- Absolutleistungsanzeige

Die Erweiterung auf HF-Absolutleistungskalibrierung (Kalibrieren von Messgeräten) kann ohne weitere Einschränkung erfolgen. Bei der Kalibrierung der absoluten Leistungsanzeige des Messobjektes $P_{DUT,abs}$ bei Einstrahlung der Leistung $P_{inc,abs}$ gilt (analog zu XIII.1.5):

$$P_{inc,abs} = \frac{P_{DUT,abs}}{\eta_{cal}}$$

$$w(P_{inc,abs}) = w(P_{DUT,abs}) = w(\eta_{cal})$$

XIII.2.4 Relativer Kalibrierungsfaktor $\eta_{cal,rel}$

Mit dem bei konstanter Leistung P_{inc} relativen Kalibrierungsfaktor

$$\eta_{cal,rel} = \frac{P_{DUT}(f)}{P_{DUT}(f_{ref})}$$
 ergibt sich dessen relative Unsicherheit

$$W^2(\eta_{cal,rel}) = W^2(P_{DUT}(f)) + W^2(P_{DUT}(f_{ref}))$$

als quadratische Summe der relativen Unsicherheiten von Test- und Referenzfrequenz bei ausschließlicher Berücksichtigung der statistischen, frequenzabhängigen Unsicherheiten in $W^2(P_{DUT})$ (siehe XIII.1.4 und Rechenbeispiel) und entspricht gleichzeitig der Unsicherheit der relativ zur Bezugfrequenz angezeigten Leistung (Frequenzgang der Leistungsanzeige).

XIII.2.5 Empfänger mit HF-Spannungsanzeige bezüglich 50 Ω

Analog zu Kapitel XIII.1.6 kann die am Eingang eines Empfängers an idealem $Z_0=50\Omega$ anliegende Spannung U_{inc} über die eingestrahlte Leistung $U_{inc} = \sqrt{P_{inc} \cdot Z_0}$ dargestellt werden. Dies ist dann sinnvoll wenn Geräte (z.B. Messempfänger, Oszilloskope) eine Kalibrierung auf U_{Z_0} erfordern. In diesem Fall gilt mit der Modellgleichung für die Abweichung ΔU_{ind} der HF-Spannungsanzeige U_{ind} eines Empfängers

$$U_{ind,DUT} - \Delta U_{ind,DUT} = U_{inc} = \sqrt{P_{inc} \cdot Z_0}$$

Genauso erlaubt das Verfahren dann die Frequenzgangmessung $F_{U,DUT}$ mit Bezug auf Referenzfrequenz f_{ref} . Wenn

$$F_{U,DUT} = \frac{U_{inc}(f_{ref}) \cdot U_{ind,DUT}(f)}{U_{inc}(f) \cdot U_{ind,DUT}(f_{ref})}$$

Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
5.5.11	von: IM am: 08.01.2009	von: SF am: 08.01.2009	XIII.2 - Kalibrieren von HF- Leistungsmessgeräten und Messköpfen	6 von 13

XIII.2.6 2,92mm Konnektor

Analog XIII.1.7 können mit den Leistungsnormalen R&S NRV-Z15 und NRV-Z55 am 2,92mm Powersplitter Leistungsmessköpfe dieser Konnektorfamilie kalibriert werden. Abweichend gilt:

$\rho_{mismatch}$ Der maximale Reflexionsfaktor $|\Gamma_G|$ des verwendeten Splitters wurde am Netzwerkanalysator gemessen [26].



Bild XIII.2.6.1 Ausgangsreflexionsfaktor Anritsu K241C

Unter Berücksichtigung der Messunsicherheit aus XIII.3.3 ist daher bekannt:

$$|\Gamma_G| \leq 0,04 \text{ für } f \leq 8 \text{ GHz}$$

$$|\Gamma_G| \leq 0,07 \text{ für } 4 \text{ GHz} < f \leq 26,5 \text{ GHz}$$

$$|\Gamma_G| \leq 0,15 \text{ für } 26,5 \text{ GHz} < f \leq 40 \text{ GHz}$$

$\rho_{mismatch,DUT}$

Für die Berechnung einer kleinsten angebaren Unsicherheit wird von „typischer Anpassung“ ausgegangen mit abgeschätzten Reflexionsfaktoren von:

$$|\Gamma_{L,DUT}| = 0,07 \text{ für } f < 2 \text{ GHz}$$

$$|\Gamma_{L,DUT}| = 0,10 \text{ für } 2 \text{ GHz} \leq f < 4 \text{ GHz}$$

$$|\Gamma_{L,DUT}| = 0,13 \text{ für } 4 \leq f < 26,5 \text{ GHz}$$

$$|\Gamma_{L,DUT}| = 0,15 \text{ für } 26,5 \leq f < 40 \text{ GHz}$$

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
5.5.11	von: IM am: 08.01.2009	von: SF am: 08.01.2009	XIII.2 - Kalibrieren von HF- Leistungsmessgeräten und Messköpfen	7 von 13

XIII.2.7 Kalibriersystem R&S NRVC

XIII.2.7.1 Absolutgenauigkeit

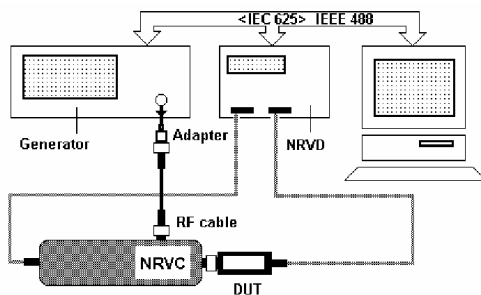
Speziell für die Kalibrierung von Leistungsmessköpfen von Rohde & Schwarz ist das Kalibriersystem NRVC konzipiert, kann aber auch alternativ zur beschriebenen Methode in XIII.2.1 verwendet werden. Prinzipiell ist das Gerät aus thermischem Leistungsmesskopf und integrierten Powersplitter aufgebaut, deren Korrektdaten für Reflexion und Kalibrierfaktor sehr präzise bestimmt sind und bei Bedienung über die mitgelieferte Software automatisch ausgewertet und berücksichtigt werden. Die genaue Bedienung und Anschluss des Systems ist dem Benutzerhandbuch zu entnehmen, Tabelle XIII.2.6.1 zeigt unterschiedliche Messkonfigurationen für die Absolutgenauigkeitskalibrierung (Kalibrierfaktor).

Da die Software alle Messungen mit eingeschalteter Frequenzgangkorrektur am Messobjekt durchführt und im Ergebnisprotokoll die Abweichung ΔP (in dB) bei Anwendung des im EEPROM abgelegten Faktors $\eta_{cal,EEPROM}$ (in %) ausgibt muss der Kalibrierungsfaktor aus diesen Daten zu

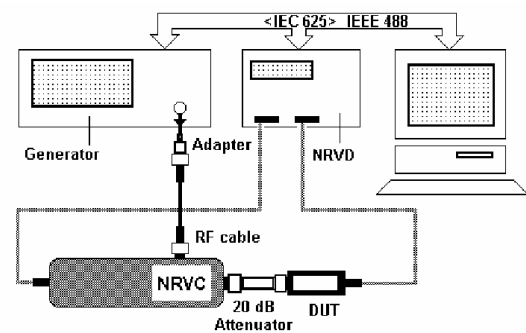
$$\eta_{cal,abs} = 10^{\frac{\Delta P}{10 \text{ dB}}} \cdot \frac{\eta_{cal,EEPROM}}{100\%} \text{ bzw.}$$

$$\eta_{cal,rel} = 10^{\frac{\Delta P(f) - \Delta P(f_{ref})}{10 \text{ dB}}} \cdot \frac{\eta_{cal,EEPROM}}{100\%}$$

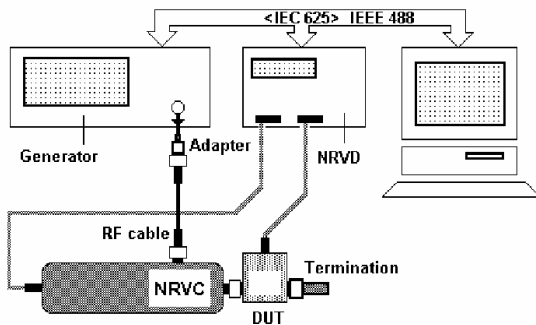
berechnet werden



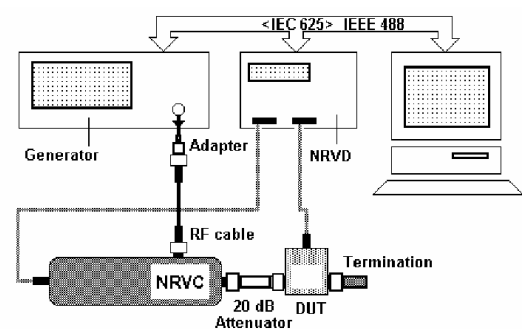
NRV-Z2, -Z5, -Z8, -Z51, -Z32, -Z33, -Z53, -Z54



URV-Z2



URV5-Z4



NRV-Z1, Z4, Z7, Z31

Tabelle XIII.2.7.1 Konfigurationen für die Messkopfkalibrierung, Kalibrierungsfaktor

Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
5.5.11	von: IM am: 08.01.2009	von: SF am: 08.01.2009	XIII.2 - Kalibrieren von HF- Leistungsmessgeräten und Messköpfen	8 von 13

XIII.2.7.2 (Nicht-) Linearität

Zur Kalibrierung der (Nicht-) Linearität von HF-Leistungsmessgeräten im durchgehenden Bereich -30 dBm bis +30 dBm (bzw. -60 dBm bis 0 dBm mit passendem Dämpfungsglied am Messobjekt) steht der Durchgangsleistungsmesskopf NRVC-B2 zur Verfügung:

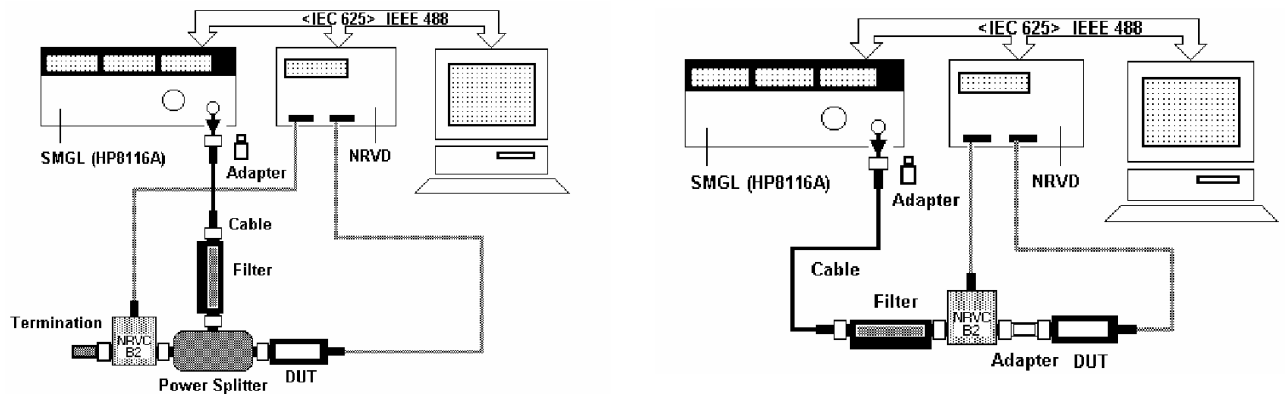


Tabelle XIII.2.7.2 Konfigurationen für die Messkopfkalibrierung, (Nicht-)Linearität

Dazu wird ähnlich Kapitel XIII.2.1 und XVIII.3.2a die am Powersplitter geteilte Leistung der HF-Quelle gleichzeitig am Referenzleistungsmesser und Kalibriergegenstand gemessen. Bei idealer Linearität muss sich die Anzeige des Normleistungsmessers mit zunehmender bzw. abnehmender Leistung im selben Maße verändern wie die des Kalibriergegenstandes. Die Nichtlinearität (in dB) lässt sich dann sofort als Differenz der Änderungen bezogen auf den Referenzwert angeben.

$$L = (P_{DUT} - P_{ref,DUT}) - (P_{NRVD} - P_{ref,NRVD} + \delta P_L) + \delta P_{Temp} + \delta P_{Noise} + \delta P_{GG}$$

XIII.2.8 Rechenbeispiele

XIII.2.8.1 Kalibrierungsfaktor η_{cal} , thermischer Sensor

Thermischer Sensor bei 1 mW, 50 MHz über NRV-Z51

XIII.2.8.2 Kalibrierungsfaktor $\eta_{cal,rel}$, Diodensensor

bei 0,1 mW, 12 GHz über NRV-Z51 und Bezug auf $f_{ref}=50$ MHz

XIII.2.8.3 HF-Spannungsanzeige $U_{ind,DUT}$

für einen Messempfänger aus P_{inc} , NRV-Z51, 2 GHz, 200 μ W, Konnektor N-female, Adaption über Typ-N, male-male

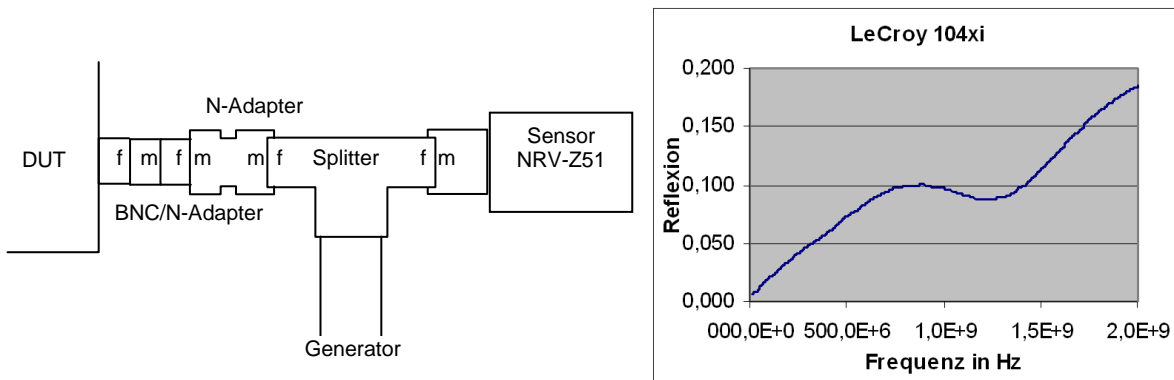
In diesem Fall wird der verwendete Adapter vor der Kalibrierung am VNA (Kapitel XIII.3) charakterisiert und durch seine Dämpfung im Messunsicherheitsbudget berücksichtigt, sofern keine Korrektur dieses Verlustes erfolgt. Der durch den Adapter zu berücksichtigende Reflexionsbetrag wird durch die Messung des Reflexionsfaktors von Messobjekt und Adapter als Kombination bestimmt.

Ausgabe:	erstellt	geprüft/genehmigt	Kapitel	Seite
5.5.11	von: IM am: 08.01.2009	von: SF am: 08.01.2009	XIII.2 - Kalibrieren von HF-Leistungsmessgeräten und Messköpfen	9 von 13

XIII.2.8.4 Frequenzgang HF-Spannung $F_{U,DUT}$

an Oszilloskopen aus P_{inc} , NRV-Z51, 800 MHz, 100 μ W, Konnektor BNC, Adaption über Typ-N (male-male)+BNC(female-male)

Analog zu Kapitel IX.2.5.4 kann beispielsweise der Frequenzgang von Oszilloskopen anstatt am Oszilloskopkalibrator über die Einstrahlung von HF-Leistung und Umrechnung auf eingestrahlte Spannung U_{inc} bei angenommener idealer Eingangsimpedanz $Z_0=50\Omega$ kalibriert werden. Für kleinere Messunsicherheiten als in Kapitel IX.2.5.4 setzt dieses Verfahren die Messung des Eingangsreflexionsfaktors des Oszilloskops voraus (messbar als Kombination mit dem nötigen Adapter). Unter der Annahme, dass sich die Unsicherheit der HF-Spannungsmessung in der Nähe der -3dB-Frequenz BB_{-3dB} etwa linear auf die Frequenzachse abbildet kann die Bandbreite analog zu IX.1.5 und IX.2.5.3 aus $F_{U,DUT}(BB_{-3dB}) = 0,7079$ bestimmt werden.



Messadaption (links) und gemessene Eingangsreflexion aus Adapter und Messobjekt eines 1 GHz-Oszilloskops (rechts)

Adapterdämpfung: $p_{conn}(f)=0,04 \text{ dB} \cdot f / \text{GHz}$

Reflexion aus Adapter und Messobjekt: $|\Gamma_{DUT}|=0,100$

Ausgabe:	erstellt	geprüft/ genehmigt	Kapitel	Seite
5.5.11	von: IM am: 08.01.2009	von: SF am: 08.01.2009	XIII.2 - Kalibrieren von HF- Leistungsmessgeräten und Messköpfen	10 von 13

XIII.2.8.5 Ergebnistabellen

Größenmatrix für Messung an NRV-Z1, 0,1 μ W bis <0,1mW

NRV-Z1	10MHz bis 50MHz	50 MHz bis 100 MHz	100 MHz bis 1 GHz	1 GHz bis 2 GHz	2 GHz bis 4 GHz	4 GHz bis 8 GHz	8 GHz bis 12 GHz	12 GHz bis 13 GHz	13 GHz bis 18 GHz
$P_{ind,NRVD}$ in Watt	100,0E-9	100,0E-9	100,0E-9	100,0E-9	100,0E-9	100,0E-9	100,0E-9	100,0E-9	100,0E-9
$W(\eta_{cal})$ k=2	1,8%	2,0%	2,0%	2,1%	2,3%	3,5%	3,7%	5,3%	6,0%

Größenmatrix für Messung an NRV-Z51, 0,1 mW (bis 80 mW)

NRV-Z51	DC bis 50MHz	50 MHz bis 100 MHz	100 MHz bis 2 GHz	2 GHz bis 3 GHz	3 GHz bis 4 GHz	4 GHz bis 12 GHz	12 GHz bis 12,4 GHz	12,4 GHz bis 17 GHz	17 GHz bis 18 GHz
$P_{ind,NRVD}$ in Watt	100,0E-6	100,0E-6	100,0E-6	100,0E-6	100,0E-6	100,0E-6	100,0E-6	100,0E-6	100,0E-6
$W(\eta_{cal})$ k=2	1,3%	1,4%	1,4%	1,6%	1,6%	2,8%	4,2%	4,3%	4,4%

Größenmatrix für Messung an NRV-Z15

0,1 μ W bis 0,1 mW	50MHz	>50 MHz bis 1 GHz	>1 GHz bis 2 GHz	>2 GHz bis 4 GHz	>4 GHz bis 12 GHz	>12 GHz bis 26,5 GHz	>26,5 GHz bis 40 GHz
Größe	100,0E-9	100,0E-9	100,0E-9	100,0E-9	100,0E-9	100,0E-9	100,0E-9
$W(\eta_{cal})$ k=2	1,7%	2,1%	2,1%	2,5%	4,7%	4,9%	9,5%
in dB	0,07	0,09	0,09	0,11	0,20	0,21	0,39

Größenmatrix für Messung an NRV-Z55

0,1mW bis 80mW	50MHz	>50 MHz bis 1 GHz	>1 GHz bis 2 GHz	>2 GHz bis 4 GHz	>4 GHz bis 12 GHz	>12 GHz bis 26,5 GHz	>26,5 GHz bis 40 GHz
Größe	100,0E-6	100,0E-6	100,0E-6	100,0E-6	100,0E-6	100,0E-6	100,0E-6
$W(\eta_{cal})$ k=2	1,4%	1,8%	1,8%	2,2%	3,8%	4,2%	8,7%
in dB	0,06	0,08	0,08	0,10	0,16	0,18	0,36

Größenmatrix für Messung an NRVC, 0,1 mW (bis 80 mW)

	DC bis 50 MHz	50 MHz bis 100 MHz	100 MHz bis 2 GHz	2 GHz bis 3 GHz	3 GHz bis 4 GHz	4 GHz bis 12 GHz	12 GHz bis 12,4 GHz	12,4 GHz bis 17 GHz	17 GHz bis 18 GHz
$P_{\text{ind,NRVD}}$ in Watt	100,0E-6	100,0E-6	100,0E-6	100,0E-6	100,0E-6	100,0E-6	100,0E-6	100,0E-6	100,0E-6
$W(\eta_{\text{cal}})$ k=2	0,9%	1,0%	1,0%	1,2%	1,2%	1,6%	1,4%	1,7%	1,7%

NRVC mit 20 dB Dämpfungsglied

	DC bis 50 MHz	50 MHz bis 100 MHz	100 MHz bis 2 GHz	2 GHz bis 3 GHz	3 GHz bis 4 GHz	4 GHz bis 12 GHz	12 GHz bis 12,4 GHz	12,4 GHz bis 18 GHz
$P_{\text{ind,NRVD}}$	100,0E-6	100,0E-6	100,0E-6	100,0E-6	100,0E-6	100,0E-6	100,0E-6	100,0E-6
$W(\eta_{\text{cal}})$ k=2	0,9%	1,0%	1,0%	1,1%	1,1%	1,5%	1,5%	2,3%

XIII.2.8.6 Ergebnis Ringvergleich PTB-esz vom 23.03.2004

Messobjekt: R&S NRV-Z51, PTB SN 024(f)
Normal, esz: R&S NRVC

esz								PTB			
Frequenz in GHz	P _{inc} in dBm	ΔP in dB	ΔP _{rel} in dB	linear	η _{EEPROM}	η _{cal,rel}	MU esz	η _{cal,rel}	MU PTB	Differenz Δ _{esz-PTB}	En
0,05	0	-0,071	0,000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9%	1,0000	0,2%	0,0000	0,00
0,1	0	-0,065	0,006	1,0014	0,9980	0,9994	1,0%	0,9990	0,2%	0,0004	0,04
0,5	0	-0,056	0,015	1,0035	0,9920	0,9954	1,0%	0,9954	0,3%	0,0000	0,00
1	0	-0,053	0,018	1,0042	0,9880	0,9921	1,0%	0,9916	0,4%	0,0005	0,05
2	0	-0,047	0,024	1,0055	0,9800	0,9854	1,0%	0,9855	0,4%	-0,0001	-0,01
3	0	-0,043	0,028	1,0065	0,9740	0,9803	1,2%	0,9813	0,6%	-0,0010	-0,07
4	0	-0,045	0,026	1,0060	0,9690	0,9748	1,2%	0,9765	0,6%	-0,0017	-0,13
5	0	-0,051	0,020	1,0046	0,9670	0,9715	1,6%	0,9753	0,6%	-0,0038	-0,22
6	0	-0,041	0,030	1,0069	0,9640	0,9707	1,6%	0,9724	0,6%	-0,0017	-0,10
7	0	-0,03	0,041	1,0095	0,9570	0,9661	1,6%	0,9698	0,6%	-0,0037	-0,22
8	0	-0,012	0,059	1,0137	0,9510	0,9640	1,6%	0,9688	0,6%	-0,0048	-0,28
9	0	-0,03	0,041	1,0095	0,9530	0,9620	1,6%	0,9661	0,6%	-0,0041	-0,24
10	0	-0,028	0,043	1,0100	0,9500	0,9595	1,6%	0,9636	0,8%	-0,0041	-0,23
11	0	0,005	0,076	1,0177	0,9420	0,9586	1,6%	0,9653	0,8%	-0,0067	-0,37
12	0	0,008	0,079	1,0184	0,9390	0,9562	1,6%	0,9636	0,8%	-0,0074	-0,41
12,4	0	-0,014	0,057	1,0132	0,9430	0,9555	1,6%	0,9610	0,8%	-0,0055	-0,31
13	0	0,012	0,083	1,0193	0,9360	0,9541	1,7%	0,9591	0,8%	-0,0050	-0,27
14	0	0,021	0,092	1,0214	0,9330	0,9530	1,7%	0,9581	1,2%	-0,0051	-0,25
15	0	0,011	0,082	1,0191	0,9320	0,9498	1,7%	0,9573	1,2%	-0,0075	-0,36
16	0	-0,037	0,034	1,0079	0,9380	0,9454	1,7%	0,9548	1,2%	-0,0094	-0,45
17	0	-0,07	0,001	1,0002	0,9420	0,9422	1,7%	0,9550	1,2%	-0,0128	-0,61
18	0	-0,049	0,022	1,0051	0,9400	0,9448	1,7%	0,9526	1,2%	-0,0078	-0,38