 All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 2003

Messpunkten (z.B. drei) über den Frequenzbereich des SA zu verteilen.

Alternativ kann der Synthesizer zur Bestimmung der Frequenzabweichung verwendet werden. Die Frequenzabweichung wird hierbei durch Variation der Synthesizerfrequenz ermittelt.

Wichtige Einflussgrößen auf die Messunsicherheit:

- Normal
- Ableseunsicherheit am SA
- Unsicherheit der Span/Div

of measuring points (e.g. three) shall be distributed over the frequency range of the SA.

Alternatively, the synthesizer may be used for determining the frequency deviation. The frequency deviation is then determined by varying the synthesizer frequency.

Important quantities influencing the measurement uncertainty:

- standard
- resolution of the SA display
- uncertainty of span/div

3.2.12 FM-Störhub

Beschreibung

Der lineare Teil der ZF-Filterkurve des SA wird benutzt, um den FM-Störhub des SA zu bestimmen. Messaufbau siehe Bild 23.

Demodulationsempfindlichkeit bestimmen

Einstellungen am SA (Beispiel):

- Mittenfrequenz auf Bezugsfrequenz einstellen (z.B. 100 MHz)
- Eingangsabschwächer auf 10 dB einstellen
- Skalierung auf „linear" schalten
- Referenzpegel auf ca. 200 mV einstellen
- geeignete Span/Div (z.B. 2 kHz oder gemäß Herstellerangabe) einstellen
- geeignete Bandbreite (z.B. 1 kHz oder gemäß Herstellerangabe) einstellen
- geeigneten Videofilter (z.B. 100 Hz oder gemäß Herstellerangabe) einstellen

3.2.12 Residual FM

Description

The linear part of the IF filter curve of the SA is used for determining the residual FM of the SA. Measuring set-up, see Figure 23.

Determine demodulation sensitivity

Settings on the SA (example):

- Set center frequency to reference frequency (e.g. 100 MHz)
- Set input attenuator to 10 dB
- Switch scaling to "linear"
- Set reference line to approx. 200 mV
- Select suitable span/div (e.g. 2 kHz or as specified by manufacturer)
- Select suitable bandwidth (e.g. 1 kHz or as specified by manufacturer)
- Set suitable video filter (e.g. 100 Hz or as specified by manufacturer)



Bild 23. Messaufbau für die Kalibrierung „FM-Störhub"



Fig. 23. Measuring set-up for calibration of "Residual FM"

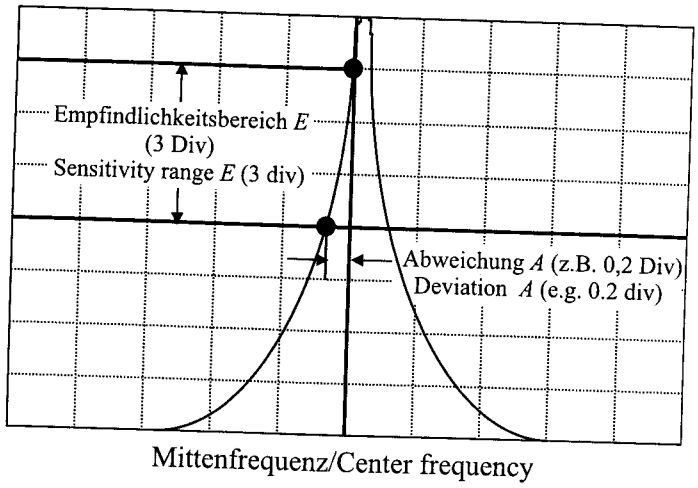


Bild 24. Abbildung am SA

Fig. 24. Display on the SA

Kalibrierung

1. Am Synthesizer gleiche Frequenz wie Mittenfrequenz einstellen.
2. Am SA Signal gemäß Bild 24 einstellen.
3. Demodulationsempfindlichkeit ermitteln.

$$D = \frac{\left(\frac{\text{Span}}{\text{Div}}\right) \cdot A}{E}$$

Beispiel

$$D = \frac{2\frac{\text{kHz}}{\text{Div}} \cdot 0{,}2\ \text{Div}}{3\ \text{Div}} = 133\frac{\text{Hz}}{\text{Div}}$$

FM-Störhub bestimmen:

Einstellungen am SA (Beispiel):

- Span/Div auf Zero-Span umschalten
- Zero-Span-Linie mittels Mittenfrequenzfeinverstimmung in den Bereich der drei Div gemäß Bild 24 bringen
- geeignete Ablenkzeit (z.B. 100 ms oder gemäß Herstellerangabe) einstellen

Kalibrierung

1. Spitze-Spitze Abweichung in Div ermitteln ($\Delta f_{\text{S-S}}$).
2. FM-Störhub (SH_{FM}) ermitteln

$$SH_{\text{FM}} = \frac{1}{2}\Delta f_{\text{S-S}} \cdot D$$

Beispiel

$$SH_{\text{FM}} = \frac{1}{2} \cdot 1\ \text{Div} \cdot 133\frac{\text{Hz}}{\text{Div}} = 66{,}5\ \text{Hz}$$

3. Einstellwerte für Bandbreite, Videofilter und Ablenkzeit dokumentieren.

Calibration

1. Set synthesizer to center frequency.
2. On the SA, set signal according to Figure 24.
3. Determine demodulation sensitivity.

$$D = \frac{\left(\frac{\text{span}}{\text{div}}\right) \cdot A}{E}$$

Example

$$D = \frac{2\frac{\text{kHz}}{\text{div}} \cdot 0.2\ \text{div}}{3\ \text{div}} = 133\frac{\text{Hz}}{\text{div}}$$

Determine residual FM:

Settings on the SA (example):

- Switch span/div to zero span
- Bring zero-span line into the range of the 3rd division according to Figure 24 by means of fine adjustment of center frequency
- Set suitable sweep time (e.g. 100 ms or as specified by manufacturer)

Calibration

1. Determine peak-to-peak deviation in div ($\Delta f_{\text{S-S}}$).
2. Determine residual FM (SH_{FM})

$$SH_{\text{FM}} = \frac{1}{2}\Delta f_{\text{S-S}} \cdot D$$

Example

$$SH_{\text{FM}} = \frac{1}{2} \cdot 1\ \text{div} \cdot 133\frac{\text{Hz}}{\text{div}} = 66.5\ \text{Hz}$$

3. Record settings for bandwidth, video filter, and sweep time.

 All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 2003

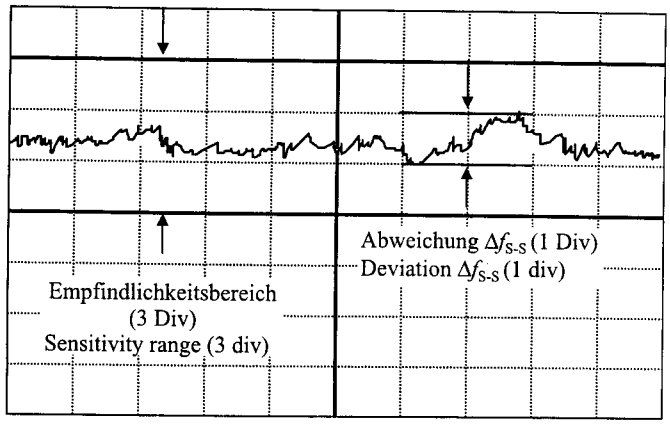


Bild 25. Abbildung am SA

Fig. 25. Display on the SA

Anmerkungen:

1. Es kann auch der Spitze-Spitze-Wert des FM-Störhubs angegeben werden.
   $SH_{FM(S\text{-}S)} = \Delta f_{S\text{-}S} \cdot D$
2. Der SA fungiert bei dem beschriebenen Kalibrierverfahren zugleich als Frequenz- und Dämpfungsnormal. Voraussetzung dabei ist, dass vorher die Kalibrierung der Frequenzspanne pro Rastereinheit und der Anzeigelinearität durchgeführt wurde.

Wichtige Einflussgrößen auf die Messunsicherheit:

- Normal
- Störhub des Synthesizers
- Nichtlinearität der Filterkurve
- Ableseunsicherheit am KG
- Unsicherheit der Span/Div
- Anzeigelinearität

3.2.13 Einseitenband-Phasenrauschen

Beschreibung

Das Einseitenband-Phasenrauschen beschreibt das statistische Verhalten der Frequenzstabilität des SA und begrenzt seine Dynamik und Signalselektionsfähigkeit in der Nähe des Messsignals. Es wird als Verhältnis der Leistung in dBc/Hz eines phasenmodulierten Seitenbandes (normiert auf 1 Hz Bandbreite) zur gesamten Signalleistung bei einem definierten Abstand vom Messsignal angegeben. Messaufbau siehe Bild 26.

Einstellungen am SA (Beispiel):

- Mittenfrequenz auf Bezugsfrequenz einstellen (z.B. 100 MHz)
- Eingangsabschwächer auf 0 dB einstellen
- Referenzpegel auf maximal möglichen Wert einstellen (z.B. –10 dBm)
- Skalierung auf 10 dB/Div einstellen
- Kleinen Span/Div einstellen (z.B. 10 kHz)
- Bandbreite entsprechend Spezifikation einstellen (z.B. RBW = 10 Hz)
- Video-Bandbreite entsprechend Spezifikation einstellen (z.B. VBW = RBW/10 = 1 Hz)

Notes:

1. The peak-to-peak value of the residual FM can also be given.
   $SH_{FM(S\text{-}S)} = \Delta f_{S\text{-}S} \cdot D$
2. When using this calibration method, the SA serves as frequency and attenuation standards combined. This requires prior calibration of the frequency span per division and of the display linearity.

Important quantities influencing the measurement uncertainty:

- standard
- residual FM of the synthesizer
- non-linearity of the filter curve
- resolution of the calibrator display
- uncertainty of span/div
- display linearity

3.2.13 Noise sideband

Description

The noise sideband describes the statistical behaviour of the frequency stability of the SA and limits its dynamics and signal selection performance in the vicinity of the measuring signal. It is given in terms of the ratio of the power, in dBc/Hz, of a phase-modulated sideband (normalized to a bandwidth of 1 Hz) over the total signal output at a defined distance from the measuring signal. Measuring set-up, see Figure 26.

Settings on the SA (example):

- Set center frequency to reference frequency (e.g. 100 MHz)
- Set input attenuator to 0 dB
- Set reference level to maximum value (e.g. –10 dBm)
- Set scaling to 10 dB/div
- Select small span/div (e.g. 10 kHz)
- Select bandwidth in accordance with specification (e.g. RBW = 10 Hz)
- Select video bandwidth in accordance with the specification (e.g. VBW = RBW/10 = 1 Hz)

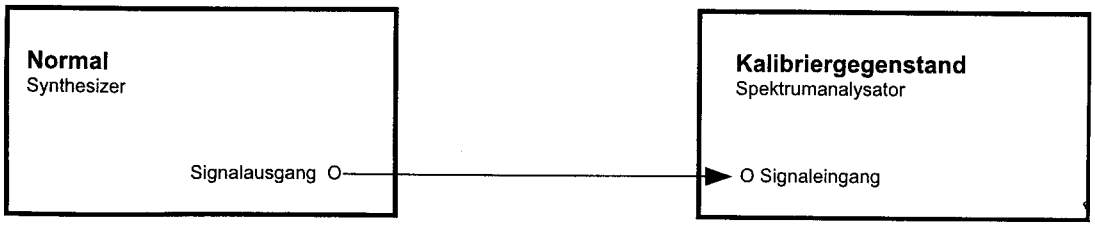


Bild 26. Messaufbau für die Kalibrierung „Einseitenband-Phasenrauschen"



Fig. 26. Measuring set-up for calibration of "Noise sideband"

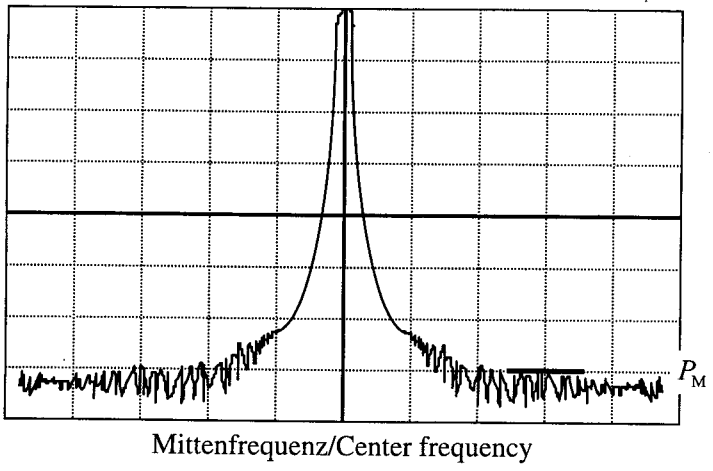


Bild 27. Abbildung am SA

Fig. 27. Display on the SA

Kalibrierung

1. Am Synthesizer gleiche Frequenz wie Mittenfrequenz einstellen.
2. Am SA Signal gemäß Bild 27 einstellen.
3. Mittleren Rauschpegel bei einem Abstand von 1 kHz von der Mittenfrequenz ermitteln und mit den Bandbreiten RBW und VBW dokumentieren.
4. Schritt 2 und Schritt 3 für andere Frequenzabstände von der Mittenfrequenz entsprechend Gerätespezifikationen (z.B. 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz, 10 MHz) wiederholen, Span/Div passend einstellen.
5. Schritt 1 bis Schritt 4 ggf. für andere Mittenfrequenzen entsprechend Gerätespezifikationen wiederholen.
6. Rauschpegel auf 1 Hz Bandbreite umrechnen. Rauschabstand bezogen auf die Trägerleistung berechnen.

Calibration

1. Set synthesizer to center frequency.
2. On the SA, adjust signal according to Figure 27.
3. Determine the mean noise level 1 kHz away from the center frequency and record it together with the RBW and VBW bandwidths.
4. Repeat steps 2 and 3 for other frequency differences with respect to the center frequency in accordance with the specifications for the equipment (e.g. 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz, 10 MHz), set span/div correspondingly.
5. Repeat steps 1 through 4, if necessary, for other center frequencies in accordance with the specifications of the equipment.
6. Convert noise level to a bandwidth of 1 Hz. Calculate signal-to-noise ratio based on the carrier power.

 All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 2003

Anmerkungen:

1. Der SA fungiert bei dem beschriebenen Kalibrierverfahren als Dämpfungsnormal. Voraussetzung dafür ist, dass vorher die Kalibrierung der Anzeigelinearität durchgeführt wurde.
2. Umrechnung des Rauschpegels auf 1 Hz Bandbreite:
   $P_{1\,Hz} = P_M - \log\left(\frac{RBW}{1\,Hz}\right)$ mit P_M als angezeigter mittlerer Rauschpegel.
   Voraussetzung: Kalibrierung der Bandbreite der Selektionsfilter muss durchgeführt sein.
3. Gemessen wird der angezeigte mittlere Rauschpegel. Der wirkliche Rauschpegel ist abhängig von der Verstärkung, dem verwendeten Detektor und der Leistungsbandbreite der Selektionsfilter; er liegt typisch (1,7 bis 2,05) dB höher.
4. Eigenempfangssignale sind bei der Kalibrierung des Eigenrauschens nicht zu berücksichtigen.
5. Ist eine Phasen-Rausch-Marker-Funktion vorhanden, so ist diese zur Messung zu verwenden.

Wichtige Einflussgrößen auf die Messunsicherheit:

- Ableseunsicherheit am SA
- Anzeiglinearität des SA
- AM-Rauschen des SA
- Unsicherheit der 3 dB-Bandbreiten der RBW Filter des SA
- AM-Rauschen des Synthesizers
- Einseitenbandrauschen des Synthesizers

3.2.14 Eigenrauschen

Beschreibung

Das Eigenrauschen des SA beeinflusst in hohem Maße seine Dynamik und die Messbarkeit von kleinen Signalen. Messaufbau siehe Bild 28.

Einstellungen am SA (Beispiel):

- Eingangsabschwächer auf 0 dB einstellen
- Skalierung auf 10 dB/Div einstellen
- Geeignete Span/Div einstellen (z.B. 10-mal RBW)

Notes:

1. When using this calibration method, the SA serves as attenuation standard. This requires prior calibration of the display linearity.
2. Conversion of the noise level to a bandwidth of 1 Hz:
   $P_{1\,Hz} = P_M - \log\left(\frac{RBW}{1\,Hz}\right)$ with P_M as indicated mean noise level.
   Prerequisite: prior calibration of the bandwidth of the RBW filters.
3. The indicated mean noise level is measured. The actual noise level depends on the gain, the detector used, and the power bandwidth of the RBW filters; it is typically higher by 1.7 dB to 2.05 dB.
4. Signal feedback shall not to be taken into account for the calibration of the noise floor.
5. If a phase noise marker function is available, it shall be used for the measurement.

Important quantities influencing the measurement uncertainty:

- resolution of the SA display
- display linearity of the SA
- amplitude modulation noise of the SA
- uncertainty of the 3 dB bandwidths of the RBW filters of the SA
- AM noise of the synthesizer
- noise sideband of the synthesizer

3.2.14 Noise floor

Description

The noise floor of the SA has considerable influence on its dynamic response and on the measurability of low-level signals. Measuring set-up, see Figure 28.

Settings on the SA (example):

- Set input attenuator to 0 dB
- Set scaling to 10 dB/div
- Select suitable span/div (e.g. 10 times the RBW)

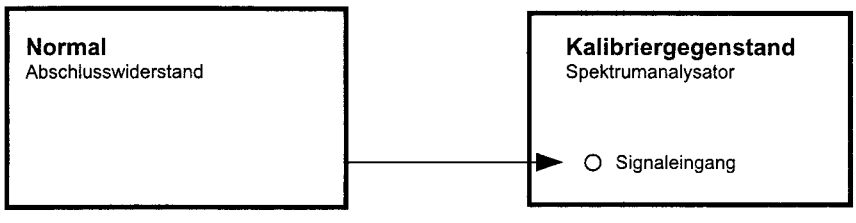


Bild 28. Messaufbau für die Kalibrierung „Eigenrauschen"

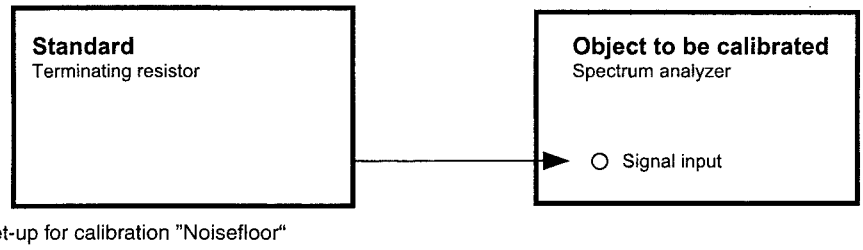


Fig. 28. Measuring set-up for calibration "Noisefloor"

Alle Rechte vorbehalten © Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 2003

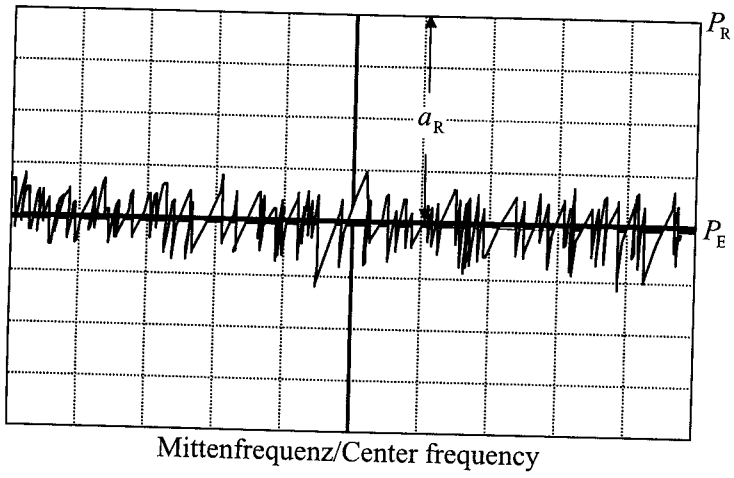


Bild 29. Abbildung am SA

Fig. 29. Display on the SA

- Bandbreite entsprechend Gerätespezifikationen einstellen (z.B. RBW = 10 Hz)
- Video-Bandbreite entsprechend Gerätespezifikationen einstellen (z.B. VBW = RBW/10 = 1 Hz)
- Ggf. Mittelungsfaktor einstellen (z.B. 10)

Kalibrierung

1. Kleinen Referenzpegel am SA einstellen (z.B. –100 dBm bis –60 dBm), bis Rauschpegel in Bildmitte erscheint (siehe Bild 29).
2. Mittleren Rauschpegel P_E für vorgegebene Frequenzpunkte und Frequenzbänder entsprechend Gerätespezifikationen (z.B. kHz, 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz, ... 10 MHz bis 8 GHz) ermitteln.

$$P_E = P_R + a_R \text{ in dBm}$$

P_R eingestellter Referenzpegel
a_R Abstand des Rauschpegel-Mittelwertes zu P_R

Anmerkungen:

1. Der SA fungiert bei dem beschriebenen Kalibrierverfahren als Dämpfungs- und Pegelnormal. Voraussetzung dafür ist, dass vorher die Kalibrierung der Anzeigelinearität und des Referenzpegels durchgeführt wurde.
2. In der Regel wird der angezeigte mittlere Rauschpegel gemessen. Der wirkliche Rauschpegel ist abhängig von der Verstärkung, dem verwendeten Detektor und der Leistungsbandbreite der Selektionsfilter; er liegt typisch (1,7 bis 2,05) dB höher.
3. Eigenempfangssignale sind bei der Kalibrierung des Eigenrauschens nicht zu berücksichtigen.

Wichtige Einflussgrößen auf die Messunsicherheit:

- Ableseunsicherheit am SA
- Anzeiglinearität des SA

3.2.15 Oberwellenabstand

Beschreibung

Bedingt durch unerwünschtes, nichtlineares Verhalten kann ein SA, auch bei idealem Eingangssignal einer Frequenz, Anzeigen bei mehreren Frequenzen

- Set bandwidth in accordance with the equipment specifications (e.g. RBW = 10 Hz)
- Set video bandwidth in accordance with the equipment specifications (e.g. VBW = RBW/10 = 1 Hz)
- If necessary, set averaging factor (e.g. 10)

Calibration

1. On the SA, set low reference level (e.g. –100 dBm to –60 dBm) until noise level appears at the center of the screen (see Figure 29).
2. Determine mean noise level P_E for specified frequencies and frequency bands in accordance with equipment specifications (e.g. kHz, 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz, ... 10 MHz to 8 GHz).

$$P_E = P_R + a_R \text{ in dBm}$$

P_R set reference level
a_R difference between the mean noise level and P_R

Notes:

1. When using this calibration method, the SA serves as attenuation and level standards combined. This requires prior calibration of the display linearity and of the reference level.
2. As a rule, the indicated mean noise level is measured. The actual noise level depends on the gain, the detector used, and the power bandwidth of the RBW filters; it is typically higher by 1.7 dB to 2.05 dB.
3. Signal feedback shall not to be taken into account for the calibration of the noise floor.

Important quantities influencing the measurement uncertainty:

- resolution of the SA display
- display linearity of the SA

3.2.15 Harmonic rejection

Description

Even with an ideal input signal at one frequency, an undesirable, non-linear response may cause an SA to give indications at several frequencies, including, in

 All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 2003

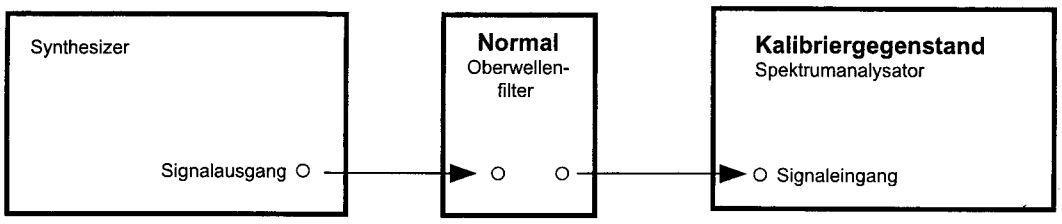


Bild 30. Messaufbau für die Kalibrierung „Oberwellenabstand"

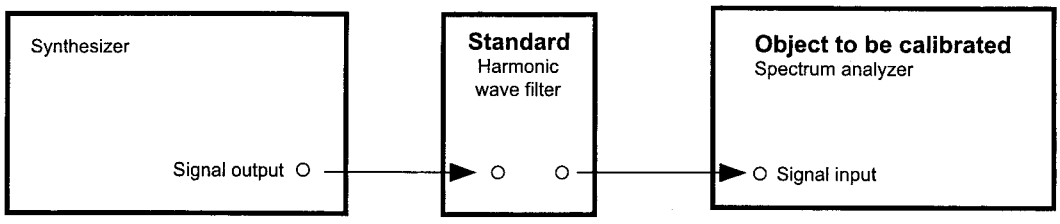


Fig. 30. Measuring set-up for calibration "Harmonic rejection"

liefern. Hierzu gehören vor allem Vielfache des Eingangssignals (Harmonische, Oberwellen). Messaufbau siehe Bild 30.

Einstellungen am SA (Beispiel):

- Mittenfrequenz auf Bezugsfrequenz einstellen (z.B. 100 MHz = f_1)
- Eingangsabschwächer auf 0 dB einstellen
- Referenzpegel entsprechen Herstellerangaben einstellen (z.B. –30 dBm)
- Skalierung auf 10 dB/Div einstellen
- geeignete Span/Div einstellen (z.B. 10 kHz)
- entsprechende Bandbreite einstellen (siehe Bild 31)

Kalibrierung

1. Am Synthesizer gleiche Frequenz wie Mittenfrequenz einstellen.
2. Am Synthesizer Signalpegel so einstellen, dass dargestellte Kurve oberste Linie (Referenz-Linie) erreicht (siehe Bild 31).

particular, multiples of the input signal (harmonics, harmonic waves). Measuring set-up, see Figure 30.

Settings on the SA (example):

- Set center frequency to reference frequency (e.g. 100 MHz = f_1)
- Set input attenuator to 0 dB
- Set reference level as specified by the manufacturer (e.g. –30 dBm)
- Set scaling to 10 dB/div
- Select suitable span/div (e.g. 10 kHz)
- Select appropriate bandwidth (see Figure 31)

Calibration

1. Set synthesizer to center frequency.
2. Adjust the signal level on the synthesizer in such a way that the curve displayed touches the top line (reference line), see Figure 31.

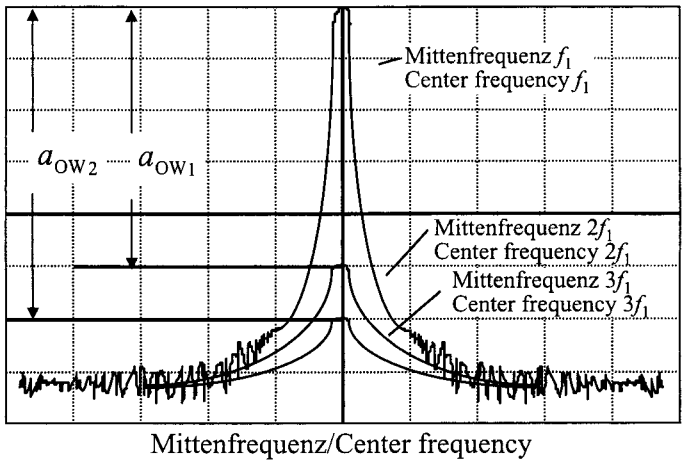


Bild 31. Abbildung am SA

Fig. 31. Display on the SA

3. Am SA Mittenfrequenz $2 \cdot f_1$ einstellen (z.B. 200 MHz).
4. Oberwellenabstand a_{OW} ermitteln.
5. Gegebenenfalls weitere Oberwellenabstände bei den Frequenzen $3 \cdot f_1$, $4 \cdot f_1$, ... ermitteln.

Anmerkung:
Der SA fungiert bei dem beschriebenen Kalibrierverfahren als Dämpfungsnormal. Voraussetzung dafür ist, dass vorher die Kalibrierung der Anzeigelinearität durchgeführt wurde.

Wichtige Einflussgrößen auf die Messunsicherheit:

- Oberwellenabstand des Messsignals
- Ableseunsicherheit am SA
- Anzeigelinearität des SA
- Rauschabstand
- Referenzpegelunsicherheit

3.2.16 Interceptpunkt bzw. Intermodulationsabstand 2. Ordnung

Beschreibung

Beim gleichzeitigen Einspeisen von zwei Signalen entstehen im SA unerwünschte Mischprodukte. Der Interceptpunkt ist eine Beschreibungsgröße für diese Intermodulation; er kann nicht direkt gemessen werden (im Interceptpunkt 2. Ordnung wären die Intermodulationsprodukte 2. Ordnung pegelgleich mit der Grundwelle der Messsignale; ein theoretischer Wert, da der SA schon weit vorher übersteuert ist). Bei bekanntem Interceptpunkt kann für beliebige Eingangspegel der Intermodulationsabstand berechnet werden. Messaufbau siehe Bild 32.

Einstellungen am SA (Beispiel):

- Mittenfrequenz auf Bezugsfrequenz einstellen (z.B. 100 MHz)

3. On the SA, set center frequency $2 \cdot f_1$ (e.g. 200 MHz).
4. Determine harmonic rejection a_{OW}.
5. If necessary, determine harmonic rejection at $3 \cdot f_1$, $4 \cdot f_1$, ...

Note:
When using this calibration method, the SA serves as attenuation standard. This requires prior calibration of the display linearity.

Important quantities influencing the measurement uncertainty:

- harmonic rejection of the measuring signal
- resolution of the SA display
- display linearity of the SA
- signal-to-noise ratio
- uncertainty of reference level

3.2.16 2nd order intercept point and/or 2nd order intermodulation rejection

Description

In case of simultaneous input of two signals, the SA generates undesirable intermodulation signals. The intercept point is a quantity describing this intermodulation; it cannot be measured directly (at the 2nd order intercept point, the intermodulation signals of the 2nd order would have the same level as the fundamental wave of the measuring signals; a theoretical value far beyond the working range of the SA). If the intercept point is known, the signal-to-intermodulation ratio can be calculated for any input level. Measuring set-up, see Figure 32.

Settings on the SA (example):

- Set center frequency to reference frequency (e.g. 100 MHz)

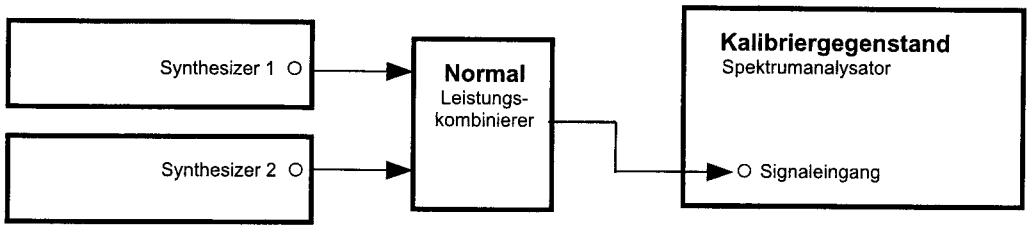


Bild 32. Messaufbau für die Kalibrierung „Interceptpunkt bzw. Intermodulationsabweichung"

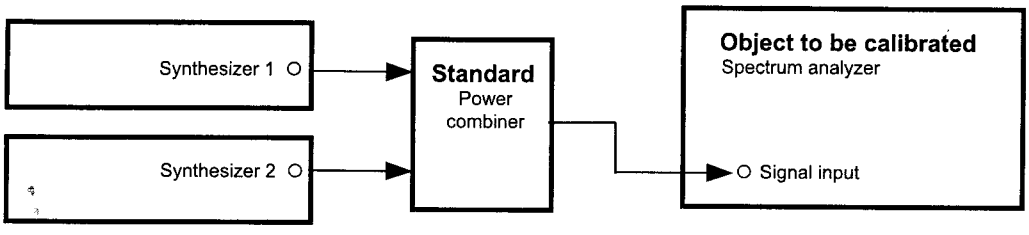


Fig. 32. Measuring set-up for calibration "Intercept point and/or intermodulation rejection"

 All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 2003

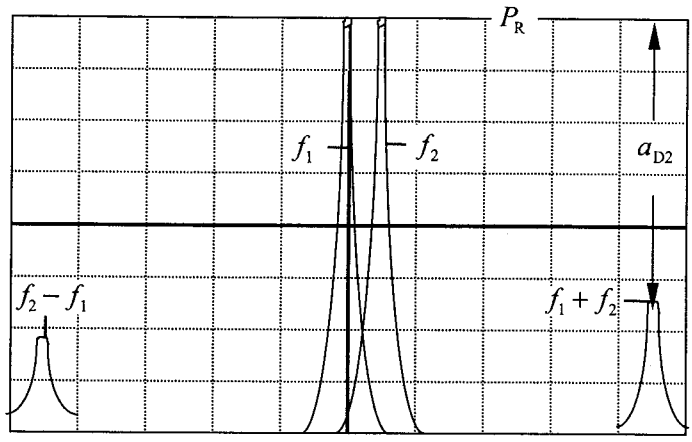


Bild 33. Abbildung am SA

Fig. 33. Display on the SA

- Eingangsabschwächer auf 0 dB einstellen
- Referenzpegel entsprechend Herstellerangaben einstellen (z.B. –30 dBm)
- Skalierung auf 10 dB/Div einstellen

Kalibrierung

1. Am Synthesizer 2 gleiche Frequenz wie Mittenfrequenz einstellen.
2. Frequenz am Synthesizer 1 entsprechend Gerätespezifikation um Δf kleiner einstellen (z.B. $\Delta f = 10$ MHz)
3. Am SA Mittenfrequenz, Span/Div und Bandbreite so einstellen, dass beide Signalkurven sichtbar sind (siehe Bild 33).
4. An beiden Synthesizern die Pegel so einstellen, dass beide Kurven die oberste Linie (Referenz-Linie) erreichen.
5. Intermodulationsabstände bei den Frequenzen $f_2 - f_1$ und $f_1 + f_2$ und zum Referenzpegel P_R messen. Den kleineren der beiden Werte als a_{D2} dokumentieren.
6. Gegebenenfalls Interceptpunkt 2. Ordnung berechnen: $IP_2 = P_R + a_{D2}$
7. Schritt 1 bis Schritt 6 für alle Messfrequenzen wiederholen. Für die Zahl der Messfrequenzen ist die Herstellerempfehlung zu beachten. Sind dort keine Angaben gemacht, so ist eine ausreichende Anzahl von Messpunkten (mindestens drei) über den Frequenzbereich des SA zu verteilen.

Anmerkungen:

1. Bei der Messung des Pegelabstandes muss der Mischereingangspegel unverändert bleiben, das heißt die Stellung des Eingangsabschwächers darf nicht verändert werden.
2. Der SA fungiert bei dem beschriebenen Kalibrierverfahren zugleich als Dämpfungsnormal. Voraussetzung dafür ist, dass vorher die Kalibrierung der Anzeigelinearität durchgeführt wurde.
3. Der Intermodulations- und Oberwellenabstand der Synthesizeranordnung mit Leistungskombinierer kann durch Einfügen von Abschwächern und Tiefpässen verbessert werden.

- Set input attenuator to 0 dB
- Set reference level as specified by the manufacturer (e.g. –30 dBm)
- Set scaling to 10 dB/div

Calibration

1. Set synthesizer 2 to center frequency.
2. The frequency set on synthesizer 1 shall lie at Δf from the center frequency, Δf depending on the equipment specification (e.g. $\Delta f = 10$ MHz).
3. On the SA, set center frequency, span/div, and bandwidth in such a way that both signal curves are visible (see Figure 33).
4. On both synthesizers, set the levels in such a way that both curves touch the top line (reference line).
5. Measure intermodulation rejections at the frequencies $f_2 - f_1$ and $f_1 + f_2$ with respect to the reference level P_R. Record the smaller of the two values as a_{D2}.
6. If necessary, calculate 2nd order intercept point: $IP_2 = P_R + a_{D2}$
7. Repeat steps 1 through 6 for all measuring frequencies. Observe the manufacturer's recommendation with respect to the number of measuring frequencies. If no information is provided, an adequate number of measuring points (at least three) shall be distributed over the frequency range of the SA.

Notes:

1. The mixer input level must remain unchanged, i.e. the setting of the input attenuator must not be changed while measuring the level ratio.
2. When using this calibration method, the SA serves as attenuation standard. This requires prior calibration of the display linearity.
3. The intermodulation and harmonic rejections of the synthesizer arrangement with power combiner can be improved by means of attenuators and low-pass filters.

Wichtige Einflussgrößen auf die Messunsicherheit:

- Ableseunsicherheit am SA
- Anzeigelinearität des SA
- Referenzpegelunsicherheit des SA
- Intermodulationsabstand der Synthesizeranordnung mit Leistungskombinierer
- Oberwellenabstand der Synthesizeranordnung mit Leistungskombinierer

3.2.17 Interceptpunkt bzw. Intermodulationsabstand 3. Ordnung

Beschreibung

Beim gleichzeitigem Einspeisen von zwei Signalen entstehen im SA unerwünschte Mischprodukte. Der Interceptpunkt ist eine Beschreibungsgröße für diese Intermodulation; er kann nicht direkt gemessen werden (im Interceptpunkt 3. Ordnung wären die Intermodulationsprodukte 3. Ordnung pegelgleich mit der Grundwelle der Messsignale; ein theoretischer Wert, da der SA schon weit vorher übersteuert ist). Bei bekanntem Interceptpunkt kann für beliebige Eingangspegel der Intermodulationsabstand berechnet werden. Messaufbau siehe Bild 34.

Einstellungen am SA(Beispiel):

- Mittenfrequenz auf Bezugsfrequenz einstellen (z.B. 100 MHz)
- Eingangsabschwächer auf 0 dB einstellen
- Referenzpegel entsprechend Herstellerangaben einstellen (z.B. –30 dBm)
- Skalierung auf 10 dB/Div einstellen

Important quantities influencing the measurement uncertainty:

- resolution of the SA display
- display linearity of the SA
- uncertainty of reference level of the SA
- intermodulation rejection of the synthesizer arrangement with power combiner
- harmonic rejection of the synthesizer arrangement with power combiner

3.2.17 3rd order intercept point and/or 3rd order intermodulation rejection

Description

In case of simultaneous input of two signals, the SA generates undesirable intermodulation signals. The intercept point is a quantity describing this intermodulation; it cannot be measured directly (at the 3rd order intercept point, the intermodulation signals of the 3rd order would have the same level as the fundamental wave of the measuring signals; a theoretical value far beyond the working range of the SA). If the intercept point is known, the signal-to-intermodulation ratio can be calculated for any input level. Measuring set-up, see Figure 34.

Settings on the SA(example):

- Set center frequency to reference frequency (e.g. 100 MHz)
- Set input attenuator to 0 dB
- Set reference level as specified by the manufacturer (e.g. –30 dBm)
- Set scaling to 10 dB/div

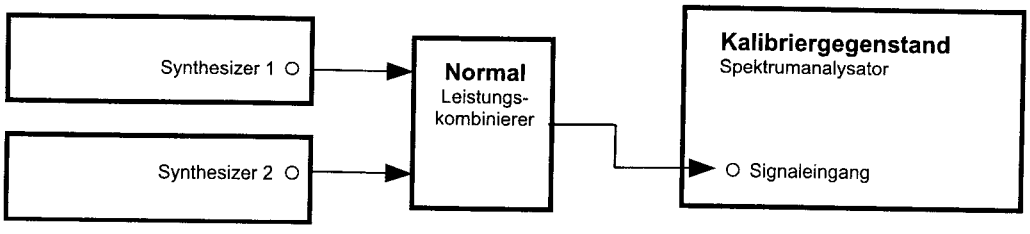


Bild 34. Messaufbau für die Kalibrierung „Interceptpunkt bzw. Intermodulationsabweichung"

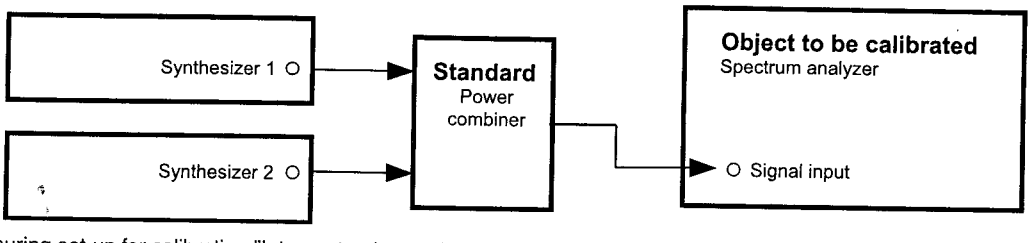


Fig. 34. Measuring set-up for calibration "Intercept point and/or intermodulation rejection"

 All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 2003

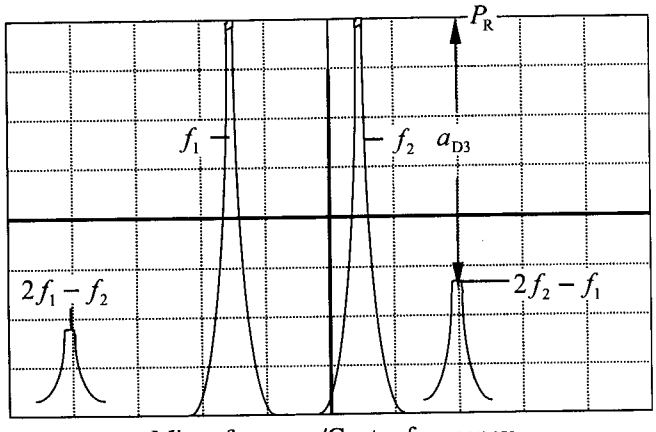


Bild 35. Abbildung am SA

Fig. 35. Display on the SA

Kalibrierung

1. Am Synthesizer 2 gleiche Frequenz wie Mittenfrequenz einstellen.
2. Frequenz am Synthesizer 1 entsprechend Gerätespezifikation um Δf kleiner einstellen (z.B. $\Delta f = 100$ kHz)
3. Am SA Mittenfrequenz, Span/Div und Bandbreite so einstellen, dass beide Signalkurven sichtbar sind (siehe Bild 33).
4. An beiden Synthesizern die Pegel so einstellen, dass beide Kurven die oberste Linie (Referenz-Linie) erreichen.
5. Intermodulationsabstände bei den Frequenzen $2 \cdot f_1 - f_2$ und $2 \cdot f_2 - f_1$ und zum Referenzpegel P_R messen. Den kleineren der beiden Werte als a_{D3} dokumentieren.
6. Gegebenenfalls Interceptpunkt 3. Ordnung berechnen: $IP_3 = P_R + \frac{a_{D3}}{2} a_{D2}$
7. Schritt 1 bis Schritt 6 für alle Messfrequenzen wiederholen. Für die Zahl der Messfrequenzen ist die Herstellerempfehlung zu beachten. Sind dort keine Angaben gemacht, so ist eine ausreichende Anzahl von Messpunkten (mindestens drei) über den Frequenzbereich des SA zu verteilen.

Anmerkungen:

1. Bei der Messung des Pegelabstandes muss der Mischereingangspegel unverändert bleiben, das heißt die Stellung des Eingangsabschwächers darf nicht verändert werden.
2. Der SA fungiert bei dem beschriebenen Kalibrierverfahren zugleich als Dämpfungsnormal. Voraussetzung dafür ist, dass vorher die Kalibrierung der Anzeigelinearität durchgeführt wurde.
3. Der Intermodulations- und Oberwellenabstand der Synthesizeranordnung mit Leistungskombinierer kann durch Einfügen von Abschwächern und Tiefpässen verbessert werden.

Wichtige Einflussgrößen auf die Messunsicherheit:

- Ableseunsicherheit am SA
- Anzeigelinearität des SA

Calibration

1. Set synthesizer 2 to center frequency.
2. The frequency set on synthesizer 1 shall lie at Δf from the center frequency, depending on the equipment specification (e.g. $\Delta f = 100$ kHz).
3. On the SA, set center frequency, span/div, and bandwidth in such a way that both signal curves are visible (see Figure 33).
4. On both synthesizers, set the levels in such a way that both curves touch the top line (reference line).
5. Measure intermodulation rejections at the frequencies $2 \cdot f_1 - f_2$ and $2 \cdot f_2 - f_1$ with respect to the reference level P_R. Record the smaller of the two values as a_{D3}.
6. If necessary, calculate 3rd order intercept point: $IP_3 = P_R + \frac{a_{D3}}{2} a_{D2}$
7. Repeat steps 1 through 6 for all measuring frequencies.
   Observe the manufacturer's recommendation with respect to the number of measuring frequencies. If no information is provided, an adequate number of measuring points (at least three) shall be distributed over the frequency range of the SA.

Notes:

1. The mixer input level must remain unchanged, i.e. the setting of the input attenuator must not be changed while measuring the level ratio.
2. When using this calibration method, the SA serves as attenuation standard. This requires prior calibration of the display linearity.
3. The intermodulation and harmonic rejections of the synthesizer arrangement with power combiner can be improved by means of attenuators and low-pass filters.

Important quantities influencing the measurement uncertainty:

- resolution of the SA display
- display linearity of the SA

- Referenzpegelunsicherheit des SA
- Intermodulationsabstand der Synthesizeranordnung mit Leistungskombinierer
- Oberwellenabstand der Synthesizeranordnung mit Leistungskombinierer

3.2.18 Ablenkzeit

Beschreibung

Um die Ablenkzeitgenauigkeit zu kalibrieren wird die *x*-Achse des SA als Zeitachse verwendet. Dazu wird ein amplitudenmoduliertes Signal im Zero-Span-Mode demoduliert und die Perioden des demodulierten Audio-Signales gemessen. Messaufbau siehe Bild 36.

Einstellungen am SA (Beispiel):

- Mittenfrequenz auf Bezugsfrequenz einstellen (z.B. 100 MHz)
- Eingangsabschwächer auf 10 dB einstellen
- Referenzpegel (oberste Skalierungslinie) auf –10 dBm einstellen
- kleine Skalierung (z.B. 2 dB/Div) einstellen
- Span/Div auf „Zero-Span" einstellen
- große Bandbreite einstellen

Kalibrierung

1. Am SA kürzeste Ablenkzeit (z.B. 1 ms) einstellen.
2. Am Synthesizer gleiche Frequenz wie Mittenfrequenz einstellen.
3. Am Funktionsgenerator Frequenz des Audiosignals entsprechend der eingestellten Ablenkzeit (z.B. 10 kHz) einstellen

- uncertainty of reference level of the SA
- intermodulation rejection of the synthesizer arrangement with power combiner
- harmonic rejection of the synthesizer arrangement with power combiner

3.2.18 Sweep time accuracy

Description

In order to calibrate the sweep time precision, the horizontal axis of the SA is used as a time axis. In addition, an amplitude-modulated signal in the zero-span-mode is demodulated and the periods of the demodulated audio signal are measured. Measuring set-up, see Figure 36.

Settings on the SA (example):

- Set center frequency to reference frequency (e.g. 100 MHz)
- Set input attenuator to 10 dB
- Set reference level (top scaling line) to –10 dBm
- Select "fine" scaling (e.g. 2 dB/div)
- Set span/div to "zero-span"
- Select large bandwidth

Calibration

1. On the spectrum analyzer, set the shortest sweep time (e.g. 1 ms).
2. Set synthesizer to center frequency.
3. On the function generator, set the frequency of the audio signal in accordance with the set sweep time (e.g. 10 kHz).

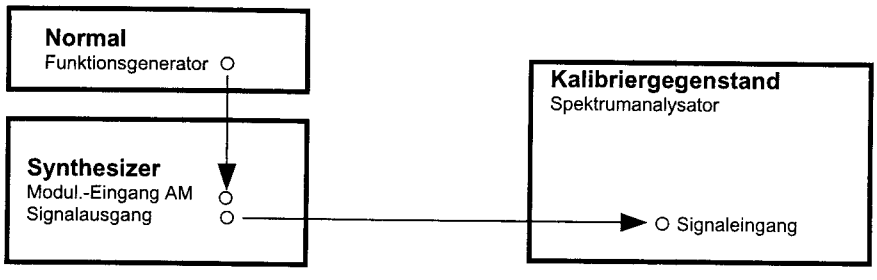


Bild 36. Messaufbau für die Kalibrierung „Ablenkzeit"

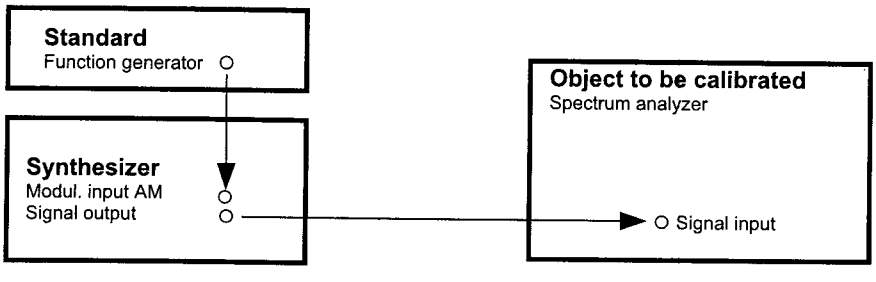


Fig. 36. Measuring set-up for calibration "Sweeptime accuracy"

 All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 2003

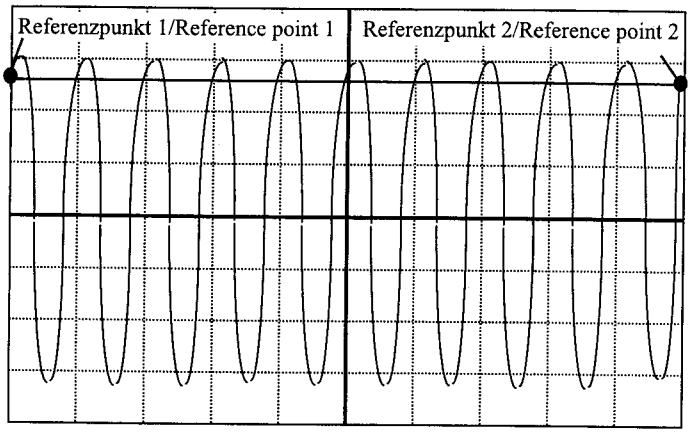


Bild 37. Abbildung am SA

Fig. 37. Display on the SA

4. Synthesizer mittels Funktionsgenerator extern 50 % Amplituden-modulieren.
5. Am SA Trigger auf „Video" einstellen und demoduliertes Signal darstellen.
6. An der ersten vertikalen Linie Referenzpunkt 1 bestimmen.
7. Frequenz des Audiosignals am Funktionsgenerator verstimmen, bis Referenzpunkt 2 an letzter vertikaler Linie gemäß Bild 35 erreicht ist.
8. Frequenz des Audiosignals f_{AS} am Funktionsgenerator ablesen.
9. Ablenkzeit/Div t_A berechnen: $t_A = 1/f_{AS}$
10. Schritt 3 bis Schritt 9 für alle einstellbaren Ablenkzeiten wiederholen.

Wichtige Einflussgrößen auf die Messunsicherheit:

- Ableseunsicherheit am SA
- Frequenzunsicherheit des Funktionsgenerators

3.3 Rückführung auf nationale Normale

Bei der Durchführung der Kalibrierung müssen die vom Laboratorium benutzten Messverfahren in Verbindung mit den eingesetzten Messmitteln so geartet sein, dass alle für die Kalibrierung erforderlichen Messgrößen **rückführbar** sind. Die Rückführbarkeit auf nationale Normale sowie die prinzipiellen Messverfahren für die Kalibrierung von SA müssen dokumentiert und nachvollziehbar sein.

3.4 Messunsicherheitsbetrachtungen

Die Gesamt-Messunsicherheit setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

- Messunsicherheit des Normals
- Messunsicherheit des Kalibrierverfahrens

4. Use function generator for external amplitude modulation of the synthesizer with a depth of 50 %.
5. Set trigger on spectrum analyzer to "video" and display demodulated signal.
6. Determine reference point 1 on the 1st vertical line.
7. Adjust the frequency of the audio signal on the function generator until reference point 2 has been reached on the vertical line as shown in Figure 35.
8. Read off the frequency of the audio signal f_{AS} on the function generator.
9. Calculate sweep time/div t_A: $t_A = 1/f_{AS}$
10. Repeat steps 3 through 9 for all sweep times that can be set.

Important quantities influencing the measurement uncertainty:

- resolution of the SA display
- frequency uncertainty of the function generator

3.3 Traceability to national standards

The measuring methods and measuring equipment used by the laboratory performing the calibration must be so designed as to ensure **traceability** of all measurands required for the calibration. Traceability to national standards as well as the fundamental measuring methods for the calibration of spectrum analyzers must be documented and must be reproducible.

3.4 Measurement uncertainty considerations

The total measurement uncertainty includes the following components:

- measurement uncertainty of the standard
- measurement uncertainty of the calibration method

- Messunsicherheit des Kalibriergegenstandes während der Kalibrierung

Die Messunsicherheitsberechnungen sind nach Bestimmung der entsprechenden Einflussgrößen (Anhaltspunkte siehe Abschnitt 3.2) durchzuführen.

Im Anhang sind einige mathematische Modelle zur Messunsicherheitsbestimmung von Hochfrequenz-Messgrößen aufgeführt.

4 Auswertung und Dokumentation

Im Kalibrierschein sind die Werte unter Benennung aller für die einzelne Messung zutreffenden Bedingungen und Einstellwerte anzugeben. Bei einer Konformitätsaussage müssen die vom Hersteller für bestimmte Punkte gemachten Angaben erfüllt sein.

- measurement uncertainty of the object to be calibrated during calibration

Calculations of measurement uncertainty shall be carried out after determination of the relevant influencing quantities (see Section 3.2).

Annex lists some mathematical models for the determination of the measurement uncertainty of high-frequency measurands.

4 Evaluation and documentation

The calibration certificate shall list the values and all conditions and settings pertinent to the individual measurements. Where conformity is declared, specifications stipulated by the manufacturer must be fulfilled.

 All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 2003

Schrifttum/Bibliography

Technische Regeln/Technical rules

VDI/VDE/DGQ/DKD 2622 Blatt 2 : 1999-10 Kalibrieren von Messmitteln für elektrische Größen; Methoden zur Ermittlung der Messunsicherheit (Calibration of measurement equipments for electrical quantities; Methods for the evaluation of measurement uncertainties). Berlin: Beuth Verlag

DKD-3 : 1998 Angabe der Messunsicherheit bei Kalibrierungen (Expression of the uncertainty of measurement in calibration). Bremerhafen: NW-Verlag

Literatur/Literature

MANUALS verschiedener Hersteller von Spektrumanalysatoren

M. Thumm, W. Wiesbeck, S. Kern: Hochfrequenz-Messtechnik, Verfahren und Systeme. Stuttgart: B.G. Teubner, 1997, ISBN 3-519-06360-3

G.H. Bryant: Principles of Microwave Measurements. London: Peter Peregrinus Ltd., UK, 1988, ISBN 0-86341-135-5

Warner, F.L.: Microwave attenuation measurement. Stevenage: Peter Peregrinus, England, 1977

Hewlett Packard: Fundamentals of RF and Microwave Power Measurements. Application Note 64-1A, Hewlett Packard August 4/97

Fantom, A.: Radiofrequency and Microwave Power Measurement. London: Peter Peregrinus Ltd., 1990

Engelson, M.: Modern Spectrum Analyzer Measurement. 199, JMS, P.O. Box 25170, Portland, OR 97225 (speziell Chapter 4, Random Noise Signals)

Engelson, M.: Modern Spectrum Analyzer Theory and Applications. ARTECH HOUSE, INC., ISBN 0-89006-150-5

Anhang

A1 Messunsicherheitsbeiträge durch Fehlanpassung

A1.1 Leistungsmessung, allgemein

Leistung eines Generators (G), die an eine Last (L) geliefert wird:

$$\frac{P_{GZ0}}{P_L} = \frac{|1 - \Gamma_G \Gamma_L|^2}{1 - |\Gamma_L|^2}$$

P_{GZ0} Leistung, die vom Generator an eine Last Z_0 geliefert wird

P_L Leistung, die von einer Last mit Reflexionsfaktor Γ_L verbraucht wird ($P_{EINF} - P_{REFL}$)

Fehler durch Fehlanpassung:

$$\Delta P_{max} = 10 \log \frac{(1 + |\Gamma_G| \cdot |\Gamma_L|)^2}{1 - |\Gamma_L|^2} \text{ in dB}$$

Siehe Abschnitt 3.2.1

Ist die Last ein Leistungsmesser, dessen Kalibrierungsfaktor eingegeben wurde, so wird der Faktor $1 - |\Gamma_L|^2$ schon berücksichtigt.

Der Fehler durch Fehlanpassung ist dann:

$$\Delta P_{max} = 20 \log (1 + |\Gamma_K| \cdot |\Gamma_L|) \text{ in dB}$$

Γ_K Reflexionsfaktor des Kalibrierausgangs des SA

Γ_L Reflexionsfaktor des Leistungsmessers

Siehe Abschnitt 3.2.9

Für die Leistungsmessung (Kalibrierfaktor des Leistungsmessers berücksichtigt):

$$\Delta P_{max} = 20 \log (1 + |\Gamma_P| \cdot |\Gamma_S|) \text{ in dB}$$

Γ_P Reflexionsfaktor des Leistungsteilers

Γ_S Reflexionsfaktor des Leistungsmessers

Für die Fehlanpassung von Leistungsteiler-Ausgang und SA-Eingang

$$\Delta P_{max} = 20 \log (1 + |\Gamma_P| \cdot |\Gamma_S|) \text{ in dB}$$

Γ_P Reflexionsfaktor des Leistungsteilers

Γ_S Reflexionsfaktor des SA-Eingangs

Wird zur Leistungsmessung ein Leistungsmesser benutzt, dessen Messkopf über einen Adapter angeschlossen wird, so ist der Kalibrierungsfaktor η_{calK} der Kombination Messkopf und Adapter:

$$\eta_{calK} = \frac{|S_{21}|^2}{|1 - S_{22}\Gamma_M|^2} \cdot \eta_{calM}$$

η_{calK} Kalibrierungsfaktor der Kombination Messkopf und Adapter

Annex

A1 Measurement uncertainty contributions due to mismatch

A 1.1 Power measurement, general

Power output of a generator (G), supplied to a load (L):

$$\frac{P_{GZ0}}{P_L} = \frac{|1 - \Gamma_G \Gamma_L|^2}{1 - |\Gamma_L|^2}$$

P_{GZ0} power output supplied to a load Z_0 by the generator

P_L power consumed by a load with reflection factor Γ_L ($P_{EINF} - P_{REFL}$)

Errors due to mismatch:

$$\Delta P_{max} = 10 \log \frac{(1 + |\Gamma_G| \cdot |\Gamma_L|)^2}{1 - |\Gamma_L|^2} \text{ in dB}$$

See Section 3.2.1

If the load is a power meter, the calibration factor of which has been considered in the calculation, the factor $1 - |\Gamma_L|^2$ has already been taken into account.

The error due to mismatch is then:

$$\Delta P_{max} = 20 \log (1 + |\Gamma_K| \cdot |\Gamma_L|) \text{ in dB}$$

Γ_K reflection factor of the calibrating output of the SA

Γ_L reflection factor of the power meter

See Section 3.2.9

For the power measurement (calibration factor of the power meter taken into account)

$$\Delta P_{max} = 20 \log (1 + |\Gamma_P| \cdot |\Gamma_S|) \text{ in dB}$$

Γ_P reflection factor of the power divider

Γ_S reflection factor of the power meter

For the mismatch of power divider output and SA input

$$\Delta P_{max} = 20 \log (1 + |\Gamma_P| \cdot |\Gamma_S|) \text{ in dB}$$

Γ_P reflection factor of the power divider

Γ_S reflection factor of the SA input

If a power meter is used for power measurement, the measuring head of which is connected via an adaptor, the calibration factor η_{calK} of the measuring head/adaptor combination is:

$$\eta_{calK} = \frac{|S_{21}|^2}{|1 - S_{22}\Gamma_M|^2} \cdot \eta_{calM}$$

η_{calK} calibration factor of the measuring head/adaptor combination

 All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 2003

η_{calM} Kalibrierungsfaktor des Messkopfes
S_{21} Übertragungsfaktor des Adapters
S_{22} Reflexionsfaktor des Adapters, Messkopfseite
Γ_M Reflexionsfaktor des Messkopfes

η_{calM} calibration factor of the measuring head
S_{21} transfer factor of the adaptor
S_{22} reflection factor of the adaptor, measuring head side
Γ_M reflection factor of the measuring head

A1.2 Variable Dämpfungsglieder

Siehe Abschnitt 3.2.2, Abschnitt 3.2.4 und Abschnitt 3.2.5

Dämpfungswert-Einstellung: Differenz gegen eine Anfangsstellung (z.B. 0 dB), S'_{ik} für die Anfangsstellung, S_{ik} für die Endstellung

A1.2 Variable attenuators

See Section 3.2.2, Section 3.2.4, and Section 3.2.5

Attenuation setting: difference as compared to an initial position (e.g. 0 dB), S'_{ik} for the initial position, S_{ik} for the final position

$$A = 10\log\left[\frac{|(1-S_{11}\Gamma_G)(1-S_{22}\Gamma_L)-S_{12}S_{21}\Gamma_G\Gamma_L|^2|S'_{21}|^2}{|(1-S'_{11}\Gamma_G)(1-S'_{22}\Gamma_L)-S'_{12}S'_{21}\Gamma_G\Gamma_L|^2|S_{21}|^2}\right]$$

Fehler Fehlanpassung:

Error due to mismatch:

$$\Delta A = 20\log\left[\frac{|(1-S_{11}\Gamma_G)(1-S_{22}\Gamma_L)-S_{12}S_{21}\Gamma_G\Gamma_L|}{|(1-S'_{11}\Gamma_G)(1-S'_{22}\Gamma_L)-S'_{12}S'_{21}\Gamma_G\Gamma_L|}\right]$$

Worst case:

Worst case:

$$\Delta A_{max} = 20\log\left[\frac{1+|S_{11}|\cdot|\Gamma_G|+|S_{22}|\cdot|\Gamma_L|+|\Gamma_G|\cdot|\Gamma_L|\cdot(|S_{12}|\cdot|S_{21}|+|S_{11}|\cdot|S_{22}|)}{1-|S'_{11}|\cdot|\Gamma_G|-|S'_{22}|\cdot|\Gamma_L|-|\Gamma_G|\cdot|\Gamma_L|\cdot(|S'_{12}|\cdot|S'_{21}|-|S'_{11}|\cdot|S'_{22}|)}\right]$$

Mit Beträgen von S_{11}, S_{22}, S'_{11}, S'_{22}, Γ_G, Γ_L in etwa gleicher Größenordnung und $\ll 1$

Where the absolute values of S_{11}, S_{22}, S'_{11}, S'_{22}, Γ_G, Γ_L are of a similar order of magnitude and $\ll 1$

$$\Delta A_{max} \approx \frac{20}{\ln 10}\cdot\left[|\Gamma_G|\cdot(|S'_{11}|+|S_{11}|)+|\Gamma_L|\cdot(|S'_{22}|+|S_{22}|)+|\Gamma_G|\cdot|\Gamma_L|\cdot(|S'_{12}|\cdot|S'_{21}|+|S_{12}|\cdot|S_{21}|)\right]$$

ist zusätzlich der Endwert des Dämpfungsschrittes > 10 dB

is also the final value of the attenuation step > 10 dB

$$\Delta A_{max} \approx \frac{20}{\ln 10}\cdot\left[|\Gamma_G|\cdot(|S'_{11}|+|S_{11}|)+|\Gamma_L|\cdot(|S'_{22}|+|S_{22}|)+|\Gamma_G|\cdot|\Gamma_L|\cdot(|S'_{12}|\cdot|S'_{21}|)\right]$$

wird die Anfangsstellung > 0 dB gewählt (z.B. 20 dB), so ist der maximale Fehler durch Fehlanpassung

Where an initial position > 0 dB is chosen (e.g. 20 dB), the maximum error due to mismatch is

$$\Delta A_{max} \approx \frac{20}{\ln 10}\cdot\left[|\Gamma_G|\cdot(|S'_{11}|+|S_{11}|)+|\Gamma_L|\cdot(|S'_{22}|+|S_{22}|)\right]$$

A2 Messunsicherheit durch Richtverhältnis und Test-Port-Reflexionsfaktor bei der Reflexionsmessung

Siehe Abschnitt 3.2.3

$$|\Gamma_R| \approx |\Gamma_S| \pm |D| \pm |\Gamma_B|\cdot|\Gamma_S|^2$$

Γ_R Messwert des Reflexionsfaktors
Γ_S Reflexionsfaktor des SA-Eingangs

A2 Measurement uncertainty due to directivity and test port reflection factor in reflection measurements

See Section 3.2.3

$$|\Gamma_R| \approx |\Gamma_S| \pm |D| \pm |\Gamma_B|\cdot|\Gamma_S|^2$$

Γ_R measured value of the reflection factor
Γ_S reflection factor of the SA input

$$|\Gamma_R| \approx |\Gamma_S| \cdot (1 \pm |\Gamma_B| \cdot |\Gamma_S|) \pm |D|$$

D Richtverhältnis der Reflexionsfaktormessbrücke

Γ_B Reflexionsfaktor des Messtores der Brücke

Wenn $|\Gamma_B| \cdot |\Gamma_S| \ll 1$, vereinfacht sich die obige Gleichung zu

$$|\Gamma_R| \approx |\Gamma_S| \pm |D|$$

und die Messunsicherheit wird

$$\Delta|\Gamma_R| \approx \pm |D|$$

oder, wenn D in dB angegeben ist:

$$\Delta|\Gamma_R| \approx \pm 10^{-\frac{D}{20}}$$

$$|\Gamma_R| \approx |\Gamma_S| \cdot (1 \pm |\Gamma_B| \cdot |\Gamma_S|) \pm |D|$$

D directivity of the reflection factor measuring bridge

Γ_B reflection factor of the test port of the bridge

If $|\Gamma_B| \cdot |\Gamma_S| \ll 1$ the above equation is simplified to read

$$|\Gamma_R| \approx |\Gamma_S| \pm |D|$$

and the measurement uncertainty becomes

$$\Delta|\Gamma_R| \approx \pm |D|$$

or, if D is expressed in dB:

$$\Delta|\Gamma_R| \approx \pm 10^{-\frac{D}{20}}$$