

Leistungsmerkmale von Spektrum - Analysatoren

Faszination Messtechnik, Windisch

Markus Haymoz
Roschi Rohde&Schwarz AG

75 Years of
Driving
Innovation

 **ROHDE & SCHWARZ**
ROSCHI ROHDE & SCHWARZ AG



Roschi Rohde & Schwarz AG

Einleitung

Frequenzbereich
Frequenzgenauigkeit

DANL
Empfindlichkeit

Verzerrungen

Phasenrauschen
Dynamik

Pegelgenauigkeit
relativ, absolut

Literaturhinweis

Roschi Rohde & Schwarz AG gehört seit mehr als sechs Jahrzehnten zu den führenden Handels- und Engineering-Unternehmen im Bereich Kommunikations- und Messtechnik sowie herstellerunabhängige Instandhaltung in der Schweiz.

Unsere Arbeitsgebiete umfassen:

- Messtechnik und Testsysteme
- Broadcast
- Funkkommunikationssysteme
- Überwachungs- und Ortungstechnik
- Informationssicherheit
- Software & Services
- Instandhaltung



Arbeitsgebiete Messtechnik

Allgemeine Messtechnik



Broadcast und Mobilfunk



EMV Messtechnik



Optische Messtechnik



Physik und Elektrochemie



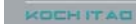
Board-Tester



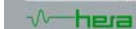
AC/DC Quellen & Lasten und USV



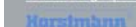
Software & Services



Laboreinrichtungen



Ausbildungssysteme



Unser Instandhaltungskonzept

- Herstellerunabhängig
- Akkreditiertes Kalibrierlabor
- Online Instandhaltungsmanagement

Einleitung

Frequenzbereich
Frequenzgenauigkeit

DANL
Empfindlichkeit

Verzerrungen

Phasenrauschen
Dynamik

Pegelgenauigkeit
relativ, absolut

Literaturhinweis



Markus Haymoz

Leiter
Messtechnik und Testsysteme
Prokurist

Roschi Rohde & Schwarz AG

Mühlestrasse 7 | CH-3063 Ittigen
Telefon +41 31 922 15 22
Telefax +41 31 921 81 01
Mobile +41 79 300 84 71

markus.haymoz@roschi.rohde-schwarz.com
www.roschi.rohde-schwarz.ch



Wer die Wahl hat, hat die Qual

Einleitung

Frequenzbereich
Frequenzgenauigkeit

DANL
Empfindlichkeit

Verzerrungen

Phasenrauschen
Dynamik

Pegelgenauigkeit
relativ, absolut

Literaturhinweis



Spektrum Analysator Spezifikationen

Übersicht

Einleitung

Frequenzbereich
Frequenzgenauigkeit

DANL
Empfindlichkeit

Verzerrungen

Phasenrauschen
Dynamik

Pegelgenauigkeit
relativ, absolut

Literaturhinweis

Schlüssel-Spezifikationen eines Spektrumanalysators (SA) ?

Welches ist der benötigte Frequenzbereich ?

- Der SA muss alle interessierenden Frequenzen einer Applikation abdecken, zum Beispiel bis zur 10. Oberwelle

Wie gross ist der Pegelbereich (Rauschen bis maximum Level) ?

- Der maximale Eingangspegel muss den Ausgangspegel des DUT abdecken, und das Rauschen muss eine Messung der kleinsten Signale erlauben.

Wie hoch ist der benötigte Dynamikbereich ?

- Der SA muss kleine Harmonische oder Spurious messen können, auch wenn hohe Eingangssignale gleichzeitig am Eingang vorhanden sind.

Wie ist die Genauigkeit ?

- Genauigkeit ist immer wichtig. Diese zu bestimmen erfordert ein genaues Lesen des Datenblattes, da diese sich aus diversen Komponenten zusammensetzt.

Spektrum Analysator Spezifikationen

Allgemein

Einleitung

Frequenzbereich
Frequenzgenauigkeit

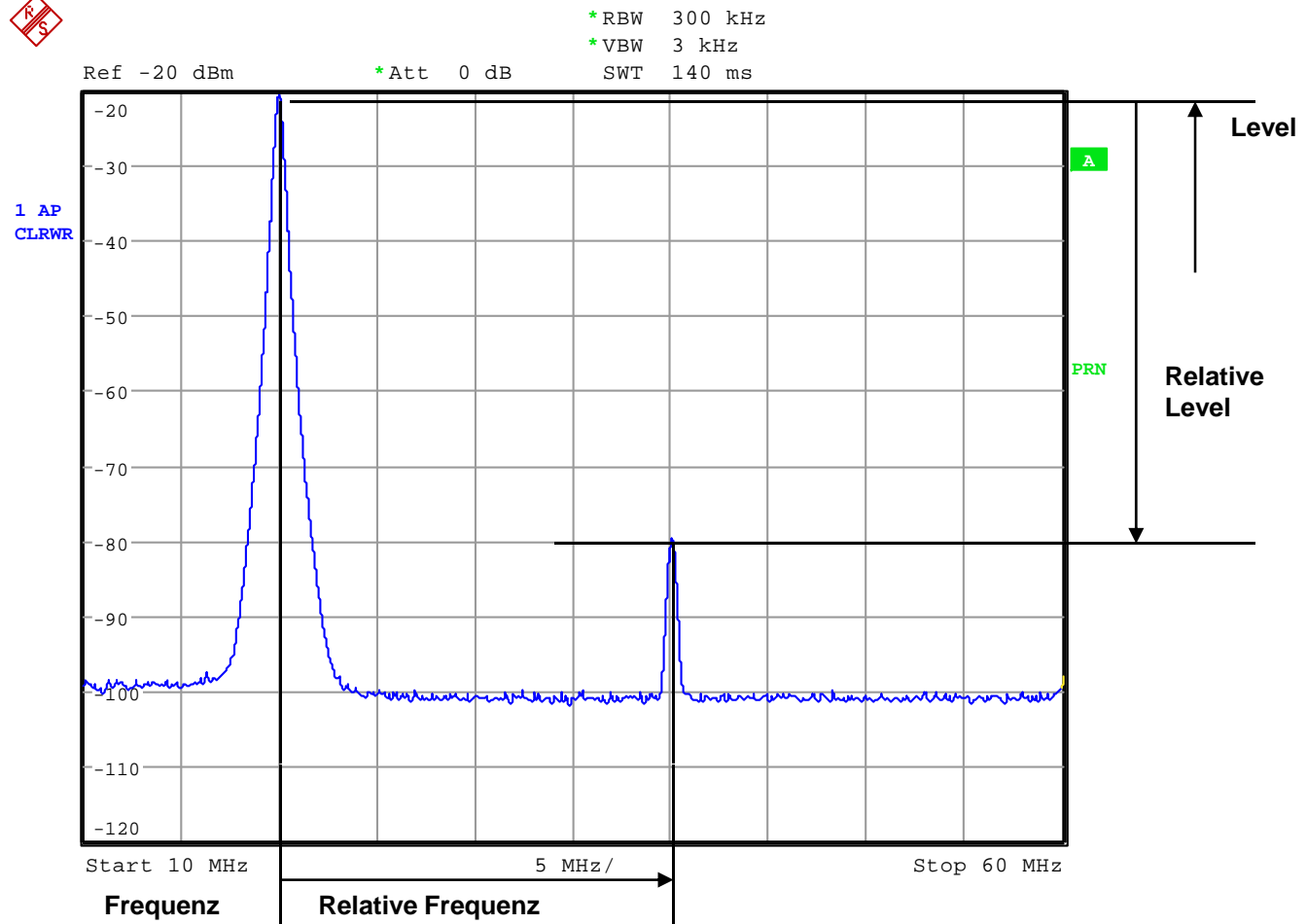
DANL
Empfindlichkeit

Verzerrungen

Phasenrauschen
Dynamik

Pegelgenauigkeit
relativ, absolut

Literaturhinweis



Spektrum Analysator Spezifikationen

Frequenzgenauigkeit

Einleitung

Frequenzbereich
Frequenzgenauigkeit

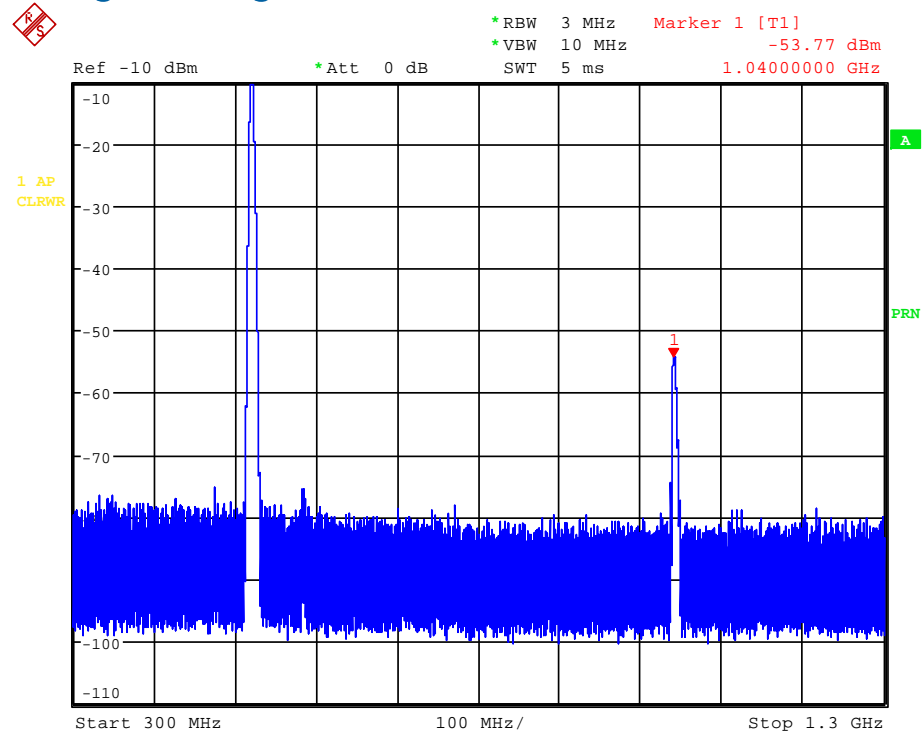
DANL
Empfindlichkeit

Verzerrungen

Phasenrauschen
Dynamik

Pegelgenauigkeit
relativ, absolut

Literaturhinweis



Internal reference frequency (nominal)	
Aging per year ¹⁾	1×10^{-6}
Temperature drift	1×10^{-6}
with option FSP-B4 (OCXO)	
Aging per year ¹⁾	1×10^{-7}
Temperature drift	1×10^{-8}

Spektrum Analysator Spezifikationen

Frequenzauslesegenauigkeit

Einleitung

Frequenzbereich
Frequenzgenauigkeit

DANL
Empfindlichkeit

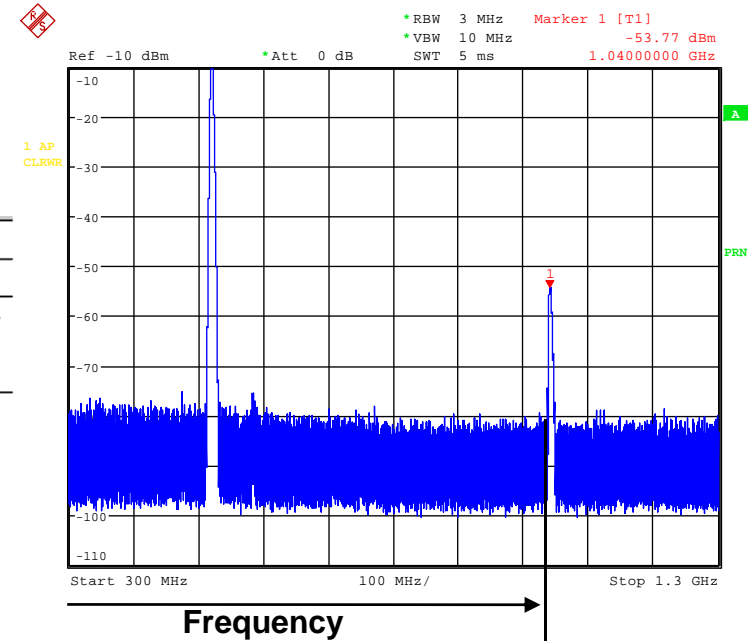
Verzerrungen

Phasenrauschen
Dynamik

Pegelgenauigkeit
relativ, absolut

Literaturhinweis

Frequency display	with marker or frequency counter
Marker resolution	span/500
Max. deviation (sweep time >3 x auto sweep time)	$\pm (\text{frequency} \times \text{reference frequency} + 0.5\% \times \text{span} + 10\% \times \text{resolution bandwidth} + \frac{1}{2} \text{ (last digit)})$



Beispiel zur Auslesegenauigkeit:

Wie genau ist die ausgelesene Frequenz ?

- Beispiel: Frequenz 1 GHz, Span 10 MHz, RBW 300 kHz (auto coupled)

- Max. Deviation = $1 \text{ GHz} \times 2 \times 10^{-7} + 0.5\% \text{ of } 10 \text{ MHz} + 10\% \text{ of } 300 \text{ kHz}$
 = 200 Hz + 50 kHz + 30 kHz
 = 80.2 kHz

Spektrum Analyser Spezifikationen

Frequenzauflösung

Einleitung

Frequenzbereich
Frequenzgenauigkeit

DANL
Empfindlichkeit

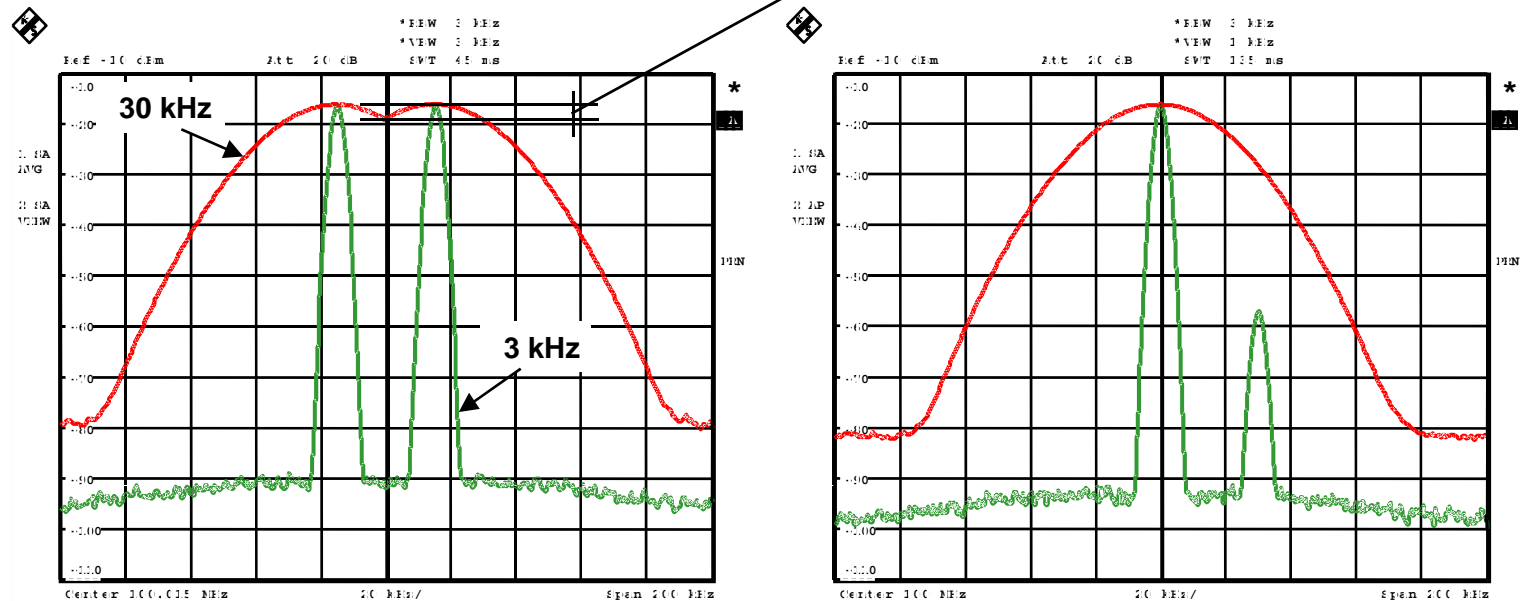
Verzerrungen

Phasenrauschen
Dynamik

Pegelgenauigkeit
relativ, absolut

Literaturhinweis

Trägerabstand = RBW => Einbruch von ≈ 3 dB



**Frequenzauflösung ist durch die RBW definiert
(RBW = Resolution Bandwidth)**

- Die Frequenzauflösung ist vorwiegend durch die 3dB Bandbreite des ZF-Filters definiert (= RBW)

Spektrum Analysator Spezifikationen

Frequenzauflösung

Einleitung

Frequenzbereich
Frequenzgenauigkeit

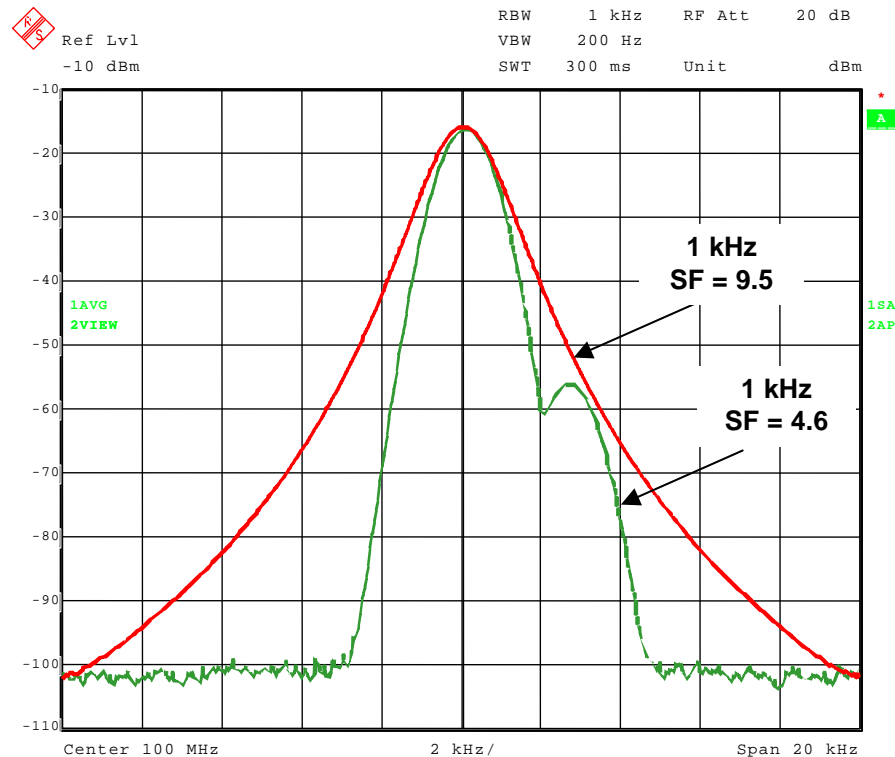
DANL
Empfindlichkeit

Verzerrungen

Phasenrauschen
Dynamik

Pegelgenauigkeit
relativ, absolut

Literaturhinweis



Frequenzauflösung ist auch durch den Shape Faktor definiert

- Der Shape Faktor (SF) des RBW Filters ist das Verhältnis der 60/3dB Bandbreiten)
- Digitale Filter erlauben kleinere SF und höhere Sweep-Geschwindigkeiten

Spektrum Analysator Spezifikationen

Frequenzauflösung

Einleitung

Frequenzbereich
Frequenzgenauigkeit

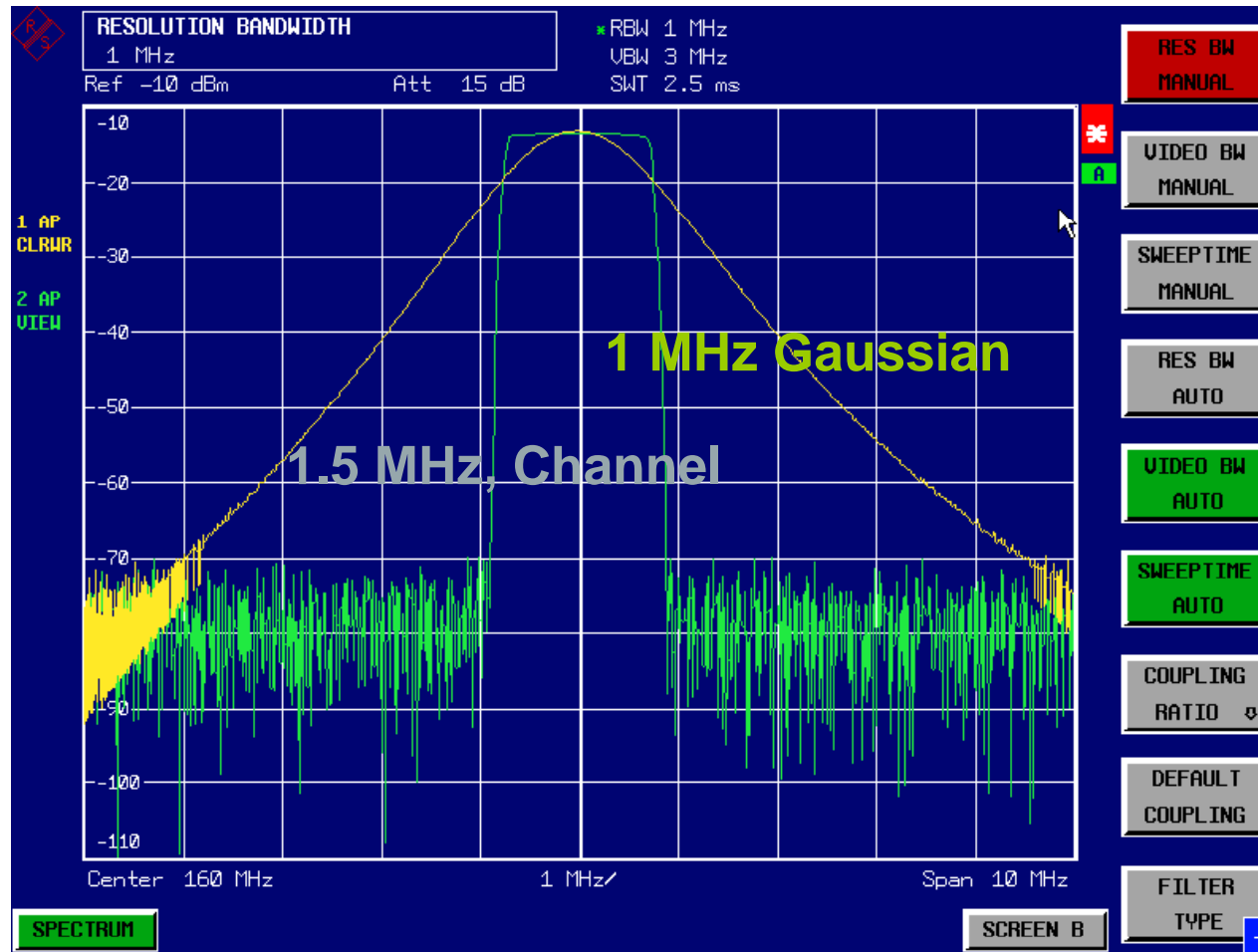
DANL
Empfindlichkeit

Verzerrungen

Phasenrauschen
Dynamik

Pegelgenauigkeit
relativ, absolut

Literaturhinweis



Spektrum Analysator Spezifikationen

DANL (Empfindlichkeit)

Die Rauschanzeige (DANL) wird durch Eichleitung beeinflusst:

Einleitung

Frequenzbereich
Frequenzgenauigkeit

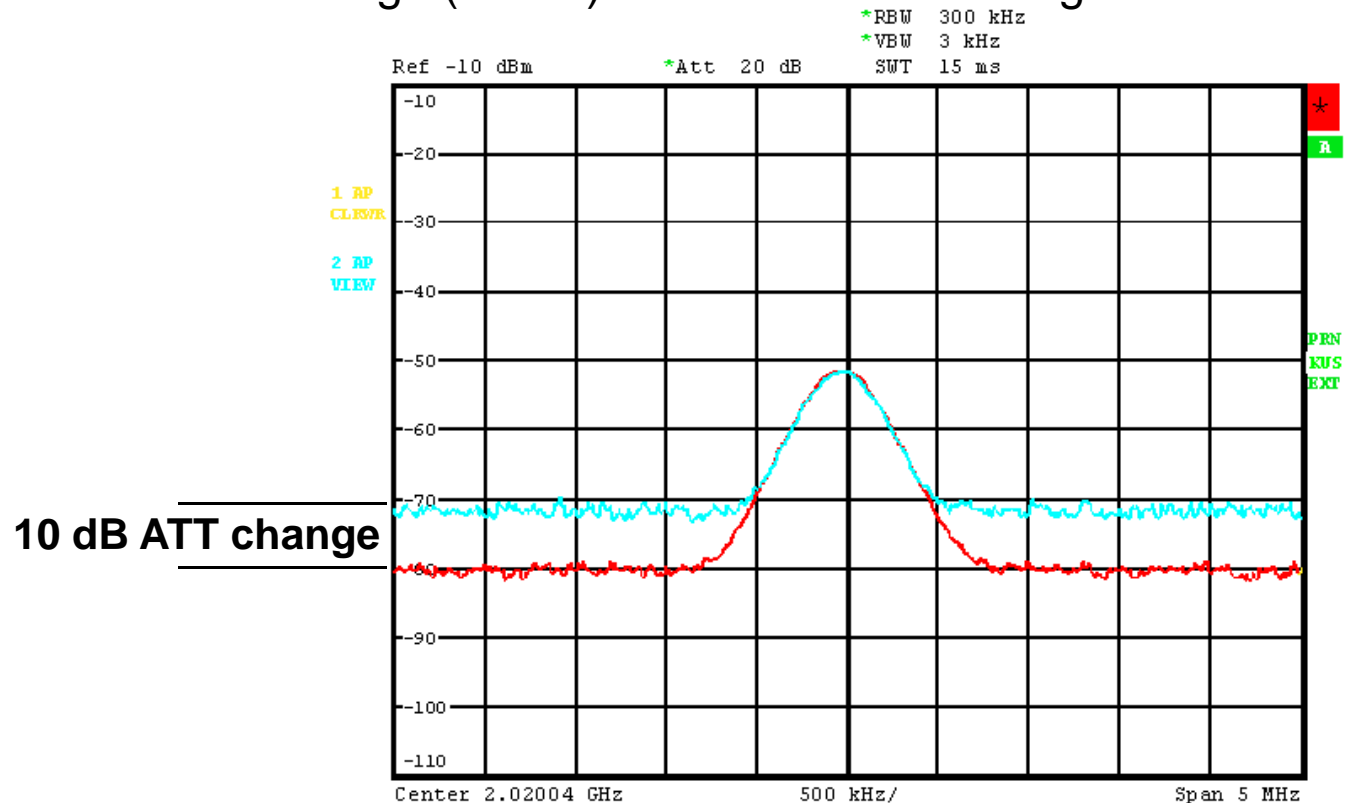
DANL
Empfindlichkeit

Verzerrungen

Phasenrauschen
Dynamik

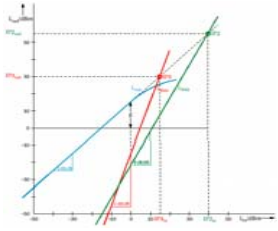
Pegelgenauigkeit
relativ, absolut

Literaturhinweis



Hintergrund:

- Der HF Eichleitung beeinflusst das Rauschen des SA durch das Verändern der ZF-Verstärkung. Kompensation der HF Eichleitung



Spektrum Analysator Spezifikationen

Verzerrungen

Einleitung

Frequenzbereich
Frequenzgenauigkeit

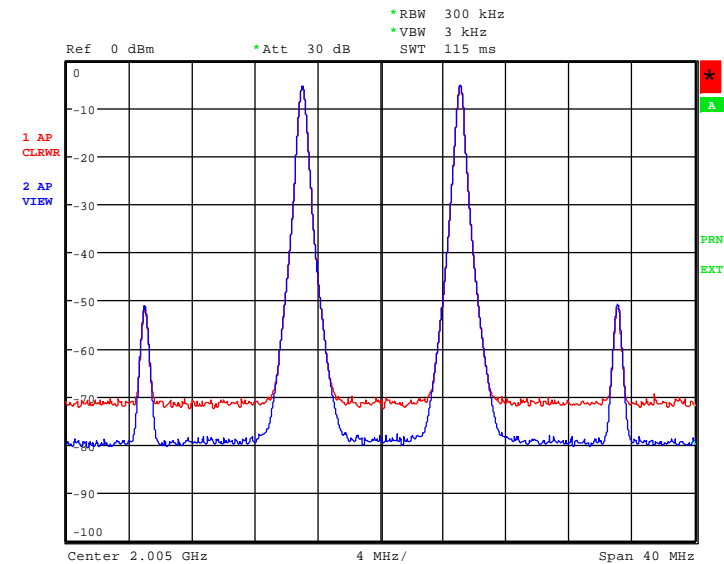
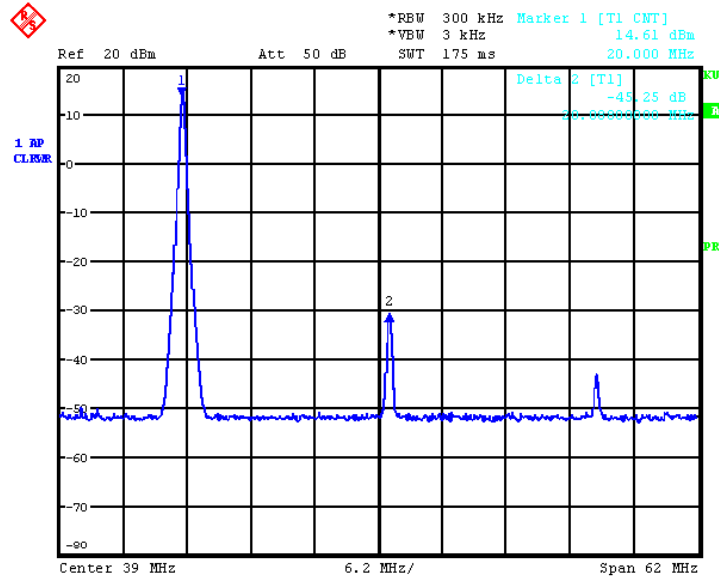
DANL
Empfindlichkeit

Verzerrungen

Phasenrauschen
Dynamik

Pegelgenauigkeit
relativ, absolut

Literaturhinweis



Die wichtigsten Verzerrungen sind 2. - oder 3. – Ordnung

- Verzerrungen 2. Ordnung sind Oberwellen generiert im Eingangsmischer des SA (nur 1 Signal am Eingang)
- Verzerrungen 3. Ordnung ist ein Mix von mindestens 2 Signalen am Mischer

Spektrum Analysator Spezifikationen

Phasenrauschen

Einleitung

Frequenzbereich
Frequenzgenauigkeit

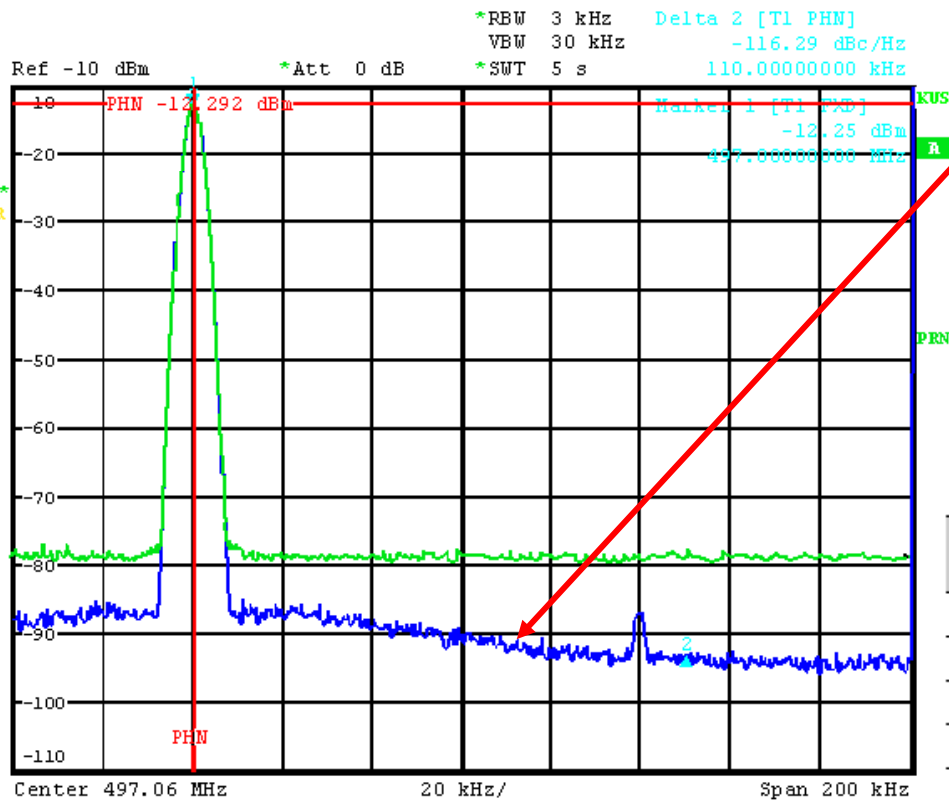
DANL
Empfindlichkeit

Verzerrungen

Phasenrauschen
Dynamik

Pegelgenauigkeit
relativ, absolut

Literaturhinweis



Phasenrauschen:

Schlüsselparameter
bei SA

unterscheidet die Geräte
in Klassen

Spectral purity (dBc (1 Hz))
SSB phase noise, f = 500 MHz

Carrier offset

100 Hz	<-84, typ. -90
1 kHz	<-100, typ. -108
10 kHz	<-106, typ. -113
100 kHz ²⁾	<-110, typ. -113
1 MHz ²⁾	<-120, typ. -125
10 MHz	typ. -145

Spektrum Analysator Spezifikationen

Dynamik

Einleitung

Frequenzbereich
Frequenzgenauigkeit

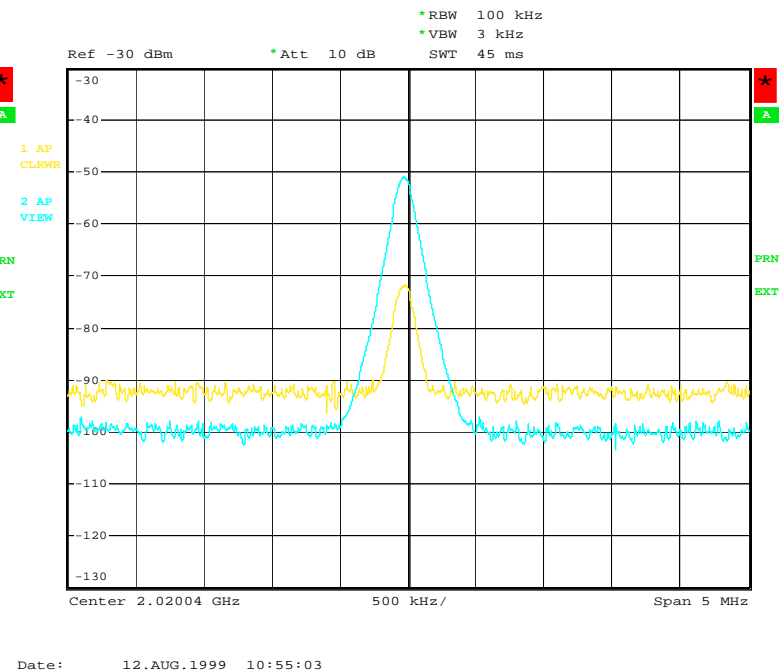
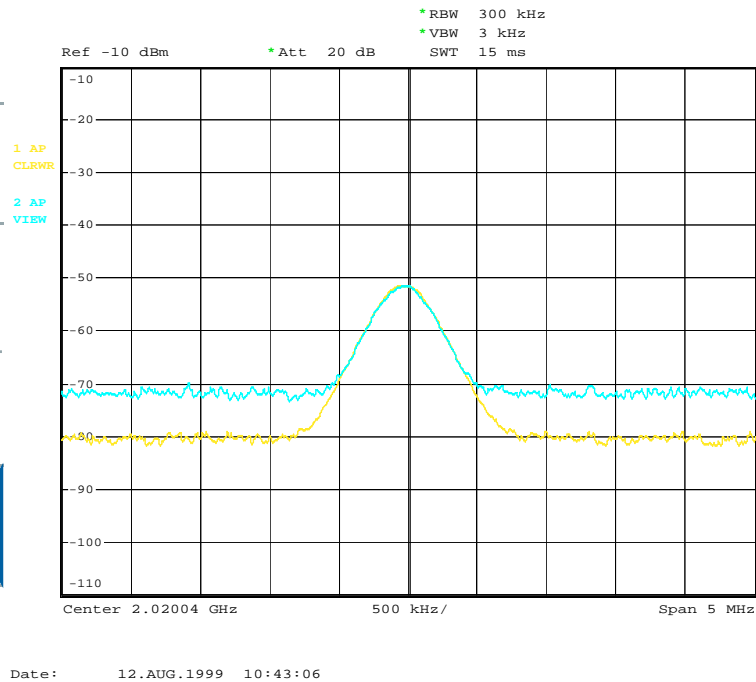
DANL
Empfindlichkeit

Verzerrungen

Phasenrauschen
Dynamik

Pegelgenauigkeit
relativ, absolut

Literaturhinweis



Identifikation: Kommt die Verzerrung vom Messgerät oder DUT ?

- Eicheitung schalten: Wenn das Signal stabil bleibt, ist es das Eingangssignal. Wenn der Pegel sich ändert, wird es zumindest teilweise durch den SA erzeugt.

Spektrum Analysator Spezifikationen

Dynamik

Einleitung

Frequenzbereich
Frequenzgenauigkeit

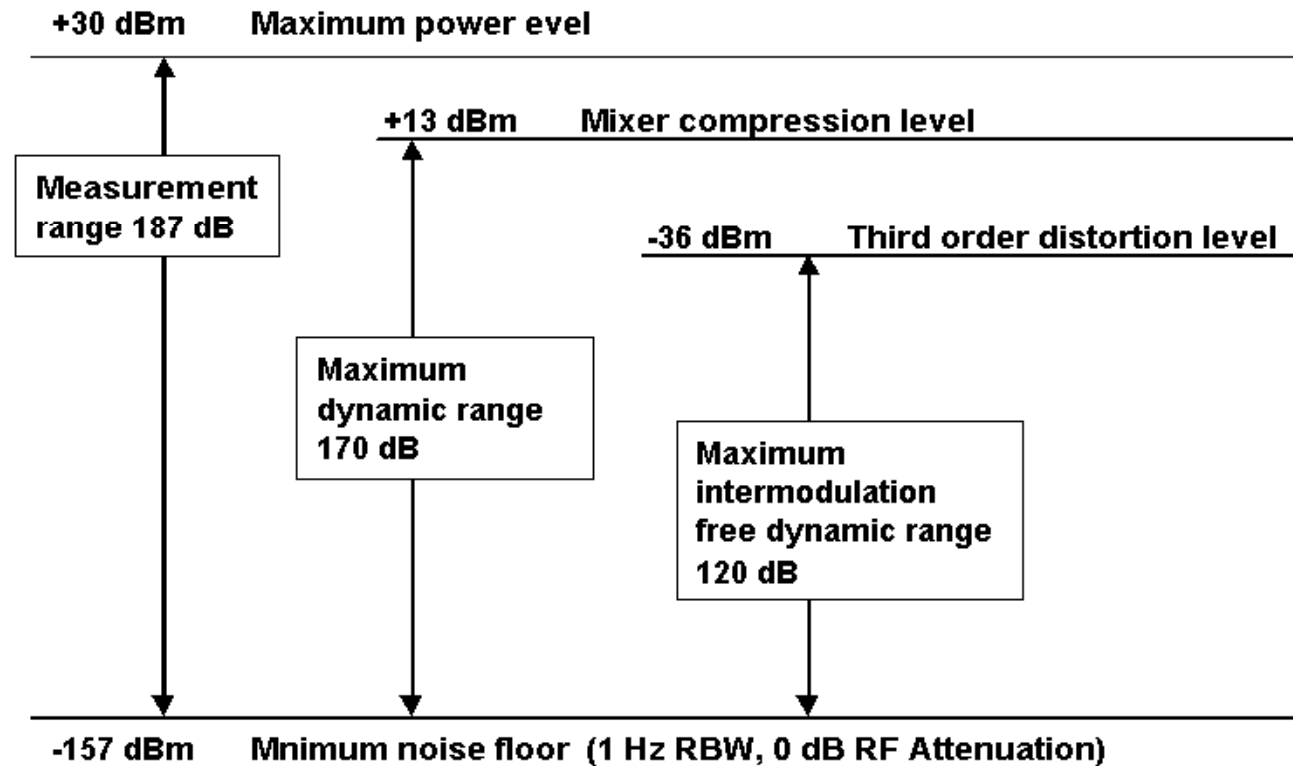
DANL
Empfindlichkeit

Verzerrungen

Phasenrauschen
Dynamik

Pegelgenauigkeit
relativ, absolut

Literaturhinweis



Dynamikbereich Welchen Dynamikbereich meinen Sie ?

- Es gibt verschiedene Dynamikbereiche bei einem SA, vom Messbereich bis zum verzerrungsfreien Dynamikbereich ...

Spektrum Analysator Spezifikationen

Pegelgenauigkeit

Einleitung

Frequenzbereich
Frequenzgenauigkeit

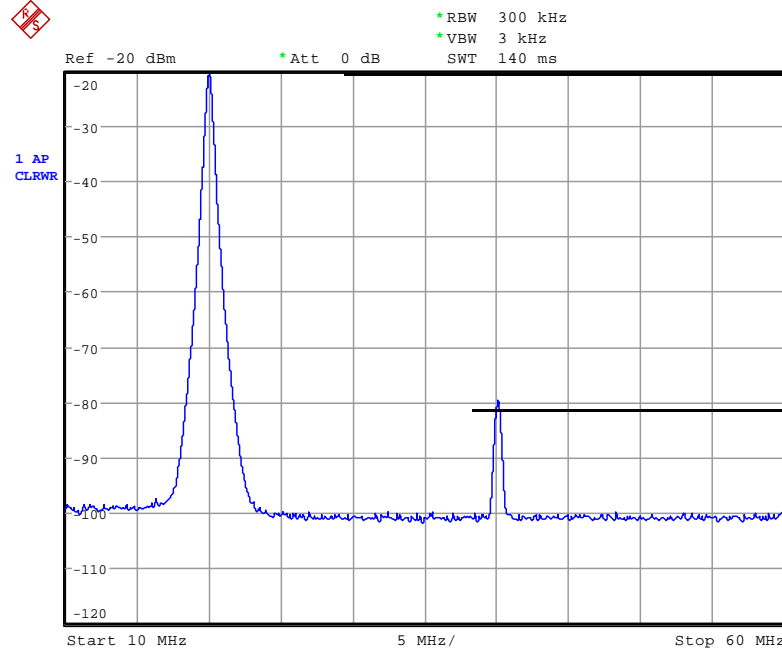
DANL
Empfindlichkeit

Verzerrungen

Phasenrauschen
Dynamik

Pegelgenauigkeit
relativ, absolut

Literaturhinweis



Pegelmessgenauigkeit:

• Absolute Genauigkeit
Kalibrator

• Relative Genauigkeit
Linearität
Frequenzgang
Attenuator switching
Reference level switching
Resolution bandwidth switching
Detektor ?

Level

+

Relative
Level

Spektrum Analysator Spezifikationen

relative Pegelgenauigkeit, Linearität

Einleitung

Frequenzbereich
Frequenzgenauigkeit

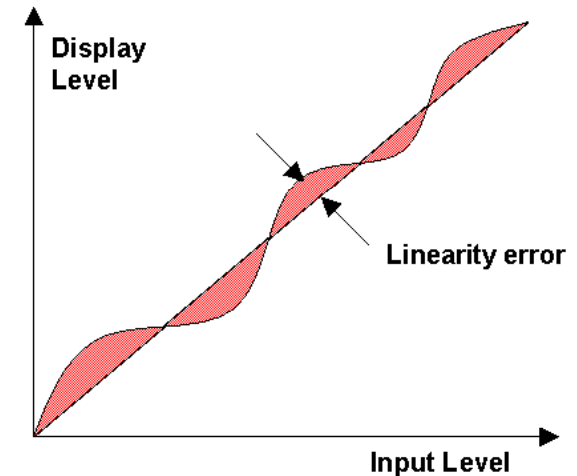
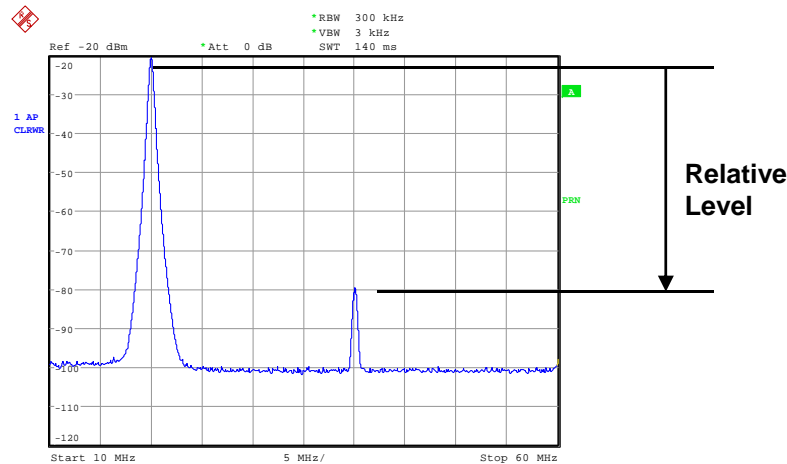
DANL
Empfindlichkeit

Verzerrungen

Phasenrauschen
Dynamik

Pegelgenauigkeit
relativ, absolut

Literaturhinweis



Die Genauigkeit der Linearität ist wichtig bei Messungen mit unterschiedlichen Pegeln

Hintergrund

- Linearität ist abhängig vom logarithmischen Verstärker (slope error)
- Verbesserungen mit digitaler Korrektur möglich (FSE family)
- Neuere Generationen (ab FSP) benutzen A/D Wandlung mit digital "log amp" (HW/SW)

Spektrum Analysator Spezifikationen

relative Pegelgenauigkeit, Linearitätsbeispiel

Einleitung

Frequenzbereich
Frequenzgenauigkeit

DANL
Empfindlichkeit

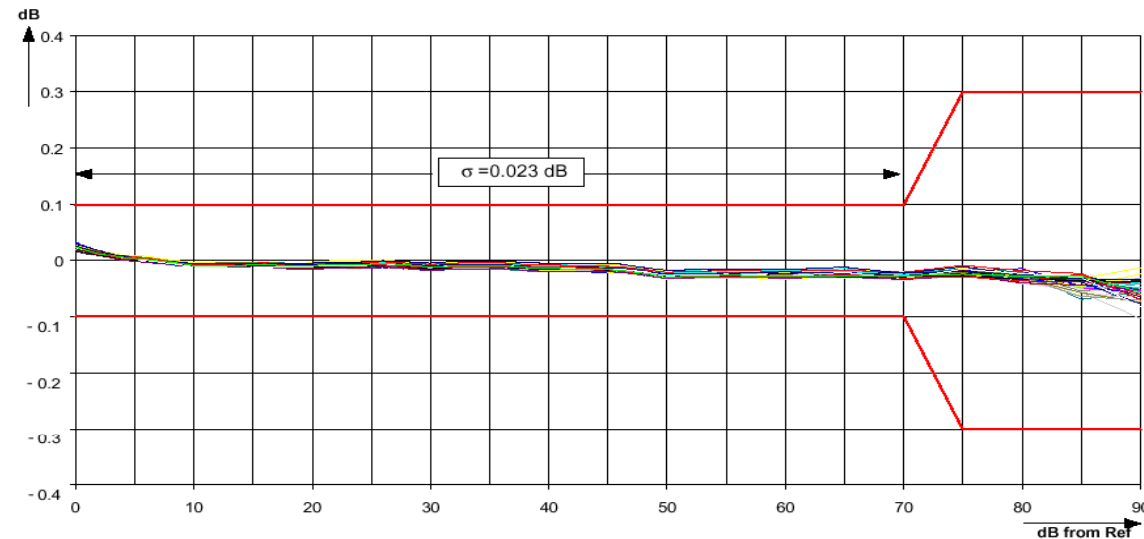
Verzerrungen

Phasenrauschen
Dynamik

Pegelgenauigkeit
relativ, absolut

Literaturhinweis

Display non linearity	+20 °C to +30 °C, mixer level ≤-10 dBm)	
Logarithmic level display	RBW ≤ 100 kHz, S/N >20 dB 0 dB to -70 dB -70 dB to -90 dB	<0.1 dB ($\sigma = 0.03$ dB) <0.3 dB ($\sigma = 0.1$ dB)



Linearitätsgenauigkeit eines Linearity accuracy with A/D Wandlers mit Digital “log amp” (HW/SW)

- Linearität ist nun ein kleiner Teil der Gesamtunsicherheit

Spektrum Analysator Spezifikationen

relative Pegelgenauigkeit, Frequenzgang

Einleitung

Frequenzbereich
Frequenzgenauigkeit

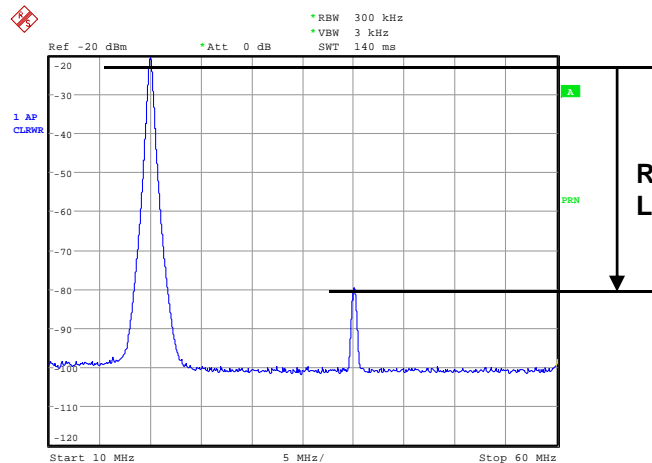
DANL
Empfindlichkeit

Verzerrungen

Phasenrauschen
Dynamik

Pegelgenauigkeit
relativ, absolut

Literaturhinweis



Frequency response

<50 kHz	<+0.5/- 1.0 dB	
50 kHz to 3 GHz	< 0.5 dB ($\sigma = 0.17$ dB)	
3 GHz to 7 GHz	-	<2 dB ($\sigma = 0.7$ dB)
7 GHz to 13.6 GHz	-	<2.5 dB

Frequenzgang ist wichtig bei allen Messungen wo Signale in Frequenzanteile aufgeteilt werden

Hintergrund

- Frequenzgang wird beeinflusst vom Front-end und interne Kabeldämpfungen und VSWR zwischen den Baugruppen
- Frequenzgang wird relativ zur Kalibratorfrequenz spezifiziert (bei R&S)

Spektrum Analysator Spezifikationen

relative Pegelgenauigkeit, Beispiel Frequenzgang

Einleitung

Frequenzbereich
Frequenzgenauigkeit

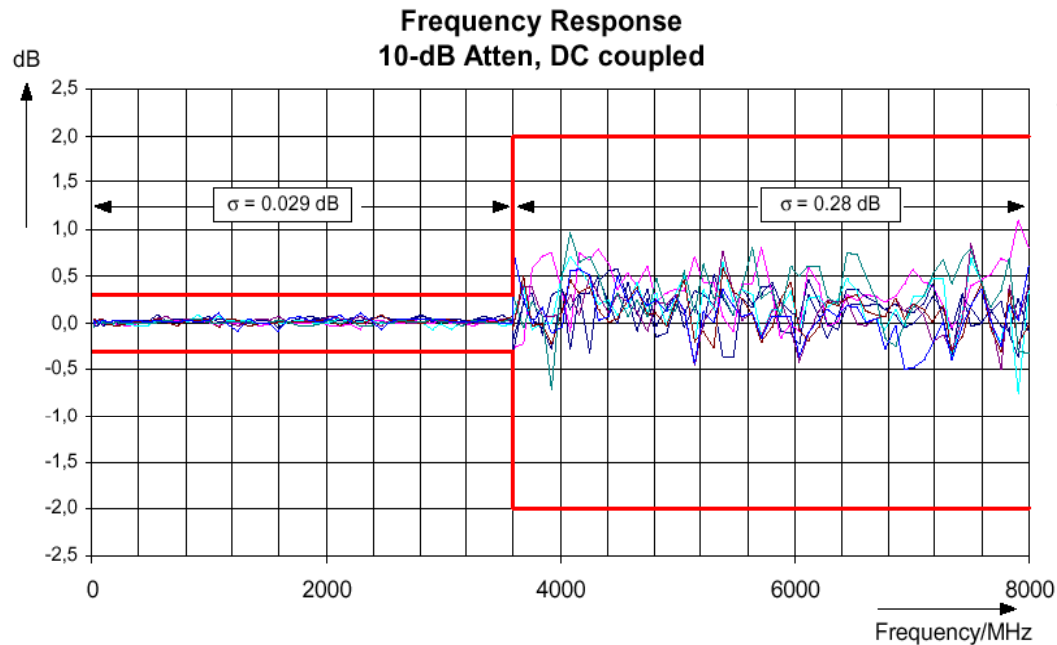
DANL
Empfindlichkeit

Verzerrungen

Phasenrauschen
Dynamik

Pegelgenauigkeit
relativ, absolut

Literaturhinweis



Beispiel:

- **Harmonischen Messung bei einem 3.7GHz signal:** Die Unsicherheit der Harmonischen beträgt 2dB wegen des Frequenzganges. The signal and it's harmonic have 2 dB of uncertainty due to requency response specification Die Unsicherheit der Harmonischenmessung beträgt 4 dB .

Wichtig: Frequenzgang ist abhängig vom Frequenzbereich

- Spektrumanalysatoren haben verschiedene Empfänger (frontends)
- Mikrowellenempfänger haben „tracking preselection“
>> verminderte Reproduzierbarkeit (YIG-Filter)

Spektrum Analysator Spezifikationen

relative Pegelgenauigkeit

Einleitung

Frequenzbereich
Frequenzgenauigkeit

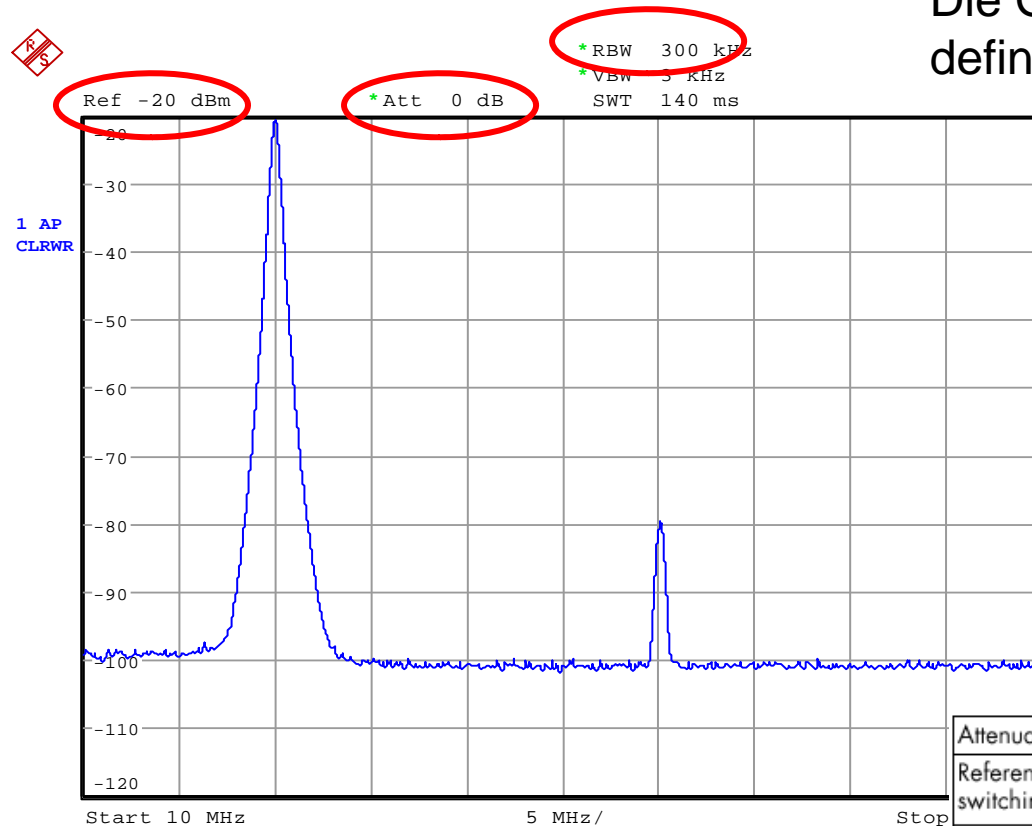
DANL
Empfindlichkeit

Verzerrungen

Phasenrauschen
Dynamik

Pegelgenauigkeit
relativ, absolut

Literaturhinweis



Die Geräteeinstellungen definieren Messgenauigkeit :

- RF Attenuator switching
- Reference level switching
- Resolution bandwidth switching
- LIN/LOG Scaling (??)

Attenuator	<0.2 dB ($\sigma = 0.07$ dB)
Reference level switching	<0.2 dB ($\sigma = 0.07$ dB)
Bandwidth switching uncertainty (ref. to RBW = 10 kHz)	
10 Hz to 100 kHz	<0.1 dB ($\sigma = 0.03$ dB)
300 kHz to 10 MHz	<0.2 dB ($\sigma = 0.07$ dB)
1 Hz to 3 kHz, FFT	<0.2 dB ($\sigma = 0.03$ dB)

Spektrum Analysator Spezifikationen

absolute Pegelgenauigkeit

Einleitung

Frequenzbereich
Frequenzgenauigkeit

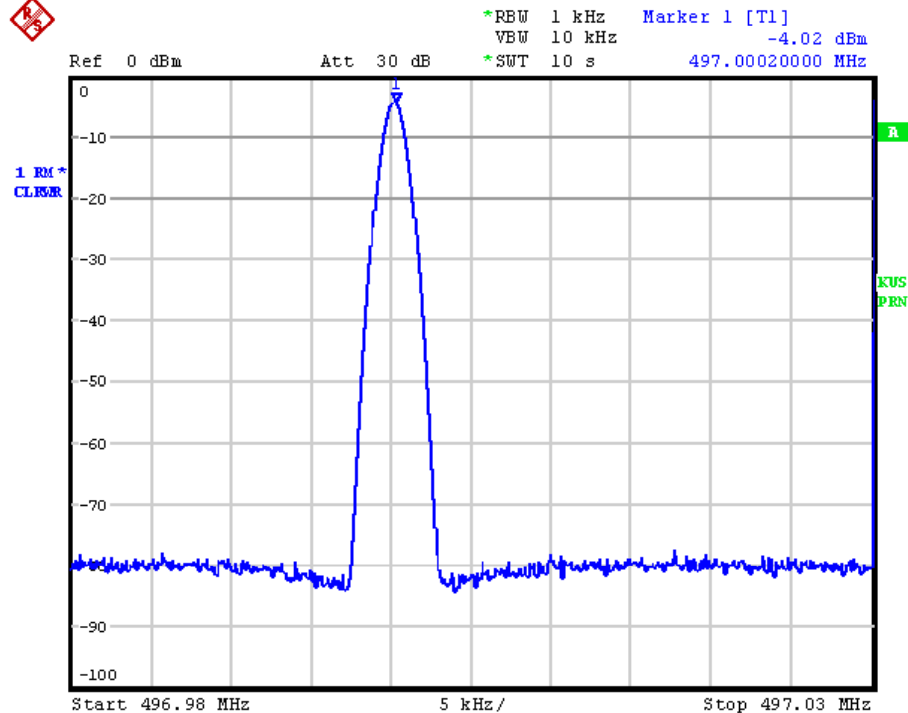
DANL
Empfindlichkeit

Verzerrungen

Phasenrauschen
Dynamik

Pegelgenauigkeit
relativ, absolut

Literaturhinweis



Pegelmessgenauigkeit:

- Absolute Genauigkeit
 - Kalibrator
 - +
- Relative Genauigkeit
 - Linearität
 - Frequenzgang
 - Attenuator switching
 - Reference level switching
 - Resolution bandwidth switching
 - Detektor ?

Max. uncertainty of level measurement

at 128 MHz,
-30 dBm (RF attenua-
tion 10 dB, RBW
10 kHz, ref. level
-20 dBm)

<0.2 dB ($\sigma = 0.07$ dB)

Spektrum Analysator Spezifikationen

absolute Pegelgenauigkeit

Einleitung

Frequenzbereich
Frequenzgenauigkeit

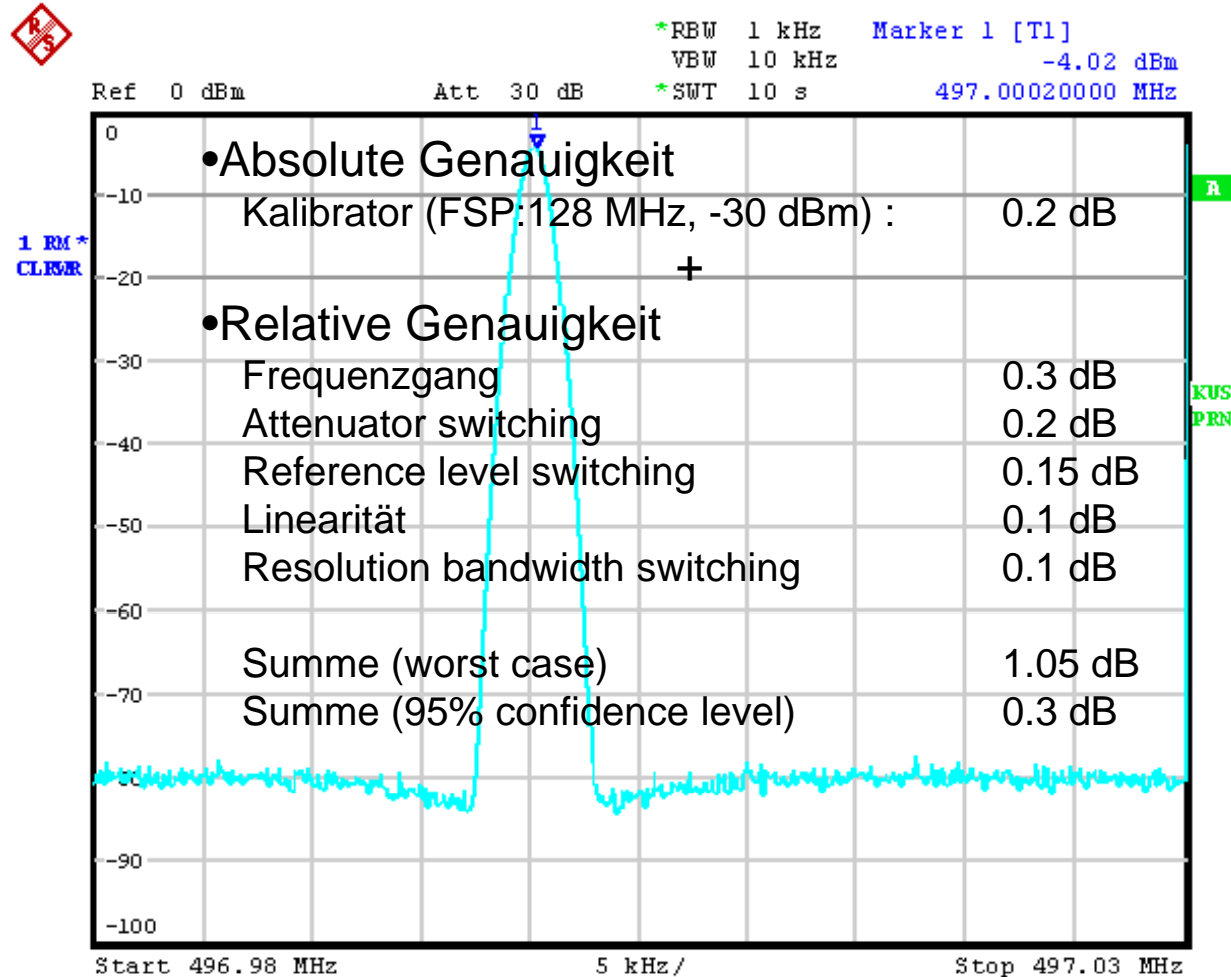
DANL
Empfindlichkeit

Verzerrungen

Phasenrauschen
Dynamik

Pegelgenauigkeit
relativ, absolut

Literaturhinweis



Spektrum Analysator Spezifikationen

Pegelgenauigkeit, Detektor

Einleitung

Frequenzbereich
Frequenzgenauigkeit

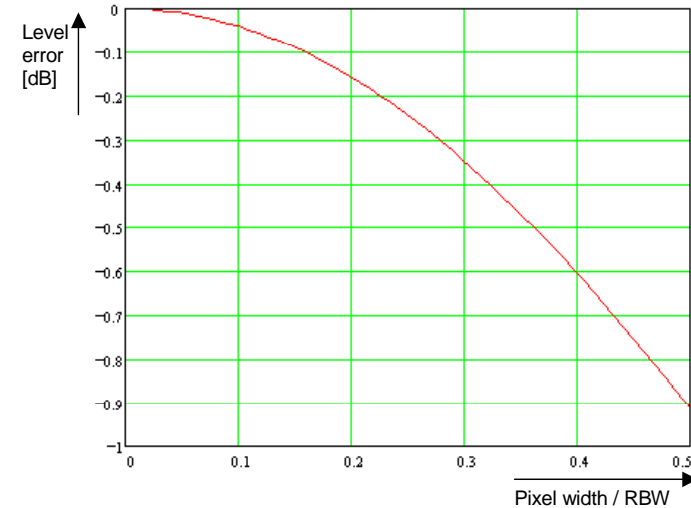
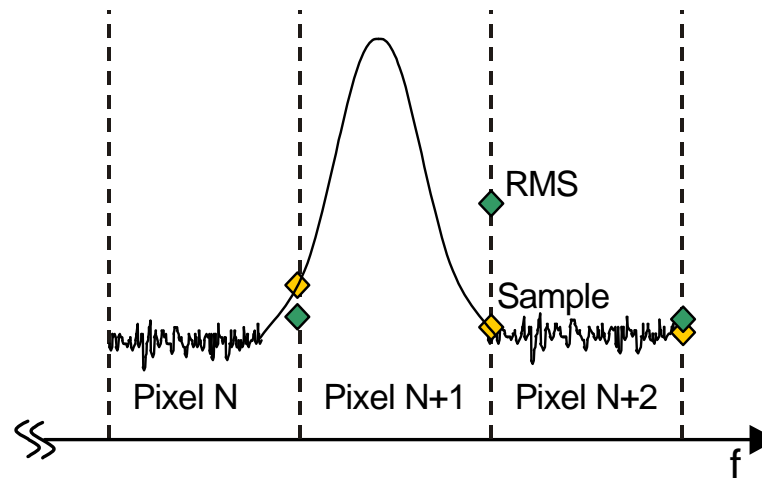
DANL
Empfindlichkeit

Verzerrungen

Phasenrauschen
Dynamik

Pegelgenauigkeit
relativ, absolut

Literaturhinweis



RMS Detektor Hinweise:

- RMS Detektor bewertet die Leistung innerhalb der Pixel
- Wenn $RBW < \text{Pixel}$, fällt die RMS Leistung ab, → **Fehler**
- Aktuelle Modelle erlauben die Anzahl der Sweep-points zu erhöhen
- Fehler für normales „coupling“ $\text{Span}/\text{RBW}=50$, 500 Punkte: ~ 0.05 dB

Grundlagen der Spektrumanalyse

Einleitung

Frequenzbereich
Frequenzgenauigkeit

DANL
Empfindlichkeit

Verzerrungen

Phasenrauschen
Dynamik

Pegelgenauigkeit
relativ, absolut

Literaturhinweis



von Christoph Rauscher
ISBN: 978-3-939837-00-8



Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit

75 Years of
Driving
Innovation



ROHDE & SCHWARZ

ROSCHI ROHDE & SCHWARZ AG