



Taschenlexikon

der Störersuche

Dritte, überarbeitete Auflage

Autor: Dipl.-Ing. Gerhard Seifried, Tübingen
Redaktion: Dipl.-Ing. Burkhard Braach, Reutlingen
© 2015
Ausgabe 3, 05/2015 ME-D0304C

Technischer Fortschritt, Fehler und Irrtümer
vorbehalten.

Narda Safety Test Solutions GmbH
Sandwiesenstr. 7
72793 Pfullingen, Deutschland
Tel.: +49 7121 9732-0
Fax: +49 7121 9732-790
E-mail: info.narda-de@L-3com.com
www.narda-sts.com

Taschenlexikon der Störersuche

Die Beispiele beziehen sich auf den
Interference and Direction Analyzer
IDA-3106, Firmware-Stand 1.4.0

Das Lexikon ist urheberrechtlich geschützt.
Dieses Copyright liegt bei Narda Safety Test Solutions GmbH.
Die digitale Version des Lexikons ist nur zur internen Verwendung gedacht.
Es darf nicht an Dritte weitergegeben werden, nicht vervielfältigt noch
gedruckt werden.

Inhalt

Vorwort	6	Diskretes Signal, diskreter Störer	19
Ablenkzeit	9	Diskrete Störlinien	20
Abschwächer/Eingangsteiler... 9		Dynamikbereich	20
Antenne	10	Eigenrauschen	21
ATT, Attenuator	12	Eigenstörlinien	22
Auflösung.....	12	Einschwingfehler.....	22
Aussteuerung	13	Einseitenbandrauschen	23
Automatik, AUTO	13	Elevation.....	23
AV, Avg, Averaging	13	Empfangsreichweite.....	23
Average Noise Level	13	Empfindlichkeit.....	24
Azimut.....	14	Fehlergrenzen	24
BFO	14	Fensterung.....	25
Bin.....	14	FFT, schnelle Fourier- Transformation	27
Breitbandsignal, ~störer	14	Filterarten, Kenngrößen	28
CBW, Channel Bandwidth....	15	GoTo-Funktionen	30
CW.....	15	Grundrauschpegel	31
DANL, Displayed Average Noise Level.....	15	Harmonische Verzerrung, Klirren.....	31
Darstellung	16	Horizontal Scan.....	32
dB, Dezibel	16	IDA	32
Demodulation.....	17	IM, Intermodulation	32
Detektor	17	Impedanz-Fehlanpassung.....	33
DF, Direction Finding	18	Inbandstörer	34
Differenzspektrum	19		

Intercept Point	36	Rauschsperre	57
I/Q-Daten.....	37	Rauschzahl.....	57
Kalibrierung	39	RBW, Auflösungsbandbreite..	58
Kanalbandbreite	39	Referenzpegel.....	59
Kanaltabelle.....	40	Scope Mode	60
Kartendarstellung	40	Sendertabelle.....	62
Klirren.....	41	Setup.....	62
Kompass.....	41	Span	62
Kompression.....	42	Spektrale Reinheit.....	62
Kreuzpeilung	42	Spektrumanalyse.....	63
LO, Oszillator	43	Spiegelfrequenz	66
Magnifier.....	44	Störlinien	67
Messbereich.....	44	Sweep	67
Mischerpegel	45	SWR, Stehwellenverhältnis... 68	
Mittelung.....	46	SWT, Sweep Time	68
NF, Noise Factor	46	Synthesizer	68
Overlapping	46	Trigger	69
Peilantenne.....	46	VBW, Videobandbreite	70
Peilgenauigkeit	50	Vorselektion.....	70
Peilregeln für Hand- und Mobilsuche	51	Vorverstärker	70
Peilton	54	Zeitbereichsmessung.....	71
Peilung	54	Zero Span	71
Peilung, kooperativ	56	ZF, Zwischenfrequenz	71
Polarisation	56		
Rauschmaß	57		

Liebe Leserin, lieber Leser,

mit diesem kleinen Taschenlexikon möchten wir Ihnen eine Unterstützung für Ihre tägliche Arbeit beim Aufspüren von ungewollten, unerwünschten und unerlaubten Störern und beim Vermessen von Nutzsendern anbieten. Im Fokus steht dabei die Sucharbeit vor Ort, die Peilung und Messung auf den letzten Kilometern und im Nahbereich. Die Situation wird hier sehr komplex, automatische Peiler sind nur noch begrenzt einsetzbar, und als Mittel der Wahl kommt der Handpeiler zum Einsatz. Handpeiler haben eine lange Geschichte, die bis in die Mitte des letzten Jahrhunderts vor allem durch empirische Versuche und die praktische Anwendung geprägt war. Bis vor wenigen Jahren wurden Peilung und Ortung dann durch algorithmische Verfahren untersucht und verbessert. Heute paart sich beides, das Expertenwissen und das theoretisch-wissenschaftliche Fundament mit modernster Gerätetechnologie – endlich ist es möglich, effektiv, komfortabel, schnell und genau zu analysieren, zu suchen und zu dokumentieren.

Zunächst war es unser Plan, ausschließlich Begriffe aus der Handpeilung im engsten Sinne zu erläutern. Jedoch ist die Signalanalyse aus der modernen Peilung und Ortung nicht mehr wegzudenken. Sie ist eine wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Lokalisierung. Vor allem bei unbekanntem Signalen basiert diese zunächst auf einer exakten Problemanalyse (Auffinden und Isolieren der Signale im Spektrum, Feststellen wichtiger Signalparameter in Zeit- und Frequenzbereich und Ermittlung des Störmechanismus). Dieser folgt dann die Handpeilung (mit Korrektur der Peilergebnisse aufgrund von Reflexionen und Gleichkanalstörern). Als letzter Schritt erst steht dann die exakte Ortung der Emission, die je nach

physikalischem Umfeld durch Triangulation oder durch manuelle Verfeinerung der Peilung durchgeführt wird.

Hierbei lauert eine Fülle von physikalischen Problemen, möglichen Messfehlern und technischen Herausforderungen an den Messenden, die sämtlich durch Fachbegriffe beschrieben werden. Dieses kleine Lexikon soll Ihnen helfen, diese Begriffe zu verstehen, und es gibt Ihnen einige Tipps von „alten Hasen“, die Ihnen die praktische Peilarbeit erleichtern. Es möchte Sie so auf Ihrem Weg zum Spezialisten der Signalanalyse und Störersuche begleiten.

Wir wünschen Ihnen auf diesem Weg viel Erfolg!

Ihr Team bei Narda Test Solutions

Mai 2015

Ablenkzeit | SWT, Sweep time

Zeit für einen vollen Durchlauf (▶ Sweep) des eingestellten Frequenzbereichs (▶ Span), sinnvollerweise einschließlich der Rechenzeit für ein berechnetes Spektrum.

Der klassische Analysator muss an jeder Filterposition einschwingen, was direkt von Filterart, Filterbreite (▶ RBW) und Span abhängt:

$$SWT = K \cdot \text{Span} / \text{RBW}^2$$

K ist ein filterspezifischer Faktor, oft ≈ 2

Beispiele:

- 1 MHz mit 1 kHz abgetastet ergäbe $K \cdot 1000 \text{ kHz} / (1 \text{ kHz})^2 = K \cdot 1000 \text{ ms} \approx 2 \text{ s}$
- Der IDA braucht als ▶ FFT-Analysator für dieselbe Aufgabe nur noch 20 ms (davon 2 ms für die Erfassung) und zeigt alle Spektralanteile zeitgleich.

Tipps:

- ▶ Während des Sweeps ist der klassische Analysator auf allen Frequenzen mit Ausnahme der momentan erfassten blind (Beispiel oben: Messzeit zu Blindzeit 1:1000).
- ▶ Während der Rechenzeit ist der FFT-Analysator blind (Beispiel oben: Messzeit zu Blindzeit 1:9).

Abschwächer/Eingangsteiler | ATT, Attenuator

Allgemein ein Bauteil, das die HF-Energie definiert abschwächt und je nach Bauart auch eine Impedanzanpassung vornehmen kann.

Speziell ein in Stufen schaltbares Dämpfungsglied am Geräteeingang. Dieses verschiebt den ▶ Dynamikbereich so, dass Signale optimal erfasst werden können.

Die **Dämpfung** (ATT) bezieht sich auf das Verhältnis Ausgangsleistung/Eingangsleistung. Es ist bei zusätzlicher Impedanzanpassung um das Spannungsübertragungsmaß zu korrigieren.

Tipps:

- ▶ 10 dB ATT verbessert in vielen Fällen den Eingangsreflexionsfaktor.
- ▶ 10 dB ATT verbessert den Schutz der Eingangsstufe gegen Überlastung.
- ▶ Ändern der ATT verschiebt den ▶ Dynamikbereich und ergibt so den ▶ Messbereich.
- ▶ Je feiner die Abstufung (z. B. 1 dB), desto besser die Nutzung des Dynamikbereichs.
- ▶ Der Abschwächer ist ein wichtiger Schutz für den 1. Mischer und Vorverstärker und sollte beim Einschalten des Geräts zwangsweise auf 10 dB stehen.

Antenne | Antenna

Die Antenne wandelt eine elektrische/magnetische Feldstärke in eine entsprechende Fußpunktspannung um.

Bei Halbwellendipolen und ihren Verwandten ist der Antennenfaktor frequenzabhängig. Da der Halbwellendipol mit steigender Frequenz kürzer wird, greift er immer weniger von der Feldstärke ab und bringt deshalb weniger Fußpunktspannung.

Der Antennenfaktor eines $\lambda/2$ -Dipols ist bei 40 MHz 0 dB(1/m), bei 100 MHz 8 dB(1/m). Jede Verdoppelung der Frequenz erhöht den Wert um 6 dB, die Verzehnfachung um 20 dB. Von diesem Ergebnis sind für eine LogPer-Antenne etwa 4 dB Gewinn abzuziehen.

Beispiel:

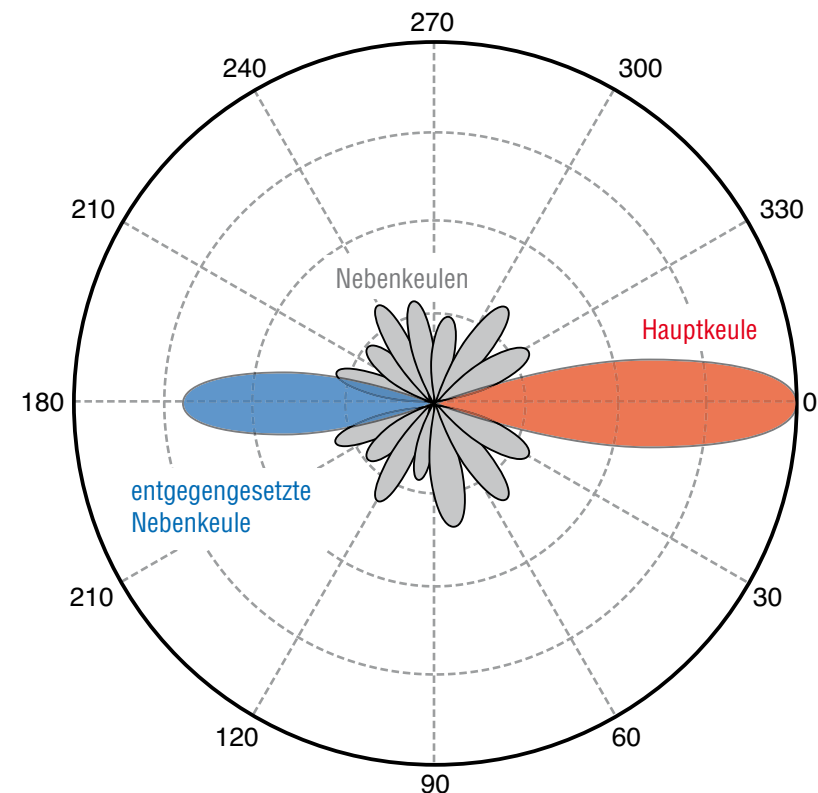
eine LogPer-Antenne bringt auf 1 GHz 60 dB μ V Fußpunktspannung. Wie groß ist die Feldstärke?

1 GHz = 10 x 100 MHz oder (8 + 20) dB(1/m). Das ergibt mit 4 dB Gewinn 24 dB(1/m). Die Feldstärke liegt also bei 84 dB μ V/m.

Hinweis:

Wenn eine Messeinrichtung mit magnetischer Rahmenantenne dB μ V/m statt dB μ A/m anzeigt, findet im Hintergrund eine Umrechnung über den Feldwellenwiderstand 377 Ω von 51,5 dB statt:

0 dB μ A/m = 51,5 dB μ V/m. Die Umrechnung gilt nur für Messungen im Fernfeld.



Richtdiagramm einer scharf bündelnden Antenne.

Quelle: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sidelobes_de.svg

Tipp:

- ▶ Kommerzielle Antennen schielen nur unwesentlich. Missweisungen entstehen hauptsächlich durch Reflexionen, welche die Felder „verbiegen“.
- ▶ Peilantenne, ▶ Peilgenauigkeit

ATT, Attenuator | ATT, Attenuation

ATT steht auch für Attenuation, d.h. die Eingangsabschwächung in dB.

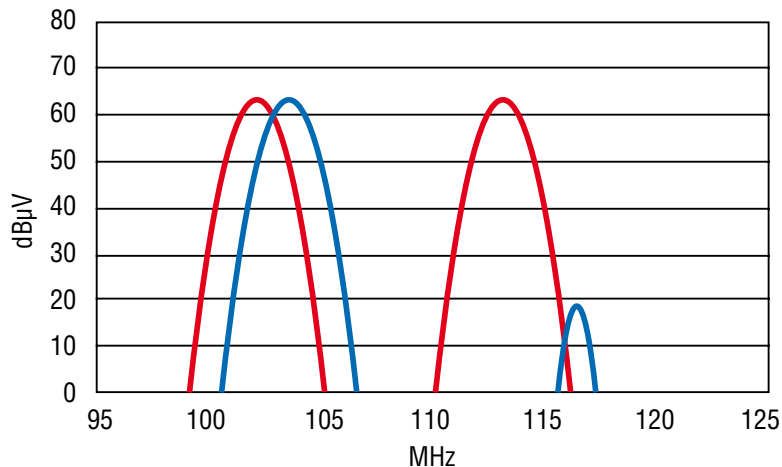
- ▶ Abschwächer/Eingangsteiler

Auflösung | Resolution

Fähigkeit eines Empfängers/Analysators, in der Frequenz benachbarte Signale getrennt darzustellen und zu messen.

Tipps:

- ▶ Signale gelten als aufgelöst, wenn sich zwischen ihnen eine Einsattelung von mindestens 3 dB gebildet hat.
- ▶ Je größer der Pegelunterschied zweier Signale, desto größer muss für deren Auflösung auch ihr Frequenzabstand sein.



Auflösung gleich und ungleich starker Signale

- ▶ RBW, Auflösungsbandbreite

Aussteuerung | Saturation

- ▶ Dynamikbereich, ▶ Messbereich

Automatik, AUTO | Auto-coupling

Automatische Kopplung sich gegenseitig beeinflussender Einstellparameter, z.B:

- **RBW – VBW.** Die ▶ VBW glättet zusätzlich, wenn sie kleiner als die ▶ RBW ist. Das hilft Pulse und Dauersignale zu trennen, kann Messungen auch verfälschen.
- **Span – RBW – Sweep Time.** Deren Werte sind vorwiegend durch physikalische Gegebenheiten miteinander verknüpft.
 - ▶ Span, ▶ RBW, ▶ SWT
- **ATT – REF** ▶ Abschwächer/Eingangsteiler, ▶ Referenzpegel

Tipps:

- ▶ Die Kopplung erlaubt schnelle Messungen hoher Genauigkeit. In vielen Fällen ist das vorteilhaft.
- ▶ Messgeräte zeigen die aufgehobene Kopplung an (Sternchen, Farbe o.ä.).
- ▶ Für spezielle Anwendungen (z. B. Intermodulationsmessungen, Suche nach Burst-Signalen) ist die Aufhebung der automatischen Kopplung sinnvoll.

AV, Avg, Averaging | AV, Avg, Averaging

Mittelung.

Die EMV-Messtechnik versteht unter Mittelung das Spannungsmittel der Hüllkurve über eine bestimmte Messzeit.

Beim IDA erfolgt eine echte Leistungsmittelung.

- ▶ Detektor

Average Noise Level | Average noise level

- ▶ Eigenrauschen, ▶ Rauschmaß, ▶ Rauschzahl

Azimut | Azimuth

In der Antennentechnik bezeichnet der Azimut den horizontalen Winkel einer Antenne bezogen auf eine Referenzrichtung (z. B. Norden oder Fahrzeugachse).

Vgl. ► Elevation

BFO | Beat frequency oscillator

Im Empfangsgerät eingebauter Oszillator zur Hörbarmachung von Signalen mit unterdrücktem, kontinuierlichem oder getastetem Träger, z. B. SSB, CW, Morsetelegrafie.

Tipp:

- Durch geschickte Wahl der BFO-Frequenz kann man eines von zwei in derselben RBW nebeneinanderliegenden Signalen akustisch abschwächen, indem man den BFO oder die Mittenfrequenz variiert.

Bin | Bin

Frequenzstützstelle, die aus einer Fourier-Transformation hervorging. Das Bin selbst hat keine Breite, die Bins innerhalb der FFT sind aber äquidistant.

- FFT, schnelle Fourier-Transformation

Breitbandsignal, ~störer | Wideband signal, wideband interference

Wird immer relativ zur Messbandbreite (► RBW) gesehen (vgl. CISPR 16 bzw. die gleichlautende DIN EN 55016). Ihre Spektren sind dadurch gekennzeichnet, dass ihr Frequenzbereich größer ist als die Auflösungsbandbreite des betreffenden nach CISPR 16-1-1 spezifizierten Messempfängers. Man kann diese Definition auf alle Spektren anwenden und unterscheidet weiter:

Breitbandige kontinuierliche Störgrößen (z. B. Pulsfolgen von Kommutatormotoren o. ä.), deren Wiederholfrequenz kleiner ist als die Bandbreite des Messempfängers, so dass während der Messung mehr als eine Spektrallinie in die Bandbreite fällt.

Breitbandige diskontinuierliche Störgrößen entstehen durch mechanische oder elektronische Schaltvorgänge mit niedriger Wiederholrate, die kleiner als 1 Hz ist.

CBW, Channel Bandwidth | CBW, Channel bandwidth

- Kanalbandbreite, ► Filterarten, Kenngrößen

CW | Continuous wave

In der klassischen (engen) Definition ein dauerhaft vorhandenes Signal, das in Phase, Frequenz und Amplitude konstant ist. CW als Betriebsart im Amateurfunk beschreibt einen getasteten Träger.

Tipps:

- FM-Signale zeigen nur konstanten Pegel, wenn das Messfilter das gesamte Signal erfasst und der Sendepiegel konstant ist.
- AM-Signale misst man mit Mittelung; besser ist es oft, deren Mittenträger selektiv zu messen.

DANL, Displayed Average Noise Level | DANL, Displayed average noise level

Nach Videofilterung und/oder Trace Averaging angezeigter Rauschpegel, wenn kein Eingangssignal anliegt.

Achtung: Die Mittelungsmethoden sind nicht festgelegt.

- IDA mittelt über die echte Leistung und zeigt deshalb die mittlere Rauschleistung korrekt an.
 - Viele ältere Geräte mitteln die über den Sample-Detektor gewonnenen Werte im logarithmischen Maß und zeigen deshalb um 2,5 dB zu geringe Werte an.
- Eigenrauschen, Rauschmaß

Darstellung | Trace

Eine aktuelle Messkurve (Trace) entsteht bei jedem neuen Messdurchlauf. Diese aufeinanderfolgenden Messkurven können auf vier verschiedenen Arten verrechnet und angezeigt werden.

- **Act** (Actual, Clear&Write): Die aktuelle Messkurve wird angezeigt. Vorherige Messkurven werden nicht berücksichtigt.
- **Max** (MaxHold): Für jeden Messpunkt wird der höchste Messwert aller bisherigen Messkurven angezeigt.
- **Min** (MinHold): Für jeden Messpunkt wird der niedrigste Messwert aller bisherigen Messkurven angezeigt.
- **Avg** (Average): Für jeden Messpunkt wird ein Mittelwert der Messwerte einer definierbaren Anzahl vorheriger Messkurven angezeigt.

Vielen Geräte mitteln über Pegelwerte. Hochwertige und moderne Geräte mitteln über Leistungswerte.

► Detektor

dB, Dezibel | dB, Decibel

Dezibel (dB) ist definitionsgemäß ein Leistungsverhältnis, das absolut (bezogen auf eine physikalische Größe, z. B. 1 mW) oder relativ (Eingangs-/Ausgangsgröße), aber immer als logarithmisches Maß angegeben wird. Dabei wird der Logarithmus zur Basis 10 verwendet (Schreibweise $\lg = \log_{10}$).

Dezibel gibt den Faktor an, um den sich zwei Größen unterscheiden (vergleichbar mit milli-, mikro-, nano- usw. im linearen Bereich). Man spricht dann korrekt vom Leistungs- oder Spannungsmaß.

Während für Leistungen der Formelbuchstabe P steht, wird in älteren Unterlagen für das Leistungsmaß p verwendet.

Definition: $p = 10 \cdot \lg(P_{in}/P_{out})$

Bei gleicher Impedanz wird daraus $p = 20 \cdot \lg(U_{in}/U_{out})$

Für die Bezugspunkte gibt es viele Schreibweisen. Beispiele:

	ausführlich	kurz	ITU	DIN/ISO
Leistungspegel Bezug 1 mW	L_p (re 1 mW)	$L_{P/mW}$	dBm	dB(m)
Spannungspegel Bezug 1 V	L_U (re 1 V)	$L_{U/V}$	dBV	dB(V)
Spannungspegel Bezug 1 μ V	L_U (re 1 μ V)	$L_{U/\mu V}$	dB μ V	dB(μ V)
Feldstärkepegel Bezug 1 μ V/m	L_F (re 1 μ V/m)	$L_{U/\mu V/m}$	dB μ V/m	dB(μ V/m)

Sobald Verwechslungen möglich sind (m = milli oder Meter?), sollte man die klarere Klammer-Schreibweise bevorzugen.

Vgl. DIN IEC 60027-3:2002 Formelzeichen für die Elektrotechnik Teil 3: Logarithmische und verwandte Größen und ihre Einheiten

Demodulation | Demodulation

Bei der Störersuche ist die Demodulation des Signals eine große Hilfe für den erfahrenen Anwender, da anhand des demodulierten „Geräuschs“ das Signal schnell zugeordnet werden kann.

Das menschliche Ohr nimmt Störgeräusche als Änderung des Audiosignals bereits wahr, bevor sie im Spektrum sichtbar werden.

Tipp:

- Man bevorzuge die Amplituden-Demodulationsarten und arbeite mit unterschiedlichen Bandbreiten (0,5 ... 10 kHz).

Detektor | Detector

Jedes Messgerät ist so gebaut, dass die Größe eines am Eingang anliegenden Signals auch zahlenwertmäßig richtig angezeigt wird. Das bedeutet, dass ein Signal am ZF-Ausgang dem am HF-Eingang entspricht (es muss nicht gleich sein).

Größen, die gemessen werden sollen, ändern sich oft sehr schnell über der Zeit. Man kann deshalb nicht jeden einzelnen Abtastwert (Sample) anzeigen, sondern fasst viele Messwerte über die Messzeit zu einem Anzeigewert zusammen. Das ist die Aufgabe von Detektoren.

- **+PEAK** zeigt den Wert des höchsten während der Messzeit aufgetretenen Samples.
–**PEAK** zeigt den Wert des niedrigsten während der Messzeit aufgetretenen Samples.
- **SAMPLE (SA)** zeigt innerhalb jeder Messzeit ein Sample an der gleichen Stelle (z. B. jedes erste).
- **RMS (Root Mean Square)** berechnet aus allen Samples einer Messzeit den Effektivwert (Leistungsmittelwert) und zeigt diesen an.
- **AVG (Average)** zeigt beim IDA den echten Leistungsmittelwert an.
- **AV (Average)** zeigt bei vielen anderen Geräten den Spannungsmittelwert an (CISPR 16 bzw. die gleichlautende DIN EN 55016 versteht unter Mittelung die Spannungsmittelung).

Tipps:

- ▶ +PEAK-Werte werden von den anderen Detektoren nicht überschritten (bei gleicher RBW und gleichen sonstigen Randbedingungen).
- ▶ Bei unklaren Verhältnissen sind mehrere Messungen mit unterschiedlichen Detektoren/Messzeiten oft hilfreich.
- ▶ Vorteilhaft sind Messeinrichtungen, die mehrere Detektoren zeitparallel und damit echt vergleichbar darstellen.
- ▶ Darstellung

DF, Direction Finding | DF, Direction finding

Verfahren zur Richtungsbestimmung.

Im IDA eine spezielle Betriebsart, die es ermöglicht, Peildiagramme automatisch oder benutzerdefiniert zu erzeugen und Peilstrahlen in

Karten einzutragen, um so die Sucharbeit zu optimieren und den Arbeitsfortschritt zu dokumentieren.

Moderne Handpeiler sind mit Richtantennen, elektronischem Kompass, GPS und Kartenmaterial ausgestattet.

Von großer Bedeutung sind die dabei verwendeten Peilalgorithmen zur Messwerterzeugung.

- ▶ Peilung, ▶ Horizontal Scan

Differenzspektrum | Delta spectrum

Zunächst wird eine Ist-Aufnahme gewonnen, die als Referenzkurve abgelegt wird. Das Differenzspektrum zeigt dann die Abweichungen von dieser Referenzkurve und macht komplexe Frequenzbelegungen übersichtlicher. Es hilft beim Auffinden geänderter/neuer Sender und bei der Analyse variierender Träger.

Tipps:

- ▶ Gespeicherte Referenzkurven sind hilfreich für die Untersuchung/Dokumentation zu schützender Umgebungen, auch für spätere, schnelle Untersuchung auf Abweichungen.
- ▶ Geräte, die I/Q-Daten speichern, erlauben auch nachträglich fast wahlfreie Analysen und somit Vergleiche mit neuen Situationen.
- ▶ Darstellung

Diskretes Signal, diskreter Störer | Discrete signal, discrete interference

Nach CISPR 16-2-3 bzw. DIN EN 55016-2-3 eine schmalbandige kontinuierliche Störgröße, Störaussendung auf einer diskreten Frequenz. Das Frequenzspektrum zeigt nur einzelne Spektrallinien, deren Abstände größer als die Auflösungsbandbreite (RBW) des Messempfängers sind, so dass während der Messung nur eine Linie in die Messbandbreite fällt.

Diskrete Störlinien | Discrete interference lines

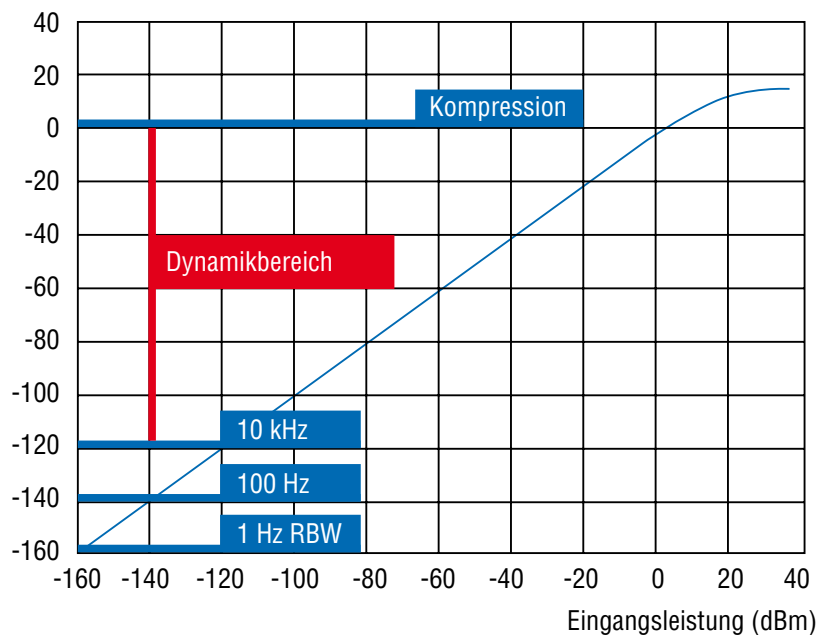
► Störlinien

Dynamikbereich | Dynamic range

Bereich zwischen Grundrauschen und Kompressionspunkt.

- Die ► Kompression begrenzt den Dynamikbereich nach oben. Der 1-dB-Kompressionspunkt ist ein gerätespezifischer Wert.
- Das Grundrauschen des Geräts begrenzt den Dynamikbereich nach unten. Seine Höhe ist u. a. von der ► RBW abhängig, die immer den zu messenden Signalen entsprechen muss.

Ausgangsleistung (dBm)



Eine Dynamik mit RBW = 1 Hz zu spezifizieren, gibt zwar einen großen Wert, passt aber zu keinem realen Signal. Man kann orientierend den Dynamikbereich für die gewünschte RBW abschätzen, indem man den 1-Hz-Wert um $10 \cdot \lg(\text{RBW}/\text{Hz})$ reduziert.

- **Intermodulationsfreier Dynamikbereich** ist der Bereich, in dem Intermodulationsstörer gerade noch nicht sichtbar sind. Eigenstörer werden hier nicht berücksichtigt. Praxisnahe Angabe.
- **Dynamikbereich für 1 dB Kompression** bezeichnet den Abstand zwischen dem Grundrauschen und dem Punkt, an dem durch Kompression des zu messenden Signals ein Messfehler von 1 dB entsteht.

► Messbereich, ► IM, Intermodulation, ► Eigenrauschen

Eigenrauschen | Intrinsic noise

Das ► Rauschmaß NF (Noise Figure) gibt an, um wie viel dB das Rauschen des Geräts über dem thermischen Rauschen liegt. Bei Normaltemperatur von 17°C beträgt die thermische Rauschleistung -174 dBm/Hz . An einem Widerstand von 50Ω entspricht dies einer Rauschspannung von $-67 \text{ dB}\mu\text{V/Hz}$.

Aus dem Rauschmaß NF und der äquivalenten Rauschbandbreite B_N lässt sich die Rauschleistung p_N berechnen:

$$p_N [\text{dBm}] = -174 \text{ dBm} + \text{NF}[\text{dB}] + 10 \cdot \lg(B_N/\text{Hz})$$

Die Rauschspannung u_N ergibt sich zu

$$u_N [\text{dB}\mu\text{V}] = -67 \text{ dB}\mu\text{V} + \text{NF}[\text{dB}] + 10 \cdot \lg(B_N/\text{Hz})$$

Beispiel:

- Der IDA habe 7 dB Rauschmaß und 10 kHz Rauschbandbreite der RBW.
- Die Rauschleistung ergibt sich zu $-174 \text{ dBm} + 7 \text{ dB} + 40 \text{ dB} = -127 \text{ dBm}$.
- Das entspricht an 50Ω einer Rauschspannung von $-20 \text{ dB}\mu\text{V}$.

Eigenstörlinien | Residual spurious response lines

Eigenstörlinien, die auch bei fehlendem Eingangssignal auftreten und in der Technologie der Messeinrichtung begründet sind. Für ihre Messung wird der Eingang mit Nennimpedanz abgeschlossen und der Eingangsteiler auf 0 dB gestellt.

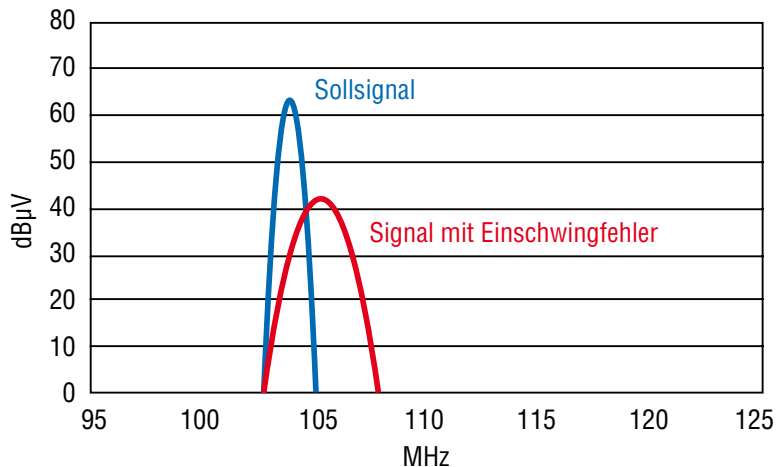
Tipps:

- ▶ Besser als gar kein Abschluss auf dem Eingang ist es, den Eingangsteiler auf 10 oder 20 dB zu stellen. Ggfs. ist das Ergebnis zu korrigieren.
- ▶ Eigenstörlinien unter -90 dBm sind tolerabel.
- ▶ Störlinien

Einschwingfehler | Transient error

Amplituden-, Frequenz- und Zeitfehler, der entsteht, wenn das Messfilter zu schnell über den Frequenzbereich geschoben wird und deshalb nicht mehr richtig einschwingen kann.

Kennzeichen: Unsymmetrische, zu höheren Frequenzen verschobene sowie amplitudenreduzierte und verbreiterte Darstellung diskreter Signale (rote Kurve). Dieser Effekt erscheint nicht beim FFT-Analysator.



Einseitenbandrauschen | Single sideband (SSB) noise

Jeder Oszillator (LO) hat Phasen- und Amplitudenrauschen. Dieses wird im Mischer mit dem Eingangssignal gemischt und ist dann mit diesem untrennbar verbunden. Unangenehm ist besonders, dass dadurch eng benachbarte Signale in diesem SSB-Rauschen untergehen können.

Das regelmäßig dominierende Phasenrauschen ist definiert als die Rauschleistung in dBc/Hz im Abstand f_{off} vom Träger. Es reduziert sich also mit zunehmendem Abstand von der LO-Mittenfrequenz.

Beispiel:

Ein LO sei mit -90 dBc/Hz in $f_{\text{off}} = 100$ kHz spezifiziert. Neben einem starken Signal wird in 100 kHz Abstand von diesem bei einer RBW von 10 kHz ein Signal von -50 dBc im Rauschen verschwinden, denn -90 dBc/Hz entsprechen -50 dBc/10kHz.

- ▶ LO, Oszillator

Elevation | Elevation

In der Antennentechnik bezeichnet der Elevationswinkel den vertikalen Winkel einer Antenne bezogen auf den Horizont.

Vgl. ▶ Azimut

Empfangsreichweite | Reception range

Entfernung, in der das Signal einer Quelle gerade noch empfangen werden kann. Die Reichweite ändert sich nach folgenden Regeln, falls sich auf dem Ausbreitungsweg keine Hindernisse befinden:

- Direkte Sicht ist durch nichts zu übertreffen.
- 6 dB mehr abgestrahlte Leistung verdoppelt die Empfangsreichweite.
- 6 dB kleineres Rauschmaß der Messeinrichtung verdoppelt sie ebenfalls.

- Halbe RBW der Messeinrichtung senkt deren Rauschen um 3 dB, ohne den angezeigten Pegel von schmalbandigen CW-Signalen zu reduzieren; sie steigert die Reichweite also um $\sqrt{2}$.
- Halbe RBW senkt das Rauschen zwar um 3 dB, den angezeigten Pegel für schmale, korrelierende Pulse jedoch um 6 dB; in diesem Fall reduziert sie also die Reichweite um $\sqrt{2}$.
- Falsche Polarisierung der Antenne kann sie um bis zu 90 % reduzieren. (Jede Reflexion kann die Polarisierung drehen!)
- Jede Erhöhung des Rauschmaßes der Messeinrichtung um 3 dB halbiert die Fläche, auf der das Signal zu empfangen ist.

Empfindlichkeit | Sensitivity

Die Empfindlichkeit bestimmt den kleinsten noch messbaren Pegel bei gegebener \blacktriangleright RBW. Es ist der Punkt, bei dem die Rauschleistung und die Leistung des zu messenden Signals gleich groß sind, sie in der Summe also das umgebende Rauschen um 3 dB überragen.

\blacktriangleright Eigenrauschen \blacktriangleright Dynamikbereich \blacktriangleright Grundrauschpegel

Fehlergrenzen | Error limits

Bezeichnen die möglichen Abweichungen des Messwerts vom wahren Wert.

Frequenzabweichungen entstehen primär durch

- Kurzzeitige Ungenauigkeiten der Quarz-Zeitbasis (Temperatur, Spannungsschwankungen),
- Langzeitstabilität (Alterung),

Amplitudenfehler durch

- Abgleich und Kalibrierung des Geräts,
- Temperatureinflüsse und Spannungsschwankungen,
- Fehlanpassungen der Antennen und Kabel,
- Amplitudengang über der Frequenz.

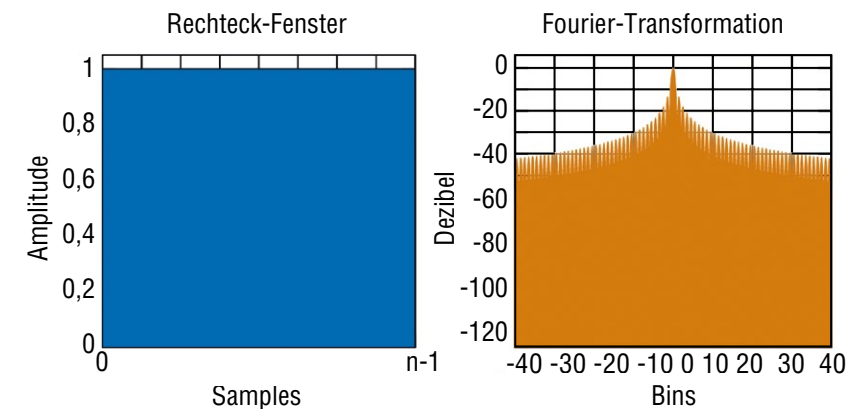
\blacktriangleright Kalibrierung

Fensterung | Windowing

Begriff aus der Fourier-Transformation (\blacktriangleright FFT).

Ausgangsdaten jeder FFT sind die 2^n Abtastwerte (Samples) im Zeitbereich. Daraus errechnet der Analysator das zugehörige Spektrum.

Würde der Analysator alle Samples unbewertet verwenden, was einem Rechteck-Fenster entspräche, so ergäbe sich eine schlechte Selektion: Bei einem reinen Sinus z. B. würden im Spektrum hohe, in der Realität nicht vorhandene Seitenlinien erscheinen.



FFT mit Rechteck-Fenster, d.h. ohne Bewertung der zeitlichen Abtastwerte (links). Ein transformierter Sinus zeigt im Frequenzbereich hohe Seitenlinien, vor allem in direkter Nähe der eigentlichen Frequenz (rechts).

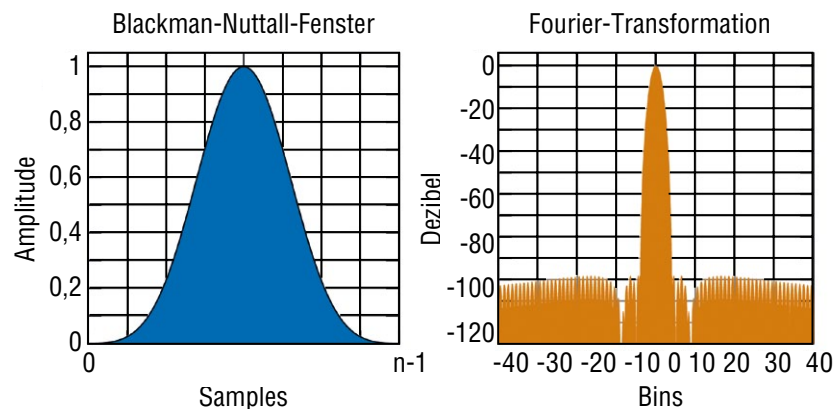
Quelle: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Window_function_and_frequency_response_-_Rectangular.svg

Deshalb bewertet man die Samples mit einer Fensterfunktion, deren Anfangs- und Endwerte Null sind. Dadurch werden die Samples an den beiden Rändern jedoch unterbewertet; die äußersten Werte gehen ganz verloren. Diesen Effekt mildert man durch eine zeitlich verschobene zweite oder weitere Fensterungen, die gegenüber der vorigen verschoben sind. Diese Überlappung (Overlapping) ermöglicht eine realitätsnähere FFT.

Ohne Fensterung würde man aus den ► I/Q-Daten immer Blöcke von z. B. 1024 Datensätzen berechnen und anzeigen. An jeder Fenstergrenze entstünden wegen der Amplitudensprünge Eigenstörlinien.

Mit Fensterung wird man bei 50 % Überlappung um 512, bei 75 % nur um 256 Daten weiterrücken und so die Erfassungslücken schließen.

Höhere Überlappung verbessert die Zeitauflösung und erhöht die Amplitudentreue.



Das Blackman-Nuttall-Fenster (links Zeitbereich, rechts Frequenzbereich) selektiert besser als das in Spektrumanalysatoren übliche Gauß-Filter und hat eine sehr gute Unterdrückung der Seitenlinien. Mit entsprechender zeitlicher Überlappung werden auch schmale Pulse gut verarbeitet.

Quelle: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Window_function_and_frequency_response_-_Blackman-Nuttall.svg

Tipp:

- Die Fensterart kann Messungen erheblich verfremden. Vom Hersteller empfohlene Standardeinstellungen sollte man unverändert lassen und mit mindestens 75 % Überlappung arbeiten, um Pegelfehler zu vermeiden bzw. kurze Pulse nicht unterzubewerten.

FFT, schnelle Fourier-Transformation

Fast Fourier transformation

Zeitgemäße Art der Signalverarbeitung, die gegenüber der analogen Messung deutliche Vorteile bietet.

Funktion:

- Gegenüber der „einfachen“ Fourier-Transformation ist der Rechenaufwand bei der schnellen FFT auf weniger als 1 % reduziert. Sie funktioniert aber nur mit einer Sample-Anzahl, die den Potenzen von 2 entspricht (1024, 2048, ...).
- Man legt vorher den Frequenzbereich (► Span) und die Anzahl der benötigten ► Bins fest. Beispiel: Ein Span von 800 kHz ergibt 801 Bins im Abstand von 1 kHz.
- Der Bin-Abstand bestimmt mit seinem Kehrwert prinzipiell die Beobachtungsdauer, hier also 1 ms.
- Während dieser Millisekunde werden nun komplexe Abtastwerte eines I/Q-Demodulators aufgenommen. Der I/Q-Demodulator wird benötigt, um den gewünschten Frequenzbereich ins komplexe Basisband zu schieben. Die Abtastrate ist mit 1024 kHz etwas größer als Fspan ($800 \text{ kHz} \cdot 1,28$).
- Die FFT berechnet daraus ebenso viele (1024) Frequenzstützpunkte (Bins), die genau 1 kHz auseinanderliegen. Tatsächlich werden nur die mittleren 801 Bins verwendet, weil die Bandbegrenzungsfilter des I/Q-Demodulators nicht beliebig steil sein können.

Vorteile:

- Absolut zeitgleiche Darstellung der Signale einer Erfassungszeit.
- Prinzipiell freie Auswahl von Abtastrate und Bin-Abstand, sofern sie über die Zweierpotenz verknüpft sind.

- Fensterung

Der Handpeiler IDA 2

- Frequenzbereich 9 kHz bis 6 GHz
- Spektrumanalyse mit Auflösungsbandbreiten (RBW) von 10 Hz bis 20 MHz, fein abgestuft
- Spektrumanalyse mit bis zu 22 MHz Span mit einer einzigen FFT
- Scope Mode (Empfängerbetrieb) mit Kanalbandbreiten (CBW) von 100 Hz bis 32 MHz und steilen, fein abgestuften Kanalfiltern. Zeitauflösung bis 32 ns, Darstellungsbereich bis 24 h
- Rauschmaß bei eingeschaltetem Vorverstärker im Antennenhandgriff: 7 dB bis 3 GHz, 10 dB bis 6 GHz
- Antennen mit automatischer Erkennung und Anwendung des Korrekturfaktors durch das Grundgerät
- Peilen mit automatischer Erstellung von Polardiagrammen und Eintrag der Ergebnisse in geografische Karten
- Spektrogramm, zeilenweise gerechnet ohne Zeit- und Frequenzbereichsbegrenzung (Stitched Mode)
- Schnelles Spektrogramm mit zeitlich lückenloser Messwertaufzeichnung; Span bis 22 MHz, Zeitauflösung bis 1 μ s bei einer Dauer von ca. 8 ms, maximale Aufzeichnungsdauer 2500 s
- IDA 2 speichert bis zu 250.000 I/Q-Datenpaare für nachträgliche interne Änderung der Darstellungsparameter sowie für externe Auswertung und Dokumentation



Technischer Fortschritt,
Fehler und Irrtümer
vorbehalten.