HAMEG®
Instruments

Fachartikel

Magie der Spektrumanalyse

Magie der Spektrumanalyse

Teil 1

Spektrumanalyse scheint für viele eine Art "Geheimwissen” zu sein, das nur wenige Spezialisten beherrschen. Diesen Eindruck könnte man gewinnen, wenn man die zur Verfügung stehende Literatur zu diesem Thema liest. Integrale, Differentiale und theoretische Betrachtungen soweit das Auge blickt. Den Praktiker interessieren aber vor allem zwei Fragen: "Wie funktioniert es und was kann ich damit tun?”.

Aus den einleitend genannten Gründen ist HAMEG in diesem Artikel den „praktischen” Weg gegangen. Wir möchten aufzeigen, dass das Messen mit dem Spektrumanalysator nicht schwieriger ist als das Arbeiten mit einem Oszilloskop. Richtig eingesetzt sind die Anwendungsmöglichkeiten des Spektrumanalysators in der Entwicklung, Qualitätssicherung und EMV-Diagnose sehr vielfältig. Ohne unzulässig zu vereinfachen, sind die Theorie und Mathematik auf ein notwendiges Minimum beschränkt.

Das Studium dieses Artikels vermittelt ein Gesamtbild über die Signalanalyse, die Gerätearten und die Einsatzmöglichkeiten. Einige Beispiele aus dem Bereich der EMV- und Frequenzgangmessung schaffen den Bezug zur Praxis.

Einleitung

Die Leistungsfähigkeit moderner Elektronik (Halbleiterbauelemente, Mikroprozessoren, Oszillatoren,...) wird unter anderem durch eine immer weiter gesteigerte Verarbeitungsgeschwindigkeit erreicht. Die dabei auftretenden Signalfrequenzen erreichen schon längst Frequenzbereiche, die nach den klassischen Methoden der Hochfrequenztechnik behandelt werden sollten. Die dazu notwendige Messtechnik bedient sich unter anderem der Spektrumanalyse. Oszilloskope und Spektrumanalysatoren haben beide ihre spezifischen Stärken und Schwächen, was im folgenden näher erläutert wird.

Das Oszilloskop

Der traditionelle Weg, elektrische Signale zu analysieren, ist die Darstellung in der Amplituden-Zeit-Ebene. Diese erfolgt u.a. mit Oszilloskopen im Yt-Betrieb (Bild 1) d.h. es werden Informationen über Amplituden und zeitliche Zusammenhänge erkennbar. Da der Mensch normalerweise im Zeitbereich denkt, ist ihm diese Darstellung leicht verständlich und vertraut. Aus diesem Grund wird das Oszilloskop auch in der Digitaltechnik gerne eingesetzt.
Da die Amplitudendarstellung linear erfolgt, hat das Oszilloskop eine kleine Dyna-

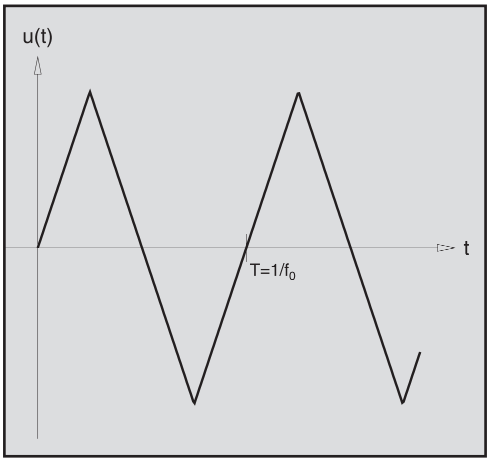

Bild 1
Klassisches Oszilloskop-Bild: Darstellung der Amplitude über die Zeit (Yt-Betrieb). Signal: Dreieck.

mik (‹30 dB). EMV-tüchtige Oszilloskope müssen sehr schnell sein, um die Flanken der Signale noch richtig auflösen zu können (Picosekunden-Bereich) und sind deshalb sehr teuer.

Der Spektrumanalysator

Als vereinfachendes Beispiel möge die Sender-Abstimmungsanzeige eines Radioempfängers einer Stereoanlage dienen. Dies ist im Prinzip ein „kleiner" Spektrumanalysator. Mit dem Abstimmknopf dreht man das Frequenzband durch und liest an der Abstimmungsanzeige die Intensität (Leistung) bei der eingestellten Frequenz ab. Als Eingangssignal wird hierbei das Frequenzspektrum aller empfangbaren Sender betrachtet. Man erhält so eine bestimmte Amplitudenverteilung über der Frequenz. Nach diesem Prinzip arbeiten Spektrumanalysatoren (Bild 2), welche erstmalig im zweiten Weltkrieg eingesetzt wurden, um einen raschen, breitbandigen Überblick über die feindlichen Aktivitäten zu bekommen.
Spektrumanalysatoren können Signalkomponenten bis zu sehr hohen Frequenzen (300 GHz) auflösen. Aufgrund der logarithmischen Darstellung besitzen sie eine sehr grosse Dynamik (›80 dB). Der Eingang ist in der Regel in 50-Ohm-Technik realisiert und kann bei hohen Signalen leicht zerstört werden (max. Eingangsempfindlichkeit beachten!).
Bei der Untersuchung von unbekannten Signalen, sollte zunächst geprüft werden, ob unzulässig hohe Spannungen vorliegen. Ausserdem ist es empfehlenswert, die Messung mit maximaler Abschwächung und dem maximal erfassbaren Frequenzbereich zu beginnen.
Bei Messungen mit dem Spektrumanalysator geht zwar die Phaseninformation verloren, diese wird aber in vielen Fällen der täglichen Messpraxis nicht benötigt.

Unterschiedliche Darstellung des gleichen Signals

Jedes periodische Signal ist einmal im Zeit- und gleichwertig im Frequenzbereich darstellbar. In Bild 2 wird dasselbe Signal wie in Bild 1 gezeigt mit dem Unterschied, dass die Darstellung im Frequenzbereich anders aussieht. Eindeutig miteinander verbunden sind die zwei Darstellungsarten über die Fouriertransformation.

Zeitbereich
‹ - ›
Frequenzbereich

Zeitfunktion ‹ - › Spektrum

u(t) ‹ - › U (f)

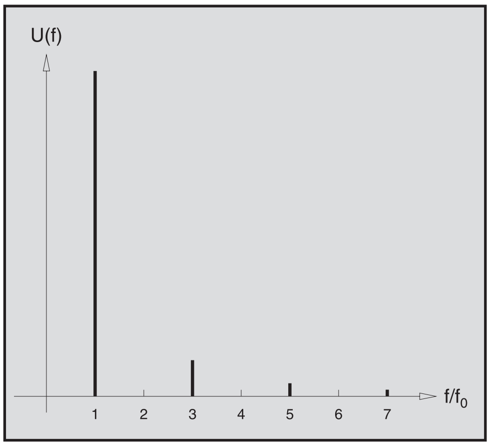

Bild 2
Bild des Spektrumanalysators: Darstellung der Amplitude über die Frequenz (Yf-Betrieb). Gleiches Signal wie Bild 2.

	Oszilloskop	Spektrumanalysator
Darstellung:	Yt-Betrieb (Amplitude über Zeit)	Yf-Betrieb (Amplitude über Frequenz)
X-Achse/Massstab:	Linear (Zeit)	Linear (Frequenz)
Y-Achse/Massstab:	Linear (Amplitude)	Logarithmisch (Amplitude)
Frequenzbereich:	DC...1,5 GHz	Grösse 0 Hz-300 GHz (keine Gleichspannung)
Dynamik:	‹ 30 dB	› 80 dB
Phaseninformation:	vorhanden	nicht vorhanden
Preise:	Einige tausend Euro bis 100 000 Euro	Einige tausend Euro bis mehrere 100 000 Euro

Tabelle 1: Vergleich Oszilloskop / Spektrumanalysator

Im Abschnitt Signaltheorie wird gezeigt, dass mit einem Oszilloskop immer die Summe aller Bestandteile sichtbar wird und mit einem Spektrumanalysator die einzelnen Spektralkomponenten mit den dazugehörigen Amplituden.
Tabelle 1 fasst die wesentlichen Merkmale des Oszilloskops und Spektrumanalysators zusammen.

Signaltheorie

Zeitbereich

Jean Joseph Fourier hat bereits im Jahre 1808 gezeigt, dass jeder periodische Vorgang in seine Grundschwingung (1. Harmonische) und deren Oberschwingung (2.,3. usw. Harmonische) zerlegt werden kann. Für die Elektrotechnik heisst dies: Jedes periodische Signal (Rechteck, Dreieck, Sägezahn, sonstige Formen) kann durch eine Summe von Sinusschwingungen unterschiedlicher Amplitude und Phasenlage dargestellt werden kann. Die Grundschwingung hat die gleiche Frequenz wie das Signal, die Oberwellen haben ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz.
Addiert (= überlagert) man zum Beispiel die gestrichelten Kurven 1 bis 4 in Bild 3, erhält man eine Dreieckspannung. Die Grundschwingung (Kurve 1) hat die gleiche Periodendauer wie das Signal selbst. Die Kurven 2 bis 4 werden als Oberwellen bezeichnet und sind immer ganzzahlige Vielfache der Grundschwingung. Je mehr Oberwellen betrachtet werden, desto „glatter" wird die Dreieckspannung.

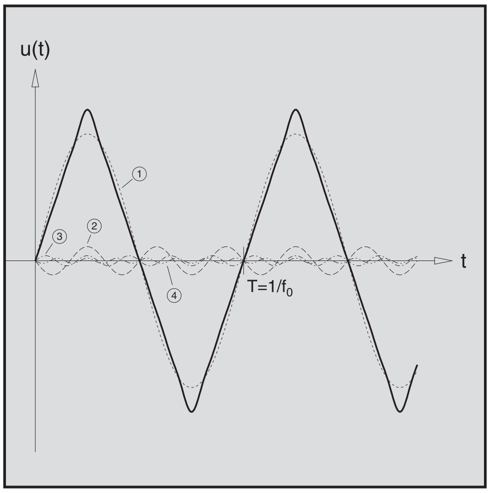

Bild 3
Kurven 1-4 addiert ergibt die Dreieckspannung

Frequenzbereich

Will man nun die Dreieckspannung im Frequenzbereich betrachten, eignet sich für das Verständnis sehr gut der Echtzeitanalysator. Am Eingang besitzt dieser eine Vielzahl von parallel geschalteten Bandpassfiltern. Wird die Dreieckspannung an den Eingang gelegt, schwingen genau die Filter ein, deren Frequenz mit den Frequenzen der Kurven 1-4 übereinstimmen. Die Ausgangsspannung jedes Filters ist ein Maß für die Amplitudenstärke bei der betreffenden Frequenz.
Auf unser Beispiel bezogen ergibt sich Tabelle 2:

Kurve 1	Frequenz	fo= 10 kHz	Amplitude=1
Kurve 2	Frequenz	3fo= 30 kHz	Amplitude=0.111
Kurve 3	Frequenz	5fo= 50 kHz	Amplitude=0.04
Kurve 4	Frequenz	7fo= 70 kHz	Amplitude=0.02

Tabelle 2

Fourier-Analyse

Wie gezeigt, kann messtechnisch die Dreieckspannung zum einen mit dem Oszilloskop im Zeitbereich (Bild 1) und zum andern mit dem Spektrumanalysator im Frequenzbereich (Bild 2) dargestellt werden.
Mathematisch erfolgt eine Transformation zwischen dem Zeit- und Frequenzbereich mittels der Fouriertransformation. Hierbei bedient man sich der Integralrechnung. An dieser Stelle möchten wir bewusst auf Beispiele verzichten, da die Anwendung überwiegend theoretischer Natur ist und der Spektrumanalysator für uns die Fouriertransformation macht.

Ablesen der Y-Werte eines Spektrumanalysator

Bei Oszilloskopen ist die Y-Achse linear skaliert. Je nach Einstellung hat eine Division (Rasterteilung) den gleichen Wert.
Beispiel:
1 Div. = 2 Volt ergibt bei 5 Div. = 10 Volt.
Die Skalierung der Y-Achse erfolgt bei Spektrumanalysatoren im logarithmischen Maßstab. Eine Division hat hier immer den gleichen Wert in dB.

Beispiel:
1 Div. = 10 dB ergibt bei 5 Div. = 50 dB.

Der Vorteil der logarithmischen Darstellung ist, dass sehr grosse Wertebereiche noch

10er Logarithmus (dB-Wert) und Leistungsverhältnis		praktisch:
0 Bel	$\widehat{=} 10^0 = 1$	Signal wird 1:1 übertragen, d.h. keine Verstärkung oder Abschwächung
1 Bel	entspricht einem Leistungsverhältnis von $10^1 = 10$	Verstärkung des Signals mit dem Faktor 10
-1 Bel	entspricht $10^{-1} = 0{,}1$	Änderung des Signals mit dem Faktor 0,1 = Abschwächung
1 dB	entspricht $10^{0,1} = 1{,}259$	Verstärkung mit Faktor 1,259
3 dB	entspricht $10^{0,3} = 1{,}995 \approx 2$	Verstärkung mit Faktor 2
10 dB	entspricht $10^1 = 10$	Verstärkung mit Faktor 10
Mathematischer Zusammenhang: $1\,\text{Bel} = \underbrace{\lg 10^1}_{\text{Bel}} = \lg (10^{0,1})^{10} = \underbrace{10 \lg 10^{0,1}}_{10\,\text{dB}}$		

Tabelle 3

vernünftig darstellbar sind.
Die Bezeichnung dB (=Dezibel) bedeutet ein Zehntel der Einheit Bel. Ein Bel ist der 10-er Logarithmus (lg) des Verhältnisses zweier Leistungen. Ein Bel weist keine Einheit auf, es ist eine dimensionslose Größe (siehe Tabelle 3).

dB auf Leistungen bezogen

In Bild 4 ist ein Vierpol gezeichnet. Die Eingangsspannung ist mit U_E, die Ausgangsspannung mit U_A bezeichnet. Der Eingangswiderstand R_E ist gleich gross wie der Lastwiderstand R_L. Die Leistungsverstärkung A_P des Vierpols kann in dB ausgedrückt werden.

$A_P = 10 \lg (P_L/P_E)$ dB Gleichung 1

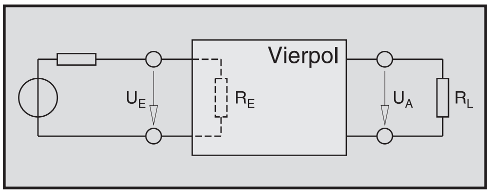

Bild 4
Die Leistungsverstärkung A_P des Vierpols kann in dB ausgedrückt werden.

dB auf Spannung bezogen

In einem Widerstand R wird die Leistung $P = U^2/R$ umgesetzt. Bezogen auf obigen Sachverhalt gilt:
$P_E = U_E^2/R_E$ und $P_L = U_A^2/R_L$.
In Gleichung 1 eingesetzt:
$A = 10 \lg (U_A^2 \times R_L/U_E^2 \times RE)$
D_a $R_E = R_L$ ist, folgt:
$A = 10 \lg (U_A^2/U_E^2)$
$A = 10 \lg (U_A/U_E)^2$ oder
$A = 2 \times 10 \lg (U_A/U_E)$
$A_U = 20 \lg (U_A/U_E)$ dB Gleichung 2

Beispiel einer dB-Rechnung

Mit $U_A = 10\,V$, $U_E = 2\,V$ folgt:
Übertragungsgröße:
$A_U = U_A/U_E = 10/2 = 5$.
Eingesetzt in Gleichung 2:
$A_U = 2 \lg 10/2$ dB
$= +13{,}96$ dB

Folgt zum Beispiel auf einen Spannungsteiler mit –10 dB ein Verstärker mit +19 dB, erhält man durch einfache Addition den Gesamt-dB Wert der Übertragungskette (hier –10 dB + 19 dB = +9 dB).

dB bezogen auf Referenzpegel (= absolute Pegel)

Die Einheit dB ist dimensionslos und drückt nur das Verhältnis zweier Leistungen oder Spannungen aus. Zur Verwendung absoluter Pegel wurden in der Technik Referenzpegel eingeführt. Bezogen auf Leistung ist die gebräuchliche Größe 1 mW.

0 dBm	$\widehat{=} 10^0$mW		=	1 mW
30 dBm	$\widehat{=} 10^3$mW	= 1000 mW	=	1 W
-30 dBm	$\widehat{=} 10^{-3}$mW	= 1/1000 mW	=	1 µW

Da bei einem gegebenen Widerstand die Beziehung $P = U^2/R$ gilt, kann man auch Spannungen in dBm ausdrücken. Für einen Bezugswiderstand von 50 Ω erhalten wir:

$U_{ref} = \sqrt{50\,\Omega \times 1\text{mW}} = 224\ \text{mV}_{eff}$
als Bezugsspannung.

Es gilt also für einen Bezugswiderstand von 50 Ω:

$U_{ref} = \sqrt{50\,\Omega \times 1\text{mW}} = 224\ \text{mV}_{eff}$ Gleichung 3

Um die Unsicherheit bei den Spannungsangaben in dBm (Referenzwiderstand 50 Ω, 75 Ω, 600 Ω) zu umgehen, ist man dazu übergegangen, Spannungspegel auf 1 µV zu beziehen. Für größere Spannungen wird 1 Volt als Bezugsgröße verwendet.

0 dBµV	$\triangleq 10^{0}$µV		= 1 µV
60 dBµV	$\triangleq 10^{3}$µV	= 1000 µV	= 1 mV
-60 dBµV	$\triangleq 10^{-3}$µV	= 1/1000 µV	= 1 nV

Beispiel: Umrechnung von Referenzpegeln:
0 dBµV ≙ 1µV ≙ -120 dBV

Es gilt:
dBµV ist ein Maß dafür, um wieviel größer eine bestimmte Spannung als die Referenzgröße (hier 1µV) ist. Es macht keinen besonderen Sinn, aber man könnte z. B. auch die Netzspannung in dBµV angeben. (230 V_{eff} in Gleichung 2 eingesetzt:

A_U = 20 lg (230 V/ 1µV) dB
= 167 dBµV).

Für Leistungen gilt entsprechendes; hier werden die Werte in Gleichung 1 eingesetzt. Der Referenzwert ($P_E = P_0$) ist 1 mW, bei einer Leistung von zum Beispiel 4 mW errechnet sich ein Wert von 6 dBm.

Umrechnung von dBm in mW

Am Spektrumanalysator wird die Höhe der Amplitude (A_p) direkt in dBm angezeigt. Liest man z. B. einen Wert von –47 dBm ab, kann man die Leistung in mW umrechnen. Dazu wird Gleichung 1 umgestellt:

$P_L/P_E = 10^{Ap/10}$
$\rightarrow P_L = P_E \times 10^{Ap/10}$
$P_L = 1\,\text{mW} \times 10^{-47/10} \rightarrow P_L = 2\,\text{nW}$

das heißt, liest man an einem Spektrumanalysator einen Pegel von -47 dBm ab, so bedeutet dies — bei der entsprechenden Frequenz — eine Leistung von 20 nW.

Umrechnung von dBm in Spannung (mV)

Um die Leistung (Referenzgröße 1 mW) in Spannungen umrechnen zu können, muss man sich immer auf einen fest definierten (Abschluss-) Widerstand beziehen. Der Spektrumanalysator hat einen 50 Ω Eingang.
Nach Gleichung 3 gilt:
$U_{ref} = 224\ \text{mV}_{eff}$

Umstellung von Gleichung 2:
$A_U = 20 \lg U_A/U_{ref}$ dB folgt:
$A_U/20 = \lg U_A/U_{ref}$ oder
$10^{A_U/20} = 10^{\lg (U_A/U_{ref})} = U_A/U_{ref}$
$\rightarrow U_A = U_{ref} \times 10^{A_U/20}$
$U_A = 224\,\text{mV} \times 10^{-47/20} = 1\,\text{mV}$

Umrechnung dBm – dBµV

Aus Gleichung 3 folgt:

0 dBm ≙ 1 mW ≙ 224 mV_{eff} (an 50 Ω)

in Gleichung 2 eingesetzt:
A_U = 20 lg (224 mV/1µV) dB = 107 dBµV_{eff}

Daraus ergibt sich der Gesamtzusammenhang:

0 dBm ≙ 1 mW ≙ 224 mV_{eff} ≙ 107 dBµV

Fazit: Liest man einen bestimmten dBm-Wert ab, so addiert man 107 und erhält den Wert in dBµV. Umgekehrt gilt das Gleiche: liest man einen bestimmten Wert in dBµV ab, subtrahiert von diesem die Zahl 107, erhält man den entsprechenden Wert in dBm (Tabelle 4)

Charakterisierung eines Spektrumanalysators

Worauf kommt es bei der Auswahl an?

Die erreichbaren Messeigenschaften eines Spektrumanalysators nach dem Heterodynverfahren können bei entsprechendem Aufwand bis in exorbitante Bereiche getrieben werden. Für eine weitere Anwendung kommen solche Geräte allerdings aufgrund des ebenfalls exorbitanten Preises (>100.000 Euro) nicht in Frage. Eine Vielzahl anstehender Signalanalyseaufgaben lassen sich schon mit deutlich geringerem Aufwand lösen. Welche Messeigenschaften bei der Auswahl eines geeigneten Messgerätes zu betrachten sind, soll anhand einiger Parameter verdeutlicht werden.

Frequenzbereich

Selbstverständlich ist der Frequenzbereich als wichtiger und preisbestimmender Parameter zu betrachten. Geräte mit einer oberen Frequenzgrenze von ca. 1 GHz lassen Messungen in den meisten Funkamateurbereichen, in dem ISM-Band bei 433 MHz, im Frequenzbereich des D-Netzes der Telekommunikation, in den terrestrischen Rundfunk- und Fernsehbändern sowie im interessierenden Frequenzbereich der EMV-Thematik zu. Oberhalb von 1 GHz wird der Geräteaufwand deutlich grösser. Hier wird z.B. ein frequenzstabilisierter YIG-Oszillator (yitrium-iron-garnet) als Umsetzoszillator verwendet, der die Gerätekosten hochtreibt.

Grösse Bezugswert	Formelzeichen	Pegel-Definition	Einheit	
Leistungspegel Bezugswert 1 W	$A_{P/W}$	$= 10 \lg (P_L/1\,W)$ dB	dBW	$P_L = 1\,W \cdot 10^{A_{P/W}/10}$
Leistungspegel Bezugswert 1 mW	$A_{P/mW}$	$= 10 \lg (P_L/1\,mW)$ dB	dBm	$P_L = 1\,mW \cdot 10^{A_{P/mW}/10}$
Spannungspegel Bezugswert 1 mW	$A_{U/V}$	$= 20 \lg (U_A/1\,V)$ dB	dBV	$U_A = 1\,V \cdot 10^{A_{U/V}/20}$
Spannungspegel Bezugswert 1 µW	$A_{U/\mu V}$	$= 20 \lg (U_A/1\,\mu V)$ dB	dBµV	$U_A = 1\,\mu V \cdot 10^{A_{U/\mu V}/20}$

Tabelle 4
Pegeldefinitionen mit verschiedenen Bezugsgrössen

Frequenzauflösung

Bevor die Frequenz eines Signals mit dem Spektrumanalysator gemessen werden kann, muss dieses Signal erfasst bzw. aufgelöst werden. Auflösung heißt dabei, es muss von benachbarten Signalen unterschieden werden können. Wichtige Kennwerte für die Trennbarkeit zweier benachbarter Spektrallinien mit stark unterschiedlicher Amplitude sind die Bandbreite und die Flankensteilheit der ZF-Filter. Die Frequenzauflösung eines Spektrumanalysators wird durch die Bandbreite des ZF-Filters der Mischkette (siehe Bild 5) bestimmt. Ist die kleinste ZF-Bandbreite z. B. 9 kHz, dann ist der kleinste Frequenzabstand, um zwei Spektrallinien voneinander trennen zu können ebenfalls 9 kHz. Filterbandbreiten unter 10 kHz können nur genutzt werden, wenn die Frequenzstabilität der Umsetzoszillatoren entsprechende Qualität aufweisen. Auflösungen unter 10 kHz werden daher teuer. In der Praxis treten derartige Anforderungen z. B. bei frequenzmodulierten Signalen auf.

Frequenzstabilität

Wichtig ist, dass Spektrumanlysatoren eine größere Frequenzstabilität besitzen als das Signal, das untersucht werden soll. Die Frequenzstabilität ist abhängig von der Stabilität des Umsetz-(Local-) Oszillators. Es wird zwischen Kurzzeit- und Langzeitstabilität unterschieden.

Amplitudengenauigkeit

Die Messwertausgabe erfolgt bei Spektrumanalysatoren im allgemeinen in logarithmischer Form. Somit kann ein Pegelumfang von z. B. 80 dB (entsprechend einem Spannungsverhältnis von 1:10.000) direkt dargestellt werden. Amplitudenfehler unterliegen damit zwei wesentlichen Ursachen, dem Amplitudenfrequenzgang und dem Logarithmierfehler. Gesamtfehler im Bereich von z. B. ±1 dB sind exzellente Werte.

Dynamikbereich / Dynamikminderung

Der Dynamikbereich ist ein wichtiges Qualitätsmerkmal und bedeutet die Fähigkeit eines Spektrumanalysators gleichzeitig kleine und große Signalamplituden darstellen zu können.

Hohe Eingangspegel sind nach oben aufgrund der begrenzten Linearität in der Mischkette, die selbst Verzerrungen oder Störsignale erzeugt begrenzt.

Niedrige Eingangspegel sind nach unten durch das Rauschen begrenzt, da nur Signale die über dem Rauschpegel liegen gemessen werden können. Durch eine Reduzierung der Auflösungsbandbreite verringert sich nach Gleichung 4 bzw. 5 die Rauschleistung d.h. nur durch eine Reduzierung der Auflösungsbandbreite wird eine Vergrösserung der Dynamik erreicht.

Eingangsempfindlichkeit

Die Empfindlichkeit ist ein Maß für die Fähigkeit des Spektrumanalysators, kleine Signale messen zu können. Die maximale Eingangsempfindlichkeit wird durch das Eigenrauschen bestimmt. Grundsätzlich können nur Signale gemessen werden, wenn sie aus dem Rauschen „herausschauen". Man unterscheidet zwei Arten: das thermische und das nicht-thermische Rauschen. Das thermische Rauschen wird mit der folgenden Formel beschrieben:

$$P_{therm} = K \times T \times B \qquad \text{Gleichung 4}$$

P_{therm} = Rauschleistung/Watt
K = Boltzmannkonstante $1{,}38 \times 10^{-23}$ VAs/K
T = absolute Temperatur/K
B = Messbandbreite/Hz

$$B\,(dB) = 10 \lg B_{(ZF)}\,(Hz) \qquad \text{Gleichung 5}$$

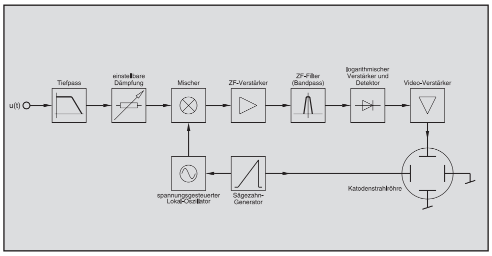

Bild 5: Prinzipeller Aufbau eines Überlagerungsempfängers.

Diese Gleichung 4 zeigt, dass die thermische Rauschleistung direkt proportional zur Bandbreite ist. Eine Bandbreitenreduzierung des Filters um eine Dekade, senkt nach Gleichung 5 die Rauschleistung um 10 dB, was wiederum eine Empfindlichkeitssteigerung um 10 dB bedingt. Alle weiteren Rauschquellen werden als nicht thermisch angenommen.

Spektrumanalysatoren werden über ein breites Frequenzband gewobbelt und sind — wie am Anfang beschrieben — schmalbandige Messinstrumente. Alle Signale, die im Frequenzbereich des Spektrumanalysators liegen, werden auf eine Zwischenfrequenz konvertiert und durchlaufen den ZF-Filter. Der Detektor hinter dem ZF-Filter sieht nur den Rauschanteil, der innerhalb der schmalen Filterbandbreite liegt. Daher wird auf dem Sichtschirm nur das Rauschen dargestellt, welches innerhalb des Durchlassbereiches des ZF-Filters liegt. Deshalb wird bei der Messung die maximale Empfindlichkeit immer mit dem schmalsten ZF-Filter erreicht.

Bei einem Empfindlichkeitsvergleich zweier Spektrumanalysatoren ist darauf zu achten, dass man sich auf die gleiche Filterbandbreite bezieht.

Bei der Raumtemperatur beträgt die theoretisch erreichbare Messempfindlichkeit -134 dBm bei B=10 kHz (ideal rechteckförmiger Filter vorausgesetzt). Damit könnten Signale ab ca. –131 dBm sichtbar gemacht werden (Signal-Rausch-Abstand = 3 dB). In der Praxis sind solche Werte nicht zu erreichen. Grenzempfindlichkeiten von –100 dBm sind als Standard anzusehen, ein Wert um –115 dBm ist als Grenze des vernünftig Machbaren (B = 10 kHz) anzusehen.