



Produkte: Signalgeneratoren, Spektrumanalysatoren, Messempfänger, Netzwerkanalysatoren, Leistungsmesser, Audioanalysatoren

dB or not dB ?

Was Sie schon immer zum Rechnen mit dB wissen wollten...

Application Note 1MA98

30 dBm + 30 dBm = 60 dBm – stimmt das oder stimmt's nicht? Warum ist 1 % einmal -40 dB, ein anderes Mal 0,1 dB bzw. 0,05 dB? Auch erfahrene Ingenieure kommen bei diesen Fragen gelegentlich ins Grübeln. Egal ob es um Leistungen, Spannungen, Reflexionsfaktor, Rauschzahl, Feldstärke und und und geht, immer taucht der Begriff dB auf. Was bedeutet das, wie rechnet man damit? Diese Applikationsschrift hilft Ihnen, früher Gelerntes wieder ins Gedächtnis zu holen.



Inhalt

1	Einführung.....	3
2	Warum rechnen wir in dB?.....	3
3	Definition des dB	3
4	Was bedeutet dBm?	4
5	Spannungs-dB – Leistungs-dB, was ist der Unterschied?	5
6	Pegel – was ist das?	6
7	Dämpfung und Verstärkung	8
	Reihenschaltung von Vierpolen:	9
8	Umrechnen von dB in Prozent und umgekehrt	9
	% Spannung in dB umrechnen und umgekehrt	9
	% Leistung in dB umrechnen und umgekehrt.....	10
	% Spannung mehr oder weniger in dB umrechnen	11
	% Leistung mehr oder weniger in dB umrechnen	11
9	Rechnen mit dB-Werten.....	12
	Addition von Leistungen	12
	Messung von Signalen an der Rauschgrenze	12
	Addition von Spannungen	13
	Spitzenspannung	16
10	Was wird alles in dB gemessen?	17
	S/N Signal-Rauschabstand	17
	Rauschen	18
	Mittelung von Rauschsignalen	19
	Rauschzahl, Rauschmass	20
	Phasenrauschen	20
	S-Parameter.....	22
	VSWR und Reflexionsfaktor	23
	Feldstärke	24
	Antennengewinn	25
	Crestfaktor	25
	Kanal- und Nachbarkanalleistung	27
	Modulationsqualität EVM	28
	Dynamikumfang von AD- und DA-Wandlern	29
	dB (FS) (Full Scale).....	30
	Schalldruckpegel.....	30
	Bewerteter Schalldruckpegel dB(A)	31
11	Einige Zahlen, die man sich merken sollte.....	32
	Tabelle Umrechnung dB – lineare Werte.....	32
	Tabelle Addition von dB-Werten	33
	Weitere nützliche Zahlenwerte.....	34
	Andere Bezugsgrößen.....	34
	Genauigkeit, Zahl der Dezimalstellen	35
12	Literatur	35
13	Weitere Informationen.....	35

1 Einführung

%, dB, dBm, dB(μ V/m) – das sind Begriffe, deren Bedeutung ein Ingenieur im Schlaf kennen muss. Tut er's nicht, hat er in seinem Job einen deutlichen Nachteil. Tauchen wie üblich diese Begriffe im Gespräch mit Kunden oder Kollegen auf, wird er sich kaum auf die Sache konzentrieren können, wenn er ständig überlegen muss – wie war das doch noch, sind 3 dB jetzt Faktor 2 oder 4 oder was? Es lohnt sich, wenn man sich diese Zusammenhänge, die man sicher schon mal gelernt hat, wieder ins Gedächtnis ruft und den Umgang damit übt.

Diese Applikationschrift ersetzt natürlich nicht ein komplettes Lehrbuch, sie kann aber als (Wieder-) Einstiegshilfe und als Gedächtnisstütze dienen.

Für die Schreibweise der Formeln und Einheiten wurden die international gültigen Regeln nach ISO 31 und IEC 27 angewandt bzw. darauf hingewiesen, wo das nicht üblich ist.

2 Warum rechnen wir in dB?

Die Zahlen, mit denen der Ingenieur täglich zu tun hat, sind oft riesig gross oder winzig klein. Meist kommt es dabei auch nur auf das Verhältnis zweier Grössen an. Eine Mobilfunkbasisstation sendet beispielsweise, Antennengewinn eingerechnet, mit ca. 80 W in Richtung Handy. Am Mobilfunkgerät kommen davon nur 0,000 000 002 W an, das sind 0,000 000 002 5 % der Sendeleistung.

Immer wenn grosse Zahlenbereiche zu überdecken sind, rechnet man vorteilhaft mit dem Logarithmus der Zahlen. So sendet die erwähnte Basisstation beispielsweise mit +49 dBm, das Handy empfängt -57 dBm, der Pegelunterschied beträgt +49 dBm - (-57 dBm) = 106 dB.

Ein weiteres Beispiel: kaskadiert man 2 Verstärker mit 12- bzw. 16-facher Leistungsverstärkung, bekommt man eine Gesamtverstärkung von 12 mal 16 = 192 – können Sie das noch im Kopf rechnen? Logarithmisch ausgedrückt sind das 10,8 dB und 12 dB, zusammen also 22,8 dB Verstärkung – das ist doch deutlich einfacher.

Die in dB ausgedrückten Zahlen sind, wie man sieht, wesentlich handlicher. Ausserdem sind Addition und Subtraktion der dB-Werte leichter im Kopf zu rechnen als die entsprechende Multiplikation oder gar die Division zweier linearer Werte. Das ist das Hauptargument für das Rechnen in dB.

3 Definition des dB

Der Logarithmus zur Basis 10 des Verhältnisses zweier Leistungen ist eine eigentlich dimensionslose Grösse, die aber zu Ehren des Erfinders des Telefons, Alexander Graham Bell, mit Bel bezeichnet wird. Um noch bequemere Zahlen zu bekommen, wird nicht in B (Bel), sondern in dB (Dezi-Bel, dezi = ein zehntel) gerechnet. Man muss dazu die Bel-Werte mit 10 multiplizieren – genauso wie man die Länge einer Strecke mit 1000 multiplizieren muss, wenn man nicht in Metern sondern in Millimetern misst.

$$\alpha = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \text{ dB}$$

Was bedeutet dBm?

Das Rechnen in dB bietet, wie schon erläutert, den Vorteil, dass die in der Hochfrequenz- und Nachrichtentechnik vorkommenden viele Grössenordnungen umfassenden Signalen mit handlichen Zahlenwerten dargestellt werden können.

Beispiel: P_1 sei 200 W und P_2 sei 100 mW. Wie gross ist das Verhältnis a in dB?

$$a = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \text{ dB} = 10 \cdot \log_{10}(2000) \text{ dB} = 33,01 \text{ dB}$$

Bevor man die Leistungen durcheinander teilt, muss man sie natürlich auf die gleiche Einheit umrechnen, also entweder in W oder in mW. Teilt man nur die Zahlenwerte 200/100, bekommt man ein falsches Ergebnis.

Heute rechnet man nahezu ausschliesslich mit dem Logarithmus zur Basis 10. Dieser Logarithmus wird mit dem Zeichen **lg** abgekürzt. In alten Lehrbüchern findet man manchmal Angaben in Neper, das ist der Logarithmus zur Basis e (e ist die Euler'sche Zahl, ca. 2,718). In dieser Applikationschrift wird nur mit dem Logarithmus zur Basis 10 gerechnet, deshalb wird im folgenden lg verwendet und die Basis nicht weiter gekennzeichnet.

Das Zurückrechnen auf lineare Werte geht natürlich auch. Man muss zunächst den dB Wert auf Bel umrechnen. Das geschieht, indem man den Wert durch 10 teilt. Anschliessend potenziert man die Zahl 10 (wir rechnen ja mit dem Logarithmus zur Basis 10) mit dem neuen Wert

$$\frac{P_1}{P_2} = 10^{\frac{a/\text{dB}}{10}}$$

Beispiel: $a = 23 \text{ dB}$, 'wie gross ist P_1/P_2 ?

Wir rechnen zuerst $23/10=2,3$, dann ergibt sich:

$$\frac{P_1}{P_2} = 10^{2,3} = 199,5$$

4 Was bedeutet dBm?

Bezieht man eine beliebige Leistung auf eine feste Bezugsgrösse, wird aus dem logarithmischen Leistungsverhältnis eine Absolutgrösse. Diese Grösse nennt man auch Pegel (siehe weiter unten).

Die in der Hochfrequenz- und Nachrichtentechnik am häufigsten benutzte Bezugsgrösse ist eine Leistung von 1 mW (ein tausendstel Watt) an 50 Ohm. Zur Kennzeichnung dieses Bezugs schreibt man nach dB noch ein angehängtes m (m für mW), also dBm.

Aus dem allgemeinen Leistungsverhältnis P_1 zu P_2 wird das Verhältnis P_1 zu 1 mW, angegeben als Pegel in dBm.

$$P = 10 \cdot \lg \left(\frac{P_1}{1 \text{ mW}} \right) \text{ dBm}$$

Die korrekte Schreibweise für diese Formel wäre nach der Norm IEC 27 übrigens eine andere. Pegel sind danach mit dem Zeichen L zu kennzeichnen und der Referenzwert ist explizit anzugeben. Damit wird diese Formel zu:

$$L_{P(\text{re } 1\text{mW})} = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_1}{1\text{mW}}\right) \text{dB}$$

oder in verkürzter Schreibweise:

$$L_{P/1\text{mW}} = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_1}{1\text{mW}}\right) \text{dB}$$

Angaben wären dann z.B. $L_{P/1\text{mW}} = 7 \text{ dB}$. Der Ausdruck 7 dBm soll nach IEC 27 ausdrücklich vermieden werden. Es sei allerdings angemerkt, dass dies nicht gerade der üblichen Praxis entspricht – im Rest dieser Applikationsschrift wird weiterhin dBm.

Um Ihnen ein Gefühl für die vorkommenden Größenordnungen zu geben, hier einige Beispiele: Der Ausgangsbereich von Messsendern geht üblicherweise von -140 dBm bis +20 dBm entsprechend 0,01 fW (Femto-Watt) bis 0,1 W. Mobilfunk-Basisstationen senden mit +43 dBm oder 20 W, Handys senden mit 10 dBm bis 33 dBm oder 10 mW bis 2 W. Rundfunksender senden mit 70 dBm bis 90 dBm bzw. 10 kW bis 1 MW.

5 Spannungs-dB – Leistungs-dB, was ist der Unterschied?

Spannungs-dB, Leistungs-dB – vergessen Sie alles, was Sie hierzu gehört haben. Es gibt nur ein dB. Das dB ist das Verhältnis zweier Leistungen P_1 und P_2 . Jede Leistung lässt sich allerdings bei bekanntem Widerstand durch eine Spannung ausdrücken.

$$P_1 = \frac{U_1^2}{R_1} \text{ und } P_2 = \frac{U_2^2}{R_2}$$

damit errechnet sich das logarithmische Verhältnis zu:

$$a = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \text{dB} = 10 \cdot \lg\left(\frac{U_1^2}{U_2^2} \cdot \frac{R_2}{R_1}\right) \text{dB}$$

Wendet man die (hoffentlich) bekannten Rechenregeln

$$\log\left(\frac{1}{x}\right) = -\log(x)$$

$$\log(x^y) = y \cdot \log(x)$$

$$\log(xy) = \log(x) + \log(y)$$

an, so wird daraus (wir verwenden wieder lg als Logarithmus zur Basis 10):

$$a = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \text{dB} = 10 \cdot \lg\left(\frac{U_1^2}{U_2^2} \cdot \frac{R_2}{R_1}\right) \text{dB} = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_1}{U_2}\right) \text{dB} - 10 \cdot \lg\left(\frac{R_1}{R_2}\right) \text{dB}$$

Man beachte das Minuszeichen vor dem Widerstandsterm.

In den meisten Fällen ist der Bezugswiderstand für die beiden Leistungen gleich, also $R_1 = R_2$. Dann kann man wegen

$$10 \cdot \lg(1) = 0$$

vereinfacht schreiben:

$$a = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \text{ dB} = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_1}{U_2}\right) \text{ dB} \quad (\text{vereinfacht für } R_1 = R_2!)$$

Damit ist auch erklärt, warum man bei Leistungsverhältnissen mit $10 \cdot \lg$ und bei Spannungsverhältnissen mit $20 \cdot \lg$ rechnet.

Achtung: Ich wiederhole, diese Formel gilt nur, wenn $R_1 = R_2$ ist. Will man wie in der TV-Technik manchmal benötigt, einen Übergang von 75 Ohm auf 50 Ohm berechnen, muss man das Widerstandsverhältnis berücksichtigen.

Das Zurückrechnen auf lineare Werte macht man wie oben beschrieben. Man muss bei Spannungsverhältnissen allerdings den Wert a durch 20 teilen, wir rechnen ja mit U^2 und **dezi**-Bel ($20 = 2 \cdot 10$, 2 von U^2 , 10 von **dezi**).

$$\frac{P_1}{P_2} = 10^{\frac{a/\text{dB}}{10}}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = 10^{\frac{a/\text{dB}}{20}}$$

6 Pegel – was ist das?

Wie schon oben erläutert, bezeichnet dBm den Bezug einer Leistung auf 1 mW. Andere häufig benutzte Bezugsgrößen sind 1 W, 1 V, 1 μV oder auch 1 A bzw. 1 μA . Die dazugehörigen Bezeichnungen sind dB (W), dB (V), dB (μV), dB (A) und dB (μA) sowie bei Feldstärkemessungen dB (W/m^2), dB (V/m), dB ($\mu\text{V}/\text{m}$), dB (A/m) und dB ($\mu\text{A}/\text{m}$). Ähnlich wie für dBm findet man auch hierfür die nach Norm eigentlich nicht korrekten Schreibweisen dBW, dBV, dB μV , dBA, dB μA , dBW/ m^2 , dBV/m, dB $\mu\text{V}/\text{m}$, dBA/m und dB $\mu\text{A}/\text{m}$.

Aus den Relativwerten Leistung P_1 (Spannung U_1) bezogen auf Leistung P_2 (Spannung U_2) werden mit den oben angegebenen Bezugswerten nun Absolutwerte.

Diese Absolutwerte bezeichnet man auch als **Pegel**. Ein Pegel von 10 dBm entspricht einem Wert von 10 dB über 1 mW, ein Pegel von -17 dB(μV) einem Wert von 17 dB unter 1 μV .

Bei der Berechnung der Größen muss man darauf achten, ob es sich um leistungsproportionale oder spannungsproportionale Größen handelt.

Leistungsproportionale Größen, (Leistungsgrößen, power quantities) sind z.B. die Leistung selbst, Energie, Widerstand, Rauschzahl und Leistungsflussdichte.

Spannungsproportionale Größen, auch Feldgrößen (field quantities) genannt, sind beispielsweise Spannung, Strom, elektrische und magnetische Feldstärke, Reflexionsfaktor.

Pegel – was ist das?

Beispiele: Eine Leistungsflussdichte von 5 W/m^2 ergibt als Pegel

$$P = 10 \cdot \lg \left(\frac{5 \text{ W/m}^2}{1 \text{ W/m}^2} \right) \text{ dB(W/m}^2) = 7 \text{ dB(W/m}^2)$$

Eine Spannung von $7 \mu\text{V}$ kann man auch als Pegel in $\text{dB}(\mu\text{V})$ ausdrücken:

$$U = 20 \cdot \lg \left(\frac{7 \mu\text{V}}{1 \mu\text{V}} \right) \text{ dB}(\mu\text{V}) = 16,9 \text{ dB}(\mu\text{V})$$

Die Umrechnung von Pegel in lineare Werte geschieht nach den Formeln:

$$P = 10^{\frac{a/\text{dB}}{10}} \cdot P_{\text{ref}}$$

bzw.

$$U = 10^{\frac{u/\text{dB}}{20}} \cdot U_{\text{ref}}$$

Beispiele: Eine Leistungspegel von -3 dB(W) ergibt als Leistung

$$P = 10^{\frac{-3}{10}} \cdot 1 \text{ W} = 0,5 \cdot 1 \text{ W} = 500 \text{ mW}$$

Ein Spannungspegel von $120 \text{ dB}(\mu\text{V})$ gibt eine Spannung von

$$U = 10^{\frac{120}{20}} \cdot 1 \mu\text{V} = 1000000 \cdot 1 \mu\text{V} = 1 \text{ V}$$

7 Dämpfung und Verstärkung

Die Leistungsverstärkung von Vierpolen ist das Verhältnis von Ausgangsleistung zu Eingangsleistung:

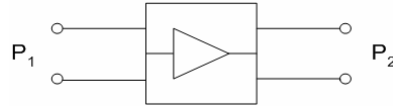


Abbildung 1: Vierpol

Sie wird im linearen Maßstab wie folgt angegeben:

$$a_{lin} = \frac{P_2}{P_1}$$

Weitaus gebräuchlicher ist jedoch die Angabe im logarithmischen Maßstab in dB:

$$a = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1} \text{ dB}$$

Ist die Ausgangsleistung P_2 eines Vierpols grösser als die Eingangsleistung P_1 , ist das logarithmische Verhältnis von P_2 zu P_1 positiv. Man spricht von **Verstärkung** (engl.: gain).

Ist die Ausgangsleistung P_2 eines Vierpols kleiner als die Eingangsleistung P_1 , wird das logarithmische Verhältnis von P_2 zu P_1 negativ. Man spricht dann von **Dämpfung** und lässt das Minuszeichen weg.

Die Berechnung des Leistungsverhältnisses bzw. des Spannungsverhältnisses aus dem dB-Wert erfolgt mit folgenden Formeln:

$$\frac{P_2}{P_1} = 10^{\frac{a/\text{dB}}{10}}$$

bzw.

$$\frac{U_2}{U_1} = 10^{\frac{a/\text{dB}}{20}} \quad (\text{für } R_{out} = R_{in})$$

Übliche Verstärker haben Werte bis zu 40 dB in einer Stufe, entsprechend Spannungsverhältnissen bis 100-fach bzw. Leistungsverhältnissen bis 10000-fach. Bei höheren Werten besteht die Gefahr, dass ein Verstärker schwingt. Größere Verstärkungswerte werden durch Reihenschaltung mehrerer Stufen realisiert. Die Schwingneigung lässt sich durch entsprechende Abschirmung vermeiden.

Handelsübliche Dämpfungsglieder gibt es hauptsächlich mit 3 dB, 6 dB, 10 dB und 20 dB. Das entspricht den Spannungsverhältnissen 0,7, 0,5, 0,3 und 0,1 bzw. den Leistungsverhältnissen 0,5, 0,25, 0,1 und 0,01. Auch hier kaskadiert man mehrere Dämpfungsglieder um höhere Werte zu erreichen. Versucht man, höhere Dämpfungswerte in einer Stufe zu realisieren, besteht die Gefahr von Übersprechen.

Reihenschaltung von Vierpolen:

Bei der Reihenschaltung (Kaskadierung) von Vierpolen lässt sich die Gesamtverstärkung (bzw. Gesamtdämpfung) leicht durch Addition der dB-Werte berechnen.

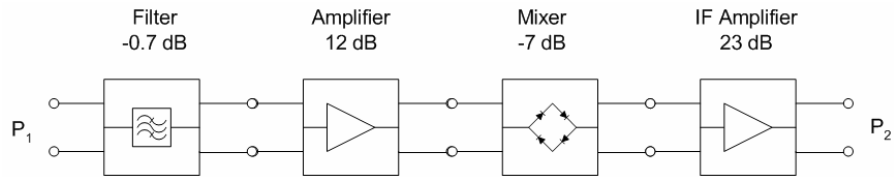


Abbildung 2: Kaskadierung von Vierpolen

Die Gesamtverstärkung errechnet sich wie folgt:

$$a = a_1 + a_2 + \dots + a_n$$

Beispiel: Abbildung 2 zeigt die Eingangsstufen eines Empfängers. Die Gesamtverstärkung a ergibt sich zu:

$$a = -0,7 \text{ dB} + 12 \text{ dB} - 7 \text{ dB} + 23 \text{ dB} = 27,3 \text{ dB}.$$

8 Umrechnen von dB in Prozent und umgekehrt

Prozent kommt aus dem Lateinischen pro centum und bedeutet wörtlich „von hundert“. 1 % ist ein hundertstel eines Wertes.

$$1 \% \text{ von } x = 0,01 \cdot x$$

Beim Rechnen mit Prozenten muss man zwei Dinge abfragen:

- rechnet man mit spannungsproportionalen Werten oder mit Leistungen?
- geht es um x % von einer Grösse oder um x % mehr bzw. weniger einer Grösse?

Spannungsproportionale Grössen sind, wie schon erwähnt, beispielsweise Spannung, Strom, Feldstärke, Reflexionsfaktor.

Leistungsproportionale Grössen sind unter anderem die Leistung selbst, Widerstand, Rauschzahl und Leistungsflussdichte.

% Spannung in dB umrechnen und umgekehrt

x % einer spannungsproportionalen Grösse rechnet man wie folgt in dB um:

$$a = 20 \cdot \lg \frac{x}{100} \text{ dB}$$

Das bedeutet: um einen Wert x % in dB zu erhalten, rechnet man den Prozentwert x zunächst in eine rationale Zahl um. Dazu teilt man den Wert

Umrechnen von dB in Prozent und umgekehrt

x durch 100. Zum Umrechnen in dB wird, wie oben gezeigt, der Logarithmus dieser rationalen Zahl mit 20 multipliziert (spannungsproportional: 20).

Beispiel: Die Ausgangsspannung eines Vierpols sei 3 % der Eingangsspannung. Wie gross ist die Dämpfung a in dB?

$$a = 20 \cdot \lg \frac{3}{100} \text{ dB} = -30,46 \text{ dB}$$

Einen dB-Wert a rechnet man folgendermassen in Prozent um:

$$x = 100 \% \cdot 10^{\frac{a/\text{dB}}{20}}$$

Beispiel: Wie gross ist die Ausgangsspannung eines 3 dB-Dämpfungsgliedes in Prozent der Eingangsspannung?

$$x = 100 \% \cdot 10^{\frac{-3}{20}} = 70,8 \%$$

Die Ausgangsspannung eines 3-dB-Dämpfungsgliedes beträgt 71 % der Eingangsspannung

Beachte: Dämpfung bedeutet negative dB-Werte!

% Leistung in dB umrechnen und umgekehrt

x % einer leistungsproportionalen Grösse rechnet man wie folgt in dB um:

$$a = 10 \cdot \lg \frac{x}{100} \text{ dB}$$

Um einen Wert in dB zu erhalten, rechnet man, wie oben gezeigt, den Prozentwert zunächst in eine rationale Zahl um. Dazu teilt man den Wert durch 100. Zum Umrechnen in dB wird, wie in Kapitel 2 gezeigt, der Logarithmus dieser rationalen Zahl mit 10 multipliziert (leistungsproportional: 10).

Beispiel: Die Ausgangsleistung eines Vierpols sei 3 % der Eingangsleistung. Wie gross ist die Dämpfung a in dB?

$$3 \% \cdot P = 0,03 \cdot P$$

$$a = 10 \cdot \lg \frac{3}{100} \text{ dB} = -15,23 \text{ dB}$$

Einen dB-Wert a rechnet man folgendermassen in Prozent um:

$$x = 100 \% \cdot 10^{\frac{a/\text{dB}}{10}}$$

Beispiel: Wie gross ist die Ausgangsleistung eines 3 dB-Dämpfungsgliedes in Prozent der Eingangsleistung?

$$x = 100 \% \cdot 10^{\frac{-3}{10}} = 50,1 \%$$

Die Leistung am Ausgang eines 3-dB-Dämpfungsgliedes ist halb so gross (50 %) wie die Eingangsleistung.

Beachte: Dämpfung bedeutet auch hier negative dB-Werte!

% Spannung mehr oder weniger in dB umrechnen

x % mehr (bzw. weniger) eines Wertes bedeutet, dass man zum Ausgangswert den gegebenen Prozentsatz dieses Wertes dazu zählt (bzw. abzieht). Soll beispielsweise die Ausgangsspannung U_2 eines Verstärkers x % grösser als die Eingangsspannung U_1 sein, rechnet man wie folgt:

$$U_2 = U_1 + x \% \cdot U_1 = U_1 \left(1 + \frac{x}{100} \right)$$

Ist die Ausgangsspannung kleiner als die Eingangsspannung, ist x als negativer Wert einzusetzen.

Die Umrechnung in einen dB-Wert erfolgt nach der Formel:

$$a = 20 \cdot \lg \left(1 + \frac{x}{100} \right) \text{ dB}$$

Beachte: bei spannungsproportionalen Grössen ist der Faktor 20 zu verwenden.

Beispiel: Die Ausgangsspannung eines Verstärkers ist 12,2 % grösser als die Eingangsspannung. Wie gross ist die Verstärkung in dB?

$$a = 20 \cdot \lg \left(1 + \frac{12,2}{100} \right) \text{ dB} = 1 \text{ dB}$$

Man beachte, dass schon ab relativ kleinen %-Werten derselbe Zahlenwert in % mehr einen anderen dB-Wert ergibt als der %-Wert weniger.

20 % mehr ergibt +1,58 dB

20 % weniger ergibt -1,94 dB

% Leistung mehr oder weniger in dB umrechnen

Analog zu den Betrachtungen für Spannung gilt für Leistungen:

$$P_2 = P_1 + x \% \cdot P_1 = P_1 \left(1 + \frac{x}{100} \right)$$

Die Umrechnung in einen dB-Wert erfolgt nach der Formel:

$$a = 10 \cdot \lg \left(1 + \frac{x}{100} \right) \text{ dB}$$

Beachte: bei leistungsproportionalen Grössen ist der Faktor 10 zu verwenden.

Beispiel: Die Ausgangsleistung eines Dämpfungsgliedes sei 20 % kleiner als die Eingangsleistung. Wie gross ist die Dämpfung in dB?

$$a = 10 \cdot \lg \left(1 + \frac{-20}{100} \right) \text{ dB} = -0,97 \text{ dB} \approx -1 \text{ dB}$$

Auch hier tritt eine Unsymmetrie der dB-Werte schon bei kleinen %-Werten auf.

9 Rechnen mit dB-Werten

Dieses Kapitel zeigt Ihnen, wie man Leistungen und Spannungen addiert, die im logarithmischen Mass, also in dB vorliegen.

Addition von Leistungen

30 dBm + 30 dBm = 60 dBm? Natürlich nicht! Rechnet man die Leistungen in lineare Wert um wird schnell klar, dass $1\text{ W} + 1\text{ W} = 2\text{ W}$ sind. Das sind dann 33 dBm und nicht 60 dBm. Das gilt allerdings nur, wenn die zu addierenden Signale unkorreliert sind. Unkorreliert bedeutet, die Momentanwerte der Leistungen haben keinen starren Phasenbezug zueinander.

Merke: Leistungen, die im logarithmischen Mass angegeben sind, muss man vor der Addition immer delogarithmieren und dann die linearen Werte addieren. Wenn es praktischer ist, mit dB Werten weiter zu arbeiten, muss man eben den Summenwert wieder in dBm umrechnen.

Beispiel: 3 Signale P_1 , P_2 und P_3 mit 0 dBm, +3 dBm und -6 dBm sollen addiert werden. Wie gross ist die Gesamtleistung?

$$P_1 = 10^{\frac{0}{10}} = 1\text{ mW}$$

$$P_2 = 10^{\frac{3}{10}} = 2\text{ mW}$$

$$P_3 = 10^{\frac{-6}{10}} = 0,25\text{ mW}$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 3,25\text{ mW}$$

Diese Leistung kann man jetzt wieder in dBm umrechnen:

$$P = 10 \cdot \lg\left(\frac{3,25\text{ mW}}{1\text{ mW}}\right) \text{ dBm} = 5,12\text{ dBm}$$

Die Gesamtleistung ist somit 5,12 dBm

Messung von Signalen an der Rauschgrenze

Eine häufig vorkommende Aufgabe ist die Messung schwacher Signale in der Nähe der Rauschgrenze des Messgerätes, beispielsweise eines Empfängers oder eines Spektrumanalysators. Das Messgerät zeigt die Summe aus Eigenrauschen und Signalleistung an, es soll aber die Signalleistung allein bestimmt werden. Voraussetzung für die folgende Rechnung ist, dass das Messgerät die Effektivleistung der Signale anzeigt. Bei Leistungsmessern ist das fast immer der Fall, bei Spektrumanalysatoren muss der sogenannte RMS-Detektor eingeschaltet werden.

Man bestimmt zunächst die Eigenrauschanzeige P_r des Messgeräts, indem man das Signal abklemmt. Danach misst man das Signal mit Rauschen

P_{tot} : Die Leistung P des Signals allein bekommt man durch Subtraktion der linearen Leistungswerte.

Beispiel: Der angezeigte Rauschpegel P_r eines Spektrumanalysators (ohne angelegtes Signal) beträgt -70 dBm. Mit Signal steigt die Anzeige auf $P_{tot} = -65$ dBm. Wie gross ist die Leistung des Signals P in dBm?

$$P_r = 10^{\frac{-70}{10}} \text{ mW} = 0,0000001 \text{ mW}$$

$$P_{tot} = 10^{\frac{-65}{10}} \text{ mW} = 0,000000316 \text{ mW}$$

$$P = P_{tot} - P_r$$

$$P = 0,000000316 \text{ mW} - 0,0000001 \text{ mW} = 0,000000216 \text{ mW}$$

$$P = 10 \cdot \lg \frac{0,000000216 \text{ mW}}{1 \text{ mW}} \text{ dBm} = -66,6 \text{ dBm}$$

Die Signalleistung P ist -66.6 dBm

Man sieht, dass ohne Korrektur des Rauschens der Pegel des Signals immerhin $1,6$ dB zu hoch angezeigt wird, ein relativ grosser Messfehler.

Addition von Spannungen

Auch dB-Werte spannungsproportionaler Grössen lassen sich nur addieren, wenn man sie vorher delogarithmiert. Zusätzlich muss man noch wissen, ob die Spannungen unkorreliert oder korreliert sind. Bei korrelierten Spannungen muss man auch noch die Phasenbeziehung der Spannungen kennen.

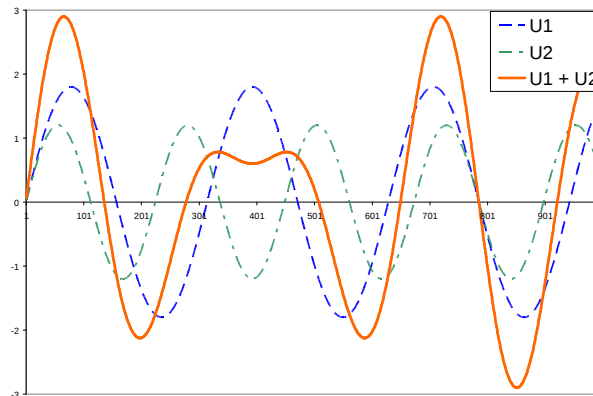


Abbildung 3: Addition zweier unkorrelierter Spannungen

Unkorrelierte Spannungen addiert man quadratisch, d.h. eigentlich addiert man die zugehörigen Leistungen. Der Widerstand, an dem diese Spannungen anliegen, ist natürlich für alle Signale gleich, er kürzt sich daher aus der Formel heraus.

$$U = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}$$

Rechnen mit dB-Werten

Sind die einzelnen Spannungen als Pegelwerte z.B. in dB(V) angegeben, muss man sie zuerst in lineare Werte umrechnen.

Beispiel: 3 unkorrelierte Spannungen mit $U_1 = 0 \text{ dB(V)}$, $U_2 = -6 \text{ dB(V)}$ und $U_3 = +3 \text{ dB(V)}$ addieren sich wie folgt zur Gesamtspannung U :

$$U_1 = 10^{\frac{U_1/\text{dB(V)}}{20}} \cdot U_{\text{ref}} = 10^{\frac{0}{20}} \cdot 1 \text{ V} = 1 \text{ V}$$

$$U_2 = 10^{\frac{U_2/\text{dB(V)}}{20}} \cdot U_{\text{ref}} = 10^{\frac{-6}{20}} \cdot 1 \text{ V} = 0,5 \text{ V}$$

$$U_3 = 10^{\frac{U_3/\text{dB(V)}}{20}} \cdot U_{\text{ref}} = 10^{\frac{3}{20}} \cdot 1 \text{ V} = 1,41 \text{ V}$$

$$U = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2} = \sqrt{1^2 + 0,5^2 + 1,41^2} \text{ V} = 1,75 \text{ V}$$

Die Umrechnung von U in dB(V) ergibt

$$U = 20 \log \frac{1,75 \text{ V}}{1 \text{ V}} \text{ dB(V)} = 4,86 \text{ dB(V)}$$

Sind die Spannungen korreliert, wird die Berechnung wesentlich komplizierter. Wie die folgenden Bilder zeigen, bestimmt die Phasenlage der Spannungen, welche Gesamtspannung erreicht wird.

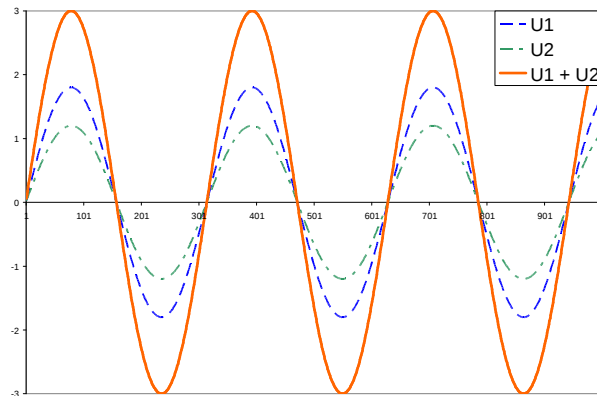


Abbildung 4: Addition zweier korrelierter Spannungen, Phasenwinkel 0°

Blau ist Spannung U_1 , Grün Spannung U_2 , Rot die Summenspannung U

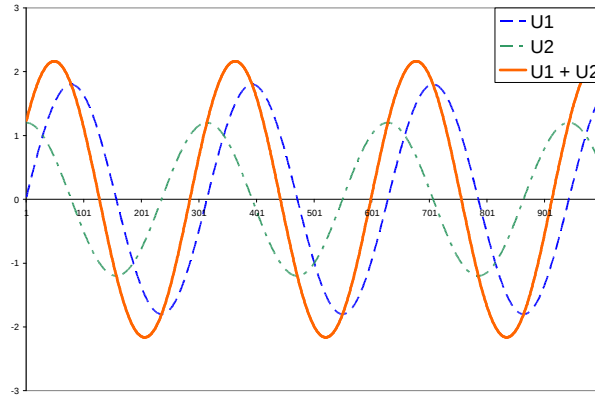


Abbildung 5: Addition zweier korrelierter Spannungen, Phasenwinkel 90°

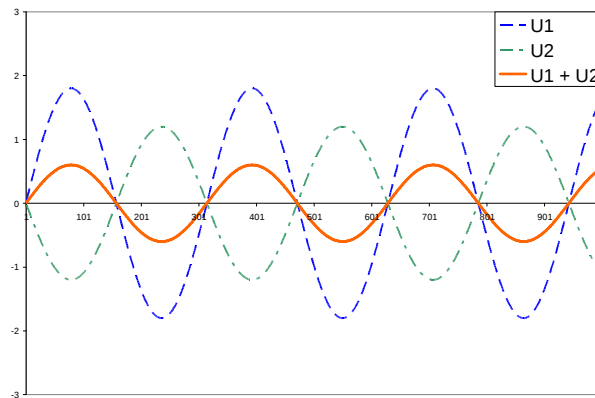


Abbildung 6: Addition zweier korrelierter Spannungen, Phasenwinkel 180°

Die Gesamtspannung U reicht von $U_{\max} = U_1 + U_2$ für Phasenlage 0° (gleichphasig) bis $U_{\min} = U_1 - U_2$ bei Phase 180° (gegenphasig). Bei Phasenlagen dazwischen ist die Vektorsumme der Spannungen zu bilden (hier nicht näher erläutert).

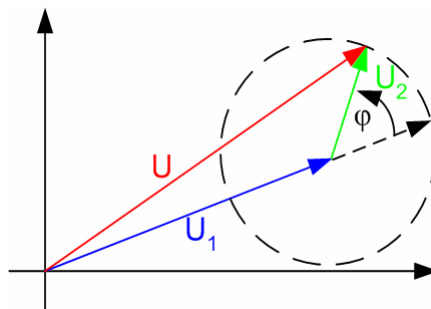


Abbildung 7: Vektorielle Addition zweier Spannungen

In der Praxis muss man normalerweise nur die Extremwerte der Spannungen kennen, also $U_{\max}$ und $U_{\min}$.

Sind die Spannungen U_1 und U_2 als Pegelwerte in dB(V) oder dB(μ V) gegeben, erfolgt erst die Umrechnung in lineare Werte analog zu der Berechnung bei unkorrelierten Spannungen, die Addition erfolgt jedoch nicht quadratisch, sondern linear (siehe die nachfolgende Betrachtung zu Spitzenspannungen).

Spitzenspannung

Gibt man ein Gemisch aus verschiedenen Spannungen auf den Eingang von Verstärkern oder Empfängern / Spektrumanalysatoren, muss man die Spitzenspannung kennen. Überschreitet die Spitzenspannung einen gewissen Wert, kommt es zu Begrenzungseffekten, die sich in unerwünschten Mischsignalen oder schlechter Nachbarkanalleistung äussern. Die Spitzenspannung U ergibt sich zu

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

Die maximale Aussteuerung von Verstärkern und Analysatoren wird meist in dBm angegeben, die Umrechnung aus der Spitzenspannung erfolgt in einem 50 Ω -System so:

$$P = 10 \cdot \lg \left(\frac{U^2}{50\Omega} \cdot 10^3 \right) \text{ dBm}$$

Der Faktor 10^3 kommt von der Umrechnung von Watt in Milliwatt.

Man beachte, dass diese Leistung einer momentanen Spitzenleistung und nicht dem Effektivwert einer Leistung entspricht.

10 Was wird alles in dB gemessen?

In diesem Kapitel werden kurzgefasst einige Begriffe und Messgrössen erläutert, die üblicherweise in dB angegeben werden. Die Auswahl ist sicher nicht vollständig. Zur Vertiefung ziehen Sie bitte die einschlägige Literatur zu Rate. Die nachfolgenden Abschnitte sind voneinander unabhängig, müssen also nicht in der gegebenen Reihenfolge gelesen werden.

S/N Signal-Rauschabstand

Eine der wichtigsten Grössen bei der Messung von Signalen ist der Signal-Rauschabstand S/N. Je schlechter der Wert ist, desto stärker schwanken die Messwerte. Zur Bestimmung des S/N misst man zuerst die Signalleistung S und anschliessend die Rauschleistung N, wobei das Signal abgeschaltet oder durch Filter unterdrückt wird. Genaugenommen lässt sich das Signal gar nicht völlig ohne Rauschen messen, sodass man nur bei gutem S/N zu richtigen Ergebnissen kommt.

$$SN = \frac{S}{N}$$

oder in dB

$$SN = 10 \cdot \lg \frac{S}{N} \text{ dB}$$

Manchmal sind ausser Rauschen auch noch Verzerrungsprodukte (Distortion) vorhanden. Dann ist es üblich, statt des S/N das Verhältnis des Signals S zur Summe aus Rauschleistung N plus Leistung der Verzerrungen D zu bilden. Im Englischen heisst das Signal to Noise And Distortion und wird mit SINAD abgekürzt.

$$SINAD = \frac{S}{N + D}$$

oder in dB

$$SINAD = 10 \lg \frac{S}{N + D} \text{ dB}$$

Beispiel: Der S/N-Wert eines FM-Rundfunkempfängers wird gemessen, indem man einen Messsender mit 1 kHz und entsprechendem FM-Hub moduliert. Am Lautsprecherausgang des Empfängers misst man die Signalleistung zu beispielsweise 100 mW. Jetzt schaltet man die Modulation des Messenders ab und misst die Rauschleistung am Empfängerenausgang mit 0,1 µW. Das S/N errechnet sich dann zu

$$SN = 10 \cdot \lg \frac{100 \text{ mW}}{0,1 \mu\text{W}} \text{ dB} = 60 \text{ dB}$$

Zur Bestimmung des SINAD-Wertes moduliert man den Messsender wieder mit 1 kHz und misst die Empfängerleistung wieder zu 100 mW. Anschliessen unterdrückt man das 1 kHz Signal durch ein schmales Notch-Filter im Messgerät. Jetzt misst man am Empfängerenausgang nur mehr das Rauschen

Was wird alles in dB gemessen?

und die durch Klirrfaktor hervorgerufenen Verzerrungen. Dieser Messwert sei $0,5 \mu\text{W}$. Der SINAD-Wert ergibt sich zu

$$\text{SINAD} = 10 \cdot \lg \frac{100 \text{ mW}}{0,5 \mu\text{W}} \text{ dB} = 53 \text{ dB}$$

Rauschen

Rauschen entsteht durch die Wärmebewegung von Elektronen in elektrischen Leitern. Die Leistung P , die dabei an einen Verbraucher (Empfängereingang, Verstärkereingang) abgegeben werden kann, ist von der Temperatur T abhängig sowie von der jeweiligen Messbandbreite B (Bandbreite B bitte nicht mit B = Bel verwechseln!).

$$P = kTB$$

Dabei ist k die Boltzmannkonstante $1,38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$ (Joule pro Kelvin, 1 Joule = 1 Wattsekunde), T die Temperatur in K (Kelvin, 0 K entspricht $-273,15^\circ\text{C}$ oder $-459,67^\circ\text{F}$) und B die Messbandbreite in Hz.

Bei Raumtemperatur (20°C , 68°F) und einer Bandbreite von 1 Hz ergibt sich eine Leistung von

$$P = kTB = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ W s K}^{-1} \cdot 293,15 \text{ K} \cdot 1 \text{ Hz} = 4,047 \cdot 10^{-21} \text{ W}$$

Rechnet man diese Leistung in dBm um, erhält man pro Hertz Bandbreite

$$P/\text{Hz} = 10 \cdot \lg \left(\frac{4,047 \cdot 10^{-18} \text{ mW}}{1 \text{ mW}} \right) \text{ dBm/Hz} = -173,93 \text{ dBm/Hz}$$

Die thermische Rauschleistung an einem Empfängereingang ist -174 dBm pro Hertz Bandbreite. Diese Leistung ist übrigens unabhängig von der Grösse des Eingangswiderstandes, gilt also für 50Ω -, 60Ω - und 75Ω -Systeme gleichermaßen.

Die Leistung ist proportional zur Bandbreite B . Mit dem Bandbreitenfaktor b in dB lässt sich die Gesamtleistung folgendermassen berechnen:

$$b = 10 \cdot \lg \left(\frac{B}{1 \text{ Hz}} \right) \text{ dB}$$

$$P = -174 \text{ dBm} + b$$

Beispiel: Ein fiktiver, selbst nicht rauschender Spektrumanalysator ist auf eine Bandbreite von 1 MHz eingestellt. Wie gross ist die angezeigte Rauschleistung?

$$b = 10 \cdot \lg \left(\frac{1 \text{ MHz}}{1 \text{ Hz}} \right) \text{ dB} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1000000 \text{ Hz}}{1 \text{ Hz}} \right) \text{ dB} = 60 \text{ dB}$$

$$P = -174 \text{ dBm} + 60 \text{ dB} = -114 \text{ dBm}$$

Die angezeigte Rauschleistung bei Raumtemperatur und 1 MHz Bandbreite beträgt -114 dBm

Was wird alles in dB gemessen?

Ein Empfänger / Spektrumanalysator mit 1 MHz Bandbreite rauscht um 60 dB mehr als einer mit 1 Hz Bandbreite. Die Rauschanzeige liegt bei -114 dBm. Will man kleinere Signale messen, muss man die Bandbreite verkleinern. Das geht allerdings nur bis zur Bandbreite des Signals. Bis zu einem gewissen Grad kann man auch Signale messen, die unterhalb der Rauschgrenze liegen, weil sich durch jedes zusätzliche Signal die angezeigte Gesamtleistung erhöht (siehe Abschnitt Messung von Signalen an der Rauschgrenze weiter oben). Man stößt da aber sehr schnell an die Auflösungsgrenze der Messgeräte.

Spezialanwendungen erfordern die Erfassung sehr kleiner Signale, wie sie beispielsweise von Raumsonden oder Sternen stammen. Hier hilft nur das Kühlen der Empfängereingangsstufen auf Werte nahe des absoluten Temperatur-Nullpunkts (-273,15 °C bzw. -459,67 F).

Mittelung von Rauschsignalen

Um die Anzeige von Rauschsignalen stabiler zu machen, schaltet man üblicherweise die Mittelungsfunktion (Averaging) von Spektrumanalysatoren ein. Die meisten handelsüblichen Spektrumanalysatoren bewerten die Signale mit einem sogenannten Sample-Detektor und mitteln die auf dem Bildschirm dargestellten logarithmischen Werte. Dabei kommt es zu einem systematischen Messfehler, da niedrige Messwerte überproportional stark in das Ergebnis eingehen. Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht diesen Effekt an einem sinusförmig amplitudenmodulierten Signal.

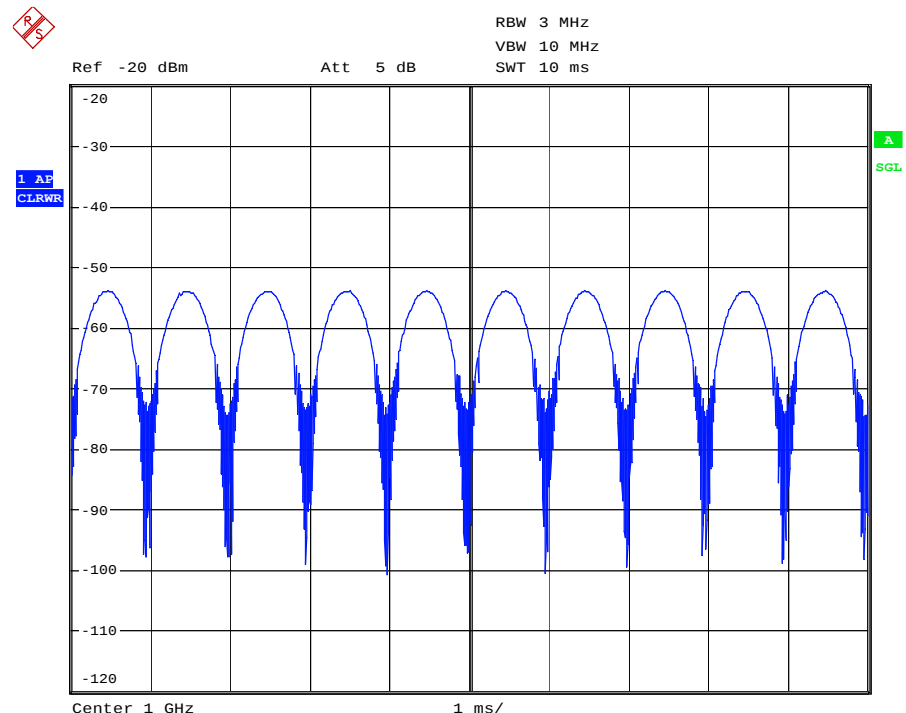


Abbildung 8: Amplitudenmoduliertes Signal

Wie man sieht, wird der Sinus zu einer Art Kardioide verzerrt, die einen um 2,5 dB zu niedrigen Mittelungswert ergibt. R&S Spektrumanalysatoren haben einen RMS-Detektor, der diesen Messfehler vermeidet (siehe [3]).

Rauschzahl, Rauschmass

Die Rauschzahl F eines Vierpols ist definiert als Verhältnis des Signal-Rauschabstands SN_{in} am Eingang zu Signal-Rauschabstand SN_{out} am Ausgang des Vierpols.

$$F = \frac{SN_{in}}{SN_{out}}$$

Das Signal-Rauschverhältnis S/N wird dabei wie oben beschrieben bestimmt.

Gibt man die Rauschzahl im logarithmischen Mass an, spricht man von Rauschmass NF (Noise Figure).

$$NF = 10 \cdot \lg \frac{SN_{in}}{SN_{out}} \text{ dB}$$

Bei der Berechnung der resultierenden Rauschzahl kaskadierter Vierpole sind bestimmte Dinge zu beachten, auf die hier aber nicht eingegangen wird. Details sind in der Fachliteratur oder im Internet zu finden (siehe [2], [3]).

Phasenrauschen

Ein Oszillator sollte eigentlich ein unendlich schmales Spektrum aufweisen. Durch verschiedene physikalische Effekte schwankt aber die Phasenlage des Signals geringfügig, was sich in einer Verbreiterung des Spektrums auswirkt, man spricht von Phasenrauschen. Dieses Phasenrauschen kann man messen, wobei man aber einen Vergleichsoszillator braucht, der selbst deutlich besser ist als das Messobjekt. Auf ganz spezielle Techniken, mit denen man auch sehr gute Oszillatoren nachmessen kann, wird hier nicht weiter eingegangen.

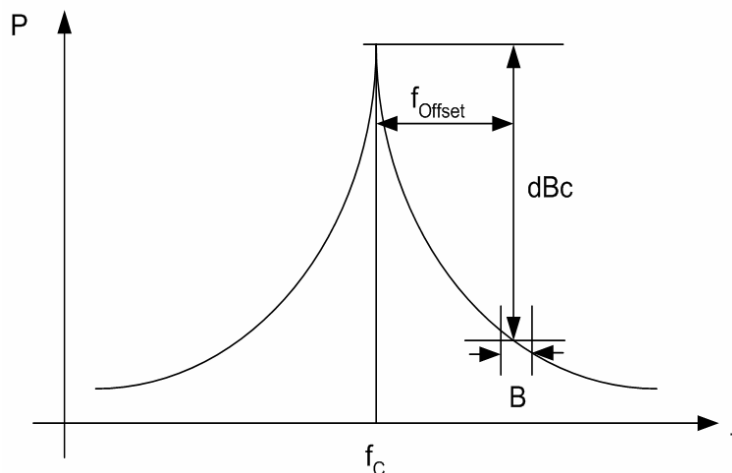


Abbildung 9: Phasenrauschen eines Oszillators

Das Phasenrauschen, genauer gesagt, das Einseitenband- (SSB, Single Side Band) Phasenrauschen, misst man, indem man die Rauschleistung des Oszillators P_R in Abhängigkeit des Frequenzabstandes zur Trägerfre-

quenz f_c , der sogenannten Offsetfrequenz f_{Offset} , mit einem schmalbandigen Empfänger oder Spektrumanalysator misst und zur Leistung des Trägers P_c in Bezug setzt. Auch die Messbandbreite B wird rechnerisch auf 1 Hz reduziert, sodass man auf Angaben dBc in 1 Hz Bandbreite kommt. Das c in dBc steht dabei für Carrier, der englische Ausdruck für Träger.

$$L = 10 \cdot \lg \left(\frac{P_R}{P_c} \cdot \frac{1}{B / 1 \text{ Hz}} \right) \text{dBc}$$

Auch dBc ist nicht normkonform, wird aber überall verwendet. Eine Umrechnung in einen linearen Leistungswert wäre möglich, ist aber nicht üblich.

In Datenblättern von Oszillatoren, Signalgeneratoren und Spektrumanalysatoren findet man meist eine Tabelle mit Phasenrauschwerten bei verschiedenen Offsetfrequenzen. Man geht davon aus, dass die Werte für das obere und das untere Seitenband gleich sind.

Offset	SSB Phasenrauschen
10 Hz	–86 dBc (1 Hz)
100 Hz	–100 dBc (1 Hz)
1 kHz	–116 dBc (1 Hz)
10 kHz	–123 dBc (1 Hz)
100 kHz	–123 dBc (1 Hz)
1 MHz	–144 dBc (1 Hz)
10 MHz	–160 dBc (1 Hz)

Tabelle 1: SSB Phasenrauschen bei 640 MHz

In den meisten Datenblättern findet man Kurven für den Einseitenbandphasenrauschabstand, die nicht so monoton abfallen, wie in Bild 9 dargestellt. Das kommt daher, dass die Phasenregelschleifen, mit denen die Oszillatoren in heutigen Geräten an einen Referenzquarzoszillator angebunden sind, eine Verbesserung, aber auch, bei ungeschickter Auslegung, eine Verschlechterung des Phasenrauschens in Abhängigkeit von der Offsetfrequenz bewirken.

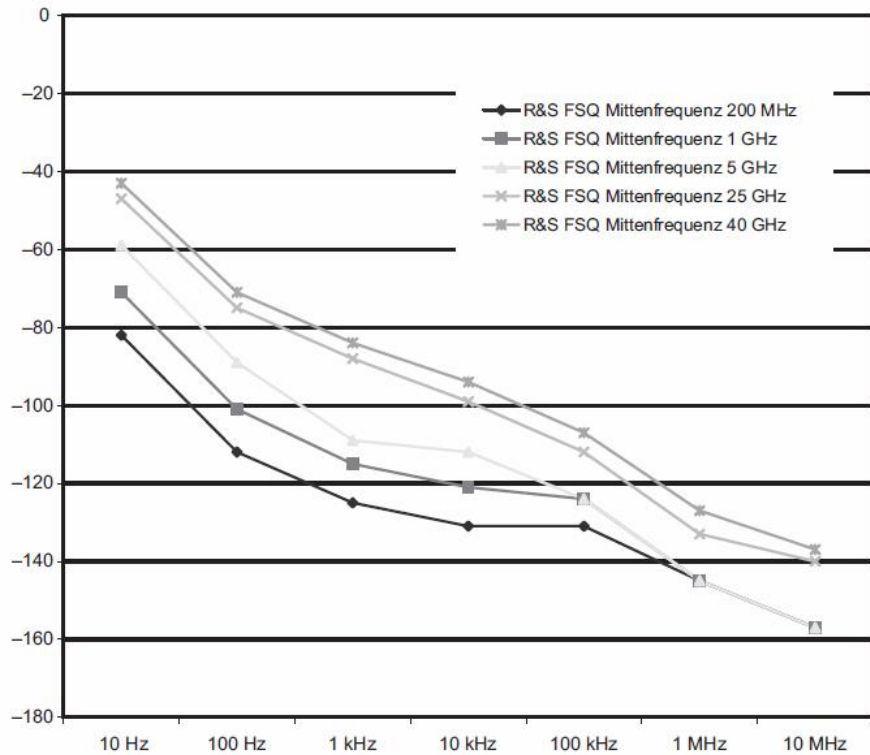


Abbildung 10: Phasenrauschkurven des Spektrumanalysators R&S® FSQ

Beim Vergleich von Oszillatoren muss man auch den Wert der Trägerfrequenz beachten. Vervielfacht man die Frequenz eines Oszillators mit einem rauschfreien Vervielfacher (geht nur theoretisch), verschlechtert sich der Phasenrauschabstand spannungsproportional, d.h. bei 10-facher Frequenz ist das Phasenrauschen bei gleicher Offsetfrequenz um 20 dB schlechter. Mikrowellenoszillatoren sind daher im Allgemeinen immer schlechter als HF-Oszillatoren. Beim Mischen zweier Signale addieren sich die Rauschleistungen der beiden Signale für jede Offsetfrequenz.

S-Parameter

Vierpole werden durch ihre 4 S-Parameter S_{11} (Eingangsreflexionsfaktor), S_{21} (Übertragungsfaktor), S_{12} (Rückwirkungsfaktor) und S_{22} (Ausgangsreflexionsfaktor) charakterisiert.

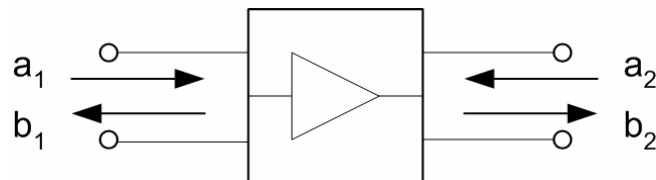


Abbildung 11: S-Parameter eines Vierpols

Was wird alles in dB gemessen?

Diese S-Parameter lassen sich aus den Wellengrößen a_1 , b_1 und a_2 , b_2 wie folgt berechnen:

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \quad S_{21} = \frac{b_2}{a_1} \quad S_{12} = \frac{b_1}{a_2} \quad S_{22} = \frac{b_2}{a_2}$$

Die Wellengrößen a und b sind spannungsproportionale Größen.

Gibt man die S-Parameter als dB Werte an, gelten folgende Formeln:

$$s_{11} = 20 \cdot \lg S_{11} \text{ dB} \quad s_{21} = 20 \cdot \lg S_{21} \text{ dB}$$

$$s_{12} = 20 \cdot \lg S_{12} \text{ dB} \quad s_{22} = 20 \cdot \lg S_{22} \text{ dB}$$

VSWR und Reflexionsfaktor

Das VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) oder SWR (Standing Wave Ratio) ist wie der Reflexionsfaktor ein Maß für die Anpassung einer Signalquelle oder einer Senke an den Bezugswellenwiderstand. Das VSWR selbst (Wertebereich 1 bis unendlich) wird nicht in dB angegeben, wohl aber der Reflexionsfaktor r .

Der Zusammenhang zwischen r und VSWR ist

$$r = \left| \frac{1 - VSWR}{1 + VSWR} \right|$$

$$VSWR = \left| \frac{1 + r}{1 - r} \right|$$

Für VSWR =1 (sehr gute Anpassung) wird $r = 0$, für sehr großes VSWR geht r gegen 1 (Fehlanspassung oder Totalreflexion)

r ist selbst schon das Verhältnis zweier spannungsproportionaler Größen. Für r in dB gilt daher:

$$a_r = 20 \cdot \lg \left(\frac{r}{1} \right) \text{ dB bzw.}$$

$$r = 10^{\frac{a_r / \text{dB}}{20}}$$

a_r nennt man auch Rückflusdämpfung.

Zur Berechnung des VSWR aus dem Reflexionsfaktor ist r als linearer Wert einzusetzen.

Die nachfolgende Tabelle zeigt den Zusammenhang zwischen VSWR, r und a_r . Zum Umrechnen von VSWR auf r halbiert man einfach den Nachkommaanteil des VSWR. Das passt gut für VSWR-Werte bis 1,2.

VSWR	r	ar [dB]
1,002	0,001	60
1,004	0,002	54
1,006	0,003	50
1,008	0,004	48
1,01	0,005	46
1,02	0,01	40
1,04	0,02	34
1,1	0,05	26
1,2	0,1	20
1,3	0,13	18
1,4	0,16	15
1,5	0,2	14

Tabelle 2: Umrechnung VSWR in Reflexionsfaktor r und Rückflußdämpfung a_r

Bei Vierpolen entspricht r übrigens dem Eingangsreflexionsfaktor S_{11} bzw. dem Ausgangsreflexionsfaktor S_{22} .

Die kleinsten Reflexionsfaktoren erreichen Dämpfungsglieder. Gute Dämpfungsglieder haben Reflexionsfaktoren $< 5\%$ bis hinauf zu 18 GHz. Das entspricht einer Reflexionsdämpfung von > 26 dB bzw. einem VSWR $< 1,1$. Eingänge von Messgeräten und Ausgänge von Signalquellen haben übliche VSWR-Spezifikationen $< 1,5$, das entspricht $r < 0,2$ bzw. $a_r > 14$ dB.

Feldstärke

Bei Feldstärkemessungen tauchen die Begriffe Leistungsflussdichte, elektrische und magnetische Feldstärke auf.

Die **Leistungsflussdichte** S wird in W/m^2 oder mW/m^2 gemessen, die entsprechenden logarithmischen Masse sind $\text{dB(W/m}^2\text{)}$ bzw. dBm/m^2

$$S = 10 \cdot \lg\left(\frac{S}{1 \text{ W/m}^2}\right) \text{ dB(W/m}^2\text{)}$$

$$S = 10 \cdot \lg\left(\frac{S}{1 \text{ mW/m}^2}\right) \text{ dBm/m}^2$$

Die **elektrische Feldstärke** E wird in V/m oder $\mu\text{V/m}$ gemessen, die entsprechenden logarithmischen Einheiten sind dB(V/m) bzw. $\text{dB}(\mu\text{V/m})$

$$E = 20 \cdot \lg\left(\frac{E(\text{V/m})}{1(\text{V/m})}\right) \text{ dB(V/m)}$$

$$E = 20 \cdot \lg\left(\frac{E(\mu\text{V/m})}{1(\mu\text{V/m})}\right) \text{ dB}(\mu\text{V/m})$$

Die Umrechnung von dB(V/m) in $\text{dB}(\mu\text{V/m})$ erfolgt mit

$$E / \text{dB}(\mu\text{V/m}) = E / \text{dB(V/m)} + 120 \text{ dB}$$

Was wird alles in dB gemessen?

Die Addition von 120 dB entspricht einer Multiplikation mit 10^6 . ($1 \text{ V} = 10^6 \mu\text{V}$).

Beispiel: $-80 \text{ dB(V/m)} = -80 \text{ dB}(\mu\text{V/m}) + 120 = 40 \text{ dB}(\mu\text{V/m})$

Die **magnetische Feldstärke H** wird in A/m oder $\mu\text{A/m}$ gemessen, die entsprechenden logarithmischen Einheiten sind dB(A/m) bzw. dB($\mu\text{A/m}$)

$$H = 20 \cdot \lg\left(\frac{H(\text{A/m})}{1(\text{A/m})}\right) \text{dB(A/m)}$$

$$H = 20 \cdot \lg\left(\frac{H(\mu\text{A/m})}{1(\mu\text{A/m})}\right) \text{dB}(\mu\text{A/m})$$

Die Umrechnung von dB(A/m) in dB($\mu\text{A/m}$) erfolgt mit

$$H / \text{dB}(\mu\text{A/m}) = H / (\text{dB/A}) + 120 \text{ dB}$$

Beispiel: $20 \text{ dB}(\mu\text{A/m}) = 20 \text{ dB}(\mu\text{A/m}) - 120 \text{ dB} = -100 \text{ dB(A/m)}$

Weitere Erklärungen zum Thema Feldstärke sind in [1] zu finden.

Antennengewinn

Antennen bündeln die elektromagnetische Strahlung meist in eine Vorzugsrichtung. Der Leistungsgewinn G, der sich dadurch am Empfänger ergibt, wird in dB über einer Bezugsantenne angegeben. Gebräuchliche Bezugsantennen sind der sogenannte isotrope Strahler und der $\lambda/2$ -Dipol. Der Gewinn wird dann in dB_i bzw. dB_D angegeben. Wird der Leistungsgewinn in linearen Werten benötigt, erfolgt die Umrechnung mit

$$G_{lin} = 10^{\frac{G / \text{dB}_i}{10}} \quad \text{bzw.} \quad G_{lin} = 10^{\frac{G / \text{dB}_D}{10}}$$

Details zum Antennengewinn und auch zum Begriff Antennenfaktor finden Sie in [1]

Crestfaktor

Das Verhältnis von Spitzenleistung zur mittleren thermischen Leistung (Effektivwert) eines Signals wird Scheitelfaktor oder Crestfaktor genannt. Ein Sinussignal hat eine Spitzenleistung, die 2 mal höher ist als die Effektivleistung, der Crestfaktor ist somit 2 (= 3 dB).

Bei modulierten HF-Signalen bezieht man den Crestfaktor nicht auf den Spitzenwert des HF-Trägersignals, sondern auf den Spitzenwert der Modulationshüllkurve. Ein FM- (Frequenz-) modulierte Signal hat eine konstante Hüllkurve und damit einen Crestfaktor von 1 (= 0 dB).

Summiert man viele Sinussignale auf, kann der Scheitelwert der Spannung theoretisch bis zur Summe der Einzelspannungen anwachsen. Die Spitzenleistung P_s wäre dann:

Was wird alles in dB gemessen?

$$P_s = \frac{(U_1 + U_2 + \dots + U_n)^2}{R}$$

Die Effektivleistung P erhält man mit:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{U_1^2}{R} + \frac{U_2^2}{R} + \dots + \frac{U_n^2}{R}$$

als Summe der Einzelleistungen. Man erhält damit einen Crestfaktor C_F von:

$$C_F = \frac{P_s}{P}$$

$$C_F = 10 \cdot \lg \frac{P_s}{P} \text{ dB}$$

Je mehr (unkorrelierte) Signale man addiert, desto unwahrscheinlicher wird es aufgrund der unterschiedlichen Phasenlagen, dass die Summe der Einzelspannungen erreicht wird. Der Crestfaktor pendelt sich bei ca. 11 dB ein. Das Signal wird rauschähnlich.

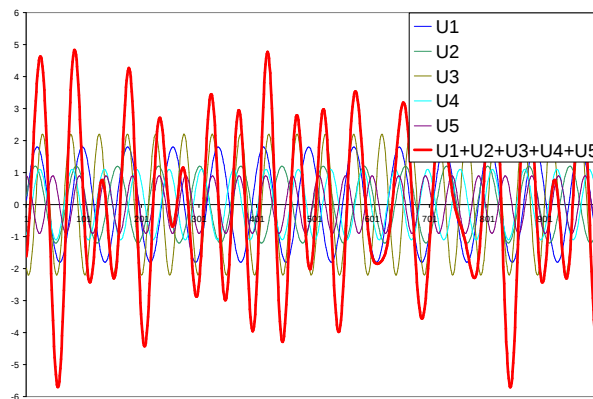


Abbildung 12: Rauschähnliches Signal mit Crestfaktor 11 dB

Der Crestfaktor von Rauschen beträgt ca. 11 dB, OFDM Signale, wie sie bei DAB, DVB-T und WLAN vorkommen, haben ebenfalls Crestfaktoren von ca. 11 dB. CDMA – Signale der Mobilfunkstandards CDMA2000 und UMTS haben Crestfaktoren von bis zu 15 dB, der aber durch besondere Massnahmen bei den Modulationsdaten auf 7 dB bis 9 dB verringert werden kann. GSM-Signale haben, vom Burst abgesehen, durch die MSK-Modulation eine konstante Hüllkurve und damit einen Crestfaktor von 0 dB. EDGE Signale haben wegen der Filterung der 8-PSK-Modulation 3,2 dB Crestfaktor (ebenfalls ohne Burst).

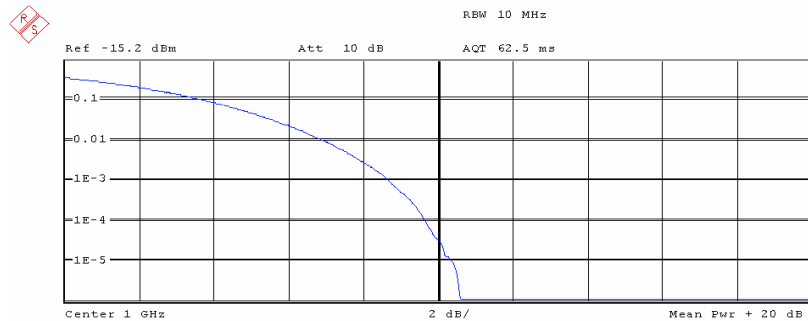


Abbildung 13: Crestfaktor, gemessen mit Signal Analyzer R&S®FSQ

Kanal- und Nachbarkanalleistung

Heutige Kommunikationsnetze wie GSM, CDMA2000, UMTS etc. haben ein hohes Gesprächsaufkommen zu bewältigen. Um Störungen und damit Umsatzeinbussen zu vermeiden, wird streng darauf geachtet, dass im Nutzkanal genau die zulässige Leistung P_{ch} (ch für Channel), aber auch nicht mehr, zur Verfügung steht. Die Leistung im Nutzkanal wird meist als Pegel L_{ch} in dBm angegeben.

$$L_{ch} = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_{ch}}{1 \text{ mW}}\right) \text{ dBm}$$

Üblicherweise sind das 20 W oder 43 dBm.

In den benachbarten Kanälen (Nachbarkanälen) darf die Leistung einen bestimmten Wert P_{adj} nicht übersteigen. Dieser Wert wird als Verhältnis zur Leistung im Nutzkanal L_{ACPR} (Adjacent Channel Power Ratio) gemessen und in dB angegeben.

$$L_{ACPR} = 10 \cdot \lg\left(\frac{P_{adj}}{P_{ch}}\right) \text{ dB}$$

Hier sind Werte von -40 dB (bei Mobilfunkgeräten) bis über -70 dB (bei UMTS-Basisstationen) im direkten Nachbarkanal (Adjacent Channel) und entsprechend höhere Werte in den weiter entfernten Kanälen (Alternate Channels) gefordert.

Bei der Messung der Leistungen ist die Bandbreite der Kanäle zu berücksichtigen. Sie kann für Nutzkanal und Nachbarkanal unterschiedlich sein. Beispiel CDMA2000: Nutzkanal 1,2288 MHz, Nachbarkanal 30 kHz. Manchmal muss auch eine besondere Form der Modulationsfilterung gewählt werden, z.B. square-root-cosine-roll-off.

Heutige Spektrumanalysatoren haben Messfunktionen eingebaut, die die Bandbreite von Nutzkanal und Nachbarkanal sowie die Filterung automatisch berücksichtigen, siehe hierzu auch [3].

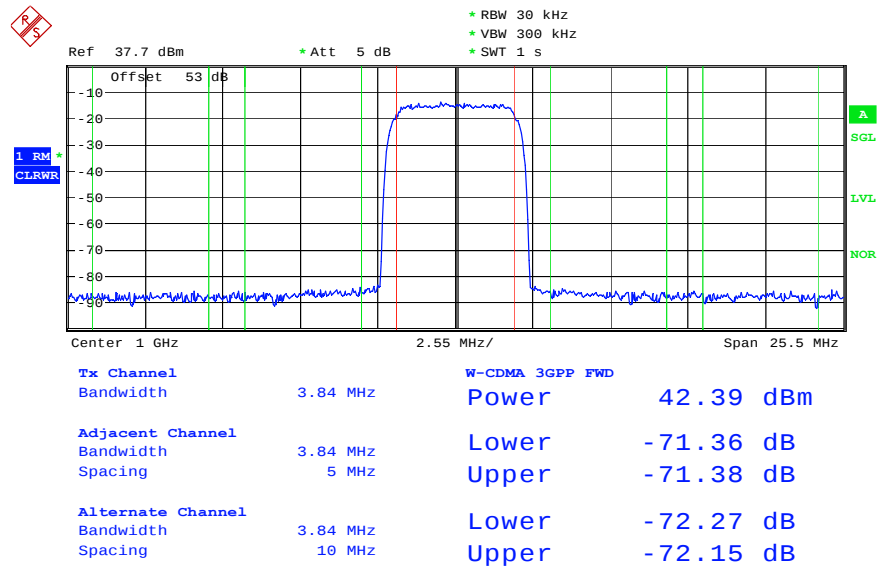


Abbildung 14: Nachbarkanalleistung gemessen Signal Analyzer R&S®FSQ

Modulationsqualität EVM

Das Signal digital modulierter Sender soll im Empfänger möglichst fehlerfrei dekodiert werden können. Auf dem Übertragungsweg überlagern sich Rauschen und Störsignale, die man nicht vermeiden kann. Umso wichtiger ist es, dass das Signal des Senders von guter Qualität ist. Ein Mass für diese Qualität ist die Abweichung vom idealen Konstellationspunkt. Das Bild unten zeigt das am Beispiel einer QPSK-Modulation.

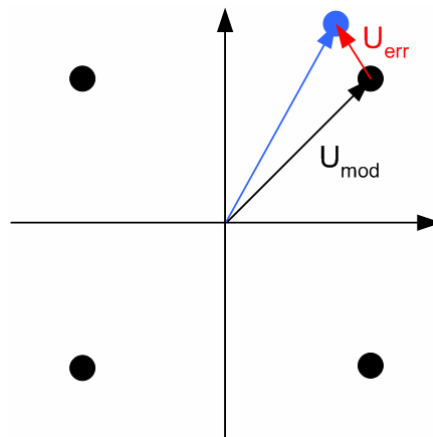


Abbildung 15: Modulationsfehler

Zur Bestimmung der Modulationsqualität wird der Betrag des Fehlervektors U_{err} zum Sollwert des Modulationsvektors U_{mod} in Bezug gesetzt. Dieser Quotient wird Vektorfehler oder Error Vector Magnitude (EVM) genannt und in Prozent oder in dB angegeben.

$$EVM_{lin} = \frac{|U_{err}|}{|U_{mod}|} \cdot 100 \%$$

$$EVM = 20 \cdot \lg \left(\frac{|U_{err}|}{|U_{mod}|} \right) \text{ dB}$$

Dabei wird zwischen dem in einem gewissen Zeitraum auftretenden Spitzenwert EVM_{peak} bzw. dem Effektivwert des Fehlers EVM_{eff} unterschieden.

Man beachte, dass diese Vektoren Spannungen sind. Es wird daher mit $20 \cdot \lg$ gerechnet. Eine EVM von 0,3 % entspricht daher -50 dB.

Dynamikumfang von AD- und DA-Wandlern

Wichtige Eigenschaften von Analog-Digital- (AD-) und Digital-Analog-(DA-) Wandlern sind die Taktrate f_{clock} und die Anzahl der Datenbits n . Pro Bit kann man die jeweils doppelte (oder halbe, je nach Betrachtungsweise) Spannung darstellen. Damit ergibt sich ein Dynamikumfang D von 6 dB pro Bit (6,03 dB entspricht, wie schon gelernt, dem Faktor 2 einer Spannung). Hinzu kommt noch ein Systemgewinn von 1,76 dB bei der Messung von Sinusspannungen.

$$D = 20 \cdot \lg(2^n) + 1,76 \text{ dB}$$

Beispiel: ein 16-bit DA-Wandler erreicht einen Dynamikumfang von $96,3 \text{ dB} + 1,76 \text{ dB} = 98 \text{ dB}$.

In der Praxis zeigen AD- und DA-Wandler gewisse Nichtlinearitäten, sodass die theoretischen Werte nicht ganz erreicht werden. Ausserdem tragen Taktjitter und dynamische Effekte dazu bei, dass Wandler speziell bei hohen Taktfrequenzen nur einen geringeren Dynamikumfang erreichen. Der Wandler ist dann durch einen sogenannten störsignalfreien Dynamikbereich (spurious free dynamic range) oder durch eine Zahl „effektiver Bits“ spezifiziert.

Beispiel: ein 8-bit AD-Wandler ist bei einer Taktfrequenz von 1 GHz mit 6,3 effektiven Bits spezifiziert. Er erreicht damit einen Dynamikumfang von $37,9 \text{ dB} + 1,76 \text{ dB} \approx 40 \text{ dB}$.

Ein AD-Wandler kann bei 1 GHz Taktfrequenz Signale bis zu 500 MHz erfassen (Nyquist-Grenze). Nutzt man dies Bandbreite nur zu einem Bruchteil aus, kann man mit sogenannten Dezimationsfiltern im Gegenzug Dynamik gewinnen. So kann ein 8-Bit-Wandler statt 50 dB ($= 8 \cdot 6 + 1,76 \text{ dB}$) Dynamikumfang durchaus über 60 dB oder mehr erreichen.

Aus dem Dynamikumfang lässt sich die Anzahl der effektiven Bits wie folgt berechnen:

$$2^n = 10^{\frac{D / \text{dB} - 1,76}{20}}$$

Mit $n = \log_2(2^n)$ ($\log_2$ ist der Logarithmus zur Basis 2) und

$$\log_2(x) = \frac{\log_{10}(x)}{\log_{10}(2)} \text{ bzw. } \log_{10}(10^x) = x$$

erhält man

$$n / \text{Bit} = \frac{\log_{10} \left(10^{\frac{D / \text{dB} - 1,76}{20}} \right)}{\log_{10}(2)} = \frac{D / \text{dB} - 1,76}{20 \log_{10}(2)} = \frac{D / \text{dB} - 1,76}{20 \log_{10}(2)}$$

Beispiel: wieviele effektive Bits hat ein AD-Wandler, der einen Dynamikbereich von 70 dB zeigt?

Wir rechnen:

$$70 \text{ dB} - 1,76 \text{ dB} = 68,2 \text{ dB und } 20 \log_{10}(2) = 6,02$$

$$68,2 / 6,02 = 11,3$$

Damit erhalten wir 11,3 effektive Bits.

dB (FS) (Full Scale)

Analog-Digital-Wandler und Digital-Analog-Wandler haben einen maximalen Aussteuerbereich, der durch den verarbeitbaren Zahlenbereich gegeben ist. Ein 8-Bit AD-Wandler kann beispielsweise Zahlen von 0 bis maximal $2^8 - 1 = 255$ darstellen. Diese Zahl n_{FS} bezeichnet man auch als Skalenendwert (Full Scale). Man kann die Aussteuerung n dieser Wandler in Bezug auf diesen Skalenendwert angeben und dieses Verhältnis logarithmisch darstellen.

$$a = 20 \cdot \lg \left(\frac{n}{n_{FS}} \right) \text{ dB(FS)}$$

Beispiel: Ein 16-Bit-AD-Wandler hat einen Wertebereich von 0 bis $2^{16} - 1 = 65535$. Wird dieser Wandler mit einer Spannung angesteuert, die einen Zahlenwert von 32767 ergibt, liegt man bei

$$a = 20 \cdot \lg \left(\frac{32737}{65535} \right) \text{ dB(FS)} = -6,02 \text{ dB(FS)}$$

Soll der Wandler positive und negative Spannungen darstellen, ist der Wertebereich zu halbieren und ein entsprechender Offset für den Nullpunkt zu berücksichtigen.

Schalldruckpegel

In der akustischen Messtechnik wird der Schalldruckpegel L_p in dB gemessen (englisch SPL, Sound Pressure Level). L_p ist das logarithmische Verhältnis des Schalldrucks p bezogen auf einen Schalldruck $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ (micro-Pascal). Der Schalldruck p_0 entspricht dem Druck, den ein menschliches Ohr im empfindlichsten Frequenzbereich (um 3 kHz) gerade noch wahrnehmen kann. Man nennt diesen Druck Hörschwelle.

$$L_p = 20 \cdot \lg \left(\frac{p}{p_0} \right) \text{ dB}$$

$$p = 10^{\frac{L_p}{20}} \cdot p_0$$

Bewerteter Schalldruckpegel dB(A)

Das menschliche Ohr hat einen ziemlich starken Frequenzgang, der noch dazu vom Schalldruckpegel abhängt. Bei der Schalldruckmessung werden daher BewertungsfILTER verwendet, um diesen Frequenzgang nachzubilden. Man erhält dadurch Pegelwerte, die die menschliche Lautheitsempfindung besser nachbilden als der unbewertete Pegel. Es gibt verschiedene Typen von BewertungsfILTER, die mit A, B, C sowie D bezeichnet werden.

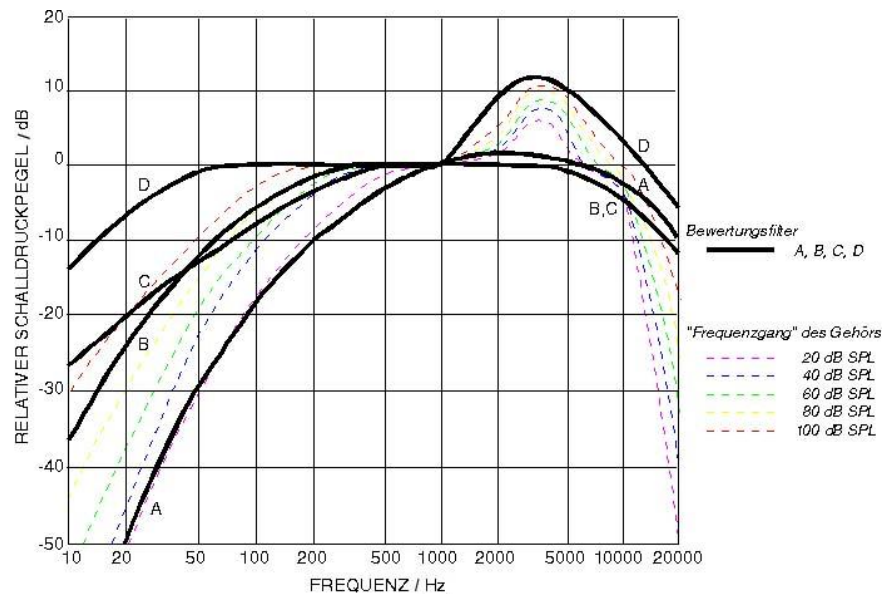


Abbildung 16: BewertungsfILTER A, B, C und D und Frequenzgang des Gehörs

Am häufigsten wird das A-Filter verwendet. Der so gemessene Pegel wird mit L_{pA} bezeichnet und zur Kennzeichnung des BewertungsfILTERs in **dB(A)** angegeben.

Ein Unterschied im Schalldruckpegel von 10 dB(A) wird in etwa als doppelte Lautstärke wahrgenommen. Unterschiede von 3 dB(A) sind deutlich hörbar. Kleinere Schallpegelunterschiede sind meist nur bei direktem Vergleich erkennbar.

Beispiele: der Hörbereich geht von 0 dB(A) (Hörschwelle) bis zur Schmerzschwelle bei 120 dB(A) bis 134 dB(A). Der Schalldruckpegel in einem sehr ruhigen Zimmer beträgt 20 bis 30 dB(A). Der Dynamikumfang einer Musik-CD kann bei 16 Bit Datenumfang 98 dB erreichen. Das reicht aus, um den Hörumfang des menschlichen Ohres zu befriedigen.

11 Einige Zahlen, die man sich merken sollte

Man kann sich das Rechnen mit dB Werten stark vereinfachen, wenn man sich einige Zahlenwerte merkt. Andere Zahlenwerte lassen sich dann aus den gemerkten Werten leicht kombinieren. Eine weitere Vereinfachung ergibt sich durch das Ab- und Aufrunden von exakten Werten auf einfach zu merkende „gerade“ Werte. Es genügt, wenn man sich die vereinfachten Zahlenwerte merkt, also Leistungsverhältnis 2 entspricht 3 dB, den genauen Wert 3,02 dB braucht man selten.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die wichtigsten dieser Werte.

Tabelle Umrechnung dB – lineare Werte

dB-Wert	Leistungsverhältnis		Spannungsverhältnis	
	Merken	Exakt	Merken	Exakt
0,1 dB	±2 %	+2,3 % -2,3%	±1 %	+1,16 % -1,15 %
0,2 dB	±4 %	+4,7 % -4,5 %	±2%	+2,33 % -2,23 %
0,5 dB	±10 %	+12,2 % -10,9 %	±5 %	+5,9 % -5,5 %
1 dB	± 20 %	+25,9 % -20,5 %	±10 %	+12,2 % -11,9 %
3 dB	2 0,5	1,995 0,501	1,4 0,7	1,412 0,798
3,02 dB	2 0,5	2,0 0,5	1,414 0,707	$\sqrt{2}$ $1/\sqrt{2}$
5 dB	3 0,33	3,16 0,316	1,8 0,6	1,778 0,562
6 dB	4 0,25	3,98 0,25	2 0,5	1,995 0,501
10 dB	10 0,1	10 0,1	3 0,3	3,162 0,316
20 dB	100 0,01	100 0,01	10 0,1	10 0,1
40 dB	10000 0,0001	10000 0,0001	100 0,01	100 0,01
60 dB	1000000 0,000001	1000000 0,000001	1000 0,001	1000 0,001

Tabelle 3: Umrechnung dB – lineare Werte

Aus dieser Tabelle sollte man wenigstens die Merk-Werte für 3, 6, 10 und 20 dB stets parat haben.

Einige Zahlen, die man sich merken sollte

Beachte: 3 dB ist nicht exakt ein Leistungsverhältnis von 2 und 6 dB ist nicht exakt 4! Für den praktischen Alltag sind allerdings diese Vereinfachungen üblich und ausreichend genau.

Zwischenwerte, die nicht in der Tabelle enthalten sind, lassen sich oft einfach ableiten:

4 dB = 3 dB + 1 dB, das entspricht Faktor 2 + 20 % der Leistung, also ca. 2,4-fache Leistung.

7 dB = 10 dB – 3 dB, das entspricht der 10-fachen Leistung, davon die Hälfte, also insgesamt 5-fache Leistung.

Tabelle Addition von dB-Werten

Obwohl man für die exakte Berechnung der Summe zweier in dB gegebener Werte diese erst delogarithmieren, addieren und wieder logarithmieren muss, kann man für eine Übersichtsrechnung folgende Tabelle verwenden. In Spalte 1 ist unter Delta dB der Unterschied der beiden dB-Werte eingetragen, in Spalte 2 erhält man einen Korrekturwert für leistungsproportionale Größen, in Spalte 3 einen Korrekturwert für spannungsproportionale Größen. Der Korrekturwert ist zum höheren der beiden dB-Werte zu addieren, um den Summenwert zu bekommen.

Delta dB	Power	Voltage
0	3,01	6,02
1	2,54	5,53
2	2,12	5,08
3	1,76	4,65
4	1,46	4,25
5	1,19	3,88
6	0,97	3,53
7	0,79	3,21
8	0,64	2,91
9	0,51	2,64
10	0,41	2,39
11	0,33	2,16
12	0,27	1,95
13	0,21	1,75
14	0,17	1,58
15	0,14	1,42
16	0,11	1,28
17	0,09	1,15
18	0,07	1,03
19	0,05	0,92
20	0,04	0,83

Tabelle 4: Korrekturwerte zur Addition

Beispiele: 1) Zwei Signale mit den Pegeln -60 dBm und -66 dBm sollen addiert werden. Wir bilden die Differenz der dB-Werte und erhalten 6 dB. Aus der Tabelle lesen wir einen Korrekturwert von 0,97 dB. Diesen Wert addieren wir zum höheren der bei-

Einige Zahlen, die man sich merken sollte

den Werte -60 dBm hinzu (-60 dBm ist grösser als -65 dBm!) und erhalten als Gesamtleistung – 59 dBm.

2) Durch das Einschalten eines Signals erhöht sich die Rauschanzeige eines Spektrumanalysators um 0,04 dB. Aus der Tabelle kann man entnehmen, dass der Pegel dieses Signals rund 20 dB unter dem Rauschpegel des Spektrumanalysators liegt.

3) Zwei gleich grosse Spannungen werden addiert. Der Pegelunterschied ist also 0 dB. Die Summenspannung liegt 6 dB (Wert aus Tabelle) über dem Wert einer Spannung (= doppelte Spannung).

Weitere nützliche Zahlenwerte

Einige weitere Zahlenwerte, die man stets parat haben sollte, sind:

13 dBm entspricht $U_{\text{eff}} = 1 \text{ V}$ an 50Ω

0 dBm entspricht $U_{\text{eff}} = 0,224 \text{ V}$ an 50Ω

107 dB(μV) entspricht 0 dBm an 50Ω

120 dB(μV) entspricht 1 V

-174 dBm ist die thermische Rauschleistung in 1 Hz Bandbreite bei einer Temperatur von ca. 20°C (68 F).

Andere Bezugsgrössen

Bisher haben wir als Bezugsgrössen 1 mW und 50Ω verwendet. Es gibt aber noch weitere Bezugssysteme, von denen vor allem das 75Ω -System, das in der Fernsehtechnik verwendet wird, und das 600Ω -System aus der Akustikmesstechnik häufiger verwendet werden. Das 60Ω -System, das früher in der HF-Technik verwendet wurde, und das US-Standard 600Ω -System, das zudem 1,66 mW als Bezugswert hat, sind eher selten. Die oben angegebenen Formeln lassen sich leicht auch auf diese Bezugssysteme anpassen.

R	P_0	U_0	Bemerkung
50Ω	1 mW	0,224 V	HF-Technik
60Ω	1 mW	0,245 V	HF-Technik alt
75Ω	1 mW	0,274 V	TV-Technik
600Ω	1 mW	0,775 V	Akustik
600Ω	1,66 mW	1,000 V	US-Standard

Tabelle 5: Weitere Bezugssysteme

Genauigkeit, Zahl der Dezimalstellen

Auf wieviele Nachkommastellen soll man dB-Werte angeben?

Erhöht man einen in dB angegebenen leistungsproportionalen Wert x um 0,01 dB, verändert sich der zugehörige lineare Wert wie folgt:

$$x \text{ dB} + 0,01 \text{ dB} \equiv 10^{\frac{x+0,01}{10}} = 10^{\frac{x}{10}} \cdot 10^{\frac{0,01}{10}} = 10^{\frac{x}{10}} \cdot 1,0023$$

Das bedeutet eine Veränderung um 0,23 % der Leistung. Spannungsproportionale Werte verändern sich nur um 0,11 %. Das sind minimale Veränderungen, die normalerweise in den immer vorhandenen Schwankungen eines Messergebnisses untergehen.

Es macht also bis auf wenige Ausnahmen keinen Sinn, dB-Werte auf 5 oder mehr Stellen hinter dem Komma anzugeben.

12 Literatur

- [1] Field Strength and Power Estimator, Application Note 1MA85, Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG [1MA85](#)
- [2] Weitere Erläuterungen zu den verwendeten Begriffen finden Sie unter anderem auf www.wikipedia.org.
- [3] Christoph Rauscher, Grundlagen der Spektrumanalyse, Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, PW 0002.6629.00

13 Weitere Informationen

Anfragen und Anregungen zu dieser Applikationsschrift sind immer willkommen. Bitte senden Sie sie per E-Mail an TM-Applications@rsd.rohde-schwarz.com.

Bitte besuchen Sie auch die Internetseite von Rohde & Schwarz www.rohde-schwarz.com. Hier finden Sie weitere Applikationsschriften und andere nützliche Informationen.



ROHDE & SCHWARZ GmbH & Co. KG · Mühlhofstraße 15 · D-81671 München · Postfach 80 14 69 · D-81614 München ·
Tel (089) 4129 -0 · Fax (089) 4129 - 13777 · Internet: <http://www.rohde-schwarz.com>

This application note and the supplied programs may only be used subject to the conditions of use set forth in the download area of the Rohde & Schwarz website.