Les décibels

R. BERRANGER, F5NB.

Ce document est l'original d'un article paru dans la revue Radio-REF de décembre 2003.
Le décibel se retrouve à chaque coin de paragraphe dans les articles de radioélectricité et se décline sous de multiples versions (dB, dBm, dBW, dBV, dBµV, etc…). Il n'est pas facile pour un non-initié de s'y retrouver et de comprendre les liens de ces décibels avec les autres unités de l'électronique que sont les gains, les pertes, les watts et les volts.
Le but de cet article est de définir tous ces « décibels » en montrant les relations entre eux.

Le décibel.

Le décibel est la dixième partie du Bel (unité pratiquement jamais utilisée), en abrégé {dB}.
Le Bel est un rapport de puissance exprimé par le logarithme en base 10 de ce rapport, en abrégé {LOG}. Ne pas confondre avec les logarithmes naturels ou Népériens, en abrégé {ln}.
Le décibel est donc égal à dix fois le logarithme décimal du rapport et nous avons :

Rapport (dB) = 10.LOG(P2/P1) P1 et P2 étant des puissances exprimées dans la même unité.
Si P2 > P1, la valeur est positive (Gain) et si P2 < P1, la valeur est négative (Perte).

L'utilisation des logarithmes permet de transformer des multiplications en additions et des divisions en soustractions, et cela facilite le calcul mental. Par ailleurs, le décibel exprimant un rapport, celui-ci ne change pas quelles que soient les valeurs absolues des variables (une bande passante à –3dB ne change pas en fonction du niveau du signal).
Naturellement, le calcul est facilité si toutes les mesures sont faites en décibels, ce qui est souvent le cas en électronique, sauf pour l'oscilloscope où il faut alors recourir aux tables de logarithmes, à la calculette, ou à la mémoire.

L'avantage de prendre des logarithmes décimaux réside dans la facilité de calcul pour les grandes valeurs décimales, le logarithme prenant une unité à chaque puissance de dix.
Exemples pour certains rapports de puissances :

1 = 0dB (référence)
10 = 10dB,   100 = 20dB, etc…
0,1 = -10dB, 0,01 = -20dB, etc…

Il suffit de connaître quelques logarithmes particuliers pour pouvoir convertir rapidement tout rapport numérique en rapport logarithmique, et inversement.
Nous avons dans le tableau 1 quelques rapports remarquables.

Rapports remarquables (puissances)

décibels	Rapport	décibels	Rapport
1	1,25	-1	0,8
2	1,6	-2	0,63
3	2	-3	0,5
4	2,5	-4	0,4
5	3,16	-5	0,316
6	4	-6	0,25
7	5	-7	0,2
8	6,3	-8	0,16
9	8	-9	0,125
10	10	-10	0,1
20	100	-20	0,01
30	1000	-30	0,001
40	10 000	-40	0,0001

Tableau 1

Noter que les rapports correspondant aux deux mêmes valeurs en dB, positive et négative , sont tous égaux à 1 quand ils sont multipliés l'un par l'autre.

A partir de ces valeurs dont on garde la mémoire, on trouve alors facilement d'autres rapports plus compliqués :

a) Soit un rapport de 340 qui est égal à 3,4 x 100
   100 = 20dB (10 fois le Nb de zéros)
   3,4 = environ 5,3dB (entre 5 et 6, mais 3,4 est plus proche de 3,16 que de 4)
   Le gain est égal à : 20 + 5,3 = 25,3 dB.

b) Soit un rapport de 0,0028 qui est égal à 2,8 x 0,001
   0,001 = -30dB (10 fois le Nb de décimales)
   2,8 = 4,5dB environ
   La perte est égale à –30 + 4,5 = -25,5 dB.

N-B : Si vous avez du mal à comprendre ce dernier exemple, reportez vous aux rapports remarquables. Par exemple pour 0,8 nous avons 0,8 = 0,1 x 8 ; soit –10dB+9 dB = -1dB, c'est le même résultat qu'en utilisant le logarithme de 0,8 (égal exactement à -0,097).

Rapports en tension.

Si dans le rapport des puissances, celles-ci sont mesurées sur des impédances identiques, alors le rapport des tensions sera égal à la racine carrée du rapport des puissances car U = racine de (P/R). Donc pour avoir le rapport en décibels{puissance} à partir des tensions U2 et U1, il faudra prendre le carré du rapport entre ces tensions, ce qui, converti en logarithme représente une multiplication par deux. Nous obtenons alors la formule :

Rapport en tension (dB) = 20xLOG(U2/U1).

Cette formule de calcul à partir des tensions n'est valable en puissance que si les tensions sont mesurées aux bornes de sources et de charges de mêmes impédances. Si ce n'est pas le cas, il faut faire une conversion entre les dB{tension} et les dB{puissance} en tenant compte des impédances différentes. Mais si, comme c'est souvent le cas en électronique, on ne s'intéresse qu'aux gains et pertes en tension, on peut négliger les impédances. C'est le contexte qui nous indique si nous avons affaire à des dB{tension} ou à des dB{puissance}. Par exemple, si un ampli opérationnel bouclé a un gain de 20dB, il s'agit de dB{tension}, mais avec un atténuateur de 3dB en sortie d'émetteur, il s'agit de dB{puissance}.

Remarques :
- Les dB{puissance} sont aussi des dB{tension}, mais l'inverse n'est pas toujours vrai.
- Dans le cas d'une chaîne, si le gain (ou la perte) de chaque élément est mesuré en db{tension}, il suffit que les impédances d'entrée et de sortie de la chaîne soient identiques pour que le gain total en dB{puissance} soit égal au gain en dB{tension} quelles que soient les impédances intermédiaires.

Pour les valeurs remarquables, avec les rapports en tension, il suffit de prendre la racine carrée des rapports en puissance. Voir ceux-ci consignés dans le tableau 2.

Rapports remarquables (tensions)

décibels	Rapport	décibels	Rapport
1	1,12	-1	0,89
2	1,25	-2	0,8
3	1,414	-3	0,707
4	1,6	-4	0,63
5	1,78	-5	0,56
6	2	-6	0,5
7	2,24	-7	0,45
8	2,5	-8	0,4
9	2,82	-9	0,35
10	3,16	-10	0,316
20	10	-20	0,1
30	31,6	-30	0,0316
40	100	-40	0,01

tableau 2

Pour des rapports identiques, il suffit de multiplier par deux les valeurs en dB{puissance} pour obtenir des dB{tension}.

Exercice N°1 (réponse à la fin de cet article) :

Soit une chaîne dont le schéma se trouve sur la figure 1. Les valeurs de gain sont exprimées en décimal et concernent les tensions.

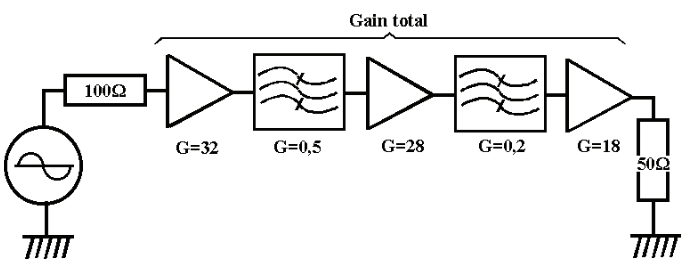

figure 1

On demande :

a) Gain total en tension, exprimé en décibels
b) Gain total en puissance, exprimé en décibels sachant que l'impédance d'entrée est de 100Ω et l'impédance de sortie de 50 Ω.

Valeurs absolues.

Si nous référençons la valeur 0dB à une grandeur physique, nous pourrons exprimer la valeur absolue de cette grandeur avec une échelle logarithmique. Exemples :

a) en acoustique, nous avons le dBA (le A est souvent omis), qui est référencé à la pression acoustique (le Bel est d'origine acoustique et vient de G. Bell, l'inventeur du téléphone).

b) En électronique, nous avons successivement :

- Le **dBW** (débéwatt), la référence 0dBW étant égale à 1 watt. Ainsi, +20dBW = 100W et -30dBW = 0,001W = 1 milliwatt.
- Le **dBm** (débéhem), la référence 0dBm étant égale à 1mW. Ainsi +30dBm = 1 W = 0dBW et –30dBm = 0,001 mW = 1 µW.

Ces deux unités dérivées sont des unités de puissance. Le dBW n'est guère utilisé que pour les fortes puissances (émission). Par contre le dBm est universellement utilisé en électronique.

Ensuite nous avons des unités de tension :

- Le **dBV** (débévolt), la référence 0dBV étant égale à 1 volt. Donc +20dBV = 10 volts et –30dBV = 0,0316 volts = 31,6 mV.
- Le **dBµV** (débémicrovolt), la référence 0dBµV étant égale à 1 microvolt. Ainsi, +34dBµV = 50µV.

Les dBV sont surtout utilisés en Audiofréquence. Les dBµV ne sont guère utilisés qu'en réception de radio et télédiffusion.

Correspondance entre les unités de puissance et de tension.

Les correspondances se feront en référence à des impédances normalisées.

Ainsi en Audio, Z = 600 Ω. Nous avons alors pour 0dBm :

$$U = \sqrt{0{,}001 \times 600} = 0{,}775 Veff$$

et 0 dBV ➔ +2,22 dBm. {20.LOG(1 / 0,775) } (➔ est mis pour « correspond à »).

En électronique, Z = 50 Ω. Nous avons alors pour 0dBm :

$$U = \sqrt{0{,}001 \times 50} = 0{,}224 Veff$$

et 0 dBµV ➔ -107 dBm. {-20.LOG(2.24x10^5) } (rappel, LOG (1/X) = -LOG(X)).

Pour nous, radioamateurs, pour les liaisons terrestres, notre échelle en dBm varie de +60dBm (1 kW) à –174dBm (puissance du bruit d'une résistance à +27°C dans une bande de 1 Hz). Pour des liaisons satellites ou spatiales, l'échelle peut descendre d'une vingtaine de décibels.

Exercice N°2 : Quelles sont les valeurs en mV, en dBm et en dBµV du signal à l'entrée d'un récepteur dont le S-mètre indique S9+30dB (Ze = 50 Ω et S9 = 50µV) ?

Réponses aux questions.

Exercice N°1 :

a) méthode 1 : Gain = G1xG2xG3xG4xG5 = 32x0,5x28x0,2x18 = 1613
Gain = 20.LOG(1613) = 64,15 dB.

a) méthode 2 : Gain = G1+G2+G3+G4+G5 (en dB) = +30-6+29-14+25 = 64 dB.

b) Pour V constant, P est 2 fois plus important avec 50 Ω qu'avec 100 Ω ($P = U^2/R$), soit un rapport de +3dB (positif car Zs < Ze)
Donc G(puiss) = 64 + 3 = 67 dB.

Exercice N°2 :

a) en mV : U = 0,05mV x $10^{30/20}$ = 0,05 x 31,6 = 1,58 mVeff
rappel mathématique : $X = 10^{LOG(X)}$.
On peut aussi utiliser les rapports remarquables 10dB + 20 dB, (3,16x10).

b) en dBm : S9 = -107dBm + 20.LOG(50) = -107 + 34 = -73 dBm (constante)
donc S9+30 = -73 + 30 = -43 dBm

c) en dBµV : U = 20.LOG(1580/1) = 64 dBµV (1^ère^ méthode).
U = -43dBm – (-107dBm) ➔ 64 dBµV (2^ème^ méthode).
U = 34dBµV(S9) + 30 dB = 64 dBµV (3^ème^ méthode)

(Tout ceci n'est exact que si Ze = 50 Ω).