Initiation à la pratique de l'électronique

UTILISATION DES DECIBELS

Devant la difficulté des débutants en présence de courbes chiffrées en décibels, ou encore pour interpréter la lecture de l'échelle graduée en dB des multimètres, nous pensons qu'il est nécessaire de donner quelques précisions et montrer que l'emploi des décibels n'est pas aussi difficile qu'on le croit.
Beaucoup d'idées fausses existent dans l'esprit de nombreuses personnes qui parlent par exemple de décibels de tension et de décibels de puissance...
Il faut en effet savoir que les décibels servent à exprimer un rapport de puissance, par exemple le gain en puissance d'un amplificateur, qui n'est pas autre chose que le rapport de la puissance de sortie sur la puissance d'entrée. Pour une amplification, ce rapport est supérieur à l'unité, le nombre de décibels qui l'exprime est positif. Ce rapport est inférieur à 1 pour les atténuateurs et le nombre de décibels l'exprimant est négatif. Ce rapport en décibels ne détermine que le gain ou l'atténuation, et non la puissance de sortie.
Nous verrons aussi que la courbe de réponse d'un circuit est également un rapport entre une puissance de sortie à une certaine fréquence et une autre puissance de sortie à une fréquence prise comme référence. Cette courbe de réponse traduit la variation de gain en fonction de la fréquence.
Les décibels servent aussi à exprimer un niveau de puissance. Dans ce cas, ils possèdent un indice « m » ou « W » suivant que la référence est le milliwatt ou le watt. Il est alors possible de connaître la puissance (en milliwatt ou en watt) au point considéré du réseau. Un dBm négatif ne signifie pas que le circuit est un atténuateur, mais que le niveau est inférieur au milliwatt.

La multiplication remplacée par une addition

Nous avons appris à l'école que, grâce aux logarithmes, les calculs se simplifient en ce sens que les multiplications se transforment en additions. Autrement dit, lorsque l'on désire multiplier deux nombres ou plus, il suffit d'additionner leur logarithme.

Les décibels utilisent les logarithmes à base 10, et non les logarithmes népériens (à base e = 2,718...).

Pour ceux qui l'auraient oublié, en ce qui concerne les puissances de 10, tels que 10, 100, 1000, le logarithme décimal ($\log_{10}$) est le nombre de zéros placés à la droite du 1 ; ainsi les logarithmes des trois nombres ci-dessus sont respectivement 1, 2 et 3. De même, nous nous souvenons que 10, 100 et 1000 peuvent également s'écrire 10^1, 10^2, 10^3. Le logarithme de ces nombres est donc porté en exposant.

En restant dans les rapports de 10, mais avec des quantités plus petites que l'unité, nous savons que $1/10 = 0{,}1$ ou 10^{-1}. Le logarithme de 0,1 est -1 ; de même :

$$\frac{1}{100} = 0{,}01 \text{ ou } 10^{-2},$$

soit $\log 0{,}01 = -2$. Ici aussi, le logarithme est égal au nombre de zéros placés à la gauche du 1. Ils sont dans ce cas négatifs.

Tout ceci est résumé dans le tableau I. Et si nous avions à multiplier 100 par 0,001, il suffirait d'additionner $+2$ à -3, ce qui nous donnerait le logarithme -1, soit finalement 0,1.

Intéressons-nous maintenant aux logarithmes décimaux de nombres différents d'une puissance de 10. Quel serait par exemple le logarithme de 7 ?

Il n'y a pas si longtemps que cela, le calcul se faisait à l'aide d'une table de logarithmes. Maintenant, grâce aux calculatrices de poche « scientifiques » (que tous les techniciens devraient posséder), le calcul est excessivement facile et rapide. En reprenant l'exemple du logarithme de 7, il suffit d'appuyer successivement sur les touches « 7 » et « log » pour voir apparaître : « 0,845 ».

Connaissant cette égalité, nous pouvons calculer de tête le logarithme de 70, puisque log 70 = log 7 + log 10 soit : 0,845 + 1 = 1,845.

Pour ce qui est des nombres inférieurs à l'unité, nous avons vu que

$\log \frac{1}{10} = -1$;

C'est le logarithme de 10 précédé du signe « moins ». De la même façon :

$\log \frac{1}{7} = -0{,}845$.

Afin de terminer ce tour d'horizon sur les logarithmes, rappelons quelques lois et formules fondamentales :

Le logarithme décimal de 10 est égal à 1 ;

Le logarithme décimal de 1 est égal à 0 ;

Tout nombre réel positif a une valeur égale à une certaine puissance de 10, d'exposant positif si le nombre est supérieur à 1 ou d'exposant négatif si le nombre est inférieur à 1.

Les formules à connaître par cœur sont :

$10^a \times 10^b = 10^{a+b}$

$\frac{10^a}{10^b} = 10^{a-b}$

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

$\log (x/y) = \log x - \log y$

$\log x^a = a \times \log x$

La relation entre les nombres compris entre 1 et 10 et leur logarithme est donné sur la figure 1.

Pour ceux qui manipulent souvent les logarithmes ou les décibels, il est avantageux de se souvenir de quelques valeurs dans le but d'effectuer des calculs de tête. Ces relations sont données dans le tableau II.

Connaissant ces valeurs on calcule aisément le logarithme des autres nombres inférieurs à 10. Ainsi :

$\log 4 = \log 2 + \log 2$
$= 0{,}3 + 0{,}3 = 0{,}6$.

De même pour les quantités supérieures à 10 :

$\log 15 = \log (3 \times 5)$
$= \log 3 + \log 5$
$= 0{,}47 + 0{,}7$
$= 1{,}17$.

Ou encore $\log 7000$
$= \log 7 + \log 1000$,
ce qui donne 3,84.

Qu'est-ce qu'un décibel ?

Qu'est-ce qu'un décibel ? Réponse classique : « La dixième partie du Bel ! » Bien sûr, mais si nous apprenons que le Bel est le logarithme décimal d'un rapport entre deux puissances, cela ne nous éclaire pas encore très bien et nous ne voyons pas pourquoi le décibel est tellement utilisé aussi bien en acoustique que dans le domaine des amplificateurs, afin d'apprécier non seulement le gain, l'atténuation, mais également le bruit...

D'abord il faut savoir que cette unité est intéressante parce qu'elle permet de chiffrer des quantités allant de l'infiniment petit à l'infiniment grand.

En acoustique, c'est le décibel qui est employé couramment. Un son est un mouvement vibratoire, il est dû à des ondes de pression qui se propagent dans un milieu tel que l'air, les liquides ou les solides. Cette variation de pression est exprimée par le « Pascal » qui est une unité internationale. Un bruit aussi énorme que celui d'un avion à réaction au décollage (limite de sensation douloureuse) est de 20 Pascals, et le bruit le plus faible que nous puissions entendre, comme le bruissement des feuilles en pleine campagne est de 20 µPascals, soit une quantité un million de fois plus faible.

Grâce aux logarithmes, cet intervalle d'un million est réduit à un rapport de six, puisque le logarithme décimal d'un million (ou 10^6) est 6. Ainsi, le rapport entre ces valeurs extrêmes est-il égal à 6 Bels ou encore 60 décibels (60 dB). Ce rapport a pour référence 20 µPascals. Un bruit quelconque dont la caractéristique est de N Pascals (Pa) aura une valeur en décibels de :

$$10 \log_{10} \frac{N\,\text{Pa}}{20 \times 10^{-6}\,\text{Pa}}$$

Quelques valeurs de sons chiffrés en décibels sont données dans le tableau III.

Remarquons que certaines personnes ont une oreille plus sensible que la moyenne. Elles peuvent percevoir des sons très aigus dont la fréquence est proche des ultrasons. Il est également possible à certaines oreilles de capter des sons excessivement faibles en intensité, au-dessous du seuil des 20 µPa, c'est-à-dire inférieurs à zéro décibel. Le rapport « variation de pression sur seuil normal d'audition » est inférieur à 1, donc le logarithme est négatif (par exemple : – 5 dB).

Intérêt des décibels dans les circuits d'électronique

Un grand avantage des décibels est lorsqu'on doit considérer une chaîne cons-

Tableau II
log 2 = 0,3
log 3 = 0,47
log 5 = 0,7
log 7 = 0,84

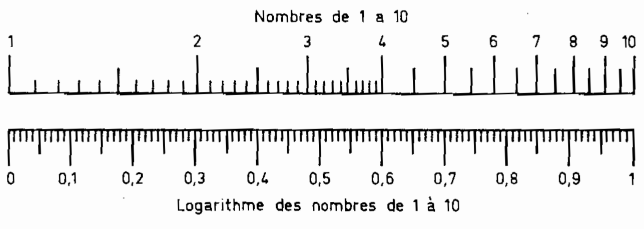


Fig. 1. – Les nombres de 1 à 10 et leur logarithme.

Tableau I

Rapports de 10	Logarithmes (base 10)
10 000 → 10^4	4
1 000 → 10^3	3
100 → 10^2	2
10 → 10^1 (ou 10)	1
1 → 10^0	0
0,1 → 10^{-1}	– 1
0,01 → 10^{-2}	– 2
0,001 → 10^{-3}	– 3
0,0001 → 10^{-4}	– 4

tituée d'amplificateurs et d'atténuateurs. Pour avoir connaissance du gain global de l'ensemble on peut soit **multiplier** les gains et les atténuations partiels, ou bien encore **additionner** ces gains et atténuations exprimés en décibels.

Comme application, considérons une chaîne composée de trois amplificateurs de gain respectif de 81,16 et 4. Le gain global est 5 184. Connaissant les caractéristiques en décibels (respectivement + 19 dB, + 12 dB et + 6 dB, le gain total est donné par l'addition de ces valeurs, soit : 37 dB.

Un autre intérêt des décibels en électronique est lorsqu'on désire apprécier une courbe de réponse traduisant des variations comme par exemple allant du microvolt au volt, comme c'est le cas pour le C.A.G. d'un récepteur radio, ou encore pour apprécier la courbe de sélectivité d'un amplificateur F.I., ou tout simplement la courbe de réponse d'un amplificateur B.F.

Pour illustrer ceci, prenons les valeurs relevées sur un amplificateur basse fréquence. La tension de sortie (en millivolts) est donnée en fonction de la fréquence (voir tableau IV).

Si maintenant nous traçons la courbe de la tension de sortie en fonction de la fréquence nous obtenons le tracé donné sur la figure 2(a). Cette courbe ne nous donne rien comme renseignements intéressants pour les fréquences inférieures à 10 kHz. En revanche sur la figure 2(b), l'échelle des fréquences est logarithmique et nous pouvons apprécier le comportement de l'amplificateur aussi bien pour les fréquences aussi basses que 20 ou 30 Hz que pour 1 kHz ou 30 kHz. L'échelle verticale est en décibels, les valeurs sont obtenues à l'aide de la formule que nous donnons plus loin. On remarque tout de suite la clarté et la précision de cette deuxième représentation.

On entend souvent l'expression « décibels par octave » lorsqu'on parle de bande passante et de filtrage. Il s'agit de la pente de la courbe exprimée par le nombre de décibels d'atténuation chaque fois que la fréquence double. Sur la figure 3, la pente est de 6 dB par octave, car lorsqu'on passe de 500 à 1 000 Hz (fréquence doublée) la chute passe de − 6 à − 12 dB (différence de 6 dB).

Les décibels peuvent exprimer un rapport

Dans les circuits, les décibels servent à exprimer soit un **rapport**, soit un **niveau.**

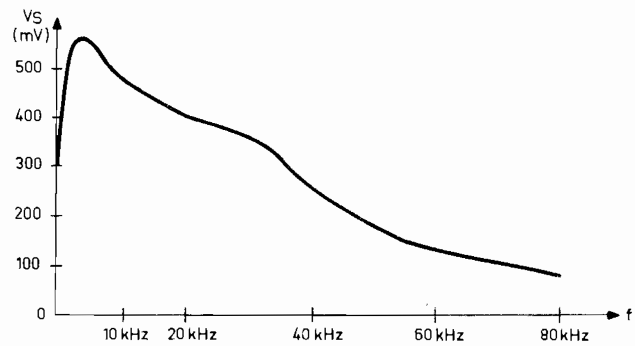
Nous savons que le rapport exprimé en décibels est un rapport de puissances entre deux points d'un circuit (gain d'un amplificateur ou atténuation d'un réseau quelconque). Ce rapport peut être aussi un rapport de deux tensions (aux bornes d'une même résistance) ou le rapport de deux courants (traversant une même résistance).

Mais commençons par le commencement, c'est-à-

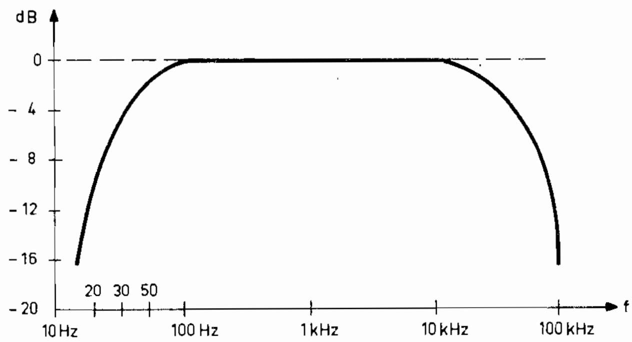
Tableau III	
Avion à réaction au décollage (seuil de la douleur)	130 dB
Ensemble rock	110 dB
Gros camion, rue bruyante	90 dB
Conversation courante	60 dB
Scène campagnarde	40 dB
Chuchotements	20 dB
Bruissement de feuillages	10 dB
Chambre sourde (seuil normal d'audition)	0 dB

Tableau IV

Fréquence	Tension de sortie	Conversion en dB
20 Hz	85 mV	− 16 dB
30 Hz	245 mV	− 7 dB
50 Hz	345 mV	− 4 dB
80 Hz	440 mV	− 1,93 dB
150 Hz	500 mV	− 0,8 dB
300 Hz	550 mV	
600 Hz	550 mV	
1 kHz	550 mV	0 dB
2,5 kHz	550 mV	
5 kHz	550 mV	
10 kHz	460 mV	− 1,55 dB
30 kHz	345 mV	− 4 dB
40 kHz	245 mV	− 7 dB
80 kHz	85 mV	− 16 dB



(a) Courbe de réponse avec échelle linéaire



(b) Courbe de réponse en décibels et échelle de fréquence logarithmique

Fig. 2. — Relevé de la courbe de réponse.

dire par le rapport de puissance. Dans un amplificateur nous avons un rapport de puissance entre la sortie et l'entrée, rapport défini par le gain de puissance G égal à P_S/P_E. Le rapport en décibels est simplement exprimé par :

$$R_{dB} = 10 \log_{10} \frac{P_S}{P_E}$$

La lettre R (qu'il ne faut pas confondre avec le symbole de la résistance) a été choisie parce qu'elle est l'initiale du mot rapport.

Si nous avons 1,5 W en sortie et que nous devons, pour obtenir cette puissance, injecter 0,02 W à l'entrée, le gain de puissance est de 1,5/0,02, d'où $R_{dB} = 10 \log 75$, soit 18,75 dB (calcul rapide avec une calculatrice scientifique).

Pour passer de la valeur en décibels en valeur en « fois », il suffit également de se servir de sa calculatrice :

$$\frac{P_S}{P_E} = \text{antilog} \frac{R_{dB}}{10}$$

Application : l'amplificateur a un gain en puissance de 18,75 dB, le gain P_S/P_E est donc antilog 1,875, c'est-à-dire un gain de 75. Avec la calculatrice, il suffit d'appuyer successivement sur les touches « 1,875 » et « 10^x » pour voir apparaître « 75 ».

Même procédé pour le calcul de l'atténuation. Celle-ci est donnée par le rapport P_S/P_E, mais étant donné que la puissance de sortie P_S est toujours plus petite que celle d'entrée P_E, le rapport est inférieur à l'unité et la valeur en décibels est négative. En d'autres termes, l'atténuation est un gain inférieur à 1, elle équivaut en dB à un gain négatif.

Si nous avons à l'entrée de l'atténuateur une puissance de 400 mW et qu'à la sortie il ne reste que 50 mW, l'atténuation est égale à 8, le rapport :

$$\frac{P_S}{P_E} = \frac{1}{8} \text{ ou } 0,125$$

et $R_{dB} = -9$ dB. Au cas ou nous aurions inséré cet atténuation dans la chaîne dont nous avons parlé au début, il suffirait de soustraire 9 dB pour obtenir le nouveau gain total. Sinon il aurait fallu diviser le gain total de 5 184 par 8, ou bien le multiplier par 0,125.

Inversement, si nous savons que le circuit a une atténuation de 9 décibels, nous chercherons l'antilog de – 0,9 pour connaître de combien de fois le signal est atténué.

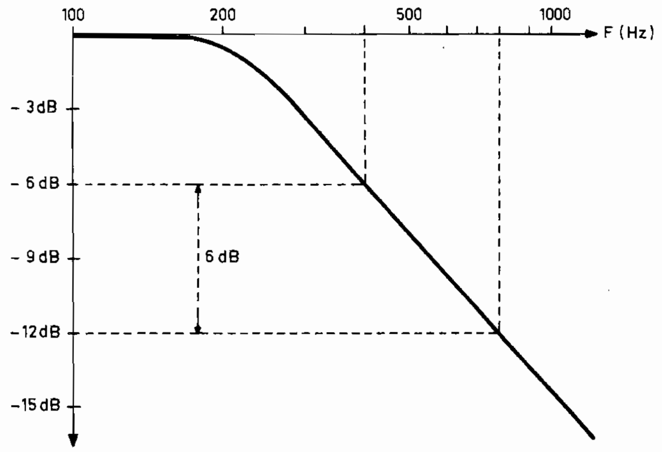


Fig. 3. – Variation de 6 dB par octave (filtre passe bas).

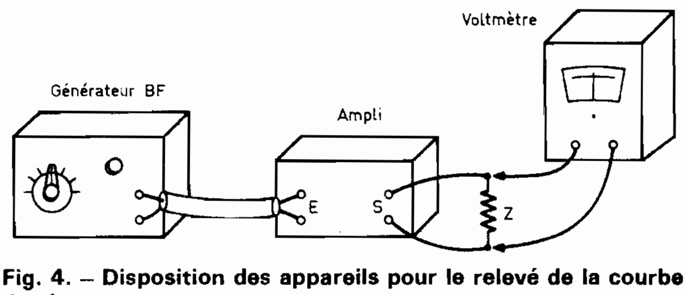


Fig. 4. – Disposition des appareils pour le relevé de la courbe de réponse.

Rapport de deux tensions

Un rapport de deux tensions peut également être évalué en décibels, la formule devient alors :

$$R_{dB} = 20 \log_{10} \frac{V_2}{V_1}$$

Cette formule est dérivée de :

$$R_{dB} = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$

Les expressions P_2 et P_1 peuvent être remplacées respectivement par

$$\frac{V_2^2}{R} \text{ et } \frac{V_1^2}{R}$$

Le rapport P_2/P_1 se trouve donc être égal à :

$$\frac{V_2^2}{R} \times \frac{R}{V_1^2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2$$

Et puisque :
$\log x^\alpha = \alpha \times \log x$, l'expression $10 \log(P_2/P_1)$ se transforme en :
$20 \log(V_2/V_1)$, ceci à la seule condition que les résistances aux bornes desquelles se trouvent V_2 et V_1 soient égales. Ce dernier point est à retenir.

Lorsqu'on relève la courbe de réponse d'un amplificateur BF, on injecte à l'entrée de cet ampli un signal provenant d'un générateur (fig. 4). Ce signal d'entrée aura une amplitude constante quelle que soit la fréquence de mesure, celle-ci variant de quelques dizaines de hertz à quelques dizaines de kilohertz. En sortie un voltmètre est connecté aux bornes de la charge, en l'occurrence une résistance présentant la même valeur ohmique que la bobine mobile du haut-parleur.

La valeur de référence est la tension V_1 obtenue en sortie pour une fréquence définie, par exemple 1 000 Hz. En faisant varier la fréquence du générateur nous obtenons, pour chaque fréquence, une valeur de tension de sortie qui, par rapport à la valeur de la tension de sortie à 1 000 Hz, nous donne la valeur en décibels.

Un tel relevé est donné dans le tableau IV. Pour 1 kHz nous avons 0,55 V en sortie. La fréquence de mesure varie de 20 Hz à 80 kHz. A 30 kHz la tension de sortie est de 0,34 V, soit une diminution par rapport à celle à 1 kHz, la chute est de

$$20 \log \frac{0,34}{0,55} \text{ soit } -4 \text{ dB.}$$

Il ne faut surtout pas penser que l'amplificateur apporte à cette fréquence une atténuation, cela signifie seulement que, par rapport au gain maximal de l'amplificateur (à 1 kHz), le gain chute de 4 décibels à la fréquence considérée.

Il faut bien remarquer également que la formule utilisée ($20 \log (V_2/V_1)$) est valable parce que la mesure a été effectuée aux bornes d'une même résistance R.

Cette même formule peut également être appliquée pour une chaîne de circuits dont l'impédance est toujours la même. Sur la figure 5, les trois étages sont reliés avec des câbles d'impédance caractéristique de 50 Ω. A l'entrée de B la tension est de 1 V et la puissance est de 20 mW. A la sortie de B les valeurs sont 5 V et 500 mW. Les deux formules donnent le même gain en décibels.

$$R_{dB} = 10 \log_{10} \frac{500}{20}$$
$$= 13,97 \text{ dB}$$

$$R_{dB} = 20 \log_{10} \frac{5}{1}$$
$$= 13,97 \text{ dB}$$

Une autre formule est valable pour les rapports d'intensité (traversant la même valeur de résistance).

$$R_{dB} = 20 \log_{10} \frac{I_S}{I_E}$$

Puisque :

$$R_{dB} = 10 \log \frac{RI_S^2}{RI_E^2}$$

On a :

$$10 \log \left(\frac{I_S}{I_E}\right)^2$$

soit :

$$20 \log \frac{I_S}{I_E}$$

Attention : il existe plusieurs formules pour obtenir la valeur en décibles, mais il n'y a pas plusieurs sortes de décibels. Si on vous dit qu'un amplificateur a un gain de 20 dB, il s'agit d'un gain de puissance de 100. En ce qui concerne le gain de tension, tout dépend des valeurs de résistance d'entrée et de sortie.

Les décibels peuvent exprimer un niveau

Le décibel peut également être utilisé pour évaluer un niveau. Pour cela il faut définir une valeur prise comme référence. Souvent c'est le milliwatt qui est pris comme référence, et la formule générale se transforme en :

$$N_{dBm} = 10 \log_{10} \frac{P(\text{en mW})}{1 \text{ mW}}$$

ou plus simplement :

$N_{dBm} = 10 \log_{10} P(\text{en mW})$

A un point donné d'un circuit on a mesuré 100 mW, le niveau est de 20 dBm. Et si à partir de ce point nous branchons un amplificateur de 40 dB, nous obtenons à la sortie de celui-ci un niveau de :

20 dBm + 40 dB = + 60 dBm

Quelle sera donc alors la puissance à la sortie de cet amplificateur ? Elle sera égale à :

$$P(\text{en mW}) = \text{antilog} \frac{60 \text{ dBm}}{10} = + 10^6 \text{ mW}$$

ou 1 000 W

Si a un autre point du montage nous avons 0,5 mW, le niveau en ce nouveau point est de 10 log 0,5 soit − 3 dBm. Le signe « moins » devant 3 ne signifie pas que le circuit apporte une atténuation, il faut dire seulement que la puissance en cet endroit est inférieure à 1 mW.

Il existe aussi des « dB watts » (dBW) et la formule est :

NdBW = 10 log P (en watts)

A la sortie de l'amplificateur dont nous venons de parler, le niveau est de +30 dBW.

Il est également avantageux de connaître la relation entre les dBm et les dBW :

NdBm = NdBW + 30

Echelle dB des multimètres

Certains multimètres possèdent une échelle « décibelmètre ». La valeur standard du zéro décibel est par convention 1 mW dans une charge de 600 Ω, ce qui correspond à une tension de 0,774 V aux bornes de 600 Ω. Cette valeur de tension assez faible se trouve généralement sur l'échelle 1,5 V alternatif, qui au lieu d'avoir une graduation allant de 0 à 1,5 V, possède une échelle graduée par exemple de −10 dB à +5 dB, le 0 dB correspondant, comme nous l'avons dit, à 0,774 V (fig. 6).

Cette fonction décibelmètre est utile lorsqu'on relève la courbe de réponse d'un amplificateur. Il suffit d'accorder le générateur BF sur la fréquence de référence et de régler le niveau pour que l'aiguille du multimètre se trouve sur la position 0 dB.

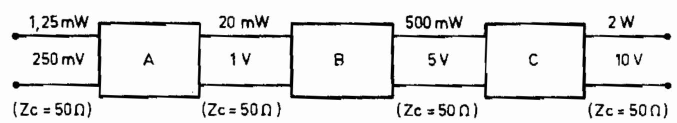


Fig. 5. – L'impédance étant toujours la même, on pourra calculer le gain en décibel par la formule : $20 \log \frac{V_2}{V_1}$.

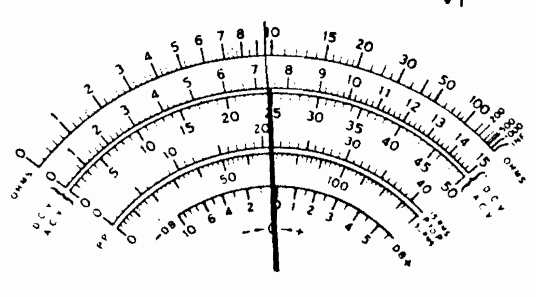


Fig. 6. – Cadran avec échelle en dB (document Heathkit).

Mais supposons que le gain du circuit que nous mesurons augmente avec la fréquence et que l'on dépasse +5 dB, il est nécessaire alors de changer la sensibilité. Que devient la valeur en décibels ?

Si on se met sur la position 0-15 V, la déviation maximale passe de 1,5 V à 15 V soit un rapport de 10. On ajoutera donc 20 dB à la valeur lue, pour la bonne raison que :

$$20 \log \frac{15}{1,5} = 20 \text{ dB}$$

Si nous passons sur la sensibilité 0-5 V ou 0-50 V, on ajoutera soit 10 dB, soit 30 dB...

Cette valeur en dB n'est valable que pour une impédance égale à 600 Ω, c'est une valeur normalisée chez les ingénieurs du téléphone aux Etats-Unis. L'expression « Bel » ne vient-elle pas du nom de l'inventeur du téléphone de nationalité américaine Alexander Graham Bell ? La plupart du temps, l'impédance aux bornes de laquelle se fait la mesure est différente de 600 Ω, et une correction s'impose. La valeur en dB à rajouter est donnée par la formule :

$$10 \log \frac{600}{Z}$$

ainsi, pour Z = 75 Ω, il faut rajouter +9,03 dB. Et si l'impédance Z est de 8 Ω, on rajoutera à la lecture + 18,75 dB. Au cas où Z serait plus grand que 600, il faudrait soustraire une certain valeur de décibels :

(Si Z = 1 000 Ω,

$$10 \log \frac{600}{1\,000} = - 2,2 \text{ dB.})$$

J.-B. P.