

Le Décibel (dB) (ON5HQ)

En électronique, il est fréquent de trouver des rapports ou des gains de puissance ou de tension exprimés en Bel, et plus régulièrement exprimé par un sous multiple du Bel, le décibel ; 1 Bel = 10 décibels (en mémoire d'Alexandre Graham Bell, inventeur du téléphone).

Mais cette notion est elle bien comprise ou maîtrisée ?

J'ai entendu dire, d'un OM parlant du gain de 13dB de son antenne, que le gain était donc de 13 !!!!! Hé oui, il avait donc une puissance apparente rayonnée de 13 fois la puissance envoyée dans l'antenne par l'émetteur, tout simplement et sans complexes, HI.

L'unité de base, le Bel (le décibel est donc 10 fois plus petit que le bel) n'est pas un rapport de puissance, mais le **logarithme** du rapport de puissance, et peut être qu'un petit rappel de la notion de logarithme serait le bienvenu.

On rencontre le décibel dans les domaines aussi variés que l'acoustique, l'électronique, la propagation des ondes, les antennes. Il permet de comparer des tensions, des puissances, des gain ou des pertes, ou d'exprimer des niveaux par rapport à un niveau de référence.

Logarithmes

Il existe principalement deux sortes de logarithmes, les logarithmes népériens, à base du nombre "e" (2,71828), appelé aussi logarithmes naturels (ou népériens) et notés log ou ln, qui servent au calcul du nombre de népers (N), et les logarithmes décimaux à base 10, notés Log et qui servent au calcul du nombre de Bel (B), mais nous ne retiendrons que les logarithmes à base 10 qui sont les plus utilisées en radio, les népers se rencontrent encore en téléphonie, et népers et Bels ne diffèrent donc que par la base des logarithmes utilisés.

Définition : le logarithme d'un nombre dans une base déterminée est la valeur de l'exposant de la base qui permet d'obtenir ce nombre.

Avec un exemple dans les logarithmes à base 10, éclaircissons tout de suite cette définition par des exemples :

$$\text{Log}(100) = 2 \text{ car } 10^2 = 100$$

$$\text{Log}(1.10^6) = 6$$

$$\text{Log } 0,001 = -3 \text{ car } 1.10^{-3} = 0,001$$

$$\text{Log } 1.10^{-9} = -9$$

Les logarithmes des nombres de 1 à 10 sont compris entre 0 et 1, ceux des nombres de 10 à 100 sont compris entre 1 et 2, et ainsi de suite

Nous n'aurons pas toujours la chance (ce sera d'ailleurs rarement le cas) de travailler avec des nombres qui sont des puissances entières de 10. Si nous prenons une calculatrice pour calculer le Log de 4, on trouve 0,60206; vérifions la définition du Log en effectuant l'opération $10^{0,60206}$, et on trouve bien 4. (les résultats sont bien sur arrondis car on peut considérer avec raison que, par exemple : 1,98 ou 2,02 sont équivalents à 2. De même, $\log 4 = 0,60206$ soit pratiquement 0,6 et l'inverse sera donc $10^{0,6} = 3,981$ soit pratiquement 4)

En fait, chaque fois que nous aurons besoin du Log d'un nombre, il nous suffira d'entrer ce nombre sur notre calculatrice et d'appuyer la touche Log ; à ne pas confondre avec la touche "ln" qui donne le logarithme naturel (ou népérien).

Antilogarithmes.

Cela n'est pas un mouvement d'opposition aux logarithmes, mais tout simplement l'opération inverse au Log. Pour trouver un nombre qui correspond à un logarithme, il suffit d'élever la base (10 dans notre cas), à la valeur de ce logarithme comme nous l'avons vu précédemment.

Suivant le type de calculatrice à disposition, il comporte soit une touche (10^x) qui correspond exactement à ce qui est dit ci-dessus, ou une touche inverse, et dans ce cas, la séquence (INV) et (LOG) donne l'antilog. en effectuant tout simplement : 10^x .

Quelques propriétés des logarithmes :

$$\text{Log} (A \cdot B) = \text{Log} (A) + \text{Log} (B)$$

Ex: $\text{Log} (3 \times 6) = \text{Log} 3 + \text{Log} 6 = 0,47715 + 0,77815 = 1,2553$
Antilog $1,2553 = 10^{1,2553} = 18$, qui est bien égal à 3×6

$$\text{Log} (A/B) = \text{Log} (A) - \text{Log} (B)$$

Ex: $\text{Log} (6 / 3) = \text{Log} 6 - \text{Log} 3 = 0,77815 - 0,47715 = 0,301$
Antilog $0,301 = 10^{0,301} = 2$, qui est bien égal à $6 / 3$

si $A^b = C$ alors $\log_{(a)} C = B$ ($10^2 = 100$ équivaut à $\text{Log}_{(10)} 100 = 2$)
 $\log A^b = B \cdot \log A$

Mais que serait le Log de 40 ?

Puisque $40 = 10 \times 4$, nous pouvons additionner le Log de 10 avec le Log de 4, ce qui nous donne : $\text{Log} 10 + \text{Log} 4 = 1,60206$, et si nous effectuons l'opération $10^{1,60206}$, nous obtenons bien 40. Cela découle des propriétés des logarithmes.

Dans le nombre représentant un Log, la partie située à gauche de la virgule s'appelle la *caractéristique* et la partie à droite de la virgule la *mantisse*.

Gain et atténuations - décibel

La mesure ou la connaissance des gains et des atténuations est une opération très fréquentes pour l'OM; pour comparer deux amplificateurs entre eux, évaluer la sensibilité d'un récepteur, les performances d'un amplificateur de puissance ou d'un préampli d'antenne, il est nécessaire de mesurer la puissance d'entrée et celle de sortie; en divisant l'un par l'autre on peut connaître le facteur d'amplification de l'étage concerné.

Par exemple ;

un préamplificateur BF de gain 500 suivi d'un amplificateur de puissance d'un gain 200 aura un gain total de $500 \times 200 = 100\,000$, et un récepteur complet pourra avoir un gain de $1\,000\,000\,000\,000$.

La manipulation de ces nombres astronomiques a conduit à l'utilisation du **décibel**, basé sur le logarithme du rapport de puissance entre l'entrée et la sortie de l'étage concerné.

La formule qui permet de calculer le gain en **décibel** à partir de la puissance d'entrée P_e et de la puissance de sortie P_s d'un étage est la suivante :

$$G_{dB} = 10 \cdot \text{Log} \left(\frac{P_s}{P_e} \right)$$

P_e et P_s doivent être exprimés dans la même unité.

Appliquée à l'exemple cité plus haut, la première formule nous donne :

- amplification de 500 : +27dB
- amplification de 200 : + 23dB
- amplification de 100 000 : + 50dB

En utilisant le décibel, une simple addition suffit à calculer le gain total d'une suite d'étage amplificateurs, en effet : $27 + 23 = 50$.

De même, le gain en puissance du récepteur évoqué précédemment ($1\ 000\ 000\ 000\ 000$ ou 10^{12}) équivaut à 12 Bels, soit 120 dB.

Les dB peuvent aussi servir à exprimer des pertes, il nous faut simplement mettre un signe – devant le chiffre. Une atténuation est donc traitée de la même façon. Par exemple, si le rapport de puissance entre l'entrée d'un atténuateur et la sortie est de $1/10$ (0,1), le "gain" en dB est de –10dB.

Dans le cas d'un câble coaxial, si l'on fait entrer une puissance de 10 W dans un câble de mauvaise qualité et qu'il n'en sort que 5 W, nous aurons une perte de 3 dB ou un gain de –3 dB.

$$10 \cdot \text{Log} (5/10) = 10 \cdot \text{Log} (0,5) = 10 \times -0,3 = -3 \text{ dB}$$

Rapport de tensions ou de courants.

Si l'impédance d'entrée et de sortie du module amplificateur (ou atténuateur) sont identiques, il est possible d'utiliser les rapports de tension (ou de courants) d'entrée U_e (I_e) et de sortie U_s (I_s) dans les formules suivantes :

$$G_{dB} = 20 \cdot \text{Log} \left(\frac{U_s}{U_e} \right)$$

$$G_{dB} = 20 \cdot \text{Log} \left(\frac{I_s}{I_e} \right)$$

Dans le cas où les impédances ne sont pas identiques, il faut calculer les puissances d'entrées et de sortie et comparer ces dernières.

Valeurs importantes

Quelques valeurs de dB se retrouvent plus souvent que d'autres, et il est important de les savoir par cœur; Un doublement de puissance correspond à 3 dB, 6 dB correspondent donc à 4 fois plus importante, 9 dB à une puissance 8 fois, etc

10 dB correspond à un gain de 10 fois la puissance de départ, 20 dB à 100 fois, 30 dB à 1000 fois, etc.. ces valeurs nous seront d'un grand secours pour approximer ou même trouver exactement le gain d'un amplificateur, par exemple, un gain en puissance de 23 dB vaut :

$$20 \text{ dB} + 3 \text{ dB} \text{ ce qui fait } 100 \text{ fois et } 2 \text{ fois} = 200 \text{ fois}$$

Et l'opération inverse pour déterminer le rapport connaissant la valeur en dB ?

La formule pour retrouver A, le rapport de puissance P_s/P_e correspondant à un gain G en dB, est la suivante :

$$A = 10^{\left(\frac{G}{10}\right)}$$

calculons à quel rapport de puissance correspondent 23 dB.

$$R = 10^{\text{puissance } 23/10} \text{ soit } 10^{2,3} = 200, \text{ c'est simple non ?}$$

Quelques exemples :

1 - quel est l'amplification de puissance exprimée en dB d'un amplificateur qui sort 20 W pour 1 W à l'entrée ?

$$A = 10 \text{ Log } 20/1 = 13 \text{ dB}$$

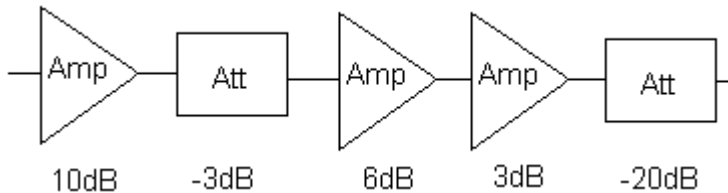
2 - quel est l'atténuation de puissance exprimée en dB d'un atténuateur auquel on applique une puissance de 100 W et qui restitue 15W

$$A = 10 \text{ Log } 15/100 = -8,2 \text{ dB}$$

3 - quel est l'amplification de tension exprimée en dB d'un transistor monté en amplificateur sur lequel on mesure 3 V de tension de sortie pour 10 mV de tension d'entrée ?

$$A = 20 \text{ Log } 3/0,01 = 49,5 \text{ dB}$$

Application pratique des log en radioélectricité



Vous avez ci dessus une chaîne d'amplificateurs et d'atténuateurs. Connaissant l'atténuation ou le gain de chaque élément, il est très facile de calculer le gain/atténuation total.

1er cas - en dB:

$$+10 - 3 + 6 + 3 - 20 = -4 \text{ dB}$$

globalement cette chaîne atténue le signal appliqué en entrée.

2ème cas - avec les rapports de puissance correspondants aux dB des différents étages :

$$10 \times 0,5 \times 4 \times 2 \times 0,01 = 0,4$$

Vérifions simplement en calculant : $10 \cdot \text{Log } 0,4 = -4 \text{ dB}$

C'est extrêmement commode car beaucoup de données vous sont fournies en dB. Prenez l'atténuation d'un câble coaxial, on vous fournit l'atténuation en dB pour 100 m, il est aisé connaissant votre longueur d'en déduire la perte apportée

Le dBm ou dB milliwatt:

Ou décibel par rapport au milliwatt. Il exprime un niveau par rapport à une puissance de référence qui est le milliwatt. On rencontre également le dBW, décibel par rapport au watt.

Il est commode d'exprimer une puissance par rapport à une référence qui sera en l'occurrence le milliwatt sur une impédance de 50Ω . Cette notion d'impédance de charge est importante et doit être spécifiée car 0 dBm sur 50Ω ne correspond pas à 0 dBm sur 75Ω .

$$0 \text{ dBm sur } 50 \Omega = 224 \text{ mV sur charge de } 50 \Omega = 1 \text{ mW}$$

En quoi est-ce utile ?

Nous pouvons exprimer la puissance de notre émetteur en dBm, retrancher les pertes du câble, en déduire la puissance restante, ajouter le gain de l'antenne et calculer quel sera notre signal à 800 km. Plutôt que d'utiliser un S-mètre poussif et imprécis, il vaut mieux quantifier le signal en puissance car toute puissance correspond aussi à une tension se développant aux bornes d'une résistance. La résistance est constituée par l'antenne, votre signal chez un correspondant vaut x dBm.

Exemple : votre signal vaut -120 dBm chez un correspondant, vous multipliez votre puissance par 4 ce qui revient à ajouter 6dB, votre signal passera de -120 dBm à -114 dBm chez votre correspondant.
Sympa non ?

Calcul :

- Vous connaissez la puissance P en milliwatt:

$$\text{dBm} = 10 \cdot \text{Log } P$$

- Vous connaissez la puissance P en watt:

$$\text{dBm} = 10 \cdot \text{Log } P \cdot 10^3$$

L'échelle en dB d'un contrôleur universel.

Sur certains contrôleurs universels à aiguille permettant de mesurer des tensions en courant alternatif il existe une échelle graduée en dB. L'origine 0 dBV correspond à 0,774 V c'est à dire la tension produite sur une charge de 600 Ω par une puissance de 1 milliwatt. La mesure d'une atténuation modérée (ou d'un gain) peut être facilement réalisée en mesurant le niveau à l'entrée et à la sortie de la ligne et en calculant la différence.

Le dBW:

Même principe que ci-dessus hormis que la puissance s'exprime par rapport au Watt.
On utilise cette unité pour les bilans de liaison.

Vous connaissez la puissance P en watt

$$\text{dBW} = 10 \cdot \text{Log } P$$

Pour passer des dBm aux milliwatt ou aux watt :

Très simple ,il suffit d'appliquer cette formule

$$R = 10^{\left(\frac{A}{10}\right)}$$

R = puissance en milliwatt

A = dBm

Encore quelques exemples :

- Je dispose d'une puissance de 20 dBm, à quoi cela correspond t'il en mW ?

$R = 10$ à la puissance 20/10 , soit : $10^2 = 100$ mW

- Un générateur fournit une puissance de 30dBm, quelle est sa puissance en W ?

30 dB correspondent à un rapport de puissance de 1000 fois (10^3), et comme la référence est le mW, nous aurons une puissance 1000 fois plus importante soit 1 W

- Si un amplificateur délivre une puissance de 100 mW, on dit que le niveau de sortie de cet ampli est de +20dBm puisque $10 \cdot \text{Log } 100 = 20$.

- Un émetteur de 2 W est suivit d'un amplificateur de 7,7 dB. Cet amplificateur alimente un câble dont les pertes sont de 2 dB, quelle est la puissance disponible au bout du câble ?

Cette puissance sera de 2 W plus (7,7 – 2) dB = 2 W + 5,7 dB

5,7 dB sont presque égaux à 6 dB qui correspondent à un gain en puissance de 4, la puissance est donc un peu inférieure à 8 W.

Effectuons maintenant un calcul plus précis et cherchons le rapport correspondant à 5,7 dB ou 0,57 Bels

$$\text{Log}(P2 / P1) = 0,57$$

Prenons maintenant l'antilog au moyen de la touche (10^X) ou (INV) et (LOG) , on trouve :

$$P2 / P1 = 3,715$$

Ceci est le rapport des puissances et comme nous avons un gain, il faut encore multiplier la puissance de départ par ce rapport :

$$2 \times 3,715 = 7,43 \text{ W}$$

ce qui est bien un peu inférieur à 8 W comme prévu.

La sensibilité d'un récepteur est spécifiée à -110 dBm sur 50 Ω . A quelle tension correspond cette valeur?

A : 0,35 μV

B : 1,16 μV

C : 0,7 μV

D : on ne peut pas calculer

De la formule $P = U^2 / R$, on tire : $U = \sqrt{P \cdot R}$

Mais attention au choix des unités, car dans cette formule, l'unité de puissance est le W et :

$$10^{-11} \text{ mW} = 10^{-14} \text{ W}$$

$$\text{d'où : } U = \sqrt{10^{-14} \times 50} = 0,7 \times 10^{-6} = 0,7 \mu\text{V}$$

La réponse est donc C.

Dans le cas où dans notre empressement, nous aurions pris pour P la valeur de 10^{-11} mW , nous aurions trouvé : $U = \sqrt{(10^{-11} \times 50)} = 22 \cdot 10^{-6} \text{ V} = 22 \mu\text{V}$.

Il y aurait eu mélange de Volts, ohms et milliwatts !!

Attentions donc à l'homogénéité des formules, c'est à dire au choix des unités, et il s'agit d'une règle universelle bien sur !!!

Norme ARRL de réception

- L'échelle de réception va de S1 à S9 et chaque unité S vaut 6 dB

- En dessous de 30 MHz, S9 est défini comme un signal de 50 μV sur 50 ohm.

$$P = (50 \times 10^{-6})^{2/50} = 50 \times 10^{-12} \text{ W} = 50 \text{ pW} = 5 \cdot 10^{-8} \text{ mW}.$$

Donc S9(dBm) correspond à $10 \cdot \log(5 \times 10^{-8}) = -73 \text{ dBm}$ et S1(dBm) correspond à :

$$(-73 - 6 \times 8) = -121 \text{ dBm}, \text{ soit } 0.2 \mu\text{V sur } 50 \text{ ohm}.$$

- Au dessus de 30 MHz, S9 est défini comme un signal de 5 μV sur 50 ohm.

$$P = (5 \times 10^{-6})^{2/50} = 0.5 \times 10^{-12} \text{ W} = 0.5 \text{ pW soit } 5 \cdot 10^{-10} \text{ mW}.$$

Donc S9(dBm) correspond à $10 \cdot \log(5 \times 10^{-10}) = -93 \text{ dBm}$ et S1(dBm) correspond à :

$$(-93 - 8 \times 6) = -141 \text{ dBm}, \text{ soit } 0.02 \mu\text{V sur } 50 \text{ ohm}.$$

Mais je ne peux m'empêcher de vous présenter un texte écrit par un OM pas très content au sujet de l'exactitude (ou plutôt de l'inexactitude) des S-mètres, HI !!

Des mesures sérieuses ont été faites sur les S-mètres de plusieurs TRX récents.

On peut y voir que les dB au-dessus de S9 sont plutôt correctement indiqués. Par contre en dessous de S9 tous ces appareils ont le sérieux défaut de dilater l'échelle. En effet, la dynamique théorique entre S1 et S9 étant de 48 dB (8 x 6), les S-mètres de ces appareils n'arrivent même pas à dépasser les 30

dB, ils ont donc tous la générosité comme principal défaut. (ce qui signifie que le S9 correspond à S1 + 30 dB plutôt que S1 + 48 dB, et 18 dB de différence correspond à 3 points S !!!)

conclusions

- En dessous de S9, il est devenu illusoire de passer un contrôle de force du signal reçu. Vu le prix, c'est fort de café !
- Mais je suis naïf car il y a encore plus fort. D'après certaines sources bien informées, cette vigueur "s-métrique" correspond à une demande forte des utilisateurs qui envisageraient de boycotter les appareils ayant un s-mètre poussif.
- Alors tant pis pour l'exactitude, ce qu'OM veut, ils le font ! L'union fait la force, c'est bien connu ! Mais si, on peut en rire !

Application aux antennes.

Le gain d'une antenne.

Le diagramme de rayonnement d'une antenne présente des lobes qui sont une représentation graphique de la distribution dans l'espace de la puissance fournie par l'émetteur à l'antenne; Il existe une ou plusieurs directions privilégiées et c'est grâce à cette concentration de l'énergie rayonnée dans un ou plusieurs lobes qu'une antenne présente un gain. Plus le lobe principal est long et plus vous aurez la possibilité d'émettre loin ou de recevoir de plus loin..

Comprenons bien que la puissance est toujours la même, mais qu'elle est concentrée dans une direction privilégiée au détriment des autres directions. On parle dans ce cas du gain de l'antenne. Ce terme n'est pas très heureux car l'antenne n'est pas à même d'amplifier un signal, elle le concentre dans une direction.

Ce gain est exprimé par rapport à un dipôle $\frac{1}{2}$ onde ou une antenne isotropique, qui est une antenne théorique qui émet des puissances égales dans toutes les directions, autrement dit dont le solide de rayonnement est une sphère.

On appelle gain en puissance d'une antenne le rapport entre la puissance reçue en un point placé dans la direction du lobe principal et la puissance qui aurait été reçue au même point si l'antenne avait été remplacée par l'antenne servant de référence (doublet ou antenne isotrope), placée au même endroit que l'autre, et alimentée avec la même puissance.

Le gain est exprimé en dB.

Rapport avant-arrière.

Une bonne antenne directive possède un lobe privilégié important par rapport aux autres lobes latéraux. Une des caractéristiques d'une antenne directive est le rapport avant-arrière qui permet d'exprimer la supériorité du lobe principal (avant) par rapport avec l'un des lobes parasites les plus gênants : celui situé dans l'axe de l'antenne mais dirigé vers l'arrière. Le rapport avant-arrière est exprimé en dB, c'est la caractéristique la plus facile à vérifier pour un amateur

Les dBi et dBd :

Ceux-ci, on les retrouve surtout chez les fabricants d'antennes qui non contents de vous faire mettre de l'aluminium en l'air, aiment à entretenir une douce confusion entre ces malheureux dB.

Le **dBi** exprime en dB le gain d'une antenne par rapport à un aérien isotrope qui émet la même quantité d'énergie dans toutes les directions. Cet aérien n'existe pas mais sert de référence pour l'évaluation du gain.

le **dBd** exprime en dB le gain d'une antenne par rapport à un aérien dipôle demi-onde. Cet aérien est une réalité physique.

Les catalogues ne spécifient pas souvent si nous avons affaire à des dB i ou d. Pourtant la différence est de taille.

Une antenne de 10dBd de gain à un gain de 12,14 dBi.

Voyez que la tentation est grande d'afficher plutôt des dBi que des dBd sans l'écrire.

Puissances PAR ou ERP et PIRE ou EIRP.

La PAR (puissance apparente rayonnée) ou **ERP** (Equivalent Radiated Power) est le produit de la puissance transmise à l'antenne multiplié par le gain (en valeur réelle) par rapport au dipôle.

$$\text{PAR} = P \cdot G \quad \text{avec : } P \text{ en W} \\ G = \text{gain par rapport au dipôle en valeur réelle}$$

Exemple : soit une antenne de 4 dBd de gain, ce qui correspond sensiblement à un rapport de puissance de 2,5.

Si l'émetteur délivre 100 W et que vous n'avez pas de pertes dans le coaxial (heureux veinard), votre PAR sera : $100 \times 2,5 = 250 \text{ W}$.

Ce qui revient à dire que utiliser vos 100 W avec votre antenne de 4dBd est équivalent à utiliser 250 W dans une antenne doublet. En d'autres termes, un correspondant quelconque vous recevrait avec la même intensité dans un cas d'installation comme dans l'autre.

La PIRE (Puissance Isotropique Rayonnée Equivalente) ou **EIRP** (Equivalent Isotrop Radiated Power) est le produit de la puissance transmise à l'antenne multipliée par le gain (en valeur réelle) par rapport à l'antenne isotropique.

$$\text{PIRE} = P \cdot G \quad \text{avec: } P \text{ en W} \\ G = \text{gain par rapport à l'antenne isotropique en valeur réelle}$$

Exemples :

- Une antenne à un gain de 6 dBi qui correspond à un rapport en puissance de 4.

Si l'émetteur délivre 100 W et que vous n'avez pas de pertes dans le coaxial (toujours aussi veinard), votre PIRE sera : $100 \times 4 = 400 \text{ W}$

Il serait plus rigoureux d'utiliser la puissance PIRE (de toute) plutôt que la puissance PAR puisque le dipôle a déjà un gain de 2,14 dBi.

Dans la réalité, il faut bien évidemment soustraire, des 6 dBi de gain de l'antenne, les pertes dans le câble coaxial.

- Une antenne ayant un gain de 8 dBi rayonne 12W. Elle est alimentée par une ligne de 50 Ω. Quelle est la tension crête à ses bornes ?

Si cette antenne rayonne 12 W avec un gain de 8 dB, pour trouver la puissance qui lui est amenée, il faut effectuer $12 \text{ W} - 8 \text{ dB}$.

8 dB correspond à un rapport de : $\text{antilog}(8/10) = 10^{0,8} = 6,3$

La puissance à l'entrée de l'antenne est de : $12 / 6,3 = 1,9 \text{ W}$

Il faut maintenant chercher la tension efficace aux bornes de l'antenne :

$$U = \sqrt{(P \cdot R)} = \sqrt{(1,9 \times 50)} = 9,75 \text{ V}$$

Pour trouver la tension de crête, multiplions par $\sqrt{2}$: $9,75 \times 1,414 = 13,8 \text{ V}$

Les décibels sont très utilisés également pour exprimer le calcul du bilan d'une transmission, mais ce sujet fait partie d'un article complet à lui tout seul (dans un prochain article peut être)

Il existe encore bien des choses à dire au sujet des décibels, et il en existent d'ailleurs encore utilisant d'autres références, mais les principes fondamentaux sont exposés dans cet article et vous permettrons de les manipuler je l'espère avec succès.