

Voici un petit problème d'électronique posé dans Radio-REF de janvier 2016. Il est suivi de quelques réponses d'OM et de mon "corrigé".

Petit problème d'électronique

Puissance de sortie d'un générateur HF

Robert BERRANGER, F5NB.

Mon générateur HF indique une puissance de sortie de xdBm. Est-ce toujours vrai ?

Un jour, deux étudiants en classe préparatoire ont sollicité l'aide du radio-club F6KRK pour leur "t.i.p.e." de fin d'année. Ils avaient choisi pour sujet une comparaison des bilans de liaisons pour deux méthodes de transmission : BLU et modulation AM. "Fastoche" leur avons-nous répondu. Croyez-vous ? Nous sommes tombés sur le petit problème qui va suivre.

Présentation du contexte

Soit le montage théorique de la figure 1.

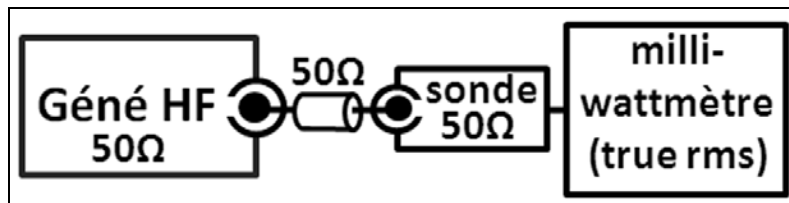


Figure 1 : montage de mesure

Première mesure : Générateur en mode CW. Niveau de sortie affiché = +10 dBm

Deuxième mesure : Générateur en mode AM, modulé à 100% par du 1 kHz. Même niveau de sortie affiché (+10 dBm).

Questions

- 1 - Quelles sont pour les deux mesures les valeurs que l'on devrait lire sur le milli-wattmètre ?
- 2 - Argumenter votre réponse à la question 1, que les valeurs mesurées soient égales à la valeur affichée par le générateur, ou non.

J'attends vos réponses à "f5nb@orange.fr", ou par courrier via la rédaction de Radio-REF. J'en ferai un compte rendu dans un prochain numéro de Radio-REF.

P.S. F6BPS, F6FQX et F4FEJ du radio-club F6KRK sont hors concours.

Réponses au petit problème d'électronique

Puissance de sortie d'un générateur HF

Robert BERRANGER, F5NB

Dans le Radio-REF de janvier j'ai énoncé un petit problème d'électronique en demandant aux lecteurs de me répondre. Vous avez été quelques uns à le faire et je vais transcrire ici vos réponses. Pour moi, ce problème constituait une bonne introduction aux développements qui vont suivre.

Rappel du petit problème

Soit le montage théorique de la figure 1.

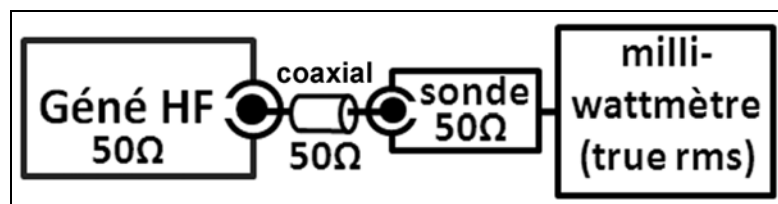


Figure 1 : montage de mesure

Première mesure : Générateur en mode CW. Niveau de sortie affiché = +10 dBm

Deuxième mesure : Générateur en mode AM, modulé à 100% par du 1 kHz. Même niveau de sortie affiché (+10 dBm).

Questions :

- 1 - Quelles sont pour les deux mesures les valeurs que l'on devrait lire sur le milli-wattmètre ?
- 2 - Argumenter votre réponse à la question 1, que les valeurs mesurées soient égales à la valeur affichée par le générateur, ou non.

En réalité ces questions renfermaient un piège : en effet il est impossible d'y répondre sans prendre des hypothèses non données dans l'énoncé. Une solution aurait consisté à faire la mesure, de constater les faits et d'en tirer des conclusions. C'est d'ailleurs de cette manière que nous avons, F4FEJ et moi-même, découvert cette particularité des générateurs HF.

Voici ci-après des extraits de vos réponses avec mes commentaires en bleu.

F8EBD :

"Je pense que votre Wattmètre est en fait un Voltmètre". En effet, la mesure de la puissance se fait par calcul à partir d'une mesure de tension aux bornes d'une résistance étalon (sonde 50Ω). Ici c'est un voltmètre "RMS", donc la puissance est "RMS" également.

" Etant un **true rms**, il donnera une valeur différente pour la lecture des signaux sinusoïdaux et des signaux carrés". Je suppose que F8EBD parle de la modulation. C'est exact pour tous les signaux périodiques.

"Dans le cas des signaux carrés, les valeurs lues sur le Wattmètre, résultant d'un calcul RMS, seront supérieures à celles des signaux sinusoïdaux, la fonction RMS, étant le calcul d'une valeur efficace !". Exact dans le principe.

"La valeur efficace d'un signal sinusoïdal étant égale à sa valeur crête divisée par 1,414 et la valeur efficace d'un signal carré étant égale à sa valeur crête, le rapport des puissances sera dans le même rapport". Deux erreurs : d'une part avec un signal sinusoïdal, les rapports entre tension et puissance ne sont pas les mêmes (pour un rapport de 1,414 entre les tensions, le rapport entre les puissances est de 2). D'autre part, nous n'avons pas affaire à un signal sinusoïdal constant, mais à un signal complexe. De fait, le rapport des puissances entre une modulation carrée et une modulation sinusoïdale est de $[2/1,5]$.

F5EDP :

"1- Mesure en mode CW. En CW +10dBm correspondent à une puissance de 10mW. C'est cette valeur qu'indiquera le milliwatt-mètre (true RMS)". Effectivement.

"2- Mesure en mode AM avec une modulation à 100%. Après passage dans le modulateur à diodes PIN le signal prend la forme ci-dessous" (voir figure 3). Là, F5EDP fait des suppositions sur la manière dont est faite la modulation. Or on n'en sait rien et cela n'a pas d'importance. L'important, c'est que le générateur affiche toujours + 10 dBm, qu'il soit en mode CW ou en mode AM modulé à 100% par un signal BF 1 kHz sinusoïdal.

Ensuite F5EDP continue sur son hypothèse qui entraîne que la valeur crête du signal ne change pas, signal modulé à 100% ou pas. Alors ses calculs de puissance pour une modulation 100% sont divisés par quatre. Ainsi il trouve 2,5 mW pour la porteuse et 0,625 mW pour chaque bande latérale, soit 3,75 mW en tout. Multipliés par 4 cela fait bien 15 mW (11,76 dBm), valeur effectivement mesurée par le milliwatt-mètre. Mais il ne nous dit pas pourquoi celui-ci et le générateur ne sont pas d'accord.

F5PZR :

"Si je comprends bien, "RMS" veut dire que le milliwatt-mètre mesure une puissance efficace quelle que soit la forme du signal". Tout à fait vrai.

"Mon premier problème concerne les 10 mW affichés par votre générateur. Sont-ils crêtes ou efficaces ?" Efficaces, bien sûr, comme pour tous les générateurs HF.

"Si c'est crête, on devrait lire sur le wattmètre $[10/1,414]$ soit 7,1 mW. Si l'affichage du Générateur est en RMS, le wattmètre doit indiquer la même chose, soit 10mW." C'est le cas.

"Maintenant avec une modulation AM 100%. Nous obtenons les puissances : porteuse = 10 mW, bandes latérales inférieures et supérieures = $2 \times 2,5$ mW. Soit un total de 15 mW, conforme à la formule : $P_{\text{sortie}} = P_{\text{porteuse}} \times [1 + (m^2/2)]$ avec $m = \text{taux de modulation} / 100$ ".

Formule valable uniquement pour une modulation sinusoïdale. Le résultat est juste mais F5PZR ne nous dit pas non plus pourquoi les affichages sont différents entre les deux appareils. Quoique... il ajoute un post-scriptum :

"P.S. : Pour le dernier calcul, j'avoue humblement avoir un peu triché. J'ai branché un oscilloscope à la sortie du générateur modulé en AM pour voir s'il ne baissait pas le niveau de la porteuse en fonction du taux de modulation". Il a en effet la réponse, mais comme il ne s'est pas posé la question...

F6DZK :

"Lisant R-REF en attendant mon train, je suis tombé sur le quizz du générateur HF. J'ai fait un calcul rapide sur un petit bout de papier et je trouve 1,76 dB de plus en AM à 100%". Il n'y a pas d'endroit privilégié pour lire Radio-REF et faire un bon calcul.

"Le générateur pourrait facilement compenser la puissance en AM pour que l'affichage soit correct". Et oui, il pourrait, mais il ne le fait pas, et là est la question...

F8IC :

"Si le générateur sort bien ses 10mW en signal modulé à 100% (indice de modulation $m = 1$), le signal se décompose en une porteuse à environ 63% soit 6,3 mW et deux bandes latérales au total de 37 % soit 1,85 mW pour chacune et on a bien $6,3 + 1,85 + 1,85 = 10$ mW, les bandes latérales sont à environ -11dB. Comme je suis bien équipé en mesure j'ai fait la manip à l'analyseur de spectre et c'est bien cela que l'on trouve sauf erreur". Et il y a quelques petites erreurs de mesure : la porteuse a une puissance de 6,667 mW et les deux bandes latérales 1,667 mW chacune. Le total fait donc bien 10 mW, mais les raies des bandes latérales sur l'analyseur de spectre sont à -6 dB sous la porteuse. Si F8IC avait ajusté son générateur pour mesurer à l'analyseur une porteuse à 8,24 dBm et des raies à 2,24 dBm chacune, soit un total de 10 dBm ⁽¹⁾, puis regardé le niveau de sortie de son générateur, il aurait vu qu'il affichait, non pas 10 dBm (10 mW), mais 8,24 dBm (6,667 mW). On retrouve notre différence de 1,76 dB (rapport 1,5). Mais lui non plus ne dit pas pourquoi.

Merci à ces OM qui ont fait preuve d'un certain courage. Tout le monde a bon dans l'ensemble, mais aucun n'a répondu à la deuxième question. Je vais donc le faire.

Puissance(s), définitions

En courant continu, la puissance est égale à l'énergie dépensée dans une charge pendant une certaine durée de temps, ramenée à la seconde. Ainsi $P = Q / t$. Si $t=1$ seconde et $Q=1$ coulomb, alors $P = 1$ watt ⁽²⁾. Mais si $t=0,1$ sec et $Q=0,1$ coulomb, P est encore égale à 1 watt. Si $t \ll 1s$, on parle de puissance instantanée. On peut définir une puissance moyenne sur la durée t . Alors $P_{moyen} = Q_{moyen} / t$.

En courant alternatif (quelconque), t ne peut plus prendre n'importe quelle valeur. Il doit être un multiple de la période T du signal. Si $t \gg T$, alors l'erreur que l'on fait en prenant t quelconque devient négligeable. Ceci est très important et l'oublier peut entraîner des erreurs de mesures.

Autres types de puissances.

Par définition, une puissance ne peut être que réelle (un travail, c'est du concret). En alternatif, cette puissance est appelée "efficace". Elle ne peut être mesurée que sur une durée multiple d'une période exactement (une période minimum). Si le signal est invariable en amplitude pendant la durée de la mesure ($t \gg T$), alors la puissance moyenne est égale à la puissance efficace ⁽³⁾.

Cas de la puissance PeP : "PeP" veut dire en bon français "puissance de la crête de l'enveloppe". C'est pendant la durée ($t \gg T$) la valeur de la puissance **efficace** instantanée maximum durant cette période ⁽⁴⁾.

Tous les autres types de puissance sont des valeurs mathématiques qui permettent, il est vrai de calculer des puissances réelles dans des cas particuliers, mais qui n'ont pas de réalité physique. Il en va ainsi des puissances crête et crête à crête, de la puissance apparente, de la puissance réactive, de la puissance directe et de la puissance réfléchiée. Une fois que l'on a compris cela, on se simplifie beaucoup la vie.

Mesures "True RMS"

"RMS" (Root Mean Square) veut dire en bon français, soit "carré de la moyenne des racines carrées" (puissance RMS), soit "racine carrée de la moyenne des carrés" (tension et courant RMS). "True" (vrai) est un pléonasme utilisé pour renforcer l'expression. Dans le cas du

milliwatt-mètre de la fig. 1, c'est en réalité un voltmètre RMS et on obtient la puissance RMS en prenant le carré du résultat, divisé par la résistance étalon de la sonde ($P=U^2/R$).

Méthode de mesure d'une tension RMS

Voir sur la figure 2 l'exemple d'un schéma de principe de la mesure. Il est très simplifié pour faciliter la compréhension. La réalisation est beaucoup plus compliquée.

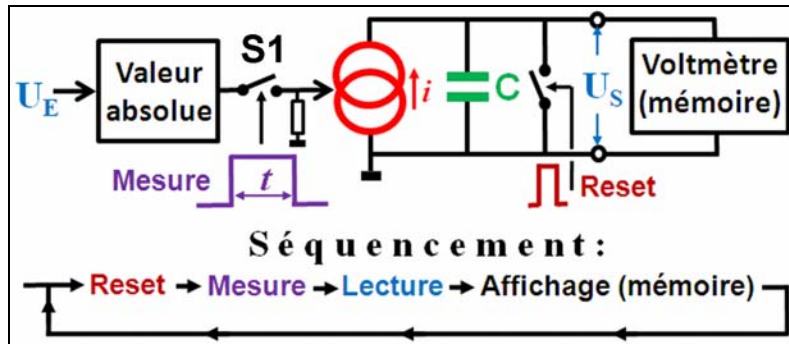


Figure 2 : Schéma de principe d'un mesureur de tension RMS

La valeur absolue du signal est obtenue par redressement double alternance (ce n'est pas une détection). Le cœur du système qui est constitué d'une source de courant commandée en tension et chargée par un condensateur, obéit à la loi mathématique :

$$U_{OUT} = \left[\int_0^t \text{abs}(U_{IN}) \cdot dt \right] / t$$

U_{OUT} représente la moyenne de U_{IN} pour la durée t .

Le temps t va influencer directement la précision. Par exemple avec une modulation 1 kHz, la période est de 1 ms. Si le temps de mesure t est d'environ 100 ms, la précision de la mesure ne sera pas meilleure que $\pm 0,5\%$. Et elle descendra à $\pm 10\%$ pour une modulation à 50 Hz. Sauf si la base de temps du milliwatt-mètre est synchrone avec la modulation, mais c'est rarement le cas. On a ici un exemple des précautions à prendre pour effectuer une mesure précise ⁽⁵⁾.

Retour sur le petit problème

Ayant à faire une dissertation sur les efficacités comparées entre les procédés AM et BLU, nous trouvons pour une modulation à 100% une différence de 1,76 dB entre les mesures faites avec l'analyseur de spectre et les calculs faits à partir du niveau affiché à la sortie du générateur HF. Et ceci pour trois générateurs HF différents. Nous nous sommes alors aperçus que sur l'analyseur le niveau de la porteuse ne changeait pas en fonction du taux de modulation et correspondait au niveau affiché par le générateur HF. Or il était évident qu'une énergie supplémentaire apparaissait avec l'augmentation du taux de modulation. Pour une modulation à 100%, cela correspondait à un accroissement de 1,76 dB (facteur 1,5) ⁽⁶⁾. Donc en AM le générateur HF n'affiche pas la puissance de sortie réelle, mais la puissance contenue dans la porteuse. Pourquoi ???

Il y a deux raisons : la première est historique et la deuxième est liée à la possibilité de moduler le générateur par un signal extérieur aux caractéristiques inconnues.

Raison historique : Au début il n'existait que la modulation d'amplitude (AM) et les générateurs HF étaient surtout employés pour faire des mesures sur les récepteurs. Or, dans les récepteurs, la CAG régule le niveau de la porteuse, **indépendamment** de la modulation. Il en est de même dans un émetteur où le niveau de la porteuse est invariable et **indépendant** de la modulation. Le générateur HF était alors la réplique d'un émetteur. Les normes de mesures

étaient établies pour un taux de modulation de 30% avec un signal **sinusoïdal** pur. Tout le monde parlait le même langage, donc pas de problème... jusqu'à l'apparition de la BLU. Raison pratique : Dans un générateur HF, la régulation du niveau de sortie se fait sur la tension moyenne à la sortie (comme pour la CAG dans un récepteur). L'affichage en puissance, calculé selon la formule $P=U^2/R$, n'est alors valable que pour une charge résistive pure égale à l'impédance nominale de charge du générateur, en général 50Ω ⁽⁷⁾. Avec une modulation AM, la tension moyenne du signal HF est **toujours égale** à la tension moyenne de la porteuse, quelle que soit la forme d'onde de la modulation (phonie par ex.) et le taux de modulation. Pour une forme d'onde sinusoïdale pure et un taux de modulation donné, le générateur pourrait calculer la puissance réelle de sortie avec la formule citée par F5PZR " $P_S=P_P \times [1+(m^2/2)]$ ". Mais cette formule n'est pas valable pour les autres formes d'ondes. Il faudrait faire le calcul de la tension RMS et réguler le niveau en fonction du résultat. Bien sûr, cela ne poserait plus de problème de nos jours avec un DSP. Mais il est plus simple de conserver la compatibilité avec les générateurs "historiques", à charge pour l'utilisateur de calculer lui-même la puissance **réelle** de sortie. Encore faut-il qu'il y pense s'il ne veut pas risquer une erreur de mesure. Voir sur la figure 3 les différents paramètres liés à une modulation AM.

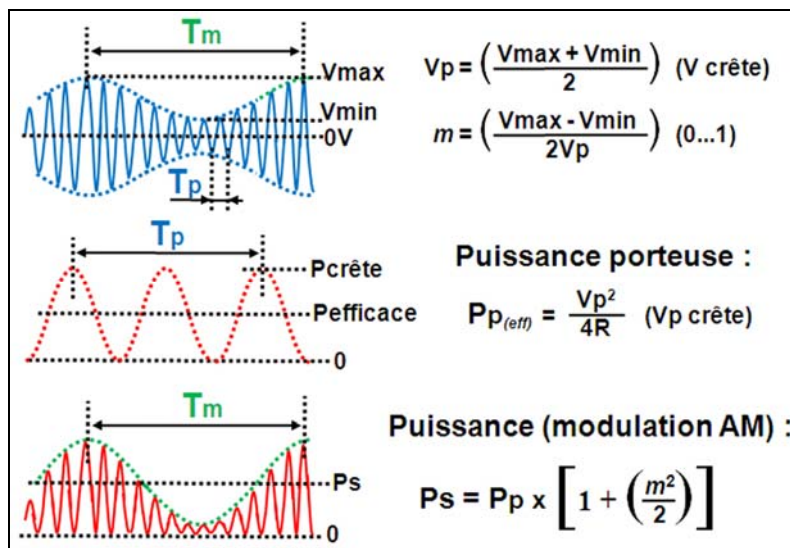


Figure 3 : Modulation AM : tensions, puissances et indice de modulation

Pour la puissance en AM, la valeur entre crochets est égale à 1 pour $m=0$ (porteuse pure et à 1,5 pour $m=1$ (modulation sinusoïdale 100%). Noter que pour la puissance porteuse, celle-ci est périodique avec une période divisée par deux (\sin^2) et pour la porteuse modulée, le coefficient multiplicateur est périodique à la période de la modulation ($[1+\sin]^2$). Le signal est devenu complexe et les relations entre tensions et puissances ne sont plus les mêmes.

Annexe 1 : Comparaison des efficacités pour les modes AM et BLU.

Pour faire cette comparaison, nous supposons que le rendement des émetteurs est le même en BLU et en AM. Nous allons définir deux efficacités :

- En émission c'est le rapport entre la puissance totale émise et la partie de la puissance qui contient l'information (la modulation).
- En réception c'est le même rapport S/B en bande de base (donc ramené à la puissance contenant l'information).

L'efficacité totale sera la multiplication des deux efficacités (ou l'addition si elles sont exprimées en dB) ⁽⁸⁾.

1^{er} cas : La modulation est faite par un signal sinusoïdal à 100% pour l'AM et pour la BLU il s'agit d'un signal CW égal à la puissance PeP.

Nous avons pour la BLU :

- Efficacité à l'émission = 1 (toute la puissance transmet l'information)
- Efficacité à la réception = 1 (référence)

Et pour l'AM :

- Efficacité à l'émission = 0,333, soit -4,77 dB (information contenue dans les deux bandes latérales)
- Efficacité à la réception = 0,5, soit -3,01 dB Le coefficient 0,5 correspond au doublement de la bande passante, donc du bruit (diminution de 3 dB du rapport S/B).

Cela donne une efficacité totale égale à -7,78 dB pour l'AM par rapport à la BLU. Cela correspond pour la BLU à une portée multipliée par 2,45 pour une même puissance rayonnée.

2^{ème} cas : Signal téléphonique (phonie).

Là, cela se complique sérieusement. Il va falloir faire intervenir la puissance moyenne de la phonie pour faire nos calculs. Un standard de fait donne une puissance moyenne égale à 16% de la puissance PeP. Pour l'AM, cela correspond à un indice de modulation de 0,4 ($0,4^2=0,16$).

Nous avons pour la BLU :

- Efficacité à l'émission = 1 (inchangée car la puissance HF est toujours égale à la puissance en bande de base, à un facteur constant près).
- Efficacité à la réception : -7,96 dB ($10 \cdot \text{Log}(0,16)$), car le bruit étant une constante, le rapport S/B a diminué d'autant.

Nous avons pour l'AM :

- Efficacité à l'émission = 0,08, soit -10,97 dB
- Efficacité à la réception = -10,96 dB. En effet, le bruit de fond n'a pas changé ici non plus et la différence de 3 dB correspond au facteur 0,5 du rapport des bandes passantes.

Cela donne une efficacité totale de -10,97 dB pour l'AM comparée à la BLU. Cela correspond pour la BLU à une portée multipliée par 3,54 pour une même puissance rayonnée quand le signal est de la téléphonie.

Annexe 2 : Autres comparaisons entre la BLU et l'AM

Les efficacités que l'on a calculées sont toutes théoriques. Et on a simplifié le problème en considérant que les rendements des émetteurs sont les mêmes et en assimilant la puissance moyenne de la phonie à un signal CW. En pratique, l'AM diminue son handicap.

D'abord, en général les émetteurs AM ont un bien meilleur rendement que les émetteurs BLU. On peut améliorer le rendement des émetteurs BLU, mais c'est une usine à gaz.

Ensuite, l'oreille n'étant pas linéaire, le rapport S/B avec un signal sinusoïdal ($P_{\text{moyen}}=P_{\text{eP}}$) et avec de la phonie ($P_{\text{moyen}}=0,16P_{\text{eP}}$) n'a pas du tout le même effet en BLU et en AM (favorable à l'AM).

En AM, on peut améliorer le rendement en augmentant l'indice moyen de la modulation à l'aide d'un compresseur audio ce qui a un effet sur le rapport S/B à la réception en n'augmentant que faiblement la puissance émise. En BLU la compression n'augmente pas le rendement, mais l'augmentation de la puissance moyenne émise (si l'émetteur le permet) augmente un peu la portée. Par ailleurs la dégradation de la compréhension limite le procédé.

En AM, toute l'information nécessaire pour une bonne réception est contenue dans le signal transmis. Avec la BLU, il nous manque l'information de la fréquence centrale du canal de transmission. Il faut, soit transmettre F_0 par un autre moyen (par ex. N° du canal) soit la retrouver par corrélation sur le signal reçu (pour les radioamateurs, en phonie BLU on utilise les facultés de corrélation du cerveau pour "syntoniser" son récepteur). Dans le cas où le récepteur est un automate (modem) alors il faut transmettre régulièrement une information qui lui permette de déterminer son décalage à la réception et de le corriger. Mais le temps mis pour se (re)synchroniser est perdu pour la transmission des données.

En AM, on transmet aussi la tension moyenne du signal (égale à celle de la porteuse). Cela rend plus facile la gestion de la CAG et permet de retransmettre de la radiophonie (paroles / musique) de qualité alors que la BLU ne le permet pas. Voir sur la figure 4 la problématique de la CAG AM vs BLU.

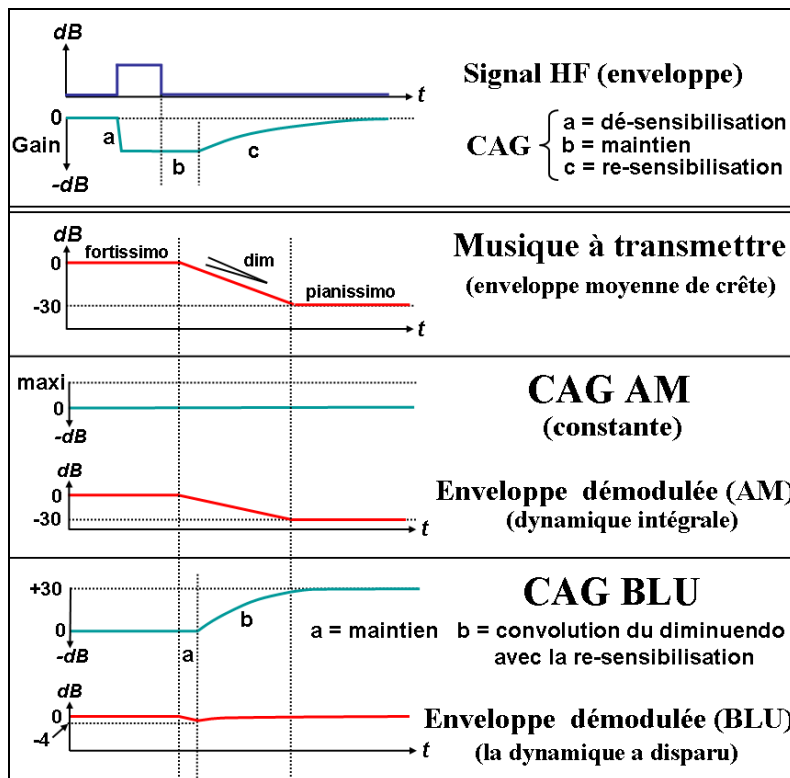


Figure 4 : Comparaison des CAG en AM et en BLU

On voit bien qu'avec la BLU, la dynamique est faussée, ce qui est gênant pour une retransmission de la musique.

Annexe 3 : Détection AM, une bande latérale ou les deux ?

On lit souvent que la différence d'efficacité entre la BLU et l'AM est de 6 dB en se basant sur ce raisonnement : En AM l'information est entièrement contenue dans une bande latérale (la preuve, c'est que l'on peut obtenir un signal BLU en filtrant une seule bande latérale d'un signal AM). Et comme pour une modulation AM 100%, cette bande latérale ne représente qu'un quart de la puissance rayonnée, cela fait -6dB. Nous avons vu que ceci était faux à cause d'un mauvais raisonnement. Par ailleurs, en AM, la détection utilise les deux bandes latérales, comme montré sur la figure 5 qui a été obtenue en filtrant ou non une bande latérale tout en conservant la porteuse.

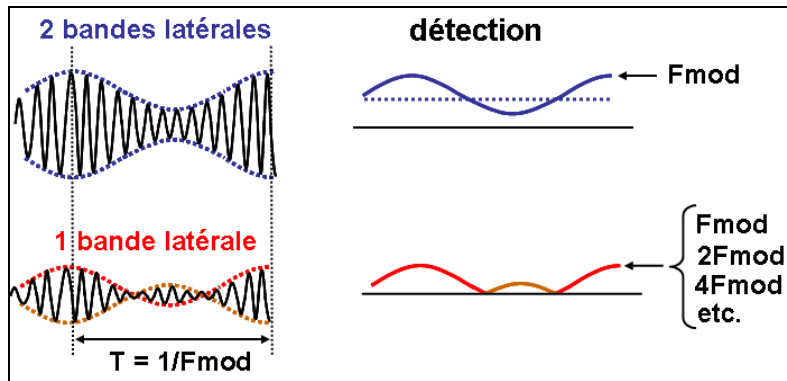


Figure 5 : Détection AM avec une ou deux bandes latérales

Si l'on ne détectait qu'avec une seule bande latérale, la distorsion serait intolérable. Donc il faut tenir compte des deux bandes latérales pour le calcul de l'efficacité, mais comme on multiplie la bande passante par deux également, le rapport S/B est le même. Pour obtenir une bonne linéarité, il faut isoler la porteuse et la **multiplier** avec la bande latérale (détecteur de produit). Dans une détection simple on **additionne** la porteuse avec la ou les deux bandes latérales.

Conclusion

Ce petit problème avait pour but de montrer l'importance de réaliser de bonnes mesures si l'on veut en tirer des conclusions théoriques. Avant de m'intéresser au problème, à la question : "Quelle est la différence de portée entre l'AM et la BLU ?" J'aurais répondu : "Facile, la portée en BLU est deux fois celle en AM, car l'efficacité en BLU est quatre fois plus élevée qu'en AM". Et naturellement j'aurais eu tout faux ⁽⁹⁾. C'est parce que l'on a découvert cette différence de 1,76 dB dans la mesure, qu'il a fallu creuser la question, et que l'on a compris que finalement, ce n'était pas aussi simple.

Notes :

- (1) Attention, si mathématiquement les puissances en watts s'ajoutent, celles en dBm, non. Il faut d'abord les convertir en watts.
- (2) Définition générale du watt : le watt mesure le débit d'une source qui effectue un travail de 1 joule par seconde ($P_{(w)} = E_{(J)} / T_{(s)}$).
- (3) Attention, cette puissance efficace est à l'origine de la définition de la tension efficace et du courant efficace ($P_{eff} = U_{eff} \times I_{eff}$). Mais si pour un signal sinusoïdal constant, la puissance moyenne est égale à la puissance efficace, elle n'est pas le produit de la tension moyenne par le courant moyen (produit qui donne 0,404 au lieu de 0,5).
- (4) Lire à ce sujet mon article "Puissance Pep, puissance moyenne" paru dans R-REF de novembre 2007 (disponible aussi sur le blog de F6KRK "www.blog.f6krk.org", catégorie "Articles membres" puis "F5NB", puis "Emission").
- (5) Ce ne sont pas les mesures qui nous apprendront à coup sûr la théorie. Mais c'est la théorie qui nous permettra de faire de bonnes mesures (une erreur de mesure est si vite arrivée).
- (6) Ce facteur est facile à mettre en évidence avec une "modulation plaque" d'un ampli en classe C. Pour moduler à 100% une porteuse de puissance P, le modulateur BF en série avec l'alimentation doit fournir une puissance égale à P/2. Ces deux énergies se

retrouvent dans la puissance de sortie (facilement démontrable), d'où le facteur 1,5 et les +1,76 dB.

- (7) Croire que l'impédance de sortie du générateur est égale à cette impédance nominale de charge pour tous les niveaux est une utopie. En général pour une atténuation nulle en sortie, l'impédance interne est très faible. Avec une vingtaine de dB d'atténuation, l'impédance interne rejoint l'impédance nominale de charge grâce à l'impédance caractéristique de l'atténuateur, égale à cette impédance nominale. Il est important de comprendre cela quand on veut faire des mesures précises avec son générateur HF. Revoir à ce sujet les précautions prises pour faire des mesures sur une batterie de filtres RF passe-bas dans R-REF de décembre et janvier derniers.
- (8) Tous les calculs ont été faits à partir des formules : " $P_S = P_P \times [1 + (m^2/2)]$ ", " $R_p(\text{dB}) = 10 \cdot \text{Log}(R_p)$ " et " $R_p = 10^{R_p(\text{dB})/10}$ ". Noter que le calcul d'efficacité suppose un même rapport Signal sur Bruit après démodulation (même bande passante audio) et une même puissance rayonnée. Ensuite connaissant la loi d'affaiblissement en fonction de la distance (-6dB à chaque doublement), on en déduit la différence de portée (en espace libre). On peut aussi raisonner à portée égale (donc affaiblissement égal) et alors la différence d'efficacité mesure l'écart entre les puissances d'émission pour obtenir le même rapport S/B à la réception.
- (9) Il faut dire que cela fait une cinquantaine d'années que l'AM ne me préoccupe plus. Il a fallu ce problème de T.I.P.E. avec les étudiants pour que je me replonge dedans.