

Obwohl es der 50 MHz Insider sicher nur gut gemeint hat, hinterfrage ich folgendes:

- Ist das **Ham Spirit**, wenn auf dem interkontinentalen Frequenzbereich auf eine hereinrufende SQ / GM / oder EA Station nicht geantwortet werden darf?! Oder Hand aufs Herz, würden Sie bei jeder Station, die nicht der «Norm» entspricht Ihre freie Frequenz verlassen und ein QSY vereinbaren?
- Heisst es nicht **Amateurfunk sei Experimentalfunk** (Eigenbau QRP usw.) und nicht

Hightech Funk «à la» DX-Cluster und Internet?!

Es liegt mir daran ausdrücklich zu betonen, dass ich sowohl Sinn als auch Nützlichkeit von Internet + DX-Cluster akzeptiere, aber sie nicht als absolutes Muss zum DXen anschau. Nach solch einem Erlebnis ziehe ich mich wieder gerne an meine CW-Paddel zurück, wo alles noch ein bisschen altmodisch abläuft!

Rivaldo Guerrini, HB9DOJ



TECHNIK

Redaktion: Dr. Peter Erni (HB9BWN), Römerstrasse 34, 5400 Baden
Packet: HB9BWN @ hb9aj E-mail: hb9bwn@uska.ch

Tutorial: Aspects de la puissance (Seconde partie)

Olivier Pilloud HB9CEM, 22 Ch. de Champvent, 1008 Jouxens-Mezery

La première partie de ce tutorial a examiné les aspects élémentaires de la puissance, soit ses unités, les puissances en courants continu et alternatif, les problèmes de transfert de puissance et les notions de rendement. Cette seconde partie traite de la puissance en haute fréquence, et plus généralement de ses applications en rapport avec le radio-amateurisme.

8 PUISSANCE D'UN SIGNAL VARIABLE

Tant que nous nous intéressons à une puissance qui ne varie pas ou qui ne varie que lentement, les concepts vus jusqu'à maintenant sont entièrement suffisants. Cependant si nous considérons une puissance qui varie rapidement, par exemple la sortie d'un émetteur modulé en AM, alors nous devons nous intéresser à la puissance moyenne, à la puissance PEP, et au rapport cyclique du signal (le terme anglais *duty cycle* est souvent utilisé).

8.1 Puissance PEP

PEP pourrait signifier Puissance Efficace de Pointe, mais ce sigle est dérivé de l'anglais *Peak Envelope Power*, ce qui signifie Puissance de Pointe de l'Enveloppe. Par enveloppe, il faut entendre la forme externe du signal modulé, telle qu'observée sur un oscilloscope.

Les signaux modulés ayant une amplitude variable, en fonction du signal de modulation (à

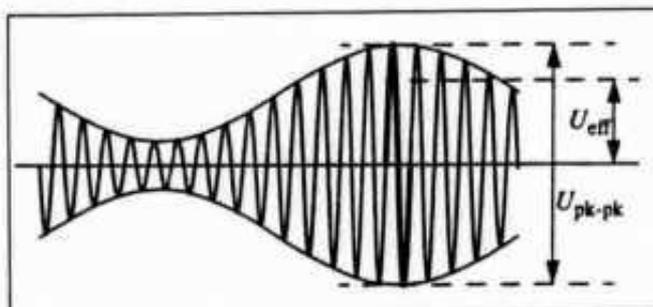


Fig. 8: Cycle de plus grande amplitude dans le cas d'un signal modulé en AM. Comme toutes les tensions sinusoïdales, il est caractérisé par une valeur crête à crête (U_{pk-pk}) et une valeur efficace (U_{eff}).

l'exception de la FM), il est utile de déterminer la puissance maximale de sortie qu'ils occasionnent; en effet, la puissance momentanée lors des crêtes de modulation peut-être très élevée, particulièrement en BLU. A cet effet, les prescriptions et règlements concernant la puissance d'émission autorisée font fréquemment appel au concept de **puissance PEP**.

La puissance PEP est calculée comme n'importe quelle puissance réelle, seule puissance utile, mais pour **le cycle de plus grande amplitude** du signal considéré. La puissance PEP est alors donnée par:

$$P_{PEP} = \frac{U_{eff}^2}{R}$$

Cette formule est identique à celle du Paragraphe 1.3 de la première partie.

Ainsi dans le cas du signal de la Figure 8 si l'on mesure 160 V_{pk-pk} lors du cycle de plus grande amplitude, cela correspond à une puissance PEP dans une résistance de 50 Ω de:

$$P_{PEP} = \frac{\left(\frac{U_{pk-pk}}{2 \cdot \sqrt{2}} \right)^2}{R} = \frac{56,568^2}{50} = 64 \text{ W}$$

8.2 Puissance moyenne et rapport cyclique

Lors des creux de modulation, la puissance calculée sur un cycle est bien moindre, voire nulle si la modulation tombe à zéro. On peut alors s'intéresser à la puissance moyenne du signal, en considérant la moyenne des puissances de chaque cycle pendant un temps suffisamment long pour tenir compte de ces cas extrêmes (quelques secondes à une minute). Cette valeur moyenne de puissance dépendra ainsi de plusieurs facteurs tels que, dans le cas de la transmission de parole, l'utilisation éventuelle d'un compresseur de modulation et son réglage (taux de compression), de la façon de parler de l'opérateur (éclats de voix, débit lent ou rapide) et dans une moindre mesure du contenu de la transmission (prononciation de certaines syllabes). Un autre exemple de signal hautement variable en amplitude est un signal de télégraphie. Ici encore la puissance moyenne peut varier en fonction des espaces entre les éléments, mais surtout en fonction des temps de pause entre chaque «tirade».

Le concept de rapport cyclique permet d'obtenir une relation entre ces deux puissances, et considérant le temps pendant lequel l'émetteur est à pleine puissance par rapport à une période de temps de référence. La Figure 9 illustre ce point.

On voit en (a) que le signal (gris foncé), est identique au signal (b), mais ce dernier ayant passé au travers d'un compresseur de modulation a une amplitude moyenne supérieure, représentée par les zones hachurées. En (a), la puissance moyenne est de l'ordre de 35%, alors qu'en (b) elle atteint 50%. Cela signifie qu'un tel signal est assimilable du point de vue du rapport cyclique à une émission à 100% pendant 35%, respectivement 50% du temps.

Le signal de télégraphie en (c) est un cas simple, puisque l'on sait qu'un trait vaut 3 points, qu'un espace entre éléments vaut 1 point et

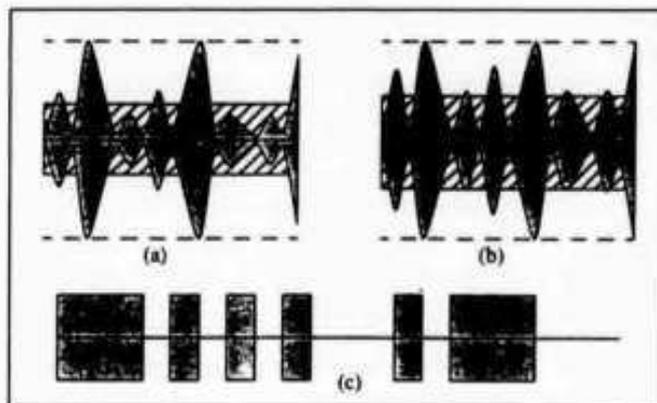


Fig. 9: (a) signal modulé en AM, (b) signal modulé en AM après compression, (c) les lettres BA en morse. Les traits pointillés indiquent l'amplitude de crête et les rectangles hachurés la puissance moyenne. Cette puissance moyenne est obtenue en considérant que la partie du signal qui dépasse de ce rectangle contient juste ce qu'il faut de puissance pour combler les creux à l'intérieur du rectangle.

qu'un espace entre lettres vaut 3 points. On compte ici 10 éléments de temps en émission à 100% et 10 éléments de pause, ce qui donne un rapport cyclique de 50%.

Ces variations rapides de puissance et la puissance moyenne ne sont pas sans effet sur le dimensionnement du circuit d'alimentation pour un émetteur suppose transmettre de tels signaux. On s'assurera en tous cas que l'alimentation est à même de fournir la puissance moyenne nécessaire, en continu. Notons que si l'on suppose un rapport cyclique faible (longues pauses entre les phrases – par exemple) cette puissance peut-être relativement faible. Ce dimensionnement affectera essentiellement les capacités de dissipation thermique de l'alimentation. Cependant cette dernière devra aussi être capable de fournir la puissance de pointe nécessaire en cas de besoin, mais pas de façon soutenue.

Concernant la puissance de pointe, deux cas peuvent se présenter. Si cette puissance n'est requise que par pointes, sans qu'une puissance soutenue ne soit demandée, les pointes de courant nécessaires peuvent être fournies par un (gros) condensateur, en parallèle sur la tension d'alimentation, qui aura le temps de se recharger entre chaque demande. Si on contraire, les demandes de puissance peuvent être répétitives rapidement ou soutenues, il faudra alors que l'alimentation puisse fournir ce courant sur demande. La seule économie possible sera sur les capacités de dissipation thermique des circuits

(la chaleur est un phénomène qui se propage relativement lentement).

Finalement, si le circuit est amené à fonctionner avec un rapport cyclique de 100% ou proche (FM, RTTY), il faudra que l'alimentation soit dimensionnée en conséquence, pour fournir la puissance nécessaire en continu.

Il est évident que ces considérations sur le dimensionnement thermique des circuits d'alimentation sont également applicables à l'étage final qui, n'ayant pas un rendement de 100%, s'échauffera aussi en fonction des demandes de puissance auxquelles il est soumis.

8.3 Puissances fantaisistes

On rencontre quelquefois le terme de «puissance musicale» sur les notices des amplificateurs hi-fi. Ce terme, plutôt fantaisiste, a certainement pour principale utilité d'aider à la vente de ces appareils. Rappelons que la seule puissance à même de fournir un travail (ici déplacer la membrane du haut-parleur) est la puissance réelle.

Le terme de «puissance de crête» que l'on rencontre aussi sur les notices de certains amplificateurs hi-fi est probablement identique à la puissance PEP. Il s'agit alors de la puissance que l'amplificateur peut fournir pendant un bref instant, lors par exemple d'un coup de cymbale, mais qu'il ne peut pas soutenir pendant une plus longue période en raison du dimensionnement de l'alimentation et/ou de l'étage de puissance.

Le terme de «puissance efficace» est probablement un terme équivalent à la puissance réelle. Il ne fait pas de doute que ce terme aussi a pour principale utilité d'aider à la vente d'amplificateurs hi-fi.

9 RAPPORTS DE PUISSANCE

Il est fréquent, dans le domaine des hautes fréquences que nous devons effectuer des comparaisons entre des signaux d'amplitudes très différentes, par exemple le rapport entre un signal utile de sortie d'un émetteur et les rayonnements non-essentiels qui lui sont associés.

C'est d'une pratique courante dans ce cas de passer par l'usage des décibels (dB). Ces derniers sont aussi d'une grande utilité pour le calcul de gains ou de pertes cascadées, car ils réduisent ces derniers en une suite d'additions.

9.1 Introduction aux dB

Les dB représentent toujours un rapport entre deux puissances (même lorsque l'on compare des tensions - nous y reviendrons). La grandeur de base de cette comparaison est le Bel (B), mais cette grandeur étant relativement importante, on utilise universellement le dixième de Bel, soit le décibel. À cette fin, les calculs permettant de déterminer un rapport en décibel contiendront donc un facteur 10.

Le second aspect important des décibels réside dans leur nature logarithmique. Les logarithmes - logs en langage courant - effectuent un changement de domaine, qui transforme les multiplications en additions, tout en simplifiant les nombres en jeu. Si l'on désire finalement revenir dans le domaine de départ, pour exprimer des puissances ou tensions, le passage par l'opération inverse (antilog) est alors nécessaire.

9.2 Rapports de puissance, rapports de tension

Considérons un amplificateur d'impédance d'entrée et de sortie de 50 Ω, qui fournit 8 V en sortie pour un signal d'entrée de 2 V. La puissance à l'entrée est alors de 80 mW et celle à la sortie de 1,28 W. Puisque nous nous intéressons à l'augmentation de puissance apportée par cet amplificateur, en d'autres termes, combien de fois le signal de sortie est amplifié par rapport au signal d'entrée, effectuons le rapport de ces puissances, pour trouver 16. Puis, afin d'effectuer le changement de domaine mentionné plus haut, prenons le log de cette valeur pour obtenir 1,204. Finalement, puisque nous voulons des décibels, dixième partie du bel, multiplions ce chiffre par 10, ce qui donne 12 dB. Ces étapes se retrouvent dans la formule suivante permettant de calculer le rapport en dB entre deux puissances.

$$G[\text{dB}] = 10 \cdot \log \left(\frac{P_2}{P_1} \right)$$

Mathématiquement, si nous divisons les deux termes d'un rapport par un même nombre, le rapport ne change pas. Ici, par exemple, si nous divisons les 2 termes par 50, le rapport reste le même:

$$\frac{1,28}{0,08} = \frac{1,28/50}{0,08/50} = 16$$

Gardons cette remarque à l'esprit pour examiner le cas de la comparaison de deux tensions, par exemple 8 V et 2 V. Puisque ce sont les valeurs mesurables sur notre amplificateur ayant un gain de 12 dB, nous devons retrou-

ver ce même gain, en utilisant ces tensions. Cependant nous avons affirmé que les dB ne pouvaient comparer que des puissances, il nous font donc convertir les tensions en puissances. Ceci peut-être fait de façon très simple et même implicite. A titre d'exemple, commençons par calculer les puissances d'entrée et de sortie:

$$P_{in} = U \cdot I = U \cdot \frac{U}{Z} = 2 \cdot \frac{2}{50} = 0,08 \text{ W}$$

$$P_{out} = U \cdot I = U \cdot \frac{U}{Z} = 8 \cdot \frac{8}{50} = 1,28 \text{ W}$$

Nous pourrions à ce stade calculer le rapport de ces deux puissances, comme ci-dessus, mais nous remarquons que nous pourrions aussi bien supprimer le terme Z des équations ci-dessus sans modifier le rapport de ces deux puissances. En appliquant ces conclusions au calcul d'un rapport de puissances en dB, nous obtenons:

$$G[\text{dB}] = 10 \cdot \log\left(\frac{U_{out}^2}{U_{in}^2}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{U_{out}}{U_{in}}\right)^2$$

Or il se trouve que le changement de domaine dû au passage par les logs transforme une élévation à une puissance en simple multiplication, ici une élévation au carré peut se muer en une multiplication par 2 à condition de le faire en dehors de la fonction log

$$G[\text{dB}] = 10 \cdot 2 \cdot \log\left(\frac{U_{out}}{U_{in}}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{U_{out}}{U_{in}}\right)$$

Voilà donc les deux façons de calculer un rapport en dB. Comme nous venons de voir, il est important que dans le cas de tensions, les impédances soient identiques du côté de la source et de la charge pour que le rapport des 2 tensions reste correct.

9.3 Valeurs importantes

Il serait dommage de continuer sur ce sujet sans s'arrêter un moment sur les énormes simplifications possibles par l'usage de certaines valeurs importantes de dB. Le tableau suivant sert de référence. (voir tableau 2)

Nous voyons ainsi immédiatement que dans l'exemple ci-dessus, un rapport de puissances de 16, soit $2 \times 2 \times 2 \times 2$ correspond à 4 fois 3 dB, c'est-à-dire 12 dB. De même, pour un rapport de tensions de 4 (2×2), soit de 2 à 8 V, nous avons 2 fois 6 dB pour obtenir également 12 dB.

Tableau 2: Equivalence entre des rapports de tensions et de puissances et leur expression en dB

Rapport (dB)	Rapport de puissance	Rapport de tensions
3	2	1.414
6	4	2
10	10	
20	100	10
30	1000	
40	10000	100
+	X	X

Inversement, un signal qui se trouve 66 dB en-dessous d'une tension de 100 V a une amplitude de:

$3 \times 20 \text{ dB}$ soit 10^3 et 6 dB, soit 2 fois pour un facteur d'atténuation de $2 \cdot 10^3$. L'amplitude de notre signal est alors de:

$$100 / 2 \cdot 10^3 = 50 \text{ mV}$$

Ceci est un véritable exemple des simplifications apportées par l'usage de dB, qui trouvent encore de nombreuses applications lorsque l'on a affaire à des gains (ou pertes) cascades.

9.4 dB relatifs et absolus

Notre sujet est la puissance, et nous allons voir comment il est possible d'exprimer des puissances, pas seulement des changements de puissance, à l'aide des dB.

En utilisant une référence connue, un niveau de puissance standard, nous pouvons en effet représenter des puissances à l'aide de dB, tout en conservant leur nature logarithmique, permettant de simplifier les calculs.

Les références utilisées sont variées et dépendent de la grandeur à représenter. Dans le domaine des faibles signaux, on peut utiliser le milliwatt (mW), en ajoutant la lettre m au symbole dB. Ainsi une puissance de 1 mW équivaut à 0 dBm; une puissance de 1 W, soit 1000 mW s'exprime par 30 dBm.

Pour des signaux plus puissants, on peut utiliser le watt (W) comme référence. Une puissance de 20 dBW correspond alors à 100 W.

Finalement, considérons encore qu'une valeur exprimée par rapport à une référence de tension, par exemple 20 dB μ V représente encore une puissance, si l'on connaît l'impédance aux bornes de laquelle cette tension est développée. Ici, si l'impédance est de 50 Ω , la puissance correspondant à 20 dB μ V est de: 2 pW, soit -87 dBm ou -57 dB μ W.

9.5 Puissance ERP, EIRP

D'autres références pour exprimer un gain en puissance sont utilisées en transmission radio, c'est notamment le cas lorsque l'on s'intéresse aux antennes. Une antenne présentant un gain de 3 dB offre un doublement de la puissance (dans une ou des directions préférentielles).

Ici deux références sont en usage courant, soit le gain d'un dipôle dont le gain est bien entendu de 0 dBd (d comme dipôle) et le gain d'une antenne isotropique qui est de 0 dBi (l'antenne isotropique est une antenne qui rayonnerait de façon identique dans toutes les directions). Mentionnons en passant qu'un dipôle a un gain de 2,14 dBi.

Remarquons que nous n'avons ainsi défini que des références de gain, puisqu'aucune puissance de référence n'entre encore en jeu.

Examinons ce qui se passe maintenant si l'une ou l'autre de ces antenne est alimentée par un signal de 1 W, par exemple, afin que nous ayons une référence pour déterminer la puissance rayonnée par l'antenne.

Dans la cas du dipôle nous aurons une puissance de 1 W plus 0 dBd, soit une puissance de 1 W ERP. Le terme ERP (*de l'anglais Effective Radiated Power*) est réservé pour indiquer que la référence est le dipôle.

Exemple une antenne ayant un gain de 6 dBd alimentée par notre signal de 1 W fournit une puissance de 4 W ERP.

Dans le cas de l'antenne isotropique, nous aurons une puissance de 1 W plus 0 dBi, soit 1 W EIRP (Effective Isotropic Radiated Power). Ce terme est bien entendu réservé pour indiquer que l'antenne de référence est l'antenne isotropique.

Les radio-amateurs utilisent presque exclusivement le terme ERP qui exprime la puissance rayonnée par rapport à celle obtenue d'un dipôle. Il serait cependant plus rigoureux de n'utiliser que la puissance EIRP, puisqu'un dipôle a déjà un gain de 2,14 dBi.

Un dipôle alimenté par une puissance de 1 W rayonne donc une puissance de 1 W ERP ou 1,637 W EIRP. Remarquons cependant que l'erreur introduite en négligeant ce détail est faible, un point S correspondant à 6 dB, cette erreur est de l'ordre de 1/3 de point S.

10 RÉPARTITION DE LA PUISSANCE DANS UN SIGNAL AM

Les radio-amateurs n'utilisent plus qu'une sorte de modulation d'amplitude, c'est l'émission en bande latérale unique. En BLU, toute la puissance de l'émetteur est consacrée à la transmission du signal utile. Il est cependant intéressant d'examiner toute la signification de cette phrase en considérant ce que l'on gagne en utilisant la BLU.

Un signal modulé en AM par un signal sinusoïdal peut être représenté par l'équation suivante:

$$U_{AM}(t) = U_{port} \cdot \cos(\omega_{port}t) \cdot (1 + U_{mod} \cdot \cos(\omega_{mod}t))$$

Cette formule permet de calculer la tension U_{AM} du signal modulé en fonction du temps (t). U_{port} est la tension de crête de la porteuse, U_{mod} est la tension de crête du signal de modulation, ω_{port} est la pulsation de la porteuse ($2 \cdot \pi \cdot f$) et ω_{mod} , celle du signal de modulation. Le facteur 1 dans la seconde partie de l'équation représente la transmission de la porteuse.

On peut simplifier cette expression, en normalisant U_{port} et U_{mod} à 1, ce qui implique aussi un taux de modulation de 100%. Finalement, après quelques lignes de maths qui n'intéressent personne, nous pouvons «simplifier» cette expression comme suit:

$$U_{AM}(t) = \cos(\omega_{port}t) + \frac{1}{2}(\cos(\omega_{port}t - \omega_{mod}t)) + \frac{1}{2}(\cos(\omega_{port}t + \omega_{mod}t))$$

Les 3 composants d'un signal modulé en AM apparaissent clairement. Premièrement la porteuse $\cos(\omega_{port}t)$, puis les deux bandes latérales avec une tension chacune de la moitié de la tension dans la porteuse, et des fréquences situées de part et d'autre de la porteuse à une distance égale à la fréquence de modulation.

Mais notre sujet est la puissance. Nous savons qu'une puissance, pour une impédance donnée, se calcule en passant par la tension au carré. Ici la résistance n'a pas d'importance, puisque nous essayons de comparer la puissance dans les bandes latérales et dans la porteuse (dans les deux cas cette résistance est identique).

La puissance dans la porteuse est de 1^2 soit 1, alors que la puissance dans chaque bande latérale est de $(1/2)^2$ soit 1/4. Nous pouvons maintenant pleinement réaliser la supériorité de la BLU qui consacre toute la puissance de l'émetteur à l'émission du signal utile, alors que l'AM nécessite que la moitié de la puissance de l'émetteur serve à la transmission

de porteuse, et que la moitié qui reste, serve à transmettre deux fois le même signal, soit chacune des bandes latérales.

Ce qu'il faut encore noter, sur ce sujet, est la relation de carré (puissance 2) entre la tension et la puissance correspondante. Nous en avons déjà parlé lors de la section sur les dB, et nous allons encore en voir un exemple vers la fin de la section suivante.

11 PUISSANCE DE BRUIT

Le bruit, en radiocommunications, se présente généralement au moyen d'une puissance, normalement faible, mais toujours trop importante. Il existe essentiellement 2 sortes de bruits, celui dit $1/f$, dont l'amplitude augmente vers les très basses fréquences; ce dernier n'est présent qu'en-dessous de 10 kHz (à peu près) et ne faisant pas partie du spectre HF, ne fait pas l'objet de ce paragraphe. La seconde composante de bruit, affecte toutes les fréquences de manière identique et par conséquent également celles utilisées pour les radiocommunications. Ce bruit qui contient la même puissance quelle que soit la fréquence considérée est qualifié de bruit blanc.

La différence fondamentale qui existe entre la puissance contenue dans un signal et celle du bruit tient en ce que le signal a une certaine largeur spectrale, au delà de laquelle il n'y a plus de signal, alors que le bruit occupe toute la largeur de bande à disposition. Ainsi, connaissant le contenu d'un signal utile, par exemple un signal AM, il est aisé, comme ci-dessus au Paragraphe 10 de déterminer sa puissance, et la puissance de chacun de ses composants; mais comme le bruit est d'égale puissance sur tout le spectre, il n'est limité que par la largeur de bande sur laquelle il est observé.

Nous voyons donc que le bruit sera spécifié en termes de puissance par largeur de bande, et pour rendre les choses plus aisément comparables, la largeur de référence est normalement le hertz. Le bruit se mesure donc en W/Hz ou au moyen d'unités logarithmiques en dBm/Hz (ici, la référence est le milliwatt). On parle alors de **densité spectrale de bruit**.

L'implication principale de tout ceci, est que la puissance de bruit est directement proportionnelle à la largeur de bande considérée, c'est pourquoi il est utile, pour avoir le meilleur rapport signal/bruit dans un récepteur, d'utiliser un filtre aussi étroit que possible, mais juste assez large pour ne pas affecter le signal utile.

Permettons nous pour terminer cette section une petite digression de notre sujet principal, la puissance, pour considérer la tension en rapport avec une certaine puissance de bruit. Nous avons mis en évidence qu'il y a un rapport quadratique (puissance deux) entre la tension et le courant. Si nous considérons donc une tension équivalente à une certaine puissance de bruit, nous devons affecter la largeur de bande de la même façon, ce qui nous donne une tension par racine de Hertz: $V/\sqrt{\text{Hz}}$ ou $\text{dBV}/\sqrt{\text{Hz}}$.

Ainsi un certain niveau de bruit peut s'exprimer comme suit pour représenter le même niveau:

-63 dBm/100 Hz ou -83 dBm/Hz ou -15,83 $\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$ (sur 50 Ω)

Comme nous le voyons, cette unité un peu intimidante, que l'on rencontre quelquefois dans la littérature technique, n'est en fait que la conséquence de phénomènes relativement aisés à appréhender.

12 PUISSANCE DANS LES LIGNES DE TRANSMISSION

Dans le cas le plus simple, une ligne de transmission reçoit une certaine puissance, la transporte et la délivre à une charge résistive, le tout étant parfaitement adapté ... mais la vie n'est pas si simple car une bonne adaptation est l'exception plus que la règle.

On fait alors appel au concept de puissance directe et de puissance réfléchie. En fait de puissance, la ligne est le siège d'une tension et d'un courant, qui sont les sommes vectorielles des tensions et courants instantanés, en fonction de la position le long de la ligne. La puissance n'existe que lorsqu'il y a une résistance, c'est-à-dire aux deux extrémités de la ligne: la résistance interne de la source et la résistance de charge.

Il y a aussi une certaine puissance dissipée dans la ligne, mais seulement dans les résistances de perte, soit principalement la résistance série due aux conducteurs (encore plus importante en UHF en raison de l'effet pelliculaire) et la résistance parallèle due aux pertes de l'isolant.

Il est pourtant utile et grandement simplificateur de raisonner en termes de puissances, l'une directe et l'autre réfléchie se propageant en sens inverses le long de la ligne. Il est cependant impératif de réaliser qu'en réalité il s'établit dans la ligne un régime permanent

(steady state) résultant de l'interaction de ces différentes puissances, et que de ne considérer que les composantes de ce régime ne permet pas forcément une bonne vue d'ensemble de la situation dans la ligne.

Il y a ainsi plusieurs puissances à considérer dans la ligne, d'abord la puissance livrée à la ligne par l'émetteur, qui se déplace vers l'antenne. Selon l'adaptation de l'antenne à la ligne, une partie de cette puissance est absorbée et émise par l'antenne. Chemin faisant, une partie de cette puissance est dissipée dans les résistances de perte de la ligne.

La partie de la puissance non livrée à l'antenne est réfléchiée dans la ligne et voyage en sens inverse vers l'émetteur. Cette puissance subit également en chemin les pertes dans la ligne. Du côté de l'émetteur, selon l'adaptation, une partie de cette puissance est absorbée dans la résistance interne de l'émetteur et une partie est re-réfléchiée vers l'antenne où elle s'ajoute à la puissance déjà en route vers l'antenne, et subit aussi à nouveau l'effet des pertes dans la ligne.

Ce phénomène se poursuit ainsi jusqu'à ce que toute la puissance fournie par l'émetteur soit dissipée dans l'une des 3 résistances mentionnées ci-dessus.

Examinons maintenant la situation à la jonction entre la ligne et l'antenne, soit du côté de la charge de la ligne. Il y a deux puissances importantes et égales en ce point, celle absorbée par l'antenne et celle que la ligne fournit à l'antenne. Cette dernière est la différence entre la puissance directe et la puissance réfléchiée.

Cependant la puissance directe en ce point est la somme de la puissance fournie par l'émetteur et de la partie de la puissance réfléchiée renvoyée par la terminaison de la source (puissance re-réfléchiée). Ceci explique que la puissance directe lue sur un wattmètre peut être supérieure à la puissance fournie par l'émetteur.

Cependant la puissance absorbée par l'antenne est nécessairement inférieure à la puissance de l'émetteur, la différence étant justement la puissance réfléchiée.

13 MESURE DE LA PUISSANCE

La méthode la plus simple pour mesurer la puissance est de mesurer à la fois la tension et le courant et d'en effectuer le produit. Lorsque la tension est connue et relativement in-

variable (cas du réseau électrique), seule une mesure du courant est nécessaire.

Cependant cette méthode n'est que difficilement applicable en HF. On se sert alors d'un milliwattmètre, pour les faibles puissances, ou de réflectomètres pour les puissances plus importantes.

Le milliwattmètre est le plus précis mais le plus cher de ces deux instruments. Il est simplement composé d'une résistance de précision (par exemple de 50 Ω) et d'un thermocouple pour mesurer son élévation de température. La gamme de puissance mesurable avec un tel appareil est plutôt restreinte, d'un part par le minimum de puissance nécessaire pour obtenir une élévation mesurable de température, et d'autre part par la puissance maximale que peut dissiper la résistance. Cette gamme de mesure est normalement étendue en précédant l'appareil d'un atténuateur calibré.

Le réflectomètre est relativement bon marché, et se trouve chez chaque radio-amateur. Il n'est cependant pas d'une grande précision, car il n'est calibré que pour la mesure de la puissance dans une charge purement résistive, normalement de 50 Ω .

La Figure 10 représente le schéma de base d'un tel appareil, afin d'illustrer son fonctionnement. Notons ici que sa réalisation peut prendre différentes formes. Il est ainsi fréquent de rencontrer des appareils qui possèdent une seule ligne couplée servant à la fois à la mesure des composantes directe et réfléchiée du signal.

Son principe de fonctionnement est basé sur l'addition de deux tensions issues d'un couplage capacitif et inductif. Sa réalisation peut

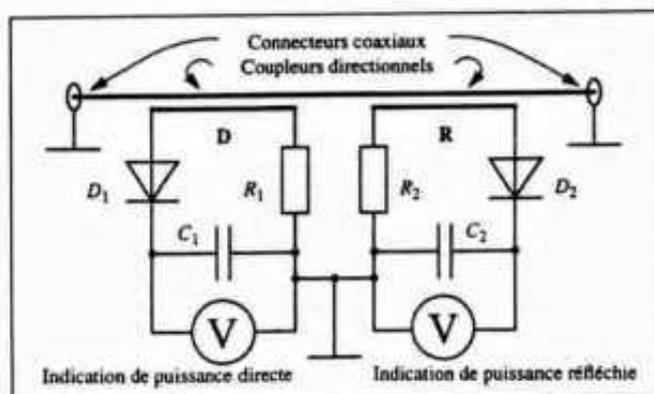


Fig. 10: Schéma de principe d'un TOS-mètre. La tension obtenue aux bornes de deux coupleurs directionnels est redressée, puis mesurée. Le coupleur D mesure l'onde directe, le coupleur R mesure l'onde réfléchiée.

prendre différentes formes selon la gamme de fréquences sur laquelle il est appelé à fonctionner.

En HF, le couplage capacitif s'effectue par un condensateur ajustable (*trimmer*) et le couplage inductif par un petit transformateur (généralement torique dont le primaire est simplement la ligne à mesurer traversant le tore, l'autre enroulement se trouve bien entendu autour du tore). Pour les fréquences plus élevées (VHF/UHF) on fait appel, comme à la figure ci-dessus à deux lignes (microstrips) à proximité l'une de l'autre. L'une transportant le signal à mesurer et l'autre effectuant le prélèvement du signal mesuré.

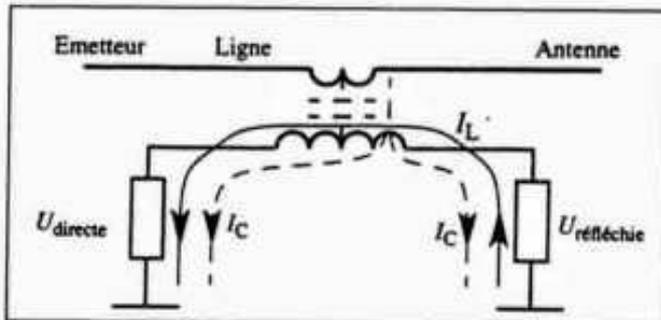


Fig. 11: Schéma de principe d'un réflectomètre. La tension induite au secondaire provoque un courant I_L qui circule selon les flèches en noir. Le couplage capacitif entre les enroulements provoque un courant qui se divise en deux parties selon les flèches pointillées. En absence de TOS, $|I_L| = |I_C|$.

Dans les deux cas, il existe un couplage capacitif et un couplage inductif entre les lignes. La Figure 11 illustre ce point, en attribuant des flèches grise au courant issu du couplage capacitif et des flèches noires au courant résultant du couplage inductif. On suppose que pour une terminaison nominale du système, les deux courants sont d'amplitudes égales.

Ainsi, l'une des résistances de charge du «wattmètre» voit un courant de $2 \cdot I = I_L + I_C$ alors que dans l'autre résistance de charge, les deux courants s'annulent. Si le charge est modifiée, par exemple augmentée, le courant dans la ligne diminue, et la composante inductive des courants de mesure diminue, alors que, la tension sur la ligne étant plus importante, la composante due au couplage capacitif augmente. La situation est exactement le même si la résistance de charge diminue. Il n'y a plus qu'à mesurer les deux tensions résultantes dans les résistances, au moyen d'instruments calibres en watt.

Lorsque la charge en bout de ligne comporte une composante réactive, la situation reste presque identique, mais il faut alors prendre en compte les déphasages, ce qui complique les explications, mais pas le principe de base.

14 CONCLUSION

La première partie de ce tutorial a passé en revue les bases et unités en rapport avec la puissance, en particulier en courant alternatif. Dans la seconde partie, les notions se rapportant de plus près à la haute fréquence, et en particulier à l'émission d'amateur ont été passés en revue.

J'espère ainsi avoir éclaircis quelques points, en particulier en ce qui concerne l'usage des dB, les différents sortes de puissances, des plus réelles au plus fantaisistes, et introduit avec des explications simples, quelques vastes sujets, tels les lignes de transmission, la mesure de la puissance, et des notions de base sur le bruit.

Cet article ainsi que d'autres en rapport avec la technique et le radio-amateurisme est disponible sur le site:

<http://home.worldcom.chlopilloud/>

HAMBÖRSE

Tarif für Mitglieder der USKA: Bis zu 4 Zeilen Fr. 10.-, jede weitere Zeile Fr. 2.-. Nichtmitglieder: Bis zu 4 Zeilen Fr. 18.-, jede weitere Zeile Fr. 4.-. Angebrochene Zeilen werden voll berechnet.

Suche Militär Funkmaterial der CH-Armee: Sender, Empfänger und Zubehör für meine Sammlung. Zustand unwichtig, wird restauriert. Auch Einzelteile sind für mich interessant (Röhren, Umformer, Ersatzteile, Verbindungskabel, Reglemente, Techn. Unterlagen etc). Daniel Jenni, 3232 Ins. Tel. P 032/313 24 27.

Für den **Aufbau meiner Sammlung** historischer Telekommunikation suche ich **zu kaufen:** Kurzwellen-Empfänger der 20er bis 50er Jahre (Markengeräte und Eigenbauten), Radioapparate, Röhren, Literatur, Prospekte, Werbematerial, usw. Defektes Material wird

sorgfältig restauriert. Roland Anderau (HB9AZV), Eigerweg 43, 3122 Kehrsatz, Tel. 031/961 72 27.

Suche: Drake TX/RX, Zubehör, WH7, CW75, RV7. Suche Hallicrafters TX/RX alle Modelle, Zubehör auch defekt. Tel. 076/322 47 48.

Scoul Engadin zu vermieten: schöne 3 1/2-Z.-Ferienwohnung. Skifahren, Funken, Wandern, Thermalbad usw. 01/725 29 08 oder usteinmann@swissonline.ch

Suche: Rotor und Teleskop- oder Kurbelmast, Standrohr minimum 90 mm Durchmesser, Höhe mindestens 7 m, evtl. mit Befestigungsmaterial, Angebote mit