Pertes dans les coupleurs d'antenne, et comparaison des différences de fonctionnement (II)

Par Werner Tobler, HB9AKN, Chemin de Palud 4, 1800 Vevey

Commentaires aux différentes figures - Figures 1 et 2 : La *figure 1* représente le schéma synoptique de n'importe quel coupleur asymétrique/asymétrique. Comme dans tous les coupleurs, la puissance d'entrée P_1, sera supérieure à la puissance de sortie P_2, puisqu'il y a toujours des pertes. Celles-ci sont essentiellement localisées dans les bobinages et les commutateurs.

La *figure 2*, représente à gauche, le diagramme vectoriel de l'entrée du coupleur, et à droite celui de sa sortie. Sur la partie de gauche, on voit que le courant d'entrée $\underline{I}_1$ est en phase avec la tension d'entrée $\underline{V}_1$. Nous avons donc une entrée à résistance purement ohmique, sans composante réactive, sur laquelle débite l'émetteur. Ce fait est attesté par la valeur du SWR qui est de 1. Sur la partie de droite, on voit que le courant $\underline{I}_1$ est la somme vectorielle du courant parcourant l'impédance d'antenne $\underline{I}_2$, et du courant réactif $\underline{I}_3$.On retrouve sur cette partie l'angle de 67.6 degrés correspondant à celui de la représentation de l'impédance d'antenne mesurée.

De plus, on voit immédiatement que, si l'impédance représentant l'antenne est une résistance ohmique pure égale à Z_1, $\underline{I}_3$ disparaît, et $\underline{I}_2$ devient égal à $\underline{I}_1$.Dans ce cas, le coupleur est naturellement inutile, pour autant bien sûr que l'impédance $\underline{Z}_1$ soit égale à l'impédance de sortie $\underline{Z}_2$. Dans ce cas, il apporte des pertes inutiles.

Mais, nous le savons, dans la plupart des cas, l'antenne ne représente pas une résistance ohmique pure, ou alors sur une plage de fréquence très restreinte seulement. Il en résulte que le courant $\underline{I}_3$ sera presque toujours présent. Cette valeur $\underline{I}_3$ constituera d'ailleurs un indicateur simple pour évaluer l'efficacité du contrepoids utilisé dans le cas d'une antenne verticale. Pour évaluer $\underline{I}_3$, il suffira de brancher en série une simple ampoule à incandescence dans le fil de terre de la station. Plus $\underline{I}_3$ est grand, plus le contrepoids est insuffisant. Rappelons que dans notre exemple d'antenne, pour le montage sur le toit, le contrepoids est constitué de différents radians de longueurs données par la notice d'utilisation.

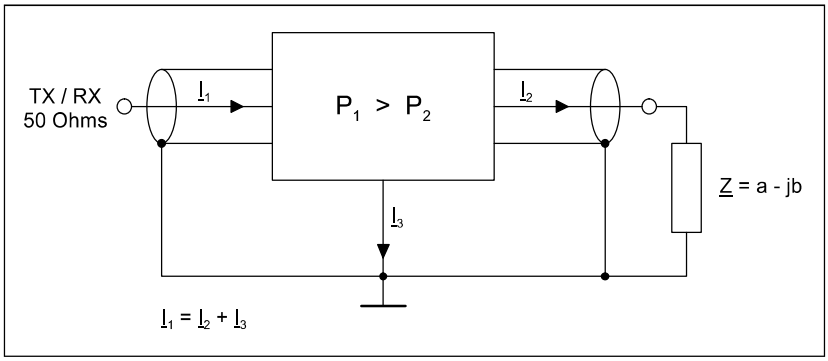

Figure 1: Coupleur asymétrique/asymétrique (Coaxial/Coaxial). $\underline{Z}$: impédance d'antenne. P_1: puissance d'entrée. P_2: puissance de sortie.

Figures 3. Dans cette figure, représentant des puissances, nous retrouvons exactement ce que l'on a dans les centrales électriques avec les notions de puissance apparente, puissance active, et puissance réactive et le fameux cosinus phi. Dans les deux cas on met tout en œuvre pour que le générateur qu'il soit HF (émetteur radio) ou à 50 Hertz (alternateur) d'une centrale électrique, débite sur une charge ohmique pure. On voit sur la figure que la tension mesurée à la sortie du coupleur se trouve en phase avec le vecteur $\underline{I}_2$ qui donne la direction de la puissance apparente P_A. On en déduit ainsi facilement la puissance active P_a et la puissance réactive P_r. Seule la puissance active de 8.25 Watts donnera lieu à un rayonnement HF. La tension à la sortie du coupleur est mesurée avec l'oscilloscope et vaut 35.35 volts efficaces.

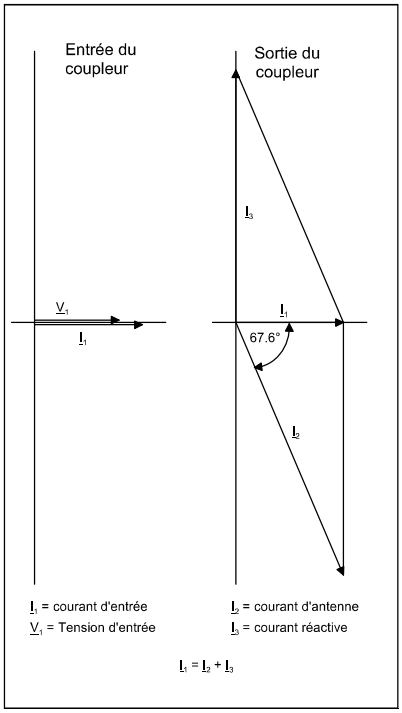

Figure 2: Coupleur asymétrique/asymétrique (Coaxial/Coaxial). Diagramme vectoriel des courants. On voit que, à l'entrée du coupleur tension et courant sont en phase comme sur une résistance.

Figure 4 : Ici, c'est l'impédance d'antenne $\underline{Z}$ qui est représentée branchée à la sortie. Cela découle directement de la mesure effectuée au pont Palomar. On voit que l'entrée du coupleur est elle, de 50 Ohms, sans composante réactive.

Figure 5 : Nous avons représenté le schéma synoptique d'un coupleur asymétrique symétrique appelé balun. Ici, en plus de la symétrisation, il faudra réaliser l'adaptation d'impédance de $\underline{Z}_1$ à $\underline{Z}_2$. L'entrée comme la sortie travaille en ondes progressives, comme d'ailleurs dans le coupleur précédent. Le rapport $\underline{Z}_1/\underline{Z}_2$ peut être très divers. La ligne symétrique d'impédance caractéristique $\underline{Z}_2$ n'est pas accordée et fonctionne en ondes progressive.

Figure 6 : Nous avons représenté en plus du balun, des éléments de correction X_L/X_C permettant l'accord de la ligne. Celle-ci fonctionne donc en ondes stationnaires, alors que l'entrée du coupleur fonctionne en ondes progressives. La ligne symétrique est ac-

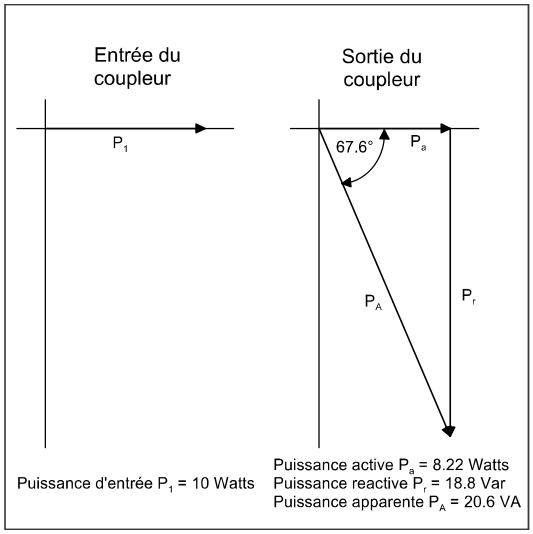

Figure 3: Coupleur asymétrique/asymétrique (Coaxial/Coaxial). Diagramme de puissances

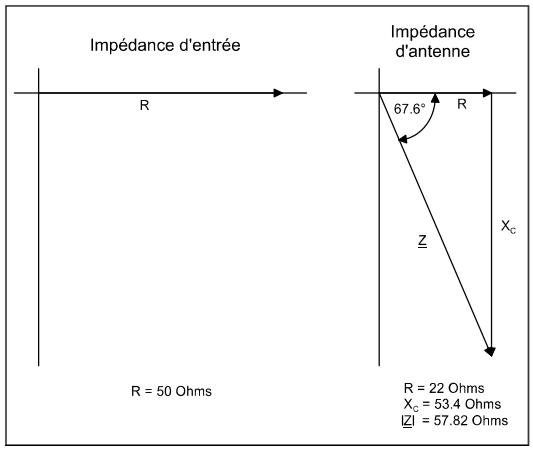

Figure 4: Coupleur asymétrique/asymétrique (Coaxial/Coaxial). Diagramme des impédances d'entrée et d'antenne

cordée par les deux éléments X_L/X_C identiques. Elle fonctionne en ondes stationnaires. Selon la compensation à effectuer en A et B, X_L/X_C est capacitive ou inductive. Capacitive si la ligne est trop longue, inductive si la ligne est trop courte.

Figure 7 : Ici figure le détail de la figure 6 montrant les éléments de correction X_L/X_C, ainsi que le diagramme vectoriel des courants. La grande différence par rapport au coupleur asymétrique/asymétrique réside dans le fait que l'on pourra toujours annuler $\underline{I}_3$ à l'aide des éléments de correction X_L/X_C. On voit que $\underline{I}_2$ devient $\underline{I}_1$ avec la correction effectuée par X_L/X_C ($\underline{I}_3$=0). Selon le signe de la réactance d'antenne en A et B à corriger, $\underline{I}_3$ sera dirigé vers le haut, ou vers le bas. L'impédance d'antenne Z en A et B, dépendra du régime d'ondes stationnaires établi sur l'ensemble ligne antenne. En C et D, on aura un ventre de courant (basse impédance) ou un nœud de courant (haute impédance).

Remarque importante: Nous supposons que le lecteur connaît parfaitement la différence entre une ligne apériodique (non accordée) fonctionnant en ondes progressives, et une ligne accordée à ondes stationnaires. Le coupleur asymétrique/asymétrique MN 2000 ci-dessus ne fait, comme tous les coupleurs de ce type, qu'adapter l'ensemble câble coaxial antenne à l'émetteur, pour lui présenter une charge ohmique pure, mais ne modifie en aucun cas les caractéristiques de l'antenne qui reste ce qu'elle est.

Comparaison de trois types de coupleurs

Nous avions publié dans différents «Old Man» trois types de coupleurs d'antenne asymétrique/symétrique soit:

- Le coupleur Z match (OM 9/2003)
- Le coupleur série F3 LG (OM 12/2006 et 1/2/2007) sous le titre: «L'antenne Levy revisitée»
- Le coupleur russe type P-104 M (OM 11/2007)

Tous ces coupleurs sont prévus pour alimenter une ligne accordée symétrique à ondes stationnaires dans un ventre de courant avec un nœud de tension soit à basse impédance. Ils peuvent aussi alimenter une ligne symétrique à ondes progressives d'impédance caractéristique comprise entre 50 et 75 Ohms, mais c'est la première application qui nous intéresse ici.

Le coupleur Z match .Le coupleur Z match est sans commutation de bande puisqu'il est toujours possible de trouver l'accord du circuit oscillant dans la bande HF désirée, ceci grâce aux trois résonances toujours présentes simultanément pour n'importe quelle position du condensateur variable à deux cages. Voir à ce sujet les courbes de résonances.

Le circuit de sortie préconisé dans sa forme originale, est lui invariable, de sorte que la valeur du coefficient de self induction L de la bobine le constituant, est toujours la même. Il en résulte, pour une bande donnée, un effet d'allongement électrique qui sera toujours le même quelque soit les dimensions de l'antenne Levy connectée. Cet allongement dû à L n'est peut être pas celui qui serait nécessaire pour amener un ventre de courant à la base du coupleur. Cet allongement électrique peut cependant fortuitement correspondre à celui nécessaire, mais cela serait un pur hasard.

Cela constitue un inconvénient certain. On pourrait remédier à cela, en faisant un circuit de sortie commutable de différentes valeurs de L, avec une position déterminée pour chaque bande correspondant à la correction nécessaire compte tenu des dimensions de l'antenne. Le coupleur ainsi déterminé n'est valable que pour les dimensions de cette antenne. Il ne peut donc pas être utilisé sur d'autres dimensions.

Le circuit d'entrée à liaison capacitive doit présenter une impédance de 50 Ohms à l'émetteur pour toutes les bandes. Ainsi, avec ma réalisation, la valeur de la capacité C en série à l'entrée, est différente d'une bande à l'autre pour présenter 50 Ohms à l'émetteur. C'est ainsi que, à partir de la bande 40 mètres, C devient très petite. La position de la prise d'entrée sur le bobinage principal doit elle aussi être variée pour pouvoir présenter 50 Ohms sur toutes les bandes.

Le coupleur F3 LG. Le coupleur F3 LG, série, fait lui pour chaque bande la correction exacte nécessaire de la longueur électrique pour atteindre le ventre de courant le plus proche, et est donc parfait à cet égard. C'est ainsi que, compte tenu du régime d'ondes stationnaires le plus proche obtenu avec l'antenne seule, selon la bande désirée, on pourra toujours effectuer un allongement électrique à l'aide d'une réactance inductive, ou un raccourcissement électrique, à l'aide d'une capacité. Il sera donc toujours possible d'atteindre la résonance, donc

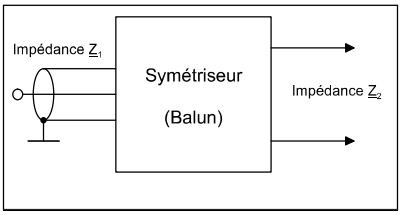

Figure 5: Coupleur asymétrique/symétrique (Coaxial/Bifilaire) pour une ligne apériodique (non accordée) à ondes progressives.

le ventre de courant, à l'aide de ces éléments de compensation mis en série puisqu'ils agissent en sens inverse. L'inconvénient est qu'il faut disposer d'une self par bande, qui, combinée avec les deux CV's en série, produisent la correction nécessaire pour l'antenne utilisée.

Remarque importante: Les valeurs ainsi déterminées de L et des CVs ne correspondent absolument pas à celles nécessaires pour la fréquence de résonance calculée selon l'expression de Thompson. Ce sont donc uniquement des éléments de compensation. C'est l'ensemble seul, antenne coupleur qui est en résonance sur la fréquence de trafic. L'impédance d'entrée est déterminée par l'emplacement expérimental de la prise sur le bobinage.

Les valeurs de correction ainsi déterminées ne seront valables que pour les dimensions de l'antenne considérée, et ne sont donc pas transposables telles quelles sur une autre antenne.

Sur une autre antenne, on disposera ainsi pratiquement uniquement d'un effet de raccourcissement électrique plus ou moins grand en ajustant les capacités en série, si l'on ne désire pas refaire des bobinages.

Le coupleur russe: Le coupleur russe, compensera lui aussi pour chaque bande la longueur électrique nécessaire, non plus en ajoutant une compensation, comme ci-dessus, mais en compensant l'effet capacitif provenant d'une longueur de fil trop courte, ou l'effet inductif provenant d'une longueur de fil trop importante. Cette compensation se fera très simplement dans le premier cas, en diminuant d'autant les capacités encadrant la self du circuit en pi pour toujours obtenir la résonance, et dans le second cas, au contraire, les capacités d'accord de chaque côté, seront augmentées, puisque l'apport de réactance inductive de l'antenne se trouvera en parallèle sur le bobinage et diminuera son coefficient de self induction. Cette fois, le filtre en pi est à la résonance selon l'expression de Thompson, sur la fréquence de trafic, mais avec l'apport capacitif ou inductif en provenance de l'antenne. On notera bien que la capacité résultante participant à l'accord, sera la combinaison en série de CV1 et CV2 + ou – les apports décrits ci-dessus.

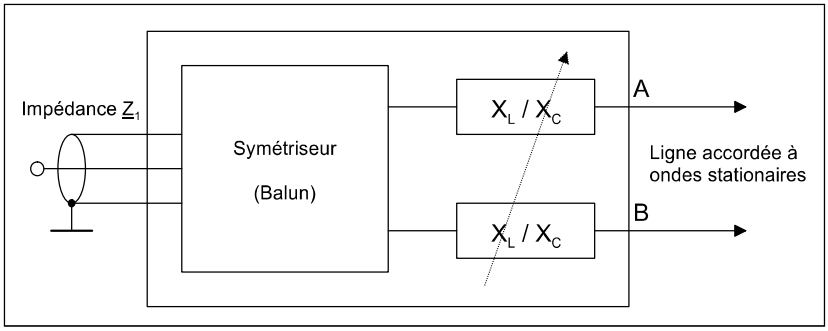

Figure 6: Coupleur asymétrique/symétrique (Coaxial/Bifilaire) pur une ligne accordée à ondes stationnaires.

Si, pour une bande donnée, on a exactement la longueur de fil nécessaire pour l'obtention d'un ventre de courant à la base de la ligne d'alimentation, les valeurs de CV1 et CV2 et de L correspondront exactement à celles nécessaires pour la résonance du coupleur seul, pris isolément, non connecté à l'antenne.

Ce coupleur présente donc une plus grande souplesse d'utilisation pour une bobine donnée, donc une certaine gamme couverte, avec différentes longueurs géométriques de fil d'antenne, puisque l'on pourra tout aussi bien obtenir un effet d'allongement électrique, ou un effet de raccourcissement électrique, et non plus seulement un effet de raccourcissement, pour une bobine donnée comme dans le cas du coupleur F3 LG.

Conclusions

Nous espérons avoir apporté au lecteur des éléments lui permettant de mieux juger des avantages et inconvénients de tel ou tel coupleur, et de ne pas être trop tenté par des affirmations souvent exagérées des publicités. Surtout, grâce aux mesures effectuées, le lecteur aura compris qu'un SWR de 1 ne correspond pas toujours au meilleur transfert réel d'énergie entre l'émetteur et l'antenne.

Si nous avons pu aider l'amateur à mieux comprendre ce qui se passe à la sortie de son émetteur, nous aurons atteint notre but.

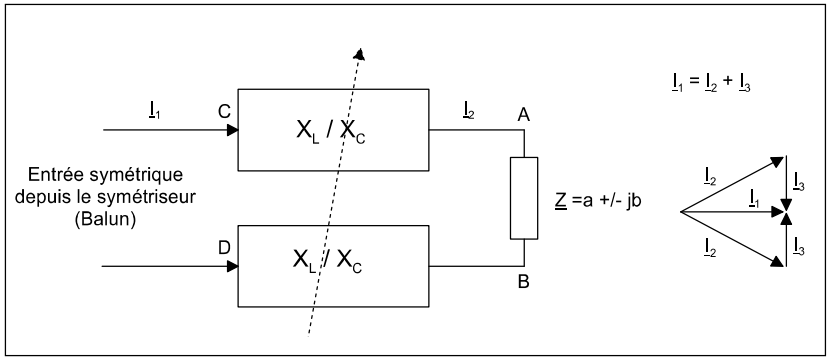

Figure 7: Diagramme vectoriel des courants d'un coupleur asymétrique/symétrique (Coaxial/Bifilaire) pour une ligne accordée à ondes stationnaires (détails de la figure 6)