

Le balun «bazooka»

François Callias HB9BLF (francois.callias@2000net.ch) - [Mni tnx: illustrations HB9FRV]

Il est d'usage courant que la liaison entre une antenne et la station radio soit faite par un câble coaxial. Le câble coaxial est par nature une structure asymétrique avec un conducteur central entouré par une tresse de blindage; l'énergie haute fréquence se propage à l'intérieur du câble avec des courants d'amplitude égales dans le conducteur central et la tresse de blindage.

Beaucoup d'antennes ont en revanche une structure symétrique. C'est le cas des antennes dipôles et multi-éléments (Yagis) utilisées en VHF-UHF et sur les ondes courtes (en général à partir de 7 MHz, 14 MHz et plus haut). Le problème est qu'à la connexion entre le câble coaxial et l'antenne, le courant amené par le câble coaxial ne va pas en entier dans l'antenne; une partie s'écoule sur l'extérieur du blindage du câble coaxial.

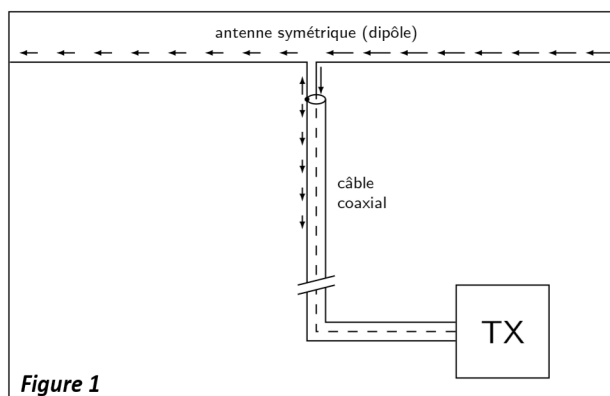


Fig. 1 montre que le courant issu du conducteur central va entièrement sur le bras droit du dipôle, mais que celui venant du blindage s'écoule en partie sur le bras gauche du dipôle et en partie sur l'extérieur du blindage. Cela peut provoquer des pertes et aussi une distorsion du diagramme de rayonnement. En ondes courtes, des perturbations captées par le blindage du câble d'antenne trouvent par ce biais un chemin vers l'antenne (et le récepteur...).

L'effet pelliculaire

Pour expliquer ce phénomène il faut rappeler que dans un conducteur, le courant en haute fréquence s'écoule en surface; il n'utilise pas l'entier du volume du conducteur. C'est ce que l'on appelle «effet pelliculaire».

Le courant a une valeur maximale à la surface du conducteur, puis il décroît au fur et à mesure que l'on s'enfonce dans le conducteur en suivant une caractéristique exponentielle décroissante.

Le courant à une profondeur x vaut: $I_x = I_0 \cdot \exp(-x/\delta)$

I_0 étant le courant à la surface du conducteur, et δ étant appelé la «profondeur de pénétration». A une profondeur $x = \delta$, le courant vaut encore le 37 % du courant à la surface; à une profondeur $x = 2\delta$ il ne vaut plus que 13 %.

La profondeur de pénétration dépend de la fréquence, de la conductivité et de la perméabilité du conducteur. Elle est définie par l'équation $\delta = 1/\sqrt{\pi f \mu \sigma}$

- f est la fréquence
- μ est la perméabilité (exemple pour le cuivre)
 $\mu = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ [henry/mètre]
- σ est la conductivité (exemple pour le cuivre)
 $\sigma = 5,8 \cdot 10^{-7}$ [mho/mètre]

A une fréquence de 200 MHz, on obtient pour le cuivre $\delta = 4,6 \cdot 10^{-6}$ mètres (4,6 microns). A 2 MHz, la profondeur de pénétration est 10 fois plus élevée (elle varie avec la racine carrée de la fréquence).

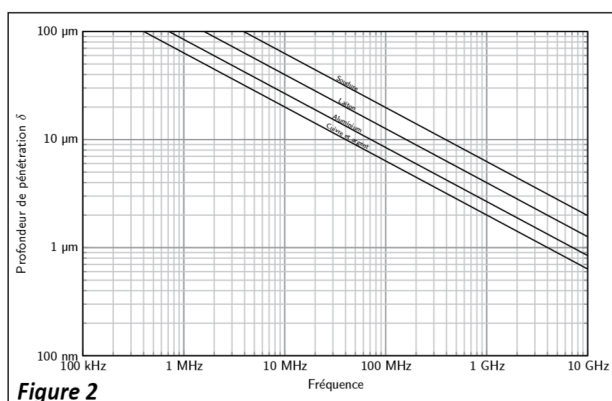


Fig. 2 montre l'évolution de δ en fonction de la fréquence pour différents types de matériaux.

Couper le «courant de manteau»

Pour éliminer ce problème, on utilise un balun appelé aussi symétriseur. Il sert à créer une haute impédance sur le manteau du câble coaxial pour empêcher les courants haute fréquence d'y circuler.

Sur **Fig. 3** vous avez un balun de chez WIMO, utilisé pour alimenter une antenne dipôle en ondes courtes. Il est constitué d'environ 15 spires de câble coaxial à isolation téflon (supporte la chaleur...) bobinées sur un tore de ferrite ayant une perméabilité élevée. Cela produit une haute impédance en série sur le manteau du câble (inductive aux basses fréquences, elle devient résistive aux hautes fréquences à partir de 7 MHz et au-dessus). C'est une bonne solution, que je ne peux que vous recommander.



Figure 3

Pour mes antennes 432 MHz, j'avais utilisé un balun de chez InnovAntenna (GØKSC). Voir ci-dessous. C'est un bout de câble coaxial avec 8 perles de ferrite enfilées dessus (dimension des perles: tubes de diamètre extérieur 9,5 mm, intérieur 5 mm, longueur 15 mm). Une perle crée une impédance d'environ 100 Ω sur le manteau du câble coax à 432 MHz.



Mes antennes 432 avaient du SWR. Elles ont un élément principal en boucle. En réglant la largeur de la boucle, je n'arrivais pas à obtenir un SWR meilleur que 1,6. J'ai alors soupçonné ce balun d'en être la cause. Les ferrites font chacune une impédance (résistive) de 100 Ω sur 432 MHz. Il y en a 8 ce qui fait 800 Ω, mais cette valeur est répartie sur une grande longueur de câble coaxial pour cette fréquence (12 cm, alors que le quart de la longueur d'onde ne fait que 17 cm). Ce balun provoque des pertes.

Il existe d'autres solutions comme faire une petite self (ayant une auto-résonance parallèle sur 432 MHz) avec le câble et la placer à ras le dipôle. C'est la solution utilisée par YU1CF pour ses antennes.

En bas à droite le balun pour 432 MHz: 2 spires de coax téflon RF142 (5 mm dia.) bobinés sur un diamètre de 17 mm.

En bas à gauche le balun pour 144 MHz: 3 spires du même coax bobinés sur un diamètre de 22 mm en 2 couches.

J'ai réalisé un balun sur ce modèle pour 432 MHz. Il était assez difficile à régler (mesuré avec analyseur de réseau chinois...); j'ai dû resserrer les spires, diminuer un peu le diamètre pour arriver à un résultat satisfaisant ($Z > 2 \text{ k}\Omega$). Je me suis alors décidé de construire un balun de type «bazooka».

Balun «bazooka» pour 432 MHz

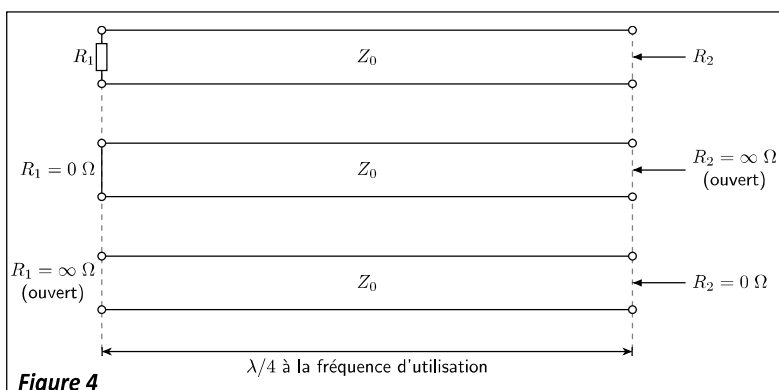


Fig. 4: On utilise le principe de transformation d'impédance par ligne quart d'onde ($\lambda/4$).

Une ligne quart d'onde électrique à la fréquence d'utilisation transforme la résistance R_1 en une valeur R_2 , suivant la formule $Z_0 = \sqrt{R_1 \cdot R_2}$ ou écrit autrement:

$$R_2 = \frac{Z_0^2}{R_1}$$

Exemple: Avec une ligne quart d'onde d'impédance, on transforme une impédance de 50 Ω en une valeur de 100 Ω. C'est utilisé pour coupler 2 antennes en parallèle; on transforme l'impédance de chaque antenne de 50 Ω sur 100 Ω puis on connecte en parallèle ces 2 impédances de 100 Ω et on obtient à nouveau 50 Ω.

Sur les exemples suivants, si $R_1 = 0 \Omega$, la ligne de transmission quart d'onde la transforme en circuit ouvert ($R_2 = \infty$). Et vice-versa, si $R_2 = \infty$, On voit à l'entrée de la ligne un court-circuit ($R_2 = 0 \Omega$).

Fig. 5 (voir page 33) montre le schéma mécanique du balun «bazooka» réalisé pour 432 MHz.

Le tube est un tube carré en aluminium de 25 mm (ext.) sur 21 mm (int.) longueur 160 mm. Le coax est un RG-142 (isolation téflon, diamètre 5 mm). La prise N est connectée au tube à l'extrémité gauche à l'aide d'une pièce d'adaptation ad-hoc qui assure la fixation mécanique et aussi un très bon contact électrique entre la prise N et le tube (court-circuit de la ligne de transmission coaxiale formée par le tube et la tresse du câble coaxial). L'impédance de cette ligne vaut , mais cette valeur n'a aucune importance car on veut transformer un court-circuit à gauche en une impédance infinie à droite.

La pièce de centrage du coax dans le tube est en matériau isolant (bakélite) de 4 mm d'épaisseur. La pièce d'adaptation mécanique a aussi une épaisseur de 4 mm (elle serait plus épaisse, ce serait plus facile pour percer les trous taraudés dans son épaisseur pour la lier au tube carré...).

La prise à droite a été installée temporairement pour mesurer l'impédance entre la tresse du câble coaxial et la masse qui est le tube carré. Cette impédance doit avoir la valeur la plus élevée possible !

Un premier essai avec un tube carré de longueur 178 mm donnait une résonance avec impédance très haute (10 kΩ) à 388 MHz. La longueur du tube a alors été raccourcie à 160 mm pour obtenir la résonance sur 432 MHz. La résonance donne une impédance supérieure à 1 kΩ sur une plage de fréquence qui va de 405 MHz à 459 MHz (design peu critique!). Ci-après quelques images:



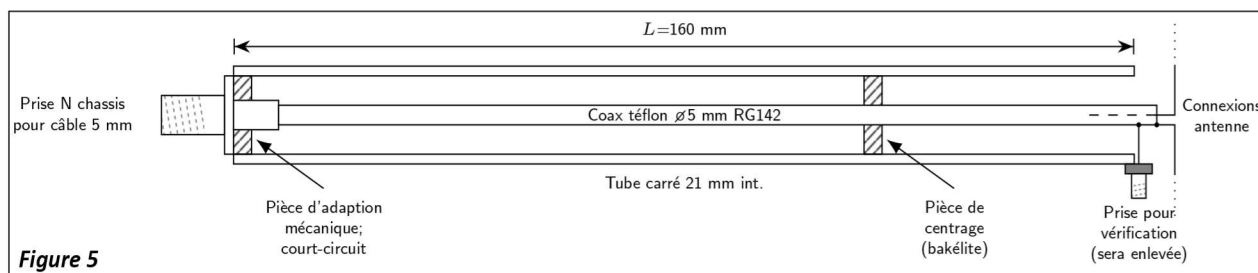
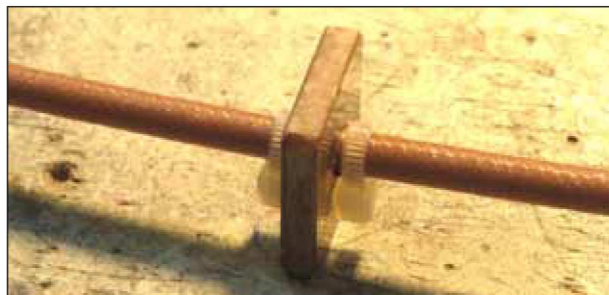
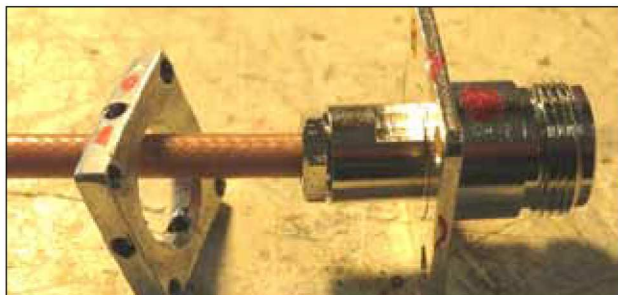


Figure 5



Pièce d'adaptation mécanique et prise châssis N avec coax RG-142



Pièce de centrage du coax dans le tube

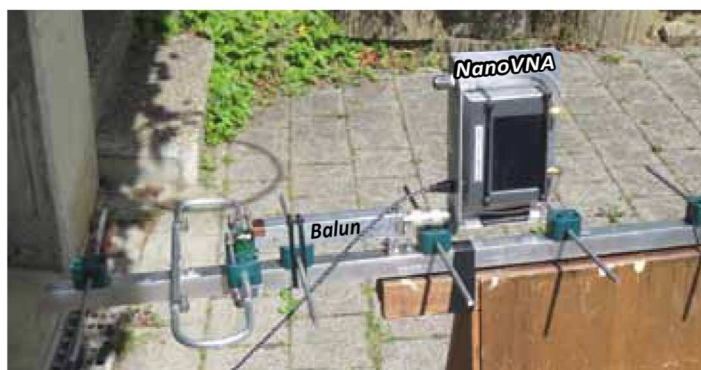
Le balun a ensuite été monté et connecté au drive de l'antenne 432 MHz (Antenne 20 EL LFA de 5 m de boom, design GØKSC). Le drive est une boucle horizontale, caractéristique des antennes LFA (Loop Feed Array) de GØKSC.

Et là, petite surprise: le SWR est moins bon qu'avant ! ($SWR = 1,8$; $Z_{ANT} = 35 \Omega - j18 \Omega$). La mesure montre qu'il est possible de revenir sur 50Ω en ajoutant une self de 33 nH en parallèle au point de connexion à l'antenne (3 spires de fil émaillé de diamètre 1,2 mm bobiné sur une mèche de 4,5 mm, longueur de la self 8 mm).

À la fin il a été possible de régler le SWR sur 1,0 en espaçant un peu les spires de la self parallèle et en ajustant la largeur du drive (Fig. 6).



Figure 6: Réglage des spires



L'analyseur de réseau (NanoVNA V2 de chez NanoRFE) connecté à l'antenne

Un balun «bazooka» pour 144 MHz a été réalisé sur le même principe. Le tube carré est plus long (470 mm après ajustage), et il y a 3 pièces de centrage sur la longueur.



L'impédance de blocage du courant de manteau à 144 MHz valait $|Z| = 4,4 \text{ k}\Omega$. Elle est supérieure à 1 kΩ sur la plage de fréquences 134 MHz - 150 MHz. ■