Apogee km:	1667.239
Perigee km:	1631.194
Beacon frequency Mc:	29.501
Inclination Var. I:	82.9562
gross Omega Var. O:	217.3637
klein Omega Var. W:	122.3832
Exzentriz. Var. E:	0.0022471
S.M.A/6378 Var. A:	1.257481
M. mot.*2Pi Var. N:	75.94505199
Ref. perigee Var. G:	3532.948889
d RAAN/day Var. Q:	-.5467642
d AOPG/day Var. V:	-2.06587
Satellite Name:	**RS-10/11**
Epochtime year:	87
Epochtime day:	250.30109429
Inclination deg:	82.9319
RA of node R.A.A.N:	357.3996
Eccentricity:	0.0013273
Arg. of perigee deg:	55.9292
Mean anomaly deg:	304.3123
Mean motion rev/day:	13.71880972
Decay rate rev/day:	5.9E-07
Ref. orbit number:	1042
Semi major axis km:	7370.919
Anom period min:	104.9654
Apogee km:	1009.702
Perigee km:	990.1357
Beacon frequency Mc:	29.407
Inclination Var. I:	82.9319
gross Omega Var. O:	357.3996
klein Omega Var. W:	55.9292
Exzentriz. Var. E:	0.0013273
S.M.A/6378 Var. A:	1.155679
M. mot.*2Pi Var. N:	86.19781952
Ref. perigee Var. G:	3536.239477
d RAAN/day Var. Q:	-.7372433
d AOPG/day Var. V:	-2.774488

TECHNIK

Redaktion: Dr. Peter Erni, HB9BWN, Römerstrasse 34, 5400 Baden

Alimentation de hautes impédances symétriques
(Un problème un peu oublié)

Philippe Gander (HB9CM), Bergli 15, 2558 Aegerten

Dans un précédent article, j'ai décrit un fort simple circuit d'adaptation pour basses impédances, permettant en particulier de corriger les derniers écarts subsistants en bout de coaxial, sur un système d'antenne en principe déjà accordé [1].

Aujourd'hui nous allons considérer un autre aspect du problème général de l'adaptation d'un système d'antenne pourvu notamment d'une alimentation à feeder ouvert. Il est vrai, et souvent un peu à tort, que seule actuellement une minorité d'amateurs ont recours à un tel système, pourtant des plus efficace, pour transférer la puissance à leur antenne. D'accord, le feeder ouvert communément appelé «échelle à grenouille», n'est pas réalisable dans toutes les situations.

Soit, le cas assez classique d'un dipôle alimenté par un feeder ouvert de 250 à 800 Ohms d'impédance caractéristique, le feeder ayant une longueur quelconque déterminée uniquement par les conditions géographiques locales; exemple: la G5RV ou toute variante similaire (Fig. 1).

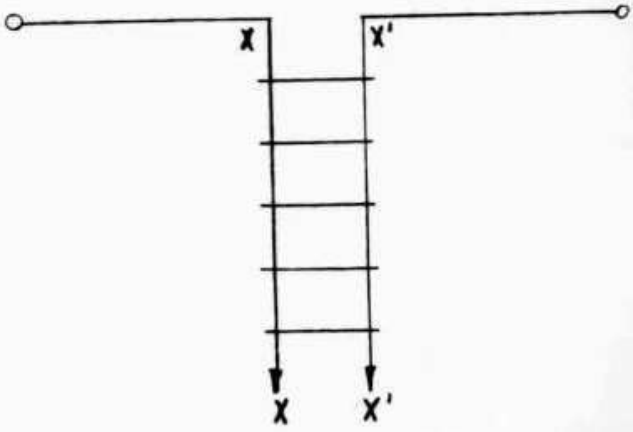

Figure 1: x; x' Ligne de transmission symétrique

A la base du feeder l'impédance présentée est par définition symétrique, mais suivant la fréquence de transmission, la longueur de l'antenne ainsi que celle du feeder, on peut pour cette impédance s'attendre à toute une gamme de valeurs. Dans le cas où le système est en réso-

nance série, on trouvera une impédance ohmique de faible valeur, 40 ÷ 100 Ohms, mais dans le cas d'une résonance parallèle, on trouvera au contraire une valeur ohmique élevée, 800 ÷ 3000 Ohms. Mais surtout encore hors résonance une quantité de valeurs complexes intermédiaires présentant toujours un terme réactif, qui de cas en cas sera selfique ou capacitif.

Nous ne considérerons dans le présent article, que les cas où l'impédance est élevée, c'est à dire supérieure à 500 Ohms, car tous les autres cas peuvent facilement être traités par n'importe quelle boite d'adaptation dite «ATU» (Antenna Tuning Unit) que l'on trouve dans le commerce du matériel d'amateur.

D'ailleurs le circuit que nous allons décrire, est avant tout destiné à servir d'intermédiaire entre l'arrivée du feeder ouvert à ondes stationnaires, et une boîte ATU commerciale dont la sortie est connectée en position symétrique pour hautes impédances, et en général le constructeur prétend pouvoir aller jusqu'à 600 Ohms, mais comme pour ce faire, il utilise le plus souvent un transformateur torroidal, vous pouvez me faire confiance, il est bien rare qu'en pareil cas le rendement reste acceptable au delà de 400 Ohms, c'est à dire 2 × 100 Ohms à partir du point neutre central, (pour rappel $U_1^2/U_2^2 = Z_1/Z_2$) surtout pour des puissances supérieures à 200 Watts, et encore, à condition que la composante réactive de la charge ne soit pas trop élevée.

Toutefois, avant de sortir le fer à souder, et d'acquérir les composants dont il va être question, la première chose à faire, est de voir si pour la bande considérée il est vraiment indispensable d'utiliser ce circuit auxiliaire, autrement dit si pour la fréquence de travail l'impédance symétrique du feeder est vraiment supérieure à environs 2 × 100 Ohms. En pareil cas, on veillera encore à règler le circuit auxiliaire afin de maintenir le plus bas possible son rapport de transformation à l'intérieur du domaine d'application, soit: s'efforcer de ramener à 150 ÷ 350 Ohms l'impédance élevée que l'on désire alimenter, par la combinaison de l'ATU + circuit auxiliaire.

Si on jette un coup d'oeil rétrospectif sur la technique d'avant, et juste d'après-guerre, on constatera que le cas qui nous occupe présentement, était alors en fait très classique, surtout à considérer les étages de puissance HF à tubes, souvent encore en Push-Pull, et où on ne parlait pas d'une sortie sur 50 Ohms, (je me demande encore ajourd'hui pourquoi cette valeur qui ne correspond quasi à rien dans la pratique?) et où le SWR généralement mal compris, n'était pas encore entré dans le jargon des amateurs. Souvent alors le feeder ouvert était attaqué par un système comportant de grosses bobines en fil, voire en tube de cuivre nu, des condensateurs variables bricolés à hauts espacements avec des «Ducrétets» de 1500 cm de récepteurs à super-inductance pour ondes longues, puis des colonnettes en porcelaine qui en imposaient au public, tout ceci pour quelque 50 Watts au PA; mais à part le surdimensionnement il n'y avait rien de faux en cela, et ce matériel trouverait encore bon emploi aujourd'hui. Seulement voilà, on préfère tout enfermer dans une boite, ça doit être petit, on n'en est plus guère aux 50 Watts, en on admet plus facilement que ça chauffe quelque part. Alors allons y, mais tout de même, efforçons nous d'éviter de faire trop de calories inutiles pour notre correspondant.

Le schéma bloc de ma proposition est donné ci-dessous (Fig. 2).

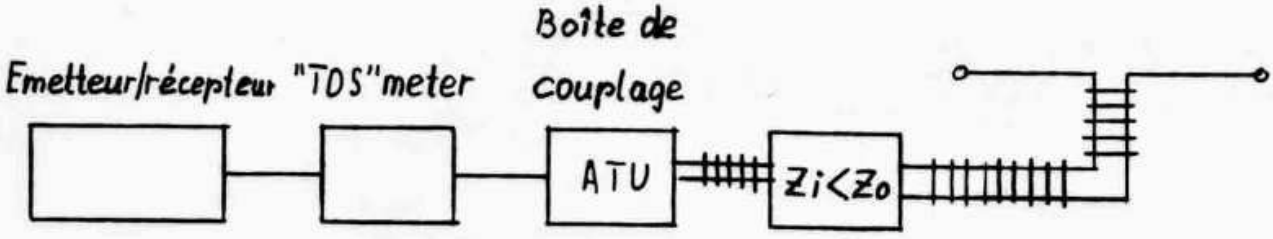

Figure 2: Branchement des éléments

Donc avoir Z_i sym < Z_o sym et d'autre part se maintenir à l'intérieur des limites:

$$100 < Z_i < 400 \text{ Ohms}$$

afin que l'impédance symétrique transformée, puisse être traitée par l'ATU.

Pour permettre cette transformation, j'ai essayé trois circuits différents, dont deux sont basés sur le même principe, et le troisième sur un principe différent, mais tous correctement utilisés conduisent parfaitement au résultat cherché.

La première variante n'a rien de révolutionnaire, c'est un transformateur d'impédance Sym - Sym, c'est à dire sans point neutre mis à la terre, sa structure est celle du simple filtre passe bas en L fractionné. L peut être rendu variable soit par sections, soit par noyaux plongeurs en ferrite (Fig. 3).

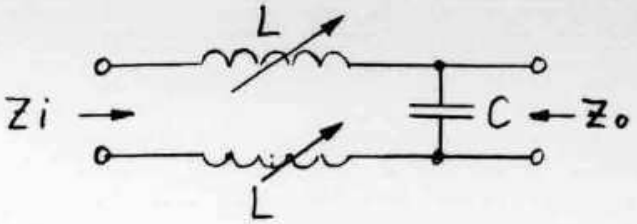

Figure 3: Transformateur d'impédance Z_i/Z_o, symétrique/symétrique

Pour suivre le raisonnement on admet d'abord que Z_i et Z_o sont des impédances exemptes de composantes réactives, donc assimilables à des résistances R_i et R_o, et en pareil cas on peut en bonne approximation déterminer la valeur des éléments du circuit en appliquant l'équation du circuit en L, mis en tenant compte du fractionnement de la self. (On peut aussi faire usage du diagramme de Smith, voir [1]).

$$\text{Posons: } 2\omega L = R_i \times \sqrt{R_o/R_i - 1}$$

$$1/\omega C = \frac{R_o}{\sqrt{R_o/R_i - 1}}$$

Prenons l'exemple de f = 3,7 MHz, R_i = 200 Ohms, R_o = 1800 Ohms.
Tous calculs faits nous trouvons:
ωL = 283 Ohms d'où L = 12,5 µH
$1/\omega C$ = 638 Ohms d'où C = 65 pF
Mais il est bien rare que l'impédance présentée à la base d'un feeder ouvert soit de caractère purement ohmique. Avec le circuit ci-dessus on peut même faire abstraction du condensateur du côté sortie dans le cas où l'impédance est de nature capacitive, ce qu'on se gardera bien de faire dans le cas où l'impédance est de nature selfique, car en pareil cas, on risquerait fort de trouver une relation:

$$Z_i > Z_o !!$$

Le condensateur C n'a nullement besoin d'être une condensateur variable, mais peut aussi en être un si on désire avoir une plus grande souplesse de réglage. Par contre il doit pouvoir tenir la haute tension en relation avec l'impédance élevée du côté sortie, et ce en fonction de la puissance transmise.
En effet, point n'est besoin de compenser totalement la composante réactive de l'impédance à la base du feeder, car une fois transformée, elle peut être prise en charge par l'ATU. Toutefois il est de bonne guerre de la compenser le plus possible par le circuit auxiliaire, afin de ne pas tomber en dehors des possibilités d'accord de l'ATU.
La seconde variante est un circuit assez similaire, mais susceptible de corriger encore mieux certaines assymétries, les deux selfs étant de plus couplées entre elles car bobinées en respectant le sens de bobinage respectif, sur un noyau torroidal, qu'on aura bien entendu soin de dimensionner pour la puissance et la fréquence de travail (Fig. 4). Le tout étant muni d'un commutateur à plots, d'au moins 6 positions, et un condensateur variable à écartement suffisant, de environs 180 pF, mais qu'on peut retirer du circuit grâce à deux cavaliers de court-circuit, et j'insiste sur l'importance de ce point, car dans le cas d'impédances capacitives la résiduelle du CV devient vite un obstacle au bon règlage, souvent même déjà sur 3,5 MHz, vu la valeur élevée de l'impédance considérée.

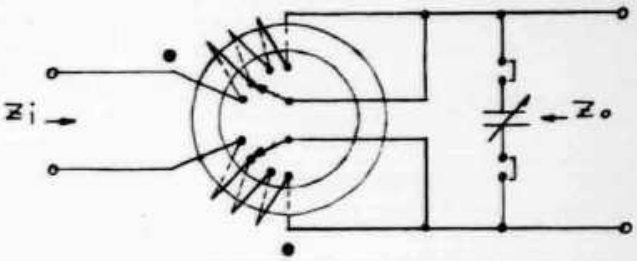

Figure 4: Transformateur d'impédance Z_i/Z_o, symétrique/symétrique

La dernière variante que je vous propose fait appel à l'utilisation du filtre en treillis dit circuit de Boucherot, qui n'est pas sans certaines analogies avec le filtre Collins passe bas, et dont voici le schéma (Fig. 5).

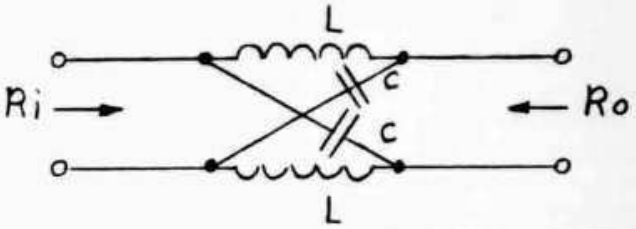

Figure 5: Transformateur d'impédance R_i/R_o, symétrique/symétrieque

Au contraire des deux autres propositions, le circuit de Boucherot doit toujours satisfaire la condition de résonance:

$$\omega^2 LC = 1 \text{ ou } \omega L = 1/\omega C = X$$

Etant entendu que, si au lieu de valeurs réelles R_i et R_o, on a une valeur complexe en Z_i et Z_o, il conviendra de retoucher symétriquement les éléments du filtre pour retrouver la condition de résonance et d'autre part la bande passante dépendra du rapport L/C.
Ce circuit n'est donc valable que pour une fréquence et une bande restreinte conditionnée par le rapport Z_o/Z_i, mais abstraction faite de cette restriction, on y trouve des avantages dignes de retenir notre attention.
Pour comprendre le fonctionnement de ce circuit en pont, il convient de faire le raisonnement suivant (Fig. 6):

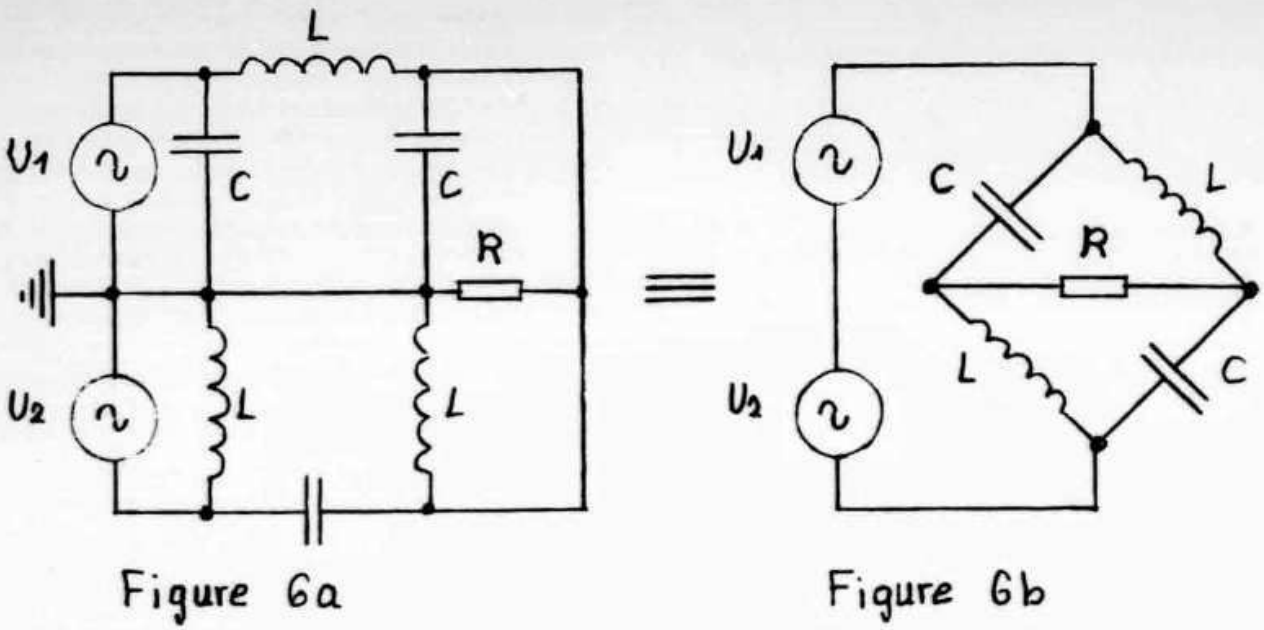

Figure 6a

Figure 6b

Figure 6: Equivalence des circuits

Soient: deux sources de tension HF symétriques U1 et U2 débitant en parallèle sur une résistance, l'une au travers d'un filtre en π passe bas avec décalage de +90°, l'autre au travers d'un filtre en π passe haut avec un décalage de -90°. Sources et charge se trouvant shuntées par un circuit oscillant parallèle annulant toute composante réactive tout en assurant une parfaite symétrie et une transformation d'impédance par cellule en treillis, structure un peu oubliée et qui complète les structures de filtres bien connues, en π, T et L. Une des particularités de cette cellule est l'isolation totale pour la HF entre le «Zéro» d'entrée, et le «Zéro» de sortie, car aucun courant de terre ne circule dans le système selon Fig. 6a, ce qui permet de fixer une connexion de terre à n'importe quel noeud du circuit, ou nulle part comme en la Fig. 6b.
Enfin, dernière particularité intéressante de l'utilisation du circuit boucherot, l'équation de transformation permettant de calculer les éléments du circuit en fonction du rapport de transformation, est d'une simplicité remarquable, car elle s'ecrit:

$$\omega L = 1/\omega C = X = \sqrt{Z_i \times Z_o}$$

Pour illustrer notre précédent exemple avec f = 3,7 MHz et R_i = 200 Ohms et R_o = 1800 Ohms, nous trouvons:

$$X = \sqrt{200 \times 1800} = 600 \text{ Ohms}$$

d'où l'on déduit immédiatement:

$$C = 71 \text{ pF}, L = 25{,}8 \text{ µH}.$$

Dans la pratique on s'arrangera à avoir deux condensateurs variables isolés entre eux, mais commandés par le même axe; les deux selfs doivent aussi pouvoir être modifiées, deux selfs à roulette ou à noyau plongeur font évidemment l'affaire, mais ici aussi on peut se contenter de selfs commutées par sections.
A part cela je renonce à donner toutes instructions pour la réalisation de l'un ou de l'autre des circuits ci-dessus analysés, que chacun y aille de sa fantaisie en fonction de l'emploi, car bien entendu les éléments ne seront pas les mêmes pour la station QRO ou le portable en QRP, sur 160 ou sur 10m!
Mais je ne recommande pas non plus l'emploi de l'un ou de l'autre de ces circuits pour des fréquences supérieures à 18 MHz, car il est alors beaucoup plus simple de rallonger ou de raccourcir le feeder de 1 à 2m seulement, pour tout de suite trouver une impédance suffisamment basse pour être directement traitée par la boite d'adaptation ATU.

Références

[1] Gander Ph., (HB9CM), Circuit d'adaptation à haut rendement et à large bande, mais d'application restreinte aux bases impédances, old man 6/1986.

INTERRADIO 87 7. + 8. November 1987
auf dem Hannover-Messegelände