

L'adaptation des impédances est un titre qui revient de façon régulière dans les revues techniques spécialisées un peu à la manière du monstre du Loch Ness dans les pages de la grande presse à certaines époques de l'année.

Renouveler le genre est un peu une gageure mais il n'est pas interdit d'essayer de faire, sinon le tour de la question, du moins un survol de (presque) tout ce que le sujet peut comporter.

Si donc nous considérons un dipole actif, élément simple s'il en est, de f.e.m. E_o et d'impédance interne Z_i , on peut être amené à chercher quelle est la meilleure adaptation possible quand on y réunit un autre dipole, passif cette fois, d'impédance Z_r (fig. 1).

Et c'est alors que les choses les plus simples se compliquent car il n'y a pas qu'une adaptation possible mais des adaptations. L'adaptation telle que la veut le spécialiste de la BF n'est pas forcément celle du spécialiste des UHF, voire des ondes centimétriques, ni même celle que préconise l'électrotechnicien. Chacun y cherche son compte sans avoir les mêmes soucis pour le guider, sinon le motiver.

L'adaptation des impédances

Adaptation au maximum de puissance active

C'est la plus connue. La charge étant $\bar{Z}_r = R_r + jX_r$ et l'impédance interne $\bar{Z}_i = R_i + jX_i$, le courant dans le circuit est :

$$\bar{I} = \frac{\bar{E}_o}{\bar{Z}_r + \bar{Z}_i}$$

et la d.d.p. $\sqrt{V_r}$ aux bornes de Z_r :

$$\sqrt{V_r} = \bar{Z}_r \cdot \bar{I}$$

d'où la puissance active :

$$P = 1/2 (\bar{I} \sqrt{V_r}^* + \sqrt{V_r} \bar{I}^*)$$

Ce qui conduit à :

$$P = E_o^2 \frac{R_r}{(R_r + R_i)^2 + (X_r + X_i)^2}$$

Pour que P soit maximum, il faut d'abord que le dénominateur soit minimum, soit donc : $X_r + X_i = 0$ d'une part, ce qui entraîne $X_i = -X_r$ et, d'autre part :

$$\frac{dP}{dR_r} = 0$$

ce qui entraîne $R_r = R_i$.

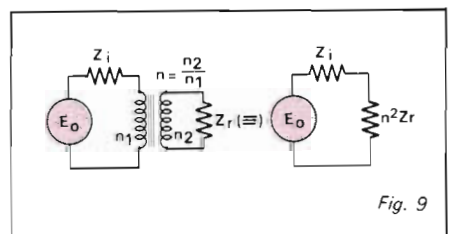
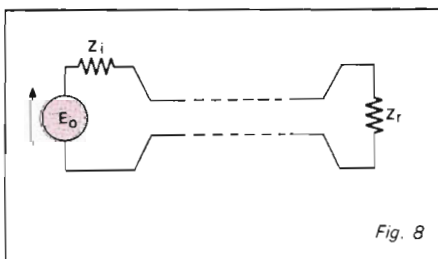
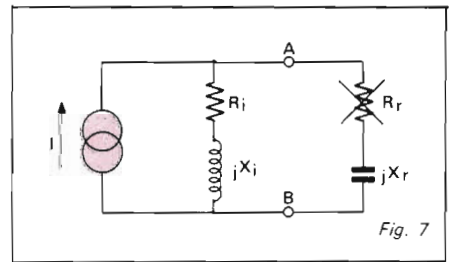
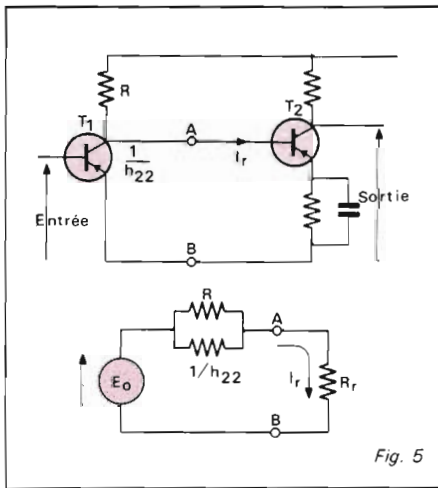
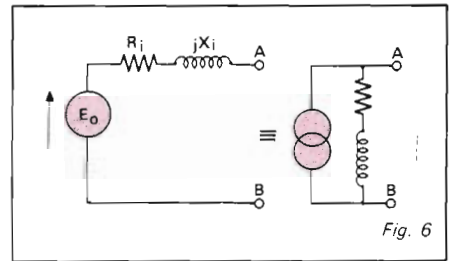
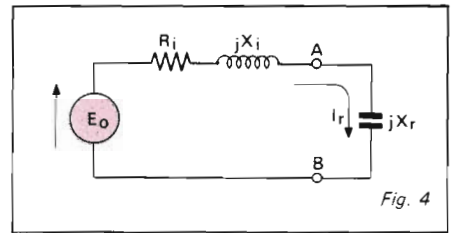
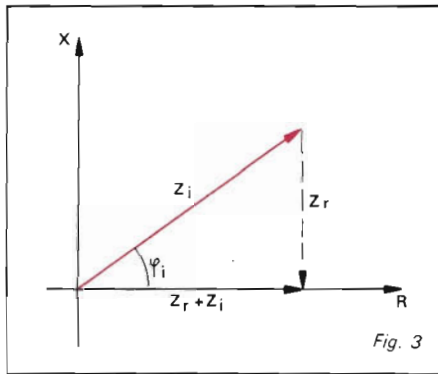
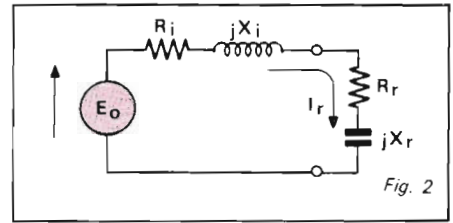
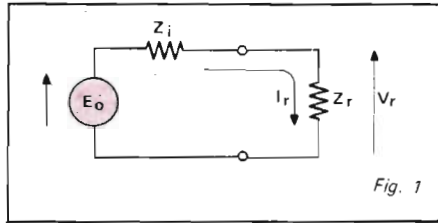
En définitive, on obtient comme impératif $\bar{Z}_i = \bar{Z}_r^*$.

Les impédances sont imaginaires conjuguées (fig. 2).

La puissance active fournie est alors maximum et vaut :

$$P_{\max} = \frac{E_o^2}{4 R_i}$$

La puissance perdue sous forme d'effet Joule (chaleur) dans le générateur



est alors égale à la puissance reçue par la charge. Le rendement est alors de 50 %.

Ce cas se rencontre pratiquement dans les gros émetteurs de radiodiffusion. Nous verrons plus loin quelques exemples d'adaptation par quadripôles de couplage et, en particulier, par transformateur (ou auto-transformateur).

Adaptation au maximum de courant

Nous avons vu que le courant dans le récepteur était :

$$\bar{I}_r = \frac{\bar{E}_0}{Z_r + \bar{Z}_i}$$

Le module de I_r est maximum si $|Z_r + \bar{Z}_i|$ est minimum.

Par conséquent si $Z_r = |Z_r| \cdot e^{j\varphi_r}$ et $Z_i = |Z_i| \cdot e^{j\varphi_i}$, φ_r doit être égal à $\pm \pi/2$:
 $+\pi/2$ si $\sin \varphi_i < 0$
 $-\pi/2$ si $\sin \varphi_i > 0$
 et $|Z_r| = |Z_i| \sin \varphi_i$

La construction très simple (fig. 3) montre qu'alors la somme $Z_i + Z_r$ est réelle. Autrement dit, Z_r est imaginaire pure et s'écrit $Z_r = jX_r$ (fig. 4).

Si Z_i se réduit à R_i , le courant est maximum pour $Z_r = 0$ c'est-à-dire pour le générateur en court-circuit.

En pratique, il suffira que la charge soit petite devant l'impédance interne du générateur.

En supposant que Z_i et Z_r se réduisent à des résistances R_i et R_r , $R_i \gg R_r$.

Le rendement est faible mais l'essentiel est de disposer d'un courant maximum.

Un exemple est donné par l'attaque d'un transistor en E.C. (fig. 5). Le courant d'attaque de la base est à peu de chose près celui de court-circuit du transistor.

Adaptation au maximum de tension

La tension aux bornes du dipôle récepteur est :

$$\bar{V}_r = \frac{Z_r}{Z_r + \bar{Z}_i} \bar{E}_0$$

soit encore, en considérant les admittances, $\bar{Y}_r = 1/\bar{Z}_r$ et $\bar{Y}_i = 1/\bar{Z}_i$

$$\bar{V}_r = \frac{\bar{Y}_i}{\bar{Y}_i + \bar{Y}_r}$$

Pour que V_r soit maximum, il faut que $\bar{Y}_i + \bar{Y}_r$ soit minimum ; \bar{Y}_i étant fixé, il faut donc que $1/\bar{Z}_i \cdot e^{-j\varphi_i} + 1/\bar{Z}_r \cdot e^{-j\varphi_r}$

soit minimum, ce qui a lieu pour $\varphi_r = \pm \pi/2$:

$+\pi/2$ si $\sin \varphi_i < 0$

$-\pi/2$ si $\sin \varphi_i > 0$

et avec $Z_r = \frac{Z_i}{\sin \varphi_i}$

Ici encore, Z_r est imaginaire pure (fig. 6).

Si $Z_i = R_i$, le maximum de tension est obtenu pour $Z_r = \infty$ (alors $\sin \varphi_i = 0$), c'est-à-dire en circuit ouvert.

Cette fois encore, on pourra dire qu'en pratique, il suffira que l'impédance de charge soit beaucoup plus grande que l'impédance interne. Ou, en simplifiant, que la résistance de charge $R_r \geq R_i$ si les impédances se réduisent à des résistances.

Un exemple est donné par la liaison entre un préamplificateur à faible impédance de sortie et un amplificateur à forte impédance d'entrée (fig. 7). La presque totalité de la tension de sortie est reportée à l'entrée.

Adaptation au minimum de réflexion

Lors de l'utilisation des lignes, en VHF ou UHF, lorsque les circuits ne sont plus à constantes localisées mais réparties (longueur d'onde de l'ordre des dimensions des liaisons), il faut le plus souvent éviter les réflexions. Or, Z_r étant la charge et Z_i l'impédance de la source, on sait que le coefficient de réflexion est donné par (fig. 8) :

$$\rho = \frac{Z_r - Z_i}{Z_r + Z_i}$$

Pour que ce coefficient soit nul, il suffit donc que $Z_r = Z_i$.

Si Z_i se réduit à R_i , nous aurons à la fois adaptation au minimum de réflexion et au maximum de puissance active ; alors, $Z_r = R_i$. Nous sommes dans le cas le plus typique de l'adaptation.

Adaptation par quadripôle de couplage

L'utilisation d'un transformateur, de rapport n fermé au secondaire sur une charge Z_r ramène au primaire une impédance $n^2 \cdot Z_r$. Le procédé permet donc de ramener au primaire une charge faible ($n \ll 1$) ou forte ($n \gg 1$) pour être dans des conditions optima d'adaptation en tension ou en puissance (fig. 9).

C'est le cas des transformateurs pour capteurs (microphone ou thermocouple

à tension modulée par exemple) ou transducteurs de puissance sonore. Il convient toutefois de noter dans ce dernier exemple que le transformateur est un élément permettant de ramener la meilleure charge compatible avec les caractéristiques et limites physiques des transistors (ou des tubes). Ce qui signifie qu'il n'est pas toujours souhaitable d'obtenir une charge égale à l'impédance (ou résistance) interne, soit parce que la puissance obtenue serait trop faible ou alors, et au contraire, trop forte et incompatible avec la survie du générateur et de ses éléments actifs.

Conclusion

Faut-il toujours adapter ou essayer de le faire ? La réponse sera celle que ferait un Normand. Cela dépend. Nous avons vu qu'il n'était pas toujours possible d'obtenir le maximum de puissance active. En fait, nous avons passé sous silence une adaptation que ceux qui travaillent sur des signaux très faibles connaissent bien : l'adaptation au minimum de bruit. Il peut être montré que la figure de bruit minimum d'un récepteur est obtenue quand la liaison avec, par exemple, l'antenne est relativement désadaptée. Et le minimum de bruit est quelquefois un tel impératif...

Charles PANNEL

Bibliographie

- M. Thué : Calcul des réseaux et calculs des filtres (E.N.S.T.).
- M. Fray : Schémas d'électronique (Masson Editeur).