Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 62 (1971)

Heft: 26

Artikel: Adaption conjugée et adaption de ligne

Autor: Gardiol, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915888

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Adaptation conjuguée et adaptation de ligne

Par *F. Gardiol,* Lausanne

621.311.161

L'adaptation conjuguée est couramment utilisée aux fréquences basses et moyennes, tandis qu'aux fréquences très élevées on préfère adapter la terminaison à la ligne de transmission. Cet article décrit les principaux inconvénients que présenterait l'adaptation conjuguée aux fréquences élevées.

Bei tiefen und mittleren Frequenzen werden üblicherweise konjugiert-komplexe Elemente für die Anpassung verwendet. Für sehr hohe Frequenzen wird jedoch eine Anpassung an die Leitung bevorzugt. Die Gründe dafür werden in diesem Artikel beschrieben.

1. Introduction

La théorie des circuits nous apprend que la puissance transférée d'un générateur à une charge est maximale lorsque leurs impédances sont complexes conjuguées. On parle alors d'adaptation conjuguée. En pratique, on souhaite avoir un transfert de puissance maximum afin d'obtenir le meilleur rapport signal/bruit possible.

Dans le domaine des hyperfréquences, par contre, chaque ingénieur sait, d'une façon plus ou moins intuitive, que la charge doit être adaptée à l'impédance de la ligne, c'est-à-dire qu'elle ne doit pas provoquer une onde réfléchie trop importante. On a alors une adaptation sans réflexion ou adaptation de ligne (Z_0-match), le taux d'ondes stationnaires (T.O.S.) valant approximativement 1. Cette condition d'adaptation est particulièrement importante lorsqu'on effectue des mesures. Elle est toujours souhaitée dans la plupart des applications, faisant appel à des méthodes d'adaptation souvent compliquées.

Lorsque l'adaptation de ligne est réalisée, mais que l'impédance du générateur n'est pas le complexe conjugué de l'impédance caractéristique de la ligne de transmission, les conditions d'adaptation conjuguée ne sont pas satisfaites et le transfert de puissance n'est pas maximum. Aux hautes fréquences, il n'est pas toujours possible ou même désirable d'adapter le générateur à la ligne, en particulier dans des systèmes à large bande: dans ce cas, les conditions d'adaptation de ligne et d'adaptation conjuguée ne coïncident pas.

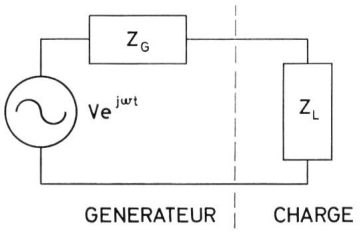

Fig. 1
Schéma équivalent d'un générateur basse fréquence connecté à sa charge
$Z_G = R_G + jX_G \qquad R_G > 0$
$Z_L = R_L + jX_L \qquad R_L > 0$

Le but de cette note est de montrer pourquoi l'adaptation conjuguée n'est pas souhaitable aux fréquences élevées.

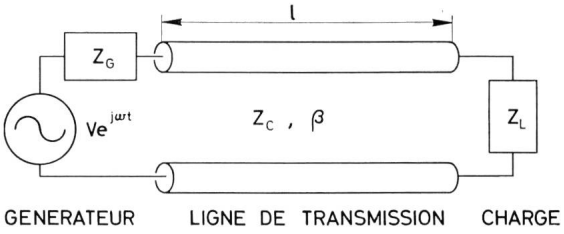

Fig. 2
Schéma équivalent d'un générateur haute fréquence connecté à sa charge
Z_C impédance caractéristique
β exposant de propagation

2. Théorie

Le circuit équivalent d'un générateur connecté à une charge, pour les basses fréquences, est présenté dans la fig. 1, qui définit également les grandeurs utilisées.

La puissance fournie par le générateur à la charge vaut:

$$P = \frac{1}{2}\,\mathrm{Re}\,(Z_L)\,|I|^2 = \frac{|V|^2}{2}\,\frac{R_L}{|Z_L + Z_G|^2} \qquad (1)$$

Elle possède un maximum lorsque $Z_L = Z_G{}^*$, qui correspond à la puissance d'échange P_e du générateur:

$$P_e = \frac{|V|^2}{8\,R_G} \qquad (2)$$

(Nous ne considérons pas ici le cas de résistances négatives, et donc $R_G > 0$ et $R_L > 0$).

Lorsque la fréquence augmente, l'effet de la ligne de transmission placée entre le générateur et sa charge devient impor-

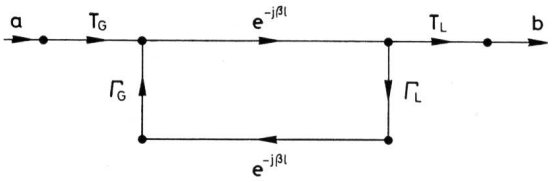

Fig. 3
Représentation en graphes orientés du circuit de la fig. 2
Γ_L, T_L coefficients de réflexion et de transmission de la charge
Γ_G, T_G coefficients de réflexion et de transmission du générateur
a, b amplitudes des signaux fourni par le générateur et absorbé par la charge

tant et le circuit équivalent de la fig. 2 doit être considéré. On suppose ici que les pertes dans la ligne sont négligeables, condition qui est satisfaite dans bon nombre de cas courants. L'impédance due à la charge qui apparaît aux bornes du générateur n'est plus Z_L, mais l'impédance Z_L' de la charge vue à travers une longueur de ligne l:

$$Z_L' = Z_c \frac{Z_L + jZ_c \operatorname{tg} \beta l}{Z_c + jZ_L \operatorname{tg} \beta l} \tag{3}$$

Pour déterminer les conditions correspondant à l'adaptation conjuguée, il serait nécessaire de remplacer Z_L par Z_L' dans (1) et d'introduire la valeur donnée par (3). On obtient ainsi une relation compliquée, qui peut être fortement simplifiée par l'introduction des coefficients de réflexion et de transmission.

3. Transfert de puissance en fonction des coefficients de réflexion

Le circuit équivalent de la fig. 2 peut être représenté, en termes de graphes orientés, par le schéma de la fig. 3.

Les coefficients de réflexion et de transmission sont définis par:

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_c}{Z_L + Z_c}$$

$$\Gamma_G = \frac{Z_G - Z_c}{Z_G + Z_c}$$

$$|T_L|^2 = 1 - |\Gamma_L|^2$$

$$|T_G|^2 = 1 - |\Gamma_G|^2 \tag{4}$$

Les puissances sont liées aux amplitudes généralisées a et b par les relations:

$$|a|^2 = P_e \quad \text{puissance d'échange du générateur} \tag{5}$$

$$|b|^2 = P_L \quad \text{puissance absorbée par la charge} \tag{6}$$

En résolvant le système de la fig. 3, on définit le facteur de transfert en puissance T [1][1]):

$$T = \frac{P_L}{P_e} = \left|\frac{b}{a}\right|^2 = \frac{(1 - |\Gamma_G|^2)(1 - |\Gamma_L|^2)}{|1 - \Gamma_L \Gamma_G e^{-2j\beta l}|^2} \tag{7}$$

4. Inconvénients de l'adaptation conjugée

A l'adaptation conjuguée, la charge absorbe la puissance d'échange de la source et on a alors $T = 1$. Ceci se produit lorsque:

$$\Gamma_L = \Gamma_G{}^* e^{2j\beta l} \tag{8}$$

[1]) Voir bibliographie à la fin de l'article.

En dehors du cas $\Gamma_G = 0$, il existera donc une onde réfléchie dans le système, du fait que Γ_L est non nul.

Il faut noter, cependant, que le coefficient de propagation β et la longueur de la ligne l interviennent dans cette relation. Elle ne sera donc satisfaite que pour certaines combinaisons de fréquence et de longueur de ligne. Si la fréquence du signal varie, comme c'est le cas pour un signal modulé, le facteur de transfert T va diminuer. Sa variation en fonction d'un changement de βl est présentée en fig. 4 pour plusieurs valeurs de $|\Gamma_G|$. Une variation de la longueur de la ligne l, due par exemple à un changement de température, donnera lieu au même effet.

Lorsque βl varie de $\pm 90^0$ à partir de la valeur à l'adaptation conjuguée, le coefficient de transfert T est minimum; il vaut:

$$T_{min} = \left[\frac{1 - |\Gamma_G|^2}{1 + |\Gamma_G|^2}\right]^2 \tag{9}$$

Pour le cas d'une ligne coaxiale ou stripline (ligne TEM) remplie de diélectrique homogène de permettivité ε_r, la variation de fréquence Δf nécessaire pour faire varier βl de $\pi/2$ vaut:

$$\Delta f = \frac{c}{4\sqrt{\varepsilon_r}\, l} \tag{10}$$

où c est la vitesse de la lumière dans le vide. L'importance d'une telle variation peut être illustrée par l'exemple suivant: une ligne coaxiale à air de deux mètres de long est connectée à un générateur ayant un coefficient de réflexion $|\Gamma_G| = 0{,}2$ qui fournit un signal de 10 GHz. On obtient dans ce cas $\Delta f = 37{,}5$ MHz et $T_{min} = 0{,}85$. Ceci veut dire qu'une variation de fréquence de 0,375 % provoque une baisse de 15 % de la puissance transmise. Une pareille sensibilité est difficile à tolérer en pratique. En particulier, l'utilisation d'une adaptation conjuguée est incompatible avec un système à large bande de fréquence.

Dans le cas de guides d'ondes, l'effet d'un écart de fréquence est encore augmenté à cause de la dispersion.

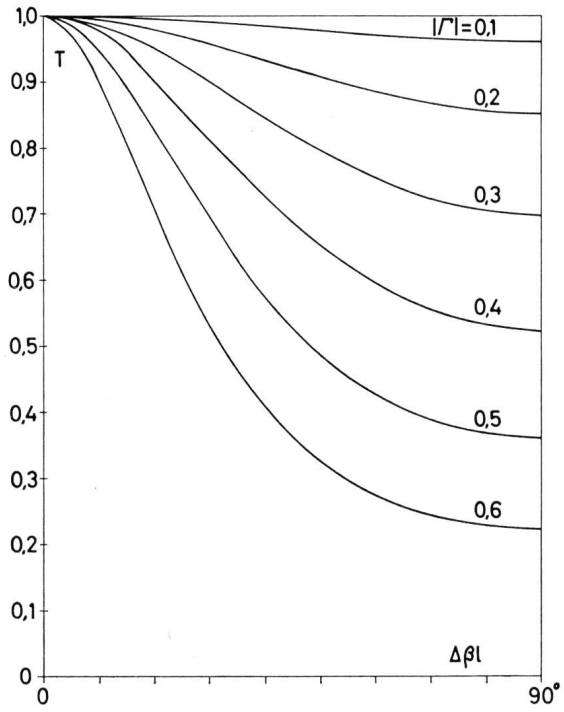

Fig. 4
Facteur de transfert T en fonction d'une variation de βl
(à partir de la position d'adaptation conjuguée)

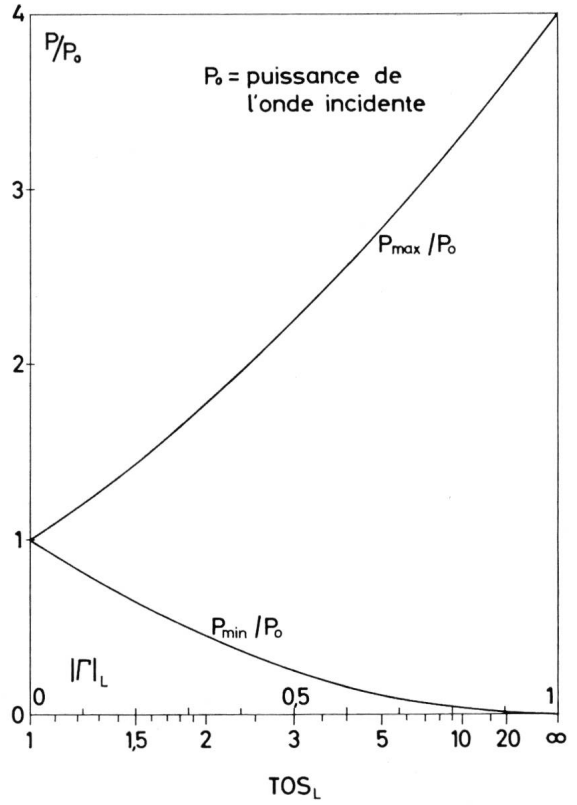

Fig. 5
Valeurs extrêmes de la puissance apparente en fonction du taux d'ondes stationnaires de la charge (TOS_L)

D'autre part, le schéma de la fig. 2 ne représente qu'approximativement le fonctionnement d'un générateur en haute fréquence; les conditions de charge peuvent également influencer la fréquence d'oscillation (glissement de fréquence). La présence d'une onde réfléchie dans le système ne provoque donc pas seulement une fluctuation de la puissance fournie à la charge, mais également une variation de la fréquence du signal. Lorsqu'une charge réfléchissante est placée à une grande distance du générateur, on peut même obtenir des oscillations simultanées à plusieurs fréquences [2].

Finalement, dans des systèmes à puissance élevée, la présence d'une onde réfléchie provoque des concentrations de tension ou de courant aux maxima de l'onde stationnaire. Ces concentrations peuvent donner lieu à une surchauffe localisée ou à un claquage prématuré. L'existence d'une onde réfléchie provoque une incertitude concernant la puissance apparente en un point quelconque du système. Les limites maxima et minima sont indiquées, en fonction de $|\Gamma_L|$, dans la fig. 5. Cette incertitude peut également donner lieu à une confiance exagérée: si, dans un test de claquage, une zone critique du système (arête vive, joint, etc.) se trouve placée à un minimum de tension, le claquage sera retardé et la puissance mesurée sera en fait supérieure à celle que peut réellement supporter le système. Pour des applications à puissance élevée, on désire donc éviter autant que possible les réflexions.

5. Adaptation de ligne

Lorsque la ligne de transmission s'étend sur plusieurs longueurs d'ondes, on est pratiquement toujours amené à adapter la charge à l'impédance de ligne, afin d'éviter les inconvénients mentionnés précédemment. Dans ce cas, $Z_L \approx Z_c$ et $|\Gamma_L| \approx 0$. Le rapport de transfert vaut donc:

$$T_{Z0} = 1 - |\Gamma_G|^2 \tag{11}$$

La valeur de cette fonction, exprimée en dB, est présentée en fig. 6. On notera que l'atténuation due à une désadaptation

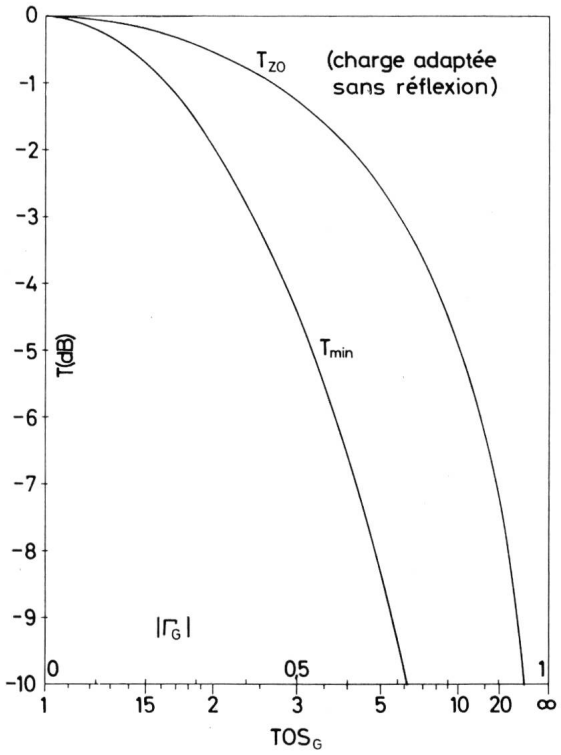

Fig. 6
Facteurs de transfert T(dB) en fonction du taux d'ondes stationnaires du générateur (TOS_G).

du générateur est généralement tolérable. La même figure montre également la valeur de T_{min}, donnée par l'équation [9].

Bibliographie

[1] *M. Sucher* and *J. Fox:* Handbook of microwave Measurements. Third edition. Polytechnic Press of the Polytechnic Institute of Brooklyn. New York/London, John Wiley/Interscience Publishers, 1963. Vol. I, p. 143.

[2] *C. G. Montgomery:* Technique of microwave measurements. New York, McGraw-Hill, 1947, p. 32.

Adresse de l'auteur:
Professor *F. Gardiol,* Chaire d'Electromagnétisme et d'Hyperfréquences, EPF-L, Chemin de Bellerive 16, 1007 Lausanne.