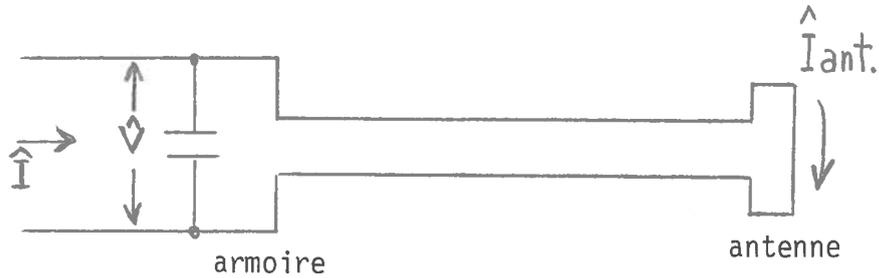


Novembre 1985

INT 121/85

AFCO - MESURE DE LA PUISSANCE

A. Lietti



METHODE DE MESURE

L'énergie qui entre dans l'armoire est la somme de l'énergie transférée au plasma et de l'énergie dissipée dans le circuit. Ce modèle admet que l'énergie dissipée dans le circuit peut être estimée d'après une mesure sans plasma.

Pour un courant d'antenne  $\hat{I}_{ant}$ , la puissance transférée au plasma est  $W_{pl} = \frac{1}{2} r_{pl} \hat{I}_{ant}^2$ , où  $r_{pl}$  est la résistance due au plasma. Pour tenir compte des pertes du circuit, on introduit la valeur  $r_a$  telle que l'énergie perdue soit  $W_a = \frac{1}{2} r_a \hat{I}_{ant}^2$ . Si l'on fait une mesure sans plasma, la résistance  $r_a$  peut être déduite d'après la mesure de la puissance livrée à l'armoire et du courant d'antenne.

Une deuxième mesure avec plasma nous permet de mesurer la puissance totale qui entre dans l'armoire

$$W = W_{pl} + W_a = \frac{1}{2} (r_{pl} + r_a) \hat{I}_{ant}^2 \quad (1)$$

$r_a$  étant connu, la mesure de  $W$  et  $\hat{I}_{ant}$  nous donne  $r_{pl}$  et  $W_{pl}$ .

La puissance d'alimentation de l'armoire est donnée par

$$\frac{1}{2} \hat{V} \hat{I} \cos \phi \quad (2)$$

où  $\hat{I}$  est le courant d'entrée de l'armoire.

La mesure de  $\hat{I}_{ant}$  est déduite de la mesure de  $V$  à l'armoire, d'après la relation

$$\hat{I}_{ant} = \frac{\hat{V}}{Z} \quad (3),$$

où  $Z(w)$ , est l'impédance de transfert calculée d'après la théorie des lignes. La fonction  $Z(w)$  est donnée en annexe. D'après la conservation de l'énergie, on a

$$r = Z^2 Y \quad (4),$$

ou  $r = r_{pl} + r_a$ .

$$Y = \frac{\hat{I} \cos\phi}{\hat{V}} \quad (5)$$

est la partie réelle de l'admittance d'entrée de l'armoire.

#### ACQUISITION DES DONNEES

Le traitement par ordinateur se fait au moyen de tensions continues disponibles à la sortie du dispositif de mesure

$$A_v = \hat{V}/\alpha \quad (6)$$

$$A_i = \hat{I} \cos\phi/\beta \quad (7)$$

Le courant d'antenne est donnée par

$$\hat{I}_{ant} = \frac{\hat{V}}{Z} = \frac{\alpha A_v}{Z} = \gamma A_v \quad (8)$$

tandis que

$$r = Z^2 Y = Z^2 \frac{\hat{I} \cos\phi}{\hat{V}} = Z^2 \frac{\beta A_i}{\alpha A_v} = RR \frac{A_i}{A_v} \cdot 10^{-3} \quad (9)$$

est la résistance d'antenne.

La puissance est ainsi calculée:

$$W = \frac{1}{2} \hat{V} \hat{I} \cos\phi = \frac{1}{2} \alpha \beta A_v A_i = WW A_v A_i \cdot 10^3 \quad (10)$$

où on a introduit les coefficients

$$RR = Z^2 \frac{\beta}{\alpha} 10^3 \quad (11)$$

$$WW = \frac{1}{2} \alpha\beta \cdot 10^{-3} \quad (12)$$

$$\gamma = \frac{\alpha}{Z} \quad (13)$$

#### VARIATION DES COEFFICIENTS

On remarque que  $Z$  est fonction de la fréquence, tandis que  $\beta$  et  $\alpha$  dépendent de la calibration des amplificateurs et du gain. Le rapport  $\beta/\alpha$  ne dépend pas du gain,  $RR$  est fonction de la fréquence et aussi  $\gamma$ . Il convient donc d'établir les nouvelles valeurs de ces coefficients lors d'un changement de fréquence. On présente une méthode de calibration globale, sondes + câbles de raccord + amplificateurs.

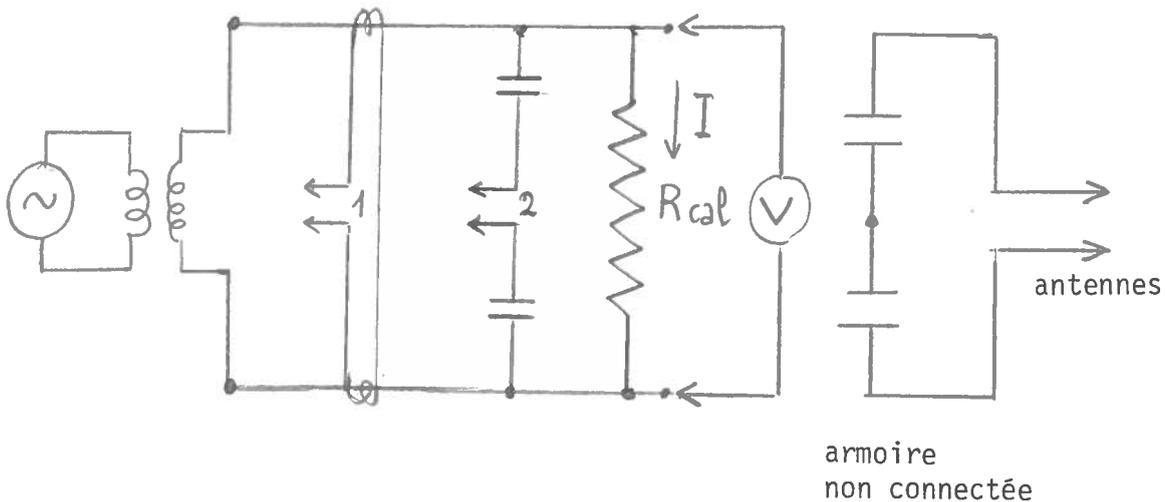
A noter que même avec des amplificateurs parfaits, on ne peut se passer de la calibration à cause des autres éléments du circuit de mesure. On remarque que, pour des variations de fréquence de  $\pm 20\%$ , il suffit de corriger  $Z$  et l'on n'a pas besoin de calibration. En plus, la mesure de la puissance est indépendante de  $Z$ .

#### METHODE DE CALIBRATION

La mesure se fait séparément pour chaque armoire déconnectée. On décrit la méthode générale, avec les instruments utilisés pour la dernière calibration à 2,50 MHz. Les chiffres entre parenthèses sont indicatifs pour une évaluation des grandeurs à 2,50 MH. On utilise le voltmètre HF Siemens pour la mesure des tensions à l'entrée des

armoires et le millivoltmètre Philips à la sortie  $\sim$ s des amplis, (échelle 30 mV). Les deux instruments sont calibrés en volts efficaces. En plus, on a besoin d'une résistance de calibration ( $R_{cal} = 185 \Omega$ ).

On utilise le générateur Siemens avec un transformateur de symétrisation, pour obtenir une tension de quelques volts (8V). La résistance  $R_{cal}$  est placée à la place de l'armoire, de sorte que les sondes 1 et 2 mesurent le courant  $\hat{I}$  et la tension  $\hat{V}$ ,  $\cos\phi$  étant égal à 1.



### Calibration des mesure I et I<sub>ant</sub>

Le millivoltmètre Philips permet de mesurer les signaux relatifs à la mesure de I et de V à la sortie  $\sim$  des amplificateurs. Pour rendre possible la calibration à basse tension, il faut mettre le gain 7. Ainsi on aura des tensions mesurables sur l'échelle 30 mV, que nous appelons  $U_{i7}$  pour I et  $U_{v7}$  pour V, (valeurs efficaces).

Donnons d'abord un exemple de vérification du coefficient qui donne le courant d'antenne par volt d.c. d'acquisition. Nous ne pouvons pas faire une mesure directe du coefficient  $\gamma_2$  pour le gain 2.

La calibration se fait sur le gain 7 et sur la sortie alternative, en considérant le rapport des gains: gain7/gain2 et des sorties d.c. et a.c.:

$$\frac{A(dc)}{U(ac)} = \sqrt{2} q \quad (14)$$

On trouve, d'après les relations (3,6,8):

$$\gamma_2 = \frac{V}{qZ U_{V7}} \frac{\text{gain7}}{\text{gain2}} ; \quad \alpha_2 = Z\gamma_2 \quad (15)$$

La dernière calibration a donné  $q = 4.35$

$$\frac{\text{gain7}}{\text{gain2}} = 23.4;$$

et on a estimé  $Z = 4.30$ .

Ainsi pour  $\gamma_2 = 365 \hat{A}/V+$  on a  $\alpha_2 = 1570$  et  $V/U_{V7} = 292$ . Si l'on applique sur l'armoire une tension de 8V, on doit donc régler l'arrivée pour 27.4 mV (valeurs efficaces). Pour la calibration de la mesure de I, courant à l'entrée de l'armoire, du fait que l'on a une charge résistive  $R_{cal}$ , on estime  $I = V/R_{cal}$ .

D'après les (7,14), on a, du fait que maintenant  $\cos\phi = 1$ :

$$\beta_2 = \frac{V}{R_{cal} q U_{i7}} \frac{\text{gain7}}{\text{gain2}} \quad (16)$$

Pour  $\beta_2 = 10.95$ , on a  $V/U_{i7} = 377$  et avec la même 8V sur l'armoire, on doit régler l'arrivée pour 21.2 mV.

Les coefficients pour le programme d'acquisition sont calculés d'après les formules 11 et 12, et dans le cas examiné on trouve:

$$RR = 129; \quad WW = 8.60.$$

### Précision de la mesure

Il est clair que la précision dépend du soin de la calibration. On donne de suite quelques conseils pratiques.

Les amplificateurs ont été d'abord réglés pour les mêmes gains, l'erreur ne doit pas dépasser 5%, en cas de dérèglement dans le temps (improbable), il faut changer les résistances de calibration à l'intérieur. Les sorties d.c. et a.c. sont réglables à l'extérieur, ainsi le coefficient

$$q = \frac{A(\text{dc})}{U(\text{ac})\sqrt{2}}$$

peut être aisément calibré. A noter que cette calibration se fait sans charge à la sortie.

Il est aussi utile de profiter de la calibration avec la résistance  $R_{\text{cal}}$  pour contrôler la sortie  $I \cos\phi$ . En fait nous avons dans ce cas  $\cos\phi = 1$  et  $I = I \cos\phi$ , et les deux sorties  $I$  et  $I \cos\phi$  doivent être identiques, en cas de différence il faut régler le multiplicateur.

Pour le reste, il faut faire les contrôles usuels des instruments de mesures. Les valeurs données en exemple ont été choisies pour obtenir des lectures vers le fond de l'échelle et rendre l'erreur minime.

