

**Zeitschrift:** Archives des sciences [1948-1980]  
**Herausgeber:** Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève  
**Band:** 11 (1958)  
**Heft:** 7: Colloque Ampère

**Artikel:** Comparateurs d'admittances pour les fréquences comprises entre 0,1 Hz et 200 MHz  
**Autor:** Lebrun, A. / Liebaert, R.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-738841>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 18.03.2025

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

# Comparateurs d'admittances pour les fréquences comprises entre 0,1 Hz et 200 MHz.

par A. LEBRUN et R. LIEBAERT

Laboratoire de Radioélectricité et Electronique de la Faculté des Sciences de Lille (France)

---

L'étude du spectre hertzien d'absorption nécessite souvent, dans la bande 0,1 Hz — 200 MHz, l'utilisation d'une dizaine de dispositifs différents [1].

Les difficultés suivantes sont parfois rencontrées.

a) Il faut, pour que la mesure soit possible, utiliser une « cellule » ayant une capacité active bien choisie. Pour une bande de fréquence donnée, il faut changer plusieurs fois de « cellule ».

Par exemple, avec le pont 716-C Général Radio, on peut mesurer, à 50 Hz, des conductances de 0 à  $10^{-8}$  mho associées à des capacités de 0 à 1.000 pF; à 100 kHz, des conductances de 0 à  $10^{-4}$  mho, associées à des capacités de 0 à 1.000 pF. Une capacité de mesure de conductance initiale  $G_0 = 10^{-5}$  mho ne peut pas être mesurée directement aux basses fréquences avec ce pont;

b) Les ponts et autres dispositifs conçus pour des mesures très diverses, ne donnent pas généralement des grandeurs proportionnelles aux composantes  $\epsilon'$  et  $\epsilon''$  de la permittivité; il est difficile de savoir rapidement, en cours de mesure, s'il y a ou non, un phénomène d'absorption;

c) Les ponts sont souvent assez encombrants; la « cellule » ne peut pas être placée directement aux bornes. Elle doit, généralement être contenue dans une enceinte à température variable. Il faut relier le pont à la cellule par un tronçon de ligne de transmission et, pour obtenir à partir des valeurs mesurées, les valeurs correctes, il faut effectuer des corrections faisant intervenir la longueur du tronçon et son impédance caractéristique;

d) De nombreuses commutations sont souvent source d'erreur.

Pour éviter certaines de ces difficultés, pour permettre des mesures plus rapides, plus précises aussi quelquefois, nous avons mis au point plusieurs « comparateurs d'admittances ». Ces appareils « comparent » les composantes parallèles de « la cellule » de mesure aux composantes variables, connues, d'un dipôle bien choisi.

Deux tronçons de ligne de transmission de même longueur relient la cellule ou le dipôle au dispositif de comparaison. Ces appareils sont différents des comparateurs de modules et arguments qui ne donnent pas directement des grandeurs proportionnelles à  $\varepsilon'$  et  $\varepsilon''$ .

Avec ces comparateurs tous les diélectriques sont « mesurables », il suffit de choisir un dipôle connu qui a les mêmes caractéristiques que la cellule à étudier. La précision n'est pas toujours bonne pour les deux composantes. Pour  $0,01 < \frac{G_x}{B_x} < 100$ , elle est de l'ordre de 1% sur  $G_x$  et  $B_x$ . Pour  $100 < \frac{G_x}{B_x}$  on a une bonne précision sur  $G_x$ ; pour  $\frac{G_x}{B_x} < 0,01$  une bonne précision sur  $B_x$ .

Leur faible poids et leurs dimensions réduites rendent commode leur emploi dans des dispositifs de mesure à température variable. Ils sont très stables, leur utilisation s'effectuant sans commutation.

La gamme 0,1 — 200 MHz est couverte avec quelques comparateurs:

I.R. 1: 0 à 500 Hz; I.R. 5: 2 kHz — 1 MHz; I.R. 11: 0,5 — 50 MHz;  
I.R. 22: 10 — 200 MHz.

#### COMPARATEUR I.R.1 (0 à 500 Hz).

##### *Principe.*

Une source S, sinusoïdale, de fréquence  $f$ , débite dans deux circuits (fig. 1). Le circuit ABM est constitué d'une résistance  $R_1$ , suivie d'une résistance  $R_2$  placée en parallèle sur l'admittance à mesurer  $y_x = G_x + jB_x$ . Le circuit ADM est constitué d'une résistance  $R_3$ , suivie d'une résistance  $R_4$  variable, placée en parallèle sur une capacité  $C_4$  également variable. La tension  $V_B - V_D$  est nulle quand

$$y_2 = \frac{R_3}{R_1} y_4 .$$

En choisissant convenablement le rapport  $\frac{R_3}{R_1} = m$ , on a la possibilité de mesurer des admittances très diverses en utilisant des variables  $R_4$  et  $C_4$  faciles à réaliser. Soit  $R_4$  variable de 0 à 10 M $\Omega$ ,  $C_4$  variable de 100 à 1.000 pF; avec  $\frac{R_1}{R_3} = 0,10$ , la mesure, à 1 Hz, du dipôle  $R_{px} = 100$  M $\Omega$ ,  $C_{px} = 100$  pF s'effectue avec une bonne précision sur les deux composantes,

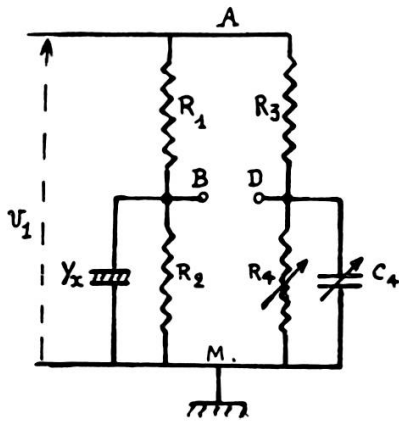


fig 1

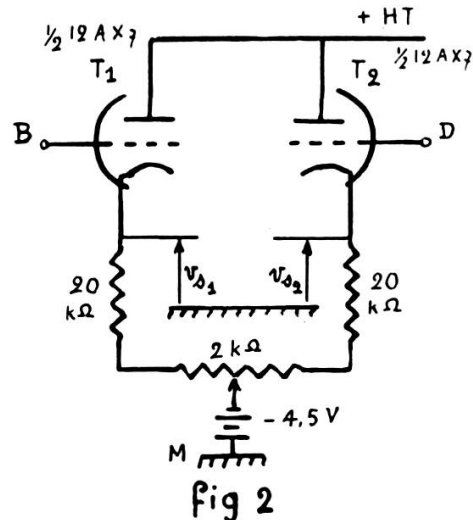


fig 2

de même avec  $\frac{R_1}{R_3} = 10$ , la mesure du dipôle  $R_{px} = 100$  k $\Omega$ ,  $C_{px} = 0,01$   $\mu$ F est bonne.

La mesure de la différence de potentiel  $V_B - V_D$  doit être faite de façon très précise puisque pour  $V_B - V_D = 0$ ,  $y_2 = y_4$  ( $m = 1$ ). Pour cette mesure, il faut utiliser un *dispositif* symétrique très sensible, d'impédance d'entrée très grande.

#### *Description des éléments du comparateur.*

##### a) *Détecteur symétrique pour la mesure de $V_B - V_D$ .*

L'étage d'entrée symétrique (fig. 2) est à charge cathodique. Les précautions ordinaires sont prises pour que les courants grilles des tubes  $T_1$  et  $T_2$  soient très faibles. (Ces tubes présentent des résistances de l'ordre de 100 M $\Omega$  entre grille et masse). Le tube utilisé est le double triode 12AX7 (chauffage des filaments: 5 volts environ). Le tube est noirci pour éviter les effets photoélectriques. La polarisation est ajustée autour d'un point pour lequel la somme des courants électronique et ionique de grille est nulle.

Pour le tube considéré, cette polarisation est peu différente de  $-1,3$  V pour une tension anodique de 115 volts.

Pour conserver un gain de 1 pour cet étage (condition indispensable pour que le potentiel instantané de grille reste toujours très voisin du potentiel de repos, pour lequel le courant grille est nul par compensation), il est nécessaire d'utiliser des résistances de charge cathodiques grandes. Il faut alors, pour obtenir une polarisation convenable de grille, placer en

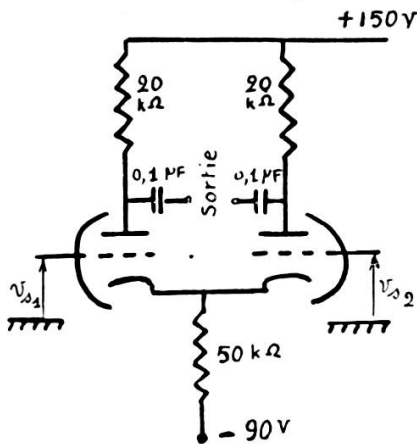


fig 3

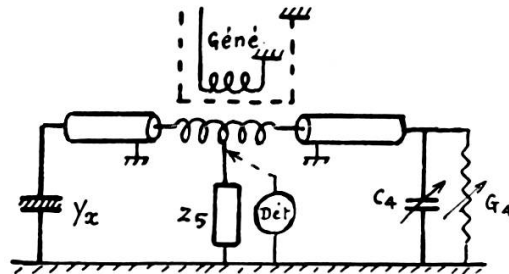


fig 4

série avec ces résistances (fig. 2), une source de tension continue, de faible impédance interne.

L'étage est stable dans le temps. Les tensions  $V_B - V_M$  et  $V_D - V_M$  sont transmises fidèlement, à basse impédance, en  $v_{s1}$  et  $v_{s2}$ . Ces tensions sont de l'ordre du volt. On veut s'assurer qu'elles sont égales à moins d'un millivolt près. Aux très basses fréquences (inférieures à 2 Hz), on a intérêt à utiliser un millivoltmètre continu — ou un enregistreur de résistance suffisamment élevée. Pour les fréquences supérieures à 2 Hz, on peut utiliser des étages amplificateurs symétriques à forte réaction cathodique. On sait que les tensions de sortie de ces étages dépendent *essentiellement* de la différence des tensions  $v_{s1} - v_{s2}$  et *légèrement* de la valeur absolue de  $v_{s1}$  et  $v_{s2}$ . Nous avons intercalé entre l'étage transformateur d'impédance, de gain 1, et l'entrée symétrique d'un oscillographe, un étage amplificateur différentiel, de gain 30 (fig. 3).

La fréquence industrielle 50 Hz est toujours gênante; il y a intérêt à blinder soigneusement l'ensemble du comparateur et à intercaler, éventuelle-

ment, un filtre en double T, entre les étages amplificateurs et les plaques de déviation de l'oscillographe.

b) *Conductance variable.*

Nous utilisons un potentiomètre linéaire à piste moulée (0 à 1 M $\Omega$ ).

Des résistances de précision connectées en série avec ce potentiomètre permettent de réaliser des conductances variables de  $10^{-7}$  à  $10^{-3}$  mhos. Nous avons étalonné ce potentiomètre; sa courbe d'étalonnage reste valable jusqu'à 500 Hz.

c) *Susceptance variable.*

Une capacité à air, variable de 50 à 500 pF, et un ensemble de capacités fixes, permettent d'obtenir la gamme 50-5.000 pF.

d) *Générateur.*

Les générateurs très basse fréquence sont souvent à sortie symétrique sur des charges cathodiques et il existe parfois une tension continue superposée à la tension alternative; pour l'éliminer, nous intercalons, pour chaque fréquence, un filtre convenable.

COMPARATEURS I.R.5; I.R.11; I.R.22 — 2 kHz à 200 MHz.

*Principe.*

Les schémas de principe sont donnés figures 4 et 5. Pour le circuit de la figure 4, les admittances inconnues (cellules à mesurer) et connues ( $C_4$ ,  $G_4$ ) sont réunies au transformateur par deux tronçons de ligne de transmission, d'impédance caractéristique  $Z_0$ , de même longueur.

L'impédance  $Z_5$  réunit à la masse le point milieu du secondaire du transformateur. Le détecteur mesure la tension  $V_5$  aux bornes de  $Z_5$ . Les deux moitiés du secondaire du transformateur doivent être parfaitement symétriques pour que la tension soit nulle quand  $Y_x = Y_4$ . La théorie générale des ponts montre qu'on a la possibilité d'effectuer une mesure sensible quand  $|Y_5|$  est de l'ordre de  $|Y_4|$ . La relation  $Y_x = Y_4$  ne reste vérifiée que si les admittances *de fuite* des divers éléments à droite et à gauche de  $Z_5$  sont rigoureusement égales à toutes les fréquences.

Le circuit de la figure 5 est celui d'un pont; le rapport  $z_1/z_2 = 1$  (deux résistances ou deux capacités);  $Z_5$  est une self d'arrêt de résistance faible.

Nous pensons que le circuit de la figure 5, bien réglé, permet d'obtenir une sensibilité supérieure à celui de la figure 4; ce dernier est, cependant, de réalisation plus commode.

*Description des éléments des ponts.*

a) *Susceptance servant d'étalon.*

Les capacités variables type « professionnelles » sont suffisantes aux basses fréquences. Pour les très hautes fréquences, il faut utiliser les capacités coaxiales à faible inductance résiduelle. Nous avons réalisé des capacités variables dont le rotor, mis à la masse, est à déplacement micrométrique; il est séparé du stator par une feuille de téflon ou de mica.

b) *Conductance servant d'étalon.*

Il est difficile de trouver des conductances largement et finement variables présentant une capacité parasite constante quelles que soient les

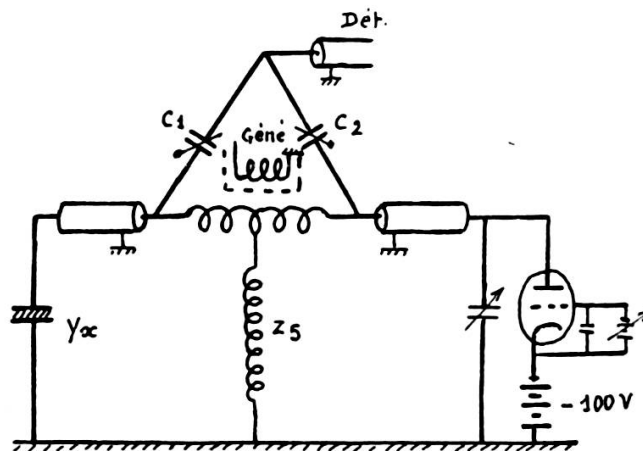


fig 5

valeurs de la fréquence et de la conductance. On peut utiliser la conductance de l'espace cathode-anode de tubes triodes [2]. On obtient ainsi des variations de 0,1 à 100 ou 300  $\mu$  mho suivant les tubes. En plaçant des résistances fixes (disposées dans des fiches dont la réalisation permet d'obtenir d'excellents contacts) en parallèle sur le tube triode, les mesures sont possibles jusqu'à 1.500  $\mu$  mho. Le schéma d'un tube utilisé en conductance variable est donné figure 5.

Pour l'obtention de grandes conductances, nous utilisons des thermistances perles; la variation de conductance est obtenue par la superposition d'un courant continu commandé par un générateur à courant constant (tube pentode, par exemple).

c) *Transformateurs.*

La réalisation d'un transformateur de pont est délicate. Il est nécessaire que les secondaires soient parfaitement symétriques (condition indispensable pour assurer par  $Z_5$  un potentiel convenable de l'anode du tube triode). Pour obtenir des transformateurs symétriques, nous les avons réalisés avec un secondaire à couche unique. Le matériau est à perméabilité élevée (tôle à grains orientés ou ferrite, suivant la fréquence; noyau en double C ou en E). A partir du noyau central on trouve le primaire, puis un écran électrostatique efficace, un isolant (téflon), d'épaisseur un ou deux millimètres, puis le secondaire en une seule couche, point milieu sorti.

Ces transformateurs, pièces fondamentales des comparateurs, nous ont donné satisfaction; cependant une réalisation commerciale plus élaborée permettrait de diminuer l'importance des termes correctifs qui apparaissent dans le tracé des courbes d'étalonnage ( $G_4$  et  $C_4$  en fonction de la fréquence).

d) *Détecteur.*

Il est possible d'employer pour  $Z_5$  un transformateur; son primaire permet d'assurer la polarisation continue de l'anode du tube triode. Ce transformateur permet aussi d'adapter l'impédance d'entrée du détecteur sélectif au comparateur.

Dans d'autres comparateurs, nous utilisons une bobine d'arrêt shuntée par une résistance. Dans ce cas, un étage à charge cathodique, d'impédance de sortie  $50 \Omega$ , adapte l'impédance d'entrée du détecteur au comparateur... Aux fréquences supérieures à 10 MHz, le détecteur est un ensemble mélangeur à cristal oscillateur local amplificateur sélectif sur 30 MHz, avec atténuateur.

e) *Générateur.*

Tous les générateurs ayant une tension de sortie de l'ordre du volt et une puissance de sortie de l'ordre de 0,5 watt, sont suffisants.



## PRÉCISION DES MESURES.

La sensibilité des comparateurs est très grande. La précision des mesures est liée à la précision d'étalonnage de l'admittance étalon. Une précision absolue de l'ordre de 1% est souvent obtenue. Pour une série de mesures sur une même cellule, à fréquence variable, la précision sur les variations est supérieure à celle obtenue par des méthodes ordinaires de pont.

1. LEBRUN, A., Considérations sur le choix de la méthode à utiliser pour des mesures de permittivité. Genève, *Arch. des Sc.*, 9, fasc. spéc., p. 10, 1956.
  2. TONNERRE, diplôme d'études supérieures, Lille, 1957.
-