Zeitschrift: Archives des sciences [1948-1980]
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 13 (1960)
Heft: 9: Colloque Ampère

Artikel: Un spectographe paramétrique pour la résonance magnétique quadrupolaire

Autor: Jelenski, André

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-738641

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: 14.12.2025

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

Un spectrographe paramétrique pour la résonance magnétique quadrupolaire

par André Jelenski

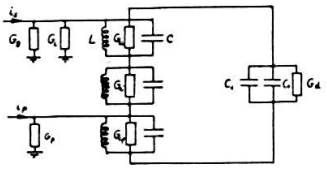
Laboratoire d'Electronique et Radioélectricité de la Sorbonne,
Fontenay-aux-Roses (Seine)

1. Introduction.

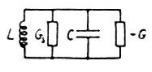
Nous avons réalisé un amplificateur paramétrique à capacité variable, que nous avons utilisé ensuite comme spectrographe de résonance magnétique. Dans le présent article nous allons décrire brièvement les propriétés de cet amplificateur paramétrique, sa construction et son utilisation comme spectrographe appliqué ici à la résonance magnétique quadrupolaire.

2. L'amplificateur paramétrique a réaction.

Nous avons choisi la fréquence de pompage f_p égale à la somme de la fréquence du signal f_s et de la fréquence « complémentaire » (en anglais « idling »), f_i. On a là en fait, l'équivalent d'un amplificateur à réaction positive, et l'action de pompage peut être représentée par l'apparition d'une conductance négative dans les circuits signal et complémentaire. Le schéma de principe de l'amplificateur est représenté sur la figure 1.



Si on le considère seulement pour la fréquence f_s, il peut être remplacé par le schéma de la figure 2, à condition que les fréquences f_s, f_i et f_p soient nettement distinctes les unes des autres.



Le gain en puissance de cet amplificateur paramétrique, défini comme rapport de la puissance dissipée dans la charge utile G_L (les conductances G_g et G_L ne sont pas représentées sur la figure 2, étant incorporées dans G_s) à la puissance maximale que peut fournir la source de signal, est donnée par:

$$g = \frac{4 G_L G_g}{(G_s - G)^2} \tag{1}$$

comme on le trouvera exposé dans les références [1 et 2]. On a:

G_L conductance de la charge utile
G_g conductance interne du générateur
G_{cs} conductance du signal de circuit résonant à la fréquence f_s
G_s conductance totale du circuit pour la fréquence du signal égale à $G_s = G_g + G_L + G_d + G_{cs}$
G conductance négative due à l'action de pompage sur le « varicap ».

La tension de pompage fait varier la capacité d'accord du circuit; comme capacité susceptible de varier avec la tension, on emploie ici une diode semi-conductrice, le « varicap » Hughes HPA 2810. Dans le cas où la tension de pompage appliquée à la diode est beaucoup plus forte que les autres, on peut représenter la diode par le circuit encadré en pointillé dans la figure 1; C_0 représente la capacité de la diode correspondant à une polarisation inverse de la jonction *pn* constante choisie comme point de référence et égale à V_0; G_d représente une conductance équivalente aux pertes dans la diode et C_1 représente l'amplitude de variation de la capacité avec la fréquence de pompage, correspondante, à la tension de pompage V_p appliquée à la diode.

Cette capacité est donnée par la formule approchée, suffisante ici:

$$C_1 = \left(\frac{\partial C}{\partial V}\right)_{V=V_0} . V_p = K V_p \tag{2}$$

où K est en pratique de l'ordre de 0,25 pF/V, pour $V_0 = -2$V par exemple. Dans ces conditions, la conductance négative G est égale à

$$G = \pi^2 f_s f_i (C_1^2/G_i) \tag{3}$$

où G_i est la conductance totale du circuit pour la fréquence complémentaire d'après les références [1 et 2].

On voit, d'après les formules (2) et (3) qu'une variation de puissance de pompage entraîne une variation de C_1 et par là du gain de l'amplificateur et, au moment où G devient plus grand que G_s, un régime oscillatoire s'établit. L'amplificateur devient alors un générateur du type subharmonique. Naturellement, les fluctuations de gain, aussi bien que ce régime d'oscillations sont à éviter dans l'emploi du dispositif comme amplificateur et il faut stabiliser soigneusement la puissance de pompage.

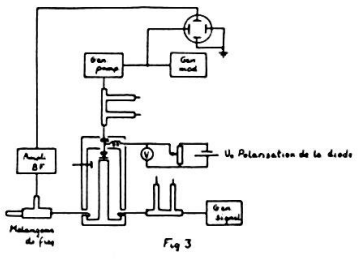
Les facteurs de bruit de ces amplificateurs sont extrêmement faibles, de l'ordre d'un db. A partir de 200 Mc/s ils deviennent nettement plus faibles que ceux des amplificateurs classiques à lampes, ou de mélangeurs à cristaux. C'est ce qui en fait l'intérêt essentiel en spectroscopie hertzienne, mis à part certains avantages secondaires que nous ne décrirons pas ici, nous proposant d'y revenir ultérieurement.

La bande passante de cet amplificateur (définie à l'affaiblissement 0,7 en tension) est de 50 kHz ($\Delta f_s = 25$ kHz), pour une amplification de 100 en tension et un gain en puissance 20 db. On peut augmenter le gain jusqu'à 40 db en puissance, tout en conservant une bonne stabilité, mais la bande passante est alors réduite, le produit gain $\times$ bande passante restant constant. La cavité peut être ajustée mécaniquement de manière qu'on puisse explorer dans cette première réalisation la bande 200-250 MHz. Nous avons fait les expériences de résonance à 226 MHz avec le paradibromo benzène.

3. Description du spectrographe.

3.1 *Schéma général et régime pratique.*

Le schéma de l'amplificateur est présenté sur la figure 3. La cavité est du type coaxial à charge capacitive; elle est formée essentiellement par le varicap; elle sert en même temps comme circuit signal et circuit complémentaire, puisque nous avons choisi ici $f_i = f_s$. Ce régime de travail (ampli-



ficateur dégénéré) dans lequel la fréquence de signal f_s est égale à la fréquence complémentaire f_i, permet d'obtenir le meilleur rapport signal sur bruit, car on élimine le bruit du circuit complémentaire [3].

Mais pour que ces avantages soient réellement acquis, dans un amplificateur véritablement dégénéré, il faudrait que les phases du générateur de pompage et de celui de signal soient rigidement et convenablement liées. Cette condition n'a pas encore été réalisée dans cette première étude de spectrographe.

Au contraire, ici les deux générateurs sont indépendants et l'un d'eux, celui de pompage est un simple auto-oscillateur, dont la fréquence n'est par conséquent pas très stable. Dans ces conditions, au lieu de chercher à asservir les phases, on a au contraire délibérément désaccordé l'un des générateurs dont la fréquence f_i s'écarte ainsi de f_s d'une vingtaine de kilohertz, comme le montre le diagramme de la figure 5: dans ces conditions, les déphasages évoluent dans le temps à la fréquence de 20 kHz environ, faisant passer alternativement à ce rythme l'appareil d'un régime d'amplification convenable, à un état passif. On obtient ainsi un effet d'amplification moyen un peu analogue à celui obtenu dans la superréaction classique, la différence $f_i - f_s$ jouant à peu près le même rôle que la fréquence de découpage. Les réglages deviennent assez délicats et la stabilité générale du système n'est pas très bonne: on obtient cependant un fonctionnement satisfaisant pendant des durées de l'ordre de la minute qui nous ont suffi pour photographier les raies et mettre en évidence l'intérêt de l'amplificateur paramétrique dans la fonction de spectrographe.

3.2 *Branchement de la diode.*

Ici la diode est attaquée par le générateur de pompage par l'intermédiaire d'un adaptateur d'impédances à pistons: il sert aussi à assurer une impédance nulle à la fréquence $f_s = f_i$. La tension de polarisation continue U_0 est fournie par une source à faible résistance interne. Cette tension sert essentiellement à régler le coefficient K, mais en même temps elle change aussi la capacité C_0 de la diode. Pour compenser ce dernier effet qui est nuisible, on a prévu un réglage supplémentaire de la fréquence de résonance de la cavité par une sonde capacitive, représentée sur le côté gauche du résonateur. Le signal de fréquence f_s est fourni par un générateur Ferisol, Type L 11, 5-400 Mc/s, par l'intermédiaire d'un dispositif d'adaptation d'impédance et d'une boucle.

3.3 *Générateur de pompage.*

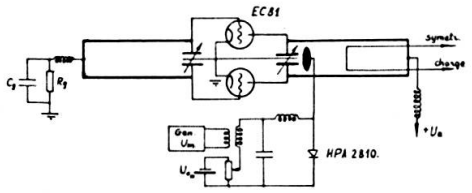
Son circuit est représenté sur la figure 4. Deux tubes EC 81 travaillent en auto-oscillateur push-pull avec des lignes symétriques bifilaires et des condensateurs papillons réglables dans les grilles et les anodes. Pour éliminer tout ronflement, ces tubes sont chauffés en continu et la tension plaque est très soigneusement filtrée (à 10^{-5} près). La puissance de sortie est envoyée sur la charge (l'amplificateur) au moyen d'une boucle couplée au circuit anodique. Un circuit à pistons symétrise la charge. La puissance disponible est de l'ordre du watt.

3.4 *Caractéristiques de l'ensemble.*

Cet ensemble amplificateur donne de façon stable, un gain en puissance jusqu'à 40 db. La mesure du gain était effectuée en comparant les positions de l'atténuateur du générateur (P_2 et P_1) avant la mise en marche de la pompe et après, qui correspondent au même niveau de signal à la sortie de l'ensemble. La formule pour le gain en db est:

$$g = (P_2/P_1)_{db} - \alpha_{db}$$

où α db est l'atténuation de signal pendant le passage par la cavité. La puissance de pompage exigée ne dépasse pas 100 mW.



Le facteur de bruit n'a pas encore été mesuré avec précision, l'outillage nécessaire étant en cours de mise au point; il sera publié ultérieurement.

3. Utilisation comme spectrographe de la résonance quadrupolaire.

Nous avons cherché à mettre en évidence directement dans une expérience globale, le bon rapport signal sur bruit de l'amplificateur paramétrique. Pour cela nous avons employé le dispositif décrit au paragraphe précédent comme amplificateur HF des signaux de la résonance magnétique.

Nous nous sommes tournés d'abord vers la résonance quadrupolaire dont les fréquences tombent pour les corps comme le brome par exemple, dans la bande des fréquences intéressantes ici. Ce choix a l'avantage de nous libérer des servitudes du champ magnétique statique.

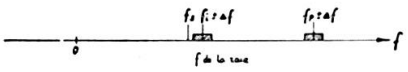
Nous avons ainsi obtenu un spectrographe satisfaisant dont la partie essentielle est la cavité qui joue un triple rôle:

1. elle contient l'échantillon placé dans une région de champ magnétique haute fréquence maximum,
2. elle constitue le circuit signal,
3. elle constitue aussi le circuit complémentaire de l'amplificateur paramétrique.

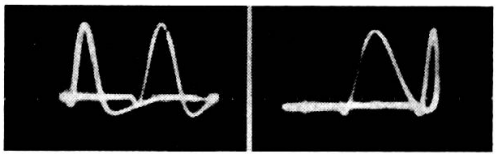
Afin de pouvoir observer la résonance quadrupolaire commodément sur un oscillographe, à la manière classique, nous avons modulé en BF (à 50 Hz) la fréquence de pompage. Comme la fréquence du signal reste fixe, la fréquence complémentaire f_i devient égale à:

$$f_i = f_p - f_s + \Delta f \sin \omega_m t$$

où Δf = déviation de fréquence du générateur de pompage,
$\omega_m = 2\pi f_m$ = pulsation de la tension de modulateur



La figure 5 nous montre comment étaient choisies ces fréquences. Le schéma du modulateur du générateur de pompage est donné sur la figure 4. On profite de la faible puissance nécessaire pour changer la fréquence de résonance du circuit anodique du générateur en faisant varier la capacité de la diode HPA 2810 couplée par une sonde capacitive avec le circuit. On peut varier ainsi la déviation en fréquence du générateur, en changeant ou le couplage, ou la tension de modulation U_m.



Au moment du passage par la fréquence de résonance de l'échantillon, l'absorption de l'énergie par celui-ci peut être représenté par une conductance équivalente, qui s'ajoute au G_i. La conductance négative G (formule 3) diminue et le gain de l'amplificateur aussi. La raie d'absorption se traduit ainsi par une diminution de la tension de sortie de l'amplificateur.

Les figures (fig. 6) donnent les raies de la résonance magnétique quadrupolaire du paradibromobenzène (226 MHz), obtenues au moyen de ce spectrographe en balayage sinusoïdal. La comparaison de ces photographies

avec les résultats obtenus par d'autres auteurs à l'aide de spectrographes classiques, montre que le rapport signal sur bruit, obtenu dans cet appareil paramétrique de réalisation sommaire, est au moins égal à celui des spectrographes à lampes. Nous espérons améliorer notablement cette première ébauche, en réalisant rigoureusement les conditions de phase nécessaires à l'obtention d'un véritable amplificateur paramétrique dégénéré.

RÉFÉRENCES

1. Heffner, H. et G. Wade, Gain, Band width and Noise Characteristics of a variable parameter amplifier, *J. appl. Phys.*, vol. 29, n° 9, 1321/1331 (1958).
2. Rose, H. E., Some general properties of non-linear elements, II Small signal theory, *PIRE*, vol. 46, n° 5 850/860 (1958).
3. Bloom, S. et K. Chang, Theory of parametric amplification using non linear reactances, *R. C. A. Rev.*, vol. 18 578/593 (1957).

DISCUSSION

M. Gabillard. — 1° Où placez-vous votre échantillon ? — 2° La cavité présente un court circuit pour la fréquence Fe; où se trouve le circuit accordé sur Fe que vous avez fait figurer dans le schéma de principe ?

M. A. Jelenski. — 1. L'échantillon est placé au fond de la cavité, à l'endroit où le champ magnétique est le plus fort. — 2. Le circuit accordé sur la fréquence de pompage f_p est constitué par l'adapateur à deux pistons et le circuit de sortie de générateur de pompage.