

OPTIMALISATION DU FILTRAGE ELECTRONIQUE INVERSE EN MICROCALORIMETRIE A CONDUCTION

J.P. DUBES et H. TACHOIRE

Laboratoire de Thermochimie, Université de Provence, 13331 Marseille Cedex 3 (France)

(Reçu le 15 mai 1981)

ABSTRACT

In this paper, the recent development of an electronic inverse filtering system for conduction calorimetry is described: by connecting a second order low-pass filter to the compensating networks, one obtains a better signal without affecting the efficiency of the inverse filter. We report here the optimal conditions for the use of the electronic inverse filtering.

RESUME

Les auteurs décrivent les récents développements d'un dispositif de filtrage électronique inverse destiné à réduire l'inertie instrumentale en calorimétrie à conduction.

En reliant un filtre passe-bas du second ordre au circuit correcteur, ils améliorent la qualité du signal sans diminuer l'efficacité du filtre inverse.

INTRODUCTION

Les calorimètres à conduction sont des instruments très sensibles, stables pendant de longues périodes de temps, particulièrement adaptés, a priori, aux études d'ordre cinétique puisque ce sont des fluxmètres thermiques. L'inertie de ces appareils, parfois considérable, constitue un handicap qui restreint souvent leur emploi à des mesures intégrales de chaleurs de réaction. Plusieurs techniques de déconvolution de la réponse instrumentale ont été proposées, techniques numériques comme l'analyse harmonique [1], la méthode d'optimalisation [2], la méthode des variables d'état [3], le filtrage numérique inverse [4], techniques physiques comme le filtrage électrique ou électronique inverse [5].

Nous avons décrit par ailleurs [5] un dispositif de filtrage électronique inverse qui permet de restituer, de façon simple et dans de bonnes conditions, la thermogenèse d'un phénomène. Nous avons montré également que, dans certaines conditions, cette technique de filtrage conduit à des résultats de qualité semblable à celle que fournit le filtrage numérique inverse, cela quelle que soit l'emplacement de la source de la thermogenèse à l'intérieur de la cellule calorimétrique [6]. Nous nous proposons de préciser ici les conditions optimales d'utilisation du filtrage électronique.

UTILISATION DE CIRCUITS PASSE-BAS

L'étude déjà rappelée [5] montre que, pour obtenir à la sortie du filtre inverse un signal affecté d'un bruit d'amplitude acceptable, on est amené à utiliser des circuits intégrateurs dont les constantes de temps peuvent atteindre plusieurs secondes ou même plusieurs dizaines de secondes (c'est-à-dire une fraction non négligeable de la constante de temps à "corriger").

Au delà d'une certaine limite, la présence de ces circuits entraîne une chute notable de l'efficacité du filtre inverse (Fig. 1). Ces circuits intégrateurs sont en effet des systèmes passe-bas du premier ordre: leur courbe de gain présente, au delà de la fréquence de coupure qui correspond à un affaiblissement de 6 dB, une pente de 6 dB par octave. Pour pallier cet inconvénient, on peut employer des circuits intégrateurs de très faible constante de temps (de l'ordre de la seconde) mais relier en chaîne au filtre inverse un filtre passe-bas du second ou quatrième ordre par exemple. La pente de la courbe de gain d'un tel filtre est très forte: elle est égale à 12 dB par octave pour un filtre du deuxième ordre [7].

Pour illustrer cette nouvelle approche et montrer son intérêt, nous avons associé un filtre à front raide du second ordre à un filtre inverse à deux circuits correcteurs. La Fig. 2 représente le filtre à front raide réalisé. Dans le domaine de Laplace, sa fonction de transfert est de la forme

$$\frac{1}{\left(1 + 2\xi \frac{p}{\omega_n} + \frac{p^2}{\omega_n^2}\right)}$$

ξ représente le coefficient d'amortissement égal à $\sqrt{C_2/C_1}$ et ω_n est la pulsation propre du système non amorti $1/R\sqrt{C_1C_2}$ [7]. On choisit les capacités C_1 et C_2 de façon que le rapport C_2/C_1 soit égal à 0,5. Dans ces conditions, ξ est égal à 0.707 et la courbe représentant le gain A en fonction de la fréquence ν ne présente pas d'oscillation.

La relation suivante lie, par définition, les deux grandeurs précédentes, ξ et ω_n , à la fréquence de coupure

$$\nu_c \left(= \frac{\omega_c}{2\pi} \right) [7]$$

$$\frac{1}{\left\{ \left(1 - \frac{\omega_c^2}{\omega_n^2}\right) + (2\xi\omega_c/\omega_n)^2 \right\}^{1/2}} = 0,5$$

A l'aide de cette expression, il est possible de déterminer les caractéristiques du filtre dès que l'on s'est fixé sa fréquence de coupure correspondant à un affaiblissement de 6 dB. Au delà de cette fréquence limite, la courbe de gain du filtre est parallèle à celle du système du second ordre auquel on a assimilé le calorimètre (pente égale à 12 dB par octave).

Les graphes représentés par la Fig. 3 montrent que la présence du filtre passe-bas

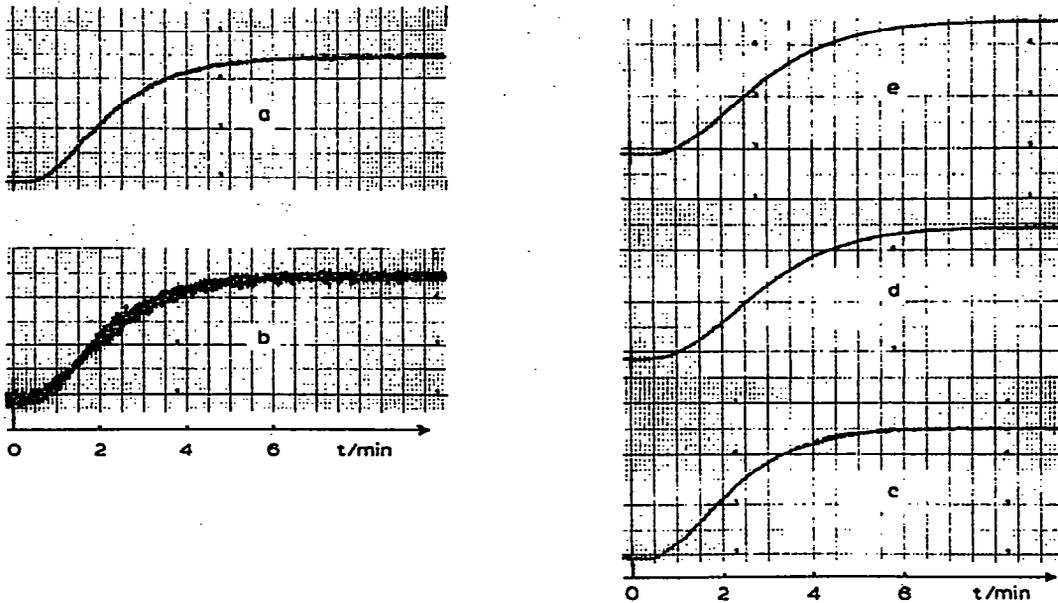


Fig. 1. Application du filtrage électronique inverse. Influence de la constante de temps τ_1' du circuit intégrateur associé à l'étage correcteur éliminant le pôle τ_1 . Dans le cas particulier étudié, on a $\tau = 484$ s. $\tau_1' =$ (a) 0,39 s: (b) 1 s: (c) 6,8 s: (d) 10 s: (e) 47 s.

à la suite du filtre inverse à deux circuits correcteurs n'affaiblit pas la réponse de l'ensemble constitué par le calorimètre et le filtre inverse (dans le domaine de fréquence où cet ensemble n'affaiblit pas lui-même le signal).

La Fig. 4 illustre l'intérêt d'un filtre passe-bas du second ordre dans deux cas particuliers: la première configuration utilisée correspond à une fréquence de coupure de 0,025 Hz (pour un affaiblissement de 6 dB), la seconde à une fréquence de coupure de 0,1 Hz. Dans le second cas, le filtre à front raide laisse passer, sans les affaiblir, des bruits qu'il atténue très fortement dans le premier.

La Fig. 4(a) montre le signal obtenu à la sortie d'un filtre inverse comprenant deux étages correcteurs de constantes de temps 410 et 98 s: les constantes de temps

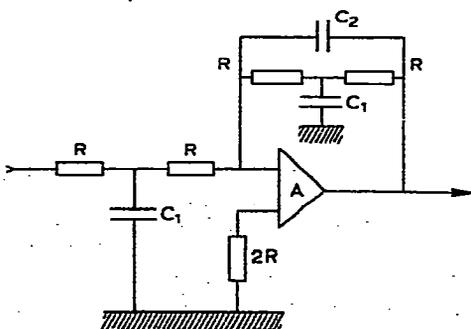


Fig. 2. Schéma de principe d'un filtre passe-bas du second ordre (fréquence de coupure égale à 0,025 Hz pour $R = 8,2$ M Ω et $C_1 = 0,68$ μ F. $C_2 = 2C_1$).

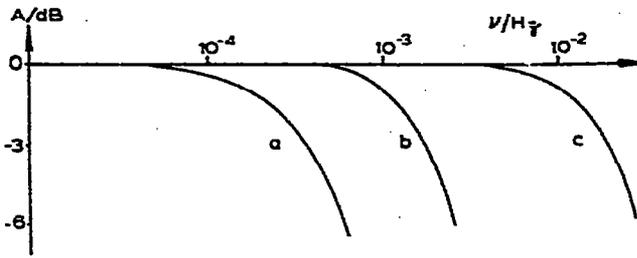


Fig. 3. Influence de la fréquence ν sur l'affaiblissement du signal obtenu à la sortie (a) du calorimètre utilisé (constantes de temps $\tau_1 = 410$ s, $\tau_2 = 98$ s); (b) de l'ensemble calorimètre-filtre inverse à deux étages (constantes de temps des circuits d'intégration égales à 3 s et 1 s); (c) d'un filtre passe-bas dont la fréquence de coupure est égale à 0,025 Hz (pour $A = -6$ dB).

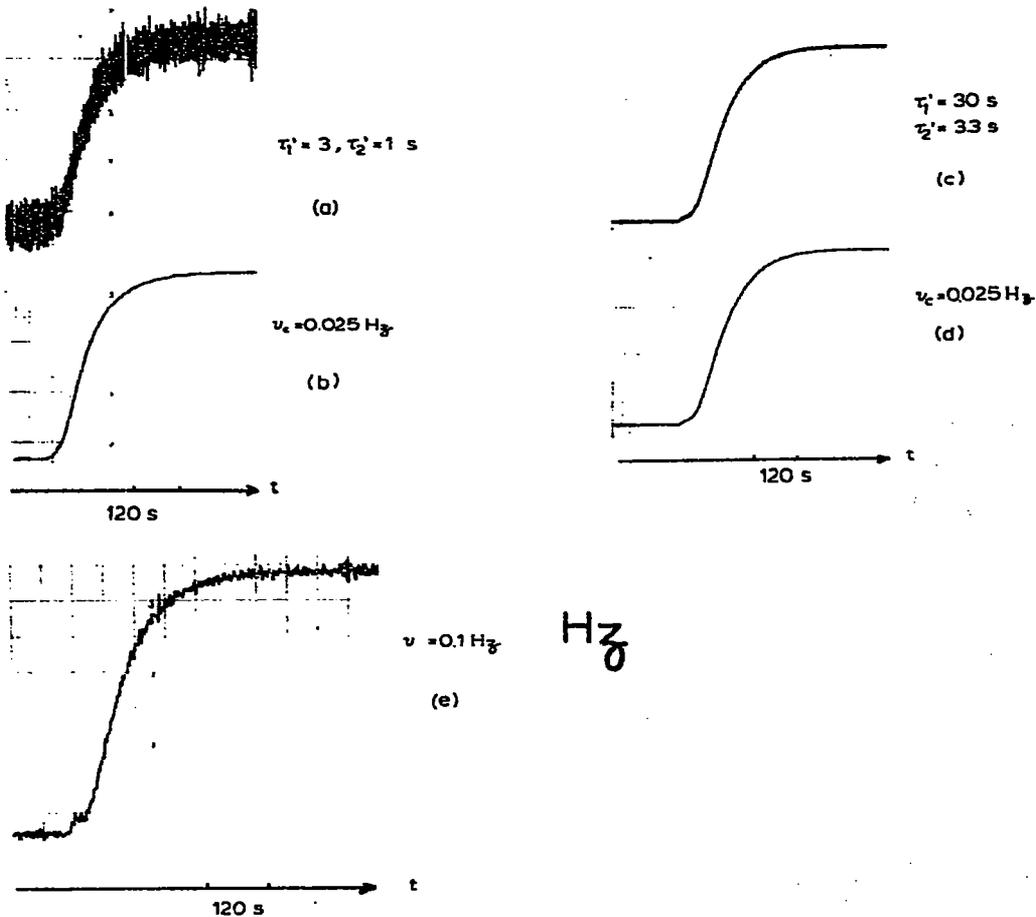


Fig. 4. Utilisation d'un filtre passe-bas du second ordre. Thermogramme obtenu à la sortie de l'ensemble constitué par le calorimètre étudié ($\tau_1 = 410$ s, $\tau_2 = 98$ s) et (a) un filtre inverse à deux étages (constantes de temps des circuits d'intégration égales à 3 s et 1 s); (b) le filtre inverse à deux étages précédé et un filtre passe-bas du second ordre (fréquence de coupure égale à 0,025 Hz); (c) un filtre inverse à deux étages (constantes de temps des circuits d'intégration égales à 30 s et 3,3 s); (d) le filtre inverse à deux étages précédé et un filtre passe-bas du second ordre (fréquence de coupure égale à 0,025 Hz); (e) le filtre inverse décrit en fig. (2) est un filtre passe-bas du second ordre dont la fréquence de coupure est égale à 0,1 Hz.

des deux circuits intégrateurs sont respectivement égales à 3 s et 1 s. En reliant en chaîne ce dispositif à un filtre passe-bas dont la fréquence de coupure est égale à 0,025 Hz, on obtient une réponse de meilleure qualité sans que l'efficacité du filtre inverse soit pratiquement affectée Fig. 4(b).

Pour obtenir, sans ce filtre passe-bas, une réponse de même qualité, c'est-à-dire caractérisée par le même rapport signal/bruit, il faut faire passer respectivement à 30 s et à 3,3 s les constantes de temps des circuits intégrateurs associés aux deux étages du filtre inverse [Fig. 4(c)]. On voit que l'efficacité de ce filtre est très diminuée: le temps de demi-déviation est augmenté de plus de 25%.

Si le filtre passe-bas précédemment décrit est alors relié à ce filtre inverse, le rapport signal/bruit est amélioré sans que soit encore affectée l'efficacité du filtre inverse [Fig. 4(d)]. La Fig. 4(e) montre que, si l'on substitue au filtre passe-bas précédent un filtre dont la fréquence de coupure est supérieure, le signal obtenu est affecté d'un "bruit" d'amplitude supérieure.

CONCLUSION

L'association d'un système passe-bas (du second ordre par exemple) à un filtre électronique inverse permet, en calorimétrie à conduction, d'éliminer des bruits et des parasites d'origine électrique sans que soit affectée l'efficacité intrinsèque du dispositif de filtrage. D'une réalisation simple, elle permet d'utiliser de façon complète la capacité de déconvolution du filtrage électronique inverse.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 J. Navarro, E. Rojas et V. Torra, *An. Fis.*, 68 (1973) 263. J. Navarro, E. Rojas et V. Torra, *Rev. Gen. Therm.*, 143 (1973) 1137. J. Navarro et V. Torra, *Actes 2ème Conf. Calor. Anal. Therm.*, Zakopane, Pologne, 1976.
- 2 J. Guenbaum, E. Utzig, J. Wisniewski et W. Zielenkiewicz, *Actes 4ème Conf. Int. Thermodyn. Chim. (IUPAC)*, Montpellier, 1975. R. Romanetti et C. Zahra, *Thermochim. Acta*, 12 (1975) 343. E. Utzig, Thèse ICF-PAN, Varsovie, 1976.
- 3 C. Brie, Thèse, Lyon, 1969. C. Brie, J.L. Petit et P.C. Gravelle, *C.R. Acad. Sci.*, 273 (1971) 1. C. Brie, J.L. Petit et P.C. Gravelle, *J. Chim. Phys.*, 70 (1973) 1107, 1115 et 1122.
- 4 R. Point, Thèse docteur-ingénieur, Lyon, 1978. E. Cesari, V. Torra, J.L. Macqueron, R. Prost, J.P. Dubes et H. Tachoire, *Thermochim. Acta*, sous presse.
- 5 J.P. Dubes, M. Barres et H. Tachoire, *C.R. Acad. Sci.*, 283 (1976) 163. J.P. Dubes, M. Barres et H. Tachoire, *Thermochim. Acta*, 19 (1977) 101. J.P. Dubes, M. Barres, E. Boitard et H. Tachoire, *Thermochim. Acta*, 39 (1980) 63.
- 6 E. Cesari, V. Torra, J.L. Macqueron, R. Prost, J. P. Dubes et H. Tachoire, *Thermochim. Acta*, sous presse.
- 7 J.Ch. Gille, P. Decaulne et M. Pelegrin, *Dynamique de la Commande Linéaire*, Dunod, Paris, 5ème éd., 1973.