Journal of Power Sources, 21 (1987) 113 - 117

REDUCTION DE MODELE POUR UN CAPTEUR SOLAIRE A CONCENTRATION

J. H. BALBI*, N. BALBI et P. ORENGA
Laboratoire d'Hélioénergétique, Université de Corse, Vignola, Route des Sanguinaires, 20000 Ajaccio (France)
(Reçu le 17 juillet 1986; en forme révisée le 2 février 1987)

Résumé

Le problème traité concerne un capteur solaire à concentration, déjà étudié par un autre auteur. On dispose d'un modèle de connaissance obtenu par intégration numérique d'équations locales. A partir de celui-ci, par analyse spectrale d'essais dynamiques simulés, on construit un modèle de commande. On aboutit à un modèle réduit sous la forme d'une seule équation différentielles du deuxième ordre et qui représente remarquablement les évolutions thermiques du capteur.

Summary

This paper describes the behaviour of a solar concentrator, already studied elsewhere. We have used a numerical model, obtained by integration of local equations, to construct a control model, using spectral analysis of simulated dynamic experiments. We have obtained a simplified model given by a unique second order differential equation, which predicts the thermal behaviour of the concentrator in good agreement with practice.

1. Modèle de connaissance–modèle de commande

La démarche dominante pour la modélisation de systèmes physiques consiste à partir des équations locales traduisant le phénomène et de les intégrer numériquement sur le domaine de la structure; on obtient ainsi un modèle de connaissance, c'est-à-dire qui traduit complètement la connaissance physique que l'on a du système. Son succès est du au développement conjoint de la puissance des moyens de calculs et de l'efficacité des algorithmes numériques (différences finies ou éléments finis) qui lui confèrent de nombreuses qualités: possibilité de construire le modèle à partir

*L'auteur pour correspondance.

0378-7753/87/$3.50

d'un plan, possibilité de modifier à volonté les paramètres, simulation immédiate des réponses aux différentes sollicitations.

Néanmoins, cette approche à des limites:

–Elle est tout d'abord onéreuse et ne se justifie donc que pour les systèmes économiquement importants.

–La possibilité de construire le modèle à partir d'un plan n'est que théorique; en réalité un recalage du modèle est presque toujours nécessaire: il faut disposer du système construit afin de parfaire l'adéquation théorique-expérimentale en ajustant certains paramètres.

–Le modèle étant relativement lourd, il ne peut être utilisé en temps réel pour un processus de commande.

C'est pour ces raisons que nous proposons de construire un modèle simple qui puisse fournir la réponse du système en un temps très court: c'est le modèle de commande. Il peut être obtenu indifféremment soit:

–à partir d'essais dynamiques sur le système,

–à partir de la simulation de ces essais sur un modèle de connaissance.

Nous avons utilisé la première possibilité pour une Centrale Solaire [1]. Dans le présent travail nous utilisons la deuxième possibilité.

Description de la méthode

Beaucoup de systèmes passifs ont un comportement linéaire dans leur plage normale de fonctionnement. Ils sont donc représentables par un opérateur linéaire qui possède un spectre infini de valeurs propres et une base modale associée. Cependant, seule un faible partie de ce spectre est réellement utile. L'objectif de notre approche est de fournir le spectre et la base les plus réduits possible permettant de représenter correctement le système. A partir de ceux-ci la réponse à une sollicitation extérieure est fournie par la résolvante de Green. Pour obtenir les éléments propres réduits nous procédons à des essais dynamiques (réels ou simulés) convenablement choisis. Parallèlement à ce dépouillement spectral on utilise au mieux la connaissance physique du système (bilans globaux).

II. Réduction de modèle

Le capteur THEK

Il est constitué d'une surface réfléchissante, approchant un paraboloïde de révolution dont l'axe est constamment pointé en direction du soleil, qui focalise donc tous les rayons en son foyer où est placée une chaudière qui transforme l'énergie solaire en énergie thermique évacuée par un caloporteur.

Le modèle de connaissance

Il est élaboré par J. Suzzoni [2]. Du fait de la structure tubulaire de la chaudière (tube enroulé en spirale) il est suffisant de considérer une seule variable d'espace: l'abscisse curviligne. Le modèle se présente sous la forme de deux équations aux dérivés partielles par rapport au temps et à l'abscisse, portant sur la température du fluide et celle du métal. Il nécessite la connaissance du flux incident en tout point de la chaudière. La solution est donnée par discrétisation des variables (différences finies). De nombreux tests prouvent son adéquation à la réalité.

Les essais dynamiques

Les structures thermiques en général et celle-ci en particulier, sont caractérisées par des valeurs propres réelles négatives; une façon simple et efficace de la mettre en évidence est de réaliser un échelon d'excitation. Il s'agit ensuite de les identifier à celles d'un opérateur différentiel linéaire de rang fini portant sur la variable d'état principale: la température de sortie du fluide caloporteur. On est ainsi conduit à un modèle réduit de la forme

$$\sum_{n=1}^{N} a_n \frac{\mathrm{d}^n T}{\mathrm{d}t^n} = a\phi(t)$$

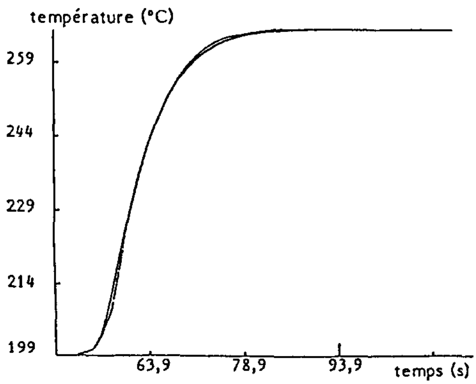
où $\phi(t)$ est le flux solaire, a_n et a des coefficients caractérisant l'opérateur à déterminer expérimentalement.

La réponse de ce modèle à un créneau est

$$T = T_\infty + \sum_{i=i}^{N} c_i \exp(-\alpha_i t)$$

où T_∞ est la température de sortie du fluide en régime stationnaire, lorsque le flux solaire est nul, $(-\alpha_i)$ les valeurs propres de l'opérateur différentiel. Par conséquent, il faut identifier les courbes de l'essai dynamique (simulé à partir du modèle de connaissance) à une somme d'exponentielles en nombre le plus réduit possible.

C'est ce qui a été fait, pour différentes valeurs des paramètres principaux: débit q et température d'entrée T_e du fluide caloporteur. Les Figures 1 et 2 représentent l'approximation de réponses à des échelons de flux par une



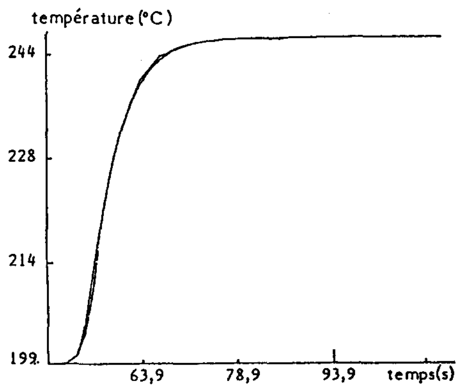


Fig. 1. Réponse du capteur à un échelon de flux solaire; débit q = 800 l/h.

Fig. 2. Réponse du capteur à un échelon de flux solaire; débit q = 1200 l/h.

TABLEAU 1

Evolution des valeurs propres en fonction du débit et de la température d'entrée du fluide caloporteur

	Expérience				
	1	2	3	4	5
Débit (l/h)	400	800	1200	945	800
T entrée (°C)	200	200	200	172	250
α_1 (s^{-1})	0,128	0,214	0,247	0,154	0,235
α_2 (s^{-1})	0,217	0,275	0,470	0,262	0,299

somme de deux exponentielles. Il apparaît donc que le capteur est très correctement représenté par le modèle réduit suivant

$$\frac{d^2T}{dt^2} + (\alpha_1 + \alpha_2)\frac{dT}{dt} + \alpha_1\alpha_2(T - T_\infty) = a\phi(t)$$

où $1/\alpha_1$ et $1/\alpha_2$ sont les constantes de temps du système (temps de réponse caractéristiques en régime dynamique). En régime stationnaire

$$a = \frac{\alpha_1\alpha_2(T - T_\infty)}{\phi(t)}$$

a peut-être donc interprété comme le gain du système. Les différentes simulations réalisées (Tableau 1) permettent de relier ces grandeurs aux paramètres q et T_e par des lois linéaires (dans le domaine d'utilisation considérée).

Résultats et conclusions

Nous avons testé l'efficacité de ce nouveau modèle, lors d'une journée nuageuse où le flux solaire variait fortement et aléatoirement. Sur la Fig. 4

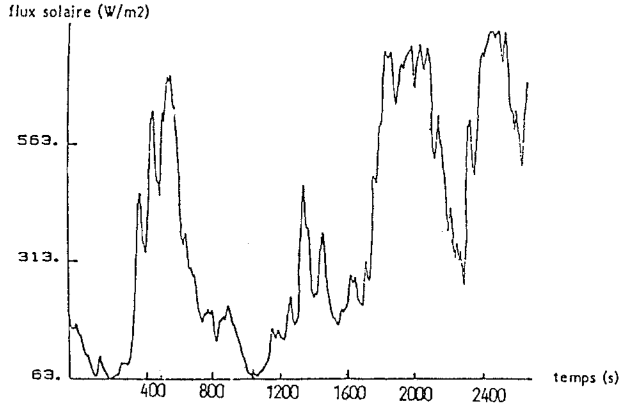


Fig. 3. Enregistrement des variations d'ensoleillement.

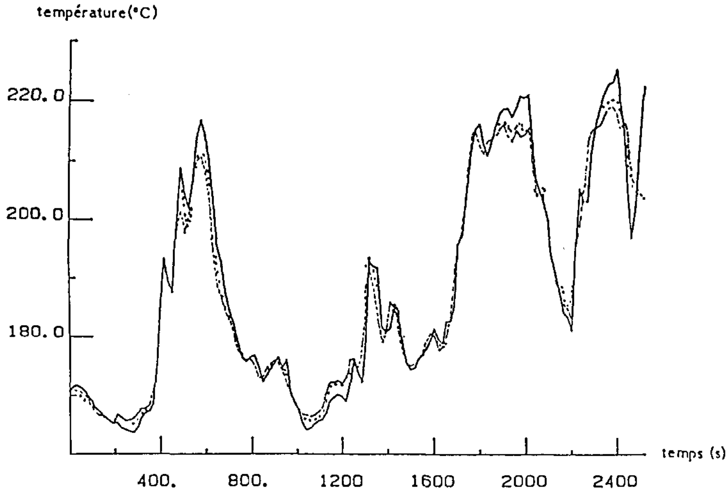


Fig. 4. Réponses du capteur: ——, expérimentale; — — —, modèle réduit; ·······, modéle de connaissance.

sont représentées: la réponse expérimentale, la réponse calculée par le modèle de connaissance et celle de notre modèle réduit, à une variation d'ensoleillement représentée Fig. 3.

On constate une remarquable concordance de ces trois réponses. Ainsi le modèle construit ici est très largement suffisant au point de vue précision mais par contre sa grande simplicité en fait un outil idéal pour la commande en temps réel.

Remerciements

Nous tenons à remercier J. Suzzoni et F. Papini dont le travail de thèse a servi de point de départ pour cet article.

Références

1 J. H. Balbi, N. Balbi, P. Orenga et G. Simonnot, Modélisation du champ de capteurs de la Centrale Solaire de Vignola, *Rev. Phys. Appl.*, *21* (1986) 169 - 180.
2 J. Suzzoni, Contribution à l'étude en régime dynamique des centrales solaires à capteurs distribués, *Thèse*, Université de Provence, Marseille, France, 1984.