Tạp chí Tin học và Điều khiển học T 12, S 2 (1996) (1 - 6)

ỨNG DỤNG HÀM NHẬY LOGA ĐÁNH GIÁ DỰ TRỮ ỔN ĐỊNH CÁC HỆ ĐIỀU KHIỂN MỘT VÒNG VỚI THÔNG SỐ BIẾN ĐỔI THEO THỜI GIAN

NGUYỄN VĂN CHÂU

This paper expresses a posibility for estimating the stability margin of the feed-back control system composing a plant with slowly time-varying parameters and a PI or PID controller. The motivation of this approach is the use of a logarithmical sensitivity defined in the time domain and permited to fulfill the real-time requirement.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong điều khiển tự động các quá trình công nghệ với các luật PI và PID, nhiều đối tượng có thông số động học biến đổi theo thời gian dẫn đến là thay đổi đáng kể chất lượng điều khiển, thậm chí có thể làm mất ổn định hệ. Tình hình đó thường gặp trong điều khiển các đối tượng công nghệ năng lượng làm việc ở chế độ phụ tải tĩnh. Khi có biến đổi phụ tải các thông số động học đối tượng biến đổi theo với phạm vi rất rộng (trong đó thường hệ số khuyếch đại có phạm vi thay đổi lớn nhất).

Phương trình động học của hệ điều khiển kín một vòng có thể diễn đạt dưới dạng hàm truyền

$$W_F(p) = [H^{(n)}(p)]^{-1} G^{(m)}(p) \tag{1.1}$$

n, m - bậc của phương trình hệ kín; $n \geq m$.

Ở dạng hở, hệ (1.1) có thể xem như tĩnh và tuyến tính. Tính tĩnh của hệ được xác định từ sự có mặt một nghiệm cực p_0 xuất phát từ gốc mặt phẳng nghiệm không phụ thuộc argument t.

Trong trường hợp thông số biến đổi theo thời gian, có thể diễn đạt hệ (1.1) dưới dạng

$$W_F(p,t) = [H^{(n)}(p,t)]^{-1} G^{(m)}(p,t). \tag{1.2}$$

Hệ (1.2) là một hệ phi tuyến không dừng.

Trong phạm vi bài này, trên cơ sở phương pháp hàm nhậy (sensitivity function) chúng tôi nghiên cứu ảnh hưởng biến đổi thông số đối với chất lượng điều khiển và chỉ ra một phương pháp đánh giá nhanh phẩm chất làm việc của hệ.

Đa số các hệ điều khiển các quá trình công nghệ sử dụng các luật điều khiển PI hoặc PID có sai số tĩnh về lý thuyết là bằng không và tác động nhanh của hệ lớn hơn tốc độ phản ứng của đối tượng. Đối với các hệ như thế với thông số biến đổi theo thời gian ta có nhận xét sau:

1. Sự đảm bảo dự trữ nhất định về ổn định hệ thống trở thành có ý nghiã hàng đầu trong việc đánh giá phẩm chất làm việc của hệ.

2. Cho phép chấp nhận giả thiết tuyến tính (khi không có khâu phi tuyến nối tiếp trong hệ kín ngoài ý nghĩa biến đổi thông số theo thời gian) và chấn động nhỏ thông số. Khi đó (1.2) có thể giải được gần đúng bằng cách diễn đạt như là một tập các hàm dừng trong argumen thời gian θ đối với các điểm tĩnh trong argumen thời gian đông lạnh thông số t (phương pháp đông lạnh thông số). Khi đó biến đổi Laplace tồn tại như một tập các biến đổi Laplace trong argumen t [1]. Ở đây chấp nhận kí hiệu $W(p,t)$ - hàm truyền thông số và $h(\theta,t)$ - đặc tính quá trình quá độ tương ứng với hệ nói trên. Giữa chúng có quan hệ

$$F(j\omega,t)=\int_0^t f(\theta,t)e^{-j\omega(t-\theta)}\,d\theta, \tag{1.3}$$

toán tử này mặc dù về mặt toán học là chưa chặt chẽ, nhưng cho phép đơn giản hoá việc khảo sát các hệ điều khiển làm việc ở chế độ không dừng. Tuy nhiên mức độ phức tạp và khối lượng tính toán xử lý lựa chọn quyết định điều khiển cũng khá lớn và khó thực thi trong chế độ thời gian thực. Nhưng nếu thực hiện được việc xác định nhanh xu thế thay đổi chất lượng hệ để lựa chọn các quyết định hiệu chỉnh điều khiển thì vấn đề tỏ ra sẽ đơn giản và có nhiều khả năng thực thi hơn.

II. ĐỘ NHẠY HỆ ĐIỀU KHIỂN KÍN MỘT VÒNG ĐỐI VỚI BIẾN ĐỔI THÔNG SỐ THEO THỜI GIAN, HÀM NHẠY LOGA HỆ TUYẾN TÍNH MỘT VÒNG

Gọi R_j thông số biến đổi. Khi đó (1.2) có dạng

$$W_F(p,R_j(t))=[H^{(n)}(p,t)]^{-1}G^{(m)}(p,t). \tag{2.1}$$

Thực hiện biến đổi Laplace, khai triển Heaviside và sau đó thực hiện một vài biến đổi toán học, ở điểm thời gian đông lạnh $t=t_0^*$ ta có

$$h(\theta,t)=h(\theta,R_j(t))|_{t=t_0^*}+\sum_{j=1}^{n}\frac{\partial h(\theta,R_j(t))}{\partial R_j(t)}\frac{\partial R_j(t)}{\partial t}\Delta t, \tag{2.2}$$

trong đó

$$s_j(\theta,t) = \frac{\partial h(\theta, R_j(t))}{\partial R_j(t)} \tag{2.3}$$

là độ nhạy thành phần tương ứng với thông số $R_j(t)$; nhân tử $\partial R_j(t)/\partial t$ - chỉ luật biến đổi thông số $R_j(t)$.

Bây giờ chúng ta sẽ khảo sát ảnh hưởng của biến đổi hệ số khuyếch đại của các phần tử hệ hở đối với quá trình quá độ hệ kín. Viết lại phương trình hệ kín dưới dạng

$$G(p,t) + K(t)h(p,t) = 0. \tag{2.4}$$

Đa thức đặc tính khi đó

$$G(p,t) + K(t)h(p,t) = K(t)H(p,t) = k(t)\Pi_{i=1}^{n}(p - p_i(t)), \tag{2.5}$$

ở đây $K(t)$ - hệ số khuyếch đại hở biến đổi theo thời gian.

Lấy loga phương trình (2.5), sau đó đạo hàm theo $K(t)$ ta nhận được

$$\frac{h(p,t)}{G(p,t)+K(t)h(p,t)} = \frac{h(p,t)}{K(t)H(p,t)} = \frac{1}{K(t)}\sum_{i=1}^{n}[\frac{1}{p-p_i(t)}]\frac{\partial p_i(t)}{\partial K(t)}. \tag{2.6}$$

Khai triển Lorentz vế trái (2.6) tại lân cận $p = p_i(t)$, ta được

$$[\frac{h(p,t)}{K(t)H(p,t)}]_{p=p_i} = \frac{[1/K(t)]h(p_i(t),t)}{H'(p_i(t),t)[p-p_i(t)]} \tag{2.7}$$

ở đây

$$H'(p_i(t),t) = \Pi_{r=1\neq i}^{n}[p_i(t) - p_r(t)].$$

Khi đó (2.6) có dạng

$$\frac{1}{(p-p_i(t))}\frac{[1/K(t)]h(p_i(t),t)}{H'(p_i(t),t)[p-p_i(t)]} = [1/K(t)] - \sum_{i=1}^{n}\frac{1}{p-p_i(t)}\frac{\partial P_i(t)}{\partial K(t)}. \tag{2.8}$$

Theo định nghiã thặng dư hàm đối với $p(t)$

$$Res[\frac{1}{p-p_i(t)}\frac{[1/K(t)]h(p_i(t),t)}{H'(p_i(t),t)[p-p_i(t)}]_{p=p_i(t)} = Res[1/K(t) - \sum_{i=1}^{n}\frac{1}{p-p_i(t)}\frac{\partial P_i(t)}{\partial K(t)}]_{p=p_i(t)}. \tag{2.9}$$

Từ (2.9), tính đến (2.4) ta có

$$\frac{\partial p_i(t)}{\partial K(t)/K(t)} = \frac{[1/K(t)]G(p_i(t),t)}{\Pi_{r=1\neq i}^{n}[p_i(t),t) - p_r(t)]} = S_k^{p_i}, \tag{2.10}$$

(2.2) và (2.10) là không giải được vì luật biến đổi $R_j(t)$ và $K(t)$ là không kiểm soát được. Tuy nhiên cũng cho ta nhận xét quan trọng: Bản thân mỗi hệ (ở đây ta xét hệ tuyến tính theo nghiã ở trên) có xu thế nhất định về phản ứng tổng thể của chính nó đối với biến đổi của mỗi thông số. Tuy nhiên điều đó chỉ có ý nghiã khi định lượng được. Dưới đây ta sẽ xét khả năng đó.

Theo Bode H.W. [2], ở đây có thể diễn đạt hàm nhậy loga của hệ kín tuyến tính có thông số biến đổi theo thời gian dưới dạng

$$S_{ln}(p,t) = \frac{dln\ W_F(p,t)}{dln\ W_0(p,t)} = \frac{d\ W_F(p,t)}{d\ W_0(p,t)}\frac{W_0(p,t)}{W_F(p,t)} = \frac{1}{1+W_r(p,t)W_0(p,t)} = [H(p,t)]^{-1} \quad (2.11)$$

ở đây $W_F(p,t)$, $W_r(p,t)$, $W_0(p,t)$ - các hàm truyền thông số tương ứng của hệ kín, regulator và của đối tượng điều khiển.

Nghiã là

$$S_{ln}(p,t) = E(p,t). \quad (2.12)$$

$E(p,t)$ - hàm truyền thông số của hệ kín theo kênh sai số điều khiển.

Khai triển Heaviside (2.11) ta có

$$S_{ln}(\theta,t) = L^{-1}\{[H^{(n)}(p,t)]^{-1}\}_{t=t_0} + \sum_{k=1}^{n}[1/p_k][H^{(n)\prime}(p,t)]^{-1}exp\ p(t)\theta \quad (2.13)$$

ở đây

$$H^{(n)\prime}(p_k,t) = \frac{d}{dt}H^{(n)}(p_k,t) = \Pi_{i=1\neq k}^{n}[p_k(t) - p_i(t)]. \quad (2.14)$$

Ở (2.13) thành phần thứ hai chỉ ảnh hưởng của biến đổi thông số dẫn đến sự phân bố lại các nghiệm cực của hệ, ảnh hưởng đó có thể xác định được trên các tần số tương ứng.

Giả thiết rằng hệ có một đôi nghiệm phức trội $p_{d1,2}$ (dominant complex root) như vẫn thường gặp ở hầu hết các hệ điểu khiển kín một vòng với các luật điều khiển PI hoặc PID. Khi đó ta có

$$Sln(p_{d1,2}) = [G(p_{d1,2})]^{-1} = [1 + W_{op}(p_{d1,2})]^{-1}. \quad (2.15)$$

ở đây $W_{op}(p) = W_r(p)W_o(p)$ - hàm truyền hệ hở.

III. ỨNG DỤNG

Từ (2.1) ta viết

$$S = \frac{|S_{ln}(j\omega)|}{S_{ln}(\infty)}. \quad (3.1)$$

Chú ý rằng, đối với các hệ tĩnh ta luôn có

$$S_{ln}(\infty) = 1. \quad (3.2)$$

Do đó

$$S = |S_{ln}(j\omega)| \leq 1. \tag{3.3}$$

Như vậy ở đây S đóng vai trò như chỉ số độ nhạy của loga của hệ kín tuyến tính một vòng. Kí hiệu

$$W_{op}(j\omega) = a(\omega) + jb(\omega). \tag{3.4}$$

Thay (3.4) vào (3.3), sau đó lấy bình phương hai vế ta nhận được họ đường tròn đồng tâm có bán kính $R = 1/S$ và tâm ở toạ độ$(-1, j0)$

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{|S_{ln}^2(\omega)|} = [a(\omega)+1]^2 + b^2(\omega) = R^2(\omega). \tag{3.5}$$

Trên mặt phẳng biên độ pha của hệ hở, S có trị số bằng 0 khi đường tròn đi qua gốc toạ độ và $S = \infty$ ở điểm $(-1, j0)$. Theo [9], giao điểm của quỹ đạo $W_{op}(j\omega_r)$ với đường tròn tâm $(-1, j0)$ trên mặt phẳng biên độ pha xác định dự trữ biên độ c_{inf} và dự trữ pha γ_{inf}:

$$\begin{aligned} c_{inf} &= R = 1/s \\ \gamma_{inf} &= 2\text{arcsin } (r/2) = 2 \text{ arcsin } (1/2s). \end{aligned} \tag{3.6}$$

ω_r - tần số cộng hưởng được xác định từ

$$\frac{dA(\omega)}{d\omega} = 0. \tag{3.7}$$

$A(\omega)$ - đặc tính biên độ tần số của hệ hở.

Thường trong các hệ điều khiển các quá trình công nghệ với luật PI hoặc PID người ta chọn hợp lý nhất là $c_{inf} = 0,617$ và $\gamma_{inf} = 36^0$, tương ứng ta có $S_r = 1,62$. Như vậy khi $S > S_r$, hệ có xu hướng tiến về phía giảm dự trữ ổn định.

Viết lại (3.3) ở tần số cộng hưởng dưới dạng

$$|S_{ln}(j\omega_r)| = |P(\omega_r) + jQ(\omega_r)| \tag{3.8}$$

giữa S, P và Q có quan hệ:
$$S^2(\omega_r) = P^2(\omega_r) + Q^2(\omega_r), \tag{3.9}$$

$$P(\omega_r) = \int_0^\infty e(t)\cos\omega_r dt, \tag{3.10}$$

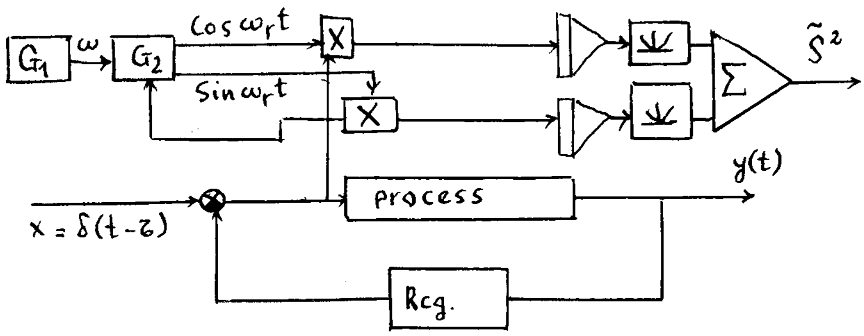
$$Q(\omega_r) = \int_0^\infty e(t)\sin\omega_r dt. \tag{3.11}$$

$e(t)$ đặc tính xung quá độ của hệ theo kênh sai số.

Thuật toán đánh giá chất lượng hệ được xác định như sau

$$(3.7) \to (3.10) \to (3.9) \to S \to (3.6). \tag{3.11}$$

Thuật toán (3.11) cũng sẽ không mấy khó khăn trong việc cứng hoá. Trên hình 1 giới thiệu sơ đồ nguyên lý thực hiện cứng hoá thuật toán (3.11).



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý xác định chỉ số S

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Xolodov A.V., Linhenyi systemi avtomatisheslovoupràvlenhie shoperemennymi para - metrami, M. 1962, (t. Nga).
2. Bode H.W., Network Analysis and Feedback Amplifier Design, Van Nostrand, Princeton, New Jersey, 1945.
3. Uderman E.G., Method kornevovo godografa vo theory avtomatisheskovo upravnenhie, M. 1963 (t. Nga).
4. Dorf R.C., Modern control systems, Addition - Weley Publ. Co. Inc. 1989.
5. Tomovich R., Vukabratovich M., Ovshaya theorya shouvstvitennosti, M. 1972 (t. Nga).
6. Nguyễn Văn Mạnh, *Một phương pháp tần số ứng ra của hệ tự động tuyến tính không dùng bảng hàm số,* Tin học và Điều khiển học, T.XI, N. 1, 1995.
7. Stephany E.F., Osnovy ractshov nastroiki regulatorov teploenergetisheckyd procrsshov, M. 1972 (t. Nga).
8. Ianushevski R.T., Upravlenhie ovektami sho zapazdyvanhiem, M. 1978 (t. Nga).
9. Rotas V.Ia., Theory avtomatisheckovo upravlenhie teploenergetisheckimi processami, M. 1985 (t. Nga).

Viện công nghệ thông tin

Nhận ngày 12, 11 1995