

Ứng dụng phương pháp tiệm cận hệ thống trong điều khiển quá trình công nghệ nhiệt điện

Nguyễn Văn Châu
Viện Tin Học
Viện Khoa Học Việt Nam.

1. Điều khiển quá trình công nghệ nhiệt điện

Quá trình công nghệ nhiệt điện (QTCNND) là một tổ hợp nhiều quá trình hóa lý kỹ thuật cơ sở (QTSC): hóa, nhiệt, cơ và điện với nhiều liên hệ phức tạp. Nó là đối tượng điều khiển liên tục, lớn và phức tạp. Đặc điểm cấu trúc điển hình của QTCNND là từng QTCS được thực hiện trên một thiết bị hoặc một nhóm thiết bị công nghệ nhất định (tuốc bin, máy phát) cũng như trên một thiết bị công nghệ chính có thể thực hiện đồng thời nhiều QTSC (thiết bị lò hơi, tuốc bin, đối áp). Các QTCS quan hệ với nhau bởi các liên hệ phức tạp về vật chất và thông qua biến đổi giữa các dạng năng lượng khác nhau (hóa, nhiệt, cơ, điện) mà tạo thành một công nghệ hoàn chỉnh sản xuất điện năng và nhiệt năng. Chất lượng sản phẩm cuối (điện và hơi nước) được đánh giá qua một số thông số có quan hệ đến toàn bộ QTCNND (điện áp trên đầu thanh góp và tần số dòng điện, áp suất và nhiệt độ hơi cấp nhiệt). Các đặc tính kinh tế được đánh giá qua một số thông số đặc trưng cho một vài nhóm các QTCS (quá trình buồng đốt, chân không bình ngưng) và nguyên, nhiên liệu (suất tiêu hao nhiên liệu để sản xuất 1 kw - giờ điện năng cung cấp cho lưới điện và cho một tấn hơi cấp cho lưới nhiệt, tỷ lệ chi phí năng lượng nhiệt và điện cho tự dùng).

Điều khiển QTCNND là lựa chọn chế độ công nghệ kinh tế nhất của toàn bộ quá trình cùng với việc ổn định các thông số kỹ thuật của các QTCS và chất lượng sản phẩm cuối trên cơ sở thoả mãn nhu cầu năng lượng của phụ tải ở mọi thời điểm trong thời gian vận hành máy. Chế độ công nghệ trong sản xuất năng lượng nhiệt điện đặc trưng bởi các chế độ phụ tải giữa các khối thiết bị công nghệ chủ yếu (phân bố phụ tải, các chế độ dự phòng sự cố và khởi động các khối lò máy) và bởi trạng thái của sơ đồ nhiệt (các thông số trích hơi gia nhiệt, hồi nhiệt, chân

không bình ngưng, đối áp của tuốc bin, đối áp cấp nhiệt, chế độ vận hành đường ống hơi chính). Trong điều kiện nhà máy nhiệt điện là bộ phận của lưới năng lượng thì nhu cầu ở đây được hiểu là nhu cầu năng lượng cung cấp cho lưới điện và nhiệt đến thanh góp và đường ống cung cấp. Đối với nhà máy nhiệt điện trên lưới nhu cầu còn phải được tính đến nhiệm vụ bù công suất phản kháng cho lưới điện do hệ thống giao cho.

Trong trường hợp nhà máy vận hành theo chế độ phụ tải cơ sở, nhiệm vụ ổn định các thông số kỹ thuật các QTCS và nhiệm vụ lựa chọn công nghệ tối ưu có một mức độ độc lập tương đối. Bởi vì lúc này phụ tải nhà máy là ổn định. Các QTCS chủ yếu làm việc ở chế độ phụ tải dừng. Trường hợp nhà máy vận hành ở chế độ phụ tải đỉnh (chế độ phụ tải không dừng, chế độ phụ tải điều chỉnh) cũng như trường hợp nhiên liệu có biến động lớn (chất lượng than, dầu phun vào buồng lửa) và đặc biệt là khi công suất đặt đơn vị tổ lò máy có tỉ trọng lớn trong công suất lưới (mặc dù công suất đặt đơn vị tuyệt đối của tổ lò máy có thể không lớn lắm) các chấn động của lưới (chấn động từ phụ tải hoặc từ nhà máy khác trên lưới) có ảnh hưởng tức thời và đáng kể đối với nhà máy thì việc điều khiển QTCNNĐ trở nên rất phức tạp. Nguyên nhân chủ yếu là do các QTCS khi đó làm việc ở chế độ không dừng. Chú ý rằng biến đổi đặc tính của các QTCS trong nhà máy nhiệt điện có tương quan mạnh đối với các biến động phụ tải (ví dụ khi thay đổi công suất lò hơi loại trung áp 30 thông số đặc tính động của đối tượng thay đổi đến 200 bộ điều chỉnh tự động làm nhiệm vụ ổn định các thông số kỹ thuật các QTCS nếu không được tổ chức làm việc ở chế độ thích hợp và nhiều liên hệ thì đều vượt giới hạn dự trữ ổn định cho phép. Điều đó gây nên mức độ phức tạp rất lớn đối với việc lựa chọn chế độ công nghệ một cách kinh tế nhất (mỗi khi có biến động phụ tải trong một giới hạn nào đó đều buộc phải xem xét chỉnh định lại các bộ điều chỉnh tự động. Trong những trường hợp như thế nếu giải quyết vấn đề điều khiển không đúng có thể dẫn đến tình hình là điều khiển tự động sẽ kém hiệu quả hơn và kém an toàn sản xuất so với điều khiển thủ công). Trong những trường hợp như thế điều khiển tối ưu QTCNNĐ chỉ có thể xác định trong một bài toán chung theo một quan điểm hệ thống thống nhất.

Khi đó bài toán điều khiển tối ưu QTCNNĐ theo chế độ công nghệ

$$\varphi(X, U, t) = \sum_{ij} C_{ij} P_{ij} \rightarrow \min \quad (1)$$

theo độ chính xác ổn định các thông số của các QTCS:

$$J_1 = \int_T \epsilon_{iq}^2 dt \rightarrow \min \quad (2)$$

và theo chi phí năng lượng tự dùng cho mục đích điều khiển:

$$J_2 = \int_T |\epsilon_i^2| dt \rightarrow \min, \quad (3)$$

ở đây $i=1,2$ - dạng năng lượng (điện và hơi được sản xuất), $j \in J$ - tập chỉ số các công nghệ cho phép.

$$P_{ij} = \int_T p_{ij}(X, U, t, \xi) dt \quad (4)$$

P_{ij} là năng lượng loại i được sản xuất trong khoảng thời gian T theo công nghệ j ,
 $p_{ij}(X, U, t, \xi)$ - tổng công suất vận hành được huy động sản xuất năng lượng i theo công nghệ j ,
 C_{ij} - chi phí để sản xuất một đơn vị năng lượng loại i với công nghệ j ,
 ϵ_z - véc tơ sai số điều chỉnh của z , trong đó

$$Z = Z(P_{ij}(t)) = \{z_q : q \in Q\}$$

$q \in Q$ - tập chỉ số các thông số kỹ thuật công nghệ cần ổn định (tập chỉ số các QTCS).

Hệ ràng buộc

$$\sum_{ij} p_{ij}(X, U, t, \xi) \leq \sum_l Q_l \leq \sum_{ik} Q_{ik}; P_{ij} \geq 0, z_q > 0, \quad (5)$$

ở đây $k \in K$ - tập các chỉ số các thiết bị công nghệ chủ yếu.

Q_{ik} - công suất đặt của thiết bị công nghệ chủ yếu (đã tính đến khả năng quá tải cho phép) để sản xuất năng lượng i trên thiết bị k .

$l \in L$ - tập chỉ số các lò hơi.

Q_l - công suất lò hơi thứ l (đã tính đến khả năng quá tải cho phép và do điều độ lưới không chế đối với nhà máy trong trường hợp nhà máy vận hành trên lưới)

Ở chế độ phụ tải không dừng chi phí C_{ij} là hàm thời gian và phụ tải

$$C_{ij} = \hat{C}_{ij}(P_{ij}, U, t, \xi). \quad (5)$$

Trong vận hành nhà máy nhiệt điện thường biến động về các nguồn dự trữ khác (lượng nhiên liệu, nước bổ xung và nước tuần hoàn, các hóa chất, ...) xảy ra trong các khoảng thời gian rất lớn so với khoảng thời gian điều khiển QTCNNĐ. Hơn nữa từ khi đặt nhiệm vụ thiết kế nhà máy đã được tính toán thoả mãn nên vấn đề giới hạn các nguồn dự trữ đó không cần đặt ra trong phạm vi điều khiển QTCNNĐ mà thuộc phạm vi quản lý xí nghiệp.

Bài toán (1)-(3) và (5) là bài toán điều khiển nhiều mục tiêu có mục tiêu global phi tuyến với giới hạn kiểu bất đẳng thức. Nó là bài toán điều khiển kinh tế kỹ thuật phức tạp và có thứ nguyên rất lớn. Đối với một nhà máy nhiệt điện công suất không lớn lắm, khối lượng thông tin ban đầu có thể đạt đến hàng chục Mbytes/ngày đêm, trong đó khối lượng thông tin cần thiết phục vụ cho việc giữ ổn định chế độ làm việc của các thiết bị hoặc nhóm các thiết bị công nghệ chiếm tỷ trọng rất lớn. Trong trường hợp công suất đơn vị lò máy và công suất đặt nhà máy đối với lưới điện tương đối lớn cũng như trường hợp nhà máy nhiệt điện làm việc ở chế độ phụ tải đỉnh độ bất định rất lớn làm cho nhu cầu xử lý thông tin điều khiển càng lớn. Khả năng khảo sát hệ lúc đó cũng phức tạp rất nhiều. Trong điều khiển các hệ thống công nghệ tương tự, để giải quyết vấn đề tương thích giữa bài toán đặt ra và khả năng thông của hệ kỹ thuật xử lý thông tin điều khiển có thể chia ra ba hướng sau:

1 - Xây dựng các phương pháp có hiệu quả để giải các bài toán điều khiển một lớp các đối tượng nhất định (ví dụ lớp các đối tượng tuyến tính).

2 - Thực hiện phân rã bài toán điều khiển chung thành nhiều bài toán phân cấp có thứ nguyên nhỏ hơn.

3 - Đặt lại bài toán điều khiển có thứ nguyên nhỏ hơn với các yêu cầu ít ràng buộc hơn.

Thường trong thực tiễn điều khiển các QTCN không phân biệt rõ ba hướng đó mà tùy mức độ yêu cầu và khả năng khác nhau đối với từng đối tượng cụ thể để xây dựng các phương pháp hỗn hợp thích hợp trong đó các phương pháp phân rã thường được chú ý hơn.

Điều kiện phân rã được bài toán điều khiển các QTCN nói chung là hàm mục tiêu cần có tính chất cộng tính và tách được tương thích với công nghệ cũng như phù hợp với các khả năng kỹ thuật xử lý thông tin.

Sau đây chúng ta nghiên cứu ứng dụng phối hợp 3 phương pháp đó theo quan điểm hệ thống [1] để xây dựng bài toán điều khiển QTCNND.

II. Xây dựng thuật toán điều khiển phân cấp QTCNND.

Hàm mục tiêu chung của bài toán điều khiển tối ưu QTCNND có dạng

$$\min \Psi(X, U, t, \xi) = \min \varphi^* + \gamma^T \cdot \sum_q \min \int \epsilon_{z_q}^2 dt + \rho^T \min \int |\epsilon|^2 dt. \quad (7)$$

Xem (7) là giới hạn trên, áp dụng bất đẳng thức tam giác, ta viết lại hàm mục tiêu dưới dạng

$$\min_{u_0 \in U_I \cap U_j} \Psi^*(X, U, t, \xi) = \min \{ \varphi^* + \beta^T \sum_T \int \epsilon_{z_q}^2 dt \}, \quad (8)$$

ở đây γ, ρ, β - các vector xác định mức độ ảnh hưởng của các mục tiêu địa phương trong mục tiêu chung điều khiển QTCNND(4,7); U_I, U_j - các tập xác định điều khiển theo dạng sản phẩm và theo công nghệ (theo trạng thái của các QTCS)

$$\varphi^* = \sum_{iq} (C_{iq} \cdot P_{iq}) > 0, \quad (9)$$

với các hệ ràng buộc

$$0 \leq \sum_{iq} P_{iq} \leq \sum_l Q_l, \quad z_q > 0, \quad (10)$$

ở đây φ^* và $\sum P_{iq}$ - tổng chi phí sản xuất năng lượng và tổng năng lượng sản xuất được.

Điều khiển xác định được từ (8,9,10) là tối ưu Pareto.

Trong thực tiễn điều khiển các QTCS (điều chỉnh) từ giới hạn cho phép đối với chi phí năng lượng từ dùng mục đích điều khiển có thể xem bài toán (2) là bài toán điều khiển tác động nhanh dạng

$$\left(\int_T \epsilon_{z_q}^2 dt - d_q \right) \rightarrow \min, \quad (11)$$

ở đây $d_q \in D$ - tập các sai số điều chỉnh cho phép.

Như thế trong điều khiển QTCNNĐ có thể xem việc đạt được các mục tiêu địa phương (2,3) tương đương với việc đặt ra một loại giới hạn mới - giới hạn về các dự trữ kỹ thuật

$$\left(\int_T \epsilon_{iq}^2 dt - d_q \right) \leq \epsilon_i; d_q \in D, \quad (12)$$

Bởi vì độ nhạy của các thông số các QTCS đối với biến đổi phụ tải QTCNNĐ khá lớn nên trong thực tế có thể xác định được giới hạn dự trữ d_q^* đủ lớn D :

$$\left(\int_T \epsilon_{iq}^2 dt - d_q^* \right) \leq \epsilon_i; d_q^* \in \mathcal{D} \supset D, \quad (13)$$

sao cho độ nhạy hàm mục tiêu (8) đủ bé có thể bỏ qua

$$\frac{d\Psi^*}{dP_{iq}(t)} \leq d_q^*. \quad (14)$$

Khi đó ta có hàm Lagrange

$$\mathcal{L}(U, \lambda, \sigma) = \varphi^* + \lambda^T \cdot \left\{ \sum_{iq} P_{iq} - \sum_l Q_l \right\} + \sigma^T \cdot \left\{ \gamma \int_T \epsilon_{iq}^2 dt - \mathcal{D} \right\} \quad (15)$$

ở đây λ, σ - các vector nhân tử Lagrange, là các thông số đối thoại trong điều khiển macro [1].

Hàm (15) là cộng tính và tách được theo công nghệ. Tuy nhiên bài toán tối ưu theo (15) trong thực tế là bài toán không chính và không giải được vì:

- Sự có mặt các thành phần tích phân làm cho nghiệm không ổn định khi có tác động ngẫu nhiên [3]. Khi thực hiện trên máy tính, các sai số quy tròn cũng có khả năng dẫn đến tình trạng tương tự.

- Sự có mặt của hàm chi phí dạng không đảm bảo lỗi làm cho tính dừng và tính cực tiểu của hàm Lagrange không tương đương với nhau [2].

Trong các bài toán quản lý lưới năng lượng có thể xem hàm (6) là lỗi. Tuy nhiên đối với QTCNNĐ trong phạm vi nhà máy nhiệt điện do ảnh hưởng các tổn thất tiết lưu trong các quá trình thay đổi chế độ công nghệ (quá trình điều khiển và điều chỉnh) không thể xem C_{ij} là lỗi đối với bài toán điều khiển được. Tình hình như thế cũng thường gặp trong công nghiệp. Điều đó có thể giải thích như sau: Trong các hệ năng lượng việc chuyển từ trạng thái này sang trạng thái khác tương ứng với việc thay đổi thế năng của hệ. Một phần động năng chi phí vào việc đó mà không tham gia vào quá trình làm ra sản phẩm. Ví dụ, để thay đổi công suất tuốc bin - máy phát (thay đổi thế năng) cần thay đổi vị trí van hơi chính vào tuốc bin. Kết quả là gây nên tổn thất một lượng nhiệt hàm (entanpi) của hơi nước không tham gia quá trình sinh công trên trục máy phát.

Việc đưa vào hàm Lagrange các giới hạn loại (12,13) đồng thời cũng làm cho bài toán phù hợp với thuật toán chính qui hóa của Tikhonov.

Theo quan điểm thực tiễn, trong các hệ phát triển, tương ứng với các hàm mục tiêu chung luôn luôn tồn tại trạng thái tối ưu theo xác suất. Việc phát hiện được hay không trạng thái đó rõ ràng phụ thuộc phương pháp quan sát hệ. Ở đây vấn đề còn tồn tại là phải thay thế φ^* sao cho bài toán tối ưu theo (15) vẫn giữ được tính chất tương đương với bài toán (1,2,3,5).

Theo Kullback một hàm như thế có thể là [6]

$$\varphi^{**} = - \sum_{iq} \varphi_{iq} \ln \varphi_{iq} = H, \quad (16)$$

ở đây H - entropi điều khiển của hệ theo công nghệ. H có thể biểu diễn dưới dạng xác suất

$$H = - \sum_{iq} P(\varphi_{iq}) \ln P(\varphi_{iq}), \quad (17)$$

thay (17) vào (15) ta viết lại hàm Lagrange và lấy min

$$\min \mathcal{L}^*(\varphi, \lambda, \sigma) = \min [H + \lambda^T \{ \sum_{iq} P_{iq} - \sum_l Q_l \} + \sigma^T \{ \gamma \int_T \epsilon_i^2 dt - \mathcal{D} \}]. \quad (18)$$

Như vậy bài toán (18) là giải được.

Điều kiện đủ để đạt được cực trị hàm (18) là đạt được cực trị của tất cả các hàm mục tiêu địa phương:

$$\left(\int_T \epsilon_i^2 dt - \mathcal{D} \rightarrow \min \right) \quad (19)$$

và phân công suất nhà máy được huy động lớn nhất, nghĩa là

$$\min \left(\sum_{iq} P_{iq} - \sum_l Q_l \right). \quad (20)$$

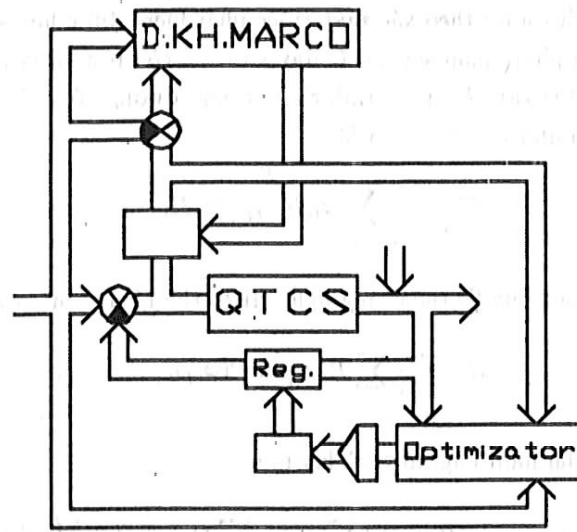
Khi đó ta sẽ có trạng thái φ_0 đồng xác suất và Jacobian của hàm Lagrange theo điều kiện Kuhnahd - Tucker [2] sẽ đạt điểm dừng:

$$J(\mathcal{L}(\varphi_0)) = 0. \quad (21)$$

Đặt φ_0 vào (18) khi $\lambda, \sigma \rightarrow \max$ ta có (7), nghĩa là bài toán (18) là mở rộng [1] đối với bài toán (7). Khi đó hệ thoả mãn điều kiện đối thoại macro [1].

Có thể nâng cao khả năng làm việc ở chế độ thời gian thực của các thiết bị tính toán xử lý thông tin điều khiển cũng như khả năng ứng dụng các thiết bị máy tính có tốc độ không cao bằng cách mở rộng giới hạn \mathcal{D} đồng thời có nghĩa mở rộng khả năng tự thích nghi của các bộ điều chỉnh QTCS.

Bài toán (18, 19, 20) là bài toán lập hai giai đoạn có phân cấp và giải bằng đối thoại [1] (điều khiển macro), trong đó λ, σ là vector các thông số đối thoại.



Hình 1 - Sơ đồ nguyên lý điều khiển QTCNND

Hình 1 - Sơ đồ nguyên lý điều khiển QTCNND.

Trên hình 1 giới thiệu sơ đồ nguyên lý điều khiển QTCNND trong phạm vi một nhà máy nhiệt điện.

Theo Rastrigin [5] để tìm các thông số lập có thể áp dụng thuật toán lập xấp xỉ ngẫu nhiên:

$$Y_{i+1} = Y_i - (\alpha_i \Gamma_i)^T \cdot J(\mathcal{L}) \quad (22)$$

ở đây i - bước lặp; α_i - hằng số chọn trước và Γ_i - ma trận chéo xác định như sau:

$$\Gamma = \begin{bmatrix} a_i^1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & a_i^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & a_i^n \end{bmatrix}$$

$J(\mathcal{L})$ - ma trận Jacobian của hàm Lagrange.

Thuật toán (22) hội tụ với mọi điều kiện ban đầu với tốc độ hội tụ phụ thuộc vào việc chọn α_i , Γ_i . Có thể tăng tốc độ hội tụ bằng cách đưa vào (22) vector modulyan hàm nhậy $s(\mathcal{L})$. Khi đó

$$Y_{i+1} = Y_i - (\alpha_i \Gamma_i)^T J(\mathcal{L}) / |s(\mathcal{L})|.$$

Kết quả trên đã báo cáo tại hội thảo "Điều khiển học kỹ thuật" - Sầm sơn 1984.

III. Kết luận.

Quá trình công nghệ nhiệt điện là một quá trình đa dạng, nhiều liên hệ và phức tạp. Ứng dụng phương pháp tiếp cận hệ thống cho phép đơn giản hóa bài toán điều khiển dưới một cách nhìn thống nhất và có hiệu quả.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Văn Châu, Tiếp cận hệ thống trong điều khiển các quá trình công nghệ - Báo cáo khoa học - Hội thảo " Điều khiển học kỹ thuật " Sầm sơn -1984.
2. Balakirev V.C; Volodin V.M & Tsilin A.M., Optimal control for process in chemi - technology Moscow 1978. (in Russian)
3. Tikhonov A.N. & Arsenin V.I., Methods of solution for incorrect problems, Moscow, Science 1979. (in Russian)
4. Solodov A.V., Theory of Information and application to problems of automatical optimal control Moscow, 1967. (in Russian)
5. Rastriguin L.A., Random check in process of adaptation Riga 1973 (in Russian)
6. Kullback S., Information Theory and Statistics N.Y. London ?

Abstract

Application of system approach to the Control System for thermoelectric and technological process

The purpose of this paper is to present a result in the problem of control system for thermoelectric and technological process by using a system approach.