

Zbigniew BARTOŃ

ADAPTACYJNE STEROWANIE W WIELOMASZYNOWYCH SYSTEMACH ELEKTROENERGETYCZNYCH O HIERARCHICZNEJ STRUKTURZE

Streszczenie. W artykule przedstawiono koncepcję sterowania wielomaszynowym systemem elektroenergetycznym o hierarchicznej strukturze. Prezentowane rozwiązania sprowadzają się do zdecentralizowanego adaptacyjnego sterowania każdego z podsystemów i takiej modyfikacji na poziomie wyższym, aby stabilność całego systemu była zachowana.

ADAPTIVE CONTROL FOR MULTIMACHINE HIERARCHICAL POWER SYSTEMS

Summary. This paper describes control strategy for multimachine power systems. The strategy is decentralized in nature and is implemented locally by using a self tuning adaptive controller. A higher hierarchical level provides suitable correction controls so that the stability of whole interconnected system would not be destroyed.

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МНОГОМАШИНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ИМЕЮЩЕЙ ИЕРАРХИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ

Резюме. В статье представляется идея адаптивного управления электроэнергетической системой имеющей иерархическую структуру. Представлено решение в виде децентрализованного адаптивного управления каждой подсистемой с модификацией на высшем уровне управления, с целью сохранения устойчивости системы в целом.

1. WSTĘP

W ostatnich latach znacznie wzrosło zainteresowanie poszukiwaniem coraz efektywniejszych metod estymacji i sterowania wielkimi systemami, a w szczególności SE. Związane jest to z bardzo szybkim rozwojem takich systemów, wzrostem mocy generowanej przez oddzielne jednostki i praktycznym podziałem na podsystemy. Podsystemy SE połączone są między sobą liniami prze-

syłowymi. Każdy z nich ma własną regulację częstotliwości i napięcia oraz możliwość zmian w określonym zakresie mocy wytwarzanej, ale praktycznie nie może regulować tych wielkości w podsystemach sąsiednich.

Celem jest określenie takich sterowań, które uwzględniając strukturę wzajemnych połączeń (interakcji) zapewnią zarówno w stanach ustalonych, jak i przejściowych stabilność całego systemu. Uwzględnić musi się przy tym globalny koszt, co prowadzi do optymalizacji przyjętych wskaźników.

2. STEROWANIE SYSTEMU O WIELOPOZIOMOWEJ STRUKTURZE

Sterowanie takie sprowadza się zazwyczaj do optymalizacji uwzględniającej ograniczenia, jakie narzuca zdecentralizowane sterowanie [1].

W ogólnym przypadku model systemu można opisać równaniem:

$$\dot{X} = A X(t) + B U(t) ; \quad X(0) = X_0 \quad (1.1)$$

W celu rozwiązania problemu należy znaleźć takie sterowania $U^*(t) = -G X(t)$, które minimalizowałyby wskaźnik jakości:

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \{X^T(t) Q X(t) + U^T(t) R U(t)\} dt \quad (1.2)$$

Macierz współczynników sprzężeń zwrotnych G określa relacja:

$$G = -R^{-1} B^T K \quad (1.3)$$

gdzie dodatnio określona macierz K jest rozwiązaniem równania Riccatiego [3]

$$K A + A^T K - K B R^{-1} B^T K + Q = 0 \quad (1.4)$$

Uwzględniając dekompozycję systemu na N wzajemnie sprzężonych ze sobą podsystemów równanie (1.1) przyjmuje postać [4]:

$$\dot{X}_i = A_i X_i + B_i U_i + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N B_i F_{ij} X_j, \quad i=1, \dots, N \quad (1.5)$$

$$X_1(t_0) = X_{10}, \quad Y_1 = H_1(X)$$

W tym przypadku zdecentralizowane sterowanie realizowane jest poprzez optymalizację lokalnych sterowań U_1 uwzględniającą lokalne wskaźniki jakości J_1 .

Dla całego systemu minimalizuje się wskaźniki jakości:

$$J(t_0, X(t_0), U(t_0)) = \sum_{i=1}^n J_i(t_0, X_i(t_0), U_i(t_0)) \quad (1.6)$$

Dla każdego podsystemu przeprowadza się, z uwagi na istnienie sprzężeń pomiędzy podsystemami, lokalną optymalizację przy wejściowej modyfikacji lokalnego sterowania. Wykorzystuje się tu badanie właściwości interakcji uwzględniając przyjętą funkcję celu. Celem jest poszukiwanie takich sterowań lokalnych, które zapewniają co najmniej suboptymalność każdego z podsystemów i jednoczesną stabilność całego SE [2]. Zagadnienie rozwiązywane jest metodami iteracyjnymi oraz nieiteracyjnymi [8].

2. ADAPTACYJNE ZDECENTRALIZOWANE STEROWANIE

Stosowanie systemowych układów stabilizacyjnych oraz regulatorów optymalnych opartych na minimalizacji liniowych, kwadratowych wskaźników jakości polepsza własności dynamiczne SE. Zakłada się przy tym, że SE ma ustaloną strukturę, ustalone warunki pracy, a występujące zaburzenia są małe. W wielomaszynowych SE założenia te, szczególnie w stanach zakłóceń, często nie są spełnione. W tym przypadku zaprojektowane systemy sterowania nie są zdolne do wytlumienia kołysań występujących podczas dużych zakłóceń. Czasami zmniejsza się również efektywność działania takich układów regulacji przy małych kołysaniach występujących w czasie zmian warunków eksploatacyjnych.

W ostatnich latach zaobserwować można wzmożone wysiłki [5,6,7] zmierzające do praktycznego wykorzystania metod adaptacyjnych, które eliminują wspomniane wyżej wady dotychczas stosowanych układów sterowania. Dodatkową zaletą takich "nowych" metod jest możliwość stosowania ich przy zdecentralizowanym sterowaniu systemów hierarchicznych.

Zastosowanie układów adaptacyjnych zapewnia wymaganą jakość sterowania. Prowadzi to również do poprawy warunków eksploatacyjnych, zwiększenia niezawodności współpracy wzajemnie połączonych podsystemów oraz szybszej eliminacji stanów zagrożeniowych w warunkach przejściowych.

W praktyce wykorzystuje się głównie dwa rodzaje adaptacyjnych systemów:

- a) klasyczne adaptacyjne systemy sterowania. Pod pojęciem tym zazwyczaj rozumie się układy wykorzystujące tzw. model referencyjny systemu rzeczywistego (MRAC). Celem sterowania adaptacyjnego jest takie dynamiczne dostrajanie parametrów obiektu, aby chwilowy średniokwadratowy błąd między wielkościami wyjściowymi z modelu oraz obiektu dążył do zera. Spełniony przy tym musi być warunek zapewniający stabilność całego SE. Praktyczne zastosowanie takiego podejścia (wykorzystujące uogólnioną metodę Lapunowa oraz samonastrajające się sterowanie z funkcjonalną adaptacją) dla modelu SE zaprezentowano w pracy [2]. Badanie wpływu wieloparametrowych zakłóceń (interakcji międzysystemowych oraz filtracji sygnałów wyjściowych) zawiera praca [5], natomiast algorytm sterowania adaptacyjnego przy niepełnej informacji podano w pracy [6];
- b) samonastrajające się systemy. Algorytm samonastrajających się adaptacyjnych układów sterowania (STAC) zazwyczaj opiera się na procedurze dwuetapowej. Pierwszy etap to estymacja parametrów SE wykorzystywanych do określenia wektora sterowania w cyklu on-line, realizowana zgodnie z techniką identyfikacji. Model SE dekomponowany jest na wzajemnie połączone ze sobą podsystemy, z których każdy posiada adaptacyjny układ sterowania. Wielkościami wyjściowymi modelu podsystemu mogą być na przykład: napięcia na

zaciskach generatora, generowana moc lub wektor prędkości obrotowej. W ogólnej postaci wektor wielkości i-tego podsystemu wielomaszynowego SE określonego równaniami (1.5) można zapisać w postaci [7]:

$$Y_1(t+d) = D_1 Z_1(t) + E_1 V_1(t) + F_1 \Theta_1(t), \quad (2.1)$$

$$Y_1(t_0) = Y_{10},$$

$$Z_1(t) = [Y_1^T(t), Y_1^T(t-1), \dots, Y_1^T(t-j+1)]^T, \quad (2.2)$$

$$V_1(t) = [U_1^T(t), U_1^T(t-1), \dots, U_1^T(t-j+1)]^T, \quad (2.3)$$

$$\Theta_1(t) = [\xi_1^T(t), \xi_1^T(t-1), \dots, \xi_1^T(t-j+1)]^T \quad (2.4)$$

gdzie: $D_1 = [D_{11}, D_{12}, \dots, D_{1j}]$,

$$E_1 = [E_{11}, E_{12}, \dots, E_{1j}],$$

$$F_1 = [F_{11}, F_{12}, \dots, F_{1j}],$$

są macierzami współczynników, "d" jest wielkością kroku predykcji, "j" długością okresu próbkowania, natomiast "ξ" podaje wartości wielkości zdeterminowanych interakcjami międzysystemowymi (np. prądy w liniach, napięcia na szynach itp.).

Korzystną cechą takiego modelu jest możliwość względnie dokładnego przewidywania (predykcji) wartości wielkości wejściowych w chwili (t+d) na podstawie znajomości wartości wielkości wejściowych i wyjściowych w chwili t oraz ją poprzedzających. Eliminuje się w tym przypadku zmienne stanu zarówno własne, jak i zdeterminowane poprzez wzajemne połączenia poszczególnych podsystemów, które mają mały wpływ na wielkości wyjściowe.

Udowodniono [7], że stosując rekurencyjny algorytm najmniejszych kwadratów oraz optymalną minimalnowariancyjną predykcję samonastrajające się sterowanie optymalne może być realizowane według algorytmu określonego relacją:

$$\begin{aligned} \hat{U}_1^*(t) = & [Q_{u1} + E_{11}^T Q_{y1} E_{11}]^{-1} E_{11}^T Q_{y1} \{Y_1^0(t+d) - \hat{D}_1 Z_1(t) - \\ & - E_1^T V_1^*(t-1) - F_1 \Theta_1(t)\} \end{aligned} \quad (2.5)$$

gdzie: $E_1' = [E_{12}, E_{13}, \dots, E_{1j}]$,

$$V_1' = [U_1^T(t-1), \dots, U_1^T(t-j+1)].$$

W relacji (2.5) \hat{D}_1, \hat{E}_1 oraz \hat{F}_1 są estymatami rzeczywistych parametrów macierzy D_1, E_1 i F_1 , natomiast $Q_{y1} \geq 0, Q_{u1} \geq 0$ są symetrycznymi macierzami wagowymi.

4. UWAGI KOŃCOWE

Zaprezentowane algorytmy sterowania uwzględniają "naturalną" hierarchiczność struktury systemu elektroenergetycznego. Zapewniają one efektywne tłumienie tak małych jak i dużych kołysań w stosunkowo krótkim czasie po wystąpieniu zakłócenia. Stwarzają także możliwość dekompozycji złożonego problemu sterowania do kilku problemów decyzyjnych prostszych. Stąd wydaje się też wynikać ich atrakcyjność, szczególnie w przypadku sterowania opartego na wykorzystaniu komputerów.

LITERATURA

- [1] Sundarsen M.K.: Generation of multilevel control and estimation schemes for large - scale systems. A perturbation approach. IEEE Trans. on Systems, and Cybernetics, Vol. SMC-7, No. 3, March 1977.
- [2] Bartoń Z.: Hierarchiczne sterowanie systemem elektroenergetycznym. Mat.X Konf. Automatyki, t.3. Lublin 1988.
- [3] Tryphon C.X. i in.: Hierarchical computation of decentralized gains for interconnected systems. Automatica Vol.18, No.4, 1982.
- [4] Young K.D.: On near optimal decentralized control. Automatica, Vol. 21, No.5, 1985.
- [5] Ioannou P., Kokotovic P.: Decentralized adaptive control of interconnected systems with reduced - order models. Automatica, Vol.21, No.4, 1985.,

- [6] Hejda I., Vesely V., Murgas J.: Decentralized adaptive control of partially known systems. Problems of control and inf. th. Vol.19 , P.P.Oxford , 1990.
- [7] Fan J.Y. i in.: Stability control of multimachine power systems using STAC technique. Int. J. Control , Vol.50 , No.3 , 1989.
- [8] Bartoń Z.: O nieiteracyjnej metodzie sterowania systemem elektroenergetycznym. Mat. V Międzynarod. Konf. Naukowej. t.1 , Gliwice 1989.

Recenzent: prof.dr hab.inż.Jerzy Wróblewski

Wpłynęło do redakcji dnia 3 stycznia 1992 r.

ADAPTIVE CONTROL FOR MULTIMACHINE HIERARCHICAL POWER SYSTEMS

A b s t r a c t

Control strategy for multimachine of multilevel systems is described. The study is conducted within decentralized framework. The subsystems are controlled as if they were decoupled each with the other. Then some conditions related to the bound on interconnection are established so that the stability of the whole interconnected system would not be destroyed. The solution to the control problem involves design of a set of locally optimal controllers and a global controller on a hierarchical level that provides correction signals to account for the interconnection effects. The strategy is decentralized in nature and is implemented locally by using a self - tuning adaptive controller. The control is optimized locally to drive the subsystem outputs towards a special goal. A higher hierarchical level provides suitable correction controls (or a modified estimator utilizing suitable compensatory signals). A subarea system is termed as the one which contains a group of subsystems closely coupled to each other. The controls designed on such assumptions may have ability to damp serve oscillations after large distur-

bances and can become effective for small oscillation under system condition changes.

To implement the local controls, a discrete input/output dynamic model is considered to represent each subsystem. The advantage of utilizing this model is that the future outputs of subsystems can be precisely predicted for more than one step from the present and previous outputs and inputs.

The discussed approaches have offered attractive feasibility and are simple and easily implementable.