SYNTHESIS SYNTHESIS OF THE CONTROL SYSTEM OF THE SUN OF SOLAR PHOTOELECTRIC MODULAR INSTALLATIONS

Meiliev Sunatillo Nuritdin ugli
karshi engineering economic institute

ABSTRACT

The article discusses the formation and construction of algorithms for obtaining the law of adaptive control, which ensures that the output tracks a given limited reference trajectory with a minimum root-mean-square tracking error. The above expressions make it possible to form stable synthesis algorithms for the general tracking problem of linear models. The simulation results of the above algorithms in the synthesis of an adaptive optoelectronic tracking system have shown their effectiveness and contributed to improving the quality of processes for controlling the position of solar photovoltaic optoelectronic modular installations.

Keywords: optoelectronic tracking system, the law of adaptive control, a reference path, photovoltaic module installations.

АННОТАЦИЯ

Мақолада адаптив бошқарув қонунини олиш учун алгоритмларни шакллантириш ва қуриш муҳокама қилинади, бу берилган чекланган мос ёзувлар траекториясини минимал илдиз-ўртача квадратик хато билан кузатилишини таъминлайди. Юқоридаги иборалар чизиқли моделларнинг умумий кузатув муаммоси учун барқарор синтез алгоритмларини шакллантиришга имкон беради. Адаптив оптоелектрон кузатиш тизимининг синтезида юқоридаги алгоритмларнинг симулятсия натижалари уларнинг самарадорлигини кўрсатди ва қуёш фотоелектрик оптоелектронли модулли қурилмаларнинг ҳолатини бошқариш жараёнлари сифатини яхшилашга ёрдам берди.

Калит сўзлар: оптоелектроник кузатув тизими, мослашувчан бошқарув қонуни, йўналтирувчи йўл, фотоволтаик модул ўрнатмалари.

АННОТАЦИЯ

Рассматриваются вопросы формирования и построения алгоритмов получения закона адаптивного управления, который гарантирует, что выход отслеживает заданную ограниченную эталонную траекторию с минимальной среднеквадратической ошибкой слежения. Приведенные выражения позволяют формировать устойчивые алгоритмы синтеза общей задачи слежения линейных моделей. Результаты моделирования приведенных алгоритмов при синтезе адаптивной оптоэлектронной следящей системы показали свою эффективность и способствовали повышения качества процессов управления положением солнечных фотоэлектрических оптоэлектронных модульных установок.

Ключевые слова: оптоэлектронная следящая система, закон адаптивного управления, эталонная траектория, фотоэлектрические модульные установки.

Одним из важнейших способов повышения КПД солнечных установок является оптимизация следящих электроприводов, работающих в непрерывном режиме слежения за солнцем по энергетическим показателям. Целесообразность применения систем слежения за солнцем для ориентации солнечных фотоэлектрических модульных установок в зависимости от различных факторов определяется после проведения соответствующих расчетов и исследований с помощью различного математического аппарата и моделирования [1].

Учет инерционности объектов управления существенно осложняет задачу синтеза адаптивной системы управления; при этом основные изменения касаются структуры основного контура системы [2-5]. Исходя из структуры основного контура и вида цели управления, целесообразно выделить два класса задач. Первый класс - задачи слежения, в которых цель управления связана с точной отработкой изменяющегося задающего воздействия. В таких задачах возмущающее воздействие меньше влияют на систему, чем задающие (другими словами, велико отношение «сигнал/шум»), а цель управления удобнее задавать при помощи эталонной модели - вспомогательной системы, определяющей желаемые переходные процессы в замкнутой системе. Вторая основная задача системы - подавлять действие возмущений (отношение «сигнал/шум» мало). В таких задачах естественно ставить цель управления оптимальное подавление возмущений, а в основном контуре использовать оптимальные регуляторы [2,4-6].

Реальные различия между задачами регулирования и слежения во многом условны: как правило, в ходе функционирования объектов управления встречаются и переходные, и установившиеся режимы. Тем не менее, эти различия обусловили наличие двух основных типов адаптивных систем [6-10].

Рассмотрим систему:

$$y(t)=\sum_{i=1}^{p}a_i y(t-i)+\sum_{i=1}^{q}b_i u(t-i)+\sum_{i=1}^{s}c_i w(t-i)+w(t), \qquad (1)$$

где y, u и w –соответственно, выход, вход и белый шум; параметры $(a_1,\ldots,a_p,b_1,\ldots,b_q,\ldots,c_1,\ldots,c_s)$ являются неизвестными.

Задача состоит в получении закона адаптивного управления, который гарантирует, что выход отслеживает заданную ограниченную эталонную траекторию $\{y^*(t)\}$ с минимальной среднеквадратичной ошибкой слежения. При этом закон адаптивного управления асимптотически самонастраивается на оптимальный закон управления [9,10]. Это является дополнительным преимуществом в том случае, когда параметры $(a_1,\ldots,a_p,b_1,\ldots,b_q,\ldots,c_1,\ldots,c_s)$ могут быть асимптотически идентифицированы.

Если эталонная траектория является произвольной, то будем называть эту задачу общей задачей слежения. В большинстве задач, однако, эталонная траектория является выходом линейной модели. Этот особый случай будем называть задачей слежения линейной модели.

Рассмотрим общую задачу слежения. Для этого случая $\{y^*(t)\}$ есть эталонная траектория. Воспользуемся следующим адаптивным регулятором (при обозначении $p \vee s := \max(p,s)$) [6,10]:

$$\theta(t+1) = \theta(t) + \frac{\mu\phi(t)}{r(t)}[y(t+1) - y^*(t+1)], \qquad (2)$$

где $0 < \mu < 2$ есть произвольная константа.

Отметим, что

$$r(t+1) := 1 + \sum_{k=0}^{t+1} \phi^T(k)\phi(k), \qquad (3)$$

$$\phi(t) := (y(t),..., y(t - p \vee s + 1), u(t),..., u(t - q + 1), -y^*(t+1),..., -y^*(t - s + 1)), \qquad (4)$$

$$u(t) := -\frac{1}{\beta_1(t)}\left[\sum_{i=1}^{p\vee s} \alpha_i(t) y(t-i+1) + \sum_{i=2}^{q} \beta_i(t) u(t-i+1) - \sum_{i=0}^{s} \gamma_i(t) y^*(t-i+1)\right], \qquad (5)$$

где

$$(\alpha_1(t),..., \alpha_{p\vee s}(t), \beta_1(t),..., \beta_q(t), \gamma_0(t),..., \gamma_s(t))^T := \theta(t). \qquad (6)$$

Уравнение (5) можно записать как

$$\phi^T(t)\theta(t) = 0.$$

Представим систему (1) следующим образом:

$$y(t+1) - y^*(t+1) = \left[\sum_{i=1}^{p} a_i y(t+1-i) + \sum_{i=1}^{q} b_i u(t+1-i) + \sum_{i=1}^{s} c_i w(t+1-i) - y^*(t+1)\right] + w(t+1).$$

Если известно прошлое значение $w(\cdot)$ в каждый момент времени t, то оптимальный регулятор будем выбирать $u(t)$ таким образом [9,10], что член в $[\cdots]$ в правой части приведенного выше уравнения будет равен нулю, т.е.

$$u(t) = -\frac{1}{b_1}\left[\sum_{i=1}^{p} a_i y(t+1-i) + \sum_{i=2}^{q} b_i u(t+1-i) + \sum_{i=1}^{s} c_i w(t+1-i) - y^*(t+1)\right].$$

В этом случае $y(t+1) = y^*(t+1) + w(t+1)$, причем, будет получена лучшая возможная ошибка слежения.

Однако, последовательность $w(\cdot)$ не может быть определена, в связи с чем приходится ее заменить на $y(\cdot) - y^*(\cdot)$. Тогда ошибка слежения асимптотически приближается к лучшей [7,9]. Эго позволяет получить реализуемый закон управления:

$$u(t) = -\frac{1}{b_1}\left[\sum_{i=1}^{p\vee s}(a_i + c_i)y(t+1-i) + \sum_{i=2}^{q} b_i u(t+1-i) + \sum_{i=1}^{s} c_i y^*(t+1-i) - y^*(t+1)\right].$$

Определим

$$\theta^\circ := (a_1 + c_1,..., a_{p\vee s} + c_{p\vee s}, b_1,..., b_q, 1, c_1,..., c_s)^T, \qquad (7)$$

где для удобства определим: $c_i := 0$ для $i > s$ и $a_i := 0$ для $i > p$ – в (7).

При оптимальном управлении система (1) может быть представлена как

$$y(t+1) - y^*(t+1) = \phi^T(t)\theta^\circ + w(t+1),$$

а оптимальный закон управления может быть записан как

$$\phi^T(t)\theta^\circ = 0.$$

Схема адаптивного управления (2)-(6) может интерпретироваться как попытка оценить θ°, если система является оптимально управляемой [11,12].

Остановимся на задаче слежения линейной модели. Положим, что существует последовательность $\{y_m(t)\}$ – такая, что

$$y_m(t) = \sum_{i=1}^{l} h_i y_m(t-i),$$

а траектория, которая должна быть отслежена $y^*(t)$, является асимптотически близкой к $y_m(t)$ в том смысле [5,9], что

$$\sum_{t=1}^{\infty}(y^*(t) - y_m(t))^2 < +\infty.$$

Без потери общности можно воспользоваться следующими двумя предположениями [6-8]:

– не существует разностного уравнения более низкого порядка, удовлетворяемого при $\{y_m(t)\}$, т.е. не существует нетривиальный полином $\overline{H}(z)$ степени, строго меньшей, чем l – такой, что $\overline{H}(z)y_m(t) = 0$ для всех t. (z есть оператор сдвига);

– корни $H(z): 1 - \sum_{i=1}^{l} h_i z^i$ находятся точно на единичной окружности и не существуют повторяющиеся корни.

Будем говорить, что скалярная последовательность $\{y^*(t)\}$ является «достаточно сильно представительной порядка l» если l есть наибольшее неотрицательное целое, для которого существует n, а $\varepsilon > 0$ так, что

$$\sum_{k=t+1}^{t+n}(y^*(k-1),..., y^*(k-l))^T(y^*(k-1),..., y^*(k-l)) \geq \varepsilon I_l$$

для всех достаточно больших t, где I_l есть единичная $l \times l$ – матрица.

Определим следующие полиномы:

$A(z) := 1 - \sum_{i=1}^{p} a_i z^i$, $B(z) := \sum_{i=1}^{q} b_i z^{i-1}$, $C(z) := 1 + \sum_{i=1}^{s} c_i z^i$.

Воспользуемся следующими предположениями.

Все корни $B(z)$ и $C(z)$ находятся точно вне единичной окружности [9,11],

$\mathrm{Re}\left[C(e^{iw}) - \frac{\mu}{2}\right] > 0$ для $0 \le w < 2\pi$, $b_1 \ne 0$,

$z^{-1}[C(z) - A(z)]$ и $B(z)$ есть полиномы степеней, равных, соответственно, $(p \vee s - 1)$ и $(q-1)$, которые не имеют общих множителей,

$\{w(t)\}$ есть последовательность скалярных случайных переменных в пространстве вероятностей $\{\Omega, F, P\}$, распределения которых являются абсолютно непрерывными.

Будем полагать, что существуют $\sigma^2 > 0$ и $\delta > 0$ такие, что

$E[w(t) \mid F_{t-1}] = 0$, $E[w^2(t) \mid F_{t-1}] = \sigma^2$, $\sup_t E[| w(t) |^{2+\delta} F_{t-1}] < +\infty$, $\|\theta(0)\| > 0$,

$\{y_m(t)\}$ является ограниченной, где $F_t := \sigma\{w(1),..., w(t)\}$ есть под-σ-алгебра F, порожденная $\{w(1),..., w(t)\}$.

Тогда

$$\lim_N \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N} [y(t) - y^*(t)]^2 = \sigma^2,$$

$$\lim_N \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N} (E[y(t+1) - y^*(t+1) \mid F_t])^2 = 0,$$

$$\lim_N \sup \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N} u^2(t) < +\infty,$$

$\lim \|\theta(t) - \theta^\circ\|^2$ существует и является конечным.

Положим, что в общей задаче слежения $\{y^*(t)\}$ является достаточно сильно представительной порядка большего или равного $q+s$ [6,9].

Тогда

$$\lim_t \frac{1}{\gamma_0(t)} (\alpha_1(t) - \gamma_1(t),..., \alpha_p(t) - \gamma_p(t), \beta_1(t),..., \beta_q(t), \gamma_1(t),..., \gamma_s(t)) = (a_1,..., a_p, b_1,..., b_q, c_1,..., c_s), \quad (8)$$

(с $\gamma_i(t) := 0$ для $i > s$).

Таким образом, оценки параметров являются состоятельными. Кроме того,

$$\lim_t \frac{1}{\beta_1(t)} (\alpha_1(t),..., \alpha_{p\vee s}(t), \beta_2(t),..., \beta_q(t), \gamma_0(t),..., \gamma_s(t)) = \frac{1}{b_1}(a_1 + c_1,..., a_{p\vee s} + c_{p\vee s}, b_2,..., b_q, 1, c_1,..., c_s) \quad (9)$$

при $a_i := 0$ для $i > p$ и $c_i := 0$ для $i > s$.

Следовательно, закон адаптивного управления (5) самонастраивается на оптимальный закон управления [7,11].

Для задачи слежения линейной модели при $l > s$ выражения (8) и (9) остаются справедливыми.

Для задачи слежения линейной модели при $l \leq s$ можно записать:

$$\lim_{t} \frac{1}{\beta_1(t)}(\alpha_1(t),...,\alpha_{p\vee s}(t),\beta_2(t),...,\beta_q(t),\gamma_0(t),...,\gamma_{l-1}(t)) =$$
$$= \frac{1}{b_1}(a_1 + c_1,...,a_{p\vee s} + c_{p\vee s}, b_2,...,b_q, g_0,...,g_{l-1})$$

при $a_i := 0$ для $i > p$ и $c_i := 0$ для $i > s$.

Выводы

Показано, что построение алгоритмов с использованием законов адаптивного управления способствует повышению качества процесса управления положением солнечных фотоэлектрических модульных установок. Приведенные выражения позволяют формировать устойчивые алгоритмы синтеза общей задачи слежения для линейных моделей. Результаты моделирования приведенных алгоритмов при решении конкретной задачи адаптивного слежения показали свою эффективность и способствовали повышению качества процессов управления.

REFERENSES:

1. V. M. Andreev, V.A. Grilihes, V.D. Rumyancev. Fotoe’lektricheskoe preobrazovanie koncentrirovannogo solnechnogo izlucheniya. -L: «Nauka» 1989 g - 310s.
2. Egupov N.D., Pupkov K.A. Metody’ klassicheskoy i sovremennoy teorii avtomaticheskogo upravleniya. Uchebnik v 5 tomah. - M.: Izdatel’stvo MGTU im.N.E’.Baumana, 2004.
3. Dushin S.E., i dr. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya. -M. Vy’ssh. shk., 2005. - 567 s.
4. Fradkov A.L. Adaptivnoe upravlenie v slojny’h sistemah: bespoiskovy’e metody’. - M.: Nauka. 1990. - 296 s.
5. Shankar P. Bhattacharyya, Lee H Keel. Control of Uncertain Dynamic Systems. CRC Press. 1991. -544 p.
6. Fomin V.N. Rekurrentnoe ocenivanie i adaptivnaya fil’traciya. -M.: Nauka, 1984. - 288 s.
7. SHikin E.V., CHhartishvili A.G. Matematicheskie metody’ i modeli v upravlenii. -

M.: «Delo», 2000. - 468 s.
8. CHemodanov, B.K. Teoriya i proektirovanie sledyasch'ih privodov / E.S. Bleyz, A.V. Zimin, E.S. Ivanov i dr. -M.: MGTU im. N.E'. Baumana, 1999. 904s.
9. Makarov N. N. Metod garantirovannoy tochnosti sledyasch'ih sistem// Mehatronika, avtomatizaciya, upravlenie. №11. M.: Novy'e tehnologii, 2006. S. 24-30.
10. Bronnikov A.M., Bukov V.N. Usloviya tochnogo slejeniya vy'hoda lineynoy sistemy' za e'talonnoy model'yu ponijennogo poryadka // AiT, 2008, №3. - s.60-69.
11. Cimen T., Banks S. Nonlinear Optimal Tracking Control with Application to Super-Tankers for Autopilot Design // Automatica. – 2004. – No. 40. – P. 1845-1863.
12. Rama K. Yedavalli. Robust Control of Uncertain Dynamic Systems: A Linear State Space Approach. Columbus, OH, USA. Springer Science & Busines Media, 2014.