УДК:62-50

АДАПТИВНЫЙ ПОДХОД УПРАВЛЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫМ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ.

БАТЫРКАНОВ Ж.И., МАМЫШЕВ А.М.
izvestiya@ktu.aknet.kg

Сложная задача построения системы управления нелинейным электромеханическим объектом, сводится к более простой задаче адаптивного управления линейным объектом.

В общем случае динамика электропривода постоянного тока описывается системой уравнений

$$\begin{cases} U_{ÿ} = i_{ÿ}R_{ÿ} + L_{ÿ}\dfrac{di_{ÿ}}{dt} + C_{\hat{a}}\cdot\omega\cdot\hat{O}(i\hat{a}), \\ U_{\hat{a}} = i_{\hat{a}}R_{\hat{a}} + L_{\hat{a}}\dfrac{di\hat{a}}{dt}, \\ J\dfrac{d\omega}{dt} = C_{ì}\cdot i_{ÿ}\cdot\hat{O}(i\hat{a}) - \grave{I}_{i}, \\ \dfrac{d\varphi}{dt} = \omega, \end{cases} \qquad (1)$$

где $U_{ÿ}, U_{\hat{a}}$ – напряжения на зажимах якорной и статорных цепей;

$i_{ÿ}, i_{\hat{a}}$ – силы тока в якорной цепи и в цепи возбуждения;

$R_{ÿ}, R_{\hat{a}}$ – оптические сопротивления якорной цепи и цепи возбуждения;

$L_{ÿ}, L_{\hat{a}}$ – индуктивные сопротивления якорной цепи и цепи возбуждения;

$C_{\mathring{a}}, \tilde{N}_{i}$ – конструктивные постоянные;

J – приведенный момент инерции;

$\grave{I}_{i}$ – момент нагрузки;

φ – угловое положение вала двигателя;

ω – угловая скорость на валу;

В общем случае $\hat{O}(i_{\hat{a}})$ – поток возбуждения является нелинейной функцией от тока возбуждения, $\grave{I}_{i}$ – момент нагрузки на валу двигателя также в общем случае является функцией от угловой скорости $\grave{I}_{i} = \grave{I}(\omega)$, но в большинстве задач можно положить $\grave{I}_{i} = \tilde{n}onst, J$ – приведенный момент инерции вращающихся частей на валу двигателя, во многих электроприводах (в машиностроительных станках, в конвейерных линиях) $J = const$, но в робототехнике приведенный момент инерции является функцией углового положения и угловой скорости $J = J(\varphi, \omega)$

В высокоточных системах, кроме вышеперечисленных моментов, в математической модели динамики электропривода нужно обязательно учитывать нелинейности, связанные с зоной нечувствительности различных функциональных элементов, как усилительные, исполнительные элементы, так и в датчиках. Кроме этого, нужно учитывать зазоры в механических передачах, которые приводят к появлению нелинейности типа «ЛЮФТ».

К настоящему времени, если учесть все вышеназванные моменты, то математическая модель динамики таких электроприводов становится нелинейного типа. Вопросы анализа синтеза таких систем в теории автоматического управления наталкиваются на достаточно сложные проблемы, связанные с отсутствием к настоящему времени универсальных эффективных методов анализа и синтеза в таких системах.

Чтобы обойти вышеназванную проблему, ниже в работе предлагается задача построения соответствующей системы управления решения в классе адаптивных систем управления.

Рассмотрим случай якорного принципа управления двигателем постоянного тока, тогда система уравнений (1) преобразуется к виду:

$$\begin{cases} U_{ÿ} = i_{ÿ} R_{ÿ} + L_{ÿ} \dfrac{di_{ÿ}}{dt} + K_e \omega, \\ J \dfrac{d\omega}{dt} = K_i \, i_{ÿ} - Ì_{\;i}, \\ \dfrac{d\varphi}{dt} = \omega, \end{cases} \qquad (2)$$

где $K_{â}, K_i$ – конструктивные постоянные.

В этой системе момент инерции и момент нагрузки представим в виде суммы номинальных значений и отклонений от него.

$$\begin{cases} J = J_0 + \Delta J(\varphi, \omega), \\ Ì_{\;i} = Ì_{\;i0} + \Delta Ì_{\;i}(\omega) \end{cases}. \qquad (3)$$

В соответствии с (3), система (2) представится в виде

$$\begin{cases} U_{ÿ} = i_{ÿ} R_{â} + L_{ÿ} \dfrac{di_{ÿ}}{dt} + K_{â} \omega, \\ J_0 \dfrac{d\omega}{dt} + \Delta J \dfrac{d\omega}{dt} = K_i \, i_{ÿ} - Ì_{\;i0} - \Delta Ì_{\;i}, \\ \dfrac{d\varphi}{dt} = \omega. \end{cases} \qquad (4)$$

В теории адаптивного управления для класса линейных объектов с параметрическими и внешними возмущениями типа

$$\overset{0}{X} = Ax + \Delta Ax + BU + \eta, \quad (5)$$

где $X = (x_1, x_2, \ldots x_n)^t$ - вектор состояния;

$U = (u_1, u_2, \ldots u_m)^t$ – вектор управления;

$-\eta = (\eta_1, \eta_2, \ldots \eta_s)^t$ – вектор возмущений;

A, B – числовые матрицы коэффициентов;

$\Delta \mathrm{A}$ – матрица параметрических возмущений, разработаны соответствующие методы синтеза адаптивных законов управления.

В данной работе предлагается математическую модель динамики (4) представить в виде линейного объекта с параметрическими и внешними возмущениями типа класса (5).

Представим (4) в виде

$$\begin{cases} \dfrac{di_я}{dt} = -\dfrac{R_я}{L_я} i_я - \dfrac{K_e}{L_я} \omega + \dfrac{1}{L_я} U_я, \\ \dfrac{d\omega}{dt} = \dfrac{K_м}{J_0 + \Delta J} i_я - \dfrac{M_{н0} - \Delta M_н}{J_0 + \Delta J}, \\ \dfrac{d\varphi}{dt} = \omega. \end{cases} \qquad (6)$$

Обозначим вектор состояния $X = (x_1, x_2, x_3)^t = (i_я, \omega, \varphi)^t$, а вектор управления (в нашем случае скаляр) $U = U_я$

Если представить систему (6) в виде (5), тогда мы имеем:

$$
\text{A} = \begin{pmatrix} \dfrac{-R_{ÿ}}{L_{ÿ}};\dfrac{-K_{å}}{L_{ÿ}};0 \\ 0; \quad 0; \quad 0 \\ 0; \quad 1; \quad 0 \end{pmatrix}; \quad B = \begin{pmatrix} \dfrac{1}{L_{ÿ}} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix};
$$

$$
\Delta \text{A} = \begin{pmatrix} 0; \quad 0 \ ;0 \\ \dfrac{\hat{E}_{ì}}{J_0 + \Delta J};0; \quad 0 \\ 0; \quad 0; \quad 0 \end{pmatrix}; \eta = \frac{\grave{I}_{ì0} - \Delta \grave{I}_{ì}}{J_0 + \Delta J}.
$$

Выше система (1) характеризует математическую модель динамики электропривода, когда управляемыми величинами являются угол поворота вала двигателя и его угловая скорость. Такие задачи характерны, в частности, для задач робототехники. Для задач управления электроприводами станков характерны задачи управления только угловой скоростью.

В этих случаях математическая модель динамики электропривода (при якорном управлении двигателем) выглядит следующим образом:

$$
\begin{cases} U_я = i_я R_я + L_я \dfrac{di_я}{dt} + K_e \omega, \\ J \dfrac{d\omega}{dt} = K_м i_я - M_н \end{cases}. \qquad (7)
$$

Для этого случая $J = const$, $M_н = M_{но} + \Delta M_н$, поэтому мы можем представить математическую модель в виде модели линейного объекта с внешним возмущающим воздействием

$$
\overset{0}{X} = Ax + Bu + \eta, \qquad (8)
$$

где

$$
A = \begin{pmatrix} \dfrac{-R_z}{L_я};\dfrac{-K_e}{L_я} \\ \dfrac{K_м}{J};0 \end{pmatrix}; \qquad B = \begin{pmatrix} \dfrac{1}{L_я} \\ 0 \end{pmatrix};
$$

$$
\eta = \frac{M_{н0} + \Delta M_н}{J}; \ X = (i_я;\omega); \ U = U_я
$$

Для различных приводов учет различных нелинейностей приводит, как мы видим выше, к различным математическим моделям постановки задачи адаптивного управления. На сегодняшний день вопросы адаптивного управления линейными объектами успешно решаются при помощи различных подходов. Так, в работе [1] рассматриваются решения различных задач адаптивного управления. В общем виде в этой работе решается задача осуществления движения управляемого объекта по предписанной программе (траектории). При этом классическая задача стабилизации теории автоматического управления, рассматривается как один частный случай задачи движения по предписанной программе.

Действительно, если предписанную программу движения задать в стандартной неявной форме

$$
\psi_i(x,t) = 0, \quad i = \overline{1,s}, \qquad (9)
$$

то задача стабилизации представляется в стандартной форме

$$
\Psi_i(x,t) = x_i - a_i = 0 \quad i = \overline{1,s}, \qquad (10)
$$

где $a_i - const$.

Приведем схему синтеза адаптивного закона управления для объектов, представленных в классе (5). Для упрощения, положим $\eta = 0$. Рассмотрим задачу адаптации в классе самонастраивающихся систем с эталонными моделями

$\overset{0}{X}_i = \grave{A}_i \cdot \tilde{O}_i$; $U = C_0 X - C_1 X_1$ (10)

где A_i - матрица коэффициентов эталонной модели;

$\tilde{N}_0$ - числовая матрица, выбираемая в соответствии с заданной матрицей $\grave{A}_i$;

$\tilde{N}_1$ - матрица настраиваемых коэффициентов адаптивного регулятора.

Рассмотрим систему (5) совместно с (10) и поставим задачу

$\varepsilon = X - X_i \xrightarrow{t\to\infty} 0$

Рассмотрим динамику изменения рассогласования

$\overset{0}{\varepsilon} = \overset{0}{X} - \overset{0}{X}_i = Ax + \Delta Ax + BC_0 x - BC_1 \tilde{o} + A_i \tilde{O}_i$ (11)

Выбор матрицы $\tilde{N}_0$ осуществим из условия согласовании

$$A + BC_0 = A_i, \qquad (12)$$

тогда

$\overset{0}{\varepsilon} = \grave{A}_i \cdot \varepsilon + (\Delta\grave{A} - \hat{A}\tilde{N}_1)\tilde{O} +$ (13)

К полученному выражению можно применить методику синтеза закона настройки матрицы настраиваемых параметров C_1 работы [1], где на основе применения метода функций Ляпунова получены результаты синтеза необходимых законов настройки м. C_1.

Применительно к рассматриваемой задаче, мы имеем закон настройки матрицы C_1

$$\frac{d(BC_1)_i}{dt} = X^T \cdot (\varepsilon, P_i), \qquad (14)$$

где $(\cdot)_i$ - обозначает i-ю строку;

$(\cdot,\cdot)$ - символ скалярного произведения;

$P_i - i$-ый столбец матрицы P, определяемый из уравнения

$A_i^T \cdot P + PA_i = -Q$, (15)

где Q- любая положительно определенная матрица.

Учет различного рода нелинейностей в электроприводе приводит к сложным математическим моделям. Вопросы анализа и синтеза таких систем наталкиваются на трудности, связанные с отсутствием к настоящему времени эффективных методов исследования. В данной работе предлагается задачу исследования сложной нелинейной системы свести к менее трудной задаче адаптивного управления линейным объектом.

Литература

1. Шаршеналиев Ж., Батырканов Ж.И. Синтез систем управления с заданными показателями качества. – Б.: Илим, 1991. – 174 с.

Батырканов Ж.И., Мамышев А.М. Компенсационный принцип управления //Вестник, наука Кустанайского социально-технического университета. № 3. –Кустанай, 2007.