

2. Бялецкая Е. М. Контроль и управление процессом передачи тепловой энергии // Вестник Астраханского гос. техн. ун-та. 2007. № 2 (37). С. 156–158.

3. Бялецкая Е. М. Автоматизация и диспетчеризация тепловых пунктов // Математические методы в технике и технологиях (ММТТ-20) : сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. : в 10 т. / под общ. ред. В. С. Балакирева. Ярославль : Изд-во Ярославского гос. техн. ун-та, 2007. Т. 7. С. 266–267.

4. Бялецкая Е. М., Шуршев В. Ф. Управление эффективностью деятельности предприятия тепловых сетей // Тенденции развития современных информационных технологий, моделей экономических, правовых и управленческих систем : сб. тр. III Всерос. межвуз. науч.-практ. конф. Рязань, 2006. С. 45–47.

СИНХРОНИЗАЦИЯ СЕТИ ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

А. В. Имангазиева

Астраханский государственный технический университет

Предлагается робастная система управления сетью объектов, динамические процессы в которых описываются линейными уравнениями. Робастный алгоритм управления, предложенный автором ранее для линейного объекта, дополнительно рассмотрен для формирования управляющего воздействия в каждой из локальных подсистем сети объектов. Для решения задачи синхронизации, в каждой из локальных подсистем, применяются специальным образом выбранные вспомогательный контур и наблюдатели переменных, что позволяет обеспечить выполнение цели управления с заданной динамической точностью. Для иллюстрации полученного результата приведен числовой пример системы управления синхронизацией сети линейных динамических объектов. Произведено моделирование в Simulink Matlab. Показано, что синтезированное управление в условиях параметрической неопределенности обеспечивает синхронизацию сети объектов с заданной точностью.

Ключевые слова: синхронизация сети, робастное управление, динамический объект, возмущение, динамическая точность.

SYNCHRONIZATION OF NETWORKS OF LINEAR DYNAMIC PLANTS

A. V. Imangazieva

Astrakhan State Technical University

Offers a robust network control system plants, dynamic processes which are described by linear equations. Robust control algorithm proposed by the author earlier for the line feature, further considered to generate the control action in each of the local subsystems of the network of plants. To solve the problem of synchronization, in each of the local subsystems are used in a special way the selected auxiliary circuit and observers of the variables that ensures compliance with management objectives with the desired dynamic accuracy. To illustrate the obtained results to the numerical example of the timing control system of a network of linear dynamic plants. Produced modeling in Simulink Matlab. It is shown that the synthesized control under parametric uncertainty ensures synchronization of the network of plants with a given accuracy.

Keywords: synchronization of networks, robust control, dynamic plant, perturbation, dynamic accuracy.

Введение. Бурное развитие новых технологических процессов, объектов техники, машиностроения и др. сопровождается интенсивными разработками в области теории робастного управления. К числу преимуществ робастных методов управления можно отнести строгий, теоретически обоснованный подход, учитывающий априорную неопределенность математической модели объекта управления.

В настоящей работе, в классе задач по робастному управлению, предложено решение задачи синхронизации сети линейных динамических объектов. В основу алгоритмов управления для локальных синхронизируемых взаимосвязных подсистем, в отличие от [1], взят алгоритм управления [2]. Для каждого из локальных объектов, с помощью введения вспомогательного контура [3] и двух наблюдателей [4] переменных, решена задача компенсации влияния внутренних возмущений. Под внутренними возмущениями понимается априорная неопределенность параметров математической модели объекта управления. Для иллюстрации полученного результата приведен числовой пример системы управления синхронизацией сети линейных динамических объектов. Показано, что синтезированное управление в условиях параметрической неопределенности обеспечивает синхронизацию сети объектов с заданной точностью.

Постановка задачи

Рассмотрим сеть, состоящую из r связанных объектов, математической моделью которой является следующая система уравнений:

$$\begin{aligned} \dot{x}_i(t) &= A_i x_i(t) + B_i u_i(t) + \Gamma_i f_i(t), \\ y_i(t) &= C_i x_i(t), \\ i &= \overline{1, r}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $x_i \in R^{n_i}$, $y_i(t)$ и $u_i(t)$ – скалярные регулируемые выходные переменные локальных объектов и управляющие воздействия, h – время запаздывания, $\varphi_i(\theta)$ – непрерывные векторные начальные функции, $f_i(t)$ – внешние возмущающие воздействия, A_i, B_i, Γ_i, C_i – числовые матрицы соответствующих порядков.

Требуемое качество переходных процессов в локальных объектах задается уравнением ведущей подсистемы

$$\begin{aligned} \dot{x}_m(t) &= A_m x_m(t) + B_m g_m(t), \\ y_m(t) &= C_m x_m(t), \\ x_m(\theta) &= \varphi_m(\theta), \quad i = \overline{1, r}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $x_m \in R^{n_m}$, $y_m(t)$ и $g(t)$ – скалярные выход эталонной модели и задающее воздействие, A_m, B_m, C_m – числовые матрицы соответствующих порядков, начальные условия нулевые.

Требуется получить алгоритмы синхронизации, обеспечивающие выполнение следующих целевых условий:

$$|y_i(t) - y_m(t)| < \delta \text{ при } t \geq T_0, i = \overline{1, r} \quad (3)$$

где δ – некоторое, достаточно малое число, T_0 – время, по истечении которого с начала функционирования системы должно выполняться целевое условие.

Предположения:

1. Локальные подсистемы являются управляемыми.
2. Известны диапазоны возможных значений элементов матриц A_i, B_i, Γ_i, C_i .
3. Внешние возмущение $f_i(t)$ и задающее воздействие $g_m(t)$ являются гладкими ограниченными функциями.
4. Производные регулируемой переменной и управляющего воздействия не измеряются.

Решение задачи

Следуя схеме формирования управляющего воздействия [2], получим следующую систему дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} u_i(t) &= T(p)\bar{v}_i(t), i = \overline{1, r} \\ \dot{\zeta}_i(t) &= F_{0i}\zeta_i(t) + B_{0i}(v_i(t) - \bar{v}_i(t)), \bar{v}_i(t) = L\zeta_i(t). \\ v_i(t) &= -\frac{1}{\beta}(p + a_m)\zeta_i(t), \\ \dot{z}_i(t) &= \frac{b_1}{\mu}(\zeta_i(t) - z_i(t)), \bar{\zeta}_i(t) = z_i(t). \end{aligned}$$

В предложенной системе управления $\bar{v}_i(t)$ – оценка сигнала $v_i(t)$, получаемая с наблюдателя [4]

$$\dot{\zeta}_i(t) = F_{0i}\zeta_i(t) + B_{0i}(v_i(t) - \bar{v}_i(t)), \bar{v}_i(t) = L\zeta_i(t).$$

Здесь $\zeta_i(t) \in R^{\gamma_i}$, F_{0i} – матрица в форме Фробениуса с нулевой нижней строкой, $L = [1, 0, \dots, 0]$, $B_{0i}^T = \left[\frac{b_{1i}}{\mu}, \dots, \frac{b_{\gamma_i i}}{\mu^{\gamma_i}} \right]$. Параметры $b_{1i}, \dots, b_{\gamma_i i}$ выбираются так, чтобы матрицы $F_i = F_{0i} + B_i L$ были гурвицевыми, $B_i^T = [b_{1i}, \dots, b_{\gamma_i i}]$.

Сигнал $\bar{\zeta}_i(t)$ – оценка сигнала $\zeta_i(t)$, получаемая с наблюдателя [4].

$$\dot{z}_i(t) = \frac{b_1}{\mu}(\zeta_i(t) - z_i(t)), \bar{\zeta}_i(t) = z_i(t).$$

Числовой пример

Рассмотрим объект управления, состоящий из трех динамических подсистем. Математическими моделями подсистем являются линейные дифференциальные уравнения

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} x_1 + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ b \end{bmatrix} u_1 + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} f_1, \\ y_1 &= [1 \ 0 \ 0] x_1, \end{aligned}$$

$$\dot{x}_2 = \begin{bmatrix} a_1 & 1 & 0 \\ a_2 & 0 & 1 \\ a_3 & 0 & 0 \end{bmatrix} x_2 + \begin{bmatrix} 0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} u_2 + \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \\ -3 \end{bmatrix} f_2,$$

$$y_2 = [1 \ 0 \ 0] x_2,$$

$$\dot{x}_3 = \begin{bmatrix} a_4 & 1 & 0 \\ a_5 & 0 & 1 \\ a_6 & 0 & 0 \end{bmatrix} x_3 + \begin{bmatrix} 0 \\ b_3 \\ b_4 \end{bmatrix} u_3 + \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \\ -3 \end{bmatrix} f_3,$$

$$y_3 = [1 \ 0 \ 0] x_3.$$

Поставленная задача синхронизации трех подсистем, как отмечено в предположении 2, решается в условиях параметрической неопределенности. Класс неопределенности задан неравенствами:

$$1 \leq a_{ij} \leq 3, \quad i \neq j, \quad -3 \leq a_{11} \leq 1, \quad -3 \leq a_{22} \leq 1, \\ -3 \leq a_{33} \leq 2, \quad 1 \leq b \leq 8, \quad -5 \leq a_i \leq 5, \quad 2 \leq b_k \leq 5, \quad k = \overline{1,3}, .$$

Уравнение ведущей подсистемы имеет следующий вид

$$\dot{x}_m = \begin{bmatrix} -8 & 1 & 0 \\ -15 & 0 & 1 \\ -10 & 0 & 0 \end{bmatrix} x_m + \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \\ 10 \end{bmatrix} g_m, \quad y_m = [1 \ 0 \ 0] x_m.$$

Следуя схеме формирования управляющего воздействия, предложенной в данной работе, выберем полином $T(\lambda) = 4\lambda^2 + 4\lambda + 1$, $\beta = 10$, $\mu = 0,01$, $a_m = 3$. Вспомогательные контуры вводятся в виде $(p+3)\bar{e}_i(t) = \beta v_i(t)$, а уравнения наблюдателей имеют вид

$$\begin{cases} \dot{\zeta}_{1i}(t) = \zeta_{2i}(t) + \frac{6}{\mu}(v_i(t) - \zeta_{1i}(t)), \\ \dot{\zeta}_{2i}(t) = \frac{8}{\mu^2}(v_i(t) - \zeta_{1i}(t)), \\ \bar{v}_i(t) = \zeta_{1i}(t), \end{cases} \quad \begin{cases} \dot{z}_i(t) = \frac{a_m}{\mu}(\zeta_i(t) - z_i(t)), \\ \bar{\zeta}_i(t) = z_i(t). \end{cases}$$

Управляющие воздействия формируются в виде

$$u_i(t) = 4\zeta_{1i}(t) + 4\zeta_{2i}(t) + \dot{\zeta}_{2i}(t), \\ v_i(t) = -\frac{1}{10}(3\zeta_i(t) + \dot{z}_i(t)).$$

Будем моделировать следующую математическую модель в пакете Simulink среды Matlab :

$$\dot{x}_1 = \begin{bmatrix} -3 & 3 & 3 \\ 4 & -3 & 1 \\ 3 & 2 & 1 \end{bmatrix} x_1 + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 2 \end{bmatrix} u_1 + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} f_1,$$

$$y_1 = [1 \ 0 \ 0] x_1,$$

$$\dot{x}_2 = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 3 & 0 & 1 \\ 3 & 0 & 0 \end{bmatrix} x_2 + \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \\ 5 \end{bmatrix} u_2 + \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \\ -3 \end{bmatrix} f_2,$$

$$y_2 = [1 \ 0 \ 0] x_2,$$

$$\dot{x}_3 = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 1 \\ 2 & 0 & 0 \end{bmatrix} x_3 + \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \\ 4 \end{bmatrix} u_3 + \begin{bmatrix} 0 \\ 2 \\ -3 \end{bmatrix} f_3,$$

$$y_3 = [1 \ 0 \ 0] x_3.$$

На рис. 1 представлены переходные процессы по выходу ведущей подсистемы управления и ошибкам синхронизации.

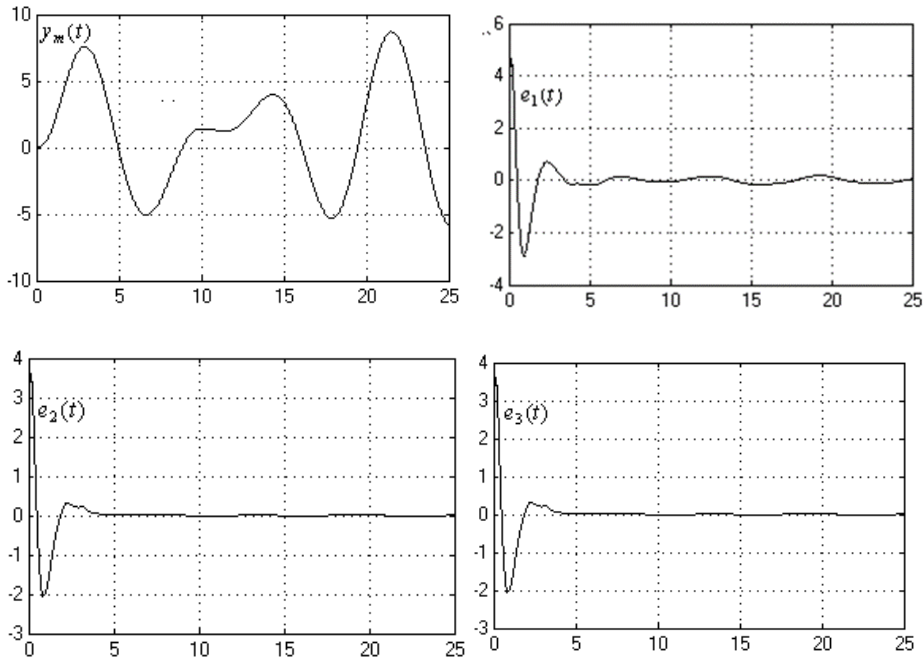


Рис. 1. Переходные процессы по выходу ведущей системы и ошибкам синхронизации

Начальные условия: $x_1(\theta) = [-2, -2, -2]^T$, $x_2(\theta) = [1, 1, 1]^T$, $x_3(\theta) = [1, 1, 1]^T$, $\theta \in [-3; 0]$. В системах управления $\beta_i = 10$, $\mu = 0,01$, $g_m = 10 + 5\sin t + 5\sin 0,7t$, $f_2 = f_3 = 2\sin 0,2t + 2\sin 0,7t$.

Таким образом, для объектов, рассмотренных в данном примере, предложенная схема формирования управляющих воздействий обеспечивают выполнение цели управления (3) с точностью, не превышающей значения 0,05 момента времени 5 с.

Заключение

В предложенной работе решена задача робастной синхронизации сети объектов управления, динамические процессы в которых описываются линейными дифференциальными уравнениями. Алгоритм, предложенный для линейных объектов с распределенным запаздыванием [2], рассмотрен с целью его использования для синхронизации сети объектов управления.

При решении задачи синхронизации, в отличие от [1], в основу алгоритмов управления для локальных взаимосвязанных подсистем, взят алгоритм управления [2]. В предложенной робастной системе используются два наблюдателя [4] производных переменных так, что второй

фильтр позволяет скомпенсировать погрешность наблюдения первого из них.

Список литературы

1. Цыкунов А. М. Робастная синхронизация сети объектов с распределенным запаздыванием // Автомат. и телемех. 2015. № 11. С. 60–75.
2. Имангазиева А. В. Робастная система слежения за эталонным сигналом линейного динамического объекта с распределенным запаздыванием // Вестник АГТУ. Сер. «Управление, вычислительная техника и информатика». 2015. № 4. С. 7–13.
3. Цыкунов А. М. Робастное управление с компенсацией возмущений. М. : Физматлит, 2012. 300 с.
4. Atassi A. N., Khalil H. K. Separation principle for the stabilization of class of nonlinear systems // IEEE Trans. Automat. Control. 1999. V. 44. No. 9. P. 1672–1687.

СОЗДАНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКАМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

*Х. А. Саттаров, К. К. Жураева, О. Р. Дехконов,
Н. Н. Мирзоев, И. Хонтураев*

Ташкентский университет информационных технологий

Основная цель данного исследования – разработка и внедрение высокоэффективных, надежных, экономичных источников энергии и автоматических регуляторов, обеспечивающие оптимальные режимы работы электрооборудований и электрических сетей. Для осуществления этой цели выполняются задачи по разработке конструкций автоматических регуляторов реактивной мощности и энергии для систем передачи, распределения и потребления электроэнергии на базе электронных, микропроцессорных и цифровых элементов.

Ключевые слова: источник энергии, автоматические регуляторы, электрооборудование, электрические сети.

THE CREATION OF HIGH PERFORMANCE CONTROL DEVICES SOURCES OF ELECTRICITY

*Kh. A. Sattarov, K. K. Djuraeva, O. R. Dehkonov,
N. N. Mirzoev, I. Khonturaev*

Tashkent University of information technologies

The main purpose of this research – development and implementation of highly effective, reliable, cost-effective energy sources and automatic controllers, ensuring optimal operation modes of electrical equipment and electrical networks. To achieve this goal, has the task of developing designs of automatic reactive power regulators and energy transmission, distribution and consumption of electricity on the basis of electronic, microprocessor and digital elements.

Keywords: energy source, automatic controls, electrical equipment, electrical networks.