

УДК 662.642:621.926.7

Б.С.Кустов (5 курс, каф. МПУ), Л.М.Яковис, д.т.н., проф.

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА МНОГОМЕРНЫХ ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ ИНЕРЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Одной из актуальных проблем промышленной автоматики является разработка эффективных систем управления сложными технологическими процессами, характеризующимися большим количеством взаимосвязанных показателей. Для управления инерционными объектами с запаздыванием, моделями которых описывается большая часть непрерывных технологических процессов, наибольшее распространение получили ПИ-регуляторы, однако в отличие от более простых одномерных объектов для многомерных систем такого рода имеет место дефицит инженерных методик настройки параметров закона регулирования. В данной работе предлагается новый метод настройки многомерных ПИ-регуляторов для многосвязного управления инерционными объектами с запаздыванием. Рассматривается наиболее сложный случай, когда запаздывание и инерционность по различным каналам передачи управляющих воздействий могут иметь существенно различные значения. Суть метода состоит в том, что вектор управляющих воздействий формируется в каждый момент времени в виде линейной комбинации двух составляющих, каждая из которых представляет собой выход многомерного ПИ-регулятора. Настройки первого ПИ-регулятора соответствуют объекту, полученному из исходного путем пренебрежения перекрестными связями. Второй ПИ-регулятор настраивается на управление объектом, совпадающим с исходным в статике, но отличающимся поведением в динамике за счет замены различных по каналам управления динамических операторов единым динамическим звеном с определенным образом сформированными параметрами. Настройки каждого из составляющих регуляторов формируются на основе метода динамической компенсации.

Рассмотрим n -мерный динамический объект с квадратной передаточной матрицей

$$\mathbf{H}(p) = [h_{ij}(p)], \quad h_{ij}(p) = \frac{K_{ij}}{T_{ij}p + 1} e^{-p\tau_{ij}}, \quad i, j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

управляемый с отрицательной обратной связью по отклонению n -вектора выходной переменной от задания с использованием ПИ-регулятора с передаточной матрицей

$$\mathbf{W}(p) = [w_{ij}(p)], \quad w_{ij}(p) = a_{ij} + b_{ij}/p, \quad i, j = \overline{1, n}. \quad (2)$$

В соответствии с изложенной выше схемой примем, что

$$\mathbf{W}(p) = \rho \mathbf{W}^{(1)}(p) + (1 - \rho) \mathbf{W}^{(2)}(p), \quad (3)$$

где $\mathbf{W}^{(1)}(p)$ и $\mathbf{W}^{(2)}(p)$ - передаточные матрицы вспомогательных ПИ-регуляторов, имеющие ту же структуру, что и передаточная матрица (2), а ρ - подлежащий выбору весовой коэффициент, причем $\rho \in [0, 1]$.

Диагональная передаточная матрица $W^{(1)}(p)$ составляется из передаточных функций автономных ПИ-регуляторов, причем их параметры могут быть, вообще говоря, рассчитаны по любой из известных методик. В частности, может быть использована схема динамической компенсации, когда параметры регулятора выбираются из условия соответствия передаточной функции замкнутой системы управлению заданному эталонному образцу. Так, следуя методике [1], рекомендуется принять

$$W^{(1)}(p) = \text{diag}\{w_{11}^{(1)}, \dots, w_{nn}^{(1)}\}, \text{ где } w_{ii}^{(1)}(p) = a_{ii}^{(1)} + b_{ii}^{(1)}/p, \quad a_{ii}^{(1)} = Tb_{ii}^{(1)}, \quad b_{ii}^{(1)} = \frac{0,739}{\tau_{ii}K_{ii}}. \quad (4)$$

Как уже говорилось, передаточная матрица $W^{(2)}(p)$ формируется для регулирования объекта, имеющего ту же матрицу статических коэффициентов усиления, что исходный объект (1), но единую динамику по всем каналам управления, то есть

$$H^{(2)}(p) = H(0) \frac{1}{T^{(2)}p + 1} e^{-p\tau^{(2)}}, \quad i, j = \overline{1, n}. \quad (5)$$

Динамические показатели в (5) определяются по правилу

$$T^{(2)} = \min_{i, j} \{T_{ij}\}, \quad \tau^{(2)} = \max_{i, j} \{\tau_{ij}\}, \quad i, j = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Расчет параметров многомерного ПИ-регулятора $W^{(2)}(p)$ для объекта $H^{(2)}(p)$ по методу динамической компенсации [1] приводит к соотношениям

$$W^{(2)}(p) = [H(0)]^{-1} (a^{(2)} + b^{(2)}/p), \quad \text{где } a^{(2)} = T^{(2)}b^{(2)}, \quad b^{(2)} = \frac{0,739}{\tau^{(2)}}, \quad (7)$$

причем выбор $T^{(2)}$ и $\tau^{(2)}$ по правилу (6) соответствует минимизации коэффициентов усиления регулятора $a^{(2)}$ и $b^{(2)}$, что в свою очередь, ведет к повышению “осторожности” при формировании управляющих воздействий.

Что касается выбора весовых коэффициентов ρ в комбинированном регуляторе (3), то он может осуществляться различным образом. Первый из рассматривавшихся способов предполагает использование для расчета ρ так называемой матрицы Бристоля, которая характеризует степень связности многомерного объекта [2]

$$\lambda = [\lambda_{ij}], \quad \text{где } \lambda_{ij} = [H(0)]_{ij} [(H(0)^T)^{-1}]_{ij}. \quad (8)$$

Руководствуясь тем, что влияние перекрестных связей тем меньше, чем большую диагональную доминантность имеет данная матрица, примем для расчета ρ правило

$$\rho = \|\lambda_{diag}\| / \|\lambda\|, \quad \text{где } \lambda_{diag} = \text{diag}\{\lambda_{11}, \dots, \lambda_{nn}\}, \quad \|\lambda_{diag}\| = \sum_{i=1}^n |\lambda_{ii}|, \quad \|\lambda\| = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |\lambda_{ij}|. \quad (9)$$

Другой, поисковый, способ определения значения ρ заключается в численном определении весового коэффициента из условия оптимизации того или иного показателя качества управления объектом (1) при использовании регулятора (3). Предложено обобщение комбинированного метода, заключающееся в том, что скалярный параметр ρ заменяется диагональной матрицей ρ . Реализация и исследование рассмотренного метода управления для двумерного объекта, подтвердившее его работоспособность, осуществлены методом имитационного моделирования в программной среде MATLAB-Simulink.

Моделирование, в частности, показало, что более простой расчет ρ по первому способу приемлем лишь для объектов с близкой динамикой по разным каналам управления.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кондрат А.С., Яковис Л.М. Компенсационный метод настройки регуляторов для инерционных объектов с запаздыванием // XXXII Неделя науки СПбГПУ: Ч. IV. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004, с.27-28.
2. Рей У. Методы управления технологическими процессами. М.: Мир, 1983.