

СИНТЕЗ МНОГОКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ

Т.А. Щелканова
Томский политехнический университет
Zene4ka@sibmail.com

Введение

В теории и практике автоматического управления основные вопросы связаны с синтезом коррекции, придающей системам заданные свойства. Задача полностью решена для одноконтурных систем управления. Однако в случае многоконтурных систем автоматического управления (САУ), существуют трудности, которые не позволяют достигать, а иногда даже приближаться с заданной точностью к наилучшему решению в рамках заданных структур и критериев.

Распространение традиционного для одноконтурных САУ подхода к расчету таких структур – сопоставление желаемой передаточной функции и передаточной функции синтезируемой САУ – приводит к уравнениям, которые содержат несколько неизвестных коэффициентов, определенных моделями регуляторов и обратных связей [1].

Сложность уравнений состоит в том, что они являются нелинейными. Поэтому для синтеза САУ в общем случае приходится использовать приближенные способы поиска решения. Наиболее распространенный – последовательный расчет контуров, начиная с внутреннего [2, 3]. Недостатки такого варианта очевидны. Принятая схема требует распределения желаемых показателей САУ на каждый контур синтезируемой системы, что можно сделать только приближенно. Таким образом, появляется дополнительная погрешность в итоговом результате синтеза.

Желание повысить точность построения многоконтурных систем заставляет искать пути вычисления неизвестных коэффициентов, не используя приближенные методы, включая последовательный синтез контуров. Это возможно только в том случае, если удастся разрешить исходное уравнение синтеза. В настоящей работе рассматривается один из таких подходов.

1. Вещественный интерполяционный метод

Вещественный интерполяционный метод (ВИМ) относится к классу операторных методов, которые ставят в соответствие функции-оригиналу $f(t)$ изображение $F(\delta)$ [4]. Функция-изображение $F(\delta)$ может быть получена из формулы преобразования Лапласа

$$F(p) = \int_0^{\infty} f(t) \cdot e^{-Pt} dt, \quad p = \delta + j\omega \quad (1)$$

при замене комплексной переменной $p = \delta + j\omega$ на вещественную δ . Такая замена может быть осуществлена при условии сходимости интеграла в

(3), что гарантирует существование и единственность функции $F(\delta)$.

Особенностью ВИМ является то, что изображение функции $f(t)$ может быть получено как в аналитической форме, простой заменой в соответствующей формуле Лапласа комплексной переменной s на вещественную переменную δ , так и в виде графика $F(\delta)$ и набора отсчетов $F(\delta_i)$, называемого численной характеристикой (ЧХ). Предполагается, что ЧХ несет полную информацию об исходной модели и потому возможен однозначный переход к непрерывной форме. Применительно к понижению порядка использование модели в форме ЧХ позволяет сравнительно просто реализовать вычислительные аспекты этой процедуры.

Решение задачи синтеза системы управления с привлечением ВИМ базируется на приближенном равенстве численной характеристики синтезируемой системы и численной характеристики эталонной системы

$$W_{зам}^{жел}(\delta_i) = W_{зам}^{синт}(\delta_i), \quad (2)$$

где δ_i – узел интерполирования, i – номер узла интерполирования.

Рассмотрим возможности и особенности представленного метода для решения задач синтеза регуляторов многоконтурных САУ. Для упрощения задачи с сохранением ее принципиальных особенностей исследование выполним на примере двухконтурной системы.

2. Синтез двухконтурной системы управления

Задача синтеза двухконтурной системы управления (рис. 1) сводится к решению уравнения (2).

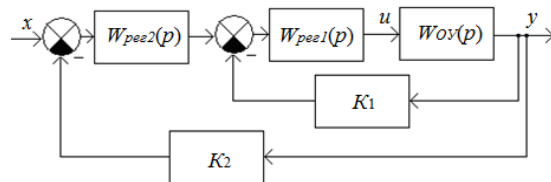


Рис. 1. Операторно-структурная схема двухконтурной САУ

Примем, что регуляторы $W_{pec1}(p)$ и $W_{pec2}(p)$ имеют структуру

$$\begin{aligned} W_{Pez2}(\delta) &= \frac{b_{Pez2_1}\delta + b_{Pez2_0}}{a_{Pez2_1}\delta + 1}; \\ W_{Pez1}(p) &= \frac{b_{Pez1_1}\delta + b_{Pez1_0}}{a_{Pez1_1}\delta + 1}. \end{aligned} \quad (3)$$

Таким образом, видно, что для решения задачи необходимо определить значения шести неизвестных параметров. Для этого необходимо вычислить численные характеристики $W_{зам}^{жел}(\delta_i)$ для шести узлов интерполирования. В результате получаем систему из шести уравнений с шестью неизвестными.

Ранее в [5] выбор узлов интерполирования осуществлялся из условия их равномерного распределения. В настоящей работе выбор узлов интерполирования осуществляем в соответствии на основе нулей полиномов Чебышева [6]:

$$T_{n+1}(x) = x \cdot T_n(x) - \frac{1}{4} T_{n-1}(x), \quad x \in [-1, 1]. \quad (4)$$

Для применения (4) к решению задачи (2) необходимо согласовать интервалы определения рассматриваемых функций. Для этого введем переменную t подстановкой

$$x = 2e^{-at} - 1. \quad (5)$$

Для определения значений узлов интерполирования выберем полином $T_n(t)$ и найдем его δ -изображение по (5). В результате получаем

$$\delta_i = \frac{1+x_i}{1-x_i} a. \quad (6)$$

Преобразовав выражение (2) с учетом рис. 1 и выражений (3) получаем систему уравнений:

$$\begin{aligned} W_{зам}^{жел}(\delta_i) + W_{зам}^{жел}(\delta_i) \cdot ((a_{Pez2_1} \cdot a_{Pez1_1} + K_1 \cdot \\ \cdot a_{Pez2_1} \cdot b_{Pez1_1}) \cdot \delta_i^2 + (a_{Pez2_1} + a_{Pez1_1} + K_1 \cdot \\ \cdot b_{Pez1_1} + K_1 \cdot a_{Pez2_1} \cdot b_{Pez1_0}) \cdot \delta_i + K_1 \cdot b_{Pez1_0} + \\ + 1) \cdot W_{OY}(\delta_i) + W_{зам}^{жел}(\delta_i) \cdot K_2 \cdot (b_{Pez2_1} \cdot b_{Pez1_1} \cdot \\ \cdot \delta_i^2 + (b_{Pez2_1} \cdot b_{Pez1_0} + b_{Pez2_0} \cdot b_{Pez1_1}) \cdot \delta_i + \\ + b_{Pez2_0} \cdot b_{Pez1_0}) \cdot W_{OY}(\delta_i) = \\ = (b_{Pez2_1} \cdot b_{Pez1_1} \cdot \delta_i^2 + (b_{Pez2_1} \cdot b_{Pez1_0} + b_{Pez2_0} \cdot \\ \cdot b_{Pez1_1}) \cdot \delta_i + b_{Pez2_0} \cdot b_{Pez1_0}) \cdot W_{OY}(\delta_i). \end{aligned} \quad (7)$$

3. Расчетный пример: расчет регуляторов системы управления электроприводом

В качестве эталонной системы принимаем двухконтурную САУ электроприводом из [7]. В соответствии с [7] передаточная функция разомкнутой эталонной системы имеет вид:

$$\begin{aligned} W_{раз}^{жел} &= (138,0\delta^3 + 18691,0\delta^2 + 16315,0\delta + 3395,0) / \\ &/ (5,81 \cdot 10^{-11}\delta^7 + 5,63 \cdot 10^{-7}\delta^6 + 0,0042\delta^5 + 0,975\delta^4 + \\ &+ 83,1\delta^3 + 3515,0\delta^2 + 3053,0\delta + 632,0). \end{aligned}$$

Для упрощения задачи два коэффициента определяем из условия статики: $b_{0П} = 5,373$ и $b_{0С} = 22,072$. Таким образом, имеем 4 неизвестных: $b_{1П}$, $a_{1П}$, $b_{1С}$, $a_{1С}$. Следовательно, необходимо определить четыре узла интерполирования. Для этого воспользуемся выражением (6): $\delta_1 = 0,44647a$; $\delta_2 = 2,2398a$; $\delta_3 = 0,039556a$; $\delta_4 = 25,274a$.

Варьируя значение свободной переменной a осуществляем поиск оптимального расположения узлов. При этом решение нелинейной системы уравнений (7) осуществляем методом Ньютона.

Получаем, что при $a=0,005$ приемлемое по точности решение получено в результате 8 итераций: $b_{0П} = 5,373$; $b_{0С} = 22,072$; $b_{1П} = 15,861$; $a_{1П} = 2,978$; $b_{1С} = 22,072$; $a_{1С} = 9,449 \cdot 10^{-3}$.

Заключение

Представленный способ синтеза САУ с несколькими неизвестными обратными связями и регуляторами проверен на примере двухконтурной системы. При сравнении полученных результатов с [5] видно, что использование неравномерного расположения узлов интерполирования на основе полиномов Чебышева приводит к наилучшим результатам, что при решении той же задачи при равномерном распределении узлов.

Литература

1. I. Murray, Richard M. Feedback control systems. Version 2. 2008;
2. Kessler, C.: Das symmetrische Optimum. Teil 1, rt 6 (1958), Nr.11, S. 395-400 und Teil 2, rt (1958), Nr. 12, S. 432-436;
3. Коцегуб П.Х., Толочко О.И. Оптимизация систем управления по модулю амплитудно-частотной характеристики. - Изв. вузов, Электромеханика, 1977, №6, с.679-684;
4. Гончаров В.И. Вещественный интерполяционный метод синтеза систем автоматического управления. – Томск: Изд-во ТПУ, 1995. – 108 с.
5. Т.А. Shchelkanova, V.I. Goncharov. The synthesis of multi-loop control systems;
6. Гончаров В.И. Вещественный интерполяционный метод синтеза систем автоматического управления. – Томск: Изд-во ТПУ, 1995. – 108 с.
7. А.С. Алексеев, С.В. Замятин, Д.А. Плотников. Определение момента инерции электропривода по временным характеристикам. // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314. – № 5. – С. 65–69.