

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРОМ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА, УДОВЛЕТВОРЯЮЩЕЙ ТРЕБОВАНИЯМ РОБАСТНОГО КАЧЕСТВА

Канд. техн. наук **НЕСЕНЧУК А. А.**

Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси

Проблема достижения робастного качества систем автоматического управления (САУ) связана с размещением корней характеристического уравнения системы в заданной области на комплексной плоскости p . Одной из решаемых в этой связи задач является определение области расположения корней заданного характеристического уравнения динамической системы [1]. Другая задача представляет собой нахождение условий расположения корней в заданной области. Анализируются области заданной геометрической формы [2] и выпуклые области [3]. В [4] описан метод локализации корней в заданной области трапецидальной формы.

В настоящей работе рассматривается процедура параметрического синтеза системы автоматического управления манипулятором промышленного робота, параметры которой подвержены изменениям по причине изменений момента инерции нагрузки. Используется подход, основанный на применении полей корневых траекторий, отличающийся простотой и легко реализуемый на компьютере.

Постановка задачи и используемая методика. Рассмотрим систему автоматического управления, динамика которой описывается семейством характеристических полиномов вида

$$h(p) = p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n, \quad p = \delta + i\omega, \quad (1)$$

где $a_1, \dots, a_n$ – переменные коэффициенты (могут быть как действительными, так и комплексными числами), каждый из которых линейно зависит от некоторого неопределенного параметра системы. Задача состоит в том, чтобы определить область D значений неопределенного параметра (обозначим его через k), обеспечивающих требуемое качество системы, т. е. заданные значения колебательности β и

степени устойчивости η . Эти значения ограничены трапецидальной областью Λ (рис. 1). Размещение значений k в области D должно обеспечить Λ -устойчивость системы, т. е. расположение корней (например, p_1, p_2, p_3, p_4 на рис. 1) уравнения (1) внутри заданной области Λ , называемой областью качества.

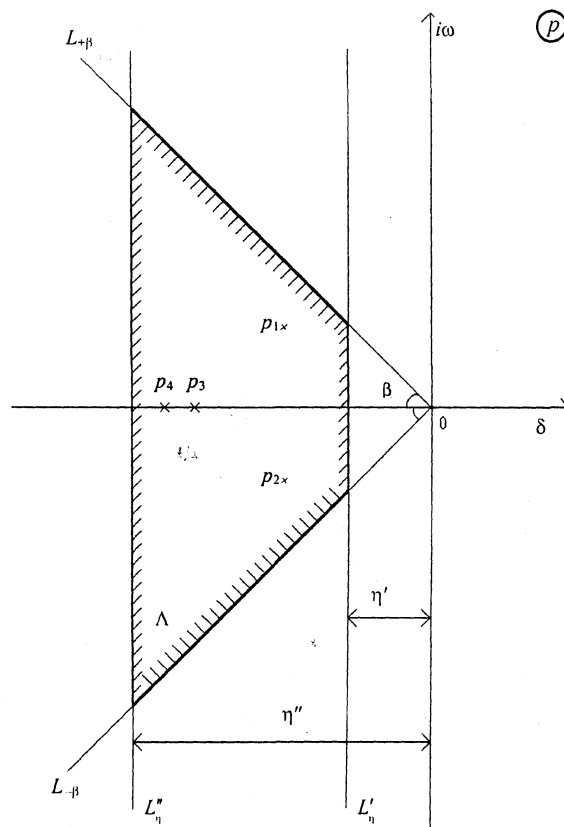


Рис. 1. Область Λ , ограничивающая желаемые характеристики качества системы

Основные положения, имеющие отношение к решению данной задачи, приведены в [4, 5]. Область D определяется как дисковая область, расположенная в комплексной плоскости переменного параметра k . Используемый метод [4]

основан на введении полей корневых траекторий кругового образа (ПКТКО), которые также имеют название круговых полей. Приведем их краткое описание.

Согласно [5], комплексный потенциал скалярного поля корневых траекторий задается во всех точках расширенной комплексной плоскости k посредством задания существования образа корневого годографа во всей плоскости. Положим, что параметр k изменяется по заданной окружности радиуса ρ , которая является образом поля корневых траекторий и координаты центра которой по осям iv и u плоскости k равны a и b соответственно. Предположив, что радиус ρ представляет собой параметр поля и существует на определенном интервале значений (в данном случае во всей плоскости k), зададим круговое поле корневых траекторий уравнением его линий уровня

$$f_c(\delta, \omega, a, b) = \rho^2, \quad (2)$$

где $a = \text{const}$ и $b = \text{const}$.

Пример кругового поля, заданного линиями уровня (2), приведен на рис. 2.

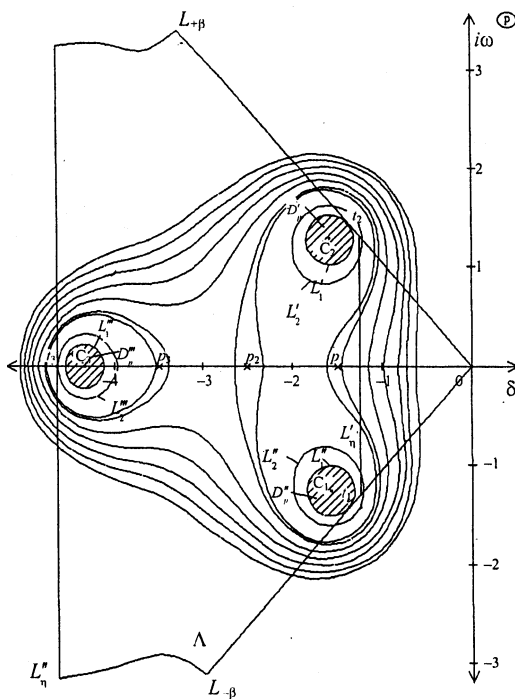


Рис. 2. Область D_p значений корней, вписанная в заданную область Λ

Будем искать требуемую область качества D значений неопределенного параметра в форме диска, ограниченного окружностью, представляющей собой образ линии уровня поля, ограничивающей область D_p корней, полностью

принадлежащую заданной области Λ . Задача решается посредством вписывания линии уровня предварительно ориентированного [4] поля корневых траекторий в заданную область Λ .

Вписанная линия уровня L_p (на рис. 2 это линия L_p (L'_p , L''_p , L'''_p)) ограничивает многолистную область D_p (заштрихованные листы D'_p , D''_p , D'''_p) корней (1). Метод вписывания линии уровня основан на нахождении координат общих точек (точек касания) линии L_p и границ области Λ , например точек t_1 и t_2 на рис. 2.

Процедура параметрического синтеза системы автоматического управления манипулятором. Значительное количество промышленных роботов используется для транспортировки различных изделий, например для установки деталей и режущих инструментов в приспособлениях металлорежущих станков и т. д. Рабочие нагрузки роботов изменяются в зависимости от изменения веса переносимых ими изделий, т. е. изменяется момент инерции нагрузки j_n , что вызывает соответствующее изменение коэффициентов характеристического уравнения динамической системы. В настоящее время параметрический синтез системы управления манипулятором выполняется вручную с использованием метода проб и ошибок. Рассмотрим применение описанного выше аналитического метода для синтеза системы управления плечом манипулятора (рис. 3).

На рис. 3 представлена общая структурная схема САУ звена (плеча) манипулятора. $W_o(p) = W'_o(p)/p$ – передаточная функция объекта управления; K_c и K_n – коэффициенты усиления регуляторов по скорости и положению соответственно.

Передаточная функция объекта управления имеет вид

$$W_o(p) = \frac{\Phi}{U_3} = \frac{1}{(j_{дв} + j_n) \frac{L_a}{C_m} p^3 + (j_{дв} + j_n) \frac{R_a}{C_m} p^2 + C_e p}, \quad (3)$$

где U_3 – задающее напряжение; Φ – угол поворота вала объекта.

На основании (3) запишем характеристическое уравнение САУ звена манипулятора:

$$p^4 + \frac{R_a}{L_a} p^3 + \frac{C_e C_m}{(j_{дв} + j_n) L_a} p^2 + \frac{C_m K_1 K_c}{(j_{дв} + j_n) L_a T} p + \frac{C_m K_2 K_n K_c}{(j_{дв} + j_n) L_a T} = 0 \quad (4)$$

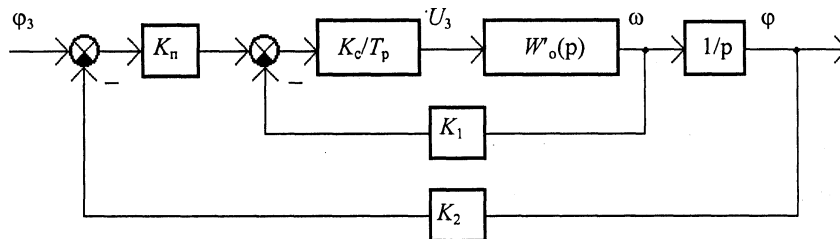


Рис. 3. Структура системы управления положением плеча манипулятора

или в общем виде

$$a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4 = 0, \quad (5)$$

где (на основании (4)):

$$a_0 = 1; a_1 = \frac{R_{\text{я}}}{L_{\text{я}}}; a_2 = \frac{C_e C_M}{(j_{\text{дв}} + j_{\text{н}}) L_{\text{я}}};$$

$$a_3 = \frac{C_M K_1 K_c}{(j_{\text{дв}} + j_{\text{н}}) L_{\text{я}} T}; a_4 = \frac{C_M K_2 K_p K_c}{(j_{\text{дв}} + j_{\text{н}}) L_{\text{я}} T};$$

$R_{\text{я}}$ – сопротивление якоря ($R_{\text{я}} = 0,63 \text{ Ом}$); $L_{\text{я}}$ – индуктивность якоря ($L_{\text{я}} = 0,0014 \text{ Гн}$); $j_{\text{н}}$ – момент инерции нагрузки ($j_{\text{н}} = 2,04 \cdot 10^{-5} \text{ кг}\cdot\text{м}^2$); $j_{\text{дв}}$ – момент инерции якоря ($j_{\text{дв}} = 40,8 \cdot 10^{-5} \text{ кг}\cdot\text{м}^2$); C_e – электромеханический коэффициент двигателя ($C_e = 0,16 \text{ В}\cdot\text{с/рад}$); C_M – конструктивная постоянная двигателя ($C_M = C_e$); T – постоянная времени ПИ-регулятора ($T = 0,23 \text{ с}$); K_1 и K_2 – коэффициенты ФИД ($K_1 = 66,7$, $K_2 = 250$); K_c и K_p – коэффициенты усиления регуляторов по скорости и положению соответственно ($K_c = 0,078$; $K_p = 2,5$). В скобках приведены номинальные значения параметров.

Подставив номинальные числовые значения, запишем характеристическое уравнение звена

$$p^4 + 0,5 \cdot 10^3 p^3 + 0,427 \cdot 10^5 p^2 + 0,6 \cdot 10^7 p + 0,56 \cdot 10^8 = 0. \quad (6)$$

Нагрузка на звенья манипулятора изменяется в зависимости от веса переносимых изделий, т. е. меняется момент инерции нагрузки $j_{\text{н}}$, который очевидно линейно входит в коэффициенты характеристического уравнения (5).

Учитывая наличие существенных изменений момента инерции $j_{\text{н}}$ нагрузки, требуется найти область D значений $j_{\text{н}}$, при которых обеспечивается расположение корней (5) внутри заданной области качества. Область качества ограничена линиями (рис. 1) $\delta = L'_{\eta} = -50$, $\delta = L''_{\eta} = -400$; угол β наклона линии $L_{+\beta}$ к оси δ равен $\beta = 45^\circ$ ($\text{tg} \beta = 1$).

Для вычисления искомой области значений $j_{\text{н}}$ используется система программ RLFLD [6] комплекса программ GRLT [5] исследования и

расчета динамических систем на основе общей теории корневых траекторий. Входными данными являются коэффициенты (5), информация о переменных коэффициентах и параметры области качества. После генерации уравнения линий уровня поля ПКТКО (2) в соответствии с описанным выше алгоритмом решения задачи вычисляется радиус ρ области D значений переменного параметра. Для рассматриваемого случая он равен $\rho = 0,621 \cdot 10^8$. Любое значение переменного параметра с модулем, меньшим $0,621 \cdot 10^8$, будет обеспечивать требуемое качество управления положением плеча рассматриваемого манипулятора.

ВЫВОД

В работе рассмотрено применение метода параметрического синтеза семейств динамических систем с неопределенностью, удовлетворяющих заданным требованиям качества, для автоматизированного синтеза системы управления манипулятором промышленного робота. Метод прост в применении и основан на использовании полей корневых траекторий динамических систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сиразетдинов Р. Т. Построение гарантированной области расположения нулей и полюсов передаточных функций динамических систем // АИТ. – 1988. – № 7.
2. Vicino A. Robustness of pole location in perturbed systems // Automatica. – 1989. – Vol. 25, № 1. – P. 109–113.
3. Shaw J., Jayasuriya S. Robust stability of an interval plant with respect to a convex region in the complex plane // IEEE Trans. Automat. Control. – 1993. – Vol. 38, № 2. – P. 284–287.
4. Rimsky G. V., Nesenchuk A. A. Root locus methods for robust control systems quality and stability investigations // Proceedings IFAC 13th Triennial Congress. San Francisco, USA. June 30–July 5, 1996. – Vol. G. – P. 469–474.
5. Римский Г. В., Таборовец В. В. Автоматизация исследований динамических систем. – Мн.: Наука и техника, 1978.
6. Несенчук А. А., Микулик Г. С. Комплекс программ исследования динамических систем с неопределенными параметрами на основе общей теории корневых траекторий // Современные проблемы обеспечения качества инженерного образования: Материалы респ. науч.-метод. конф. 15–16 мая 2003 г., Минск. – Мн.: УП «Технопринт», 2003. – С. 23–31.