

АЛГОРИТМ НАСТРОЙКИ ПАРАМЕТРОВ НЕЛИНЕЙНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Халматов Д.А., Алимова Г.Р., Мирзаахмедова Х.Б. Хужаназаров У.О.

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,
holdav@mail.ru

Рассмотрены вопросы настройки параметров нелинейных регуляторов систем автоматического управления технологическими процессами на основе мнимых частот. Предложен эффективный алгоритм настройки параметров регуляторов. При этом для аппроксимации входной координаты нелинейного элемента предложен метод обобщенной линеаризации. Решение задачи определения настроечных параметров регулятора определяется применением метода наименьших квадратов, который обеспечить минимизации интеграла квадратичной ошибки воспроизведения желаемого процесса с фактическим.

Пусть динамический процесс в нелинейной системе при свободном движении описывается уравнением.

$$D(p, K_j) \cdot x + G(p, K_j) \cdot F(x, px) = 0$$

где $D(p, K_j)$ и $G(p, K_j)$ – полиномы от оператора дифференцирования с вещественными постоянными коэффициентами, $F(x, px)$ – нелинейная функция, K_j – настроечные параметры системы, $j = 1, s, x$ – входная координата нелинейного звена.

Предложим, что коэффициенты полиномов $D(p, K_j)$ и $G(p, K_j)$ линейно зависят от настроечных параметров K_j , т.е.

$$\begin{aligned} D(p, K_j) &= D_0(p) + \sum_{j=1}^s K_j \cdot D_j(p), \\ G(p, K_j) &= G_0(p) + \sum_{j=1}^s K_j \cdot G_j(p), \end{aligned} \quad (1)$$

где D_0, D_j, G_0, G_j – известные полиномы от P .

Согласно постановке задачи известен желаемый переходный процесс системы $x^0(t)$ и соответствующей ему изображение

$$X^0(p) = \frac{M^0(p)}{N^0(p)} \Leftrightarrow x^0(t),$$

где M^0 и N^0 – полиномы от P .

Если предполагать, что переходная функция нелинейной системы в общем случае n -го порядка достаточно хорошо аппроксимируется переходной функцией системы второго порядка, то изображение переходной функции (2) будет иметь вид [1]:

$$X^0(p) = A_0 \frac{(\alpha_1/2) + 1}{\alpha_0 \cdot p^e + \alpha_1 \cdot p + 1} = x^0(t).$$

Здесь A_0 определяет статизм системы, λ_0 и λ_1 - параметры изображения, связанные с временем переходного режима t_{π} и максимальным отклонением в переходном режиме A_1 соотношениями.

$$\alpha_0 = \frac{[\ln((A_1/A_0) - 1)]^2}{(9/t_n^2) \cdot \{[\ln((A_1/A_0) - 1)]^2 + \pi\}} \quad (2)$$

В этом случае переходные процессы по входным координатам нелинейных функции могут быть описаны затухающими составляющими вида

$$x_k(t) = a_k \cdot e^{-\rho \cdot t} \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_k), \quad k = 1, r,$$

где $\rho = 3/t_n$ $\omega = \frac{\rho \cdot \pi}{[\ln(A_1/A_0) - 1]}$

a_k и φ_k - амплитуды и фазовые сдвиги.

После обобщенной линеаризации нелинейной функции $F(x, px)$, т.е. замены ее согласно [2,3] квазилинейным выражением

$F(x, px) = g \cdot x + g' \cdot p \cdot x$ получим линеаризованное уравнение системы в виде:

$$[D(p, K_j) + (g + g' \cdot p) \cdot G(p, K_j)] \cdot x = 0, \quad (3)$$

где $g = \frac{I_{22} \cdot I_1 - I_{12} \cdot I_2}{I_{11} \cdot I_{22} - I_{12}^2},$

$$g' = \frac{I_{11} \cdot I_2 - I_{21} \cdot I_1}{I_{11} \cdot I_{22} - I_{12}^2} \quad (4)$$

- коэффициенты обобщенной линеаризации, причем

$$I_{11} = \int_0^T x^2(t) dt \quad I_{12} = I_{21} = \int_0^T x(t) \cdot x'(t) dt \quad I_{22} = \int_0^T x'^2(t) dt \quad (5)$$

Интегралы $I_{11}, I_{12}, I_{21}, I_{22}$, зависят лишь от вида и параметров данного процесса $x(t)$ (в частности, его амплитуды, частоты, начальной фазы, коэффициентов затухания и другие.), а также от вида и параметров нелинейности, благодаря чему уравнения обобщенной линеаризации имеет вид:

$$y(t) = F[x(t), x'(t)] \approx y_n(t) = g \cdot x(t) + g' \cdot x'(t), \quad (6)$$

так же как и в методе гармонической линеаризации, содержит информацию об основных нелинейных свойствах звена $y = F(x, x')$. В отличие от метода гармонической линеаризации, аппроксимация входной координаты нелинейного звена $y(t)$ функцией $y_n(t)$ выполняется здесь с наименьшей квадратичной ошибкой независимо от вида входной координаты. Это обстоятельство дает возможность при использовании обобщенной линеаризации исследовать как колебательные, так и апериодические и монотонные процессы в динамике нелинейной системе.

В частном случае однозначной нелинейности $y = F(x)$ приближенное решение (6) приобретает вид

$$y_n = g \cdot x(t)$$

и в результате минимизации функционалов

$$I = \int_0^T [y(t) - y_n(t)]^2 dt.$$

Получим

$$g = I' / I'',$$

где
$$I = \int_0^T x^2(t) dt, \quad I'' = \int_0^T F[x(t)] \cdot x(t) \cdot dt$$

Здесь верхний предел T в дальнейшем принимается равным бесконечности в случае апериодических процессов и кратном полупериоду колебаний в случае затухающих колебательных процессов.

Далее определив, для желаемого процесса $x^0(t)$ в соответствии с методикой, изложенной выше, значения коэффициентов g и g' по линеаризованному уравнению (3) с учетом заданных начальных условий $x(0), x'(0), \dots, x^{(n-1)}(0)$, запишем изображение координаты системы $x(t) = X(p)$, которое будет следующим:

$$X(p, K_j) = \frac{M(p) + \sum_{j=1}^s K_j \cdot M_j(p)}{N(p) + \sum_{j=1}^s K_j \cdot N_j(p)} \Leftrightarrow x(t) \quad (7)$$

где M, M_j, N, N_j - известные полиномы от P .

Для получения зависимостей между настроечными параметрами, обеспечивающих наилучшее воспроизведение желаемого процесса $x^0(t)$, в соответствии с процедурой, изложенной в [1, 4], принимается

$$X(p, K_j) = X^0(p). \quad (8)$$

Уравнение (8) после постановки в него выражений (2) и (7) производится к виду

$$M^0(p) = \sum_{j=1}^s K_j \cdot N_j(p) - N^0(p) \cdot \sum_{j=1}^s K_j \cdot M_j(p) = N^0(p) \cdot M(p) \cdot N(p) \quad (9)$$

По полученному выражению (9) записывается l условных уравнений для l узлов аппроксимации $p = \delta_v$ (δ принимает положительные вещественные значения и рекомендуется располагать их по закону геометрической прогрессии).

$$\delta_v = \delta_0 \cdot q^{-v}, \quad v = \overline{0, l-1},$$

со знаменателем прогрессии q , равным двум):

$$K = \Phi_1(\delta_v) + K_2 \cdot \Phi_2(\delta_v) + \dots + K_s \cdot \Phi_s(\delta_v) = \Phi_{s+1}(\delta_v) \quad (10)$$

где
$$\Phi_j(\delta_v) = M^0(\delta_v) + \dots + K_s \cdot \Phi_s(\delta_v) = \Phi_{s+1}(\delta_v), \quad j = \overline{1, s},$$

$$\Phi_{s+1}(\delta_v) = N^0(\delta_v) \cdot M(\delta_v) - M^0(\delta_v) \cdot N(\delta_v), \quad v = \overline{1, l}, \quad l > s.$$

Здесь подставлены ординаты характеристики мнимых частот $X^0(\delta)$ желаемого процесса.

Далее, каждое условное уравнение (10) умножается на весовые множители $\gamma_v(\delta_v)$, определяемые в соответствии с [1, 4] по формулам

$$\gamma_v(\delta_v) = \theta \cdot \Omega_v^{-1}, \quad \Omega_v = (s+1)^{-1} \cdot \sum_{j=1}^{s+1} \Phi_j(\delta_v),$$

$$\theta = I^{-1} \cdot \sum_{v=1}^l \Omega_v, \quad v = \overline{1, l}; \quad j = \overline{1, s+1} \quad (11)$$

Полученная таким образом система условных уравнений обрабатывается по способу наименьших квадратов относительно двух настроечных параметров, перенесенных в правые части, что дает систему из $s-2$ нормальных уравнений

$$K_3 \cdot D_{j3} + K_4 \cdot D_{j4} + \dots + K_s \cdot D_{js} = K_2 \cdot D_{j1} + D_{j, s+1} \quad (12)$$

$$\text{где } D_{ji} = \sum_{v=1}^1 \gamma_v^2(\delta_v) \cdot \Phi_i(\delta_v) \cdot \Phi_i(\delta_i), \quad i = \overline{3, s}, \quad (13)$$

решая систему (12), получаем $s-2$ параметров функции параметров K_1 и K_2 :

$$K_j = \Delta_j / \Delta = H_{j1} \cdot K_1 + H_{j2} \cdot K_2 + H_{j3}, \quad j = \overline{3, s}, \quad (14)$$

где Δ – главный определитель системы (12) и Δ_j – его алгебраическое дополнение.

Полученные в результате изложенной процедуры зависимости (13) обеспечивают приближенную минимизацию интегральной квадратичной относительной ошибки между характеристиками мнимых частот $X^0(\delta)$ и $X(\delta)$; при этом приближенно минимизируется и интегральная квадратичная ошибка воспроизведения желаемого переходного процесса $x^0(t)$ фактическим $x(t)$.

Разработана процедура формирования алгоритма управления динамическими объектами на базе метода мнимых частот.

Выведены основные соотношения определения настроечных параметров нелинейного регулятора, на основе применения метода обобщенной линеаризации нелинейной функции.

Список литературы:

1. Орурк И.А. Новые методы синтеза линейных и некоторого нелинейных динамических систем. Л.-М.: Наука, 1965, 208 с.
2. Конавалов А.С., Орурк И.А. Метод обновленной линеаризацией нелинейностей и его применение к синтезу нелинейных систем // Изв вузов. Электромеханика. 1974. № 5 с 505-513.
3. Влакьер О. Анализ нелинейных систем. М.: Мир, 1969, 400 с.
4. Матвеев В.В. Машинный линейных систем при регулярных сигналах // В-КН: системы обработки и передачи информации. Труды ЛИАП, 1972, выа.74, с 210-222

АЛГОРИТМ НАСТРОЙКИ ПАРАМЕТРОВ НЕЛИНЕЙНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Халматов Давронбек Абдалимович – Ташкентский институт
текстильной и легкой промышленности, к.т.н., доцент, e-mail:
holdav@mail.ru

Мирзаахмедова Хурият Боситовна – Ташкентский институт текстильной
и легкой промышленности, ст.преп.

Алимова Гулчехра Рахимжоновна – Ташкентский институт текстильной
и легкой промышленности, ст.преп.

Хужаназаров Улугбек Олимович – Ташкентский институт текстильной и
легкой промышленности, ст.преп.

Секции: Алгоритмизации и управление в технических, экономических и
социальных системах.