

ОПТИМИЗАЦИЯ НАСТРОЕК ПИ-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ С БЛОКОМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Изменения в динамических свойствах объекта управления в процессе его технологической эксплуатации могут быть кардинальными или незначительными. В последнем случае можно говорить об изменениях численных значений параметров математической модели объекта, подвергаемого регулированию, которые не касаются структуры. В свою очередь, первоначально настроенная система регулирования перестает работать по заданным условиям оптимальности, что понижает качество ее функционирования. Такой нежелательный эффект от изменений динамики объекта может быть устранен различными способами.

В [1, 2] предлагается оптимизация по частотным характеристикам замкнутой системы с применением активной идентификации динамических изменений (параметров модели) объекта. Алгоритмом оптимизации выступает метод вспомогательной функции [3], в котором критерием качества управления принят частотный показатель колебательности M . Однако анализ изменений в параметрах объекта проводился косвенно, что в свою очередь требовало либо знаний о функциональной зависимости между параметрами модели объекта [2], либо предполагал поиск рабочей частоты эксперимента и тем самым увеличивал время и затраты на экспериментальную часть оптимизации [1]. Данная работа предлагает заменить неопределенность в аналитической части оптимизации, а также значительно упростить и сократить расчет требуемых параметров регулятора.

Процесс оптимизации разделен на три основных блока: фиксация, идентификация и оптимизация. Рассмотрим каждый блок на примере объекта управления со структурой

$$W_{об}(s) = \frac{K_{об}}{(T_{об} \cdot s + 1)^2}, \quad (1)$$

где $K_{об}$ — коэффициент пропорциональности объекта управления; $T_{об}$ — постоянная времени объекта управления, с; s — оператор Лапласа.

В качестве закона управления используется ПИ-структура

$$W_{ПИ}(s) = \frac{K_n \cdot T_u \cdot s + K_n}{T_u \cdot s}, \quad (2)$$

где K_n — коэффициент пропорциональности регулятора; T_u — время интегрирования регулятора, с.

В первом блоке проводится проверка фиксированной частоты ω_0 , являющейся резонансной при первоначальной оптимизации системы. Для этого на вход системы подается генератор синусоидальных колебаний круговой частоты ω_0 . После прохождения переходного процесса рассчитывают частотные характеристики замкнутой системы на этой частоте. Если выполняется условие оптимальности, то система настроена оптимально и подстройки параметров регулятора не требуется.

$$A_{зс}(\omega_0) = M, \quad (3)$$

где $A_{зс}(\omega_0)$ — значение амплитудо-частотной характеристики (АЧХ) замкнутой системы на частоте ω_0 ; ω_0 — фиксированная частота, рад/с.

В противном случае приступают ко второму блоку — параметрической идентификации объекта управления для учета изменения динамических свойств.

Для этого новые параметры модели объекта структуры (1) определяются по следующим выражениям

$$\varphi_{o\delta}(\omega_0) = \operatorname{arctg} \left(\frac{\sin[\varphi_{3c}(\omega_0)]}{\cos[\varphi_{3c}(\omega_0)] - A_{3c}(\omega_0)} \right) + \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{T_u \cdot \omega_0} \right), \quad (4)$$

$$T_o^* = \frac{1 + \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2(\varphi_{o\delta}(\omega_0))}}{\omega_0 \cdot \operatorname{tg}(\varphi_{o\delta}(\omega_0))}, \quad (5)$$

$$A_{o\delta}(\omega_0) = \frac{A_{3c}(\omega_0) \cdot T_u \cdot \omega_0}{K_n \cdot \sqrt{(T_u^2 \cdot \omega_0^2 + 1) \cdot (A_{3c}^2(\omega_0) - 2 \cdot A_{3c}(\omega_0) \cdot \cos[\varphi_{3c}(\omega_0)] + 1)}}, \quad (6)$$

$$K_o^* = A_{o\delta}(\omega_0) + A_{o\delta}(\omega_0) \cdot (T_o^* \cdot \omega_0)^2, \quad (7)$$

где $\varphi_{3c}(\omega_0)$ — значение фазо-частотной характеристики (ФЧХ) замкнутой системы на частоте ω_0 ; $\varphi_{o\delta}(\omega_0)$ — значение ФЧХ объекта на частоте ω_0 ; $A_{o\delta}(\omega_0)$ — значение АЧХ объекта на частоте ω_0 .

Выражения (5, 7) определяют новые численные значения параметров модели (1), необходимые для дальнейшей подстройки регулятора.

В третьем блоке проводится оптимизация закона регулирования по методу вспомогательной функции. Приводимая ниже его интерпретация не нуждается в построении графиков частотных характеристик и их дальнейшем анализе. Вместо этого предлагаются аналитические вычисления. Резонансная частота для заданного показателя колебательности M определяется по формуле

$$\omega_p = \frac{2 \cdot M + \sqrt{4 \cdot M^2 - 3}}{3 \cdot T_o^*}, \quad (8)$$

после чего происходит параметрическая настройка параметров регулятора структуры (2)

$$K_n^{onm} = \frac{-M^2 \cdot \left(1 - (T_o^* \cdot \omega_p)^2\right)}{K_o^* \cdot (M^2 - 1)}, \quad (9)$$

$$T_u^{onm} = \frac{K_n^{onm} \cdot K_o^* \cdot (M^2 - 1)}{M \cdot \omega_p \left(-(\omega_p \cdot T_o^*)^2 + 2 \cdot M \cdot \omega_p \cdot T_o^* - 1 \right)}. \quad (10)$$

Предлагаемый метод оптимизации позволяет использовать эффективно экспериментальную часть процедуры оптимизации и значительно выигрывает в точности по сравнению с алгоритмами [1, 2] из-за наличия в нем блока идентификации. Также было сокращено количество необходимых вычислений метода вспомогательной функции, а графоаналитическая часть вообще была исключена из алгоритма.

В качестве дальнейших исследований предполагается разработка аналогичных расчетных схем для объектов с другими структурами их математических моделей. Это позволит собрать целый набор алгоритмов для инженерной оптимизации локальных систем регулирования, которые могут быть использованы на практике в промышленных контроллерах.

Список литературы

1. Овдей, В. С. Оптимизация действующих систем с использованием косвенных неэкстремальных показателей оптимальности / В. С. Овдей, И. А. Коцемир // Сб. науч. трудов студентов ДонГТУ. — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2018. — Вып. 11. — Ч. I. — С. 83–87.
2. Коцемир, И. А. Параметрическая оптимизация действующих локальных систем регулирования по данным о системе на фиксированной частоте / И. А. Коцемир, В. С. Овдей // Донбасс будущего глазами молодых ученых : сборник материалов научно-технической конференции (19 ноября 2019 г.). — Донецк : ДонНТУ, 2019. — С. 32–35.
3. Ротач, В. С. Теория автоматического управления : учеб. для вузов / В. Я. Ротач. — 5-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательский дом МЭИ, 2008. — 396 с.