

НАСТРОЙКА ПИД-РЕГУЛЯТОРА ЧЕРЕЗ АПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЦИФРОВОЙ РЕГУЛЯТОР

Гринюк Д. А., Олиферович Н. М., Сухорукова И. Г., Оробей И. О.

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь
E-mail: hryniukda@gmail.com

Рассматривается метод настройки ПИД-регулятора. Для этого предлагается использовать deadbeat регулятор с различными вариантами синтеза. В основе синтеза лежит аппроксимация переходной характеристики deadbeat регулятора ПИД-регулятором. Предложенные варианты позволяют легко настроить замкнутую систему регулирования на различные качества переходного процесса. В качестве параметра вариации выступает время квантования цифрового регулятора. Используя только один данный параметр можно подстраивать все три параметра настройки ПИД-регулятора. Получаемые в результате настройки оказываются близкими к интегральным критериям.

ВВЕДЕНИЕ

ПИД-регулятор продолжает оставаться одним из популярных решений для построения систем управления. Его универсальность для широкого класса объектов способствует широкому использованию как в технологических процессах в промышленности, так и в технических электронных системах. За время векового применения предложено множество решений по развитию классического метода построения ПИД-регулирования. Одновременно происходит и развитие методов настройки регуляторов данного типа. Основными методами настройки являются коэффициент усиления K , время интегрирования I и дифференцирования D передаточной функции регулятора.

I. МЕТОДЫ НАСТРОЙКИ

В литературе предложено большое количество методов настройки. Среди них можно выделить два основных полюса. Один полюс – это обеспечение требуемого запаса по устойчивости, другой – обеспечение желаемого качества переходного процесса. Большинство наиболее популярных методик настройки ПИД-регулятора используют один из полюсов как отправную точку, а затем, по необходимости, обеспечивают компромисс в отношении другого полюса. Среди популярных критериев устойчивости можно выделить частотные (критерий Найквиста и Михайлова) и критерии, основанные на анализе характеристического уравнения передаточной функции канала управления (корневой критерий, критерий Стодолы и Гурвица). Соответственно, среди частотных методов можно выделить модифицированный метод Ziegler-Nichols, Takahashi, метод расширенных частотных характеристик, использование логарифмических частотных характеристик. Принцип настройки основан на обеспечении декремента затухания переходного процесса. На основе данного подхода

базируется также метод Schaedel. Корневой метод настройки лежит в основе метода Дудникова. На обеспечении аperiodического переходного процесса основан метод настройки амплитудного оптимума и метод Skogestad. Сюда можно отнести метод Cohen-Coon с нахождением эквивалентной передаточной функции и метод с использованием таблиц Chien-Hrones-Reswick. Однако выше указанные методы для обеспечения качества переходного процесса требуют последующей коррекции настроек. По этой причине, а также с широкими возможностями современных компьютеров и контроллеров происходит развитие онлайн методов анализа настройки с использованием различных поисковых методов. Среди них можно выделить как методы, основанные на классических подходах минимизации интегральных критериев, так и широкое применение нечетких и генетических алгоритмов. Эти методы более универсальны, могут применяться для линейных и нелинейных объектов управления. С помощью онлайн методов настраиваются нелинейные регуляторы. Однако они требуют высокой вычислительно мощности.

II. ОФОРМЛЕНИЕ ТЕКСТА

В [1] предложено осуществить настройку ПИД-регулятора через deadbeat (в русскоязычной литературе встречаются различные варианты перевода: аperiodический, компенсационный и т.д.). Однако были отмечены ограничения этого подхода. Этот метод прямого проектирования для дискретных ПИД-регуляторов может представлять интерес для следующих случаев: 1. Применение самонастраивающегося управления для уникальной настройки параметров ПИД-контроллеров. 2. Определение подходящих начальных значений для оптимизации числовых параметров. Предложенный в [1] подход основан на анализе коэффициентов передаточной функции объекта управления. Однако это не применимо, если мы используем для синтеза deadbeat

регулятор с ограничением на управляющее воздействие [2]. Для нахождения коэффициентов K , I , D можно воспользоваться прямой аппроксимацией передаточной функции deadbeat регулятором ПИД регулятора. Построение импульсной характеристики цифрового регулятора по его передаточной функции

$$W_{DB}(z) = \frac{p_1 z^{-1} + \dots + p_m z^{-m}}{q_0 + q_1 z^{-1} + \dots + q_m z^{-m}} \quad (1)$$

не требует решения дифференциального уравнения. В (1) z – переменная z -преобразования $z = \exp(T_0 s)$; T_0 – время квантования; m – порядок полинома. Значения на каждом такте может быть найдено путем простейших арифметических операций. По переходной характеристики deadbeat, когда градиент приращения становится постоянным, можно по двум соседних значения управления u и вычислить время интегрирования:

$$I = \frac{u(k+1) - u(k)}{T_0}, \quad (2)$$

где k – дискретные отсчеты $k = t/T_0 = 0, 1, 2, \dots$; t – время. Следующим этапом можно вычислить коэффициент усиления регулятора K

$$K = u(k) - I k T_0. \quad (3)$$

Время дифференцирования зависит от формы записи регулятора. Для идеального регулятора формула следующая

$$D = q_0 - K. \quad (4)$$

В случае формы реального регулятора, как наиболее интересной с практической точки зрения

$$W_R(s) = K + \frac{1}{I s} + \frac{D s}{F s + 1}. \quad (5)$$

Тогда расчетная формула будет

$$D = \frac{q_0 - K}{F}. \quad (6)$$

Для вариации настроек можно воспользоваться изменением времени T_0 и величины первичного управляющего воздействия на различном количестве тактов N [2]. В качестве критерия выбора можно использовать различные интегральные критерии. При этом полученные настройки ПИД-регулятора не требуют обязательного использования simple time, который использовался для синтеза deadbeat (DBC).

III. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАСТРОЙКИ

Предложенная методика настройки была опробована для некоторых передаточных функций. За основу была взята передаточная функция из [1]. Три другие имели отличную динамику от базовой: другое время запаздывания или вид в

числителе. Качество настройки будем оценивать с помощью интегральных критериев[3]:

$$\int_0^{tf} e(t)^2 dt \rightarrow \min; \quad (7)$$

$$\int_0^{tf} t^2 |e(t)| dt \rightarrow \min; \quad (8)$$

$$\int_0^{tf} u(t)^2 dt \rightarrow \min; \quad (9)$$

$$\int_0^{tf} (e(t)^2 + u(t)^2) dt \rightarrow \min; \quad (10)$$

где $e(t)$ – отклонение выхода сигнала задания; $u(t)$ – сигнал управления на выходе регулятора; tf – время моделирования. Для моделирования использован непрерывный ПИД-регулятор с $F = 0,01$. Время переходного процесса оценивалось по уровню 3 процента от сигнала задания. Также, для сравнения проведена численная оптимизация интегральных критериев в программном пакете MatLAB.

Более подробно с результатами исследования можно ознакомиться [4,5]

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная методика настройки ПИД-регуляторов через DBC оказалась очень удобной с практической точки зрения. Вариацией параметра T_0 можно сбалансировано менять одновременно три настройки ПИД-регулятора. Все выбранные в исследовании параметры переходного процесса имеют один глобальный минимум в зависимости от T_0 . Для интегральных критериев, которые ориентированы только на выходной параметр объекта управления (9) и (10), использование предложенной методики может служить отправной точкой для дальнейшего использования в численных методах оптимизации. При проведении представленных исследований оптимизация начальных настроек через DBC позволила получить результат за меньшее количество итераций, чем ранее с использованием метода Ziegler-Nichols.

1. Isermann R. Digital Control Systems. Springer-Verlag. 1989, 565 p.
2. Increasing the robustness of the digital controller / [N. Olfierovich. et al.] // 2018 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream), Vilnius, 2018, pp. 1–6.
3. Non-linear PID controller and methods of its setting. [D. Hryniuk et al.] // 2017 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream), 2017, pp.1–4.
4. Approximation PID-Controllers Through Deadbeat Controller and its Tuning [D. Hryniuk et al.] // 2019 Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream), 2019, pp.1–6.
5. Метод настройки ПИД-регулятора через deadbeat регулятор на различные интегральные критерии [Гринюк Д. А. и др.] // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. 2019. в печати.