

# 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.