

АПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЦИФРОВОЙ РЕГУЛЯТОР С ПРОГНОЗИРУЕМЫМ УРОВНЕМ СИГНАЛА УПРАВЛЕНИЯ

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

Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, Белорусский государственный
технологический университет

Минск, Республика Беларусь

E-mail: hope_rez@mail.ru, pryniuk@tut.by,

В работе представлены различные алгоритмы для расчета параметров настройки аperiodического цифрового (deadbeat) регулятора. Основное внимание при разработке алгоритмов расчета было уделено возможности построения данного регулятора для стабилизации технологических параметров в условиях ограничения на управляющее воздействие. Предложена методика расчета настроек deadbeat регулятора при условии формирования максимально возможных управляющих импульсов на начальной стадии отработки сигнала задания. Проанализирована зависимость максимально возможного управляющего воздействия от времени дискретизации при различных вариантах удлинения переходного процесса. Представлены результаты моделирования системы, которая была синтезирована на основании разработанных алгоритмов расчета.

ВВЕДЕНИЕ

В современных системах управления практически все алгоритмы реализуются в цифровом виде. При этом, зачастую, при стабилизации технологических параметров используются аналоговые методы синтеза. На сегодняшний день базовым алгоритмом стабилизации технологических параметров является пропорционально-дифференциально-интегральный (ПИД) закон регулирования. Однако данный алгоритм имеет ряд ограничений. Существует проблема возникновения интегрального насыщения при ограничении управляющего воздействия, проблема быстрогодействия, адаптация настроек при изменении динамических характеристик объекта.

При синтезе каскадных систем управления желательно иметь внутренний регулятор, который настроен на аperiodический переходной процесс типа deadbeat [1,2]. Это не только обеспечивает высокую скорость внутренней цепи (что является основной задачей внутренних регуляторов), но и облегчает задачу -за внешнего регулятора (наличие комплексных корней в объекте усложняет настройку внешнего регулятора). Алгоритмы deadbeat контроллера широко используются в управлении двигателем, в модуляции балансировки напряжения.

I. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Расчет многих цифровых регуляторов, в том числе deadbeat [1,2], гораздо более алгоритмизирован. Данный регулятор характеризуется высоким быстродействием. Однако это достигается путем формирования высокого значения управляющего воздействия, что сложно реализовать в прикладных условиях. В то же время можно добиться соответствия контроллера технологическим нормам за счет увеличения времени шаговых ответов.

Следует отметить, что существуют и другие подходы к проектированию deadbeat регуляторов [3-5]. Однако в прикладных решениях находит большее применение подход из работы [1]. Синтез производился на основании функции z -преобразования элементов систем управления. Общая структура системы управления показана на рисунке 1.

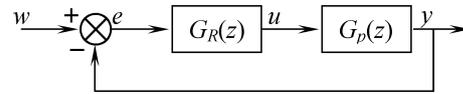


Рис. 1 – Структура deadbeat регулятора: w – сигнал задания; e – сигнал ошибки; u – управляющее воздействие; y – выход системы

Передаточная функция $G_R(z)$ регулятора и объекта может быть записана следующим образом [1]

$$G_R(z) = \frac{Q(z)}{1 - P(z)}; G_P(z) = \frac{A(z)}{B(z)}$$

где $Q(z), P(z)$ – многочлены передаточной функции регулятора; $A(z), B(z)$ – многочлены передаточной функции объекта. Коэффициенты многочленов $Q(z), P(z)$ для классического deadbeat регулятора могут быть найдены с использованием уравнений [1]:

$$\begin{cases} q_0 = \frac{1}{b_1 + b_2 + \dots + b_m}, \\ q_i = q_0 a_i, \\ p_i = q_0 b_i, \end{cases} \quad (1)$$

где a_i, b_i коэффициенты многочленов функции z -передачи непрерывного объекта $A(z), B(z)$; m порядок передаточной функции объекта. Коэффициенты многочлена $Q(z)$ можно выразить так:

$$\begin{cases} q_0 = u(0), \\ q_0 = u(i) - u(i-1), i = 1, \dots, m. \end{cases} \quad (2)$$

Таким образом, начальное значение управляемой переменной $u(0)$ зависит только от суммы (1) коэффициентов функции z -передачи объекта b_i . Основным недостатком deadbeat регулятора является то, что время выборки t_s и управляемая переменная $u(0)$ обратно пропорциональны. Значение t_s обусловлено величиной показателя u_{max} , которая зависит от различных факторов. Для решения этой проблемы предлагаются различные варианты, такие как изменение алгоритма расчета. Авторы вводят дополнительный полином для ограниченного вывода [6]. Но могут быть и другие решения. Возможны системы управления с переменным временем выборки t_s . Для синтеза системы, выражения, полученные в работе [1] для выбора первичного импульса, были расширены на большее количество тактов.

II. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА РОБАСТНОСТИ

Для оценки работы синтезированных регуляторов был использован объект с передаточной функцией

$$W(s) = \frac{(2s + 1)}{(10s + 1)(7s + 1)(3s + 1)} \exp(-4s) \quad (3)$$

Некоторые из результатов моделирования синтезируемой системы представлен на рис. 2–4, где отображено влияние количества одинаковых управляющих воздействия первых тактов N на максимальное управляющее воздействие при переходном процессе.

Оценка устойчивости произведена по диаграммам Боде с определением запасов по амплитуде A и фазе (рис. 5–6).

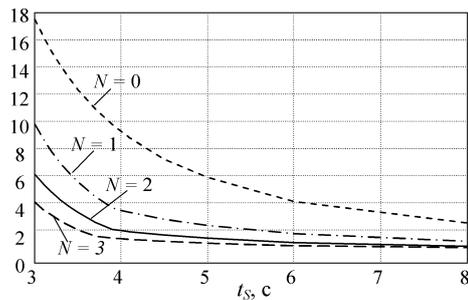


Рис. 2 – Зависимость первого максимального управляющего воздействия u_{max} от $t_s=3,7$ с

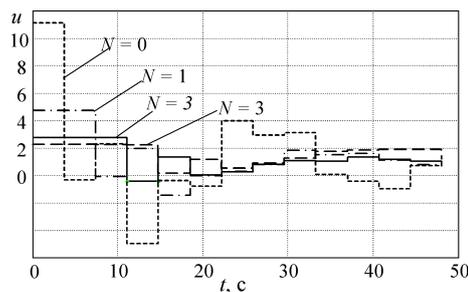


Рис. 3 – Переходной процесс сигнала управления u при $t_s=3,7$ с

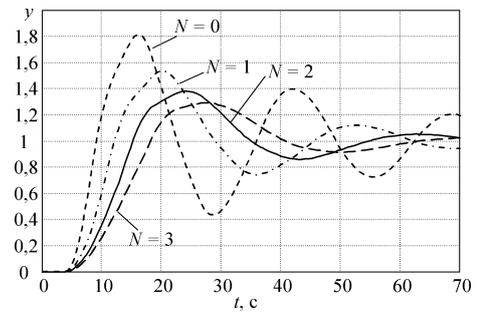


Рис. 4 – Переходной процесс выходного сигнала y при $t_s=3,7$ с

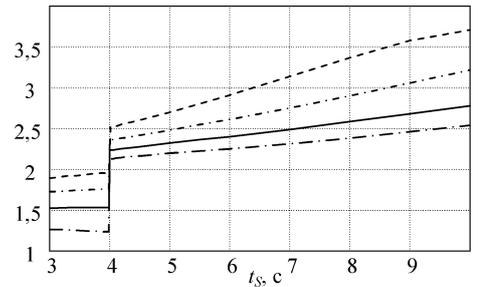


Рис. 5 – Зависимость запаса по амплитуде A от t_s при разном N

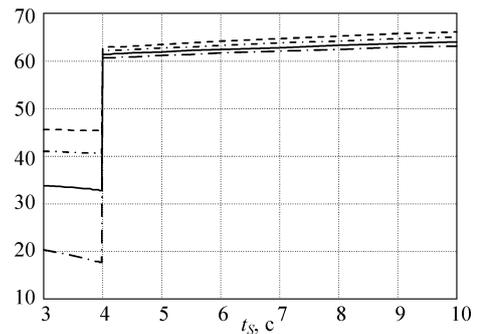


Рис. 6 – Зависимость запаса по фазе φ от t_s при разном N

Следует отметить, что при t_s меньше величины запаздывания наблюдается неоднозначная зависимость запасов по фазе и амплитуде от t_s . При некоторых значения можно было наблюдать неустойчивый режим работы замкнутой системы.

1. Изерман Р. Цифровые системы управления: пер. с англ. М.: Мир, 1984. 541 с.
2. Plsek S., Matus R. Application of Adaptive Deadbeat Controller in Drying Process // Procedia Engineering. 2015. Vol. 100. P. 756–764.
3. Цифровые алгоритмы для управления технологическими процессами / Д. А. Гринюк [и др.] // Информационные технологии и системы–2013 (ИТС–2013): материалы междунар. науч. конф., Минск, 23 окт. 2013 г. Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники, Минск, 2013. С. 38–39.
4. Balasevicius L., Dervinis G. Design of the Deadbeat Controller with Limited Output // Electronics and electrical engineering. 2011. No. 4 (110). P. 93–96.
5. Kučera V. Deadbeat Control, Pole Placement, and LQ Regulation // Kybernetika. 1999. Vol. 35, no. 6. P. 681–692. L., Baranauskas V., Dervinis G., Derviniene A. Deadbeat Controller with Two Additional Steps. Elektronika ir Elektrotechnika, 2017, vol. 23, no. 5, pp. 11–14.