

ЦИФРОВЫЕ АЛГОРИТМЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

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

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

Рассмотрены возможности применения цифровых регуляторов на базе программируемых логических контроллеров для управления технологическими процессами. Произведено сравнение работы классического цифрового пропорционально-интегрально-дифференциального и компенсационного регуляторов при ограничении на управляющее воздействие.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день базовым алгоритмом стабилизации технологических параметров является пропорционально-дифференциально-интегральный (ПИД) закон регулирования. Этот алгоритм реализуется с использованием программируемых логических контроллеров (ПЛК) и других технических средств, но только в ПЛК можно менять время квантования.

I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В большинстве случаев время считывания входной информации в ПЛК может варьироваться в зависимости от структуры программы. Для целей фильтрации и ПИД-регулирования предусматриваются специальные механизмы или настройки стабильности времени квантования. Так, достаточно производительные процессоры линейки S300 от Siematic при реализации ПИД-закона регулирования имели возможность использования только ОВ35. Однако в полной мере «тонкую» настройку времени прерывания можно осуществить только в более мощных процессорах серии S400 или S1500.

Механизм изменения времени квантования обладает возможностями улучшения качества управления и устранения цифровых паразитных эффектов [1]. На базе существующей лабораторной установки на кафедре по поддержанию температуры воздуха за счет регулирования расхода на базе ПЛК VIPA-200, который программируется с помощью STEP 7 и является аналогом серии SIMATIC S300, был проведен эксперимент по варьированию времени квантования путем использования стандартных возможностей языков программирования IEC 61131-3.

II. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Температура в установке измерялась за счет универсального модуля, который с точки зрения диапазона регулирования имел очень грубый шаг дискретизации. Цифровой алгоритм фильтрации в контроллере предполагал реализацию простейшей схемы Эйлера.

$$y(kT_i) = \alpha[y(k-1)T_i] - (1-\alpha)x(kT_i)$$

где $y(kT_i)$, $y(k-1)T_i$ — значение на выходе фильтра в текущий, предыдущий отсчет соответственно; $x(kT_i)$ — значения с входного регистра; k — номер отсчета; T_i — время квантования.

В контроллере для одних и тех же данных с помощью отдельных подпрограмм были реализованы цифровая фильтрация с использованием встроенного механизма прерывания ОВ35 ($T_i = 500$ мс) и на базе таймеров с различным временем прерывания $T_i = 50, 100, 500$ мс. Результаты фильтрации и исходные данные через OPC-сервер (скорость опроса 10 мс) передавались в Matlab. Исходные данные в Matlab обрабатывались с помощью встроенного метода Рунге-Кутты (рис. 1).

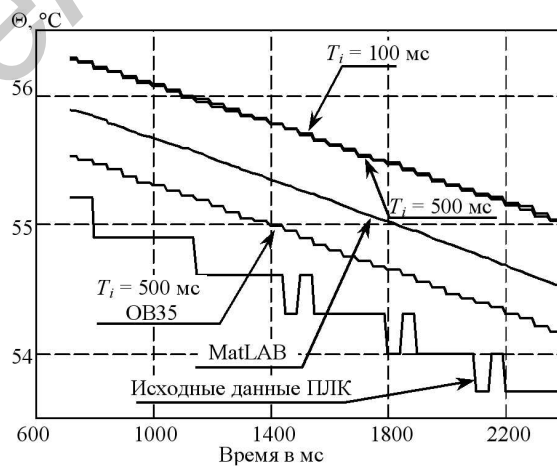


Рис. 1 – Тренд в режиме реального времени с ПЛК работы фильтров с постоянной времени 10 с при различных способах реализации

Результаты показали преимущество использования формирования прерывания с помощью таймеров. На сегодняшний момент многие контроллеры ПЛК малой и средней мощности имеют высокий потенциал вычислительной мощности. Опробованные в реальном времени алгоритмы фильтрации и ПИД-регулирования позволяют расширить возможности использования на практике и дополнительные возможности по настройке.

III. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

В [1] приведены результаты влияния времени квантования на качество регулирования. Малые значения времени квантования еще не залог качественной работы на производстве.

ПИД-алгоритм характеризуется универсальностью, но качественная настройка является весьма трудоемкой. Использование компенсационных регуляторов сдерживается меньшей известностью и серьезным влиянием времени квантования на качество регулирования, а также потребность формирования больших управляющих воздействий. Расчетная часть поиска параметров регулятора сводится к последовательному применению алгебраических уравнений при известной модели объекта управления. Это особенно актуально для объектов с переменными параметрами, как, например, системы отопления и кондиционирования. Контроль температуры позволяет прогнозировать изменение передаточной функции, а разработанная методика синтеза апериодического регулятора позволяет быстро находить его параметры. В общем случае использование апериодического регулятора может сочетаться с системой идентификации передаточных функций.

Для успешной работы данного подхода на практике требуется оптимально выбрать время квантования. Ограничение на управляющее воздействие можно обойти повышением порядка регулятора, расчетные формулы для повышения порядка на единицу получены в [1]. С целью проверки выдвинутой гипотезы были получены алгебраические уравнения для синтеза компенсационных регуляторов из условия, что первые задаваемые значения будут иметь одинаковое значение управления на 2:

$$q'_0 = q_0(a_1 - 1) + \left(\sum_{i=1}^m b_i \right)^{-1};$$

$$q_m = q_0(a_m - a_{m-1}a_1) + a_{m-2}q'_0;$$

$$p_m = q_0(b_m - b_{m-1}a_1) + b_{m-2}q'_0;$$

и 3:

$$q'_0 = q_0(1 - a_1 + a_1^2 - a_2) - \left(\sum_{i=1}^m b_i \right)^{-1};$$

$$q_m = q_0(a_m - a_{m-1}a_1 + a_{m-2}(a_1^2 - a_2)) + a_{m-3}q'_0;$$

$$q_m = q_0(b_m - b_{m-1}a_1 + b_{m-2}(a_1^2 - a_2)) + b_{m-3}q'_0;$$

где параметры p , q , a и b передаточной функции регулятора и объекта в z -области:

$$W_R(z) = \frac{q_0 + \dots + q_m z^{-m}}{1 - p_1 z^{-1} - \dots - p_m z^{-m}};$$

$$W_O(z) = \frac{b_1 z^{-1} + \dots + b_m z^{-m}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_m z^{-m}}.$$

Для объекта с передаточной функцией

$$W_O(s) = \frac{2s + 1}{(10s + 1)(17s + 1)(3s + 1)} \exp(-4s)$$

получены параметры компенсационных регуляторов с различным порядком при $T_i = 4$ с, а также при $T_i = [0,8 \ 4 \ 8]$ найдены настройки ПИД-регулятора путем минимизации интегрального критерия

$$J = \int_0^{\infty} t^2 |e(t)| dt \rightarrow \min$$

где s – оператор Лапласа; $e(t)$ – сигнал рассогласования; t – время от начала воздействия. Результаты моделирования работы алгоритмов отражены на рис. 2-3.

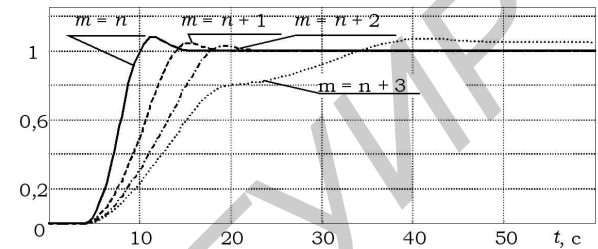


Рис. 2 – Моделирование компенсационного регулятора при различном порядке регулятора

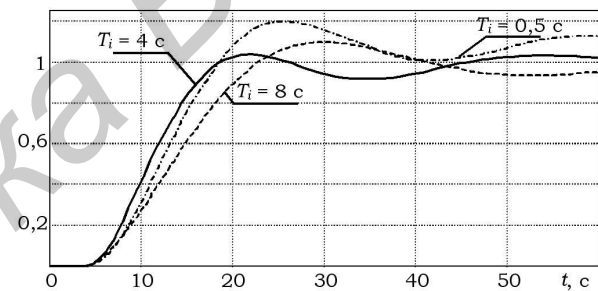


Рис. 3 – Моделирование ПИД-регулятора при различном значении времени квантования

Максимальное значение управляющего воздействия с увеличением порядка регулятора от n до $n+3$ убывало: 9,46; \rightarrow 3,79 \rightarrow 2,35 \rightarrow 1,77. Для ПИД-алгоритма увеличение T_i от 0,5 до 8 приводит к уменьшению управляющего воздействия: 3,85; 3,37; 2,34. Интегральный критерий по мере увеличения порядка компенсационного регулятора увеличивался: 184 \rightarrow 398 \rightarrow 720 \rightarrow 5515, тогда как для ПИД регулятора при $T_i = 4$ с наблюдался минимум: 4673 2911 4672. С прикладной точки зрения компенсационный регулятор с порядком $n + 2$ проявил наилучшее качество работы: управляющее воздействие невелико, интегральный критерий на порядок меньше, чем у лучшего ПИД- регулятора. Возможность подстройки времени квантования для реальных объектов позволяет потенциально улучшить качество регулирования как с точки зрения ПИД-регуляторов, так и при применения компенсационного цифрового.

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изерман Р., Цифровые системы управления / Р. Изерман -- М.: Мир. 1984. -- 530 с.