

УДК 681.32

Л.Л. Беляева, ст. преподаватель*Севастопольский национальный технический университет, г. Севастополь, Украина***Г.В. Нотченко, инженер 1 кат.***Институт современных технологий и инноваций СевНТУ, г. Севастополь, Украина***РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ДИСКРЕТНОГО ПИД-РЕГУЛЯТОРА
НА БАЗЕ IPC СЕРИИ FEC FC620 ФИРМЫ FESTO**

Предложена реализация алгоритма дискретного ПИД-регулятора на базе IPC FEC FC620 фирмы FESTO. Разработано программное обеспечение на алгоритмическом языке программирования STL. Проведены экспериментальные исследования работы IPC FEC FC620 в режиме ПИД-регулирования для пневматической системы автоматического регулирования давления.

Постановка задачи. Большинство производственных операций, таких как точное позиционирование, сортировка, укупорка изделий требует применения ПИД-регулирования выходного параметра (давления, расхода, электрического напряжения, тока). В этом случае используют промышленные ПИД-регуляторы. Современные системы автоматизации производства комплектуются на базе программируемых логических контроллеров (PLC). Их преимущество – возможность свободного программирования алгоритмов технологических задач на универсальных алгоритмических языках STL, LDR, а также C/C++. PLC позволяют осуществлять управление большим числом локальных контуров.

Наряду с PLC применяются интегрированные программируемые контроллеры (IPC). IPC базируются на технологии процессоров для ПК и работают под управлением операционной системы. Их отличие от PLC заключается в возможности производить не только логические операции, но и вычисления с плавающей точкой, работать со строковыми данными. Типовым представителем IPC является группа однокорпусных промышленных программируемых контроллеров фирмы FESTO FEC Standard. Они применяются для управления электрическими, пневматическими исполнительными механизмами. Возможность свободного программирования контроллера позволяет реализовать на его базе алгоритм ПИД-регулятора.

Цель статьи состоит в практической реализации дискретного алгоритма ПИД-регулятора для IPC FEC FC620.

Алгоритм дискретного ПИД-регулятора. Идеализированное уравнение ПИД-регулятора имеет вид [1]

$$u(t) = K_P \left(e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_D \frac{de(t)}{dt} \right), \quad (1)$$

где $u(t)$ – выходная величина; $e(t)$ – ошибка, $e(t) = u_O(t) - y(t)$; $u_O(t)$ – опорное значение; K_P – коэффициент передачи (коэффициент пропорциональной составляющей); T_I – постоянная времени интегрирования, с; T_D – постоянная времени дифференцирования, с.

Для малых тактов квантования T_0 уравнение (1) можно преобразовать в разностное при замене производной разностью первого порядка, а интеграла – суммой. Непрерывное интегрирование может быть заменено интегрированием по методу прямоугольников или трапеций.

Если для аппроксимации интеграла использовать метод трапеций, то на основании уравнения (1) получим:

$$u(k) = K_P \left(e(k) + \frac{T_0}{T_I} \left(\frac{e(0) + e(k)}{2} + \sum_{i=1}^{k-1} e(i) \right) + \frac{T_D}{T_0} (e(k) - e(k-1)) \right). \quad (2)$$

Для компьютерной реализации удобны рекуррентные алгоритмы. Они отличаются тем, что для вычисления текущего значения управляющей переменной $u(k)$ нужно знать ее предыдущее значение $u(k-1)$ и поправочное слагаемое. Вычитая из (2) соответствующее уравнение для $u(k-1)$, получаем рекуррентное выражение, описывающее динамику дискретного закона управления

$$u(k) - u(k-1) = q_0 e(k) + q_1 e(k-1) + q_2 e(k-2), \quad (3)$$

$$\text{где } q_0 = K_P \left(1 + \frac{T_0}{2T_I} + \frac{T_D}{T_0} \right), \quad q_1 = -K_P \left(1 + 2\frac{T_D}{T_0} - \frac{T_0}{2T_I} \right), \quad q_2 = K_P \frac{T_D}{T_0}. \quad (4)$$

Отношение $\frac{T_D}{T_0} = K_D$ – коэффициент дифференциальной, а $\frac{T_0}{T_I} = K_I$ – коэффициент интегральной составляющей дискретного ПИД-регулятора. Для малых тактов квантования параметры q_0, q_1, q_2 можно вычислить, используя параметры K_P, T_I, T_D аналогового ПИД-регулятора в соответствии с соотношениями (3) или (4).

На рисунке 1 изображена блок-схема алгоритма дискретного ПИД-регулятора, составленная на основе выражений (3), (4).

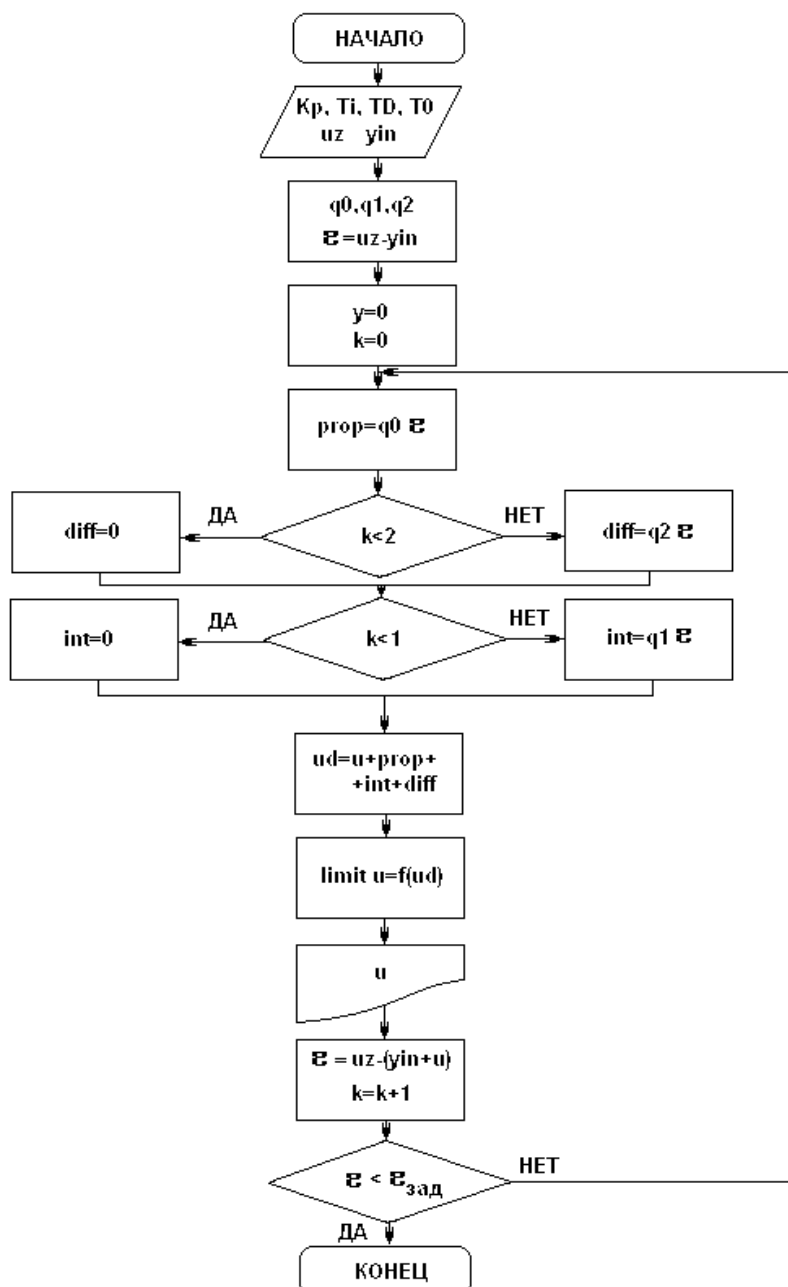


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма дискретного ПИД-регулятора

Предварительный анализ работы алгоритма был проведен на основе разработанного программного обеспечения в среде программирования Delphi 6 и в среде программы Mathcad 11. При тестировании учтено, что уровень выходного сигнала ограничен. На рисунке 2 показаны графики сигнала управления

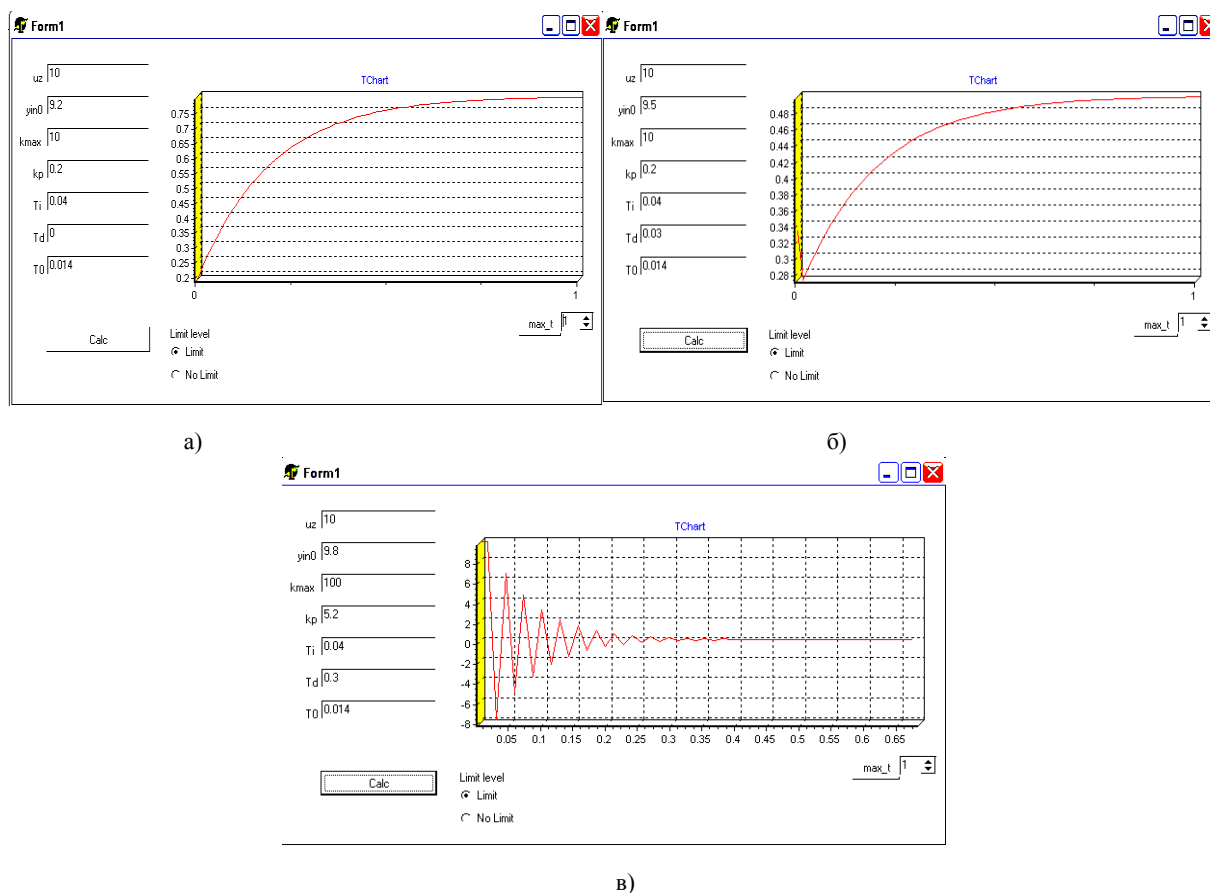


Рисунок 2 – Тестирование алгоритма дискретного ПИД-регулятора

дискретного ПИД-регулятора, полученные при различных значениях параметров настройки.

Практическая реализация алгоритма. Практическая реализация алгоритма выполнена в Институте современных технологий и инноваций Севастопольского национального технического университета с использованием элементной базы фирмы FESTO. Программа дискретного ПИД-



Рисунок 3 – Программный проект в среде FST4.10

регулятора разработана на универсальном алгоритмическом языке программирования STL в среде программы FST4.10 (рисунок 3).

Работа IPC FEC FC620 в режиме ПИД-регулирования проведена для системы автоматического регулирования давления (рисунок 4). Объект управления – пневматический пропорциональный распределитель. Экспериментальная установка, показанная на рисунке 4, включает: программируемый контроллер FEC FC620, работающий в режиме ПИД-регулирования; пропорциональный распределитель типа МРУЕ-5-1/8-HS-010-B; датчик давления типа SDE-10-10V/20мА; панель ввода данных FED50; датчики давления типа SDE1-D10-G2.

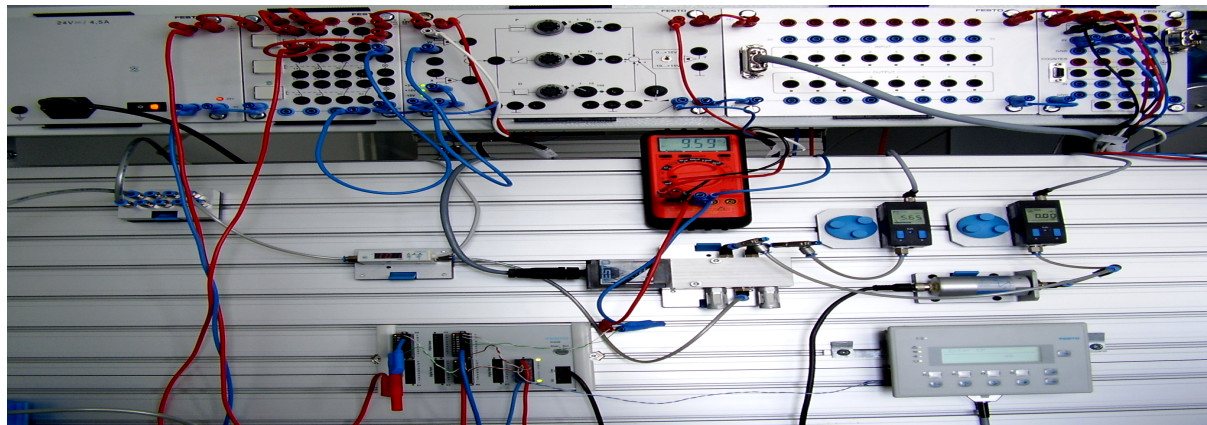


Рисунок 4 – Экспериментальная установка

Ввод параметров настройки выполняется с панели ввода/вывода FED50, работа которой запрограммирована в среде ПК-программы FED Designer 6. Данные из памяти панели загружаются в регистры памяти контроллера посредством интерфейса RS232. Для экспериментального снятия переходных процессов в системе было использовано специальное программное обеспечение для ПК Festo Didactic – FluidLab-Pv 1.0. Эта программа позволяет выполнять компьютерное осциллографирование переходных процессов, а также снимать статические и регулировочные характеристики пневматических и гидравлических устройств и систем. Обмен данными между ПК и системой осуществляется посредством устройства EasyPort (Festo).

На рисунке 5 изображены осциллограммы сигнала управления (напряжение, кривая 1), формируемого контроллером в режиме ПИД-регулирования, и давления в системе управления (на выходе пневмораспределителя: кривые 2, 3 – переходные процессы в камерах распределителя при его переключении).

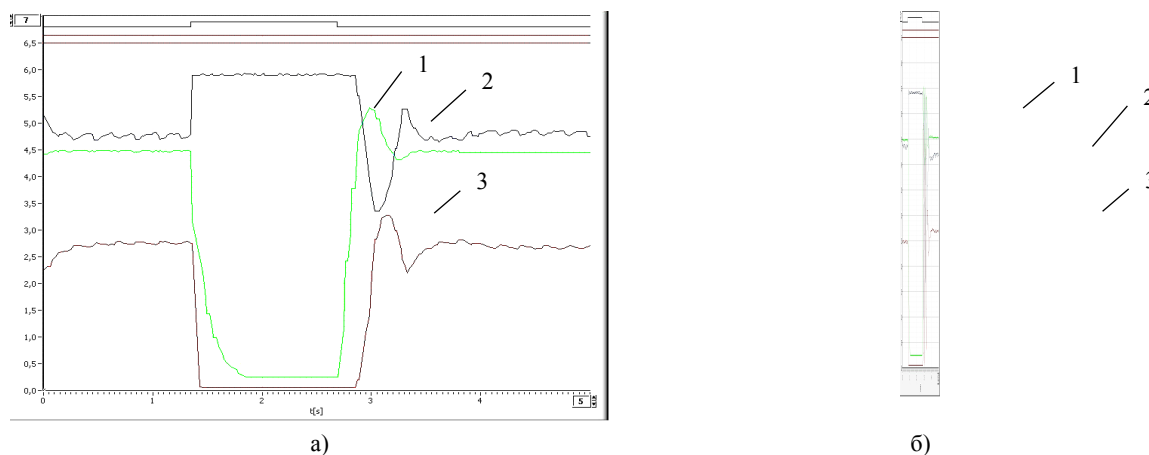


Рисунок 5 – Осциллограммы переходных процессов сигналов управления и давления в системе: а) – при ; б) – при

Выводы. Корректность алгоритма дискретного ПИД-регулятора, реализованного на базе IPC FEC FC620 подтверждена экспериментально в ходе исследования динамики работы автоматической системы регулирования давления. Перспективным является дальнейшее усовершенствование алгоритма, в

частности, предотвращение явления «всплеска производной», что является целесообразным при использовании ИРС в контурах управления системами с резкими изменениями опорного значения.

Библиографический список

1. Изерман Р. Цифровые системы управления / Р. Изерман. — М.: Мир, 1984. — 541 с.
2. Краснодубец Л.А. Выбор параметров ПИД-регуляторов фирмы FESTO на основе построения областей устойчивости и качества / Л.А. Краснодубец, Л.Л. Беляева, Г.В. Нотченко // Вестник СевГТУ. Сер. Автоматизация процессов и управление: сб. науч. тр. — Севастополь, 2007. — Вып. 83. — С. 44–49.
3. Пашков Е.В. Электропневмоавтоматика в производственных процессах / Е.В. Пашков, Ю.А. Осинский, А.А. Четверкин. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2003. — 496 с.
4. Беляева Л.Л. Цифровые ПИД-регуляторы в промышленных системах автоматического управления / Л.Л. Беляева // Вестник СевГТУ. Сер. Автоматизация процессов и управления: сб. науч. тр. — Севастополь, 2004. — Вып. 57. — С. 180–186.
5. Оллсон Г. Цифровые системы автоматизации и управления / Г. Оллсон, Д. Пиани. — СПб: Невский Диалект, 2001. — 557 с.
6. Automating with FST. Testbook. Festo Ag&Co. KG. — Germany, 2004. — 300 p.
7. Беляева Л.Л. Практическая реализация алгоритма дискретного ПИД-регулятора на базе ПЛК серии FES фирмы FESTO / Л.Л. Беляева, Г.В. Нотченко // Автоматика-2007: матер. XIV міжнар. конф. з автоматичного управління, Севастополь, 10-14 вересня 2007 р. — Ч. 1. — Севастополь, 2007. — С. 115–117.

Поступила в редакцию 1.11.2007 г.