

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СТЕНДА НАСТРОЙКИ И ИЗУЧЕНИЯ ПИД-РЕГУЛЯТОРА

А.Т. Газизов

gazizov@tpu.ru

Научный руководитель: Тутов И.А., каф. ИКСУ ТПУ

Введение

Регуляторы используются в системах автоматического управления для формирования управляющего сигнала с целью получения необходимых точности и качества переходного процесса [1]. Эти параметры определяют то, как быстро система входит в установившийся режим и насколько велики перерегулирования во время переходного процесса, что в конечном счете определяет качество получаемого продукта и затраты на его производство. Пропорционально-интегрально-дифференцирующий (ПИД) регулятор относится к наиболее распространенному типу регуляторов. Причиной высокой популярности является простота построения и промышленного использования, ясность функционирования, пригодность для решения большинства практических задач, и низкая стоимость [2]. Вместе с тем, не существует универсального метода настройки ПИД-регуляторов, а моделирование и теория часто не учитывают особенностей, порождаемых реальными условиями применения и технической реализации. В этом контексте, для студентов профильных специальностей является важным изучение ПИД-регуляторов на реальной элементной базе и приобретения опыта их «живой» настройки до столкновения с такими задачами на производстве. Для этого предлагается разработка учебного стенда для изучения ПИД-регулятора. В данной работе описано проектирование принципиальной электрической схемы на дискретных элементах для такого стенда.

Основная функция разрабатываемого стенда – изучение настройки ПИД-регулятора – заключается в возможности изменения значений пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих ПИД-регулятора и одновременного наблюдения на осциллографе изменения переходной характеристики объекта управления (ОУ). Таким образом, стенд состоит из следующих частей: ОУ, охваченный с обратной связью, источник управляющего воздействия и ПИД-регулятор (рис. 1).

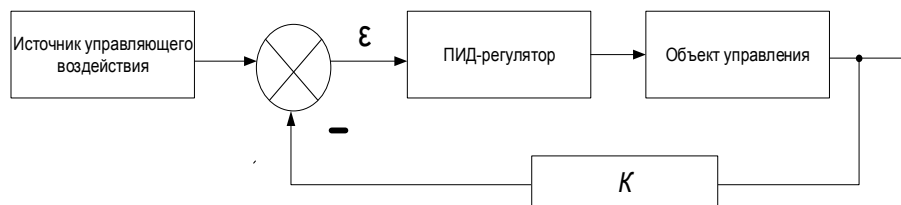


Рисунок 1. Блок-схема разрабатываемой системы

Синтез передаточной функции ОУ

Первым этапом является синтез передаточной функции (ПФ) ОУ. Основным требованием к ПФ ОУ является близость к ПФ реальных ОУ, используемых в промышленности. Из этих соображений в качестве ПФ ОУ выбрано устойчивое звено 3-го порядка. Таким образом, ПФ ОУ стенда имеет вид:

$$W(s) = \frac{1}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + 1} \quad (1)$$

где s – комплексная переменная, a_3, a_2, a_1 – коэффициенты, которые необходимо найти исходя из требований к переходному процессу. Переходный процесс ОУ должен характеризоваться ярко выраженной колебательностью (с перерегулированием $\sigma = 50\text{--}80\%$) для демонстрации его последующего регулирования. Время переходного процесса $t_{\text{пн}} = 40$ мс выбрано исходя из удобства наблюдения на осциллографе. Значения коэффициентов в (1) для соответствия требуемым значениям $t_{\text{пн}}$ и σ выбираются по алгоритму [3], в котором коэффициенты (1) принимаются равными $a_2 = T_2$; $a_1 = 2\delta T$, где δ – декремент затухания, T – постоянная времени.

Задается выбранное время переходного процесса $t_{\text{пн}}$ и значение δ . Известно, что переходный процесс будет колебательным, если $\delta < 0.5$, поэтому берется несколько значений $\delta = 0.1; 0.2; 0.3$, откуда, по приближенному равенству находятся значения T : $T = \delta t_{\text{пн}}/3$. Таким образом, для различных δ

определяются коэффициенты a_1 и a_2 . Для определения коэффициента a_3 воспользуемся условием $a_3 < a_2 \cdot a_1$ (2), которое не является строго достаточным условием устойчивости, но во многих случаях, для практических целей, используется для выявления устойчивых систем [2]. Соблюдая (2), найдем a_3 по формуле: $a_3 = a_2 \cdot a_1 / 10$. Таким образом, для разных значений δ получим три ПФ. Далее производится получение переходной характеристики полученных ПФ в пакете прикладных программ (ППП) MATLAB&Simulink (рис. 2). Из рис. 2 видно, что полученные ПФ имеют время переходного процесса, близкое к искомому $t_{\text{ин}} = 40$ мс, и перерегулирование наиболее колебательного процесса не превышает 80 %. Таким образом, выбирается ПФ, имеющая наибольшую колебательность.

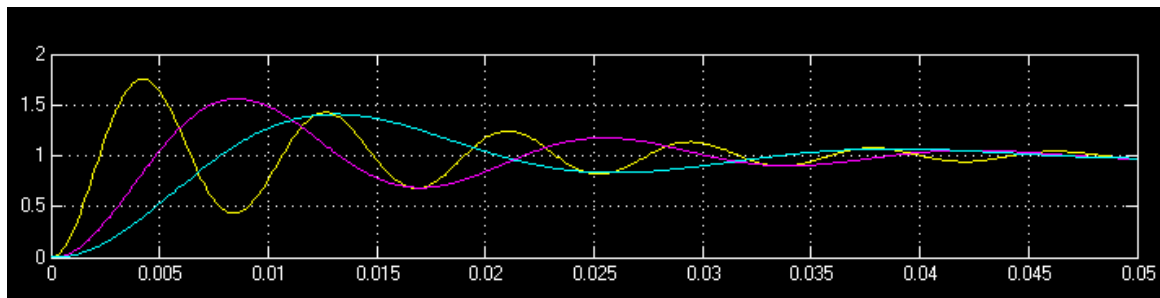


Рисунок 2. Переходные характеристики найденных ПФ. Масштаб: X – 5 мс /дел; Y – 0.5 ед /дел

Выбранная ПФ имеет вид:

$$W(s) = \frac{1}{4.74 \cdot 10^{-11} s^3 + 1.78 \cdot 10^{-6} s^2 + 2.67 \cdot 10^{-7} \cdot s + 1}. \quad (3)$$

Синтез принципиальной схемы ОУ

Для реализации ПФ (3) на дискретных элементах и операционных усилителях произведем разложение (3) на сомножители первого и второго порядков:

$$W(s) = \frac{1}{2.676 \cdot 10^{-5} s + 1} \cdot \frac{1}{1.771 \cdot 10^{-6} s^2 + 2.399 \cdot 10^{-4} s + 1} = W_1(s) \cdot W_2(s). \quad (4)$$

ПФ каждого из полученных сомножителей можно реализовать по отдельности каскадами первого и второго порядков. Схема каскада первого порядка представляет собой простейшее апериодическое звено 1-го порядка на операционном усилителе. Схема каскада второго порядка представляет собой фильтр Баттерворта с топологией Саллена–Кея. Параметры компонентов находятся из условия тождественного равенства соответствующей ПФ из (4) и аналитического выражения для ПФ, взятого из литературы [4]. Фиксируя значения сопротивлений, находим значения конденсаторов. Принципиальная схема ОУ представлена на рис. 3.

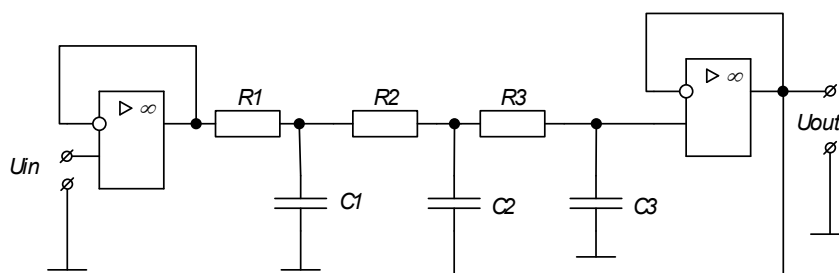


Рисунок 3. Принципиальная схема объекта управления

Найденные значения дискретных элементов округляются до номинальных (из стандартных рядов значений компонентов, выпускаемых промышленностью серийно) и выполняется моделирование ОУ в ППП Multisim (рис. 5): задается его схема и производится получение переходной характеристик ОУ. Полученный результат согласуется с полученным ранее моделированием в Simulink.

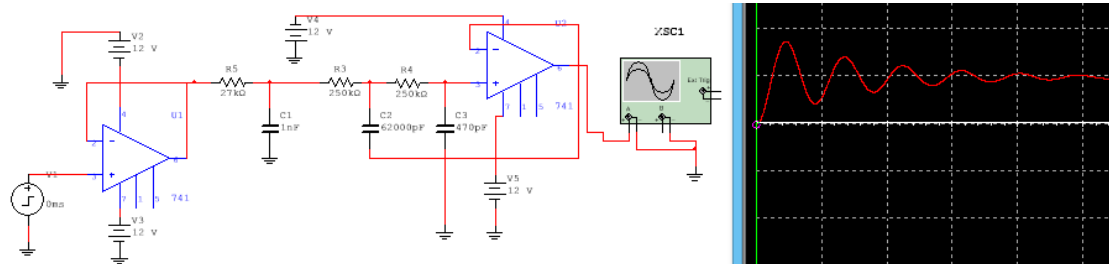


Рисунок 5. Принципиальная схема ОУ и его переходный процесс на выходе ОУ в Multisim.
Масштаб: X – 10 мс/дел; Y – 1 В/дел

Синтез схемы ПИД-регулятора

Согласно основной функции разрабатываемого стенда, необходимо иметь возможность наблюдать во времени изменение переходной характеристики ОУ в зависимости от значений пропорциональной, интегральной, и дифференциальной составляющих ПИД-регулятора. Для реализации этой возможности необходимо реализовать ПИД-регулятор на отдельных звеньях, соответствующих трем составляющим и просуммировать их выходные сигналы. При этом в каждом звене должен присутствовать элемент, позволяющий изменять данную составляющую. Разработанная схема ПИД-регулятора представлена на рис. 6. Пропорциональное, интегрирующее и дифференцирующее звенья, а также усиливающий сумматор реализованы на операционных усилителях. При этом, каждое из звеньев имеет в своем составе переменное сопротивление, которое будет использовано для настройки ПИД-регулятора в режиме реального времени. Номинальные значения элементов выбраны при моделировании в Multisim исходя из возможности обеспечения качественного регулирования системы, а также возможности вывода системы в неустойчивое состояние.

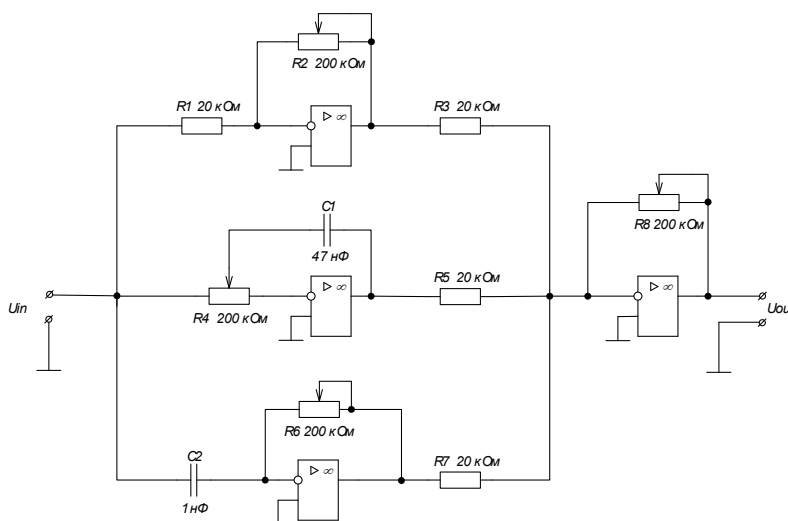


Рисунок 6. Принципиальная схема ПИД-регулятора

Источник управляющего воздействия

В качестве источника управляющего воздействия в стенде удобно использовать генератор импульсов прямоугольной формы – мультивибратор. Реализуемое им воздействие позволит периодически наблюдать переходный процесс на выходе ОУ. При этом необходимо выполнение условия, чтобы длительность импульсов генератора была в несколько раз больше длительности собственного переходного процесса ОУ ($t_{\text{имп}} = 40 \text{ мс}$). С учетом этого синтезирована схема мультивибратора на операционном усилителе.

Моделирование схемы

Описанные части системы соединяются по блок-схеме (рис. 1), где в качестве сумматора и одновременно коэффициента усиления обратной связи используется вычитающий усилитель на операционном усилителе. Полученная схема собирается в Multisim, вычисляется временной отклик объек-

та управления при различных коэффициентах составляющих ПИД-регулятора. Формы сигнала на выходе объекта управления и сумматора (ошибка управления) для одной из настроек ПИД-регулятора представлены на рис. 8.

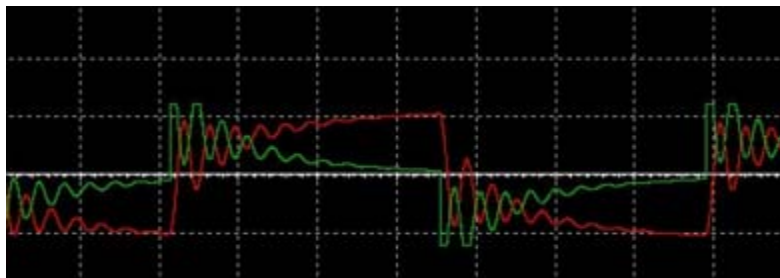


Рис. 8 Формы сигнала на выходе ОУ (красная кривая) и сумматора (зеленая кривая), полученные в Multisim. Масштаб: X – 20 мс/дел, Y – 10В/дел.

Заключение

В данной работе обосновано и предложено создание стенда для отработки навыков настройки ПИД-регулятора. Описаны подходы и функции. Представлены этапы проектирования принципиальных схем составных частей стенда.

Список литературы

1. Малышенко А.М. Математические основы теории систем / А.М. Малышенко . – Томск : Изд-во Томского политехн. ун-та, 2004. – 334 с.
2. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В.В. Денисенко. – Москва : Горячая линия– Телеком, 2013 – 608 с.
3. Экспресс-анализ САР по ее передаточной функции // Сайт о моделировании систем и явлений. – URL: http://model.exponenta.ru/bt/bt_00111.html (дата обращения: 07.04.2016).
4. Основы теории цепей : учебник для вузов / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. – 5-е изд., перераб. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.
5. Горбачев Г.Н. Промышленная электроника : учебник для вузов / Г.Н. Горбачев, Е.Е. Чаплыгин ; под ред. В. А. Лабунцова. – Москва : Энергоатом-издат, 1988. – 320 с.