

## РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО СТЕНДА ИЗУЧЕНИЯ ПИД-РЕГУЛЯТОРА

Газизов А.Т., Селивёрстов П.А.  
Научный руководитель: Тутов И.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
paulseliverstov@gmail.com

### Введение

Регуляторы используются в системах автоматического управления для формирования управляющего сигнала с целью получения необходимых точности и качества переходного процесса [1]. Данные параметры влияют на скорость выхода системы на установившийся режим, а также на перерегулирование. Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор является наиболее распространенным регулятором. К причинам такой популярности относятся простота построения и промышленного использования; невысокая стоимость; высокая эффективность в решении практических задач [2]. Однако, универсальный метод настройки ПИД-регуляторов отсутствует. Моделирование зачастую не учитывает особенности реальных режимов работы. Таким образом, для студентов профильных специальностей является важным изучение и приобретение навыков работы с ПИД-регуляторами на реальной элементной базе до столкновения с такими задачами на производстве. В связи с этим предлагается разработка учебного стенда для изучения ПИД-регулятора. Первый опытный образец будет проектироваться на дискретных элементах.

Также необходимым свойством данного стенда является возможность регулирования значений пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих ПИД-регулятора в режиме реального времени. Таким образом, стенд состоит из следующих частей: объекта управления (ОУ), охваченного обратной связью, источника задающего воздействия и ПИД-регулятора (рис. 1).



Рис. 1. Блок-схема разрабатываемой системы.

### Синтез передаточной функции ОУ

Начнем с синтеза передаточной функции (ПФ) ОУ. Основное требование – близость к реальным ОУ, используемым в промышленности. Как правило, большинство промышленных ОУ с достаточной точностью описываются ПФ второго порядка [3]. Однако сложности вызывает реальная настройка регуляторов, управляющих ОУ, ПФ которых является выше второго порядка, что не редко встречается на практике. Исходя из этого

выбрано устойчивое звено 3-го порядка. 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, характеризующие переходный процесс. Переходный процесс ОУ для демонстрации его последующего регулирования должен характеризоваться высокой колебательностью (перерегулирование  $\sigma=50-80\%$ ). Выбранное время переходного процесса  $t_{пп} = 40$  мс. Значения коэффициентов в уравнении (1) выбираются по алгоритму [4], который обеспечит соответствие требуемым значениям  $t_{пп}$  и  $\sigma$ . Для этого коэффициенты  $a_2$  и  $a_1$  принимаются равными:

$$a_2 = T^2; \quad a_1 = 2\delta T, \quad (2)$$

где  $\delta$  – декремент затухания,  $T$  – постоянная времени. Так как переходный процесс является колебательным при  $\delta < 0,5$ , берется несколько значений:  $\delta_1=0,1$ ;  $\delta_2=0,2$ ;  $\delta_3=0,3$ , откуда, поравнению находятся  $T_i = (\delta_i t_{пп})/3$  и для каждого случая определяются коэффициенты  $a_1$  и  $a_2$  по (2). Коэффициент  $a_3$  будет подбираться по условию  $a_3 < a_2 a_1$ , которое для практических целей, используется для выявления устойчивых систем [2]. Найдем  $a_3$  по формуле:  $a_3 = a_2 a_1 / 10$ .

Теперь для значений  $\delta$  приведем три ПФ с коэффициентами, которые представлены в табл. 1.

Таблица 1. Коэффициенты ПФ

ПФ\Параметр	$\delta$	$a_3$	$a_2$	$a_1$
$W_1$	0,1	$4,74 \cdot 10^{-11}$	$1,78 \cdot 10^{-6}$	$2,67 \cdot 10^{-4}$
$W_2$	0,2	$7,58 \cdot 10^{-10}$	$7,11 \cdot 10^{-6}$	$1,067 \cdot 10^{-3}$
$W_3$	0,3	$3,84 \cdot 10^{-9}$	$16 \cdot 10^{-6}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$

Следующим этапом получим переходные характеристики для всех полученных ПФ в пакете MATLAB&Simulink (рис. 2). Из рис. 2 видно, что время переходного процесса  $t_{пп} \approx 40$  мс, и перерегулирование не превышает 80%. Выбирается ПФ, имеющая наибольшую степень колебательности, как было оговорено ранее.

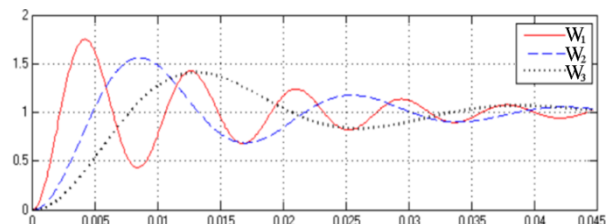


Рис. 2. Переходные характеристики ПФ при  $\delta=0,1$  (—);  $\delta=0,2$  (- -);  $\delta=0,3$  (···).

Выбранная ПФ имеет вид:

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

#### Синтез схемы объекта управления

Для реализации ПФ (3) на дискретных элементах и операционных усилителях разложим выражение (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 сомножителя можно воплотить в отдельности каскадами первого и второго порядков соответственно. Каскад первого порядка является апериодическим звеном первого порядка на операционном усилителе.

Параметры элементов получаются в соответствии со следующей формулой:

$$W_1(s) = \frac{1}{R_1 C_1 s + 1} \equiv \frac{1}{2.676 \cdot 10^{-5} s + 1}.$$

Задаем  $C_1 = 1 \text{ нФ}$  и вычисляем значение  $R_1 = 2,7 \cdot 10^{-5} / C_1 = 27 \text{ кОм}$ .

Каскад второго порядка – это фильтр Баттерворта с топологией Саллена-Кея [5].

Параметры элементов получаются в соответствии со следующей формулой:

$$W_2(s) = \frac{1}{C_2 C_3 R_2 R_3 s^2 + C_3 (R_2 + R_3) s + 1} \equiv \frac{1}{1.771 \cdot 10^{-6} s^2 + 2.399 \cdot 10^{-4} s + 1}$$

Задаем  $R_2 = R_3 = 250 \text{ кОм}$ , находим значения конденсаторов  $C_2 = 0.48 \text{ нФ}$ ,  $C_3 = 60 \text{ нФ}$ . Суммируя все выше сказанное, получаем принципиальную схему ОУ (рис. 3). Параметры элементов при реальной сборке стенда сводятся к номиналам из стандартных рядов значений компонентов, выпускаемых промышленностью серийно.

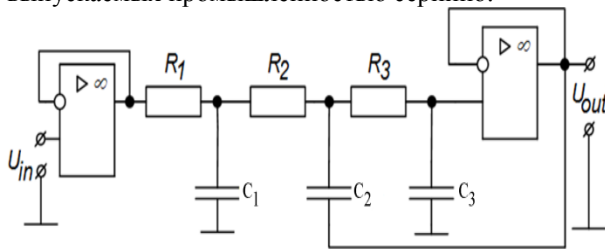


Рис.3. Принципиальная схема ОУ.

#### Синтез схемы ПИД-регулятора

Так как основное свойство стенда заключается в возможности наблюдать изменение переходной характеристики ОУ в зависимости от значений всех составляющих ПИД-регулятора, необходимо синтезировать ПИД-регулятор на отдельных звеньях, соответствующих трем составляющим, выходные сигналы которых просуммируем. Каждое звено должно иметь в себе элемент, который будет давать возможность изменения соответствующей составляющей ПИД-регулятора. Предложенная схема ПИД-регулятора представлена на рис. 4. Все звенья ПИД-регулятора в отдельности, также как и

усиливающий сумматор собраны на операционных усилителях. Настройку параметров ПИД-регулятора в режиме реального времени будем производить по средством переменных сопротивлений соответствующих звеньев.

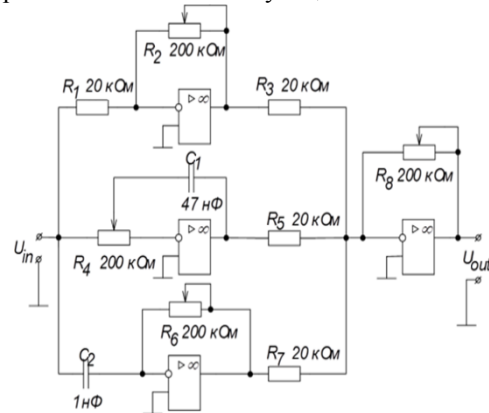


Рис. 4. Принципиальная схема ПИД-регулятора.

#### Заключение

В данной работе предложено создание стенда настройки ПИД-регулятора, приведены необходимые аргументы в пользу создания подобного рода стенда. Приведена общая блок-схема стенда. Предоставлены требования к ПФ ОУ, а также процесс получения желаемой ПФ. Приведены этапы разработки таких составных частей стенда, как ОУ и ПИД-регулятор. Результаты тестирования схемы ОУ, а также всей системы с ПИД-регулятором, показывают, что система является работоспособной [6]. Таким образом, работа с предложенным стендом студентами профильных специальностей значительно улучшить навыки реальной настройки ПИД – регулятора.

#### Литература

1. Малышенко А.М. Математические основы теории систем. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2004. – 334 с.
2. Денисенко В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия– Телеком, 2013 – 608 с.
3. Пякилла Б.И. Идентификация математической модели робототехнической системы // Математические структуры и моделирование. 2014. № 4 (32). С. 100-104.
4. Экспресс-анализ САР по ее передаточной функции // Сайт о моделировании систем и явлений URL: [http://model.exponenta.ru/bt/bt\\_00111.html](http://model.exponenta.ru/bt/bt_00111.html) (дата обращения: 15.10.2016).
5. Основы теории цепей: Учебник для вузов / Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил, С. В. Страхов. – 5-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.
6. А.Т. Газизов, И.А. Тутов. Разработка электронного стенда изучения ПИД- регулятора.

XIV Международная научно-практическая конференция студентов аспирантов и молодых учёных  
«Молодёжь и современные информационные технологии»

НИ ТПУ, Новосибирск, Россия. Автоматика и  
программная инженерия. 2016. № 2 (16). С. 14–19.