

УДК 681.5

EDN REYHHG

<https://www.doi.org/10.47813/rosnio-III.2024.2008>

К вопросу изучения элементов силовой электроники, как основы построения аналоговых регуляторов

И.В. Ковалев^{1,2,3}, В.В. Лосев^{2*}

¹Сибирский федеральный университет, пр. Свободный, 79, Красноярск, 660041, Россия

²Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, пр. им. газеты Красноярский рабочий, 31, Красноярск, 660037, Россия

³Красноярский государственный аграрный университет, пр. Мира, 90, Красноярск, 660049, Россия

*E-mail: basilos@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы изучения элементов силовой электроники, как основы формирования аналоговых систем автоматического регулирования. Дана характеристика операционным усилителям, как высокопроизводительным элементам, на базе которых могут быть построены основные схемы аналоговых регуляторов (П -, И -, ПИ -, ПД -, ПИД - регуляторы). Дан пример функциональной схемы линейной системы второго порядка и её эквивалент – схмотехническая реализация на аналоговых элементах. Приведена схема простейшего варианта операционного усилителя на трех транзисторах, раскрыто понятие усилительного каскада. Рассмотрен пример построения схемы усилителя на биполярном транзисторе, приведены выходные характеристики.

Ключевые слова: регулятор, система автоматического регулирования, операционный усилитель.

On the issue of researching power electronics elements as the basis for constructing analog regulators

I.V. Kovalev^{1,2,3}, V.V. Losev^{2*}

¹Siberian Federal University, 79 Svobodny Avenue., Krasnoyarsk, 660041, Russia

²Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 31 Krasnoyarsky Rabochiy Avenue, 31, Krasnoyarsk, 660037, Russia

³Krasnoyarsk State Agrarian University, Mira Avenue, 90, Krasnoyarsk, 660049, Russia

*E-mail: basilos@mail.ru

Abstract. The article discusses the issues of studying power electronics elements as the basis for the formation of analogue automatic control systems. Operational amplifiers are characterized as high-performance elements on the basis of which the basic circuits of analogue regulators (P-, I-, PI-, PD-, PID-regulators) can be built. Let us give an example of a functional diagram of a second-order linear system and its equivalent - a circuit implementation using analog elements. A diagram of the simplest version of an operational amplifier using three transistors is presented, and the concept of an amplifier stage is revealed. An example of constructing an amplifier circuit based on a bipolar transistor is considered, and the output characteristics are given.

Keywords: regulator, automatic control system, operational amplifier.

1. Введение

Технологические процессы, связанные с получением изделий, продуктов и полуфабрикатов из исходного сырья с использованием видов энергии, осуществляются в специализированных машинах и аппаратах [1-3]. Понятие технологии производства неразрывно связано с регламентами и параметрами технологического процесса, которые, в свою очередь, с режимами работы производственного оборудования. Ключевым понятием автоматизации технологических процессов является управление режимами и обеспечение регулирования значений параметров [4-6].

2. Автоматические регуляторы

Регулирование параметра технологического процесса осуществляется в контуре, который выступает административной «единицей» автоматизации и формируют систему автоматического регулирования. Значительную группу технических средств автоматизации, входящих в систему автоматического регулирования, составляют регуляторы [7-9].

Регулятор представляет собой автоматическое регулирующее устройство, осуществляющее взаимодействие на объект по заданному закону регулирования. Объект регулирования и автоматическое регулирующее устройство образуют систему автоматического регулирования (САР) [10].

3. Законы регулирования

Закон регулирования представляет собой зависимость управляющего воздействия (перемещение регулируемого органа) от отклонения регулируемой величины от задающего воздействия.

Из уравнения общего вида линейного регулятора [10] могут быть получены частные случаи законов регулирования, определяющие тип регулятора.

Так, для безынерционного (идеального) регулятора типа *И*-интегрального – дифференциальное уравнение будет выглядеть следующим образом:

$$\mu = \frac{K_p}{T_n p} \varphi \quad (1)$$

где, μ – выходная величина регулятора (управляющее воздействие), K_p – коэффициент усиления регулятора, T_n – время изодрома или время удвоения, p – оператор дифференцирования.

Передаточная функция идеального I – регулятора будет выглядеть следующим образом:

$$W(p) = \frac{1}{T_i p(1+T_1 p+T_2^2 p^2)} \quad (2)$$

4. Операционный усилитель

Рассмотрим пример аналогового регулятора I – типа с линейным законом регулирования:

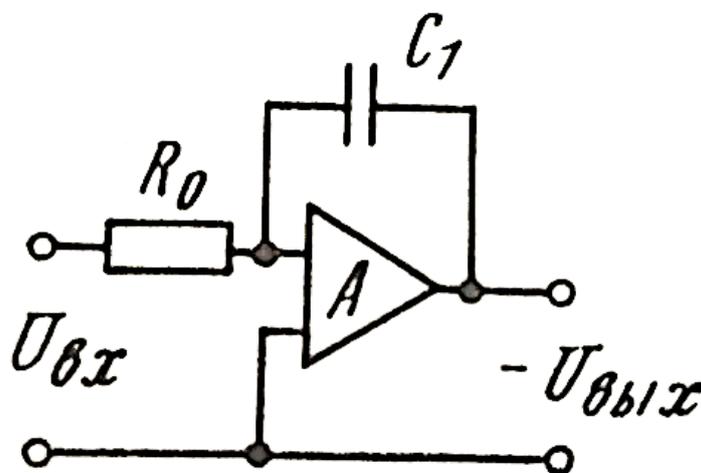


Рисунок 1. Структурная схема регулятора I – типа.

На схеме (рисунок 1) символом A обозначен операционный аналоговый усилитель, входное напряжение $U_{вх}$. выходное – $U_{вых}$.

Операционные усилители нашли широкое применение в построении аналоговых вычислительных систем, в том числе автоматического регулирования, они могут быть использованы для выполнения различных математических операций над аналоговыми сигналами: сравнения, алгебраического сложения, логарифмирования, интегрирования, дифференцирования и т. д. [11].

Приведем пример функциональной схемы линейной системы второго порядка (рисунок 2) и её эквивалент – схемотехническую реализацию на аналоговых элементах (рисунок 3).

В качестве основных структурных элементов схемы выступают операционные усилители – аналоговый интегратор (1, 2) и инвертирующий усилитель (3, 4).

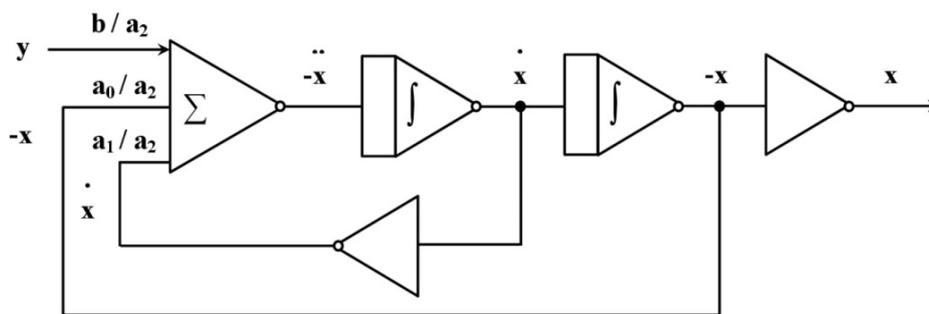


Рисунок 2. Функциональная схема линейной системы второго порядка.

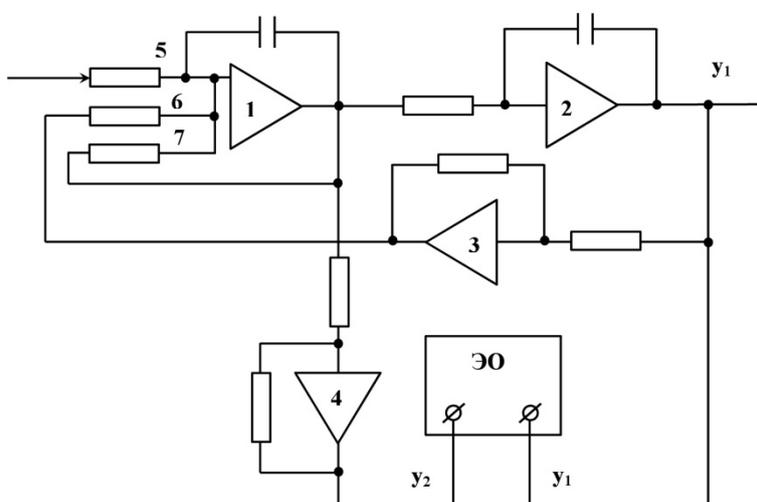


Рисунок 3. Структурная схема линейной системы второго порядка на аналоговых элементах.

Операционные усилители по-прежнему широко используются для аналоговых вычислений, и, хотя аналоговые методы в компьютерной технике вытесняются цифровыми, область применения операционных усилителей в приборостроении и разработке систем управления быстро расширяется.

Для понимания основных принципов работы и исследования характеристик операционного усилителя, его можно собрать на дискретных элементах по упрощенным схемам. На рисунке 4 приведена схема простейшего варианта операционного усилителя на трех транзисторах.

Основой построения операционного усилителя являются биполярные транзисторы, они образуют усилительные каскады.

Транзисторы V_1 и V_2 образуют входной дифференциальный каскад, на транзисторе V_3 выходной каскад. Коэффициент передачи усилителя по постоянному току при отключенной нагрузке составляет 500 ... 1000. По данному показателю подобные схемотехнические решения намного уступают интегральным операционным усилителям, при этом, с точки зрения проектных и исследовательских задач позволяют получить множество вариативных расчетных характеристик [12].

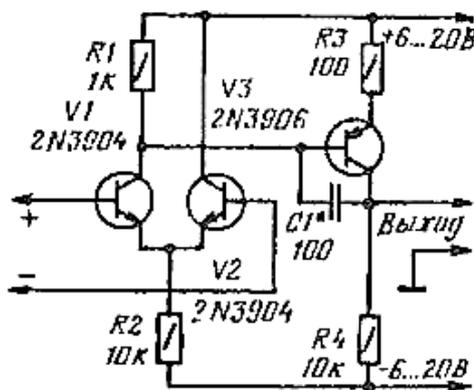


Рисунок 4. Схема операционного усилителя на трех транзисторах.

При использовании операционного усилителя в качестве регулятора на его входе производится сравнение сигналов задающего воздействия и регулируемой величины.

5. Усилитель на биполярных транзисторах

Биполярный транзистор выступает основой формирования каскадов операционного усилителя. Дифференциальный (входной) каскад образуется симметричным включением двух биполярных транзистора *n-p-n* – типа с общим эмиттером и усиливает только напряжение, приложенное между его входами. Усилитель напряжения (второй каскад) имеет высокий коэффициент усиления по напряжению. Выходной каскад обеспечивает высокую нагрузочную способность по току, низкое выходное сопротивление, ограничение выходного тока и защиту от короткого замыкания в нагрузке [13, 14].

На рисунке 5 приведена схема усилителя на биполярном транзисторе. На рисунке 6 приведена вольтамперная характеристика биполярного транзистора, при различных уровнях напряжения [15].

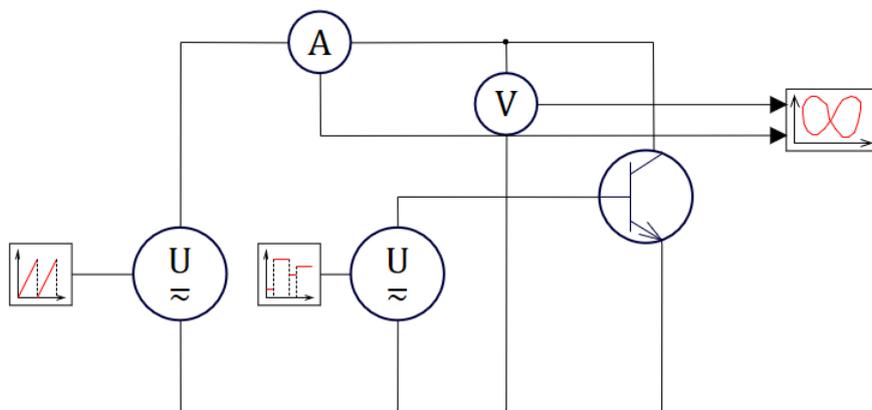


Рисунок 5. Схема усилителя на биполярном транзисторе.

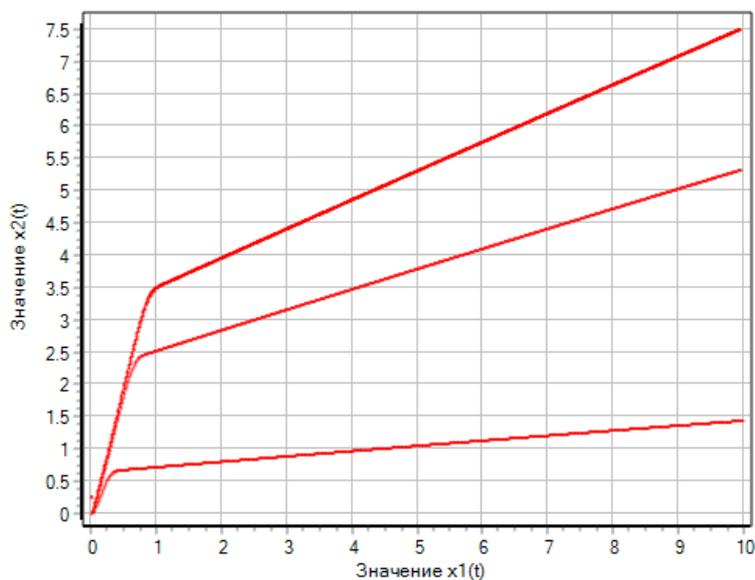


Рисунок 6. Выходные характеристики биполярного транзистора.

6. Вывод

На сегодняшний день аналоговые элементы силовой электроники остаются широко востребованными для разработчиков аналоговых систем управления и регуляторов, поскольку обеспечивают высокую скорость срабатывания, точность выполняемых действий как арифметических с входными сигналами, так и передаточных функций в целом, гибкость и масштабируемость.

Список литературы

1. Ворошилова А. Обзор III Международного семинара MIP: Computing-2021: Компьютерное моделирование, информационные и вычислительные технологии / А. Ворошилова, А. Кузнецов // Современные инновации, системы и технологии. – 2021. – № 1(2). – С. 1-21. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-2-1-21>
2. Махмудов Г. Моделирование нечеткой логики для управления процессом бактериального окисления концентратов в реакторах с мешалкой / Г. Махмудов, А. Саидова, Н. Мохилова // Современные инновации, системы и технологии. – 2022. – № 2(2). – С. 0201-0214. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2022-2-2-0201-0214>
3. Ковалев И.В. Вычислительные комплексы обеспечения научных исследований / И.В. Ковалев, В.В. Лосев, А.О. Калинин // Современные инновации, системы и технологии. – 2023. – № 3(3). – С. 0225-0243. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2023-3-3-0225-0243>
4. Кузнецов П. К вопросу учета опасностей при анализе надежности АСУ ТП опасных производств / П. Кузнецов, Я. Тынченко, В. Колесник // Информатика. Экономика. Управление. – 2022. – № 1(1). – С. 0217-0228. <https://doi.org/10.47813/2782-5280-2022-1-1-0217-0228>
5. Ковалев И.В. Формализованный подход к проектированию микропроцессорных систем с элементами человеко-машинного взаимодействия / И.В. Ковалев, В.В. Лосев, А.О. Калинин // Современные инновации, системы и технологии. – 2023. – № 3(2). – С. 0243-0253. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2023-3-2-0243-0253>
6. Ковалев Д. К вопросу выбора операционной системы реального времени для аппаратно-программной поддержки систем производственно-экологического мониторинга / Д. Ковалев, Т. Мансурова, Я. Тынченко // Современные инновации, системы и технологии. – 2021. – № 1(2). – С. 46-63. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-2-46-63>
7. Сафин И.Х. Системы автоматического контроля, управления и регулирования / И.Х. Сафин, Н.И. Шаймуратова // Инновационная наука. – 2020. – № 6. – С. 57-60.
8. Утемисов А.О. Системы автоматического управления / А.О. Утемисов, Х.Б.К. Юлдашова // Universum: технические науки. – 2022. – №. 5-2(98). – С. 45-47.
9. Кузнецов П.А. Анализ средств и методов разработки программного обеспечения АРМ диспетчера / П.А. Кузнецов, А.С. Лифарь // Информатика. Экономика.

Управление. – 2023. – № 2(3). – С. 0239-0251.

<https://doi.org/10.47813/2782-5280-2023-2-3-0239-0251>

10. Втюрин В.А. Автоматические регуляторы в лесной и деревообрабатывающей промышленности: Лекции / В.А. Втюрин, Н.А. Скурихин. – Л.: ЛТА, 1986. – 52 с.
11. Осадченко В.Х. Операционные усилители: учебное пособие / В.Х. Осадченко, Я.Ю. Волкова. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2020. – 156 с.
12. Грушин В. Наша консультация: на вопросы читателей отвечают авторы статей и консультанты / В. Грушин, А. Долин, А. Майоров и др. // Радио. – 1981. – № 5-6. – С. 77-78.
13. Операционный усилитель 741. Материалы открытой энциклопедии (РУВИКИ). – URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Операционный_усилитель_741 (Дата обращения: 31.05.2024).
14. Дифференциальный каскад. Материалы открытой энциклопедии (РУВИКИ). – URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Дифференциальный_каскад (Дата обращения: 31.05.2024).
15. Справочная система SimInTech. 2024. [Электронный ресурс]. – URL: <http://simintech.ru/help/rus/> Демонстрационный проект: bjt npn (dc mode).prt.