

СЕКЦИЯ 3
СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА

DOI: 10.58168/MIST2025_475-481

УДК 519.713.1

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ РАЗЛИЧНЫХ УСТРОЙСТВ НА БАЗЕ
УСИЛИТЕЛЕЙ РАЗНЫХ ТИПОВ С ПОМОЩЬЮ СИМУЛЯТОРА
QUCSSTUDIO**

А.В. Алфимов¹, Д.С. Дроздов¹, А.И. Заревич¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается применение универсального симулятора QUCSSTUDIO для моделирования инвертирующих и не инвертирующих операционных усилителей, а также устройств на их основе. Были построены модели и получены характеристики аналогового сумматора и активного фильтра.

Ключевые слова: моделирование, инвертирующий усилитель, активный фильтр, симулятор, аналоговый сумматор.

**SIMULATION OF THE OPERATION OF VARIOUS DEVICES BASED ON
AMPLIFIERS OF DIFFERENT TYPES USING
THE QUCSSTUDIO SIMULATOR**

A.V. Alfimov¹, D.S. Drozdov¹, A.I. Zarevich¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Abstract. The article discusses the use of the universal QUCSSTUDIO simulator for modeling inverting and non-inverting operational amplifiers, as well as devices based on them. Models were built and the characteristics of the analog adder and active filter were obtained.

Key words: simulation, inverting amplifier, active filter, simulator, analog adder.

Операционный усилитель является унифицированным элементом, который позволяет кратно увеличить напряжение, а также используется выполнения

операций над аналоговыми электрическими сигналами. Обычно имеет два входа и один выход. Диапазон использования подобных устройств широк [1,2]. Усилители имеются в составе фильтров, генераторов сигналов, интеграторов, стабилизаторов тока и напряжения.

Для моделирования операционных усилителей [3,4] существуют различные программные пакеты схемотехнического анализа [5], отличающиеся функциями, интерфейсом и сложностью исследуемых моделей. Одним из таких симуляторов является Qucsstudio, который свободно распространяется и отличается многообразием функций. Рассмотрим работу Qucsstudio на примере нескольких типов усилителей

Первым видом усилителя, который моделируется, будет инвертирующий (рисунок 1). Принимаются следующие начальные параметры: усиление схемы рассчитывается согласно зависимости $G = -(R2 / R1)$; $R1 = 1k$ $R2 = 10k$.

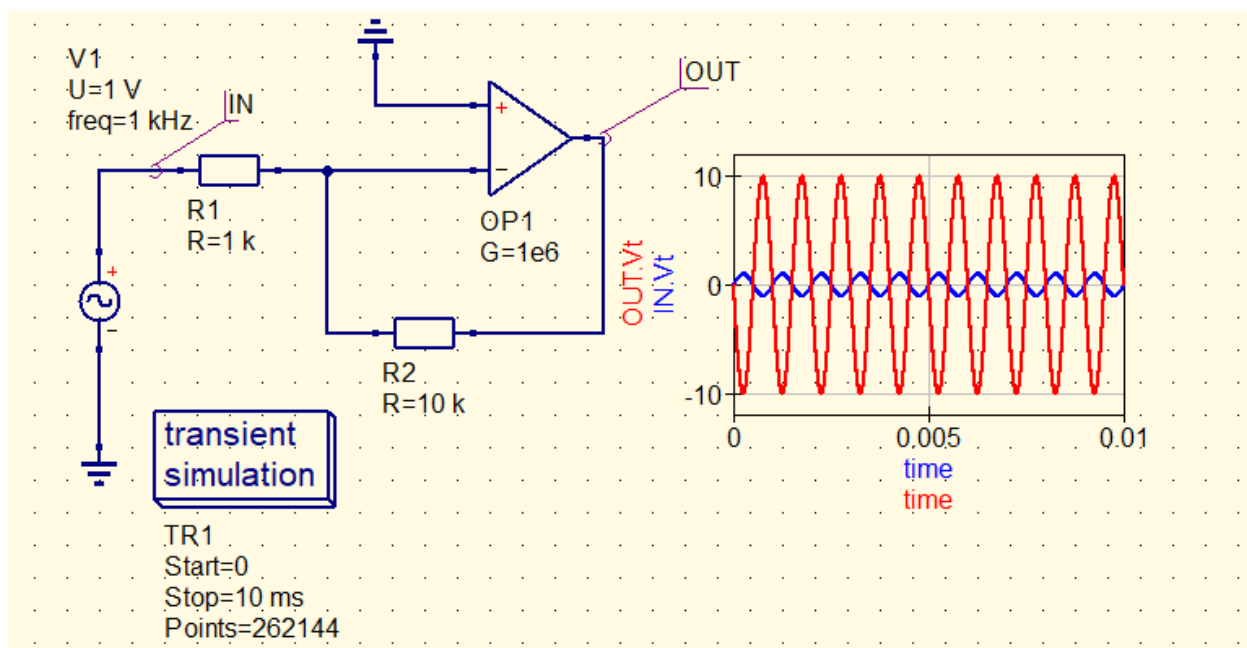


Рисунок 1 – Схема инвертирующего усилителя и его характеристики

На выходе получается десятикратное усиление со сдвигом фаз 180 градусов. Таким образом, при входном напряжении 1 V на выходе получится значение -10 V.

Для не инвертирующего усилителя, представленного на рисунке 2, устанавливаются следующие параметры: схема усиления поределяется выражением $G = +(R1 + R2) / R1 = 11$; $R1 = 1k$ $R2 = 10k$.

Следовательно, если входное напряжение будет равно 1V, то выходное напряжение получится 11V. Сдвига фаз не произойдет, т.е. выходное и входное напряжения находятся в одной фазе

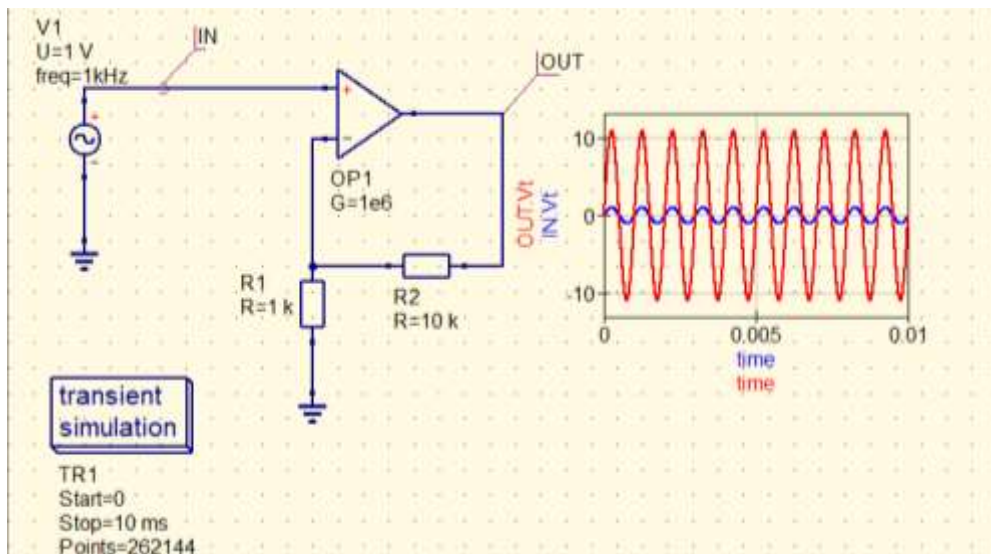


Рисунок 2 – Схема не инвертирующего усилителя и его характеристики

В аналоговом сумматоре происходит сложение сигналов с помощью инвертирующего усилителя (рисунок 3).

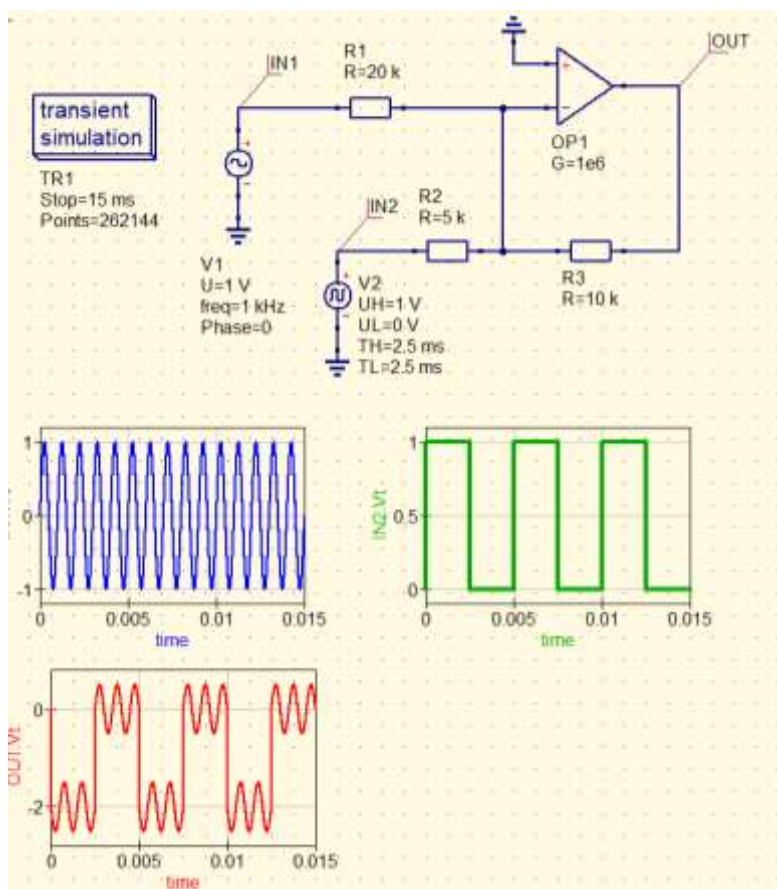


Рисунок 3 – Схема и характеристики аналогового сумматора на основе инвертирующего усилителя

На рисунке 3 разные входные токи, один проходит через R1, другой – через R2 суммируются на резисторе R3. Падение напряжения на резисторе определяется следующей схемой: $U_{R3} = (I_{R1} + I_{R2}) * R3$. Инвертированное выходное напряжение будет равно по модулю U_{R3} , но противоположно по знаку, т.е. $U_{out} = -U_{R3}$. В этом устройстве разное усиление для каждого входа:

– для V1 (синусоидальное напряжение) значение будет равняться $R3 / R1 = 10k / 20k = 0.5$;

– для V2 (импульсное напряжение) – $R3 / R2 = 10k / 5k = 2$.

Следующим моделирующим устройством (рисунок 4) является активный фильтр, использующий операционный усилитель (ОУ). Он обладает целым рядом достоинств, среди которых дешевизна, широкий диапазон настройки усиления, возможность использования отрицательной обратной связи, перспектива реализации на частотах 100 МГц.

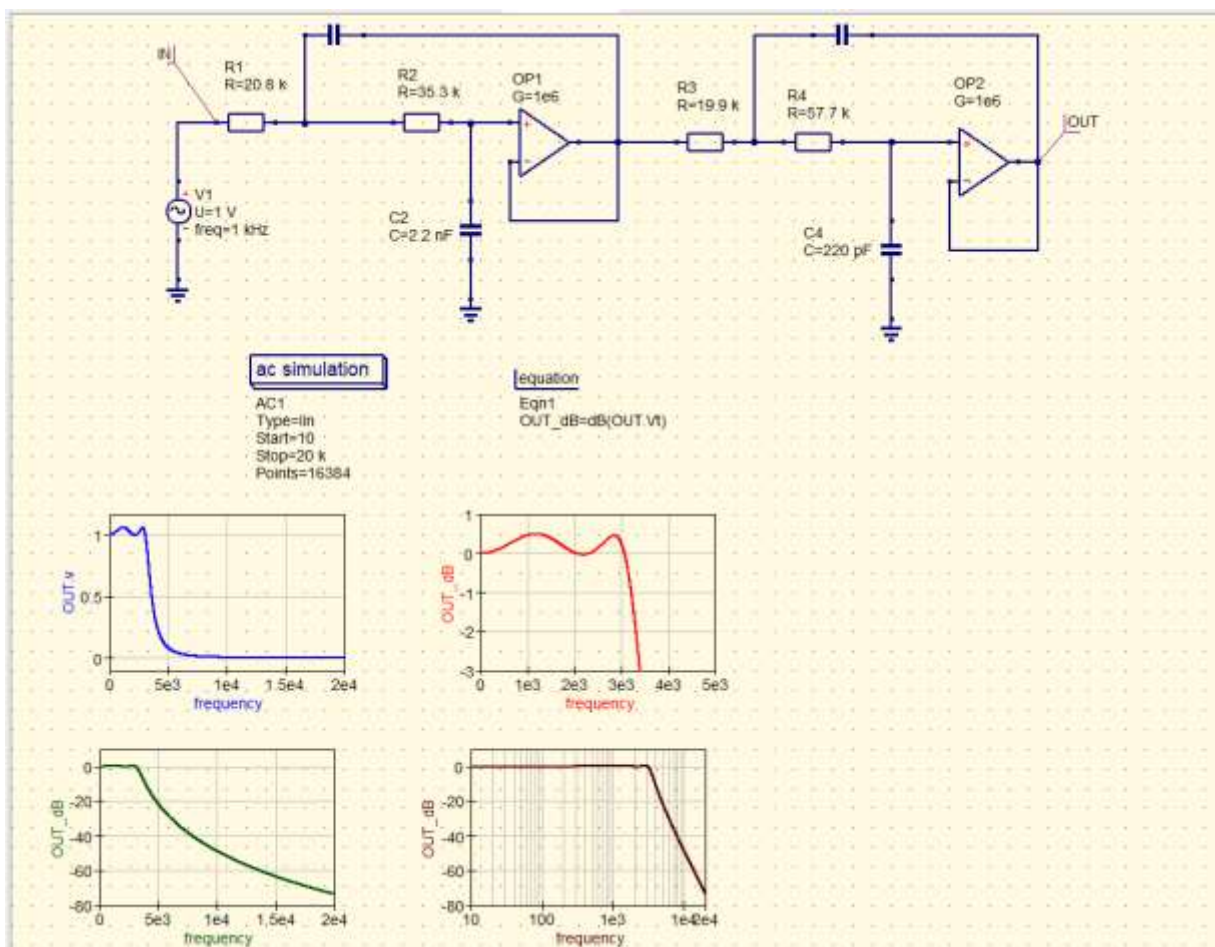


Рисунок 4 – Схема и характеристики активного фильтра на базе операционного усилителя

В схеме был использован идеальный ОУ, диапазон изменения частоты от 10 Hz до 20 kHz. Результаты для выходного напряжения OUT V_t показаны в четырех вариациях: 1) линейный выход, а по оси x частота до 20000 Гц; 2) выход в децибелах от -3 до $+1$, а ось x до 5 кГц; 3) выход в децибелах от -80 до $+10$, а ось x до 20000 Гц; 4) выход в децибелах от -80 до $+10$, а ось x логарифмическая от 10 Гц до 20 кГц.

Если сделать фильтрацию по времени с симуляцией от 0 до 50 мс и 262144 точками для хорошего качества, то получим характеристики, представленные на рисунке 5. Разрешение по частоте будет вычисляться как $b = 1 / 50 \text{ ms} = 20 \text{ Hz}$.

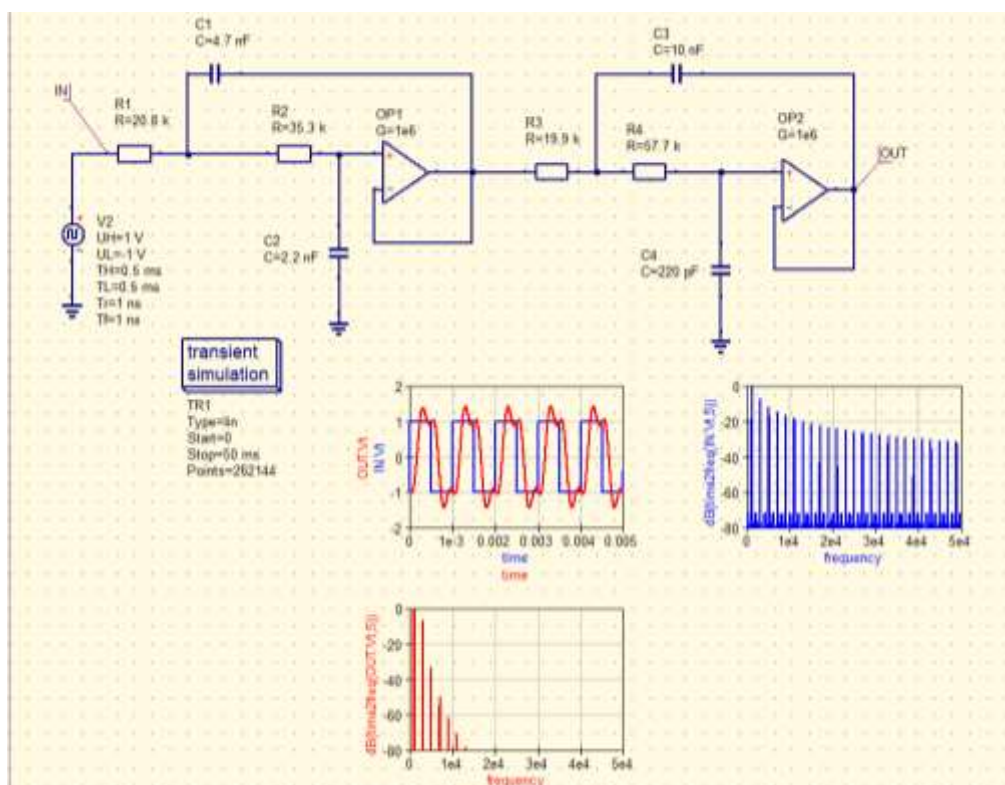


Рисунок 5 – Схема и характеристики активного фильтра на базе операционного усилителя с применением фильтрации по времени

С помощью симулятора Qucsstudio было проведено моделирование устройств, имеющих в своем составе операционные усилители и были получены выходные характеристики, показывающие нюансы их работы.

Список литературы

1. Романов, О. Операционные усилители Zero-Drift от китайских производителей / О. Романов // Электронные компоненты. – 2023. – № 5. – С. 56.

2. Чистяков, А. Операционные усилители с входным дифференциальным каскадом на биполярных супер-бета транзисторах / А. Чистяков // Электронные компоненты. – 2021. – № 7. – С. 52-55.

3. Зольников, В. К. Компьютерное моделирование работоспособности электрической схемы в системах автоматизации проектирования / В. К. Зольников, С. В. Стоянов, Е. В. Шмаков, Н. Н. Литвинов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 26-36.

4. Зольников, К. В. Создание средств проверки электрической схемы с использованием схемы тестовых внешних воздействий / К. В. Зольников, Д. В. Шеховцов, Н. Н. Литвинов, М. А. Солодилов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 36-44.

5. Черненко, Д. В. Моделирование мемристоров с использованием операционных усилителей в симуляторах электронных схем / Д. В. Черненко, В. Ф. Куксевич, Е. В. Астапенко, Н. В. Видунок // Материалы докладов 54-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов : Материалы докладов конференции. В 2-х томах, Витебск, 28 апреля 2021 года. Том 2. – Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2021. – С. 37-39.

6. Парамонов, А. А. Исследование структуры тропического циклона на основе анализа данных спутникового видеоряда с применением метода почти периодического анализа / А. А. Парамонов, А. В. Калач, А. С. Кравченко // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 67-76. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-67-76. – EDN BOGSTY.

7. Сумин, В. И. Особенности выбора членов экспертной группы для анализа функционирования сложной организационной системы силовых структур / В. И. Сумин, А. С. Дубровин, И. С. Куцева // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 77-83. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-77-83. – EDN ISTAML.

8. Полуэктов А.В., Макаренко Ф.В., Ягодкин А.С. Использование сторонних библиотек при написании программ для обработки статистических данных // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 2. – С. 33-41.

References

1. Romanov, O. Operational Zero-Drift amplifiers from Chinese manufacturers / O. Romanov // Electronic components. – 2023. – No. 5. – P. 56.

2. Chistyakov, A. Operational amplifiers with an input differential cascade on bipolar super-beta transistors / A. Chistyakov // *Electronic components*. – 2021. – No. 7. – pp. 52-55.
3. Zolnikov V. K. Computer modeling of electrical circuit operability in design automation systems / V. K. Zolnikov, S. V. Stoyanov, E. V. Shmakov, N. N. Litvinov // *Modeling of systems and processes*. – 2024. – T. 17, No. 3. – P. 26-36.
4. Zolnikov, K. V. Creation of means of checking an electrical circuit using a circuit of test external influences / K. V. Zolnikov, D. V. Shekhovtsov, N. N. Litvinov, M. A. Solodilov // *Modeling of systems and processes*. – 2024. – T. 17, No. 3. – P. 36-44.
5. Chernenko, D. V. Modeling of memristors using operational amplifiers in simulators of electronic circuits / D. V. Chernenko, V. F. Kuksevich, E. V. Astapenko, N. V. Vidunok // *Proceedings of the 54th International Scientific and Technical Conference of Teachers and Students : Conference proceedings*. In 2 volumes, Vitebsk, April 28, 2021. Volume 2. Vitebsk: Vitebsk State Technological University, 2021. P. 37-39.
6. Paramonov, A. A. Investigation of the structure of a tropical cyclone based on the analysis of satellite video data using the method of almost periodic analysis / A. A. Paramonov, A.V. Kalach, A. S. Kravchenko // *Modeling of systems and processes*. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – PP. 67-76. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-67-76. – EDN BOGSTY.
7. Sumin, V. I. Features of the selection of members of the expert group for the analysis of the functioning of a complex organizational system of law enforcement agencies / V. I. Sumin, A. S. Dubrovin, I. S. Kushcheva // *Modeling of systems and processes*. – 2024. – Vol. 17, No. 4. – pp. 77-83. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-4-77-83. – EDN ISTAML.
8. Poluektov A.V., Makarenko Ph.V., Yagodkin A.S. The use of third-party libraries when writing programs for processing statistical data // *Modeling systems and processes*. – 2022. – Vol. 15, No. 2. – pp. 33-41.