

**Микаева Светлана Анатольевна**,  
д. т. н., профессор,  
МИРЭА – Российский технологический университет,  
Москва  
Mikaeva Svetlana Anatolyevna,  
MIREA – Russian Technological University,  
**Карпович Павел Вадимович**, студент,  
МИРЭА – Российский технологический университет,  
Москва  
Karpovich Pavel Vadimovich,  
MIREA – Russian Technological University

**РОЛЬ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ В СОВРЕМЕННОЙ СХЕМОТЕХНИКЕ:  
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ  
THE ROLE OF OPERATIONAL AMPLIFIERS IN MODERN CIRCUITRY:  
THEORETICAL FOUNDATIONS AND PRACTICAL APPLICATIONS**

**Аннотация:** В данной статье рассматривается роль операционных усилителей в современной схемотехнике. Операционные усилители являются неотъемлемыми компонентами в схемах обработки сигналов, измерительных устройствах и системах управления благодаря своим уникальным характеристикам, таким как высокая усилительная способность, низкие искажения и возможность работы с обратной связью.

**Abstract:** This paper discusses the role of operational amplifiers in modern circuitry. Operational amplifiers are integral components in signal processing circuits, measurement devices, and control systems due to their unique characteristics such as high amplification capacity, low distortion, and the ability to operate with feedback.

**Ключевые слова:** Операционные усилители, аналоговые схемы, обработка сигналов, схемотехника, обратная связь, усиление.

**Keywords:** Operational amplifiers, analog circuits, signal processing, circuit design, feedback, amplification.

**Введение.** Операционные усилители (ОУ) – это важнейшие компоненты, которые нашли широкое применение в схемах обработки сигналов, измерительных устройствах, системах управления и других областях электроники и схемотехники. Изначально предназначенные для использования в аналоговых вычислительных устройствах, такие усилители стали неотъемлемой частью современных электронных систем благодаря своим уникальным характеристикам и многофункциональности.

**1. История создания и развитие операционных усилителей.** Операционные усилители были изначально разработаны в 1960-х годах для использования в аналоговых вычислительных устройствах (например, в операционных вычислениях). Первоначально они представляли собой устройства, которые использовались в схемах, требующих точных математических операций, таких как сложение, вычитание, интегрирование и дифференцирование. Эти функции обусловлены основными свойствами операционных усилителей: высокой усилительной способностью, малым уровнем искажений и возможностью работы с отрицательной обратной связью. На первых этапах развития операционные усилители были довольно громоздкими и требовали внешнего источника питания для стабилизации работы. Однако с развитием интегральных технологий, в 1970-х



годах, операционные усилители стали широко распространены и компактны. В современных устройствах операционные усилители могут быть встроены в микросхемы, что значительно снижает стоимость и размеры всей системы.

**2. Принцип работы операционного усилителя.** Операционный усилитель представляет собой дифференциальный усилитель с высоким коэффициентом усиления, который может работать с отрицательной обратной связью для улучшения линейности и стабильности системы. Основным принципом работы операционного усилителя заключается в сравнении разницы напряжений на его входах и усилении этого сигнала. Усиление происходит за счет наличия большого коэффициента усиления, который позволяет операционному усилителю эффективно обрабатывать даже минимальные изменения входного сигнала. Наиболее распространенная схема подключения операционного усилителя включает два входа: инвертирующий (-) и неинвертирующий (+). На выходе операционного усилителя получается усиленная разница между напряжениями на этих входах.

Основные характеристики операционных усилителей:

- Коэффициент усиления – показатель, определяющий способность усилителя увеличивать входной сигнал.
- Входное сопротивление – сопротивление, которое операционный усилитель "видит" на своих входах. Это важно для минимизации потерь сигнала.
- Выходное сопротивление – сопротивление, которое создает операционный усилитель на выходе схемы.
- Скорость нарастания – скорость изменения выходного сигнала в ответ на изменения входного.

**3. Типы операционных усилителей.** В зависимости от требований к устройству, операционные усилители могут различаться по характеристикам, таким как усиление, скорость отклика, шумовые характеристики, энергопотребление и другие. Основные типы операционных усилителей включают:

- Усилители общего назначения – стандартные ОУ с умеренными характеристиками, применяемые в различных электронных устройствах.
- Высокоскоростные операционные усилители – усилители, которые обладают высокой скоростью отклика и используются в схемах, где требуется быстрое изменение сигнала.
- Усилители с низким потреблением энергии – ОУ, оптимизированные для работы в энергосберегающих системах, таких как переносные устройства.
- Точностные операционные усилители – усилители с низким уровнем шумов и высокой стабильностью, применяемые в измерительных приборах и системах управления.

**4. Применение операционных усилителей в схемотехнике.** Операционные усилители нашли широкое применение в различных областях электроники и схемотехники.

Рассмотрим несколько ключевых областей, где используются ОУ:

#### 4.1. Усилители сигналов и аудиоаппаратура.

Операционные усилители активно применяются в схемах усиления аудиосигналов. В таких схемах они обеспечивают высокое качество передачи сигнала с минимальными искажениями. ОУ используются в качестве предусилителей в радиоприемниках, телевизорах, аудиосистемах и в профессиональной звуковой аппаратуре.

#### 4.2. Фильтрация сигналов.

В электронных системах часто требуется удаление нежелательных частотных компонентов из входного сигнала. Операционные усилители широко используются в активных фильтрах для реализации фильтрации сигнала. С помощью операционных усилителей можно создавать фильтры низких, высоких и полосовых частот, что позволяет эффективно отфильтровывать шумы и помехи.



#### 4.3. Схемы регулирования и стабилизации.

В системах автоматического регулирования операционные усилители могут использоваться для построения различных контуров обратной связи. Это позволяет создавать системы с точным контролем параметров, таких как скорость, температура или давление. Операционные усилители также используются в стабилизаторах напряжения, где они помогают поддерживать постоянное выходное напряжение независимо от колебаний входного напряжения.

#### 4.4. Измерительные устройства и датчики.

Операционные усилители используются в схемах измерения физических величин, таких как температура, давление, влажность и другие параметры. Они обеспечивают высокую точность и чувствительность при измерении малых сигналов от датчиков, преобразуя их в удобный для анализа электрический сигнал.

**5. Проблемы и ограничения применения операционных усилителей.** Несмотря на широкий спектр применения, операционные усилители имеют ряд ограничений, которые могут влиять на их эффективность в некоторых схемах. К основным проблемам можно отнести:

- Шумовые характеристики – операционные усилители могут усиливать не только полезный сигнал, но и шумы, что снижает точность работы в высокочувствительных системах.

- Ограничения по мощности – большинство операционных усилителей имеют ограничения по мощности, что ограничивает их использование в высокомоощных приложениях.

- Температурная зависимость – характеристики операционных усилителей могут изменяться в зависимости от температуры, что требует дополнительной компенсации в некоторых случаях.

**Заключение.** Операционные усилители представляют собой важнейший элемент современной электроники, обладающий высокой гибкостью и широким спектром применения. Они используются в разнообразных схемах, от усилителей сигналов до сложных систем управления и измерений. Несмотря на существующие ограничения, операционные усилители продолжают быть незаменимыми в самых разных областях и способствуют дальнейшему развитию технологий в области схемотехники.

Развитие интегральных технологий и увеличение потребности в компактных и высокоэффективных электронных устройствах будет способствовать совершенствованию операционных усилителей и расширению их применения в различных сферах.

#### *Список литературы:*

1. Петров В. И. Основы схемотехники и электроники: учебное пособие. – М.: Энергия, 2015. с.
2. Карпов И. В. Теория и практика операционных усилителей. – М.: Радио и связь, 2013. с.
3. Малиновский В. С. Электронные компоненты: операционные усилители и их применение. – СПб.: БХВ-Петербург, 2019. С.
4. Руководство по операционным усилителям, Texas Instruments, 2017. с.

