

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**Щербаков В. И., Грездов Г. И. Электронные схемы на  
операционных усилителях: Справочник**

## **ЭЛЕКТРОННЫЕ СХЕМЫ НА ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЯХ СПРАВОЧНИК**

Киев «Техника» 1983

32.844я2 Щ61

Щербаков В. И., Грездов Г. И.

Щ61 Электронные схемы на операционных усилителях: Справочник.— К.: Техника, 1983.—213 с, ил.— Библиогр.: с. 206—211. В пер.: 1 р. 10 к. 37000 экз.

В справочнике изложены основные сведения по применению интегральных операционных усилителей в электронной аппаратуре различного назначения. Рассмотрены принципы построения электронных схем типовых функциональных узлов: усилителей, источников напряжения и тока, фильтров, модуляторов, демодуляторов, генераторов, пороговых устройств, измерительных преобразователей электрических и неэлектрических величин, аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователей и др.

Рассчитан

электро  
нной аппаратуры, может быть полезен студентам вузов соответствующих специальностей.

2403000000-126

Щ М202(04)-83 58,83 32,844я2

Рецензенты кандидаты техн. наук В. В. Трифонюк, М. З. Чаповский Редакция литературы по энергетике, электронике, кибернетике и связи Зав. редакцией З. В. Божко

Издательство «Техника», 1983

**Содержание справочника Электронные схемы на операционных усилителях**

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

---

## Предисловие

### Глава 1. **Операционные усилители**

1. Общие сведения об операционных усилителях
2. Компенсация напряжения смещения ОУ
3. Основные схемы включения ОУ
4. Устойчивость к самовозбуждению ОУ
5. Динамические характеристики замкнутой системы с ОУ
6. Расширение динамического диапазона выходного напряжения ОУ
7. Увеличение выходного тока ОУ
8. Повышение быстродействия ОУ
9. Улучшение статических характеристик ОУ
10. Улучшение шумовых характеристик
11. Подавление помех и защита ОУ от перегрузок

### Глава 2. **Усилители напряжения**

1. Инвертирующие усилители
2. Неинвертирующие усилители
3. Дифференциальные усилители
4. Усилители с гальванически развязанными цепями
5. Усилители переменного напряжения
6. Усилители с регулируемым коэффициентом передачи
7. Усилители импульсных сигналов

### Глава 3. **Фильтры и фазовые звенья**

1. Общие сведения о фильтрах
2. Фильтры нижних частот
3. Фильтры верхних частот
4. Полосовые фильтры
5. Полосно-задерживающие фильтры
6. Универсальные высокостабильные фильтры
7. Интерполирующие фильтры
8. Фазовые звенья

### Глава 4. **Генераторы**

1. Генераторы прямоугольных, треугольных и пилообразных колебаний
2. Генераторы и формирователи гармонических колебаний
3. Генераторы и формирователи сигналов специальной формы

### Глава 5. **Модуляторы, демодуляторы, аналоговые ключи**

1. Амплитудные модуляторы
2. Широтно-импульсные модуляторы
3. Демодуляторы амплитудно-модулированных колебаний
4. Демодуляторы частотно-модулированных колебаний
5. фазовые демодуляторы
6. Аналоговые ключи

### Глава 6. **Пороговые устройства и ограничители**

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

---

1. Двухстабильные пороговые устройства
2. Детекторы пересечения нулевого уровня
3. Трехстабильные пороговые устройства
4. Пороговые устройства для переменных сигналов
5. Селекторы импульсов
6. Реле времени
7. Ограничители

## Глава 7. Источники напряжения и тока

1. Источники питания устройств на ОУ
2. Стабилизаторы напряжения
3. Источники опорного напряжения
4. Управляемые источники тока
5. Стабилизация тора дуги или тока эмиссии в приборах с термоэлектрическим катодом
6. Стабилизатор мощности

## Глава 8. Аналоговые вычислительные устройства

1. Сумматоры
2. Интеграторы
3. Дифференциаторы
4. Логарифмические усилители
5. Умножители

## Глава 9. Преобразователи неэлектрических величин

1. Преобразователи «сопротивление — напряжение»
2. Преобразователь «сопротивление—частота»
3. Преобразователи «емкость — частота»
4. Преобразователи «температура — напряжение»
5. Преобразователи световых потоков
6. Преобразователи магнитной индукции

## Глава 10. Измерительные преобразователи электрических величин

1. Параметры переменных электрических сигналов
2. Активные выпрямители
3. Преобразователи мгновенного и амплитудного значений напряжения
4. Преобразователи эффективного значения напряжения

## Глава 11. Аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи

1. Общие положения
2. Цифроаналоговые преобразователи
3. Аналого-цифровые преобразователи
4. Аналого-пифроаналоговые преобразователи

Приложение

Список литературы

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Современная научно-техническая революция неразрывно связана с развитием

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

микроэлектроники. Сейчас трудно найти сферу деятельности человека, где бы не использовались ее достижения. В решениях XXVI съезда КПСС предусмотрено дальнейшее развитие микроэлектроники и ускорение внедрения ее достижений в народное хозяйство, науку и технику. Появление каждого нового поколения интегральных микросхем сопровождается изменением в подходе к принципам построения, структуре и конструированию технических средств и систем. Полное использование возможностей микроэлектроники при создании новых приборов и устройств обеспечивается лишь при условии, если специалисты разных областей науки и техники овладевают определенным комплексом знаний по применению микросхем с целью их творческого использования в процессе работы. Это требует создания различных справочников, учитывающих последние достижения микроэлектроники.

В данном справочнике обобщен и систематизирован отечественный и зарубежный опыт по применению интегральных операционных усилителей (ОУ). Интегральные ОУ широко применяются в различных функциональных узлах аналоговой и аналого-цифровой техники. В большинстве случаев характеристики статической и динамической точности этих устройств находятся в сильной зависимости от технических параметров ОУ.

Непрерывное совершенствование схемотехники и технологии изготовления микросхем обуславливает существенное улучшение параметров ОУ и ведет к резкому снижению их стоимости. Поэтому каждое новое поколение ОУ приводит к улучшению технических характеристик разнообразной электронной аппаратуры.

Отзывы и пожелания просим направлять по адресу: 252601, Киев, 1, Крещатик, 5, издательство «Техника».

## Глава 1

### ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЯХ

Операционным усилителем (ОУ) называется усилитель электрических сигналов, предназначенный для выполнения различных операций над аналоговыми величинами при работе в схеме с отрицательной обратной связью (ООС). Своим названием ОУ обязан использованию его первоначально в устройствах аналоговой техники. В дальнейшем область применения ОУ значительно расширилась. С появлением интегральных ОУ они начали широко использоваться в устройствах усиления, генерирования, фильтрации, модулирования и демодулирования сигналов и многих других устройствах.

Все основные термины, определения и буквенные обозначения электрических параметров, относящихся к ОУ, приведены в ГОСТ 18421,—73, ГОСТ 19480—74, ГОСТ 2.710—81 и ОСТ 11073—915—80.

Отечественная промышленность выпускает широкую номенклатуру ОУ как в интегральном полупроводниковом (твердотельном), так и в гибридном исполнениях. Статические и динамические свойства ОУ характеризуются совокупностью электрических параметров и характеристик. В этой совокупности можно выделить несколько сходных по смысловому содержанию групп параметров. Первая группа отражает выходное напряжение покоя и его нестабильность, приведенные ко входу ОУ, и

# ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

включает напряжение смещения ( $1/cm$ ), средний входной ток ( $i_{вх}$ ) и разность входных токов ( $A_{i_{вх}}$ ), а также коэффициенты влияния на эти параметры изменения температуры; времени и нестабильности напряжений источников питания. Вторая группа характеризует усилительные свойства ОУ- для дифференциального и синфазного входных напряжений в режиме «малого сигнала» и имитансные свойства и содержит коэффициент усиления по напряжению ( $K_u$ ), коэффициент ослабления синфазных входных напряжений ( $K_{сф}$ ), входные сопротивления для дифференциального и синфазного входных напряжений ( $r_{вх}$ ,  $r_{сф}$ ), а также частотные и переходные характеристики ОУ. В третью группу можно объединить параметры, отражающие поведение ОУ в режиме «большого сигнала». К ним относятся скорость нарастания выходного напряжения ( $v$ ), граничная частота ( $f_{гр}$ ) и частота единичного усиления ( $f_{ед}$ ). Четвертая группа параметров характеризует шумовые свойства ОУ и включает нормированные ЭДС и токи шума.

Большинство современных ОУ имеют встроенную защиту выхода от короткого замыкания и защиту входа от опасных синфазных и дифференциальных напряжений. Некоторые ОУ выпускают с встроенной частотной коррекцией, что не требует дополнительных элементов для обеспечения устойчивости ОУ в схемах с ООС.

Основные параметры некоторых типов современных ОУ приведены в табл. 1.1.

Эквивалентная схема ОУ. ОУ, несмотря на свою сложную внутреннюю структуру, может рассматриваться как единый элемент с гарантированными входными и выходными параметрами. Во многих случаях ОУ можно заменить идеализированной моделью, имеющей бесконечно большой коэффициент усиления по напряжению в неограниченной полосе частот и бесконечно малые входные токи и напряжение смещения. На рис. 1.1 показана эквивалентная схема реального ОУ для низких частот [9]. Неинвертирующий и инвертирующий входы ОУ и соответствующие им параметры на схеме обозначены знаками (-) и (—). Кружками, разделенными на сектора, на схеме обозначены идеальные сумматоры (черный сектор обозначает инверсию входного сигнала). Тракт передачи синфазного сигнала показан в виде сумматора  $S_j$  и безынерционного звена с коэффициентом передачи  $1/2D_{сф}$ . Эквивалентные, сопротивления внешних цепей, приведенные ко входам ОУ, на схеме обозначены  $R_1, R_2$ . Остальные элементы эквивалентной схемы обозначены в соответствии с принятыми выше обозначениями параметров ОУ.

Параметры ОУ, характеризующие его качество, весьма многочисленны. Основные из них следующие.

*Коэффициент усиления ( $K_u$ )* — отношение приращения значения выходного напряжения к вызвавшему его изменению дифференциального входного напряжения.

[Скачать книгу](#) Щербаков В. И., Грездов Г. И. Электронные схемы на операционных усилителях: Справочник. Киев, Издательство Техника, 1983