

## Раздел 3. Системы управления силовыми электронными аппаратами

### Тема 4. Линейные усилители и преобразователи сигналов

В системах управления широко используются усилители сигналов тока или напряжения с определенным коэффициентом усиления. Усилитель может быть выполнен на дискретных транзисторных элементах. Однако наиболее рациональным является применение схем усиления на основе ОУ (операционных усилителей).

На практике существует две базовые схемы усилителей на основе ОУ:

- инвертирующего;
- неинвертирующего.

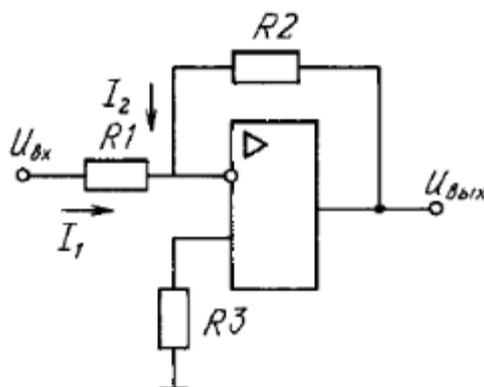


Рис. 9.16. Схема инвертирующего усилителя на ОУ

Название инвертирующий усилитель схема (рис. 9.16) получила благодаря ее свойству изменять полярность выходного сигнала относительно полярности входного сигнала. Полагая ОУ идеальным можно считать, что разность между сигналами обоих входов мала (иначе усилитель войдет в „насыщение“).

Действительно, если  $U_{\text{вых max}} = 15 \text{ В}$  и коэффициент усиления  $K_u = 10^4$ , то максимальное дифференциальное входное напряжение равно  $1,5 \text{ мВ}$ .

Так как один вход заземлен, то потенциал второго входа близок к потенциалу земли.

Поэтому можно считать, что ко второму входу подходят токи

$$I_1 = U_{\text{вх}}/R_1$$

$$I_2 = U_{\text{вых}}/R_2 \quad (9.11)$$

Считая входное сопротивление достаточно большим, на основании закона Кирхгофа запишем:

$$U_{\text{вых}} = -U_{\text{вх}} R_2/R_1 \quad (9.13)$$

Таким образом, коэффициент усиления инвертирующего усилителя определяется отношением сопротивлений резисторов  $R_1$  и  $R_2$ . Номинальные значения резисторов в схемах с операционным усилителем, могут быть произвольными, однако необходимо учитывать следующее: с одной стороны, номинальные значения резисторов должны ограничивать входные и выходные токи операционного усилителя во избежание выхода его из строя. В паспортных данных операционного усилителя указываются максимальные значения входных и выходных токов схемы.

С другой стороны номинальные значения резисторов не должны превышать единицы мегаом, так как при больших значениях возможна нестабильная работа усилителя из-за влияния токов утечек на корпус микросхемы через монтаж печатной платы и др.

На практике сопротивление резисторов в схемах с операционным усилителем лежит в диапазоне от десятков Ком до единиц Мом, что позволяет получить устойчивые устройства с большим входным сопротивлением.

В целях уменьшения ошибки, связанной с дрейфом входных параметров, стремятся, чтобы эквивалентные сопротивления подключенных к входам резисторов были равны.

В схеме инвертирующего усилителя сопротивление  $R_3$  стремятся выбрать равным эквивалентному сопротивлению резисторов  $R_1$  и  $R_2$ , соединенных параллельно.

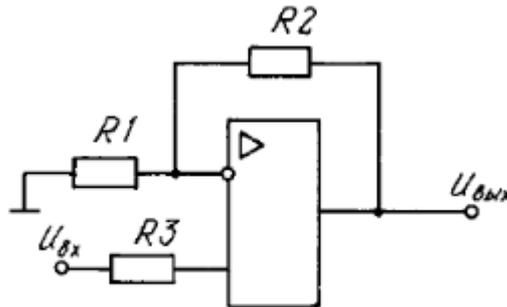


Рис. 9.17. Схема неинвертирующего усилителя на ОУ

Схема неинвертирующего усилителя (рис. 9.17) содержит сопротивление  $R_2$  в цепи отрицательной обратной связи, но входной сигнал подается на неинвертирующий вход. Его принцип действия аналогичен принципу действия инвертирующего усилителя. Нетрудно показать, что для этой схемы:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} (1 + R_2/R_1)$$

Стремятся, чтобы эквивалентное сопротивление, равное сопротивлению параллельно соединенных резисторов  $R_1$  и  $R_2$ , было равно  $R_3$ , и номинальные значения резисторов должны находиться в диапазоне  $10 \div 1000$  кОм.

### Преобразователи аналоговых сигналов

Помимо усиления в схемах управления часто возникает необходимость преобразовывать сигналы управления по определенным функциям, таким как суммирование, перемножение, интегрирование, дифференцирование и др. Как правило, такие преобразователи строятся на основе интегральных микросхем, в большинстве случаев — ОУ (рис. 9.18).

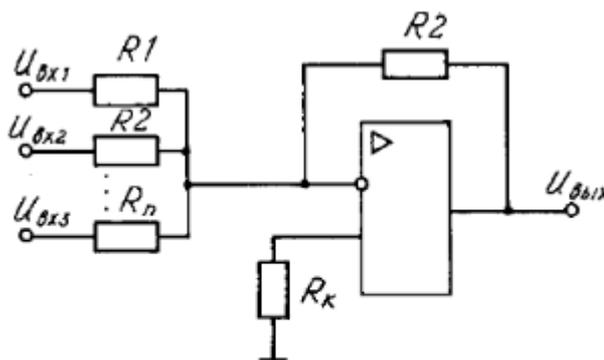


Рис. 9.18. Схема сумматора на ОУ

Примером может служить сумматор на основе ОУ.

Для получения частотно-зависимых передаточных характеристик в цепи обратных связей вводятся реактивные элементы. Например, в схеме интегрирующего или дифференцирующего усилителя необходимо (см.рис. 9.16) заменить активные

сопротивления  $R_1$  и  $R_2$  комплексными  $Z_1(p)$  и  $Z_2(p)$ .

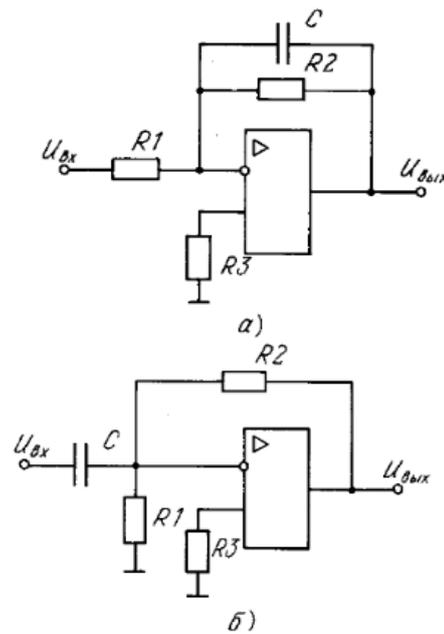


Рис. 9.19. Схема интегрирующего (а) и дифференцирующего (б) усилителя

Существуют интегрирующий усилитель (рис. 9.19,а)

и дифференцирующий усилитель (рис. 9.19,б)

Подбирая различные значения  $Z_1(p)$  и  $Z_2(p)$ , можно получать различные передаточные характеристики усилителя. Это свойство нашло широкое применение в системах автоматического регулирования в цепях коррекции динамических характеристик систем.

Схемы интегрирующего и дифференцирующего усилителя могут использоваться как активные фильтры нижних и верхних частот. Усложняя передаточные функции  $Z_1(p)$  и  $Z_2(p)$ , можно получать более сложные полосовые активные фильтры (в данном случае активными такие фильтры называют потому, что ОУ содержит источники питания и является активным элементом). Эти фильтры более эффективны, чем пассивные (на основе RLC-элементов), так как имеют повышенную добротность и практически произвольную передаточную функцию.

В системах управления нецелесообразно применять индуктивные элементы, так как они имеют повышенные массогабаритные и стоимостные показатели по сравнению с емкостными элементами, кроме того, электромагнитное поле, возникающее в индуктивностях, может вызывать помехи в других элементах схемы. Для исключения из схем индуктивных элементов применяют схемы, преобразующие емкость конденсатора в индуктивность. Такая схема на ОУ называется *гиратором* (рис. 9.20).

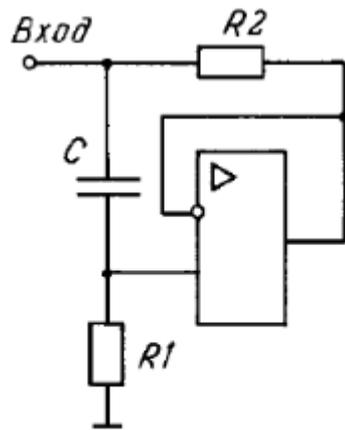


Рис. 9.20. Гиратор

В этой схеме ток и напряжения на входе изменяются подобно току и напряжению в индуктивности.

Основным недостатком гираторов являются ограниченность диапазона рабочих частот (десятки кГц) и невозможность заземления выходной цепи.

Для осуществления функциональных преобразований (логарифмирование, антилогарифмирование, умножение, деление) используются различные методы, как правило построенные на нелинейных ВАХ полупроводниковых приборов. Возможность таких преобразований совместно с линейными преобразователями (усилителями и сумматорами) позволяет реализовать любую функцию, аппроксимированную степенным многочленом, дробно-рациональным выражением или рядом экспонент.

Логарифмирование и антилогарифмирование может осуществляться с помощью схем на ОУ с диодом или транзистором в цепи обратной связи (рис. 9.21).

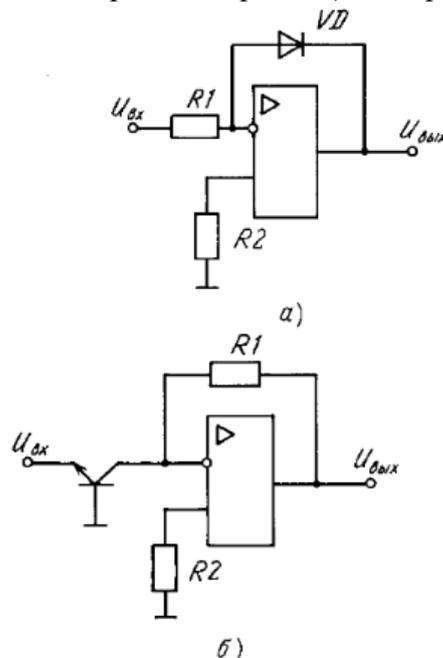


Рис. 9.21. Функциональные усилители:  
а – логарифмирующий; б – антилогарифмирующий

Для перемножения или деления двух сигналов можно использовать схему (рис. 9.22), основанную на известном правиле преобразования операции умножения в операцию

суммирования путем логарифмирования. Основным недостатком такой схемы является то, что все входные сигналы должны быть положительными и отличными от нуля.

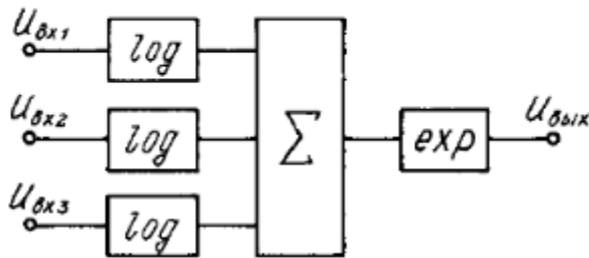


Рис. 9.22. Схема умножителя

Более сложные схемы умножителей (рис. 9.23) могут осуществлять умножение двухполярного сигнала напряжения  $e_1$  и однополярного тока  $i_2$ .

Отечественной промышленностью выпускаются интегральные схемы умножителей аналоговых сигналов, позволяющие создавать более компактные перемножители двухполярных сигналов.

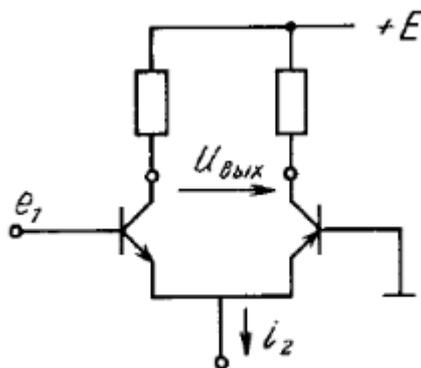


Рис. 9.23. Умножитель на дискретных транзисторах