

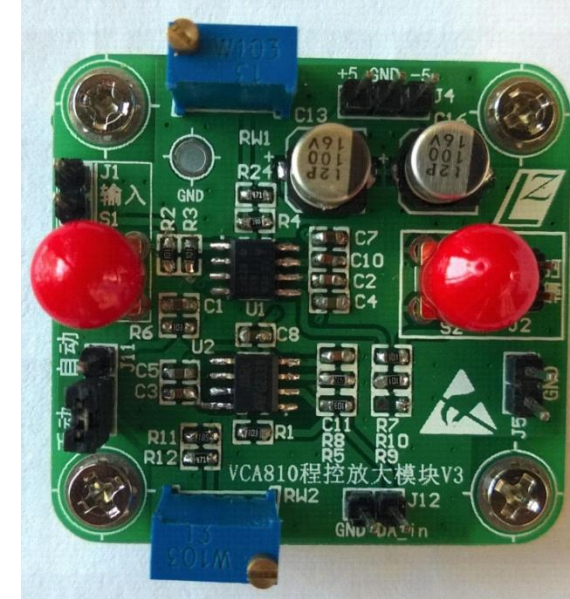
Электрические измерения

Лекция 10

Программируемые усилители

преподаватель:
*доцент кафедры электротехники,
автоматики и метрологии, к.п.н.*

*Елена Артуровна
Вахтина*



ПЛАН

1. Теорема минимальной реализации схемы усилителя
2. Минимальная реализация программируемого усилителя с управляемым сопротивлением



Программируемые операционные усилители (ОУ) применяются в электронных схемах, к которым предъявляются жесткие ограничения по потребляемому току, например, схемы с питанием от гальванических элементов, аккумуляторов, солнечных батарей, а также с паразитным питанием.



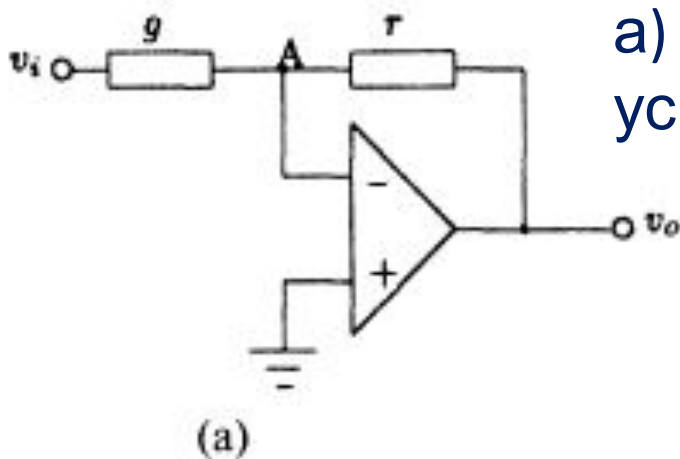
1. Теорема минимальной реализации схемы Лекция 10

Для минимальной реализации набора из N произвольных коэффициентов усиления A_k значения которых лежат в диапазонах: $A_k \leq 0$, $0 \leq A_k \leq 1$ или $A_k \geq 1$, и получения нулевого выходного сопротивления схемы, необходимо иметь $N + 1$ резистор, N ключей и один операционный усилитель (ОУ). В зависимости от заданного диапазона значений коэффициента усиления ОУ включается как буфер-аттенюатор, или как инвертирующий или неинвертирующий усилитель.

Доказательство: Поскольку на пассивных компонентах нельзя построить схему для усиления или ослабления сигнала, обладающую нулевым выходным сопротивлением, в нее необходимо ввести хотя бы один активный элемент. Выберем в качестве активного элемента ОУ.

1. Теорема минимальной реализации схемы усилителя Лекция 10

- Так как коэффициент усиления является безразмерной величиной, то как минимум два пассивных элемента одинаковой физической природы, и, следовательно, одной размерности, должны входить в виде отношения в выражение, задающее значение A_k .
- Выберем резисторы в качестве пассивных элементов. Рассмотрим три возможных варианта схем, построенных на основе одного ОУ и двух резисторов.



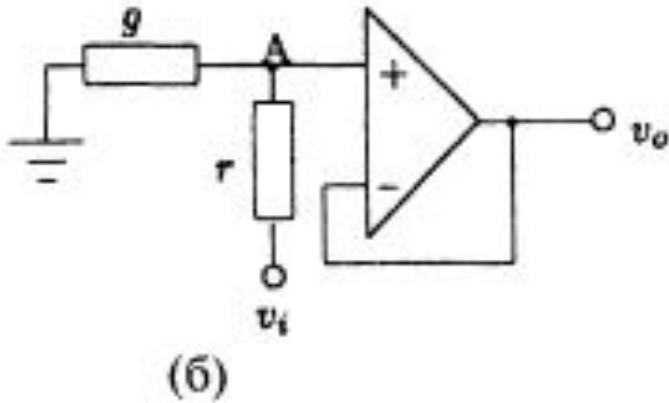
а) инвертирующий усилитель

$$A_1 = -gr,$$

1. Теорема минимальной реализации схемы

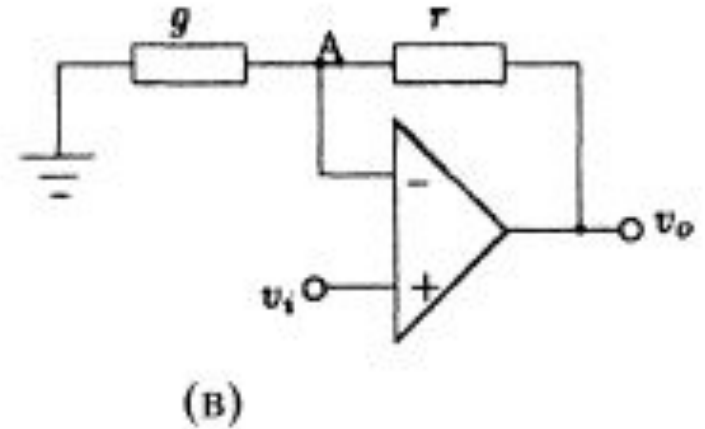
Лекция 10

УСИЛИТЕЛЯ



б)

$$A_A = \frac{1}{1 + gr} = \frac{1}{1 + |A_I|},$$



в) неинвертирующий
усилитель

$$A_N = 1 + gr = 1 + |A_I|.$$

усилителя

- Из уравнений видно, что коэффициенты $A_k \leq 0$, $0 \leq A_k \leq 1$ или $A_k \geq 1$ можно получить при помощи любой из трех схем. Следовательно, для построения минимальной реализации программируемого усилителя, в любую из этих схем нужно ввести дополнительные ключи для реализации каждого из значений коэффициента усиления.
- Для задания N значений коэффициента усиления, необходимо выполнить N операций переключения. Соответственно, для этого потребуется как минимум N ключей.
- Это справедливо для режимов и одиночного, и группового переключения.

1. Теорема минимальной реализации схемы Лекция 10

- Пусть есть один **ОУ** и N ключей, работающих либо в режиме одиночного, либо группового переключения. Требуется определить количество резисторов, необходимых для реализации N произвольных значений коэффициента усиления.
- Из уравнений (а, б, в) видно, что коэффициент усиления может меняться при варьировании параметров g или r по отдельности или одновременно.
- Рассмотрим случай, когда меняется только один из параметров: g или r .
- Тогда для реализации N значений коэффициента усиления, параметр g или r должен принимать N значений. Для этого, как было доказано ранее, требуется N ключей и N резисторов. Следовательно, минимальная схема для получения N произвольных значений коэффициента усиления должна состоять из одного **ОУ**, N ключей и $N + 1$ резистора.

1. Теорема минимальной реализации схемы Лекция 10

- ❑ Оба параметра усилителя меняются одновременно. Если варьировать оба параметра *независимо* друг от друга, потребуется огромное количество резисторов. Очевидно, что эта реализация не минимальна.
- ❑ Оба параметра меняются одновременно, но их общее сопротивление или общая проводимость остаются постоянными.
- ❑ Для этого случая уравнения (а, б и в) могут быть переписаны:

$$|A_I| = gR_T - 1 = rG_T - 1, \quad (\text{а})$$

$$A_A = \frac{1}{gR_T} = \frac{1}{rG_T}, \quad (\text{б})$$

$$A_N = gR_T = rG_T, \quad (\text{в})$$

где $R_T = (r + 1/g)$, $G_T = (g + 1/r)$.

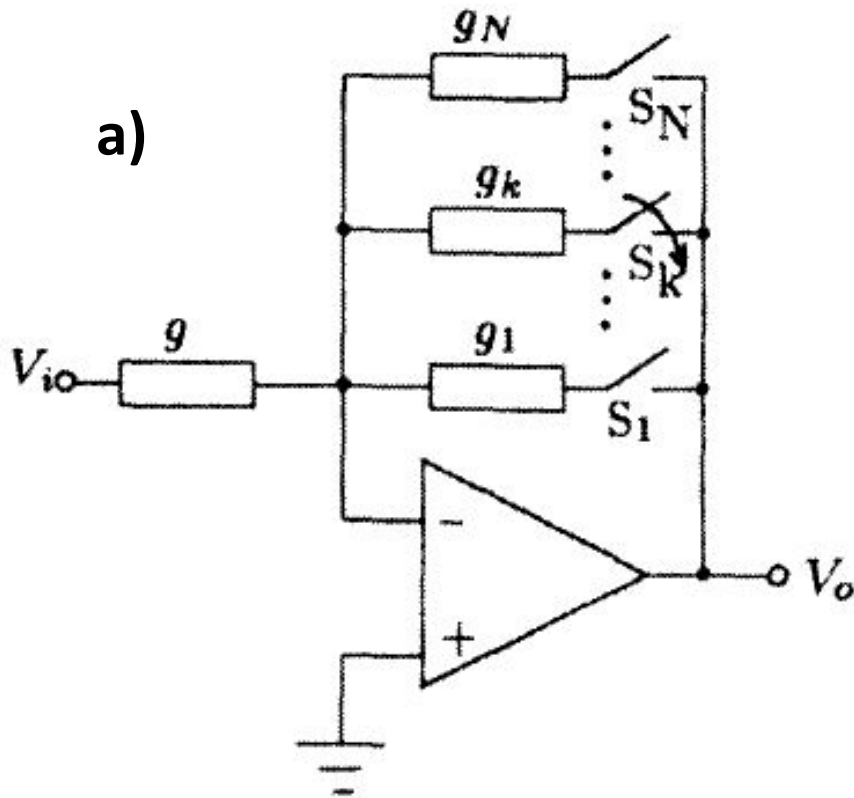
1. Теорема минимальной реализации схемы усилителя

Лекция 10

- Таким образом, коэффициентом усиления можно управлять изменением комбинации параметров g - r в схемах на рис. (а, б, в) при этом должно оставаться постоянным либо значение G_T либо R_T .
- Резисторы g и r могут быть заменены. многозвенными схемами программируемых сопротивлений: G-цепочек, R-цепочек.
- Таким образом, для программирования N значений коэффициента усиления снова требуется $N + 1$ резистор, N ключей и один **ОУ**.

Теорема доказана.

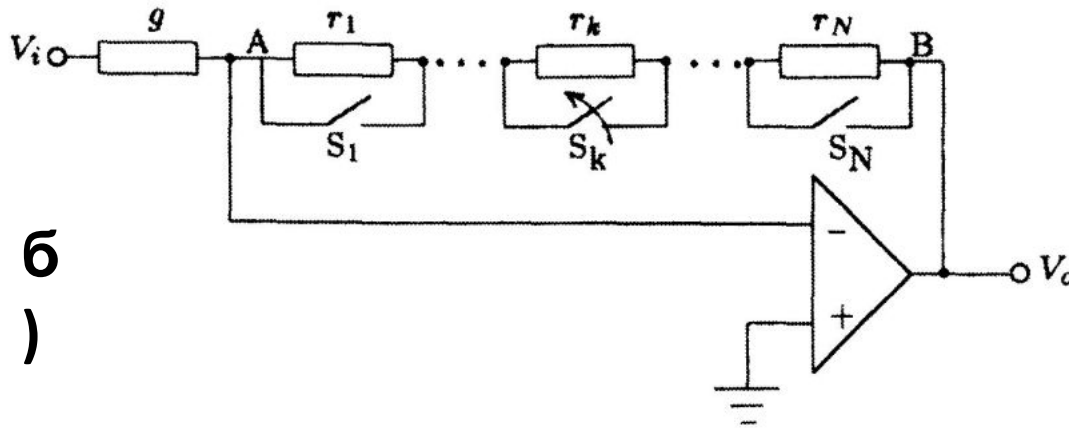
2. Минимальная реализация программируемого усилителя (ПУ) с управляемым сопротивлением



Если в схеме (а) g или r заменить на один из модулей управляемых сопротивлений получим минимальную реализацию программируемого инвертирующего усилителя, состоящего из одного ОУ, $N + 1$ резисторов и N ключей.

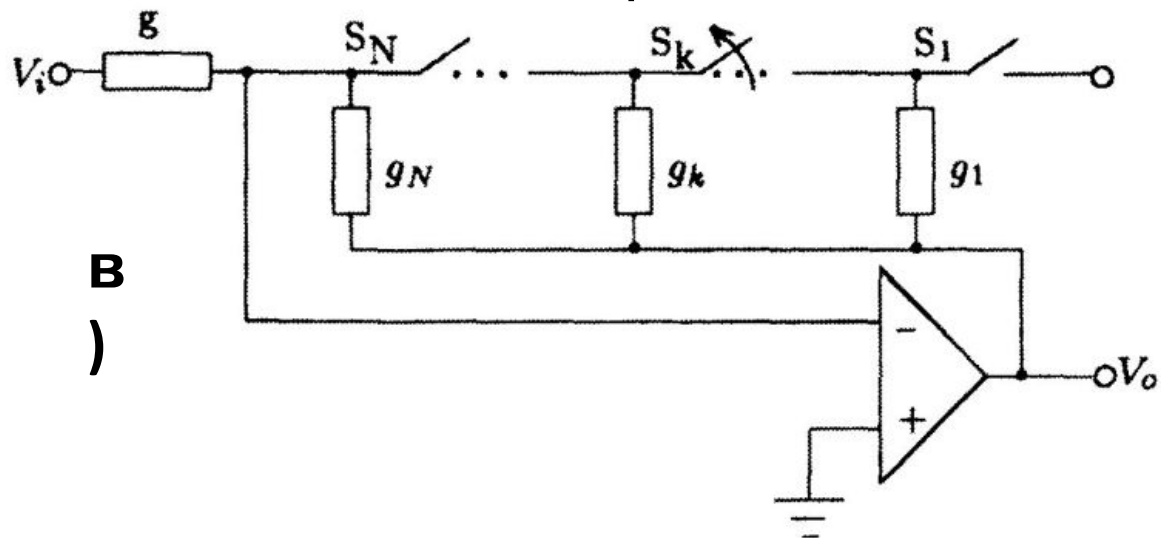
Параллельный программируемый усилитель в режиме одиночного переключения

2. Минимальная реализация ПУ с управляемым сопротивлением



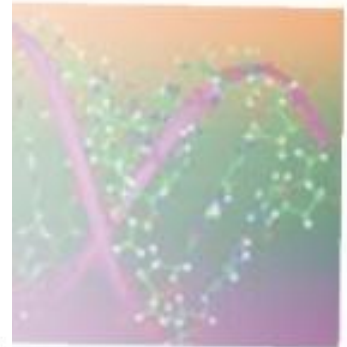
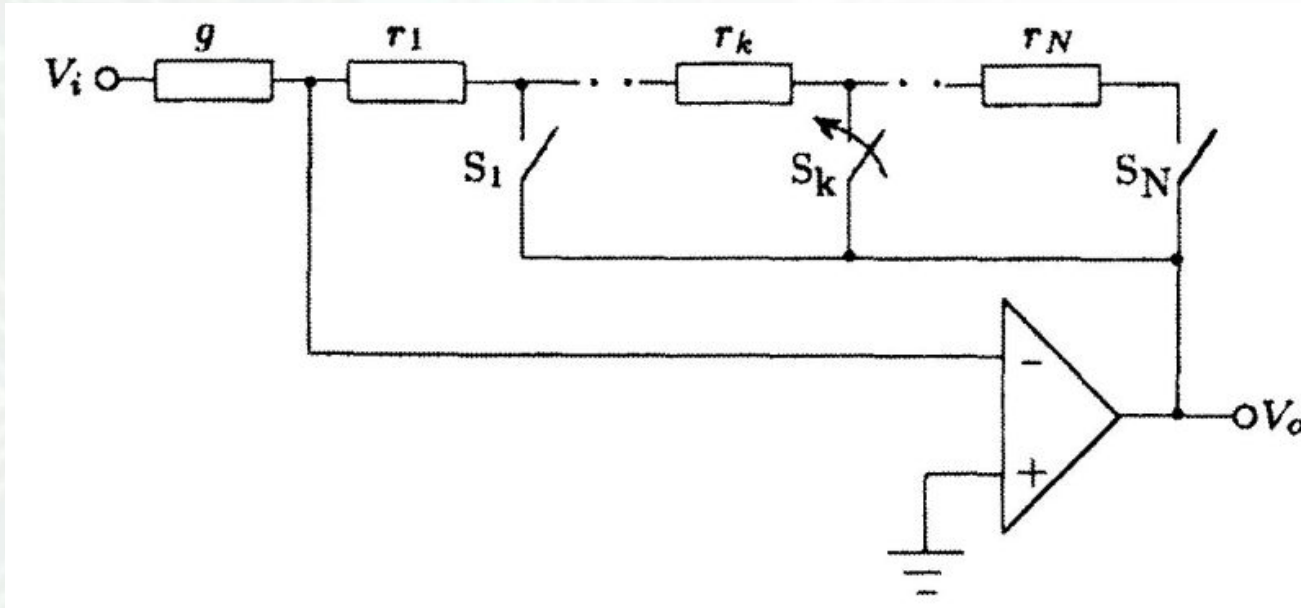
Последовательный программируемый усилитель в режиме одиночного переключения

Программируемый усилитель из **G-цепочек** в режиме одиночного переключения



2. Минимальная реализация ПУ с управляемым сопротивлением

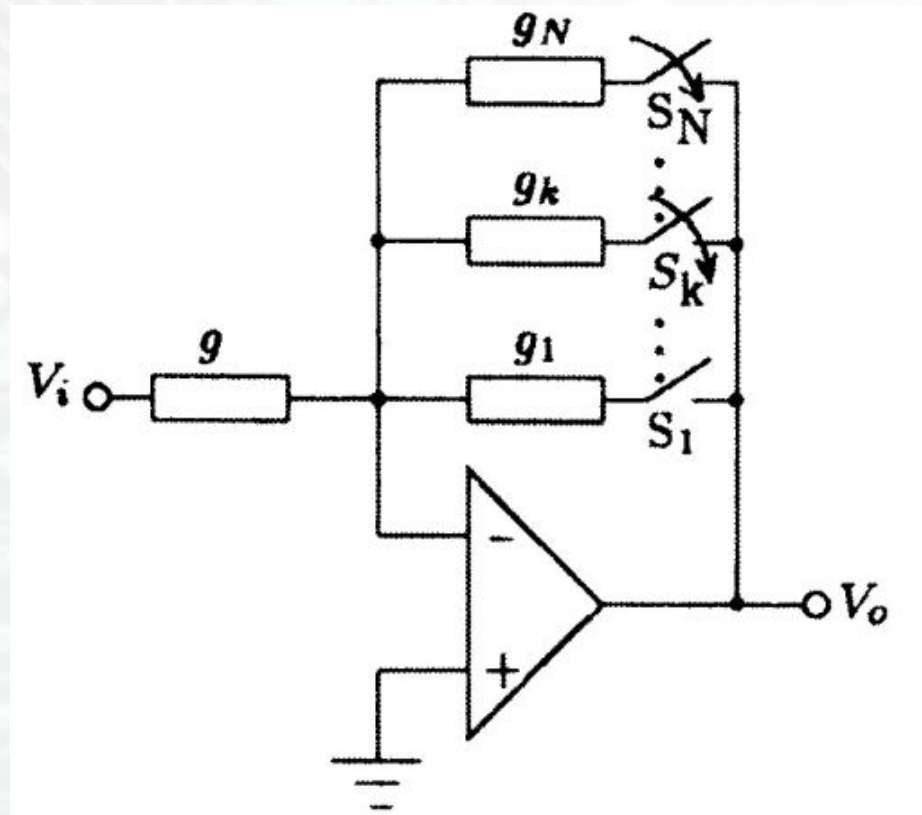
г)



Программируемый усилитель из ***R-цепочек*** в режиме одиночного переключения

2. Минимальная реализация ПУ с управляемым сопротивлением

д)

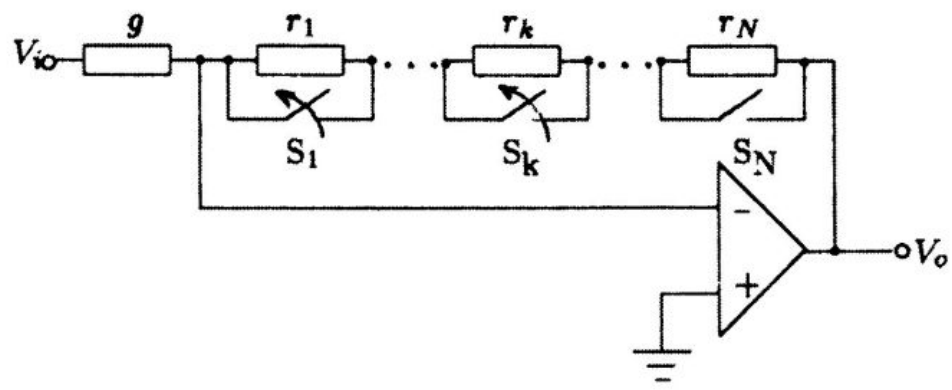


Параллельный программируемый усилитель в режиме группового переключения

2. Минимальная реализация ПУ с управляемым сопротивлением

Лекция 10

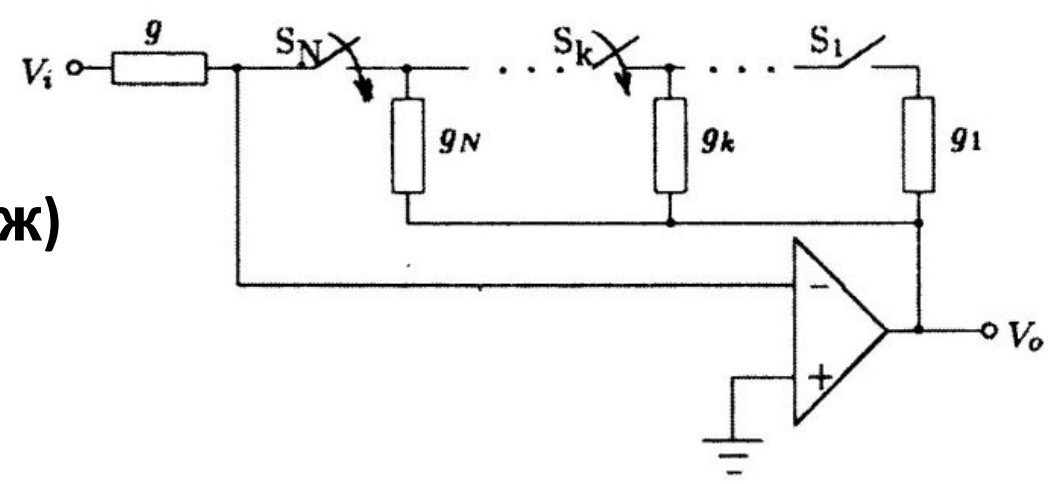
е)



Последовательный программируемый усилитель в режиме группового

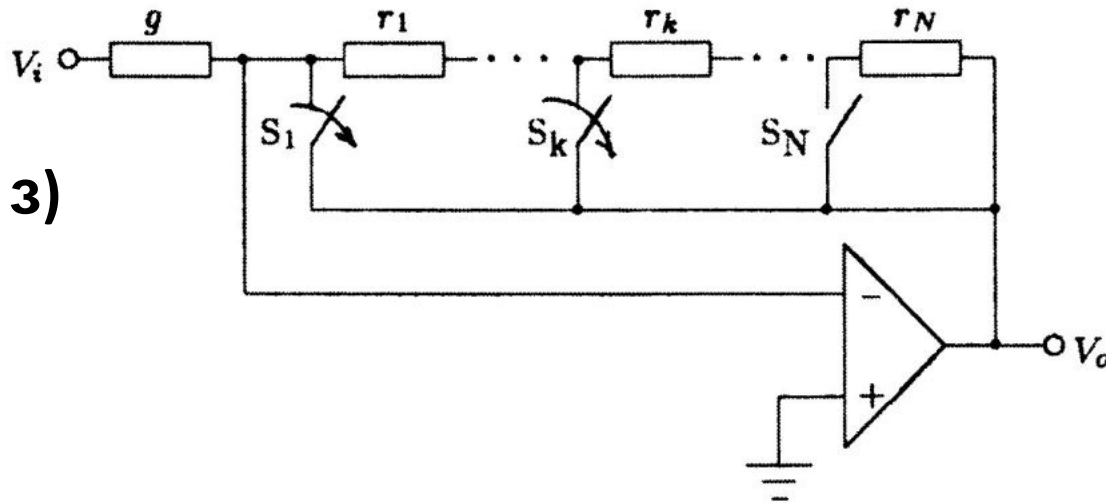
Программируемый усилитель из **G-цепочек** в режиме группового переключения

ж)



2. Минимальная реализация ПУ с управляемым сопротивлением

Лекция 10

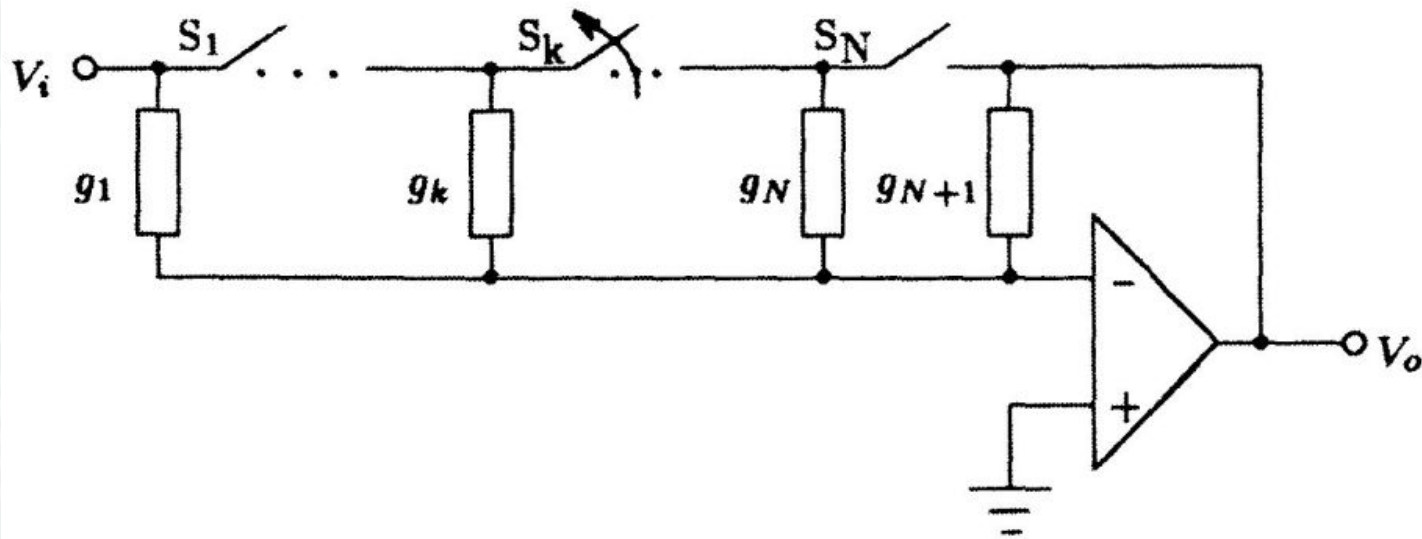


Программируемый усилитель из ***R-цепочек*** в режиме группового переключения



2. Минимальная реализация ПУ с управляемым сопротивлением

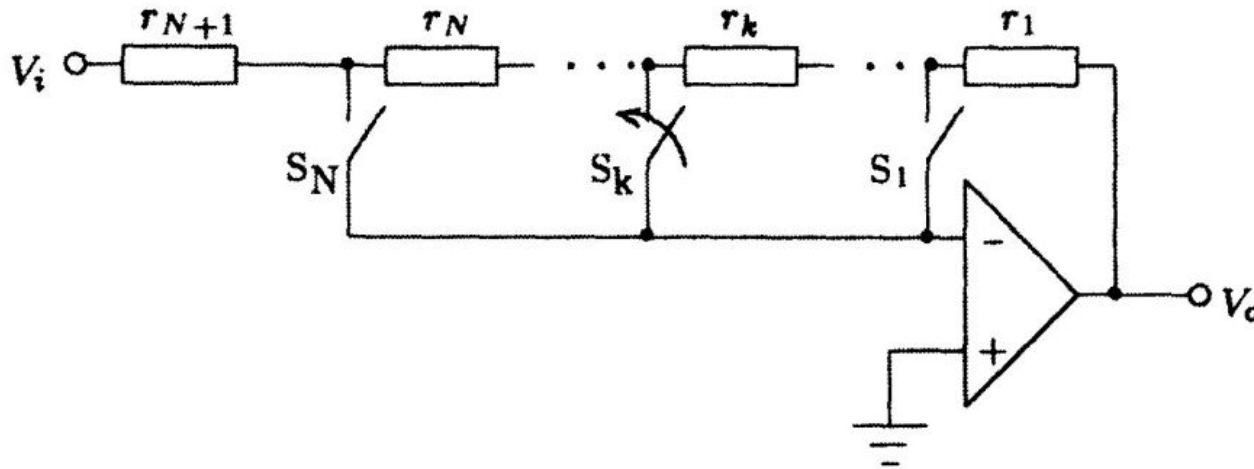
и)



Программируемый усилитель из ***G*-цепочек** с фиксированным значением G_T (независимое переключение).

2. Минимальная реализация ПУ с управляемым сопротивлением

к)



Программируемый усилитель из ***R-цепочек*** при фиксированном значении R_T (независимое переключение).

2. Минимальная реализация *Лекция 10* ПУ с управляемым сопротивлением

- ✓ На рис. (а)-(з) показаны только варианты схем с фиксированным параметром g . Предполагается, что реализуется коэффициент усиления A_k , если ключи находятся в положении, показанном на рис., и что $A_k > A_{k-1}$ ($2 \leq k \leq N$).
- ✓ Аналогично можно спроектировать еще восемь схем программируемых усилителей для случаев изменения параметра g при фиксированном значении r .
- ✓ Заменяя в схеме на рис. (а) комбинацию $g - r$ на модуль управляемых сопротивлений многозвенного типа, представленных на рис. (в) и (г), получим еще два программируемых усилителя (рис. (и)-(к)).
- ✓ Таким образом, всего можно спроектировать 18 схем программируемых инвертирующих усилителей. Отметим, что коэффициент усиления таких схем увеличивается с ростом значения r и/или g .

самостоятельной работы

1. Разработайте схемы для получения наборов сопротивлений:

а) 0, 1, 2, 3, ... 15

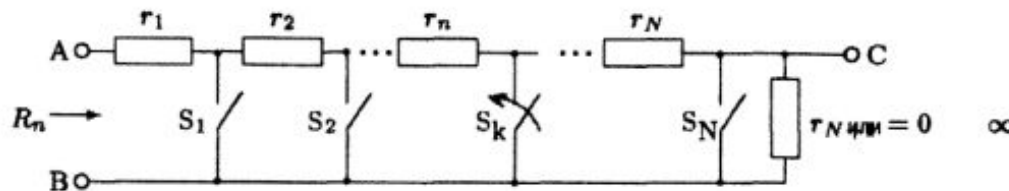
б) 1, 10, 100, 1000

в) 15, 14, 13, 12, ..., 1, 0

Сравните эти схемы по полному сопротивлению, диапазону значений используемых сопротивлений.

2. Разработайте схему программируемого сопротивления

В



жет принимать
100 кОм, 1000 кОм.

Вопрос 1: ...

Ответы:

- а) действующее значение напряжения
- б) мгновенное
- в) среднее
- г) среднеквадратическое



Вопрос 2: ...

Ответы:

- а) действующее значение напряжения
- б) мгновенное
- в) среднее
- г) среднеквадратическое



Вопрос 3 : ...

Ответы:

а)



Вопрос 4 : ...

Ответы:

a)



Вопрос 5 : ...

Ответы:

а)

б)

в)

г)

д)

Правильные ответы

Лекция 10

1	2	3	4	5

