

Электрические измерения



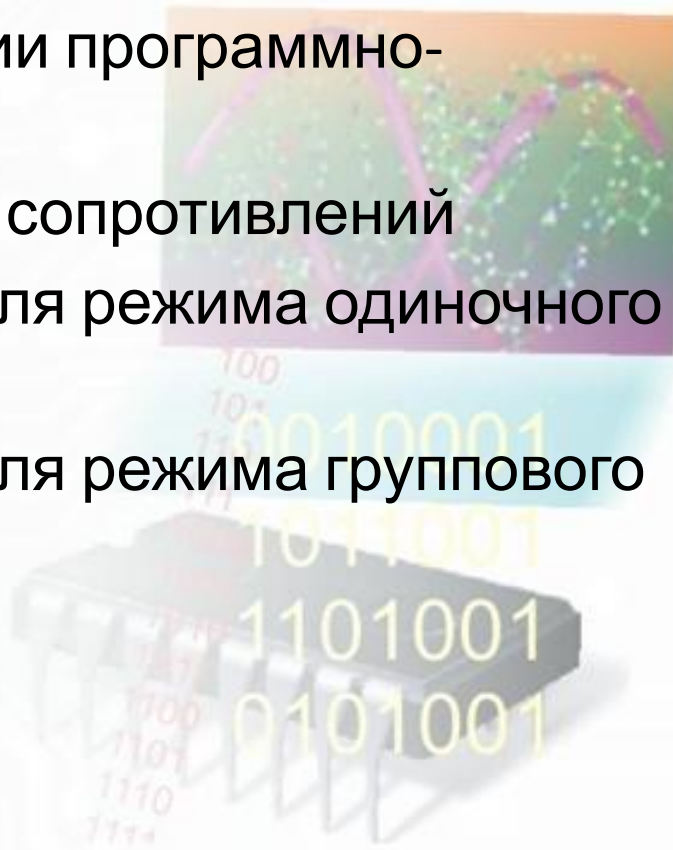
Лекция 9

Программируемые сопротивления

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

*Елена Артуровна
Вахтина*

ПЛАН

1. Введение
 2. Программируемые сопротивления
 3. Теорема минимальной реализации программно-управляемых сопротивлений
 4. Четыре схемы программируемых сопротивлений
 5. Минимальная реализация схем для режима одиночного переключения
 6. Минимальная реализация схем для режима группового переключения
 7. Расчет программируемых сопротивлений/проводимостей
 8. Программируемые делители
- 

- ✓ Современные приборы для измерений зачастую имеют **модульную** конструкцию. Каждый модуль состоит из большого числа микросхем, к внутренним элементам которых нет никакого доступа. Теряется гибкость в управлении такими приборами, поскольку нет никакой возможности изменять параметры микросхем.
- ✓ Однако, если ряд элементов с разными значениями или характеристиками объединить в одну микросхему и управлять ими при помощи программируемых ключей, можно достаточно легко перестраивать параметры всей измерительной системы.
- ✓ К таким элементам относятся программно-управляемых сопротивления, усилители, фильтры и т.д.

3. Теорема минимальной реализации программно-управляемых сопротивлений

Под минимальной реализацией будем понимать использование наименьшего числа компонентов.

Теорема: Для минимальной реализации набора из N независимых значений какого-либо параметра требуется N элементов и N ключей.

Доказательство: Пусть при помощи n ключей можно получить N значений параметра C : C_1, C_2, \dots, C_N . Поскольку для независимой работы каждому ключу требуется одноразрядный сигнал управления, то для n ключей необходим n -разрядный сигнал.

Минимальная реализация программно-управляемых сопротивлений

Под минимальной реализацией будем понимать использование наименьшего числа компонентов.

Теорема: Для минимальной реализации набора из N независимых значений какого-либо параметра требуется N элементов и N ключей.

Доказательство: Пусть при помощи n ключей можно получить N значений параметра C : C_1, C_2, \dots, C_N . Поскольку для независимой работы каждому ключу требуется одноразрядный сигнал управления, то для n ключей необходим n -разрядный сигнал.

$$C_k < C_{k+1}, k = 1, 2, \dots, N-1. \quad (1)$$

Пусть на схеме в настоящий момент (А) реализуется значение C_k а в следующий момент времени (Б) при помощи другой комбинации ключей будет получено значение C

Рассмотрим два типа операций переключения.

- 1. Режим одиночного переключения:** В момент **Н** все ключи разомкнуты (замкнуты) кроме S_k -го, который замкнут (разомкнут). В момент **Б** ключ S_k откроется (закроется), тогда как S_{k+1} - закроется (откроется). Это означает, что в любой момент времени только один ключ может быть замкнут (разомкнут). Таким образом, n -разрядный управляющий сигнал должен быть следующего вида:

$$2^{n-1}2^{n-2} \dots 2^{k+1}2^k 2^{k-1} \dots 2^2 2^1 2^0 = 00 \dots 010 \dots 011 \text{ или} \\ 11 \dots 100 \dots 000$$

1. Режим одиночного переключения

Для реализации всех N значений параметра C , соответствующих $k = 1, 2, \dots, N$, потребуется N комбинаций управляющего сигнала.

Следовательно, минимальное значение n равно N .

Сигнал из N -разрядов может управлять работой N ключей, при этом для каждого ключа используется свой независимый разряд.

Таким образом, для реализации N значений параметра C количество ключей должно быть не меньше N .

2. Режим группового переключения

В момент **Н** группа ключей S_1, S_2, \dots, S_k замкнута (разомкнута), а остальные — разомкнуты (замкнуты).

В момент **Б** ключ S_{k+1} должен замкнуться (разомкнуться). В этом случае управляющий сигнал будет иметь вид:

$$2^{n-1}2^{n-2} \dots 2^{k+1}2^k 2^{k-1} \dots 2^2 2^1 2^0 = 00 \dots 011 \dots 111 \text{ или} \\ 11 \dots 100 \dots 000.$$

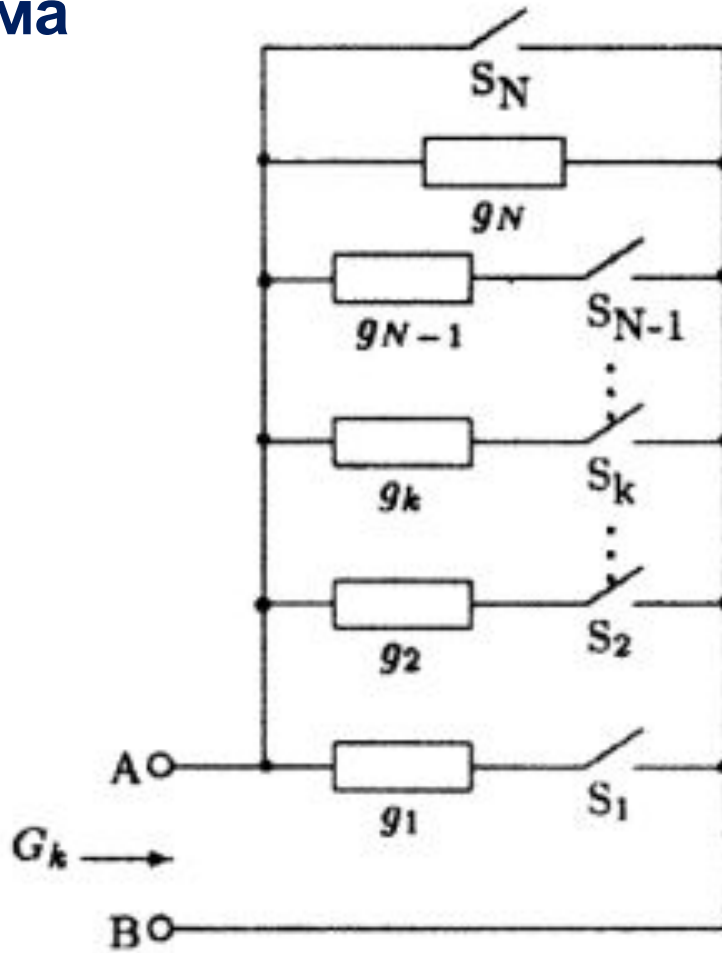


2. Режим группового переключения

- ✓ Для реализации всех N значений C_k соответствующих $k = 1, 2, \dots, N$, потребуется N комбинаций управляющего сигнала.
- ✓ Следовательно, минимальное значение n опять равно N . Сигнал из N -разрядов может управлять работой N ключей, для каждого из которых используется свой независимый разряд.
- ✓ Таким образом, для реализации N значений параметра C количество ключей должно быть не меньше N .

Вывод: в обоих режимах переключения требуется как минимум N ключей для получения N значений параметра C .

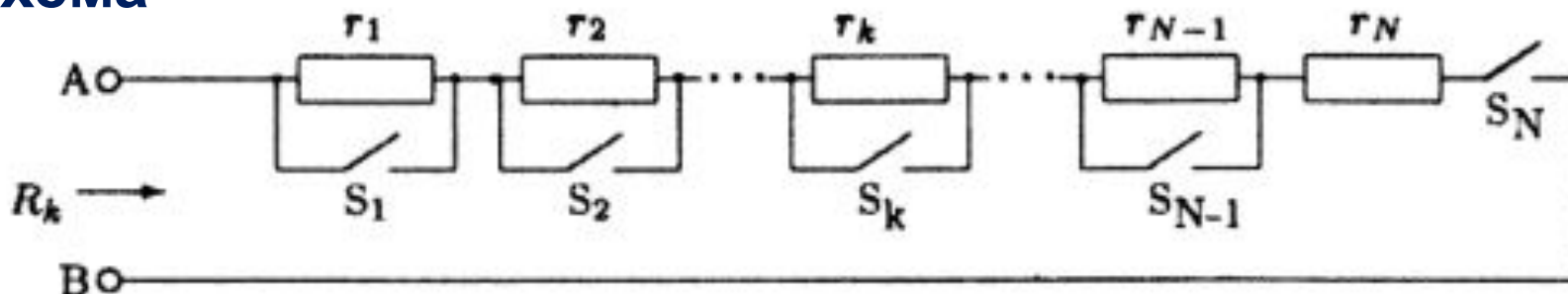
программируемых сопротивлений

1) Параллельная
схема

В параллельной схеме все последовательные группы, состоящие из сопротивления с ключом, включены в схему параллельно

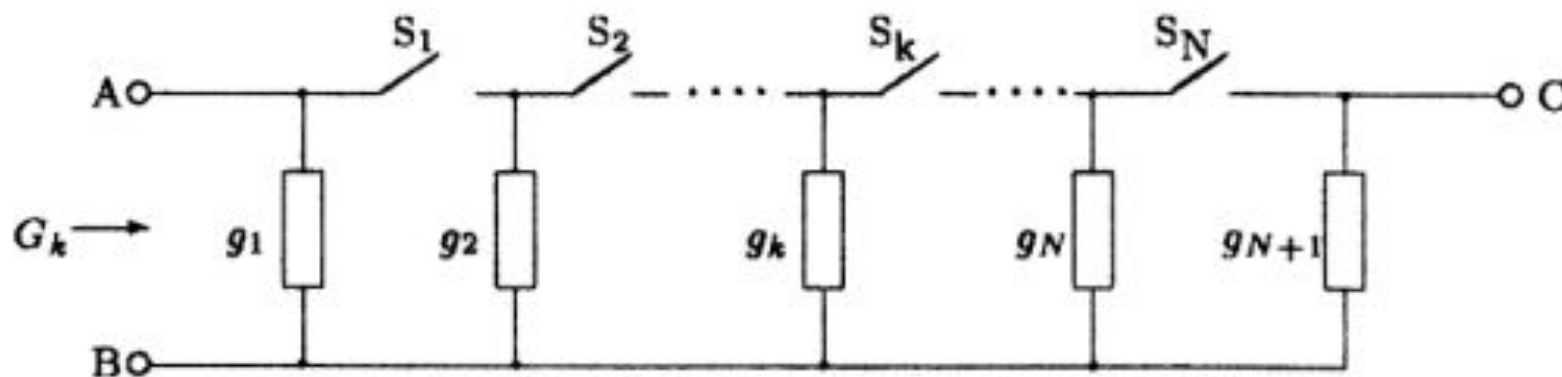


2) Последовательная схема



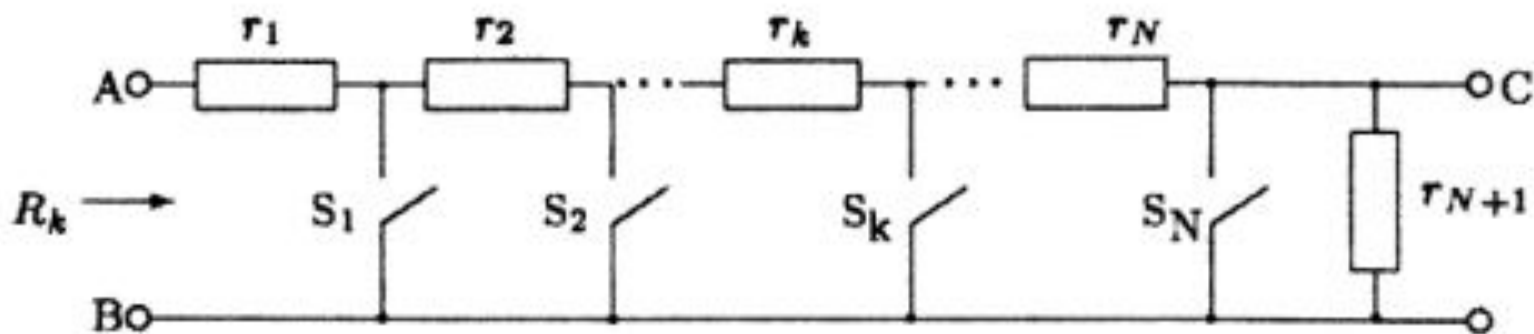
В последовательной схеме все параллельные группы из резистора и ключа соединены последовательно

3) Многозвенная схема из G-цепочек



Один из концов каждого резистора соединен общим проводом

4) Многозвенная схема из R-цепочек



общим является один из концов всех ключей

Предполагаем, что все рассматриваемые схемы имеют минимальную реализацию программно-управляемых сопротивлений и могут работать в 2-х вышерассмотренных режимах переключения. Рассмотрим **параллельную** схему и схему из **G-цепочек**, для остальных приведем только результаты.

Минимальная реализация схем для режима одиночного переключения

Лекция 9

Параллельная схема

В момент времени \mathbf{H} все выключатели

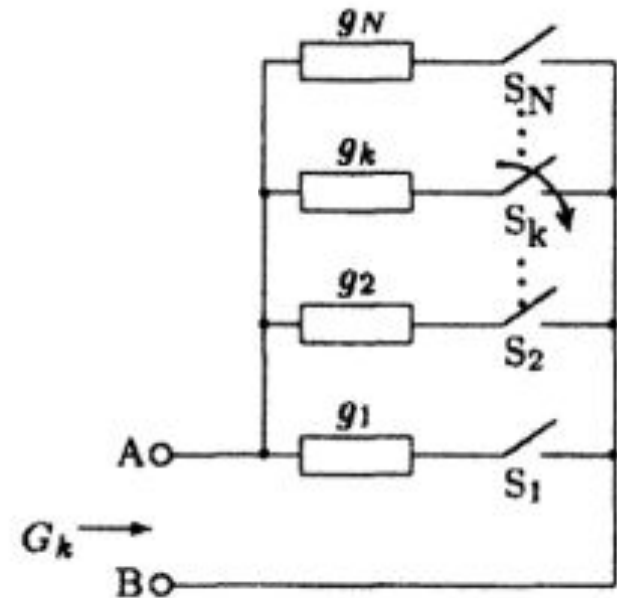
В схеме реализуется следующая

пр

$$G_k = \begin{cases} g_k + g_N, & 1 \leq k \leq N-1 \\ \infty, & k = N. \end{cases}$$

□ Каждое значение G_k соответствует конкретному $k=1, 2, \dots, N-1$.

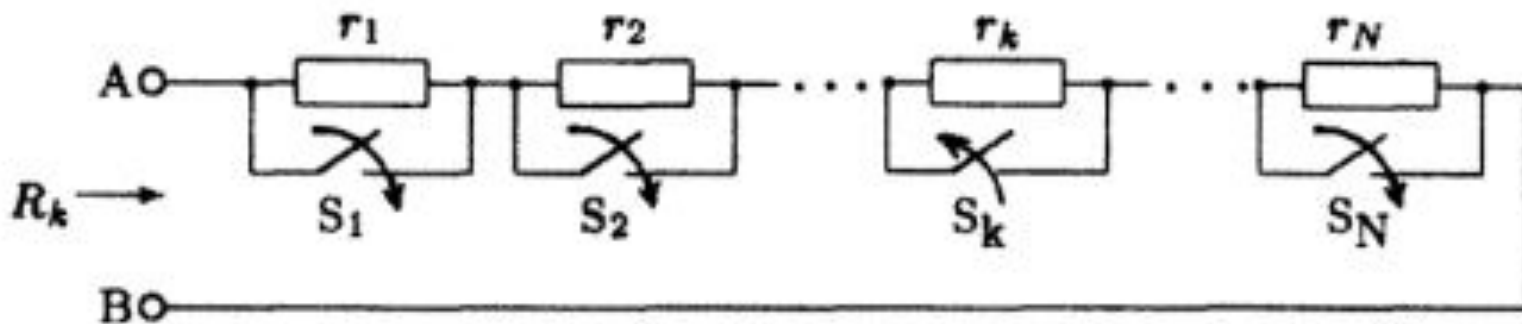
□ Проводимость g_N появляется в виде дополнительного члена при любых значениях k , поэтому от g_N можно избавиться, заменив каждое значение g_k на g_N .



- ✓ Частный случай $g_N = \infty$ получается при замене ключа на последовательное соединение ключа и резистора, проводимость которого равна ∞ .
- ✓ Таким образом, для момента N проводимость параллельной схемы, работающей в режиме одиночного переключения, может быть определена как:

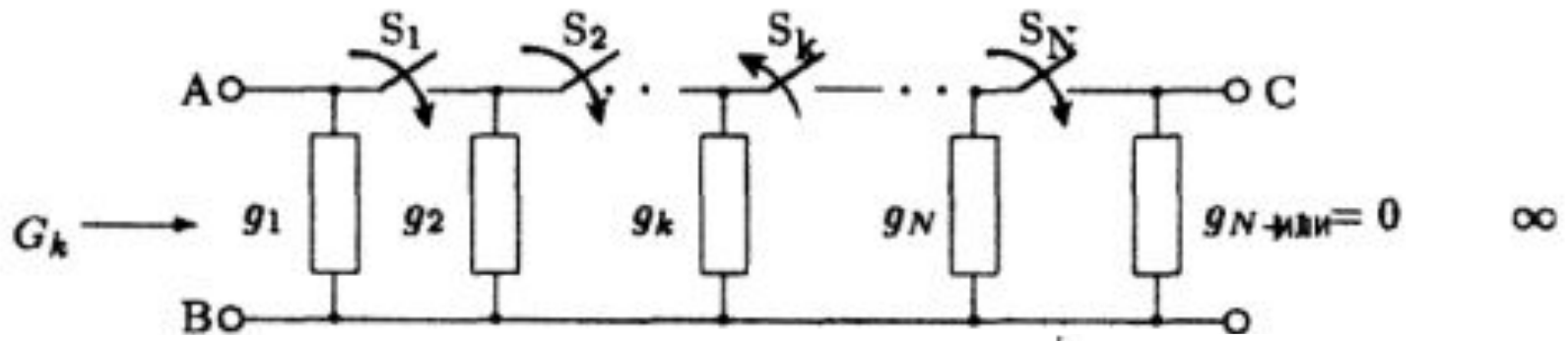
$$G_k = g_k, \quad 1 \leq k \leq N.$$

Последовательная схема



Для момента N
справедливо:

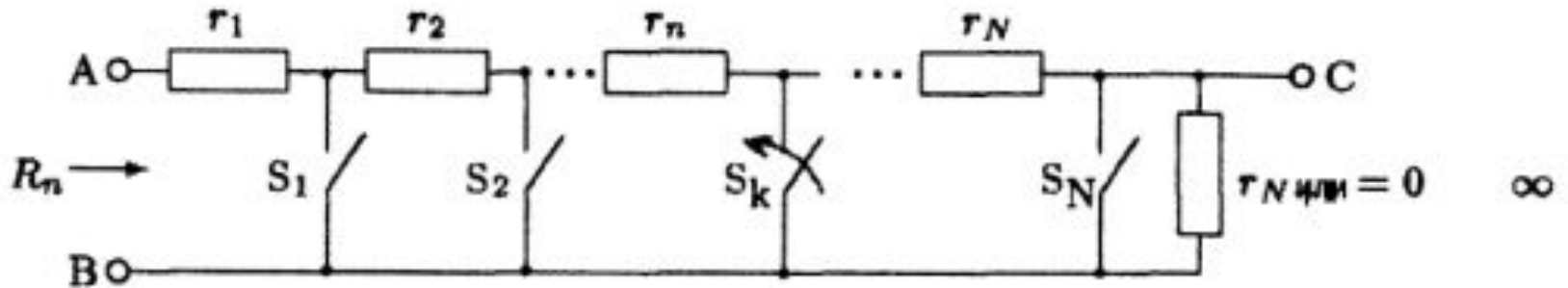
$$R_k = r_k, \quad 1 \leq k \leq N.$$



Тогда для момента N
справедливо:

$$G_k = \sum_{i=1}^k g_i, \quad 1 \leq k \leq N.$$

Схема R-цепочек



Для момента N
справедливо:

$$R_k = \sum_{i=1}^k r_i, \quad 1 \leq k \leq N.$$

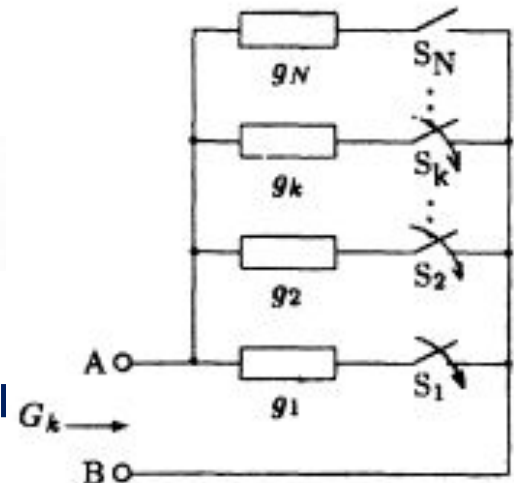
Минимальная реализация схем для режима группового

Лекция 9

Параллельная схема

Пусть в момент времени \mathbf{H} ключи S_1, S_2, \dots, S_k замкнуты. В этом случае можно записать:

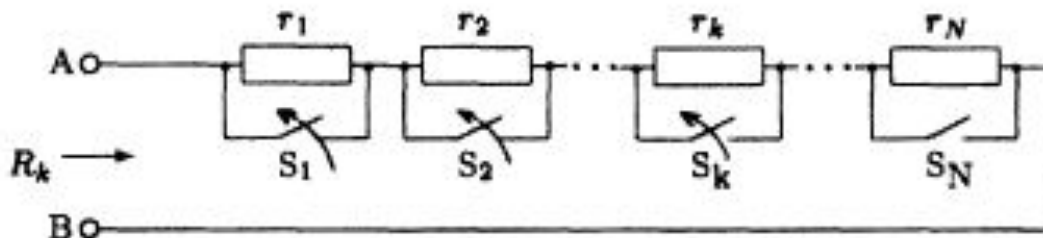
$$G_k = \sum_{i=1}^k g_i, \quad 1 \leq k \leq N.$$



Последовательная схема

Для момента времени \mathbf{H} можно записать

$$R_k = \sum_{i=1}^k r_i, \quad 1 \leq k \leq N.$$



1101001
0101001

Минимальная реализация схем для режима группового

Лекция 9

Схема G-цепочек

Пусть в момент времени N ключи S_1, S_2, \dots, S_k замкнуты. В этом случае можно записать

$$G_k = \sum_{i=1}^k g_i, \quad 1 \leq k \leq N.$$

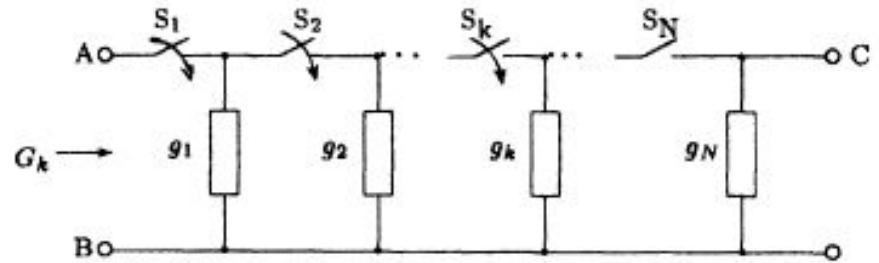
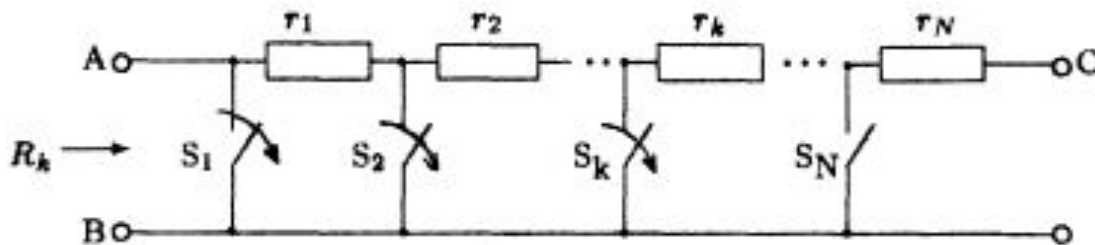


Схема R-цепочек

В момент времени N ключи S_1, S_2, \dots, S_k разомкнуты. В этом случае:

$$R_k = \sum_{i=1}^k r_i, \quad 1 \leq k \leq N.$$



Расчет программируемых *Лекция 9* сопротивлений / проводимостей

А. Режим одиночного переключения

1) Параллельное / последовательное соединение

$$g_k = G_k, \quad 1 \leq k \leq N.$$

$$r_k = R_k, \quad 1 \leq k \leq N.$$

2) Схема G-цепочек

$$g_k = \begin{cases} G_k - G_{k-1}, & 2 \leq k \leq N \\ G_1, & k = 1 \end{cases}.$$

3) Схема R-цепочек

$$r_k = \begin{cases} R_k - R_{k-1}, & 2 \leq k \leq N \\ R_1, & k = 1 \end{cases}, \quad \text{при } R_k > R_{k-1}.$$

Расчет программируемых *Лекция 9* сопротивлений / проводимостей

Б. Режим группового переключения

1) Параллельное соединение / Схема G-цепочек

$$g_k = \begin{cases} G_k - G_{k-1}, & 2 \leq k \leq N \\ G_1, & k = 1 \end{cases}.$$

2) Последовательное соединение / Схема R-цепочек

$$r_k = \begin{cases} R_k - R_{k-1}, & 2 \leq k \leq N \\ R_1, & k = 1 \end{cases}, \quad \text{при } R_k > R_{k-1}.$$

Комментарии:

- Количество используемых резисторов будет уменьшаться на единицу для каждого последующего значения сопротивления (проводимости), изменяющегося от 0 до ∞ .
- Если N значений сопротивлений (проводимости) определить в виде арифметической прогрессии с разностью d и первым членом, равным 0 или d , в схемах (**G**- и **R**-цепочек для режима одиночного переключения) можно использовать резисторы одинакового номинала.
- Использование резисторов одного номинала является большим достоинством таких схем при изготовлении, при настройке параметров, при компенсации разбаланса, связанного с изменениями температуры и старением.

- Как при одиночном, так и при групповом режиме переключения требуется преобразование двоичного кода в код, пригодный для управления ключами.
- Поскольку каждый ключ имеет два положения ЗАМКНУТ/РАЗОМКНУТ, то для реализации N комбинаций переключения требуется $\log_2 N$ ключей. Таким образом, для программирования N значений сопротивлений (проводимостей) необходимо использовать $\log_2 N$ ключей и $\log_2 N$ резисторов. Это справедливо для параллельной и последовательной схем.
- Однако, при одиночном режиме переключения *независимыми* будут только $\log_2 N$ значений сопротивлений (проводимости), остальные значения будут зависимыми от них.

сопротивлений замкнутых ключей

- Во всех параллельных схемах для компенсации сопротивления R_{sk} замкнутого ключа S_k можно уменьшить значение последовательного с ним сопротивления на величину R_{sk} .
- Пусть все ключи схемы R-цепочек в замкнутом состоянии обладают одинаковым стабильным сопротивлением R_s . Влияние этого сопротивления может быть скомпенсировано заменой резистора r_1 , на резистор с номиналом $r_1 - R_s$.
- Если ключи на схеме R-цепочек в замкнутом состоянии обладают разным сопротивлением R_{sk} , их влияние компенсируется уменьшением значений сопротивлений R_k на величину R_{sk} для всех k в диапазоне: $1 \leq k \leq N$.

Программируемые делители

- ✓ Если в многозвенной схеме на основе G -цепочек $g_{N+1} = 0$, то она реализует следующее значение проводимости:

$$G_{AB} + G_{BC} = \sum_{k=1}^n g_k = G_T.$$

Схема будет работать в этом случае как **программируемый токовый делитель**.

- ✓ Если в многозвенной схеме на основе R -цепочек $r_{N+1} = \infty$, то она реализует следующее значение сопротивления:

$$R_{AB} + R_{BC} = \sum_{k=1}^n r_k = R_T.$$

В этом случае схема работает как **программируемый делитель напряжения**.

Задание для самостоятельной работы

1. Разработайте схемы для получения наборов сопротивлений:

а) 0, 1, 2, 3, ... 15

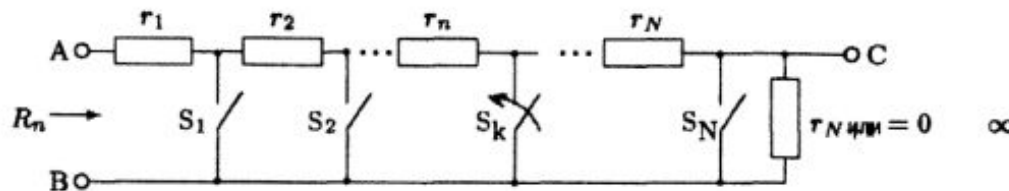
б) 1, 10, 100, 1000

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:

a)



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 9

1	2	3	4	5

