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

1. Введение

- 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*: $C_1, C_2, \ldots, C_N$. Поскольку для независимой работы каждому ключу требуется одноразрядный сигнал управления, то для ***n*** ключей необходим ***n***-разрядный сигнал.

3. Теорема

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 *п* ключей можно получить *N* значений параметра *С*: $C_{1},$ $C_2, \ldots,$ C_N. Поскольку для независимой работы каждому ключу требуется одноразрядный сигнал управления, то для ***n*** ключей необходим ***n***-разрядный сигнал.

$$\mathbf{C_k < C_{k+1}, \; k = 1,2,\ldots, N\text{-}1.} \qquad (1)$$

Пусть на схеме в настоящий момент (Н) реализуется значение $\boldsymbol{C_k}$ а в следующий момент времени (Б) при помощи другой комбинации ключей будет получено значение ***С***

3. Теорема

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:

$$2^{n-1}2^{n-2}\ldots2^{k+1}2^{k}2^{k-1}\ldots2^{2}2^{1}2^{0} = 00\ldots010\ldots011 \text{ или } 11\ldots100\ldots000$$

3. Теорема

1. Режим одиночного переключения

Для реализации всех ***N*** значений параметра ***C***, соответствующих ***k*** = 1, 2,..., *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 $S_1, S_2, \ldots, S_k$ замкнута (разомкнута), а остальные — разомкнуты (замкнуты).

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

$$2^{n-1}2^{n-2}\ldots2^{k+1}2^{k}2^{k-1}\ldots2^{2}2^{1}2^{0} = 00\ldots011\ldots111 \text{ или } 11\ldots100\ldots000.$$

3. Теорема

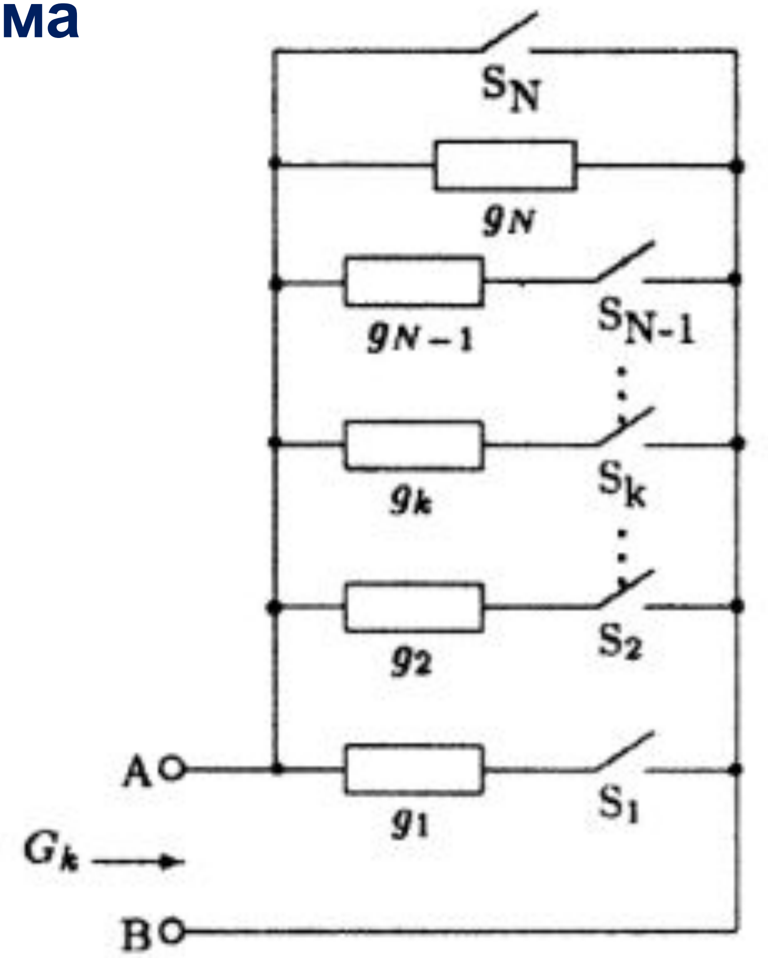
2. Режим группового переключения

- Для реализации всех ***N*** значений C_k соответствующих ***k*** = 1, 2,..., ***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***.

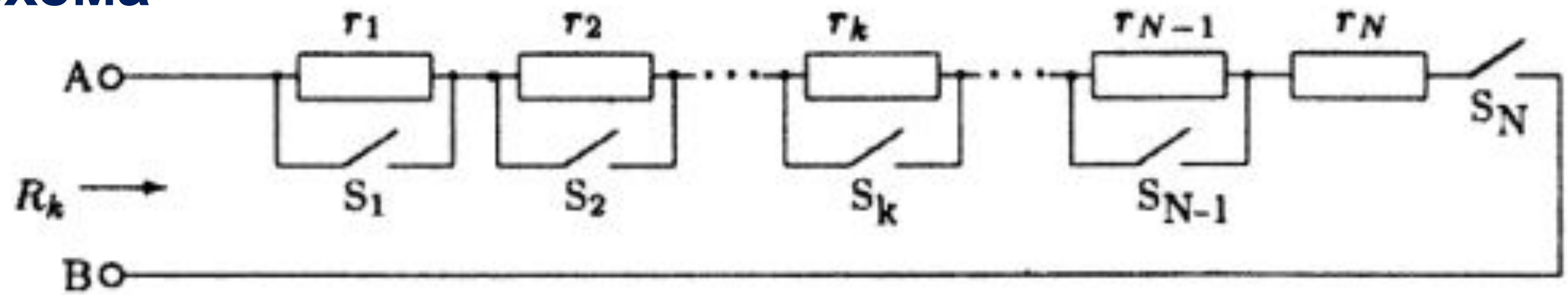
4. Четыре схемы программируемых сопротивлений

1) Параллельная схема



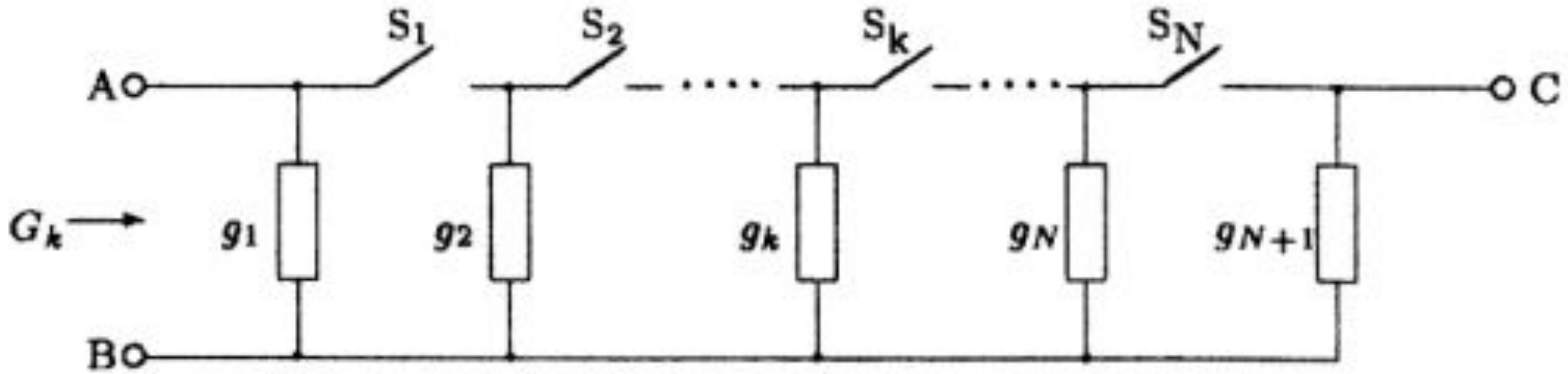
В *параллельной* схеме все последовательные группы, состоящие из сопротивления с ключом, включены в схему параллельно

2) Последовательная схема



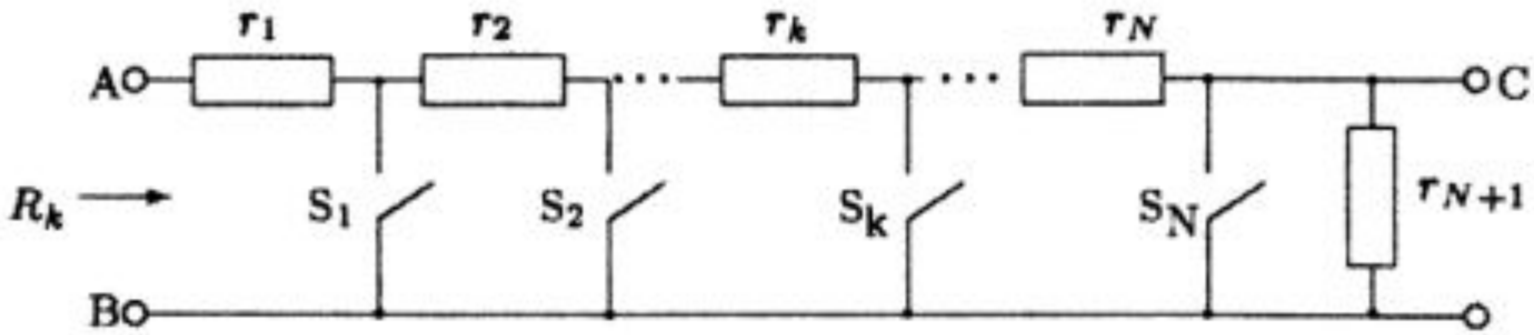
В *последовательной* схеме все параллельные группы из резистора и ключа соединены последовательно

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.

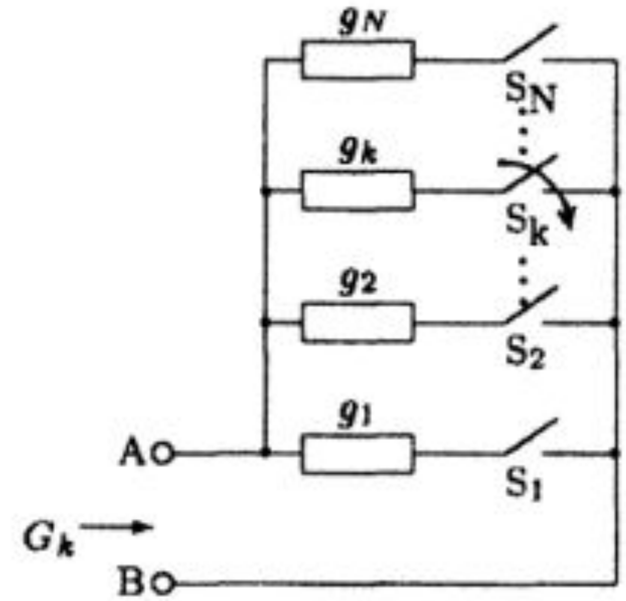
Минимальная реализация схем для режима одиночного переключения

Параллельная схема

В момент времени **Н** все выключатели

В схеме реализуется следующая пр

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



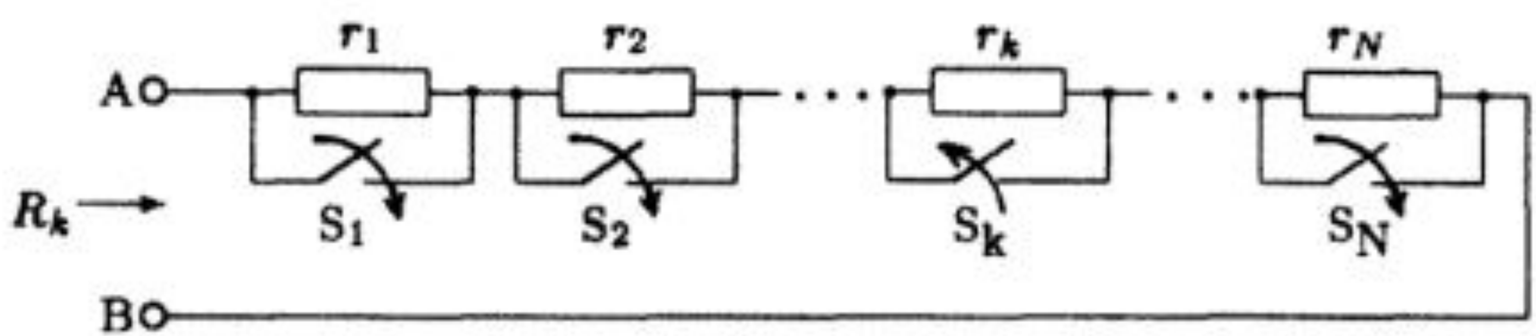
- Каждое значение $\boldsymbol{G_k}$ соответствует конкретному $\boldsymbol{k}$=1, 2, …, *N – 1*.
- Проводимость $\mathbf{g_N}$, появляется в виде дополнительного члена при любых значениях ***k***, поэтому от $\mathbf{g_N}$ можно избавиться, заменив каждое значение $\mathbf{g_k}$ на $\mathbf{g_N}$.

Параллельная схема

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

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

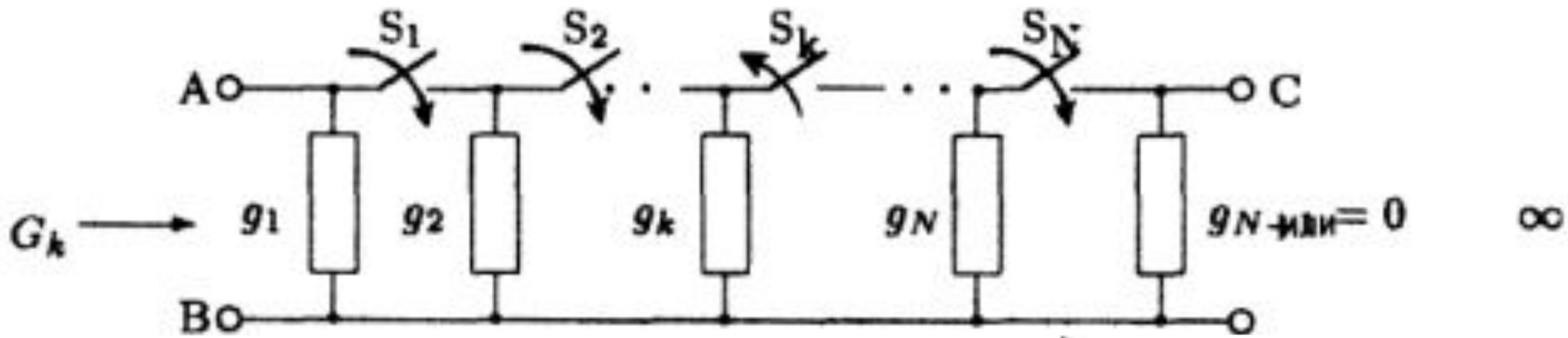
Последовательная схема



Для момента **н** справедливо:

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

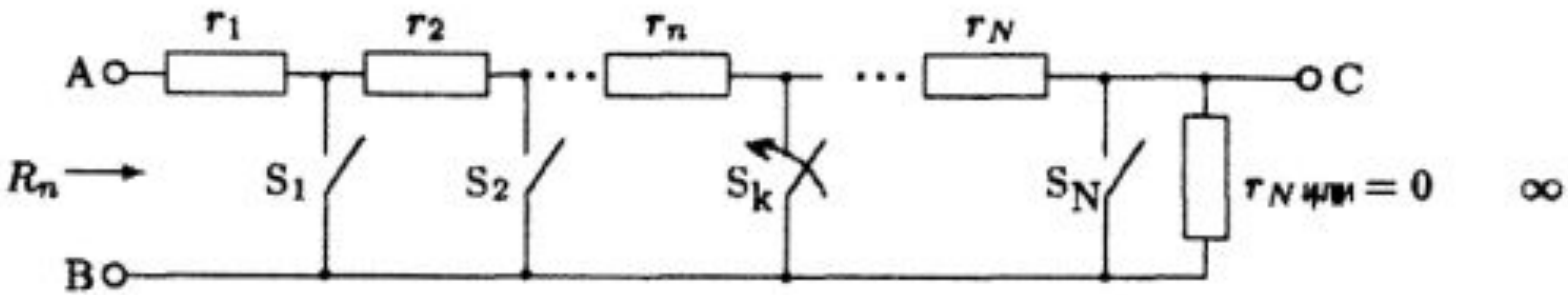
Схема G-цепочек



Тогда для момента **н** справедливо:

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

Схема R-цепочек



Для момента **н** справедливо:

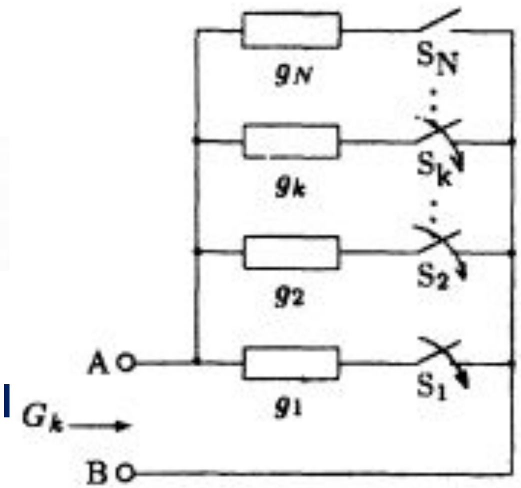
$$R_k = \sum_{i=1}^{k} r_i, \quad 1 \le k \le N.$$

Минимальная реализация схем для режима группового

Параллельная схема

Пусть в момент времени **Н** ключи $S_1, S_2, \ldots, S_k$ замкнуты. В этом случае можно записать:

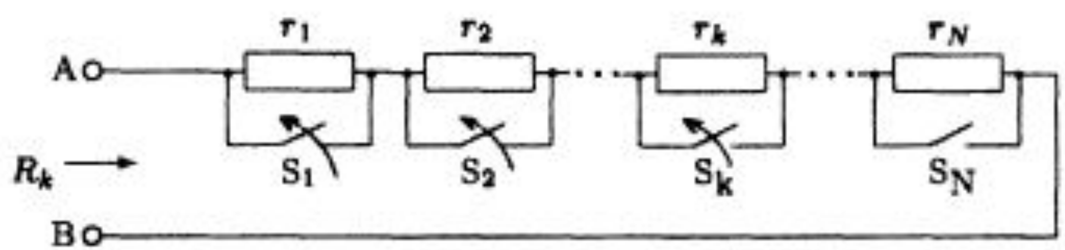
$$G_k = \sum_{i=1}^{k} g_i, \quad 1 \le k \le N.$$



Последовательная схема

Для момента времени **Н** можно записать

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



Минимальная реализация схем для режима группового

Схема G-цепочек

Пусть в момент времени **H** ключи $S_{1,}S_{2}$, ..., S_k замкнуты. В этом случае можно записа

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

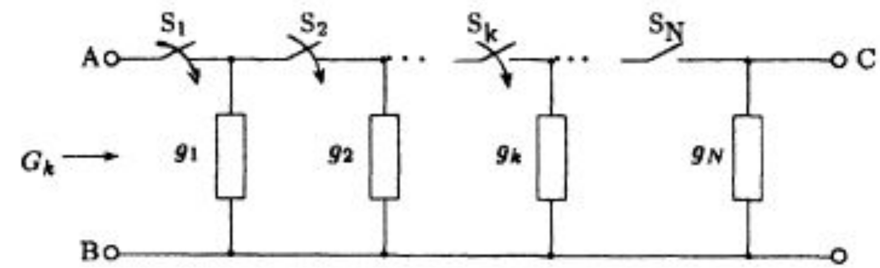
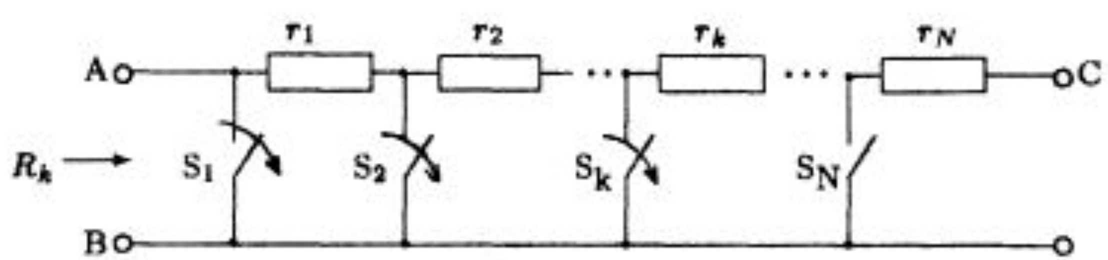


Схема R-цепочек

В момент времени **H** ключи $S_{1,}S_{2}$, ..., S_k разомкнуты. В этом случае:

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



Расчет программируемых сопротивлений /проводимостей

А. Режим одиночного переключения

1) **Параллельное / последовательное** соединение

$$g_k = G_k, \quad 1 \le k \le N. \qquad\qquad r_k = R_k, \quad 1 \le k \le N.$$

2) **Схема G-цепочек**

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

3) **Схема R-цепочек**

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

Расчет программируемых сопротивлений /проводимостей

Б. Режим группового переключения

1) **Параллельное** соединение/ **Схема G-цепочек**

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

2) **Последовательное** соединение / **Схема R-цепочек**

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

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.

Комментарии:

- 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.

Компенсация 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: $1 \le k \le N$.

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

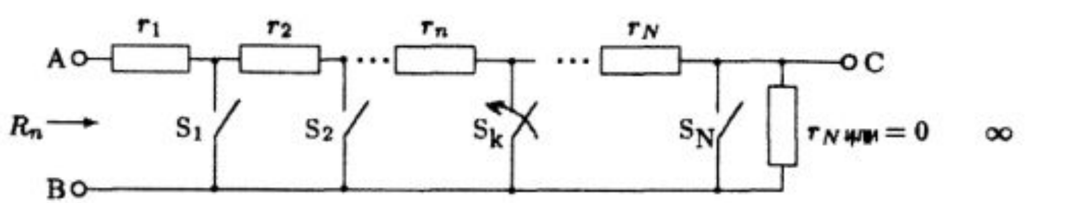
б) 1, 10, 100, 1000

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.

Проверь себя!

Вопрос 1 :

Ответы:

а)

Проверь себя!

Вопрос 2: …

Ответы:

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

Проверь себя!

Вопрос 3 : …

Ответы:

а)

Проверь себя!

Вопрос 4 : …

Ответы:

а)

Проверь себя!

Вопрос 5 : …

Ответы:

а)

б)

в)

г)

д)

Правильные ответы
Лекция 9

1	2	3	4	5