

# Презентация

Тема 2 «Сложные электрические цепи»

# Сложные электрические цепи

## План лекции:

1. Последовательное соединение элементов электрической цепи
2. Параллельное соединение элементов электрической цепи
3. Смешанное соединение элементов электрической ЭДС
4. Последовательное соединение ЭДС
5. Параллельное соединение ЭДС
6. Метод контурных токов
7. Метод наложения

# Введение

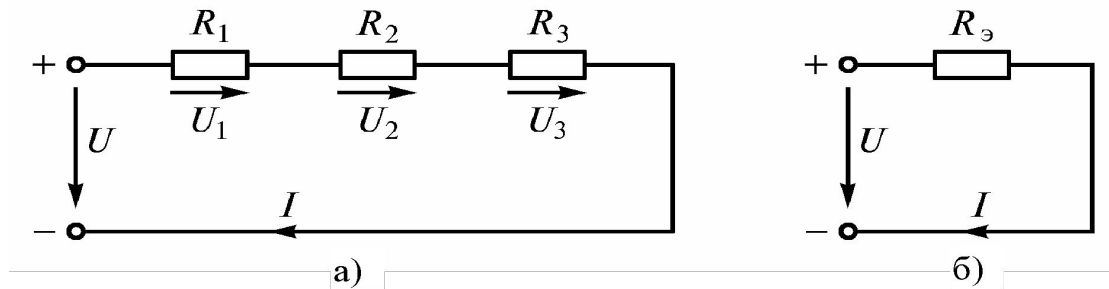
Часто при анализе электрических цепей постоянного тока приходится иметь дело со сложными разветвленными цепями. Если такие цепи состоят из соединения линейных пассивных элементов, то анализ значительно упрощается, если в схемах цепей провести определенные эквивалентные преобразования. Метод эквивалентного преобразования схем заключается в том, что сложные участки цепи заменяются более простыми, их эквивалентными.

# Введение (продолжение)

Преобразование будет эквивалентным, если оно не оказывает влияния на режим остальной, не затронутой преобразованием части цепи, т.е. если оно не вызывает в оставшейся части цепи изменений напряжений и токов. Примером такого преобразования может служить замена параллельного или смешанного соединения элементов одной ветвью с эквивалентным сопротивлением. Рассмотрим методы эквивалентных преобразований схем электрических цепей.

# 1. Последовательное соединение элементов электрической цепи

Если несколько резисторов соединены один за другим без разветвлений и по ним протекает один и тот же ток, такое соединение называется **последовательным (э-эквивалентное)**



$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$\frac{U}{I} = \frac{U_1}{I} + \frac{U_2}{I} + \frac{U_3}{I} \quad \text{или} \quad R_э = R_1 + R_2 + R_3$$

# 1. Последовательное соединение элементов электрической цепи (продолжение)

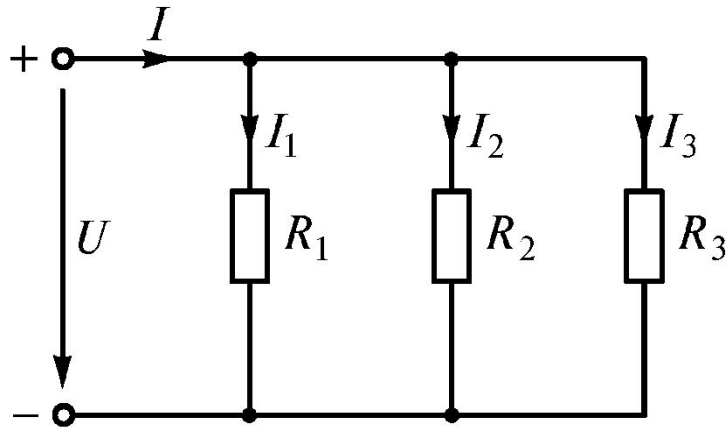
$$R_{\text{э}} = \sum_{i=1}^n R_i,$$

где  $n$  – число последовательно соединенных резисторов

$$I = \frac{U}{R_{\text{э}}}$$

## 2. Параллельное соединение элементов электрической цепи

Параллельным соединением сопротивлений называется такое соединение, при котором к одним и тем же двум узлам электрической цепи присоединяется несколько ветвей



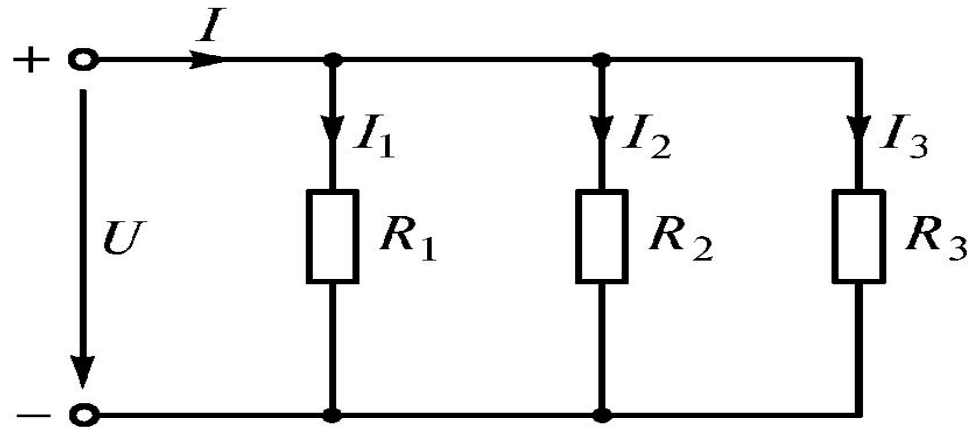
$$\frac{U}{R_{\text{э}}} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U}{R_2}; \quad I_3 = \frac{U}{R_3}$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\frac{1}{R_{\text{э}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

## 2. Параллельное соединение элементов электрической цепи (продолжение)

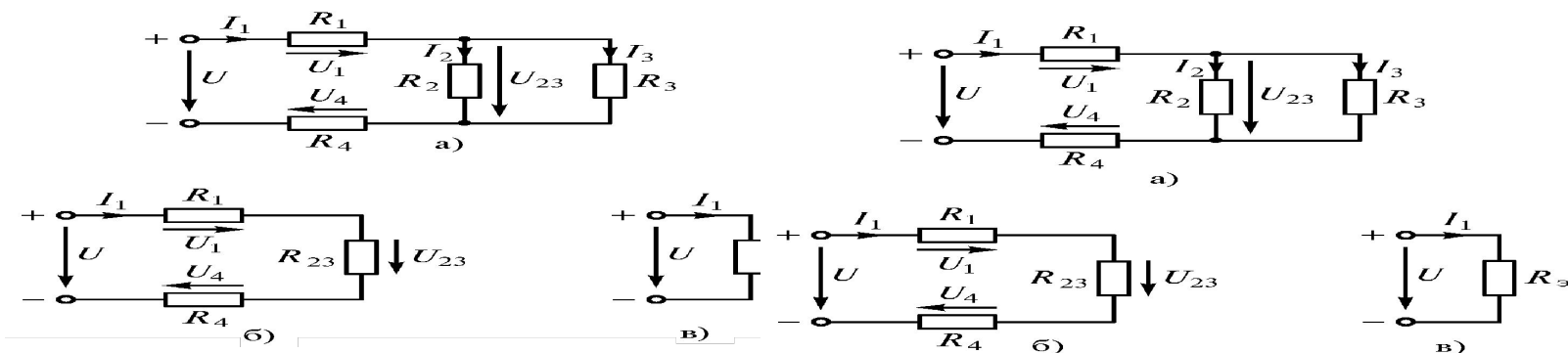


$$R_{\text{э}} = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$$



### 3. Смешанное соединение элементов электрической цепи

Смешанным соединением называют сочетание последовательного и параллельного соединений резисторов.



$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \quad R_{\text{э}} = R_1 + R_4 + R_{23} \quad I_1 = \frac{U}{R_{\text{э}}}; \quad I_2 = \frac{U_{23}}{R_2};$$

$$I_3 = \frac{U_{23}}{R_3} \quad U_1 = I_1 R_1;$$

### 3. Смешанное соединение элементов электрической цепи (продолжение)

Эта цепь может быть приведена к схеме с одним эквивалентным сопротивлением – «Э»

$$R_{\text{Э}} = \frac{U}{I_1}$$

Преобразование схемы можно проводить в два приема. Вначале заменяют сопротивление параллельных ветвей на:

$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

Зная, что сопротивление  $R_{23}$  включено последовательно с  $R_1$  и  $R_2$  находят эквивалентное сопротивление всей цепи:

$$R_{\text{Э}} = R_1 + R_4 + R_{23}$$

Тогда ток в неразветвленной части

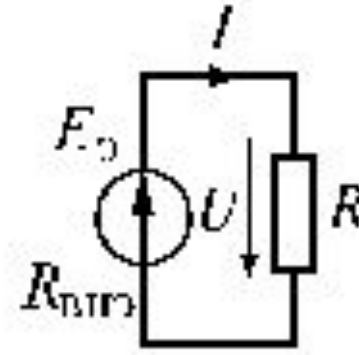
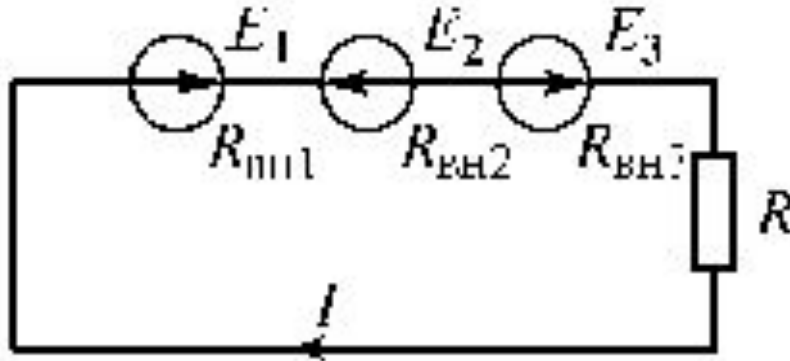
$$I_1 = \frac{U}{R_{\text{Э}}}$$

Токи в параллельных ветвях:

$$I_2 = \frac{U_{23}}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{U_{23}}{R_3}$$

## 4. Последовательное соединение ЭДС-Е



$$E_1 - E_2 + E_3 = IR_{\text{вн1}} + IR_{\text{вн2}} + IR_{\text{вн3}} + IR$$

$$I = \frac{E_1 - E_2 + E_3}{R_{\text{вн1}} + R_{\text{вн2}} + R_{\text{вн3}} + R} = \frac{E_{\text{э}}}{R_{\text{внэ}} + R}$$

$$E_{\text{э}} = E_1 - E_2 + E_3; \quad R_{\text{внут.экв}} = R_{\text{вн1}} + R_{\text{вн2}} + R_{\text{вн3}}$$

$$U_1 = E_1 - IR_{\text{вн1}}; \quad U_2 = E_2 + IR_{\text{вн2}}; \quad U_3 = E_3 - IR_{\text{вн3}}; \quad U = IR$$

$$I = \frac{nE}{nR_{\text{вн}} + R} = \frac{E}{R_{\text{вн}} + \frac{R}{n}}$$

## 6. Метод контурных токов (продолжение)

Контурным называется такой расчетный (условный) ток, который замыкается только по своему контуру, оставаясь вдоль него неизменным. Согласно этому методу, *действительный ток в любой ветви, принадлежащей только одному контуру, численно равен контурному току, а в ветви, принадлежащей нескольким контурам, равен алгебраической сумме контурных токов, проходящих через эту ветвь.* Число уравнений, составляемых по второму закону Кирхгофа, в этом случае равно числу **независимых** контуров  $N$ . Число независимых контуров определяется уравнением:

$$N=b-y+1,$$

где  $b$  – число ветвей;  $y$  – число узлов. (опред.  $y$ ,  $b$ -на слайде-6).

## 5. Параллельное соединение ЭДС-Е

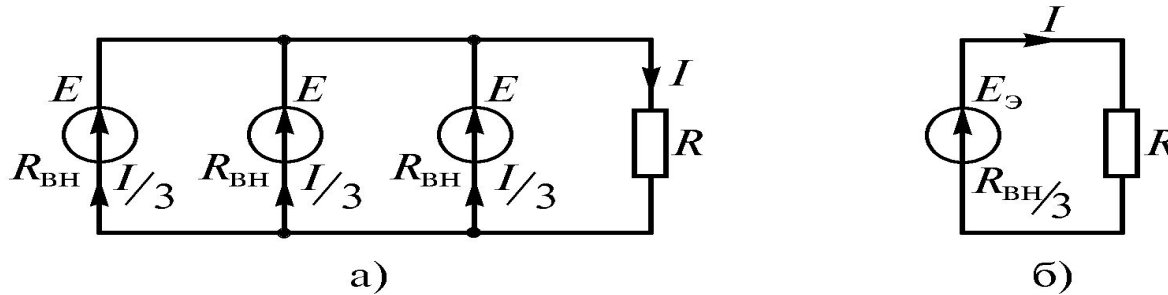


Рис. 1.28

При параллельном соединении ЭДС с одинаковыми параметрами, но уменьшаться точки через каждый источник и внутреннее сопротивление общего источника. При « $n$ » одинаковых ЭДС:

$$E_{\text{э}} = E; R_{\text{внэ}} = \frac{R_{\text{вн}}}{n}; I = \frac{E}{R + \frac{R_{\text{вн}}}{n}}$$

## 6. Метод контурных токов

Этот метод наиболее часто применяют на практике для расчета сложных цепей, так как он позволяет при числе уравнений, меньшим числа неизвестных величин, находить все эти неизвестные величины. Метод заключается в том, что вместо действительных токов в ветвях на основании второго закона Кирхгофа определяют так называемые *контурные токи* в независимых контурах.

## 6. Метод контурных токов (продолжение)

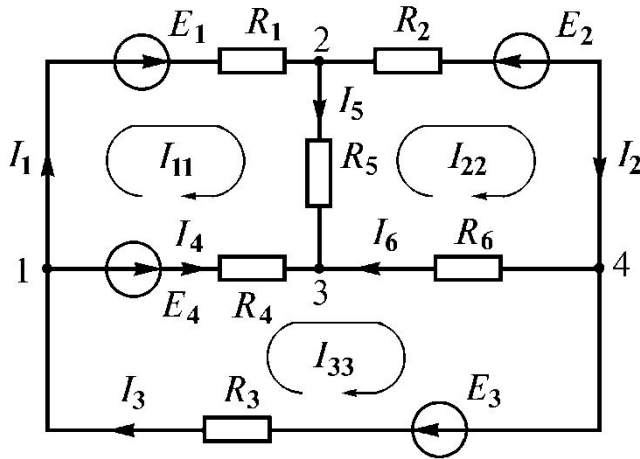
- **Ветвь**-это участок электрической цепи, по которому протекает один и тот же ток.
- **Узел**-точка электрической цепи ,состоящая из трёх ветвей и более.
- **Контур**-любой замкнутый «путь» в электрической цепи.
- Введём также следующие обозначения:
- $I_{11}, I_{22}, I_{33}$ -контурные токи;
- $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6$ -действительные токи.

# 6. Метод контурных токов (продолжение)

- Участок электрической цепи, по которому проходит ток одного и того же значения и направления, называют ветвью.
- Место соединения трех и более ветвей называют узлом.
- Замкнутую электрическую цепь, образуемую одной или несколькими ветвями, называют контуром.
- Контур, внутри которого не находятся другие ветви, связывающие между собой его узлы, называют простыми (или ячейкой).



## 6. Метод контурных токов (продол.)



На схеме число **независимых** контуров

$$n = b(6) - y(4) + 1$$

Выберем три независимых контура и обозначим направление их обхода (например, по часовой стрелке) с составим для них уравнения согласно второму закону Кирхгофа .

Контур I

$$I_{11}(\text{контурный ток})R_1 + (I_{11} - I_{22})R_5 + (I_{11} - I_{33})R_4 = E_1 - E_4$$

Контур II

$$I_{22}R_2 + (I_{22} - I_{11})R_5 + (I_{22} - I_{33})R_6 = -E_2$$

Контур III

$$I_{33}R_3 + (I_{33} - I_{11})R_4 + (I_{33} - I_{22})R_6 = E_3 + E_4$$

После преобразования получают:  $I_{11}(R_1 + R_4 + R_5) - I_{22}R_5 - I_{33}R_4 = E_1 - E_4$ ;

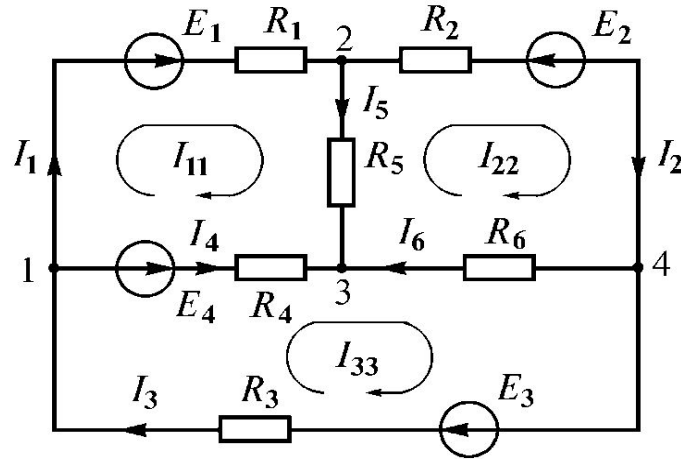
$$-I_{11}R_5 + I_{22}(R_2 + R_5 + R_6) - I_{33}R_6 = -E_2$$

$$-I_{11}R_4 - I_{22}R_6 + I_{33}(R_3 + R_4 + R_6) = E_3 + E_4$$

## 6. Метод контурных токов (продол.)

- Решая совместно эти три уравнения находят значения контурных токов

## 6. Метод контурных токов (продолжение)



Расчет действительных токов в цепи производится согласно уравнениям:

$$I_1 = I_{11}; \quad I_2 = I_{22}; \quad I_3 = I_{33}.$$

$$I_4 = I_{33} - I_{11}; \quad I_5 = I_{11} - I_{22}; \quad I_6 = I_{22} - I_{33}.$$

## **6.Метод контурных токов(продолжение.)**

**По контурным токам определяют токи в ветвях:**

**1) токи в наружных ветвях равны контурным токам и совпадают с ними по направлению, если контурный ток является положительным; если контурный ток – отрицательный, то направление тока в ветви меняется;**

**2) ток в смежной ветви, которая является общей для двух контуров, определяется как алгебраическая сумма соответствующих контурных токов.**

## 6. Метод контурных токов (продолжение.)

**Порядок расчета методом контурных токов:**

- 1) для каждого независимого контура произвольно выбирают положительное направление контурного тока;
- 2) для каждого контура составляют уравнение по второму закону Кирхгофа. Для этого направление обхода контура выбирают совпадающим с направлением контурного тока;
- 3) решают систему уравнений относительно контурных токов;
- 4) определяют токи в ветвях через контурные токи.