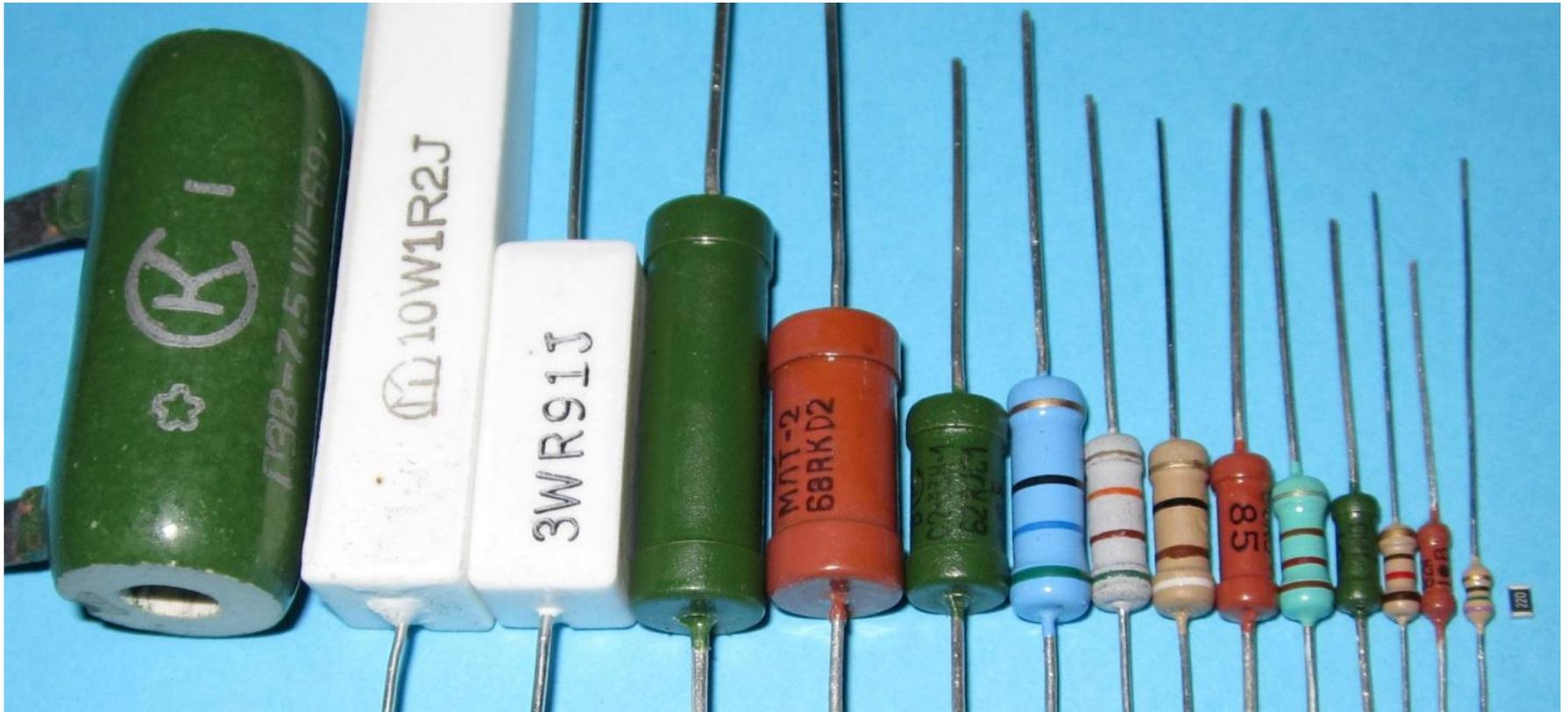


# Расчет электрической цепи ( расчет системы сопротивлений, применение закона Ома к расчету токов и напряжений)

При подготовке  
практического занятия  
использованы слайды  
открытого доступа Интернета



# Сопротивления (резисторы)



# Обозначения и виды резисторов

## Обозначения резисторов на схемах



Резистор с проволочными выводами



Резистор поверхностного монтажа



Американское обозначение резистора на схеме



R1



Европейское обозначение резистора на схеме



R2



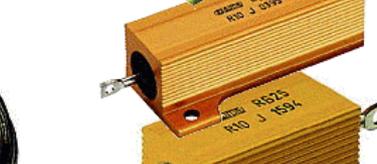
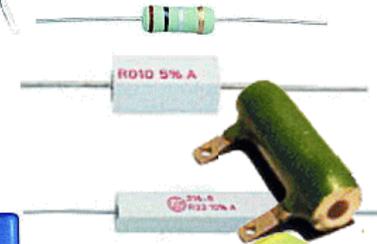
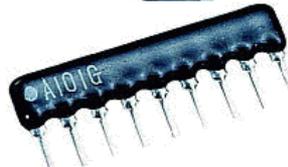
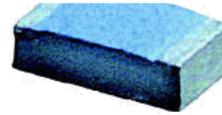
Угльные резисторы



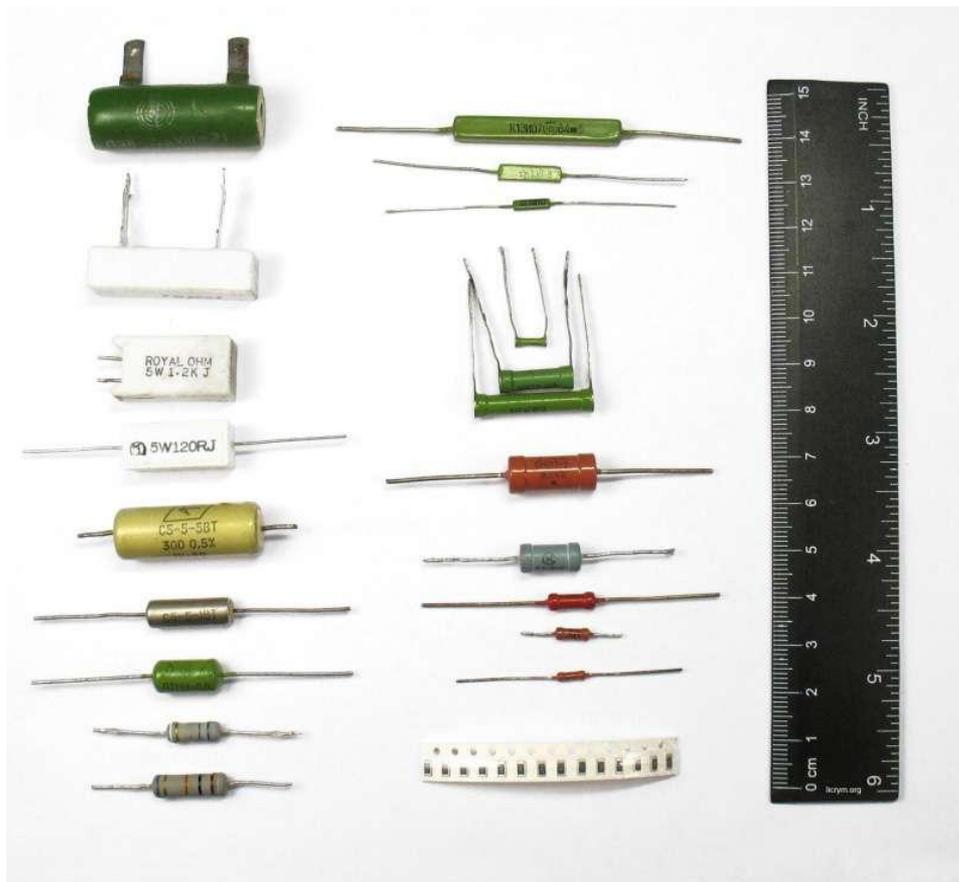
Металлопленочные резисторы



Проволочные резисторы



# Размеры и маркировка резисторов

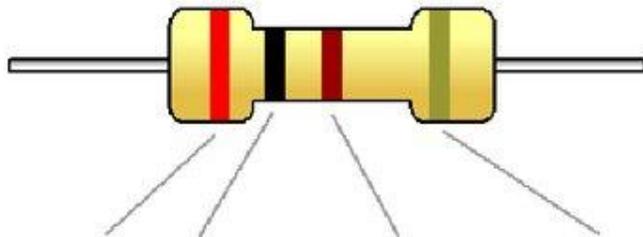


Резисторы. Цветовая маркировка						
Цвет полосы (точка)	1-й элемент	2-й элемент	3-й элемент	Множитель	Допуск	ТКС, %/°C
Золотой				0,01Ω	± 5%	
Серебряный				0,1Ω	± 10%	
Черный		0	0	1Ω	± 20%	
Коричневый	1	1	1	10Ω	± 1%	100
Красный	2	2	2	100Ω	± 2%	50
Оранжевый	3	3	3	1kΩ		15
Желтый	4	4	4	10kΩ		25
Зеленый	5	5	5	100kΩ	± 0,5%	
Голубой	6	6	6	1MΩ	± 0,25%	10
Фиолетовый	7	7	7	10MΩ	± 0,1%	5
Серый	8	8	8	100MΩ	± 0,05%	
Белый	9	9	9			1

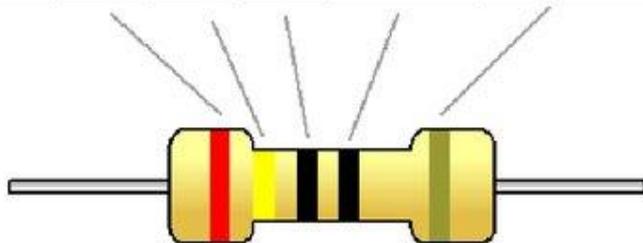
  

Пример обозначения	
2 кОм ±1%	
10 кОм ±2% 100 %/°C	
2 кОм ±5%	
100 Ом ±10%	

# Маркировка резисторов



Цвет	1 полоса	2 полоса	3 полоса	Множитель	Допустимое отклонение
Черный	0	0	0	1Ω	
Коричневый	1	1	1	10Ω	± 1% (F)
Красный	2	2	2	100Ω	± 2% (G)
Оранжевый	3	3	3	1kΩ	
Желтый	4	4	4	10kΩ	
Зеленый	5	5	5	100kΩ	± 0.5% (D)
Синий	6	6	6	1MΩ	± 0.25% (C)
Фиолетовый	7	7	7	10MΩ	± 0.10% (B)
Серый	8	8	8		± 0.05%
Белый	9	9	9		
Золотой				0.1	± 5% (J)
Серебряный				0.01	± 10% (K)



**223** =  $22 \times 10^3 \text{ Ом}$   
 = 22000 Ом  
 = 22 кОм

**8202** =  $82 \times 10^2 \text{ Ом}$   
 = 82000 Ом  
 = 82 кОм

**4R7** 4R7  
 = 4.7 Ом

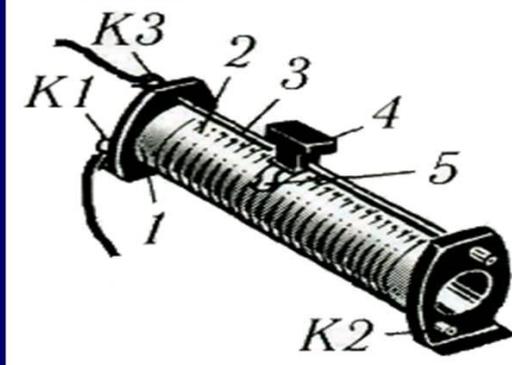
**0R22** 0R22  
 = 0.22 Ом

**0** 0  
 = 0 Ом

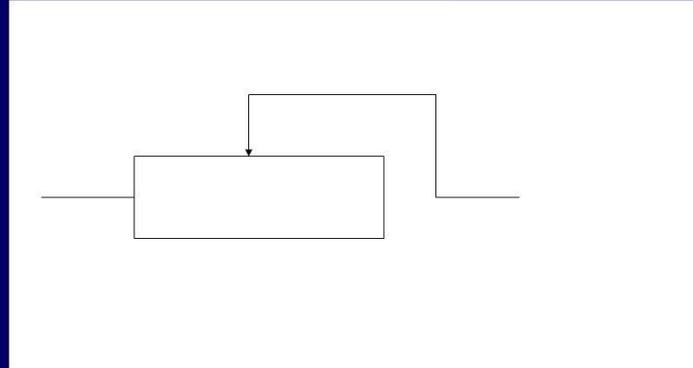
**000** 000  
 = 0 Ом

## Реостат – резистор с переменным сопротивлением

- Реостаты бывают рычажные и ползунковые



На рисунке показано условное обозначение реостата в электротехнических схемах



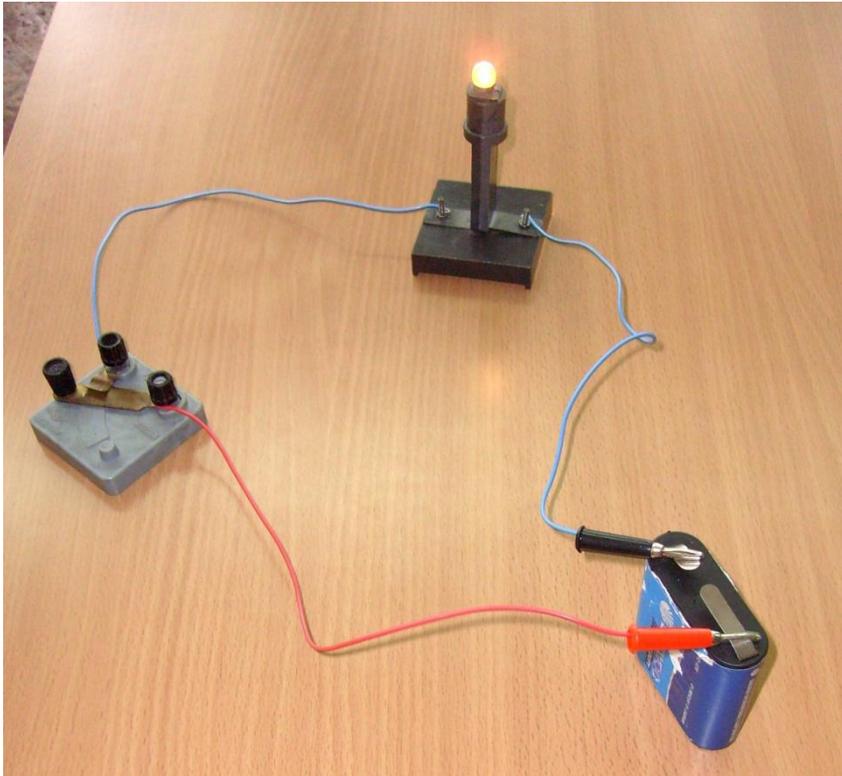
Выключатель передних противотуманных фар. Реостат регулировки подсветки приборов



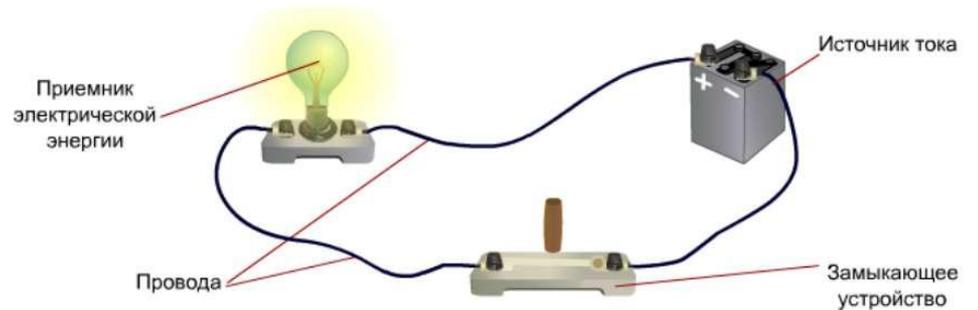
## Применение реостатов в технике

- Радиоприемники, телевизоры, магнитофоны
- Швейные машинки
- Автомобили
- электровыжигатели

# Простая электрическая цепь



Электрическая цепь, по которой идет ток, называется **замкнутой**.



## Закон Ома для участка цепи



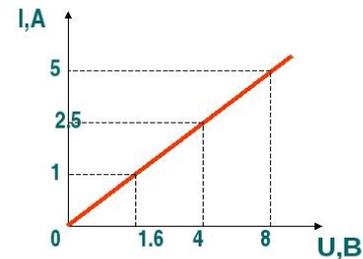
$$I = \frac{U}{R}$$

Сила тока в однородном проводнике прямо пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника:

Георг Симон Ом  
(1789–1854)

## Зависимость силы тока от напряжения

- Сила тока пропорциональна напряжению  $I \sim U$
  - График – линейная зависимость
- С увеличением напряжения сила тока в проводнике возрастает при постоянном сопротивлении**



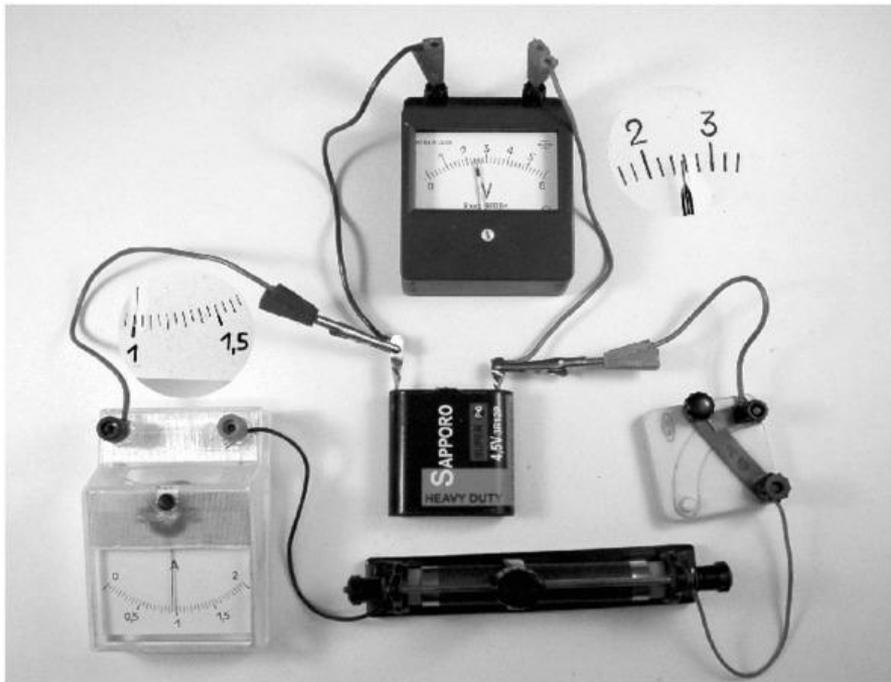
I	1	2.5	5
U	1.6	4	8

## Зависимость силы тока от сопротивления

- Сила тока обратно пропорциональна сопротивлению
  - График – ветвь гиперболы
- С увеличением сопротивления проводника сила тока уменьшается**



I	5	2.5	1
R	0.8	1.6	4



## Закон Ома для участка цепи



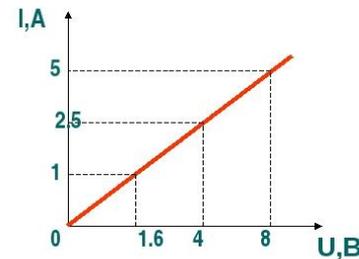
Георг Симон Ом  
(1789–1854)

$$I = \frac{U}{R}$$

Сила тока в однородном проводнике прямо пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника:

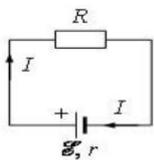
## Зависимость силы тока от напряжения

- Сила тока пропорциональна напряжению  $I \sim U$
  - График – линейная зависимость
- С увеличением напряжения сила тока в проводнике возрастает при постоянном сопротивлении



I	1	2.5	5
U	1.6	4	8

## Закон Ома для полной цепи



$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

Сила тока в замкнутой цепи равна отношению ЭДС источника тока к полному сопротивлению цепи

- $R$  - внешнее сопротивление цепи
- $r$  - внутреннее сопротивление источника тока
- $R+r$  - полное сопротивление цепи

Сила тока в цепи зависит от трех величин: ЭДС  $\varepsilon$ , сопротивлений  $R$  внешнего и  $r$  внутреннего участков цепи.

## Зависимость силы тока от сопротивления

- Сила тока обратно пропорциональна сопротивлению
  - График – ветвь гиперболы
- С увеличением сопротивления проводника сила тока уменьшается



I	5	2.5	1
R	0.8	1.6	4

# Закон Ома

- Для участка цепи

$$I = \frac{U}{R}$$

Сила тока, текущего по участку цепи, *прямо* пропорциональна *напряжению* на его концах и *обратно* пропорциональна его *сопротивлению*

- Для полной цепи (с  $\mathcal{E}$ ):

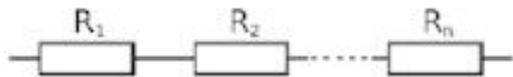
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

Сила тока в замкнутой цепи прямо пропорциональна величине *электродвижущей силы* источника тока и обратно пропорциональна *полному сопротивлению* цепи, равному сумме сопротивлений внешней и внутренней цепи

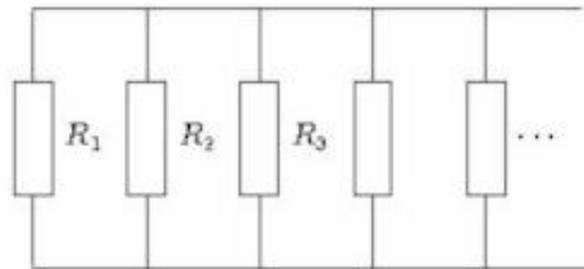
# Применение последовательного и параллельного соединений



# Соединяем резисторы по-разному...

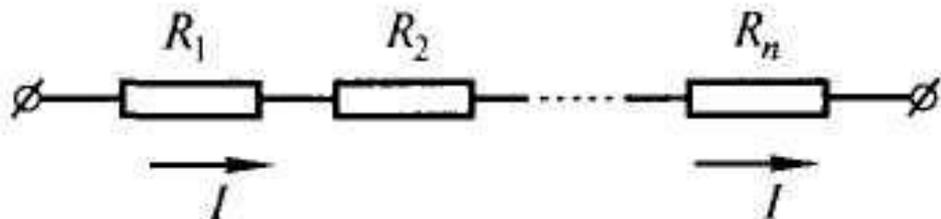


*Последовательно*



*Параллельно*

При **последовательном соединении  $n$  проводников** конец первого проводника соединяют с началом второго и т. д.



В данном **случае сила тока  $I$  одинакова** во всех резисторах,

$$I_1 = I_2 = \dots = I_{n-1} = I_n$$

**напряжение на концах цепи равно сумме напряжений во всех последовательно включенных проводниках**

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_{n-1} + U_n = \sum_{i=1}^n U_i$$

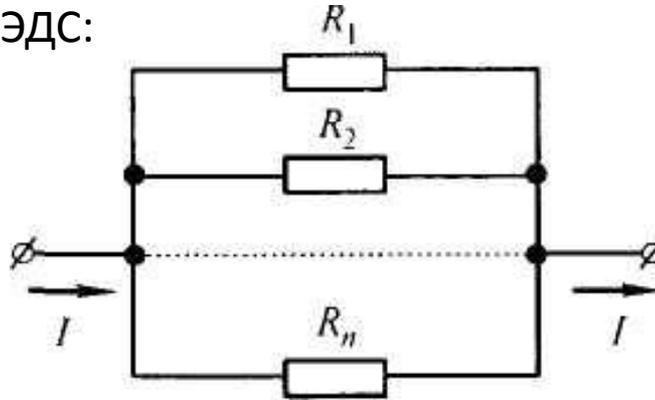
**Общее сопротивление участка цепи равно сумме последовательных сопротивлений** (сопротивление на этом участке увеличивается):

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Для двух  $R$ :

$$R = R_1 + R_2$$

При **параллельном соединении**  $n$  проводников их начала и концы имеют общие точки подключения к источнику ЭДС:



В данном случае **напряжение  $U$  одинаково** во всех резисторах,

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_{n-1} = U_n$$

Сила тока  $I$  в неразветвленной цепи равна сумме сил токов во всех параллельно включенных проводниках:

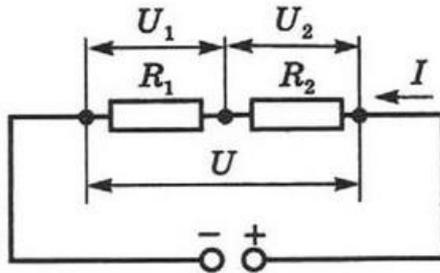
$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_{n-1} + I_n = \sum_{i=1}^n I_i$$

Общее сопротивление участка цепи определяется с помощью уравнений (сопротивление на этом участке уменьшается):

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad \text{Для двух } R: \quad \boxed{\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} \quad \text{или} \quad R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

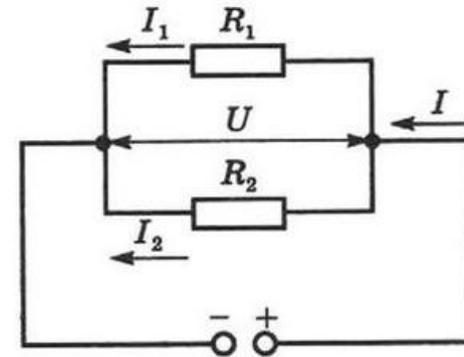
# СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ

## ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ



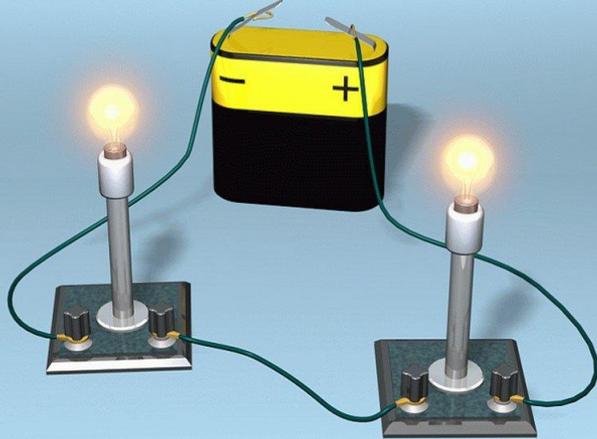
СИЛА ТОКА	НАПРЯЖЕНИЕ	СОПРОТИВЛЕНИЕ
$I = I_1 = I_2$	$U = U_1 + U_2$	$R = R_1 + R_2$
	$IR = IR_1 + IR_2$	при
	$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2}$	$R_1 = R_2 = \dots = R_n$
		$\downarrow$
		$R = nR_1$

## ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ

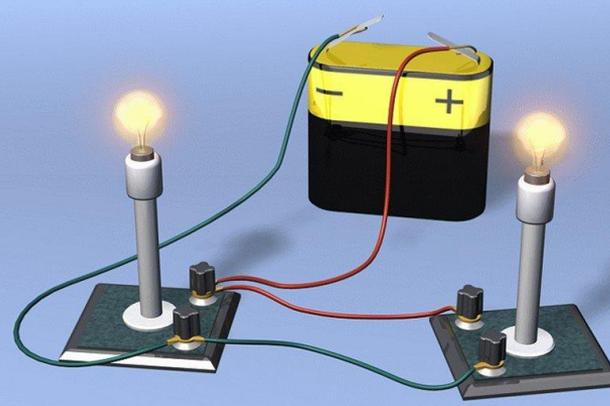


СИЛА ТОКА	НАПРЯЖЕНИЕ	СОПРОТИВЛЕНИЕ
$I = I_1 + I_2$	$U = U_1 = U_2$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$
$\frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}$		при
$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$		$R_1 = R_2 = \dots = R_n$
		$\downarrow$
		$R = \frac{R_1}{n}$

Пример соединения



Пример соединения



## Вариант 1

1. Вольтметр  $V1$  показывает напряжение 8 В. Каковы показания амперметра и вольтметра  $V2$  (рис. 95)?
2. Показания амперметров  $A$  и  $A1$  соответственно равны 2,4 и 0,4 А. Определите показание вольтметра, сопротивление  $R2$  и общее сопротивление параллельно включенных проводников (рис. 96).

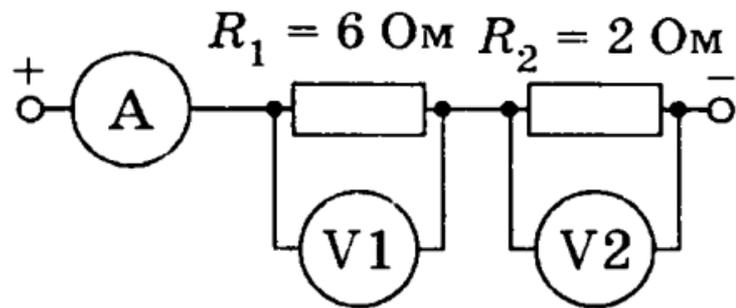


Рис. 95

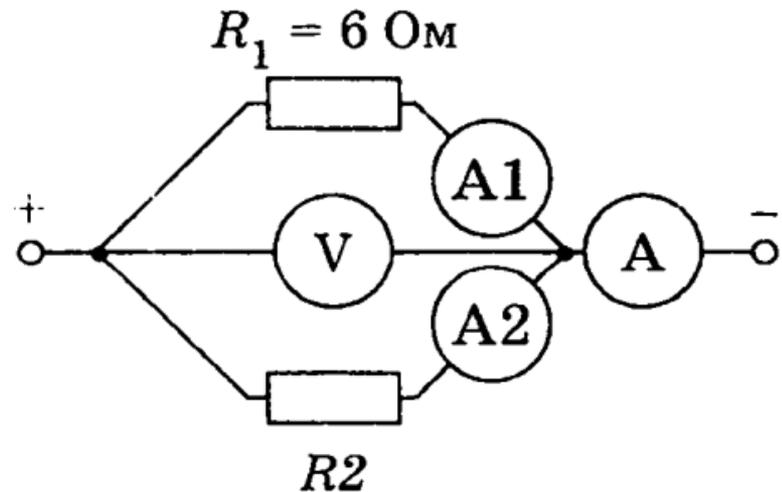
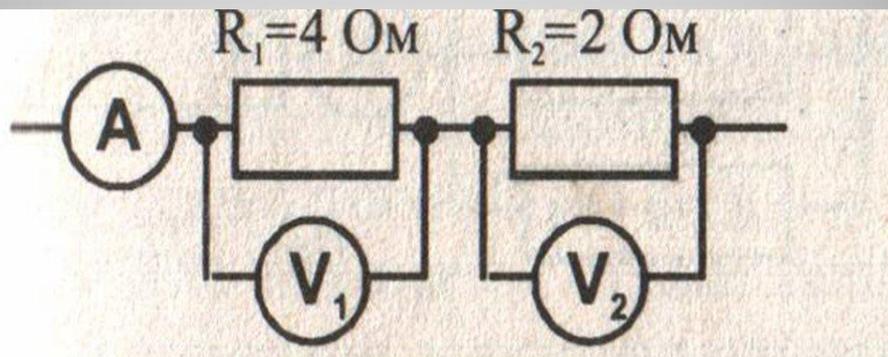


Рис. 96

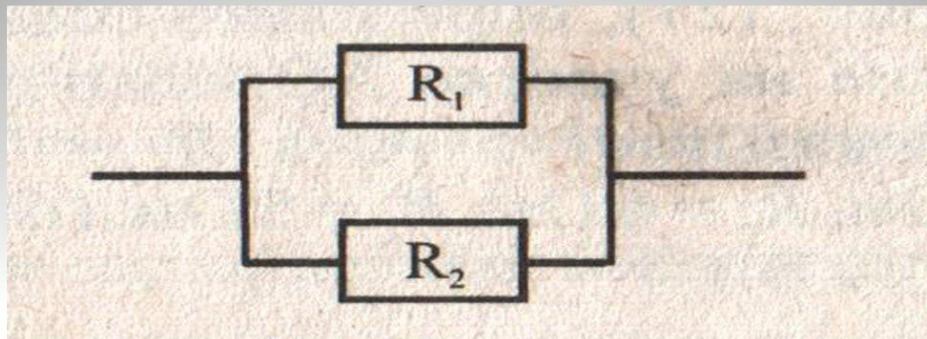
## Задача №2

- Каковы показания вольтметров, если амперметр показывает 1,5А

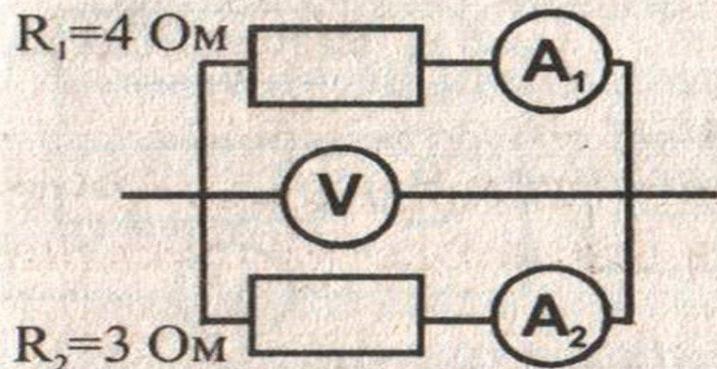


## Задача №4

- Определить общее сопротивление  $R_1 = 40 \text{ Ом}$   $R_2 = 60 \text{ Ом}$



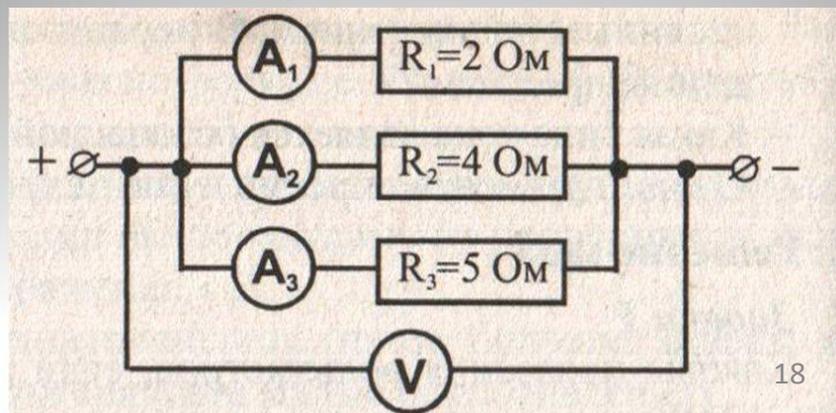
## Задача №5



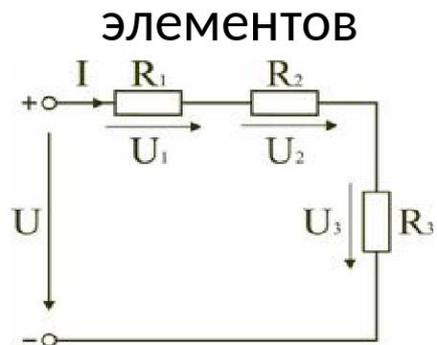
- Каковы показания амперметров, если стрелка вольтметра показывает 6В

## Задача №6

- Участок электрической цепи состоит из трёх параллельно соединённых сопротивлений:  $R_1 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 4 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 5 \text{ Ом}$ . Амперметр  $A_1$  показывает силу тока 20А. Определите показания вольтметра V и амперметров  $A_2$  и  $A_3$



## Электрическая цепь с последовательным соединением элементов



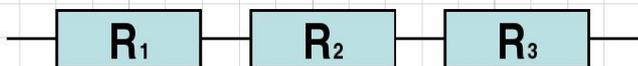
Найти общее сопротивление участка цепи

$$R_1 = 7,3 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 2,7 \text{ Ом}$$

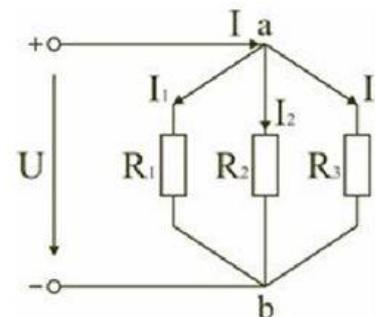
$$R_3 = 8,9 \text{ Ом}$$

R-?



$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 18,9 \text{ Ом}$$

## Электрическая цепь с параллельным соединением элементов



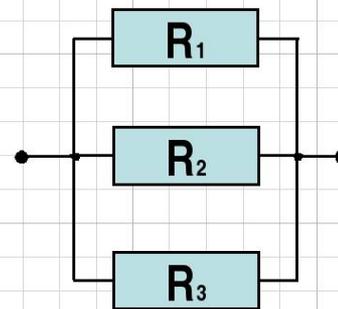
Найти общее сопротивление участка цепи

$$R_1 = 5 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 10 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 30 \text{ Ом}$$

R-?



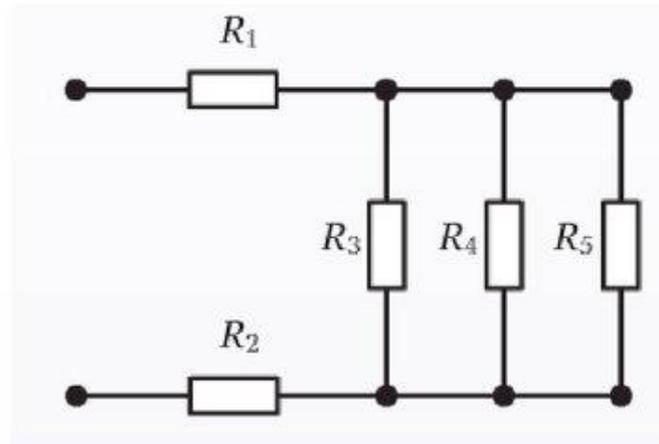
$$R = 3 \text{ Ом}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{5} + \frac{1}{10} + \frac{1}{30} = \frac{10}{30}$$

# Смешанное соединение резисторов

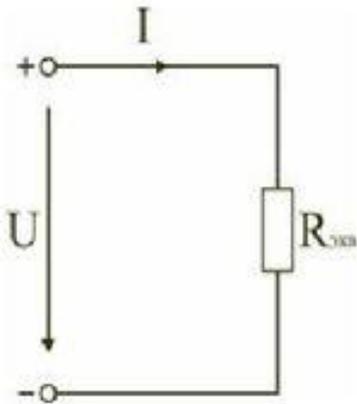
Соединение резисторов называют **смешанным**, если параллельно соединяют две (или более) ветви электрической цепи, содержащие последовательно соединенные элементы, либо если ветвь содержит параллельное соединение элементов.

Пример изображения **смешанного соединения резисторов**:



# Метод расчета электрической цепи – метод расчета тока/ов

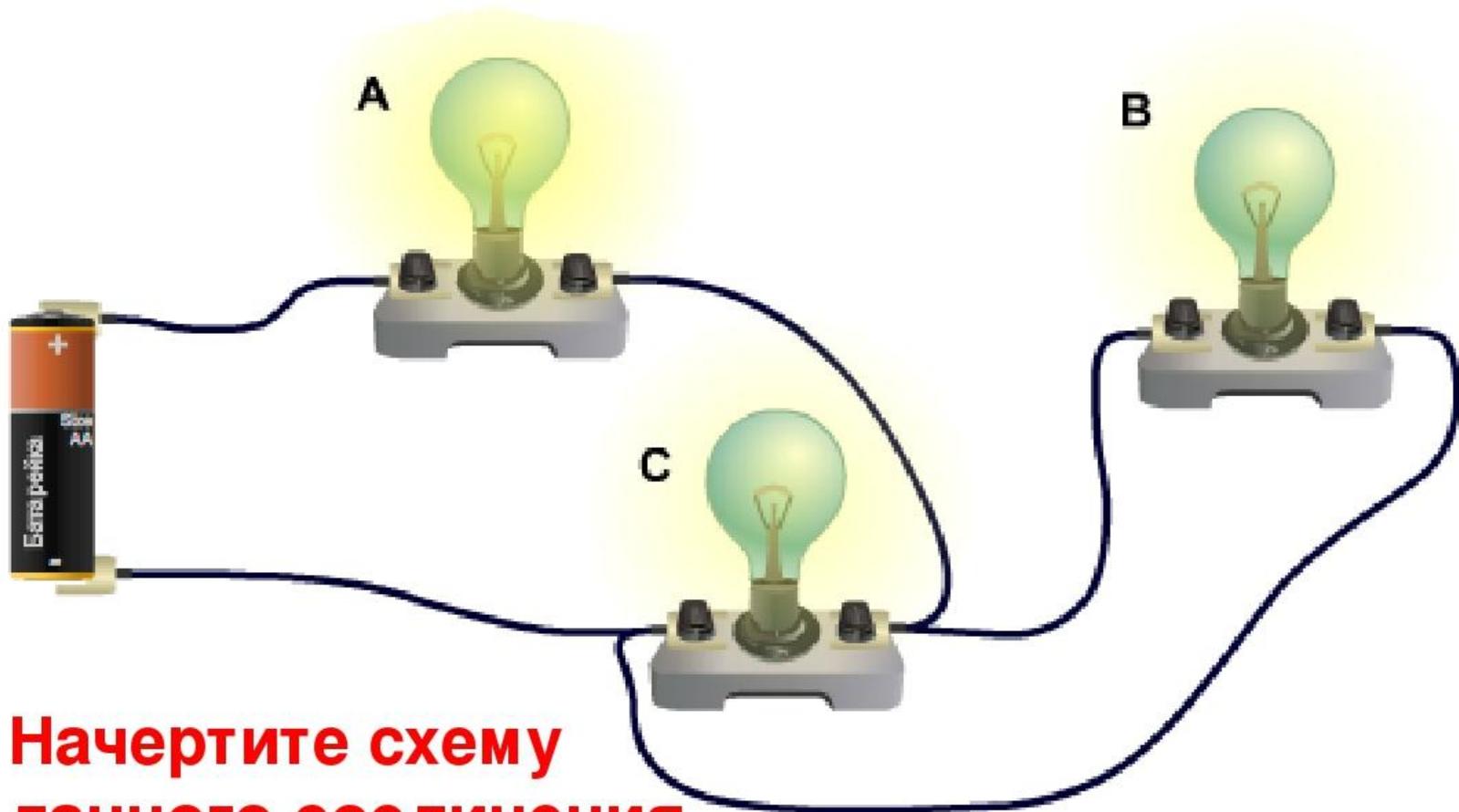
Цепь с любым числом последовательно включенных сопротивлений можно заменить простой цепью с одним эквивалентным сопротивлением  $R_{\text{экв}}$ . После этого расчет цепи сводится к определению тока всей цепи по закону Ома



$$I = \frac{U}{R_{\text{экв}}}$$

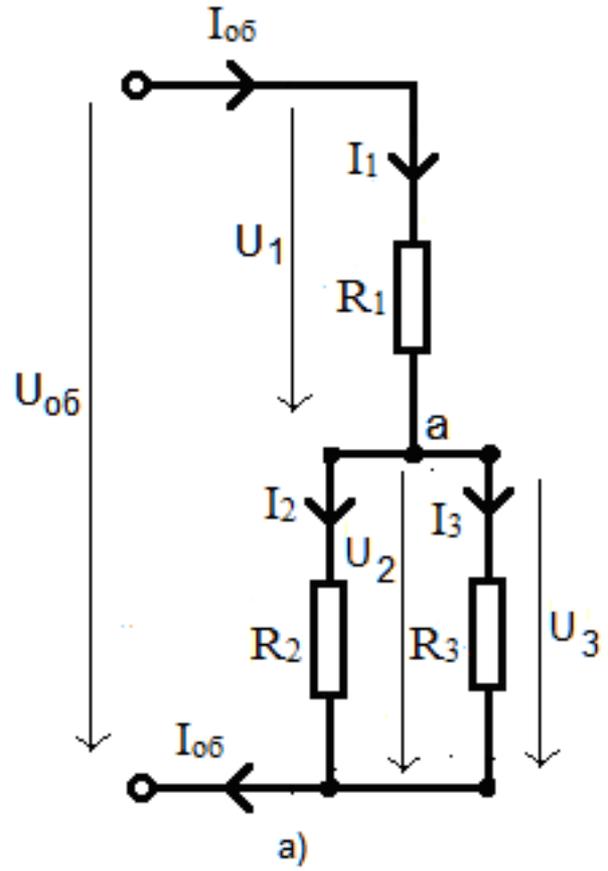
Метод расчета  
электрической цепи  
с использованием закона Ома  
(применение закона Ома к  
расчету токов и напряжений в  
электрической цепи)

Какое здесь соединение резисторов?



**Начертите схему  
данного соединения**

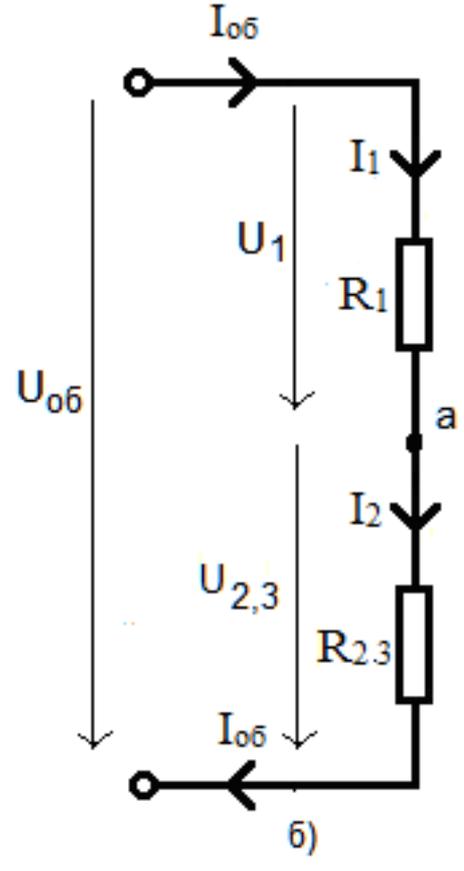
Электрическая цепь для предыдущего соединения  
*(внимательно изучите, как «сворачивают» схему)*



$$U_2 = U_3$$

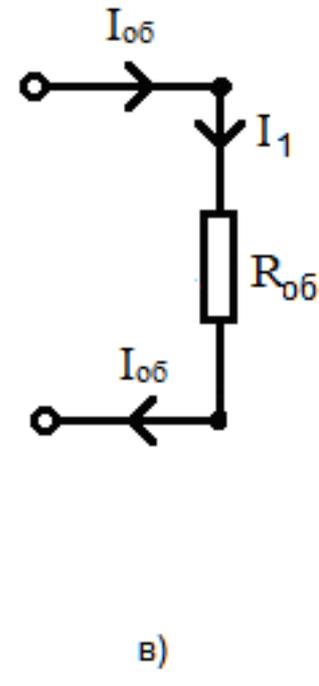
$$U_{06} = U_1 + U_2$$

$$I_{06} = I_1 = I_2 + I_3$$



$$U_{06} = U_1 + U_{2,3}$$

$$I_{06} = I_1$$

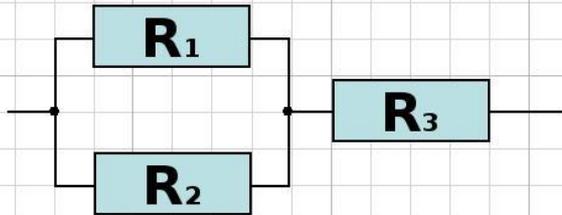


$$I_{06} = \frac{U_{06}}{R_{06}}$$

# Примеры расчета сопротивления смешанного соединения

Найти общее сопротивление

$R_1 = 6 \text{ Ом}$   
 $R_2 = 12$   
 $R_3 = 5 \text{ Ом}$   
 $R = ?$

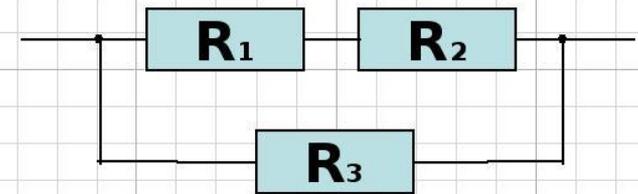


$$\frac{1}{R_{12}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{6} + \frac{1}{12} = \frac{3}{12} = \frac{1}{4}$$

$R_{12} = 4 \text{ Ом}$       $R = R_{12} + R_3 = 9 \text{ Ом}$

Найти общее сопротивление

$R_1 = 2$   
 $R_2 = 6 \text{ Ом}$   
 $R_3 = 2 \text{ Ом}$   
 $R = ?$

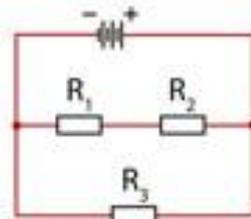
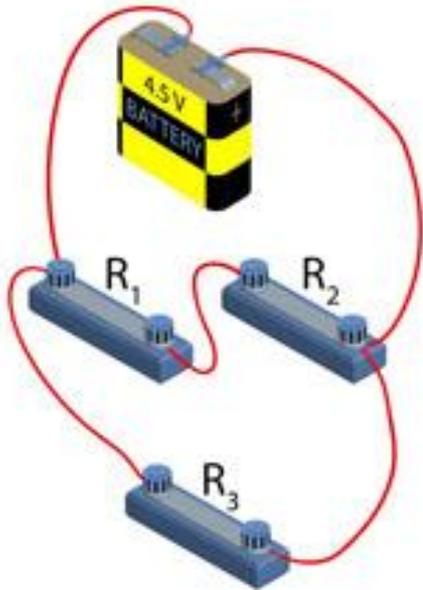


$R_{12} = 8 \text{ Ом}$       $R_{12} = R_1 + R_2$

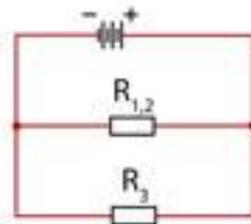
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{8} + \frac{1}{8} = \frac{2}{8} = \frac{1}{4}$$

**$R = 1,6 \text{ Ом}$**

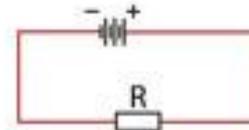
# Примеры расчета сопротивления смешанного соединения



$$R_{1,2} = R_1 + R_2$$



$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{1,2}} + \frac{1}{R_3}$$



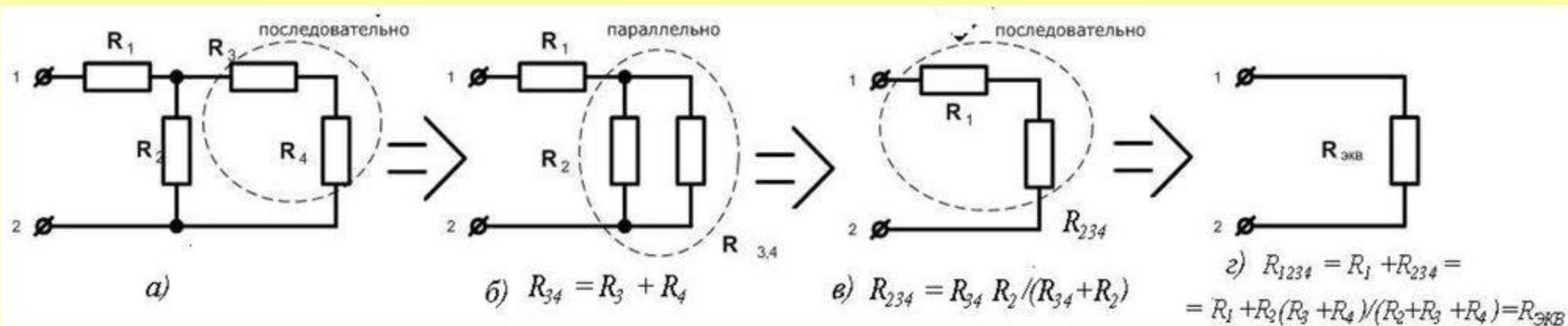
$$R = \frac{R_{1,2} \cdot R_3}{R_{1,2} + R_3}$$

$$R = \frac{(R_1 + R_2) \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Внимание! При решении задачи не надо находить решение в виде одной формулы, как сделано в решении этой задачи, – для инженерного решения **важно уметь быстро определять числовое значение общего сопротивления**. Поэтому рекомендуется сразу проводить расчеты на каждом отдельном шаге решения, как это сделано на предыдущем слайде.

## 1.4. ЭКВИВАЛЕНТНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СХЕМЫ ПРИ СМЕШАННОМ СОЕДИНЕНИИ РЕЗИСТОРОВ

- **Смешанным** соединением называют сочетание последовательного и параллельного соединений резисторов.
- При смешанном соединении элементов для эквивалентного преобразования пользуются **методом последовательных эквивалентных преобразований**, т.е. последовательно преобразуются участки цепи, имеющие простое (только последовательное, или только параллельное) соединение элементов.
- Поясним это на конкретном примере расчета электрической цепи (рис. 1.3).



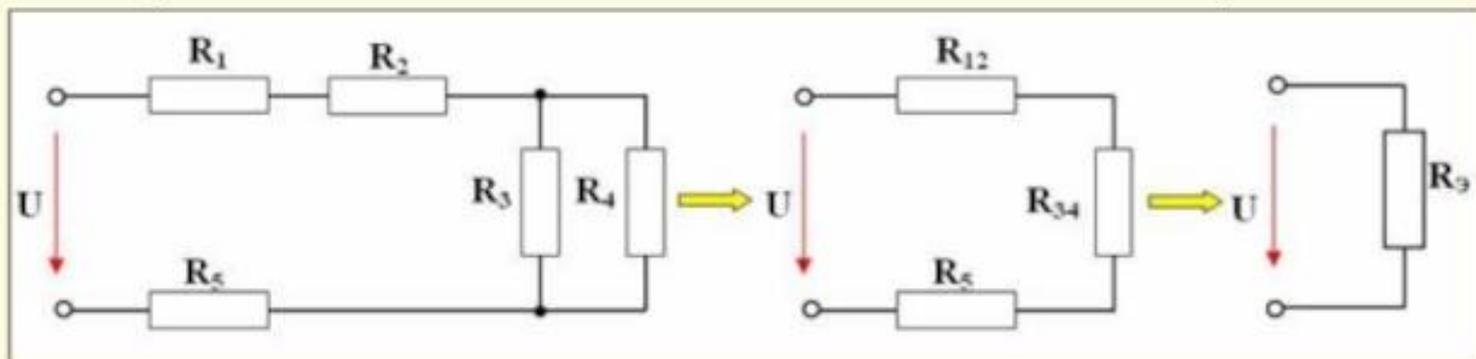
# Электрические цепи постоянного тока



## Последовательное, параллельное и смешанное соединение сопротивлений

### Смешанное соединение сопротивлений

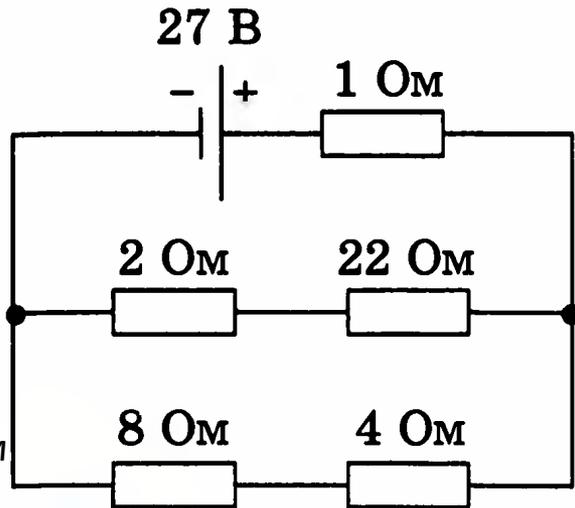
Для расчета разветвленных электрических цепях со *смешанным соединением электроприемников* вначале следует выделить группы последовательно и параллельно соединенных элементов. Постепенно, шаг за шагом, преобразовывая отдельные группы элементов на эквивалентные, можно представить все элементы одним эквивалентным сопротивлением.



### Пример

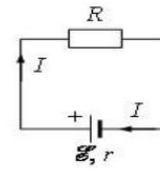
В качестве примера, вначале преобразуем исходную схему замещения (левый рисунок), найдя эквивалентные сопротивления  $R_{12}$  и  $R_{34}$ , соответственно, для группы последовательно соединенных сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$  и параллельно соединенных  $R_3$  и  $R_4$ :

Для чего рассчитываем общее сопротивление нагрузки?  
 Чтобы далее применить закон Ома и найти силу тока!



Ответ:  
 $R_{\text{общ}} = 9 \text{ Ом}$   
 $I = 3 \text{ А}$ .

## Закон Ома для полной цепи

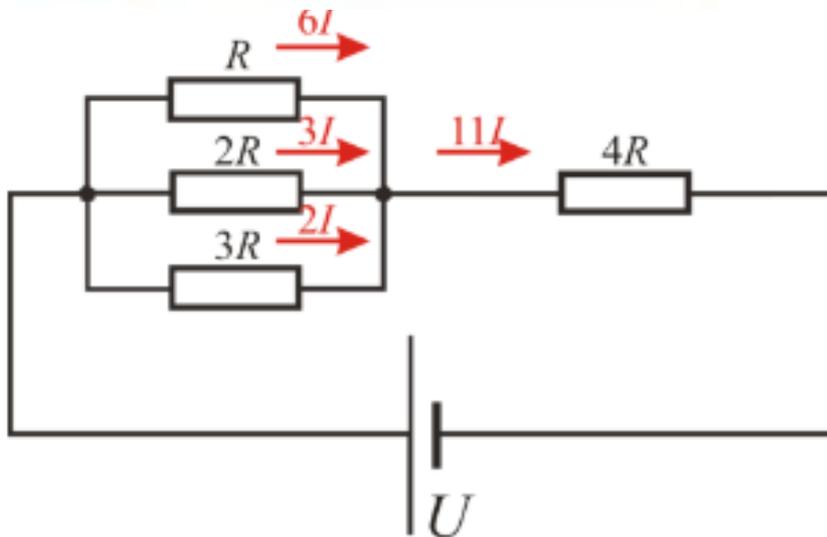


$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

Сила тока в замкнутой цепи равна отношению ЭДС источника тока к полному сопротивлению цепи

- $R$  - внешнее сопротивление цепи
- $r$  - внутреннее сопротивление источника тока
- $R+r$  - полное сопротивление цепи

Сила тока в цепи зависит от трех величин: ЭДС  $\varepsilon$ , сопротивлений  $R$  внешнего и  $r$  внутреннего участков цепи.



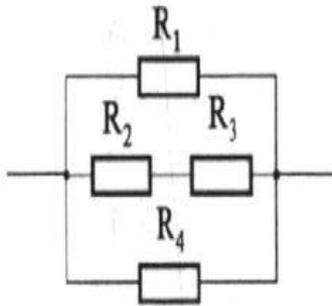
## Домашнее задание:

все последующие слайды относятся к домашнему заданию

## Задачи 1-2 (определите общее сопротивление цепи)

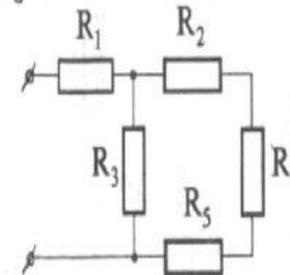
### Задача 1

Вычислите общее сопротивление участка цепи, изображенного на рисунке, если  $R_1 = 6 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 3 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 5 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 24 \text{ Ом}$ .



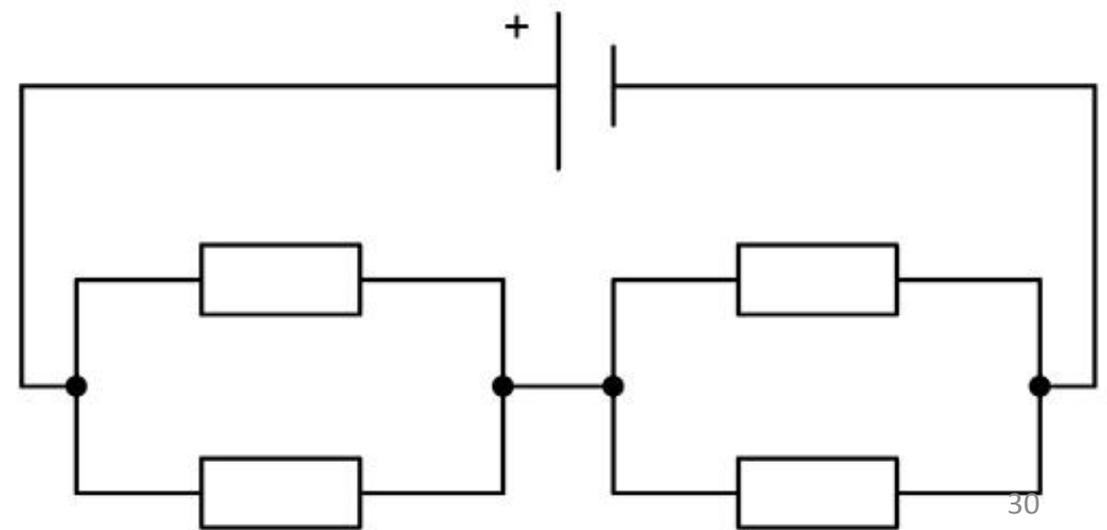
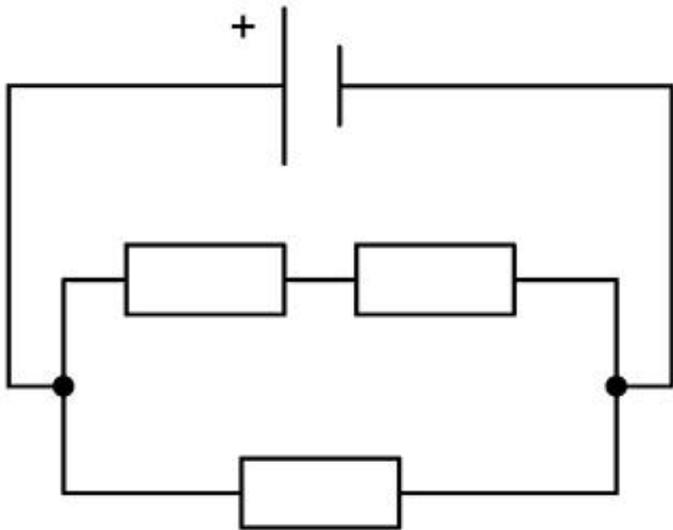
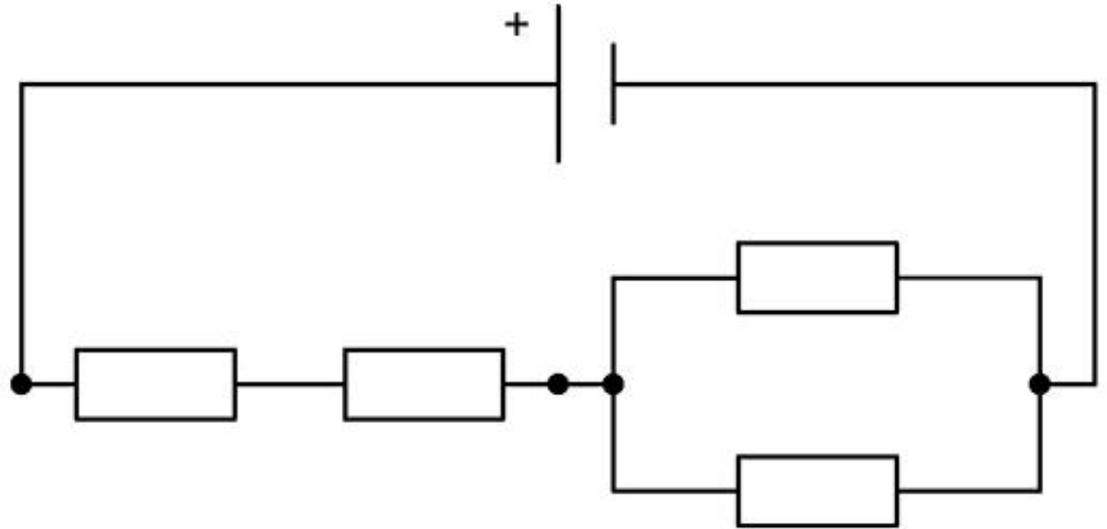
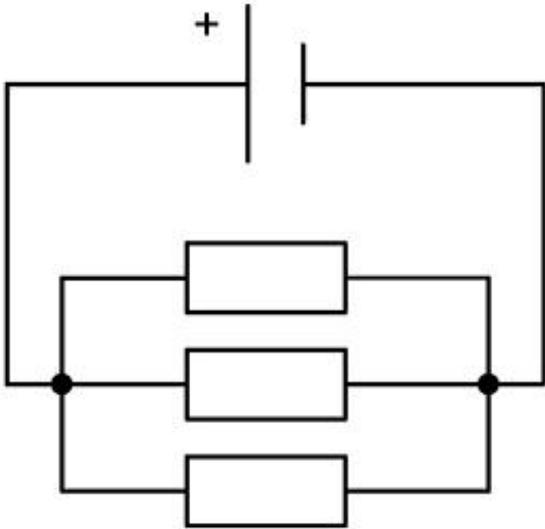
### Задача 2

Пять резисторов соединены так, как показано на рисунке. Определить общее сопротивление цепи, если  $R_1 = 1 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 1 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 8 \text{ Ом}$ ,  $R_5 = 1 \text{ Ом}$ .



## Задачи 3-6

(определите общее сопротивление цепи и силу тока:  
каждое сопротивление равно 30 Ом, а ЭДС равно 100 В)

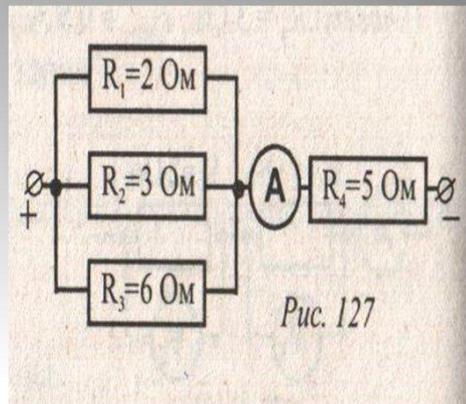


Помним, что для определения токов и напряжений на участке цепи применяем закон Ома для участка цепи, а не для замкнутой цепи

## Задачи 7-8

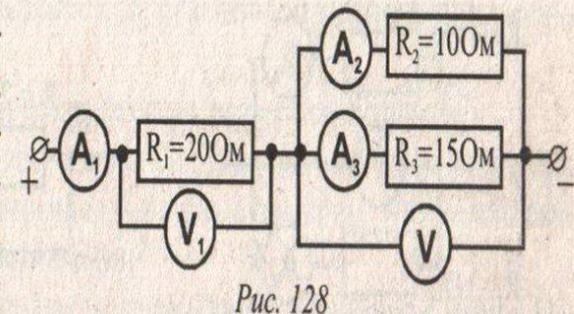
### Задача №7

- Используя схему электрической цепи, определите общее напряжение на всём участке, если амперметр показывает 5А, а  $R_1=2\text{ Ом}$ ,  $R_2=3\text{ Ом}$ ,  $R_3=6\text{ Ом}$ ,  $R_4=5\text{ Ом}$



### Задача №8

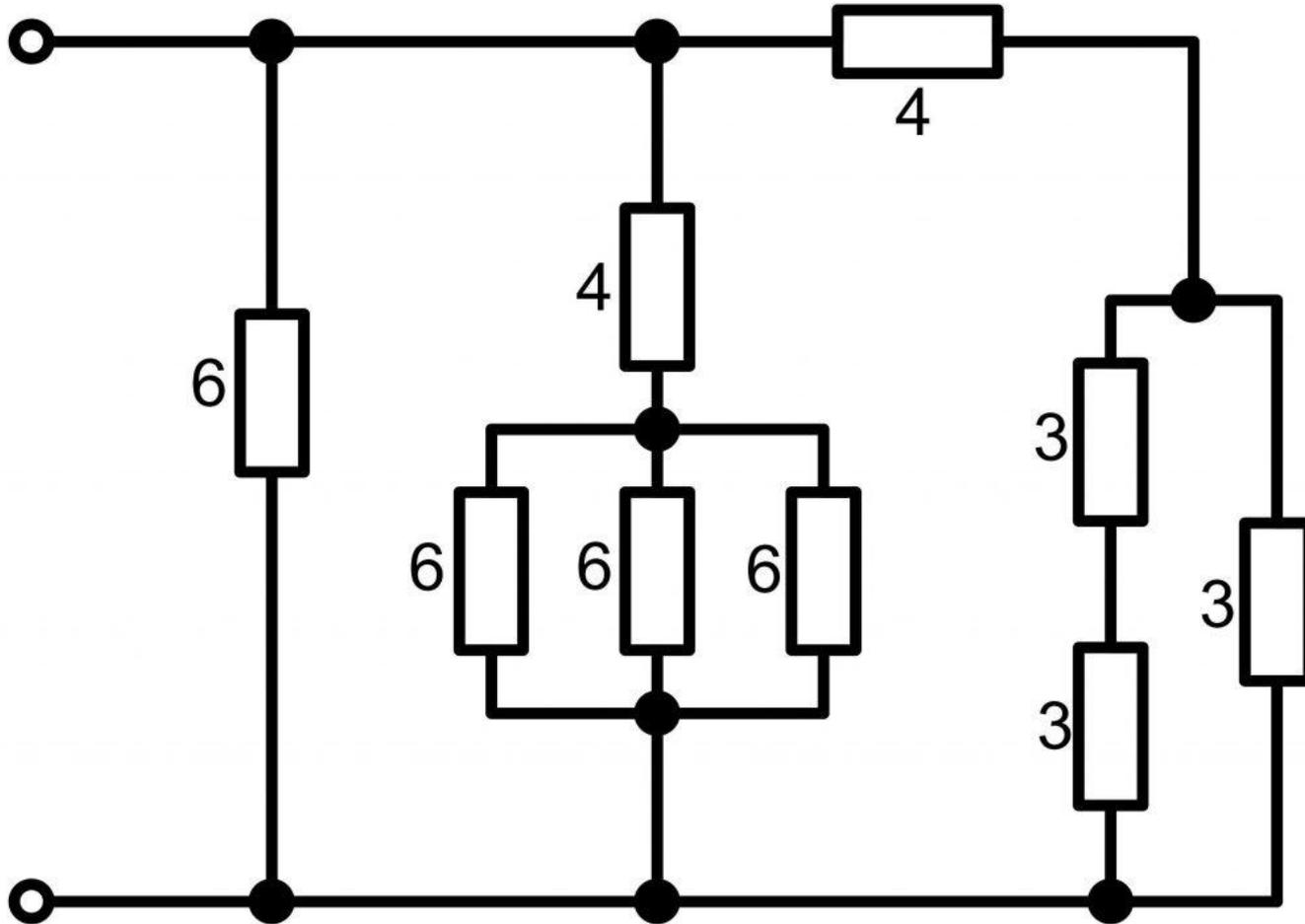
Участок электрической цепи состоит из трех сопротивлений:  $R_1 = 20\text{ Ом}$ ,  $R_2 = 10\text{ Ом}$ ,  $R_3 = 15\text{ Ом}$  (см. рис. 128). Определите показания вольтметров  $V_1$  и  $V_2$  и амперметров  $A_1$  и  $A_2$ , если амперметр  $A_3$  показывает силу тока 2 А.



Для решения таких задач надо хорошо знать свойства параллельного соединения и последовательного соединения сопротивлений и закон Ома для участка цепи (см. слайды 16-18).

## Задача 9

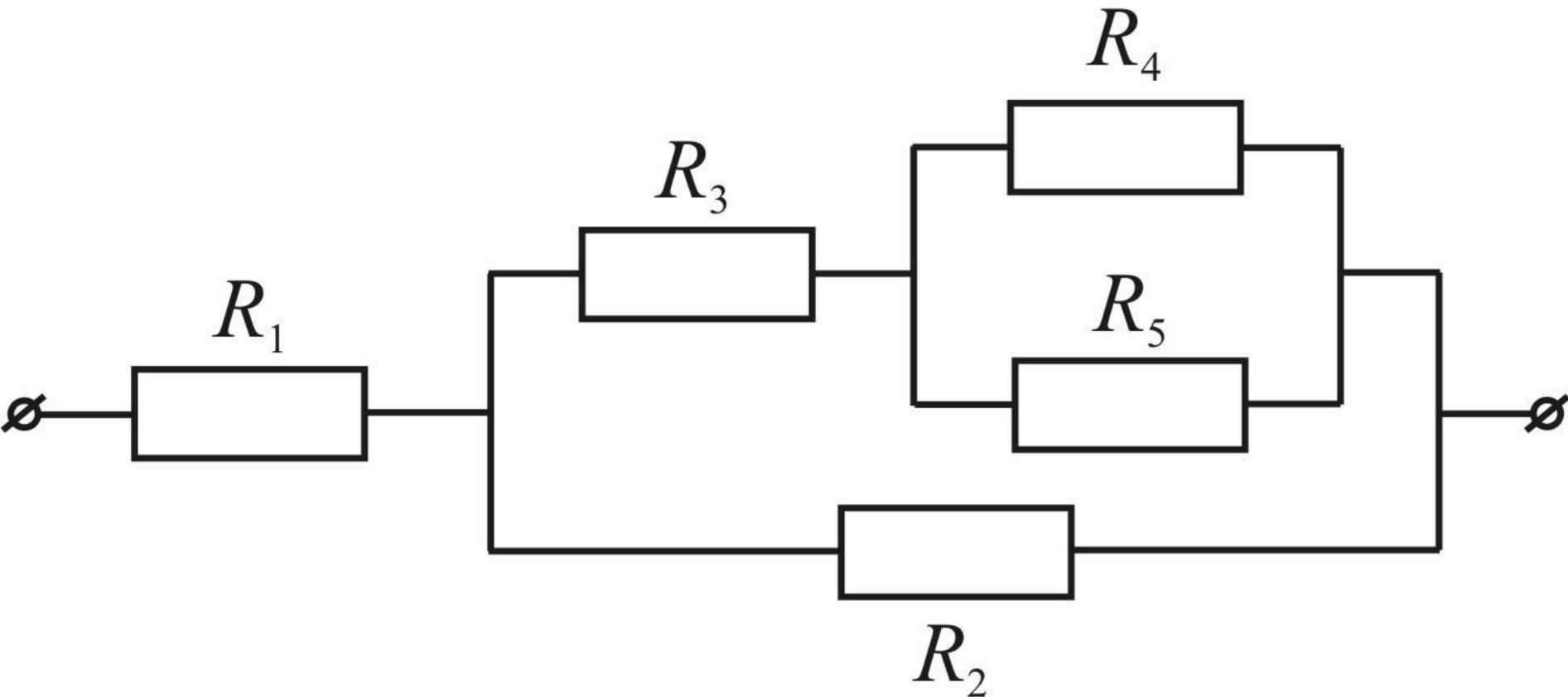
(определите общее сопротивление цепи)



Ответ:  $R_{\text{общ}} = 2 \text{ Ом}$ .

## Задача 10

(определите общее сопротивление цепи)

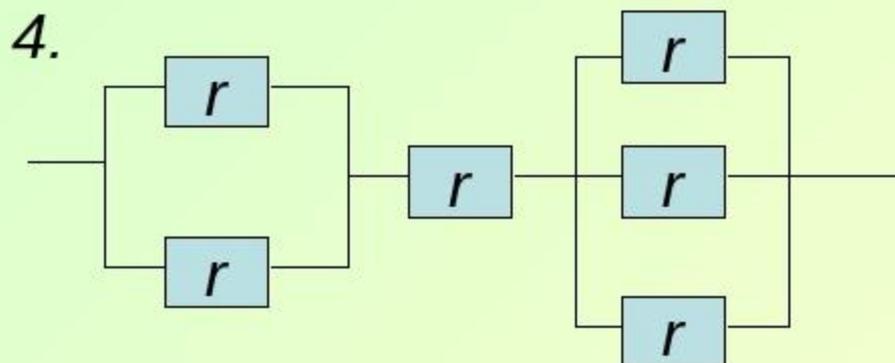
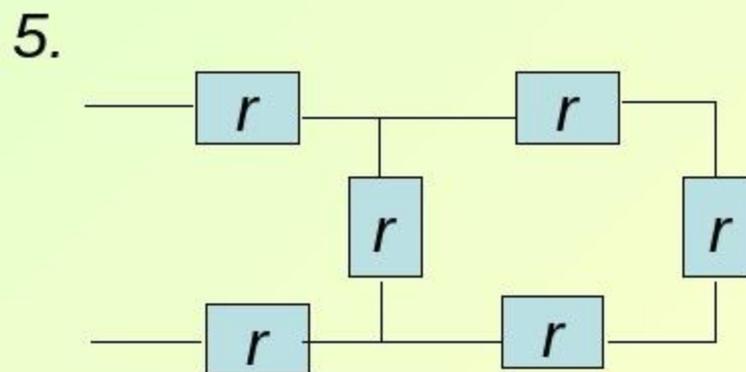
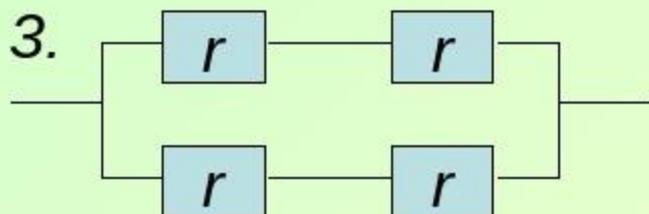
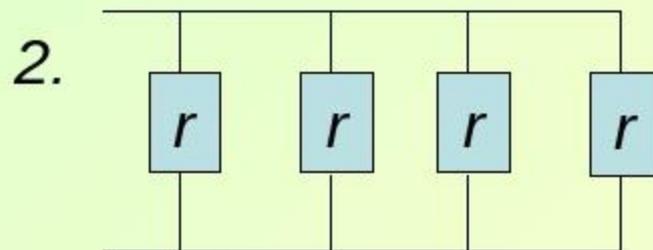
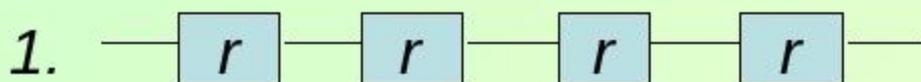


Дано:  $R_1=3$  Ом,  $R_2=8$  Ом,  $R_3=3$  Ом,  $R_4=R_5=10$  Ом.

Ответ:  $R_{\text{общ}}=7$  Ом.

# Смешанное соединение проводников

Определите сопротивление участка цепи



Все,  
кто работали  
на занятии, -  
молодцы!

