

Нижегородский физико-математический

Лицей № 40

Кафедра физики

МЕТОДИЧЕСКИЕ

РЕКОМЕНДАЦИИ

И

СБОРНИК ЗАДАЧ

ПО ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ

ТОКИ

ДЛЯ УЧАЩИХСЯ 8-Х и 10-Х

КЛАССОВ

Автор: А.В.Беликович

Нижний Новгород, 2024

Глава 2. Токи.

§1 Электрический ток. Действие электрического тока

Электрический ток—это упорядоченное движение электрических зарядов.

Условия существования электрического тока:

- наличие свободных зарядов;
- электрическое поле.

Действия электрического тока:

- тепловое (рис.1)
- магнитное (рис. 2)
- химическое (рис. 3)

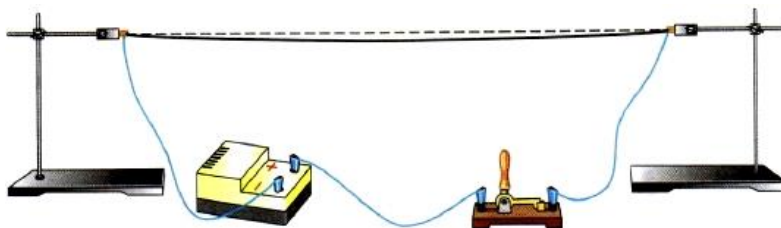


Рис. 1

Тепловое действие тока.

При нагревании провод провисает.

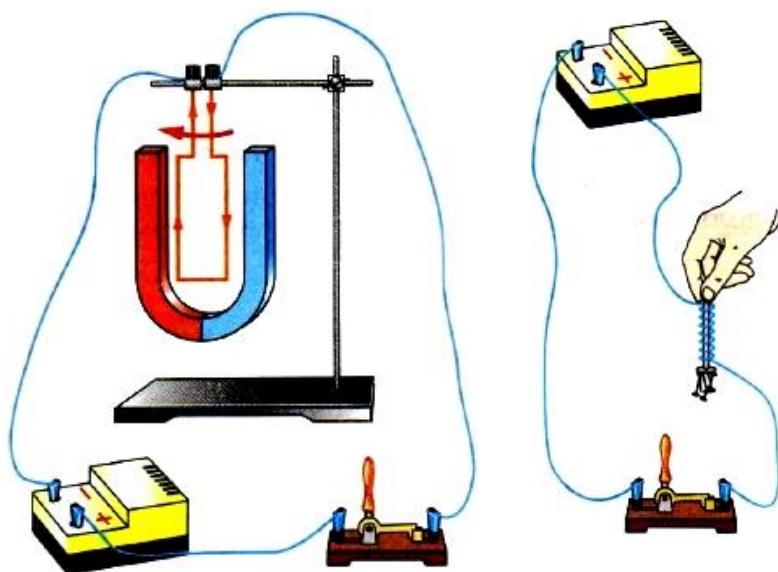


Рис. 2. Магнитное действие тока. Любой виток провода с током действует как магнит.

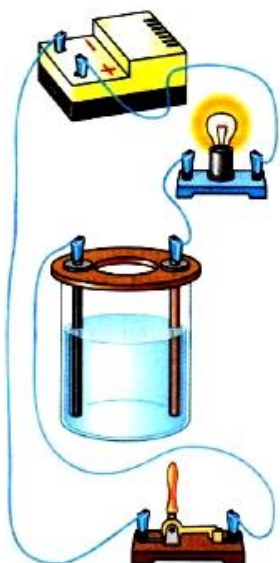


Рис.3
Химическое действие тока. При прохождении электрического тока через раствор купороса CuSO_4 на отрицательном электроде будут оседать молекулы меди.

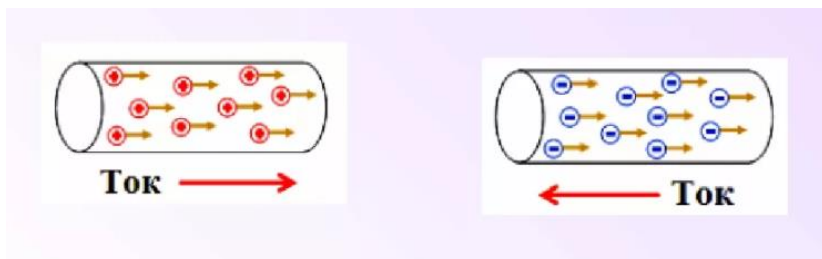


Рис. 4 Положительные заряды бегут по направлению тока, отрицательные—против.

За направление электрического тока принимают направление движения положительных зарядов или направление противоположное движению отрицательных зарядов (рис. 4).

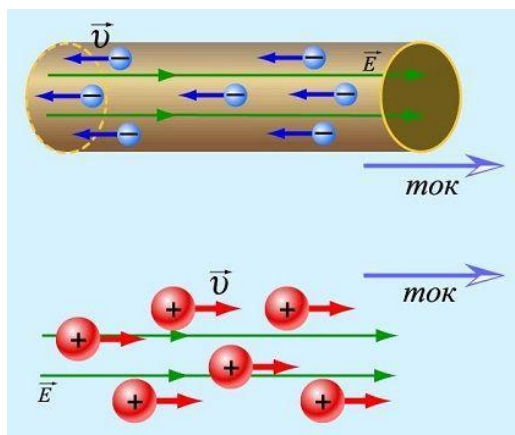


Рис. 5.

В металлических проводниках свободными зарядами являются электроны и ток направлен против их движения. Положительные заряды есть в растворах, расплавах и ионизированных газах, они движутся по току.

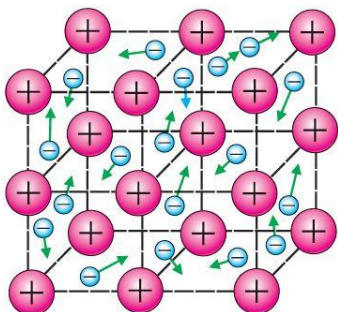


Рис. 6 .
Тепловое движение свободных электронов

Атомы в металлах упакованы в кристаллическую решётку и могут колебаться относительно её узла и не могут перемещаться по кристаллу. Атомы металлов не очень сильно удерживают электроны на внешней орбите, поэтому один из электронов внешней орбиты отрывается и становится свободным. Атомы превращаются в положительные ионы, а оторвавшиеся электроны свободно летают между ними. Скорость таких электронов при комнатной температуре ($\pm 50^\circ$) очень высока, примерно 100 км/с. Такое движение электронов называется **тепловым**, оно хаотично, непрерывно и не имеет выделенного направления, поэтому электронное облако стоит на месте. Но стоит возникнуть внешнему электрическому **стационарному** полю, на каждый электрон будет действовать сила, направленная против силовых линий этого поля (заряд электрона отрицательный). Тепловое движение сохранится, теперь на него наложится упорядоченное движение, вызванное внешним полем. Электронное облако будет медленно дрейфовать со скоростью около 0,1 мм/с.

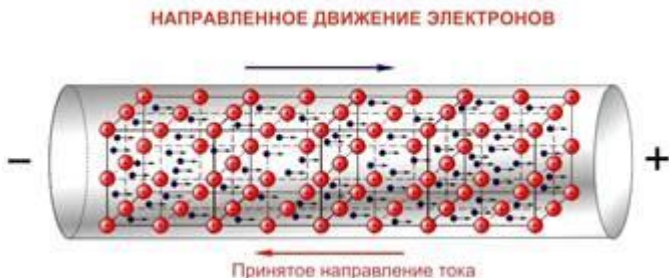


Рис. 7. Направленное движение дрейфа электронов

Обратите внимание!!! Не все электроны покидают свои атомы. От каждого уходит только один электрон. Эти свободные электроны создают направленным дрейфом электрический ток. Скорость дрейфа очень мала, около $0,1 \text{ мм/с}$. Быстро распространяется электрическое поле в проводнике, со скоростью 300000 км/с . Именно оно почти одновременно заставляет двигаться электроны во всём проводнике. Если замкнуть цепь во Владивостоке, то лампочка загорится в Москве через $0,02 \text{ с}$. Время определяется скоростью распространения поля, а не скоростью электронов.



Рис. 8. Движение электронов, создающее ток.



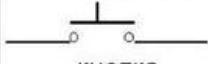

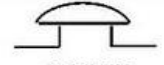
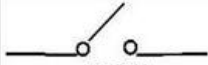
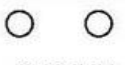


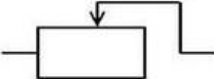
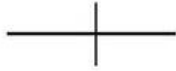
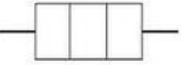
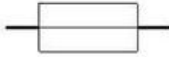
Электрическое стационарное поле в проводника создаёт **источник тока**.

Источники тока, потребители, замыкающие устройства (выключатели), соединенные между собой проводами составляют простейшую электрическую цепь.

В электрической цепи будет течь ток, если она состоит из проводников, замкнута и содержит источник тока.

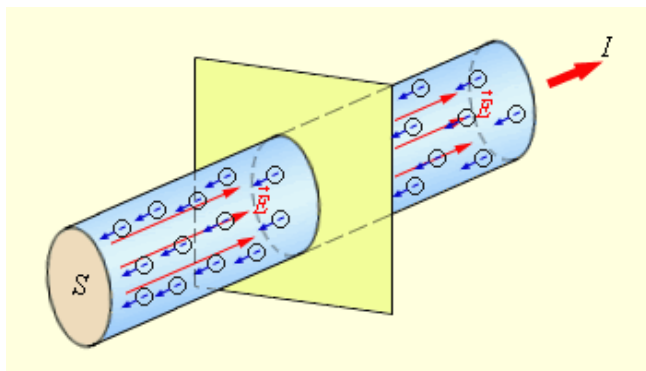
При **обрыве цепи** на её концах быстро накапливаются заряды, поле которых нейтрализует поле источника, и электрический ток прекращается.

Условные обозначения элементов электрической цепи

источники тока	потребители	управляющие элементы	провода
 гальванический элемент	 лампочка	 кнопка	 соединение проводов
	 звонок	 ключ	 клеммы
 батарея элементов	 резистор	 реостат	 пересечение проводов
	 нагревательный элемент	 предохранитель	

§2 Сила тока.

Сила тока—скалярная физическая величина, равная отношению заряда, проходящего через поперечное сечение проводника, ко времени прохождения (измеряется в амперах).



$$I = \frac{q}{t}, \text{ где}$$

I —сила тока (А)
 q —заряд (Кл)
 t —время (с)

Рис.9. Поток электронов через поперечное сечение проводника.

Единицу измерения силы тока выбрали экспериментально. В основе лежала способность двух параллельных токов взаимодействовать с силами, зависящими от силы тока, расстояния между ними и длины взаимодействующих участков.

1 ампер—сила тока в параллельных бесконечных тонких проводниках, находящихся на расстоянии 1м и взаимодействующих с силой $2 \cdot 10^{-7}$ Н на каждый 1 метр своей длины.

$$[I] = \text{А} = \frac{\text{Кл}}{\text{с}}$$

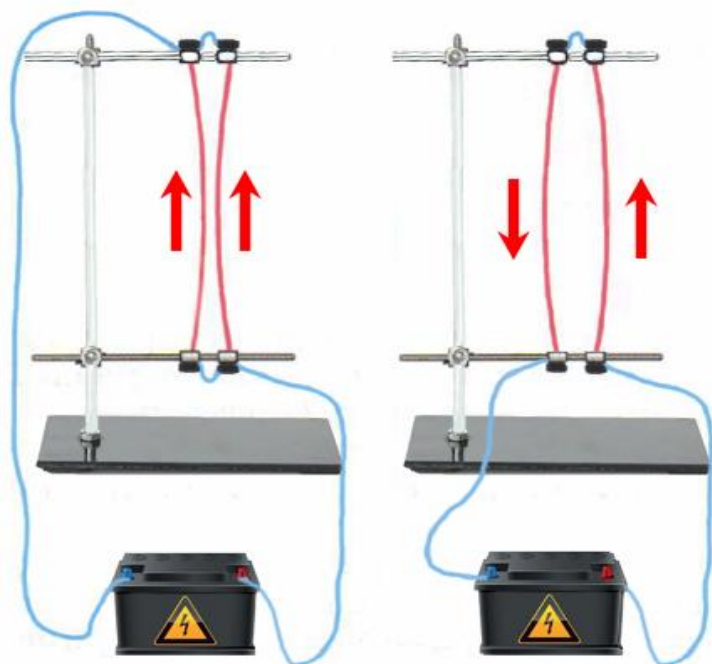


Рис.10. Магнитное взаимодействие двух параллельных проводников. Проводники притягиваются, если токи сонаправлены и отталкиваются, если противоположно направлены.

Обратите внимание!!! Постоянный электрический ток — это непрерывный поток заряженных частиц, которые нигде не накапливаются. Если сравнить с потоком воды в трубах, то сколько за секунду в один конец вливается, столько из другого конца за секунду выливается.

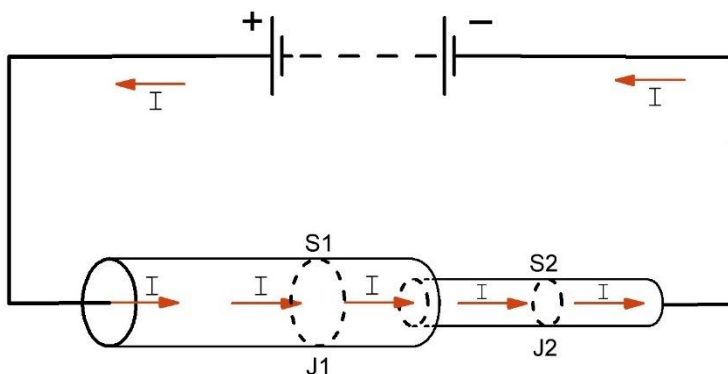


Рис. 11. Сила тока, текущего через сечения S_1 и S_2 не меняется, меняется только плотность тока J_1 и J_2 ($J_1 < J_2$).

Плотность тока — векторная физическая величина, характеризующая плотность потока электрического заряда в рассматриваемой точке, численно равная отношению силы тока в проводнике к площади его поперечного сечения. Направлена вдоль скорости положительных частиц или против скорости отрицательных.

$$J = \frac{I}{S} \text{ — плотность тока } \left(\frac{\text{А}}{\text{м}^2} \right),$$

I — сила тока (А),

S — площадь поперечного сечения проводника (м^2)

Существует формула для плотности тока в металлах, она учитывает направление вектора:

$$\vec{J} = -e \cdot n \cdot \vec{v}, \text{ где } -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл. — заряд электрона (Кл);}$$

n —концентрация свободных электронов в металле (м^{-3})

\vec{v} —скорость упорядоченного движения электронов (м/с).

Обратите внимание!!! Плотность тока в металле противоположна скорости упорядоченного движения, так как заряд электрона отрицателен.

Задачи для самостоятельного решения на силу тока

Задача 2.1. Найти скорость упорядоченного движения электронов в медном проводнике диаметром 1мм при силе тока 10 А.

Задача 2.2. Через поперечное сечение провода проходит в одном случае электрический заряд q за 1 с, а в другом- заряда $10q$ за 1 мин. В каком случае сила тока в проводе больше и во сколько раз?

Задача 2.3. Определить силу тока, если за 0,4 с через проводник прошло $6 \cdot 10^{18}$ электронов.

Задача 2.4. Сила тока в проводнике $I = 10$ А. Какова масса электронов, проходящих через поперечное сечение

этого проводника за время $t = 1$ ч?

Задача 2.5. Наибольшее количество электричества, которое можно получить от аккумулятора при его разрядке, называется емкостью аккумулятора. Емкость аккумулятора выражают обычно не в кулонах, а в ампер- час ($1 \text{ А} \cdot \text{ч}$)-это такое количество электричества, которое проходит через проводник за 1 ч при силе тока 1 А. а) Скольким кулонам равен $1 \text{ А} \cdot \text{ч}$? б) Какой величины заряд (в кулонах) отдает при разрядке аккумуляторная батарея емкостью $40 \text{ А} \cdot \text{ч}$?

Задача 2.6. Ток в проводнике нарастает по закону $I=at+b$, где $a=0,3 \text{ А/с}$, $b=2,5 \text{ А}$. Построить график зависимости силы тока от времени и найти заряд, который пройдет по проводнику за 1 мин.

§3. Электрическое поле в проводнике с током.

Источник тока создаёт на своих клеммах область избыточной плотности положительных и отрицательных зарядов. Часть зарядов уходит и источник постоянно восполняет эти потери. Заряды при протекании тока непрерывно перемещаются, но распределение их остается неизменным. Поэтому стационарное поле, подобно электростатическому, является **потенциальным**.

Стационарным называется электрическое поле, существующее в проводнике с током и обуславливающее перенос энергии в цепях постоянного тока.

Источник поддерживает в цепи стационарное электрическое поле, которое заставляет свободные заряды упорядоченно двигаться

Сила тока всегда одинакова на всех участках цепи, включённых последовательно. Во всех сечениях однородного цилиндрического будет одинакова плотность тока, а следовательно скорость упорядоченного движения электронов. Но скорость зависит от силы, действующей на них, т. е. от напряжённости электрического поля внутри проводника. Значит, напряжённость поля во всех сечениях такого проводника должна быть одинаковой по модулю и не меняться при изгибе. Внутри любого проводника постоянного сечения и удельного сопротивления поле будет **однородным**.

При переходе в проводник другой проводимости и поперечного сечения поле изменит величину напряжённости, но сохранит однородность.

$$\mathbf{E} = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{L} = \frac{U}{L}, \quad \text{где}$$

\mathbf{E} —модуль напряжённости,

φ_1 и φ_2 — потенциалы в начале и конце проводника по направлению тока,

U — напряжение на концах проводника,

L — длина проводника.

Линии напряженности электрического поля на протяжении всего проводника параллельны оси проводника. Они не могут пронизывать поверхность проводника и при любой форме проводника повторяют его изгибы.

При замыкании цепи возникает поле, похожее на поле точечного заряда. Под его воздействием часть электронов будет двигаться вдоль оси проводника, а другая часть достигнет поверхности проводника и скопится на ней, образуя поверхностный заряд. Плотность поверхностного заряда постепенно уменьшается по мере удаления от источника тока. Именно этот поверхностный заряд создает электрическое поле, существующее внутри и вне проводника, на всем его протяжении. В области изгиба поверхностный заряд формируется так, чтобы поле в проводнике повторяло форму проводника.

За пределами проводника электрическое поле существует, но очень слабое. Большая его часть сосредоточена внутри проводника.

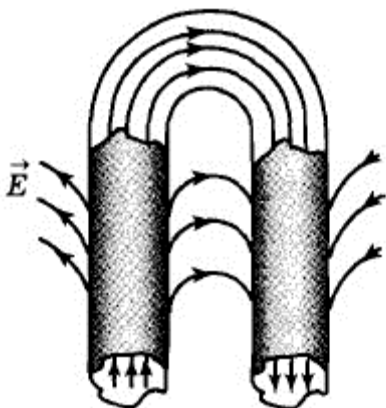


Рис .12 .Стационарное электрическое поле внутри и вне проводника.

Обратите внимание!!! За пределами проводника поле очень слабое и его линии начинаются и заканчиваются на поверхности проводника. Внутри проводника с током поле считается однородным.

§4. Напряжение.

Напряжение на участке цепи—скалярная физическая величина, равная отношению работы электрического поля и сторонних сил по перемещению точечного положительного заряда по участку цепи к величине этого заряда (измеряется в вольтах).

$$U = \frac{A}{q}, \text{ где } U \text{—напряжение (В)}$$

A —работа (Дж)

Сторонние силы—силы, действующие на заряды внутри источника, не являющиеся электростационарными силами или силами сопротивления. Они имеют магнитное, химическое, механическое и т.п. происхождение.

На поддержание электрического поля тратится энергия источника тока. Работа электрического поля по перемещению заряда равна разности потенциальных энергий взаимодействия заряда и поля в начале и конце участка цепи.

$A = W_1 - W_2$, где W —потенциальная энергия взаимодействия элетрического поля и заряда (измеряется в джоулях)

Ток течёт от положительного полюса источника (области высокого потенциала) к отрицательному (с низким потенциалом).

Если участок цепи не содержит источника, то напряжение равно отношению работы электрического поля по перемещению заряда вдоль участка цепи к величине этого заряда.

Напряжение на участке цепи, не содержащем источник,—это разность потенциалов на концах участка.

$$U = \varphi_1 - \varphi_2,$$

где φ —потенциал (В)

Оба определения напряжения справедливы, т.к.

$$U = \frac{A}{q} = \frac{W_1 - W_2}{q} = \frac{W_1}{q} - \frac{W_2}{q} = \varphi_1 - \varphi_2$$

$$[U] = V = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \frac{\text{Дж}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{А} \cdot \text{с}^3}$$

Задачи для самостоятельного решения на напряжение.

Задача 2.7. При перемещении 12 Кл по обмотке реостата совершена работа 720 Дж. Как велико напряжение на реостате?

Задача 2.8. При прохождении одинакового количества электричества в одном проводнике совершена работа 80 Дж, а в другом 200 Дж. На каком проводнике напряжение больше и во сколько раз?

§5. Сопротивление.

Сопротивление—скалярная физическая величина, характеризующая свойство проводника препятствовать прохождению электрического, зависящая от состава и геометрических размеров проводника, определяющая зависимость силы тока от напряжения на концах проводника (измеряется в омах).

Сопротивление металлического проводника возникает из-за рассеивания потока электронов на дефектах и нарушениях кристаллической решётки. Чем выше температура, тем больше нарушений в решётке, тем больше сопротивление.

Силы, действующие на свободные заряды и препятствующие их упорядоченному движению называют **диссипативными**. Работа этих сил отрицательна и равна по модулю количеству выделившегося тепла (закон Джоуля-Ленца).

Для однородного цилиндрического проводника длиной l и площадью S , сопротивление R равно:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

где R —сопротивление (Ом)

ρ —удельное сопротивление проводника (определяется по таблице) (Ом м)

l —длина проводника (м)

S —площадь поперечного сечения проводника (м^2).

$$[R]=\text{Ом}=\frac{В}{А}=\frac{\text{Дж}}{\text{Кл}\cdot\text{А}}=\frac{\text{Дж}}{\text{А}^2\cdot\text{с}}=\frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{А}^2\cdot\text{с}}=\frac{\text{кг}\cdot\text{м}^2}{\text{А}^2\cdot\text{с}^3}$$

$$[\rho]=\text{Ом}\cdot\text{м} \text{ (система СИ) или } [\rho]=\frac{\text{Ом}\cdot\text{мм}^2}{\text{м}} \text{ (система внесистемных единиц)}$$

Удельное сопротивление- это сопротивление цилиндрического однородного проводника, изготовленного

из данного материала и имеющего единичную длину и единичную площадь поперечного сечения.

Сверхпроводимость - явление отсутствия (равенства нулю) сопротивления постоянному току некоторых материалов при низкой температуре.

При температуре жидкого водорода (-253°C и ниже) электроны некоторых металлов (ртути, свинца, ниобия и др.) объединяются в пары и не взаимодействуют с кристаллической решёткой. При более высокой температуре тепловое движение электронов разрушает пары и взаимодействие возникает.

Задачи для самостоятельного решения на сопротивление проводников.

Задача 2.9. Из двух отрезков проволоки первый в 8 раз длиннее, но второй имеет вдвое большую площадь поперечного сечения. Как велико отношение сопротивлений этих отрезков?

Задача 2.10. Сопротивление проводника сечением 4 мм^2 равно 40 Ом . Какое сечение должен иметь проводник той же длины и из такого же материала, чтобы его сопротивление было равно 100 Ом ?

Задача 2.11. Отрезок провода разрезали по середине и половинки свили вместе. Как изменилось сопротивление проводника?

Задача 2.12. Проволоку, имеющую по всей длине одинаковое сечение, разрезали на 5 равных частей, которые связали затем в плотный пучок. Сопротивление пучка оказалось равным 1 Ом. Как велико было сопротивление проволоки?

Задача 2.13. Вычислите сопротивление медного провода длиной 1 км, если его поперечное сечение 16 мм^2 .

Задача 2.14. Алюминиевая и медная проволоки имеют равные массы и одинаковые, площади поперечного сечения. Какая из проволок имеет большее сопротивление ρ во сколько раз?

Задача 2.15. Имеются два однородных проводника, причем один из них в 8 раз длиннее другого, а второй имеет вдвое большую площадь поперечного сечения. Какой из проводников обладает большим сопротивлением и во сколько раз?

Задача 2.16. После протягивания проволоки через волоочильный станок длина ее увеличилась в три раза. Как изменилось сопротивление этой проволоки?

Задача 2.17. Найти отношение сопротивлений двух проводников — медного и алюминиевого одинакового веса и диаметра.

Задача 2.18. Какова масса медной проволоки длиной 2 км и сопротивлением 8,5 Ом?

Задача 2.19. Сколько метров провода сечением 10 мм надо взять, чтобы его сопротивление было такое же, как у проводника длиной 1 м и сечением $0,5 \text{ мм}^2$, изготовленного из того же материала?

Задача 2.20. Обмотка прибора состоит из 12000 витков медного провода диаметром 15 мкм. Как велико сопротивление обмотки, если диаметр витка равен в среднем 8,5 см.

§6. Источник тока. Сторонние силы. ЭДС. Идеальный и неидеальный источник тока.

Источник тока—это область, где действуют **сторонние силы**.

Если источник в цепи один источник, **сторонние силы** вызывают перемещение электрических зарядов внутри источника постоянного тока против направления действия сил **стационарного электрического** поля и сил диссипативных (сил сопротивления).

У источника тока (в пределах школьного курса) две основные характеристики: ЭДС и внутреннее сопротивление.

ЭДС (электродвижущая сила) — это скалярная физическая величина, равная отношению работы сторонних сил, по переносу заряда от одной клеммы источника до другой, к величине этого заряда.

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{стор}}}{q} \text{ — электродвижущая сила (ЭДС)}$$

(В)

$A_{\text{стор}}$ — работа сторонних сил (Дж)

q — заряд (Кл)

Внутреннее сопротивление источника возникает из-за того, что любой источник тока является проводником, следовательно взаимодействует с потоком электронов и тормозит его.

Батарею источников можно заменить одним, с суммарной ЭДС, если они соединены последовательно, как на рисунке

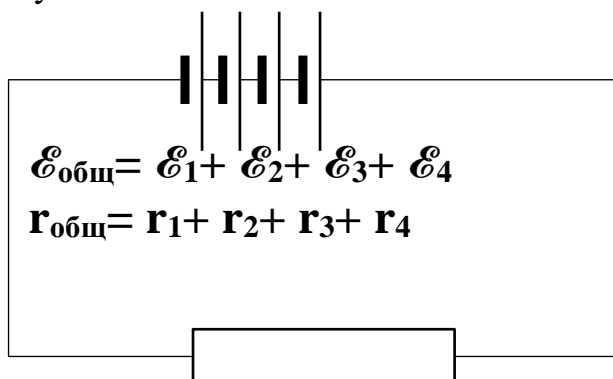


Рис. 13.
Батарея, работающая как единый источник.

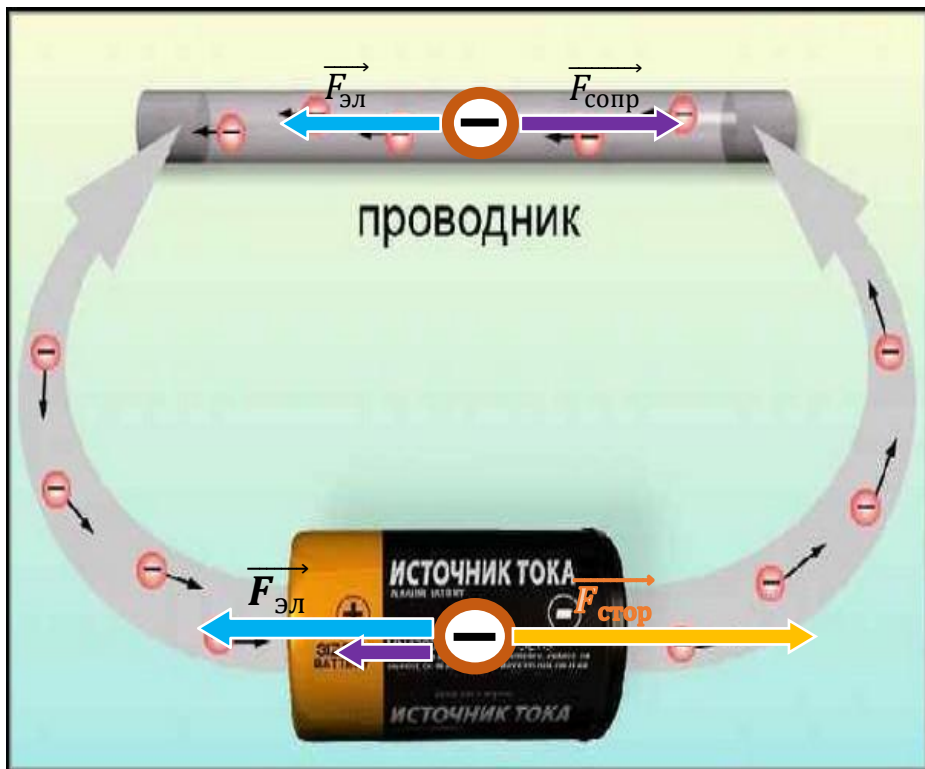


Рис. 14. Направление действия сторонних, электрических и диссипативных на заряды в источнике тока и проводнике-нагрузке.

Заряды в однородном проводнике и источнике движутся без ускорения, следовательно сумма сил, действующая на каждый заряд равна нулю. Следовательно в источнике сторонние силы компенсируют диссипативные и электрические.

Если источник не включён в цепь и через него не идёт ток, то заряды упорядоченно не движутся и диссипативных сил нет. Электрические силы равны сторонним по

величине, равны по модулю и работы этих сил. **Напряжение на неподключённом источнике равно ЭДС.**

$$\left. \begin{aligned} \mathcal{E} &= \frac{A_{\text{стор.}}}{q}, \quad |A_{\text{эл.}}| = A_{\text{стор.}} \\ U &= |\varphi_1 - \varphi_2| = \frac{|A_{\text{эл.}}|}{q} \end{aligned} \right\} \mathcal{E} = U$$

При решении задач считается, что величины ЭДС и внутреннего сопротивления источника не меняются.

Идеальным источником тока считается источник с внутренним сопротивлением равным нулю. **Напряжение на идеальном источнике всегда равно его ЭДС.**

§7. Закон Ома .

§7.1 Закон Ома для однородного участка цепи (без источника тока).

Сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению на его концах и обратно пропорциональна его сопротивлению.

$$I = \frac{U}{R}, \quad \text{где } R \text{—сопротивление (Ом),}$$

$$I \text{—сила тока (А)}$$

$$U \text{—напряжение (В)}$$

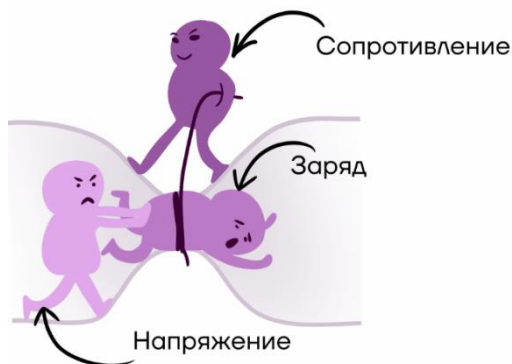


График зависимости силы тока от напряжения называется **вольт-амперной характеристикой** проводника.

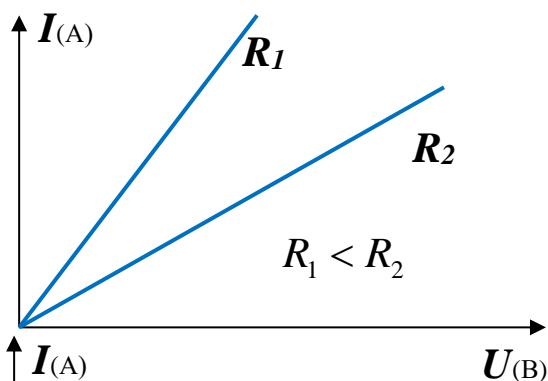


Рис.15 . Вольт-амперные характеристики двух металлических проводников.

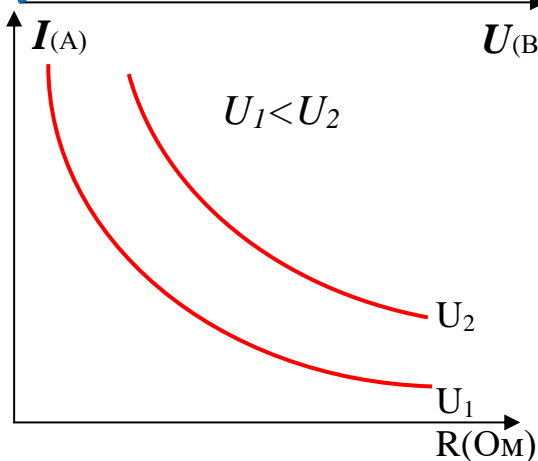


Рис. 16 График зависимости силы тока от сопротивления при двух значениях напряжения

§7.2 Закон Ома для неоднородного участка цепи.

Закон Ома для неоднородного участка цепи (участка, включающего источник тока):

Потенциал, откуда течет ток φ_1 , минус потенциал, куда течет ток, φ_2 плюс или минус ЭДС \mathcal{E} равно произведению силы тока I на все сопротивления, через которые он течет. Знак перед ЭДС берется плюс, если направление сторонней силы, действующей на положительный заряд, совпадает с направлением тока и минус, если наоборот.

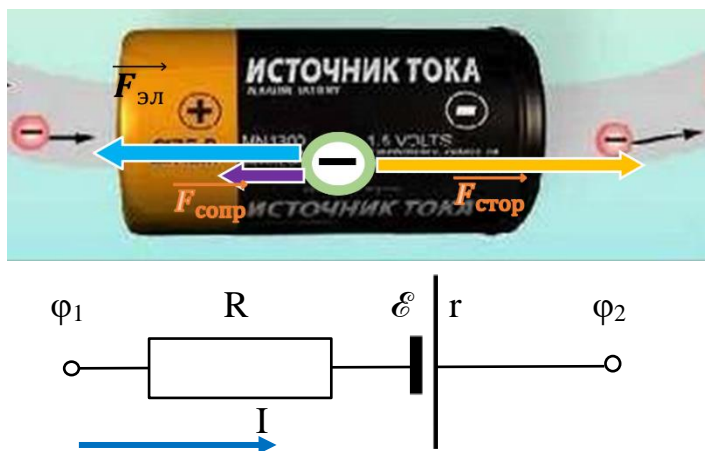


Рис 17. Сторонние силы сонаправлены с током. Работа сторонних сил положительна. Источник тратит свой запас энергии.

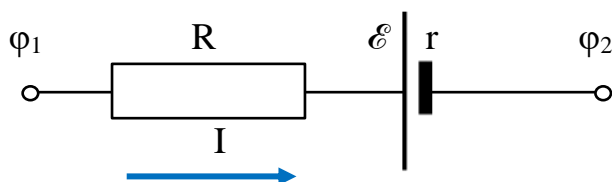
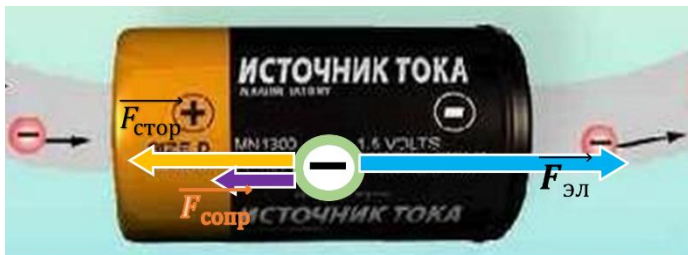
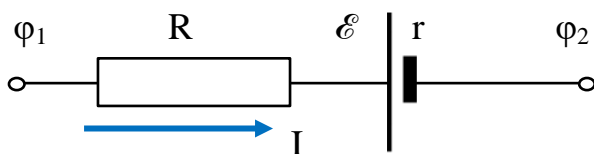
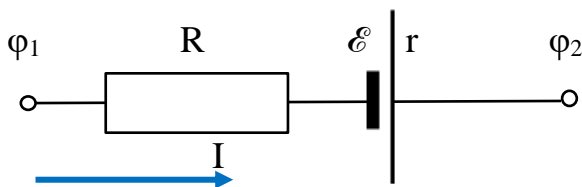


Рис 18 Сторонние силы противоположно направлены току. Работа сторонних сил отрицательна. Источник пополняет свой запас энергии, заряжается как аккумулятор за счёт энергии электрического поля



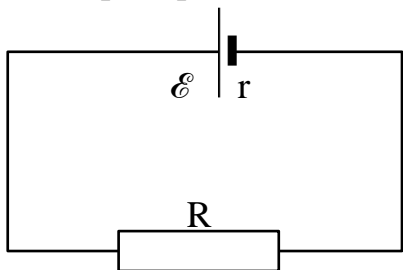
$$\varphi_1 - \varphi_2 - \varepsilon = I \cdot (R + r)$$



$$\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon = I \cdot (R + r)$$

§7.3. Закон Ома для полной цепи.

Сила тока полной цепи пропорциональна ЭДС и обратно пропорциональна полному сопротивлению цепи



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

где ε — ЭДС источника тока (В)

R — сопротивление внешней цепи (Ом)

r — внутреннее сопротивление источника тока (Ом)

I — сила тока (А)

Обратите внимание!!! Сопротивление внешней цепи часто называют **нагрузкой**.

Задачи для самостоятельного решения на ЭДС и закон Ома для полной цепи.

Задача 2.21. Для измерения ЭДС и внутреннего сопротивления источника тока собрали электрическую цепь, представленную на рисунке 19. При включении между точками A и B резистора сопротивлением $R_1 = 2$ Ом амперметр показал силу тока $I = 2$ А. При подключении $R_2 = 4$ Ом сила тока $I_2 = 1,2$

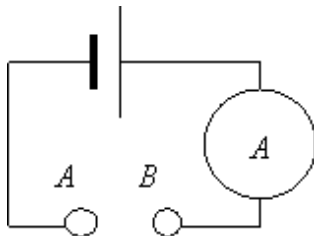


Рис.19.

А. Найти ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока.

Задача 2.22. Электрическая цепь, схема которой приведена на рисунке 20, состоит из пяти резисторов сопротивлением $R = 72 \text{ Ом}$ каждый, трех идеальных амперметров и источника постоянного тока с ЭДС $\mathcal{E} = 9,2 \text{ В}$. Если внутреннее сопротивление источника тока $r = 1,0 \text{ Ом}$, найти напряжение U_3 на резисторе R_3 , показания всех трёх амперметров.

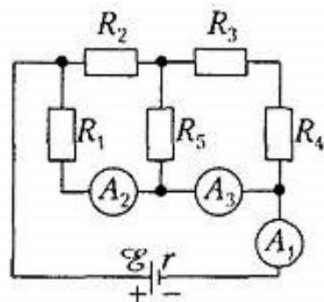


Рис.20.

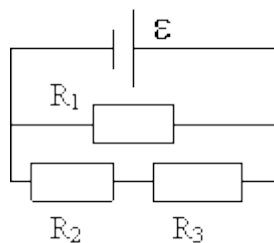


Рис.21.

Задача 2.23. Во сколько раз изменится сила тока в цепи (рис.21), если сопротивление R_3 заменить на конденсатор емкостью $C=10 \text{ мкФ}$? ЭДС источника равна 12 В , внутреннее сопротивление $0,5 \text{ Ом}$. Резисторы имеют сопротивления $R_1=2 \text{ Ом}$, $R_2=4 \text{ Ом}$, $R_3=2 \text{ Ом}$.

Задача 2.24. В цепь включён источник с ЭДС равной 4В и внутренним сопротивлением и сопротивлением

нагрузки, сила тока в цепи 1 А. На нагрузке выделяется мощность 1 Вт. Найти внутреннее сопротивление источника.

Задача 2.25. В электрической схеме, показанной на рисунке 22, ключ К замкнут. ЭДС батарейки $\mathcal{E} = 12$ В, ём-

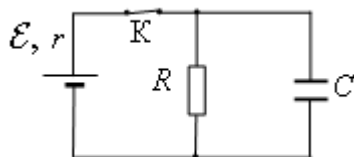


Рис.22.

кость конденсатора $C = 0,2$ мкФ. Отношение внутреннего сопротивления батарейки к сопротивлению резистора $k=r/R=0,2$.

Найдите количество теплоты, которое выделится на резисторе после размыкания ключа К в результате разряда конденсатора.

Задача 2.26. В схеме на рисунке 23 сопротивление резистора и полное сопротивление реостата равны R , ЭДС батарейки равна E , её внутреннее сопротивление ничтожно

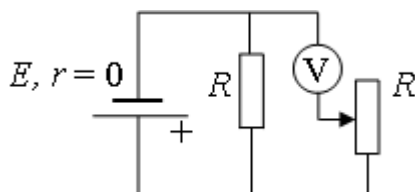


Рис.23.

($r = 0$). Как ведут себя (увеличиваются, уменьшаются, остаются постоянными) показания идеального вольтметра при перемещении движка реостата из крайнего верхнего в крайнее нижнее положение? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности Вы использовали для объяснения.

Задача 2.27. В цепи, изображённой на рисунке 24, ЭДС батареи равна 100 В, сопротивления резисторов $R_1=10$ Ом и $R_2=6$ Ом, а ёмкости конденсаторов $C_1=100$ мкФ и $C_2=60$ мкФ. В начальном состоянии

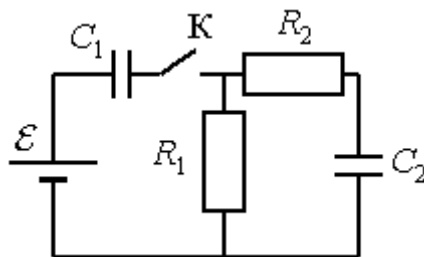


Рис.24.

ключ K разомкнут, а конденсаторы не заряжены. Через некоторое время после замыкания ключа в системе установится равновесие. Какое количество теплоты выделится в цепи к моменту установления равновесия?

Задача 2.28. В схеме, показанной на рисунке 25, ключ K долгое время находился в положении 1. В момент $t_0 = 0$ ключ перевели в положение 2. К моменту $t > 0$ на резисторе R выделилось количество теплоты $Q =$

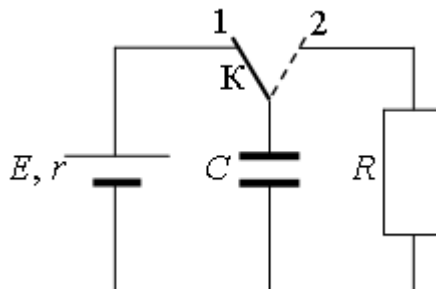


Рис.25.

25 мкДж. Сила тока в цепи в этот момент равна $I = 0,1$ мА. Чему равно сопротивление резистора R ? ЭДС батареи $E = 15$ В, её внутреннее сопротивление $r = 30$ Ом, ёмкость конденсатора $C = 0,4$ мкФ. Потерями на электромагнитное излучение пренебречь.

Задача 2.29. Электрическая цепь состоит из батареи с ЭДС ε и внутренним сопротивлением $r=0,5\text{Ом}$ и подключённого к ней резистора нагрузки с сопротивлением R . При изменении сопротивления нагрузки изменяется сила тока в цепи и мощность в нагрузке. На рисунке 26 представлен график изменения мощности, выделяющейся на нагрузке, в зависимости от силы тока в цепи. Используя известные физические законы, объясните, почему данный график зависимости мощности от силы тока является параболой. Чему равно ЭДС батареи?

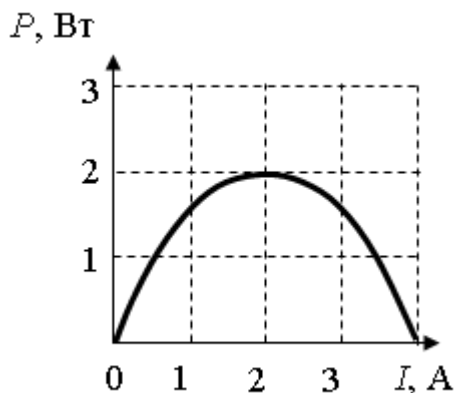


Рис.26.

Задача 2.30. Источник постоянного напряжения с ЭДС 100В подключён через резистор к конденсатору переменной ёмкости, расстояние между пластинами которого можно изменять (см. рисунок 27). Пластины медленно раздвинули. Какая работа была совершена против сил притяжения пластин, если за время движения пластин на резисторе выделилось

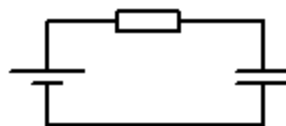


Рис.27.

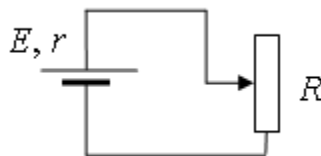


Рис.28 .

количество теплоты 10 мкДж и заряд конденсатора изменился на 1 мкКл ?

Задача 2.31. Реостат R подключен к источнику тока с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r (см. рисунки 28 и 28а). Зависимость силы тока в цепи от сопротивления реостата представлена на графике. Найдите сопротивление реостата, при котором мощность тока, выделяемая на внутреннем сопротивлении источника, равна 8 Вт .



Рис.28 а.

Задача 2.32. Вольтметр подключён к клеммам источника тока с ЭДС $\mathcal{E} = 3 \text{ В}$ и внутренним сопротивлением $r = 1 \text{ Ом}$, через который течёт ток $I = 2 \text{ А}$ (см. рисунок 29). Вольтметр показывает 5 В . Какое количество теплоты выделяется внутри источника за 1 с ?

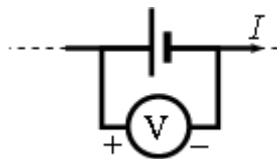


Рис.29.

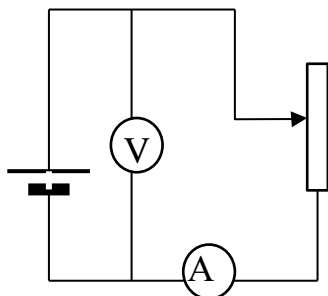


Рис.30.

Задача 2.33. Источник с постоянной ЭДС и внутренним сопротивлением подключён к реостату через идеальный амперметр (рис.30). Идеальный вольтметр подключили параллельно источнику. Как будут меняться показания амперметра и вольтметра, если движок реостата будет двигаться вверх

§7.4. Правила Кирхгофа

Правила Кирхгофа применяются для расчёта сложных разветвлённых схем с несколькими источниками.

Правило Кирхгофа №1:

Сумма токов, вытекающих в узел, равна сумме вытекающих. Узел—точка пересечения трёх и более соединительных проводов

Правило Кирхгофа №2:

Алгебраическая сумма ЭДС, вдоль выбранного обхода, равна алгебраической сумме произведений токов на сопротивления, через которые они текут. ЭДС берется с плюсом если направление обхода совпадет с направлением сторонней силы в источнике. Ток берется с плюсом если его направление совпадает с направлением обхода и с минусом если его направление противоположно. Обход —это выбранное (по часовой стрелке или против часовой) направление движения по любому замкнутому контуру на схеме.

Пример решения с использованием правил Кирхгофа.

Дана схема (рис.30), ЭДС всех источников тока, их сопротивления и сопротивления резисторов известны. Найти все токи, текущие

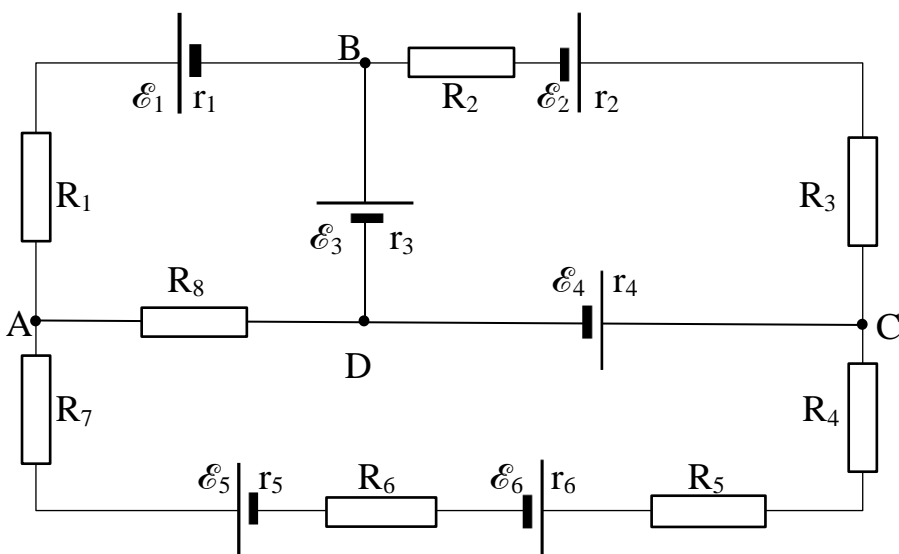


Рис.31.

Точки А,В,С и D называются узлами.

Произвольно выберем направления тока на участках между узлами.

Обратите внимание!!! Между узлами ток не меняет ни своего направления вдоль проводов, ни своего обозначения.

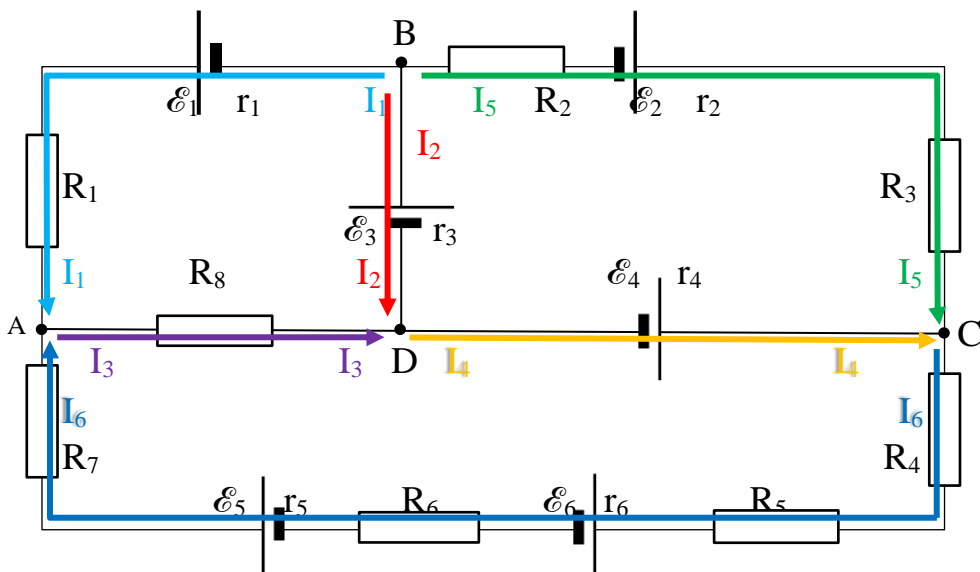


Рис.32

Для правила №1 запишем равенства для всех узлов, **кроме одного (любого)**.

$$\text{Узел A} \rightarrow I_1 + I_6 = I_3$$

Узел B $\rightarrow I_1 + I_2 + I_5 = 0$, здесь нет вытекающих токов (при вычислениях одно или два из значений токов будут отрицательными, значит в реальности они текут в направлениях противоположных выбранному)

$$\text{Узел C} \rightarrow I_4 + I_5 = I_6$$

Для узла D запишем уравнение $I_2 + I_3 = I_4$, его можно получить из равенств для узлов A, B и C. Возникает тавтология, поэтому один из узлов не используют.

Для правила №2 произвольно выберем обходы так, чтобы все участки цепи попали хотя бы в один обход. Число необходимых обходов равно числу «клеток» на схеме. «Клеткой» будем называть **минимальный** обход. На схеме три «клетки», обходы не обязательно совпадают с «клетками» (№1 и №3 совпадают, а №2 охватывает сразу три «клетки»).

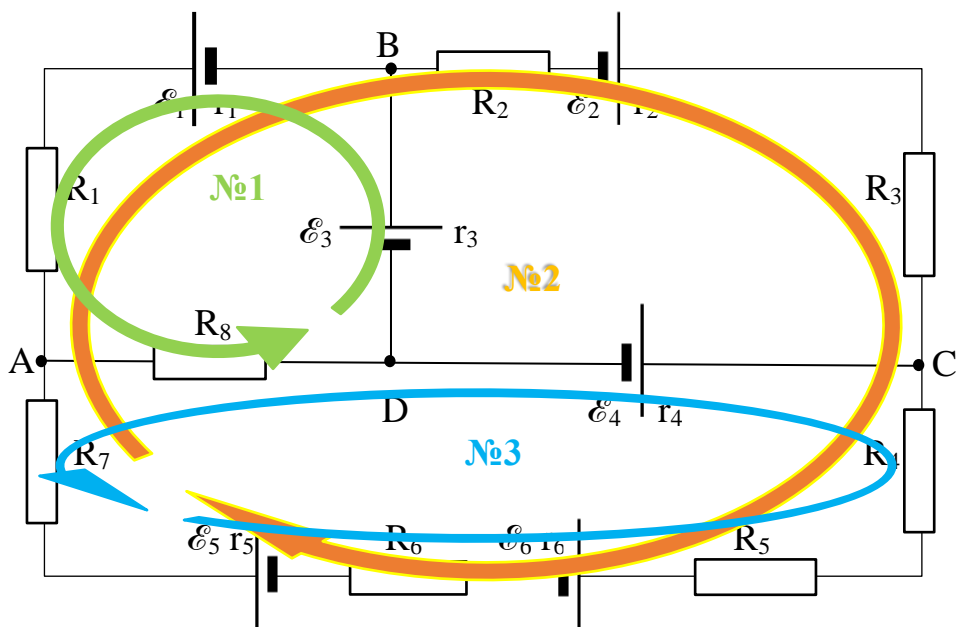


Рис 33

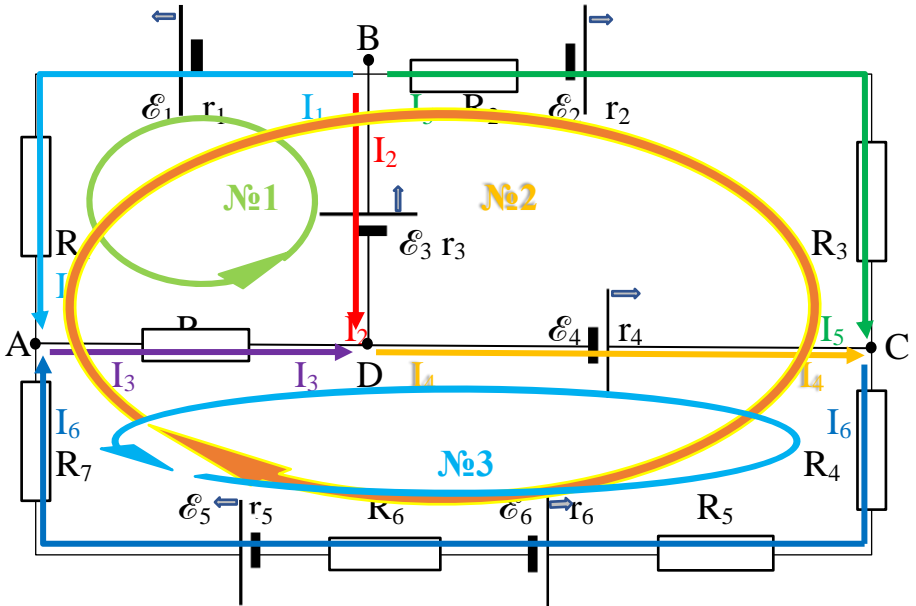


Рис.33а

Совместим обходы с выбранным направлением токов. У источников токов укажем направление действия сторонних сил (рис.33а)

$$\text{Для обхода } \mathbf{\text{№1}} \quad \varepsilon_3 + \varepsilon_1 = -I_2 \cdot r_3 + I_1 \cdot (r_1 + R_1) + I_3 \cdot R_8$$

$$\text{Для обхода } \mathbf{\text{№2}} \quad -\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_6 + \varepsilon_5 = -$$

$$I_1 \cdot (R_1 + r_1) + I_5 \cdot (R_2 + r_2 + R_3) + I_6 \cdot (R_4 + R_5 + r_6 + r_5 + R_7)$$

$$\text{Для обхода } \mathbf{\text{№3}} \quad -\varepsilon_5 + \varepsilon_6 = -I_6 \cdot (R_7 + r_5 + R_6 + r_6 + R_5 + R_4) - I_4 \cdot r_4 - I_3 \cdot R_8$$

Для шести неизвестных токов получено шесть уравнений (число уравнений равно числу неизвестных):

$$I_1 + I_6 = I_3$$

$$I_1 + I_2 + I_5 = 0$$

$$I_4 + I_5 = I_6$$

$$\mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_1 = -I_2 \cdot r_3 + I_1 \cdot (r_1 + R_1) + I_3 \cdot R_8$$

$$-\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_6 + \mathcal{E}_5 = -$$

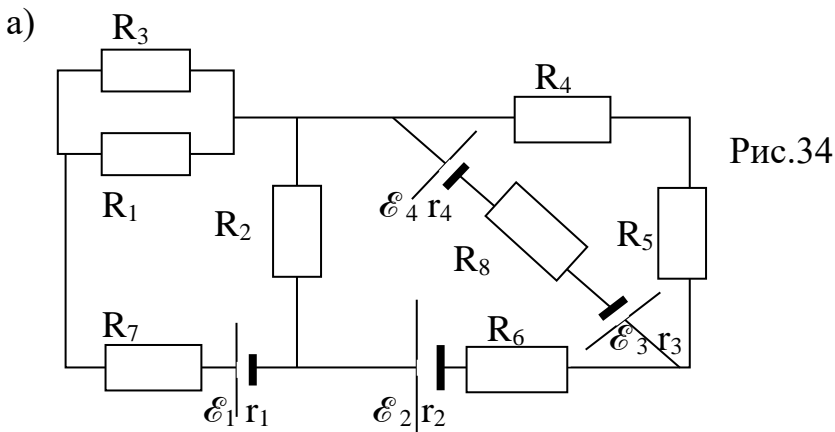
$$I_1 \cdot (R_1 + r_1) + I_5 \cdot (R_2 + r_2 + R_3) + I_6 \cdot (R_4 + R_5 + r_6 + r_5 + R_7)$$

$$-\mathcal{E}_5 + \mathcal{E}_6 = -I_6 \cdot (R_7 + r_5 + R_6 + r_6 + R_5 + R_4) - I_4 \cdot r_4 - I_3 \cdot R_8$$

Значения токов получают, решая систему уравнений.

Задачи для самостоятельного решения на правила Кирхгофа.

Задача 2.34. Составьте систему уравнений, необходимых для нахождения протекающих токов схемах (рис.34), (рис. 35), (рис. 36), (рис. 37). Наличие лишних уравнений считается ошибкой. Сопротивления всех резисторов и источников, ЭДС считаются известными.



б)

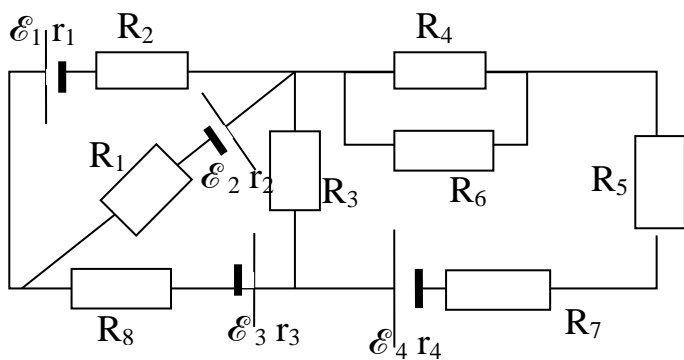


Рис.35

в)

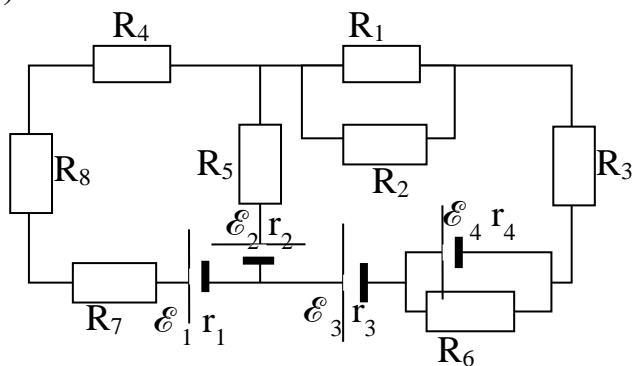


Рис.36

г)

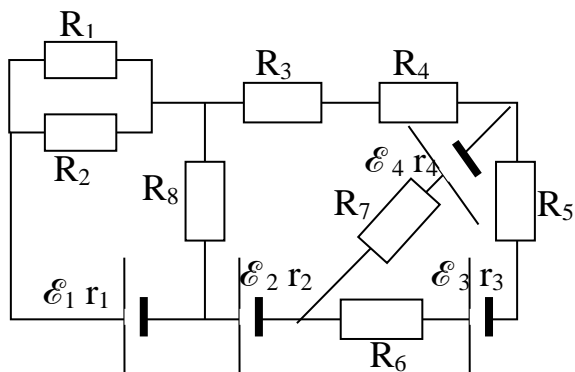


Рис.37

Задача 2.35. Найти ток, текущий через резистор (рис.38), значения ЭДС $\mathcal{E}_1 = 12 \text{ В}$ и $\mathcal{E}_2 = 18 \text{ В}$, внутренние сопротивления $r_1 = 1 \text{ Ом}$ и $r_2 = 0,5 \text{ Ом}$. Сопротивление резистора равно $R = 4 \text{ Ом}$.

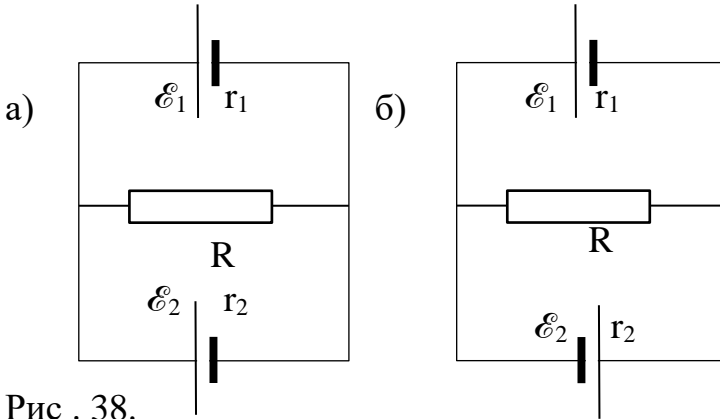


Рис . 38.

Задача 2.36. Определить разность потенциалов между точками А и В (рис.39). ЭДС источника $\mathcal{E}_1 = 1,0 \text{ В}$, $\mathcal{E}_2 = 1,3 \text{ В}$, внутреннее сопротивление $r_1 = 3,0 \text{ Ом}$, $r_2 = 5,0 \text{ Ом}$, внешнее сопротивление $R = 7,0 \text{ Ом}$.

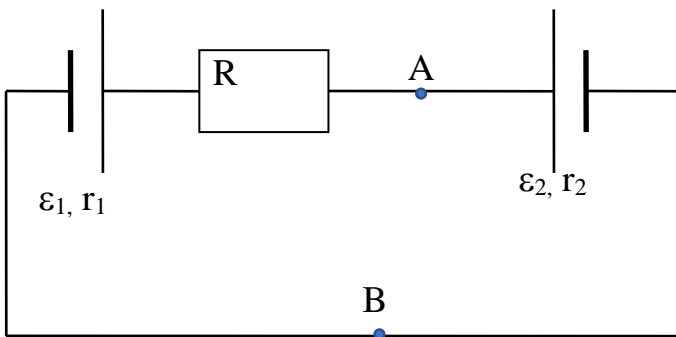
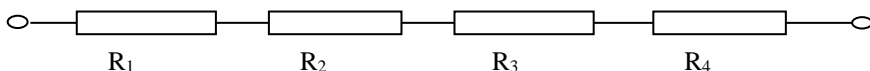


Рис.39.

§8. Последовательное соединение проводников.

Проводники соединены последовательно, если конец предыдущего проводника соединён только с началом последующего.



Поток свободных зарядов, входящий в проводник R_1 , не меняясь проходит через все проводники соединения.

При последовательном соединении сила тока во всех проводниках одинакова.

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = I_4$$

Напряжение на концах последовательного соединения равно сумме напряжений на каждом проводнике.

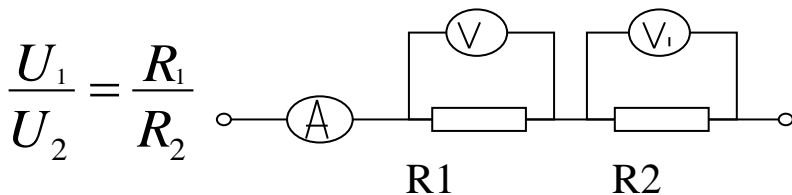
$$U = U_1 + U_2 + U_3 + U_4$$

Эквивалентным сопротивлением называют сопротивление проводника, которым можно заменить соединение проводников, чтобы токи и напряжения в остальной цепи не менялись.

Эквивалентное сопротивление последовательного соединения равно сумме сопротивлений каждого проводника.

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

Согласно закону Ома, напряжение на концах проводника прямо пропорционально его сопротивлению



Сопротивление n последовательно соединенных одинаковых проводников в n раз больше сопротивления одного проводника:

$$R_0 = n \cdot R$$

Задачи для самостоятельного решения на последовательное соединение проводников.

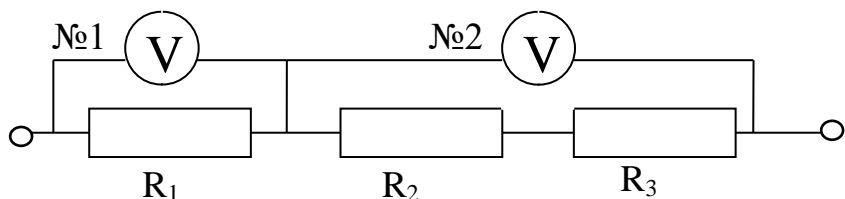


Рис.40.

Задача 2.37. На схеме (рис. 40.) резисторы имеют сопротивления $R_1=4\text{Ом}$, $R_2=1\text{Ом}$, $R_3=5\text{Ом}$, показания вольтметра №1—10В. Найти показания вольтметра №2 и ток в проводнике R_2 .

Задача 2.38. На схеме (рис. 40.) резисторы имеют сопротивления $R_1=4\text{Ом}$, $R_2=1\text{Ом}$, $R_3=5\text{Ом}$, показания вольтметра №2—10В. Найти показания вольтметра №1 и напряжение на концах всего участка.

Задача 2.39. На схеме (рис. 40.) резисторы имеют сопротивления $R_1=4\text{Ом}$, $R_3=5\text{Ом}$, показания вольтметра №1—10В. вольтметра №2—25В. Найти R_2 и напряжение на концах всего участка.

Задача 2.40. На схеме (рис. 40.) резисторы имеют сопротивления $R_1=12\text{Ом}$, $R_2=5\text{Ом}$, показания вольтметра №1—10В. Показания вольтметра №2—25В. Найти R_3 и ток в проводнике R_2 .

Задача 2.41. Общее сопротивление последовательно включённых двух ламп сопротивлением 15 Ом каждая и реостата равно 54 Ом. Определите сопротивление реостата.

Задача 2.42. Через электролампу, включенную последовательно с электрическим звонком, протекает за 20с заряд, равный q . Какое количество электричества проходит через звонок за полминуты?

Задача 2.43. Через два медных проводника, соединенных последовательно, проходит ток. Сравнить скорости упорядоченного движения электронов, если диаметр второго проводника в 2 раза меньше, чем первого.

Задача 2.44. Два резистора сопротивлением 8 кОм и 1 кОм соединены последовательно (рис. 41). Определите показание вольтметра, подключенного между точками А и С, если сила тока в цепи равна 3 мА . Что будет показывать вольтметр, подключенный между точками А и В, В и С?

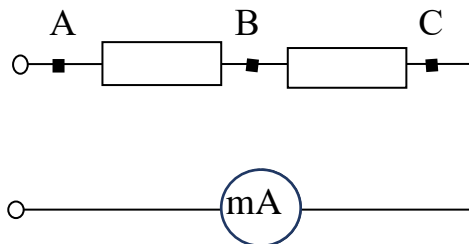


Рис.41.

Задача 2.45. Даны участки электрической цепи (рис. 42). Во сколько раз напряжение на одном проводнике больше, чем на другом в каждом участке цепи?

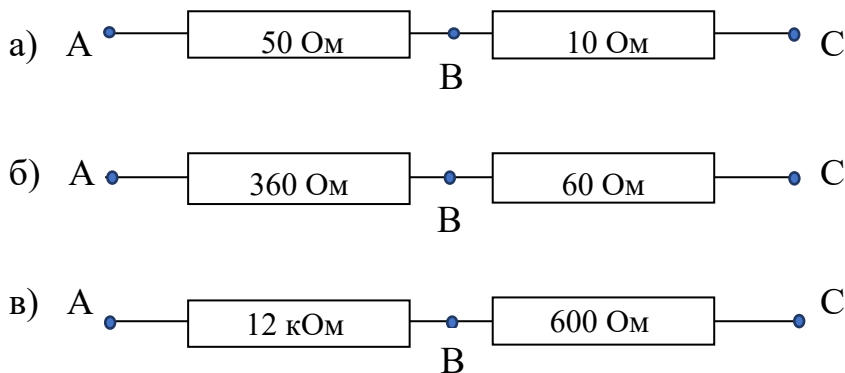


Рис. 42.

Задача 2.46. Сопротивление одного из двух последовательно соединенных проводников 650 Ом. Найдите сопротивление второго проводника, если сила тока в нем 80 мА, а общее напряжение на обоих проводниках 72 В.

Задача 2.47. Нагревательный прибор рассчитан на напряжение 120 В и силу тока 2 А. Какое сопротивление следует включить последовательно в цепь напряжением 220 В, чтобы в нагревательном приборе сила тока не превышала допустимое значение?

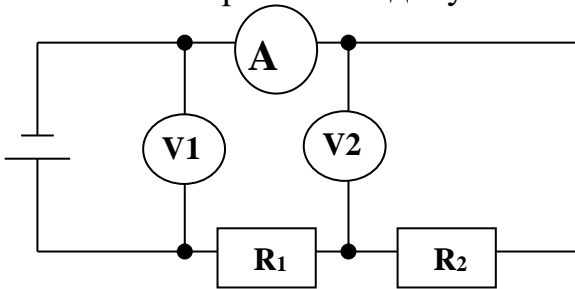


Рис. 43.

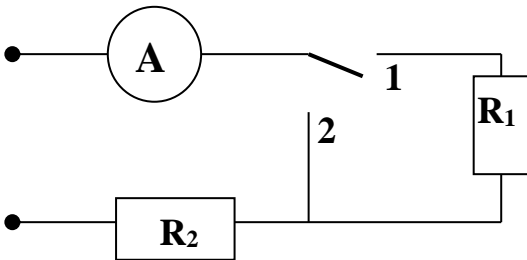
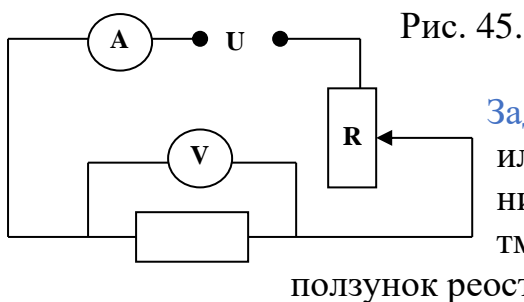


Рис. 44.

Задача 2.48. В цепь включены два проводника: $R_1=5$ Ом и $R_2=10$ Ом (рис. 43). Вольтметр V_1 показывает напряжение 12 В. Определите показания амперметра и вольтметра V_2 .

Задача 2.49. При замыкании переключателя в положение 1 (рис. 44) амперметр показывает силу тока 1 А, а в положение 2— силу тока 4 А. Определите сопротивление каждого проводника, если напряжение на зажимах цепи 12 В.

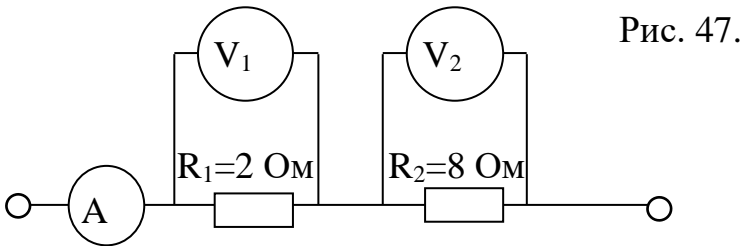
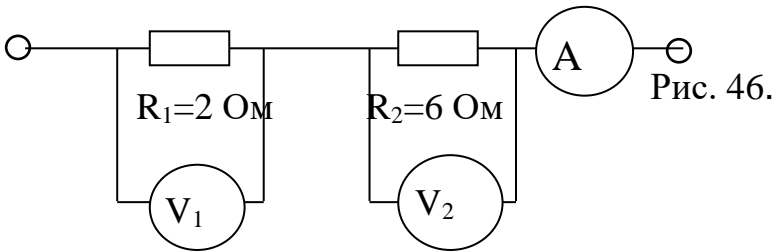


Задача 2.50. Увеличится или уменьшится показание амперметра А и вольтметра V (рис.45), если ползунок реостата R подвинуть вниз?

Задача 2.51. Цепь состоит из трех последовательно соединенных проводников, подключенных к источнику напряжением 24 В. Сопротивление первого проводника 4 Ом, второго 6 Ом, и напряжение на концах третьего проводника 4 В. Найти силу тока в цепи, сопротивление третьего проводника и напряжения на концах первого и второго проводников.

Задача 2.52. Электрическую лампу сопротивлением 240 Ом, рассчитанную на напряжение 120 В, надо питать от сети напряжением 220 В. Какой длины нихромовый проводник с площадью поперечного сечения $0,55 \text{ мм}^2$ надо включить последовательно с лампой?

Задача 2.53. В осветительную сеть с напряжением 220 В последовательно включены электрическая плитка и лампа накаливания. Сопротивление плитки 40 Ом, сопротивление лампы 484 Ом. Определите напряжение на зажимах плитки и лампы. Начертите схему включения.



Задача 2.54. Вольтметр V_1 показывает 12 В (рис. 46). Каково показание амперметра и вольтметра V_2 ?

Задача 2.55. Показание первого вольтметра (рис. 47) 24 В. Каково показание амперметра и второго вольтметра?

Задача 2.56. Сколько ламп с одинаковым сопротивлением надо соединить последовательно для изготовления елочной гирлянды, если каждая лампа рассчитана на

напряжение 6 В и все они будут включены в сеть с напряжением 127 В?

Задача 2.57. Начертите схему включения двух ламп с одинаковым сопротивлением, рассчитанных на напряжение 110 В, в электрическую сеть с напряжением 220 В.

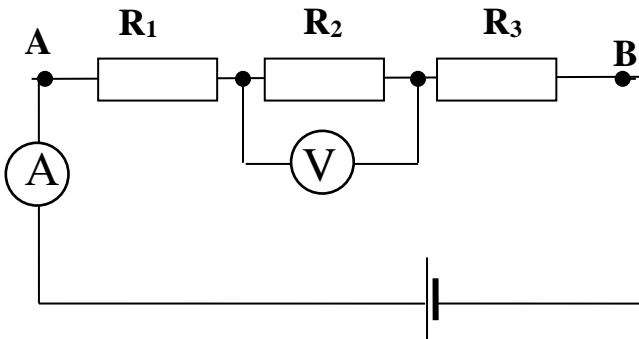


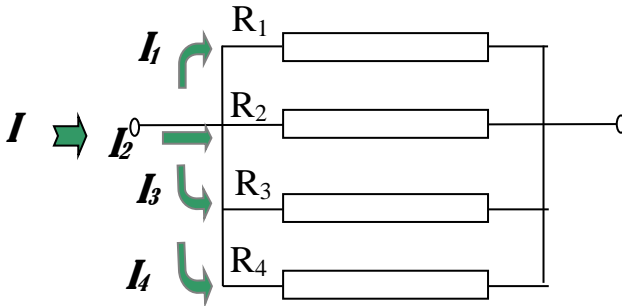
Рис. 48.

Задача 2.58. В цепь включены последовательно три проводника сопротивлением: $R_1=5$ Ом, $R_2=6$ Ом, $R_3=12$ Ом (рис. 48). Какую силу тока показывает амперметр и каково напряжение между точками А и В, если показание вольтметра 1,2 В?

Задача 2.59. Участок цепи состоит из стальной проволоки длиной 2 м и площадью поперечного сечения $0,48$ мм², соединенной последовательно с никелиновой проволокой длиной 1 м и площадью поперечного сечения $0,21$ мм². Какое напряжение надо подвести к участку, чтобы получить силу тока $0,6$ А?

§9. Параллельное соединение проводников.

Проводники соединены параллельно, если их концы соединены между собой и начала соединены между собой



Напряжение на концах параллельного соединения равно напряжению на каждом проводнике.

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = U_4$$

Поток свободных зарядов делится на рукава, каждый из которых течёт по своему проводнику. При последовательном соединении общая сила тока равна сумме сил тока в каждом проводнике.

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

Поток делится обратно пропорционально сопротивлению проводника:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Величина, обратная сопротивлению проводника, -- $1/R$ называется **проводимостью**. Проводимость параллельного соединения равна сумме проводимостей каждого проводника.

$$\lambda = \frac{1}{R}$$

Электропроводность цепи, состоящей из n параллельно соединенных проводников, равна сумме электропроводностей всех проводников:

$$\lambda_o = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n$$

или

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Сопротивление двух параллельно соединенных проводников можно рассчитать по формуле:

$$R_o = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Сопротивление n параллельно соединенных одинаковых проводников в n раз меньше сопротивления одного проводника:

$$R_o = \frac{R}{n}$$

Обратите внимание!!! В быту все приборы и устройства (кроме предохранителя и амперметра) включаются параллельно.

Задачи для самостоятельного решения на параллельное соединение проводников.

. **Задача 2.60.** В цепь на рис.49 включены три резистора, сопротивления двух из них известны: $R_1=4\text{Ом}$, $R_2=5\text{Ом}$, показания амперметра №1—10А. амперметра №2—2А. Найти сопротивление R_3 и показания амперметра №3

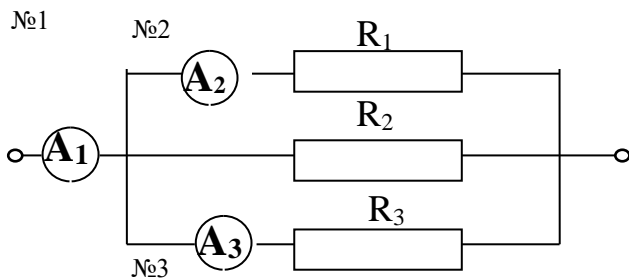


Рис.49.

Задача 2.61. В цепь на рис. 49 включены три резистора, сопротивления двух из них известны: $R_1=3\text{Ом}$, $R_3=8\text{Ом}$, показания амперметра №1—10А. амперметра №2—2А. Найти сопротивление R_2 и показания амперметра №2

Задача 2.62. В цепь на рис. 49 включены три резистора, сопротивления двух из них известны: $R_1=1\text{ Ом}$, $R_2=5\text{ Ом}$, показания амперметра №2—10А. амперметра №3—2А. Найти сопротивление R_3 и показания амперметра №1

Задача 2.63. В цепь на рис.49 включены три резистора, сопротивления двух из них известны: $R_3=2\text{ Ом}$, $R_2=3\text{ Ом}$, показания амперметра №2—10А. амперметра №3—2А. Найти сопротивление R_1 и показания амперметра №1

Задача 2.64. Проволока имеет сопротивление 36 Ом. Когда ее разрезали на несколько равных частей и соединили эти части параллельно, то получилось сопротивление 1 Ом. На сколько частей разрезали проволоку?

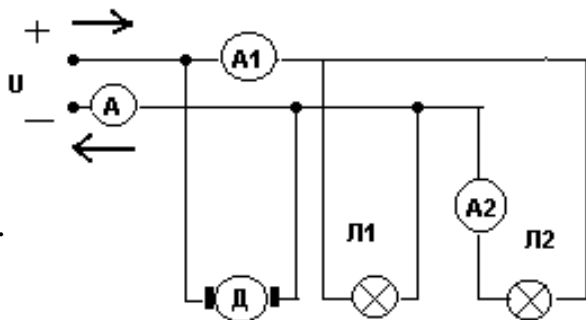


Рис.50.

Задача 2.65. Амперметр А (рис. 50) показывает 3,2 А, A_1 —1,7 А и A_2 —0,7 А. Определите силу тока в каждой из ламп L_1 и L_2 и в электродвигателе Д. Найдите

сопротивление каждого потребителя и общее сопротивление цепи, если напряжение $U_0=320\text{В}$.

Задача 2.66. На сколько равных частей надо разрезать проводник, имеющий сопротивление $12,8\text{ Ом}$, чтобы при параллельном их соединении получить сопротивление $0,2\text{ Ом}$?

Задача 2.67. Три проволоки— железная, медная и серебряная—одинаковой длины и одинаковой площади поперечного сечения включены в цепь параллельно. В какой проволоке сила тока будет наибольшая? Найти отношение сил токов в проводниках.

Задача 2.68. Сопротивление одного из последовательно включенных проводников в n раз больше сопротивления другого. Во сколько раз изменится сила тока в цепи (напряжение постоянно), если эти проводники включить параллельно?

Задача 2.69. Амперметр (рис. 51) показывает силу тока $1,6\text{ А}$ при напряжении 120 В . Сопротивление $R_1=100\text{ Ом}$. Определите сопротивление R_2 и показания амперметров A_1 и A_2 .

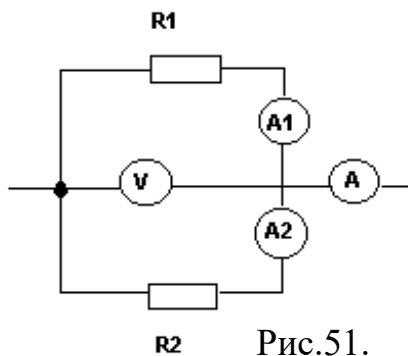


Рис.51.

Задача 2.70. В схеме на рис.52 сопротивление $R_1=12$ Ом, $R_2=6$ Ом, $R_3=4$ Ом. Амперметр A_0 показывает ток 6 А. Определите напряжение на источнике и показания амперметров A_1, A_2, A_3 .

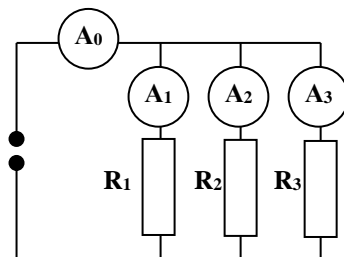
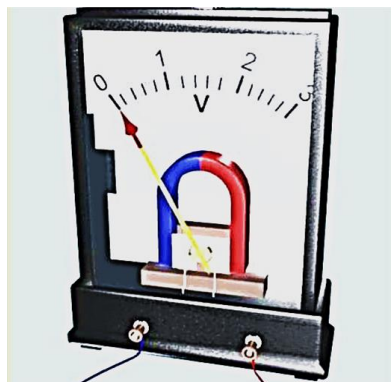


Рис.52.

Задача 2.71. В схеме на рис. 52 амперметр A_3 показывает силу тока 6 А, амперметр A_1 -силу тока 2 А, амперметр A_0 -12 А. Сопротивление R_2 равно 3 Ом. Определите сопротивления R_1 и R_3 , показания амперметра A_2 , общее сопротивление цепи.

§10. Амперметр и вольтметр. Шунт и добавочное сопротивление.



Амперметр включают в цепь **последовательно** с участком , где измеряют силу тока. . Для того чтобы при

подключении амперметра токи в схеме изменялись мало, необходимо, чтобы его внутреннее сопротивление R_A было как можно **меньше**.

Вольтметр предназначен для измерения **разности потенциалов** на участке цепи. Его включают **параллельно** участку. Для однородного участка цепи разность потенциалов равна **напряжению** на участке. Для того чтобы при подключении вольтметра токи в схеме изменялись мало, необходимо, чтобы его внутреннее сопротивление R_V было как можно **больше**.

В технике чаще всего под измерением напряжения понимают именно измерение разности потенциалов.

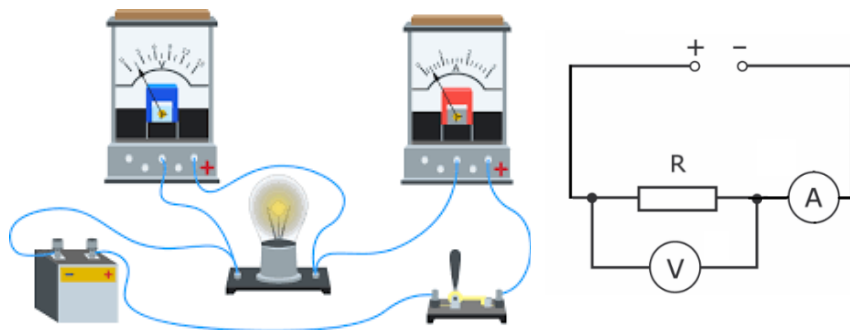


Рис.53. Примеры включения в цепь амперметра и вольтметра.

Идеальными считают амперметр с нулевым сопротивлением и вольтметр с бесконечно большим сопротивлением.

Если убрать идеальные измерительные приборы из цепи, то токи и потенциалы останутся прежними. При

этом амперметр заменяют соединительным проводом, а вольтметр—обрывом провода (рис).

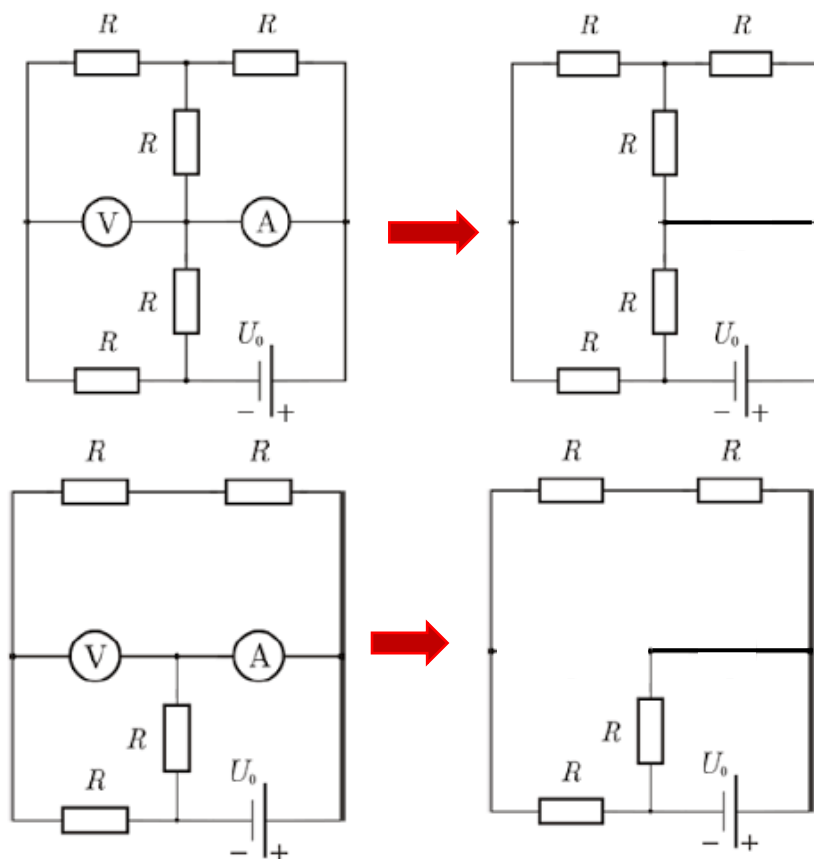


Рис.54. Упрощение схем.

Устройства амперметра и вольтметра очень похожи и относятся к магнитоэлектрическим системам, отличаются только сопротивлением.

Прибор состоит из железного цилиндра (5), на который намотана катушка (4). Когда в катушке включают ток, она под действием магнитного поля постоянного магнита (1) поворачивается. Две полуоси передняя (3) и задняя (3) жёстко закреплены на катушке и поворачиваются вместе с ней,

поворачивая стрелку (6). Спиральные пружины (2) ограничивают угол поворота и возвращают полуоси с катушкой и стрелкой в исходное положение при отключении тока. Эти же спиральные пружины служат контактами, благодаря которым через катушку идёт ток.

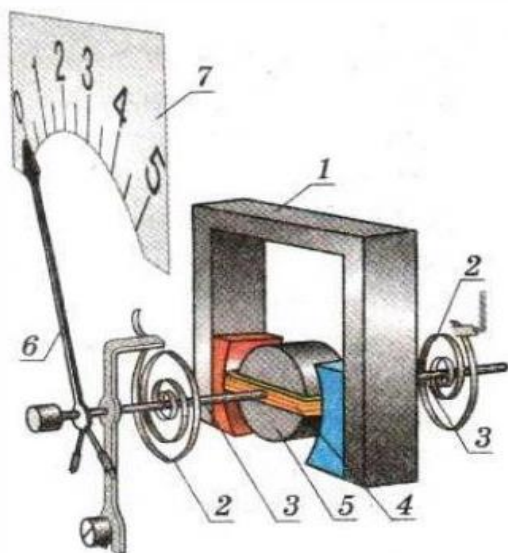


Схема измерительного механизма прибора магнито-электрической системы: 1 — постоянный неподвижный магнит; 2 — спиральные пружины; 3 — полуоси, на которых жестко закреплена рамка 4; 5 — неподвижный сердечник; 6 — стрелка; 7 — шкала прибора

Рис.55.

Оба прибора имеют предельные значения тех величин, которые измеряют. Если требуется измерить величины в несколько десятков раз превышающие предельные (то есть увеличить предел измерения), используют **шунт и добавочное сопротивление**.

Шунт — это сопротивление, которое подключается параллельно с амперметром для изменения величины тока, текущего через измерительный прибор и увеличения предела его измерений.

Чем меньше сопротивление шунта $R_{ш}$, тем ток $I_{ш}$ больше, а значит ток I_a , который протекает через амперметр - меньше. Измеряемый ток равен сумме токов на амперметре и на шунте, а напряжения на них одинаковы:

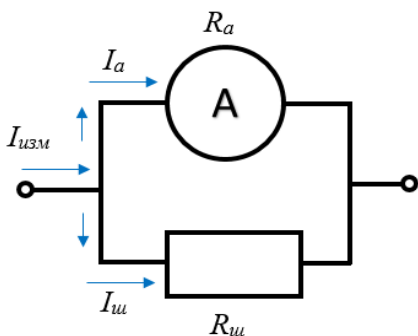


Рис.56

$$, \begin{cases} I_{изм} = I_a + I_{ш} \\ I_a R_a = I_{ш} R_{ш} \end{cases}$$

Решая систему уравнений, находим выражение для сопротивления шунта:

$$R_{ш} = R_a \frac{I_a}{I_{изм} - I_a}$$

Амперметр показывает, какой ток течёт непосредственно через него. При подключении шунта измеряемый ток будет в n раз больше тока через амперметр.

Для увеличения предела измерения амперметра в n раз необходимо подключить шунт с сопротивлением в $(n-1)$ раз меньше:

$$R_{\text{ш}} = \frac{R_a}{n - 1}$$

Дополнительное сопротивление для вольтметра — это сопротивление, которое подключается **последовательно** с вольтметром для изменения напряжения (разности потенциалов) на его клеммах и увеличения предела его измерений.

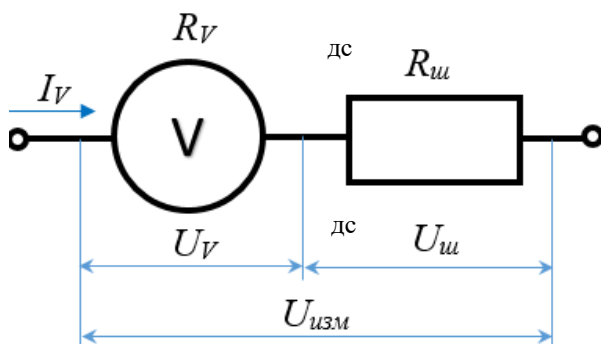


Рис.57.

Вольтметр показывает разность напряжения на своих клеммах U_V . Ток, текущий через вольтметр и дополнительное сопротивление один и тот же, а напряжения в сумме равны измеряемому.

Чем больше добавочное сопротивление, тем больше на нём напряжение, тем меньше напряжение на вольтметре

$$I_V = \frac{U_V}{R_V}$$

$$U_{\text{изм}} = U_V + U_{\text{ш}}$$

$$U_{\text{ш}} = I_V \cdot R_{\text{ш}}$$

$$U_{\text{изм}} = U_V + I_V \cdot R_{\text{ш}}$$

$$R_{\text{ш}} = R_V \left(\frac{U_{\text{изм}}}{U_V} - 1 \right)$$

где $n = U_{\text{изм}}/U_V$ - коэффициент изменения предела измерения вольтметра.

Задачи для самостоятельного решения на использование вольтметров, амперметров, шунтов и добавочных сопротивлений.

Задача 2.72. Цепь состоит из аккумулятора и нагрузки сопротивлением 400 Ом. Вольтметр сопротивлением 800 Ом, который сначала был подключен последовательно, а затем параллельно сопротивлению, показал одинаковое напряжение. Найти внутреннее сопротивление аккумулятора.

Задача 2.73. Какое добавочное сопротивление R следует включить последовательно с вольтметром V (рис.58), рассчитанным для измерения напряжений до $U_V=12$ В и имеющим сопротивление $R_V=1200$ Ом, чтобы увеличить пределы измерений вольтметра в 10 раз?

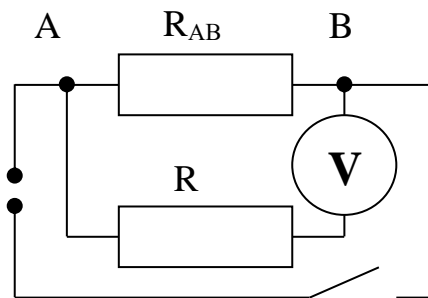


Рис.58.

Задача 2.74. Вольтметр, соединенный последовательно с резистором 30 кОм, при подключении к источнику тока напряжением 120 В показал 20 В. Определите сопротивление вольтметра. Внутреннее сопротивление источника тока считать равным нулю.

Задача 2.75. Параллельно амперметру сопротивлением $R_A = 0,030$ Ом включен проводник сопротивлением $R = 0,020$ Ом. Если показания амперметра $I_A = 0,40$ А, найти силу тока I в цепи.

Задача 2.76. К участку электрической цепи подключены два вольтметра. Первый вольтметр с сопротивлением $R_1 = 5,0 \times 10^3$ Ом показывает напряжение $U_1 = 20$ В, а второй – напряжение $U_2 = 80$ В. Найти сопротивление R_2 второго вольтметра.

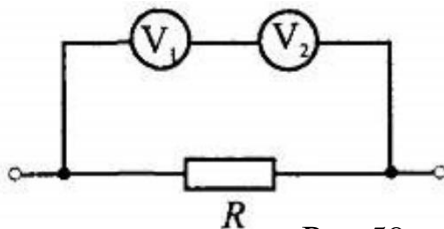


Рис.59.

§11. Работа электрического тока. Мощность электрического тока. Закон Джоуля-Ленца. Короткое замыкание. «Плохой контакт»

Работа тока (работа электрического поля по перемещению зарядов в проводнике) равна произведению напряжения (на концах проводника) на силу тока и время его прохождения.

$$A = U \cdot I \cdot t$$

Закон Джоуля-Ленца.

Количество тепла, выделяемое на проводнике равно произведению квадрата силы тока на сопротивление и время прохождения тока.

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

Мощность тока равна произведению напряжения на силу тока

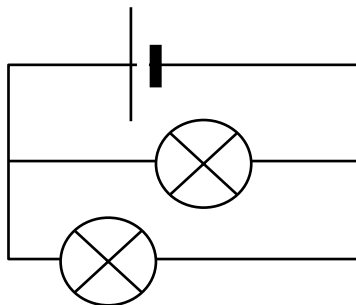
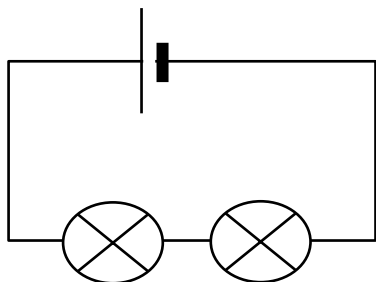
$$P = U \cdot I$$

Эта формула работает для любой цепи постоянного тока, в том числе, если в цепь включён электромотор, который превращает часть работы тока в механическую работу, а часть идёт на нагрев мотора.

Для нахождения **тепловой мощности**, выделяемой **на резисторе** используют следующие формулы:

$$P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R = \frac{Q}{t}$$

В зависимости от вида соединения сильнее нагреваются проводники с малым сопротивлением при параллельном соединении, с большим сопротивлением—при последовательном.



$$P_1 = \left(\frac{U}{R_1 + R_2} \right)^2 \cdot R_1$$

$$P_2 = \left(\frac{U}{R_1 + R_2} \right)^2 \cdot R_2$$

$$P_1 = \frac{U^2}{R_1}$$

$$P_2 = \frac{U^2}{R_2}$$

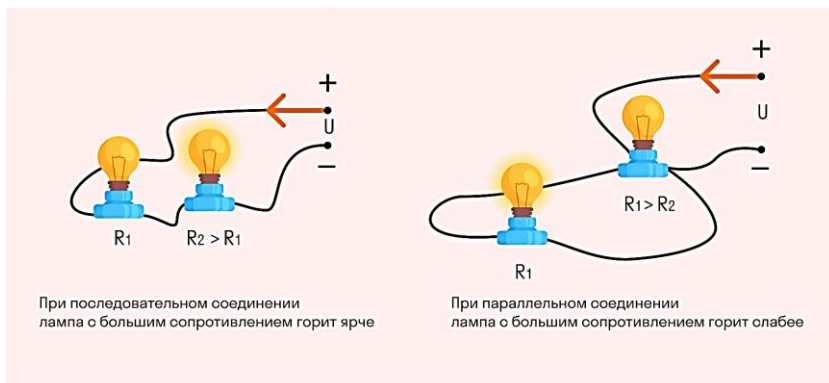


Рис. 60.

Короткое замыкание — незапланированное соединение точек цепи с разными потенциалами проводником с пренебрежимо малым сопротивлением. При этом возникает очень большой ток, значительно превышающий допустимый.

В быту все устройства подключаются параллельно, провода подводящие и отводящие ток обычно находятся рядом. При нарушении изоляции они соприкасаются или их пробивают гвоздём (ножом, топором): возникает перемычка с очень маленьким сопротивлением, включённая параллельно. Чем меньше сопротивление при параллельном подключении, тем больше ток, поэтому весь ток течёт через перемычку

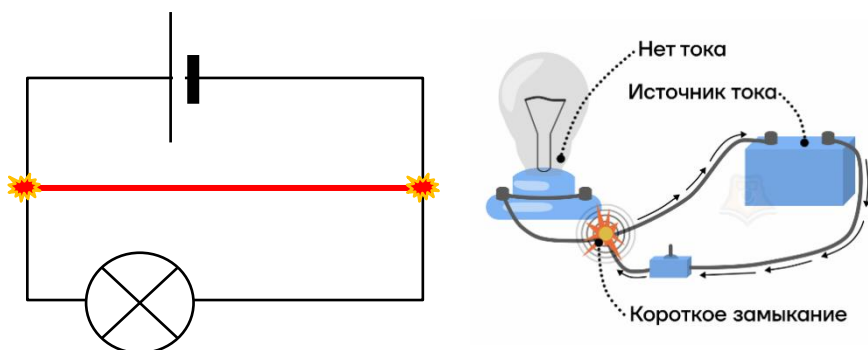


Рис. 61.

Само слово «короткое» означает минимальный путь для прохождения тока и резкое увеличение его значения. Такое состояние не предусматривается штатным режимом работы цепи и приводит к чрезмерному нагреву проводов, оплавлению, а затем возгоранию изоляции и других горючих материалов в месте стыка. В большинстве случаев это заканчивается пожаром.

Помимо того, ток создает сильное магнитное поле, намагничивающее ближайшие чувствительные приборы.

Чтобы избежать большого неконтролируемого увеличения силы тока, используют предохранители.

Предохранитель — это устройство, предназначенное для отключения защищаемой цепи под действием тока, превышающего определённое значение.



Рис.62. Электрощиток с предохранителями.

«Плохой контакт» возникает в местах соединения проводов, когда площадь их соприкосновения недостаточна

«Плохой контакт» влечет за собой **увеличенное сопротивление** на участке цепи. Чем больше сопротивление, тем больше падение напряжения и нагрев в месте контакта. При повышении температуры, повышается и переходное сопротивление, что еще сильнее увеличивает нагрев. (Переходное сопротивление — дополнительное сопротивление, возникающее в зоне контакта проводов)

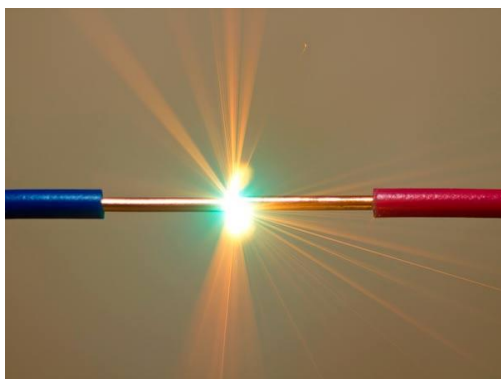


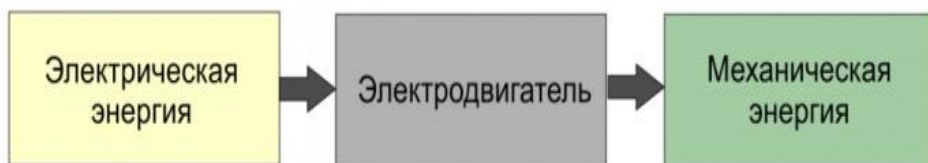
Рис.63

Плохой контакт не увеличивает ток в цепи. Однако увеличение сопротивления контакта вызывает выделение энергии источника в виде тепла непосредственно на небольшом участке контакта.

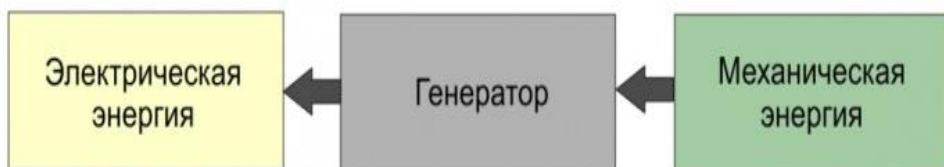
Кроме нагрева, некачественное соединение

может привести к искрению. Искры могут стать причиной пожара.

Электродвигатель постоянного тока (ДПТ) – это устройство, которое обеспечивает преобразование электрической энергии в механическую энергию.



Генератор постоянного тока (ГПТ) – машина, преобразующая механическую энергию в электрическую.



Особенностью электрических моторов ДПТ и ГПТ является свойство обратимости. Генератор в данном случае может работать как электродвигатель и наоборот, электродвигатель в режиме генератора.

Задачи для самостоятельного решения на закон Джоуля-Ленца, работу и мощность тока

Задача 2.77. Какую величину измеряет электрический счётчик в квартире?

Задача 2.78. Что такое: 1 ампер, 1 кулон, 1 вольт, 1 ом, 1 ватт? Выразить эти единицы через килограмм, метр, секунду и ампер.

Задача 2.79. В цепи, состоящей из источника и последовательно включённых лампы и резистора, на лампе выделяется энергия 4800 Дж за 1 минуту. (рис.64). Найти сопротивление резистора, если напряжение на источнике 50 В. Сопротивление лампы 20 Ом.

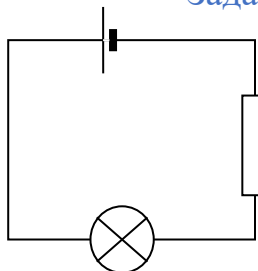


Рис. 64.

Задача 2.80. Какие из четырех одинаковых лампочек, включенных в приведенной схеме (рис.65), будут гореть наиболее ярко?

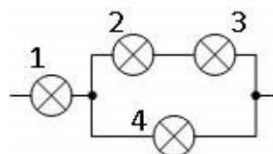


Рис.65.

Задача 2.81. Требуется установить в комнате электрическую лампочку, выключатель и розетку. Выключатель должен включать только лампочку.

- Изобразите схему электропроводки, если под напряжением находятся точки А и В.
- Где ошибки в схемах на рис.66 а и б?
- Когда возможно короткое замыкание на вашей схеме, если провода при подключении зачищать (освобождать от изоляции) стальным ножом с изолирующей ручкой?

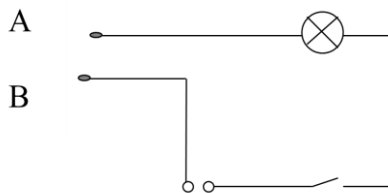
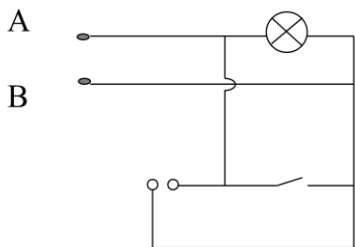


Рис.66.

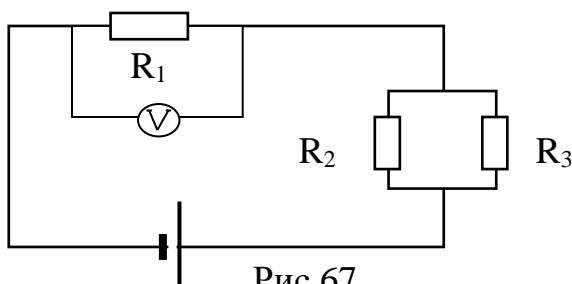


Рис.67.

Задача 2.82. На схеме (рис.67) $R_1=10\text{ Ом}$, $R_2=4\text{ Ом}$, $R_3=3\text{ Ом}$. Найти эквивалентное сопротивление цепи. Найти силу тока в цепи, если

вольтметр показывает напряжение 5 В . Найти количество тепла, выделяемого на сопротивлении R_2

Задача 2.83. На схеме (рис.68) $R_1=10\text{ Ом}$, $R_2=4\text{ Ом}$, $R_3=3\text{ Ом}$

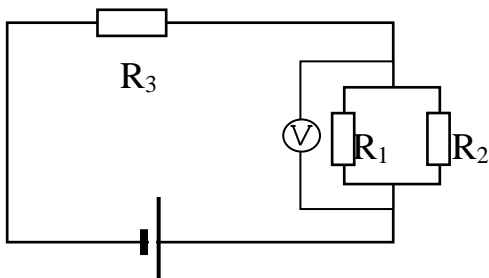


Рис.68.

сопротивления R_3

Найти эквивалентное сопротивление цепи. Найти силу тока в цепи, если вольтметр показывает напряжение 5 В . Найти количество тепла, выделяемого на

Задача 2.84. Нагреватель, сделанный из проволоки, нагревает 0,5л воды за 5 минут от 20° до кипения. Найти мощность нагревателя. Во сколько раз нужно увеличить площадь поперечного сечения проволоки, чтобы за это же время вода не только нагрелась, но и полностью испарилась, если в сети поддерживается постоянное напряжение и длину проволоки не меняют?

Задача 2.85. Алюминиевая и медная проволоки имеют равные массы и одинаковое сопротивление. Какая из проволок имеет большую длину и во сколько раз? Какая из проволок имеет больший диаметр и во сколько раз? Какая из проволок быстрее нагреется, во сколько раз изменение температуры за одинаковое время на ней будет больше?

Задача 2.86. Алюминиевая и медная проволоки имеют равные массы и одинаковую длину. Какая из проволок имеет большее сопротивление и во сколько раз? Какая из проволок быстрее нагреется, во сколько раз изменение температуры на ней будет больше, если они соединены а) параллельно? последовательно?

Задача 2.87. Определить сопротивление нагревательного элемента электрической печи, выполненного из стальной проволоки массой 780г и длиной 25м, определить полезную мощность печи, если она имеет КПД 30% и включена в цепь с напряжением 220В. Как изменится выделяемая мощность, если оставить

только половину проволоки, в сети поддерживается постоянное напряжение?

Задача 2.88. Определить сопротивление нагревательного элемента электрической печи, выполненного из стальной проволоки массой 156г и диаметром 0,8 мм. Как изменится сопротивление, если диаметр проволоки увеличится в 3 раза, а масса не изменится?

Задача 2.89. Какое количество меди следует израсходовать на электропровод длиной 5,0 км, чтобы его сопротивление было 5,0 Ом? На сколько градусов он нагреется за 10 минут при силе тока 10А, если к.п.д. процесса 30%

Задача 2.90. Алюминиевая и медная проволоки имеют равные массы и одинаковые площади поперечного сечения. Какая из проволок имеет большую длину и во сколько раз? Какая из проволок имеет большее сопротивление и во сколько раз? На какой проволоке за одинаковое время будет выделяться больше тепла и во сколько раз, если они соединены параллельно?

Задача 2.91. Нагреватель, сделанный из проволоки нагревает 0,5л воды за 5 минут от 20° до кипения. Найти мощность нагревателя. Во сколько раз нужно увеличить площадь поперечного сечения проволоки, чтобы за это же время вода не только нагрелась, но и полностью испарилась, если в сети поддерживается

постоянное напряжение и длину проволоки не меняют?

Задача 2.92. Два кипятильника, включённых параллельно вскипятили кастрюлю воды за 6 минут, а при включении последовательно—за 25 минут. За какое время вскипятит ту же кастрюлю каждый из кипятильников?

Задача 2.93. Электродвигатель постоянного тока имеет обмотку, сопротивление которой равно R . Если двигатель работает от сети с напряжением U , то по обмотке идёт ток силой I . Найти механическую работу, совершаемую двигателем за время t . Определить КПД двигателя.

Задача 2.94. Две спирали электроплитки сопротивлением по 10 Ом каждая соединены последовательно и включены в сеть. Каково напряжение сети, если вода массой 1 кг закипит на этой плитке через 174 с? Начальная температура воды равна 20°C , а КПД процесса 80%. (Полезной считается энергия, необходимая для нагревания воды.)

Задача 2.95. В алюминиевый калориметр массой 50 г налито 120 г воды и опущена спираль сопротивлением 2 Ом, подключенная к источнику напряжением 15 В. За какое время калориметр с водой нагреется

на $9\text{ }^{\circ}\text{C}$, если потерями энергии в окружающую среду можно пренебречь?

Задача 2.96. Лампочки с сопротивлением $3\text{ }\Omega$ и $12\text{ }\Omega$ поочерёдно подключают к источнику тока. Обе лампочки потребляют одинаковую мощность. Найти внутреннее сопротивление источника и КПД цепи для обоих подключений.

§12. Основные правила изменения и упрощения электрических схем, состоящих из резисторов и соединительных проводов.

1. Любую часть схемы можно заменить эквивалентным сопротивлением, равным по величине сопротивлению данного участка: распределение токов, напряжения на других участках цепи при этом не меняются.
2. Соединительные провода, сопротивление которых пренебрежимо мало, можно сжимать в точку. И наоборот—точку можно превращать в соединительный провод произвольной длины и формы. Следовательно, узел (точку соединения проводов можно свободно перемещать вдоль любого соединительного провода.

3. Сопротивления и соединительные провода, через которые не идёт ток, можно удалить из схемы: распределение токов, напряжения в цепи при этом не меняются.
4. Точки, имеющие одинаковый потенциал, можно соединять проводом с любым сопротивлением, т.к. ток по нему все равно течь не будет.
5. Если поменять знаки полюсов источника тока, направление токов изменится на противоположное. Величины силы тока и напряжения останутся прежними.
6. Идеальные амперметры и вольтметры не меняют распределение токов в цепи, поэтому их можно убирать. Амперметр, имеющий нулевое сопротивление заменяют соединительным проводом, Вольтметр, имеющий бесконечно большое сопротивление—обрывом этого участка цепи.

§13. Определение общего сопротивления цепи при смешанном соединении проводников.

§13.1. Метод блоков.

Для определения общего сопротивления при смешанном соединении проводников применяют метод последовательного упрощения схемы. (или метод блоков) Основной принцип—выделить в схеме участки (блоки)

параллельного или последовательного соединения проводников и заменить их эквивалентным сопротивлением. Рассмотрим данный метод на примере решения задания.

Задание 1

Найти сопротивление цепи, изображенной на рис.69 , если $R_1=R_2=1,8 \text{ Ом}$, $R_3=1 \text{ Ом}$, $R_4=3 \text{ Ом}$, $R_5=1 \text{ Ом}$, $R_6=1,2 \text{ Ом}$, $R_7=0,8 \text{ Ом}$, $R_8=1,2 \text{ Ом}$, $R_9=R_{10}=3 \text{ Ом}$, $R_{11}=R_{12}=0,3 \text{ Ом}$, $R_{13}=0,7 \text{ Ом}$.

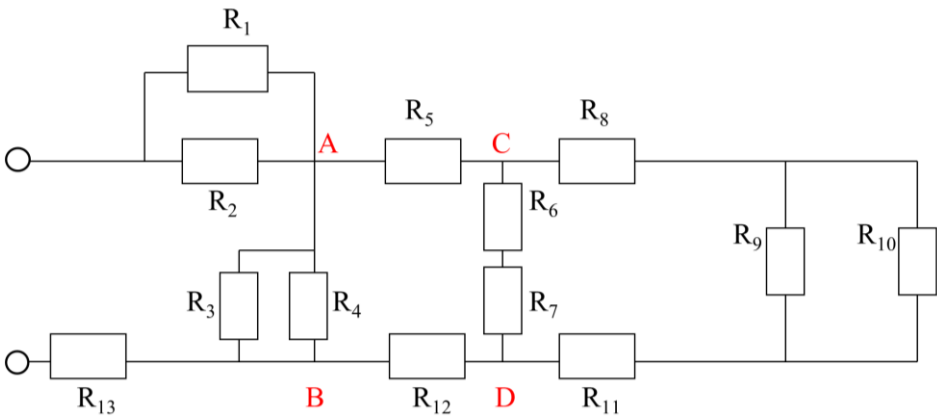


Рис.69

Решение.

Данную задачу удобнее решать в цифрах, так как общая формула получится очень громоздкой.

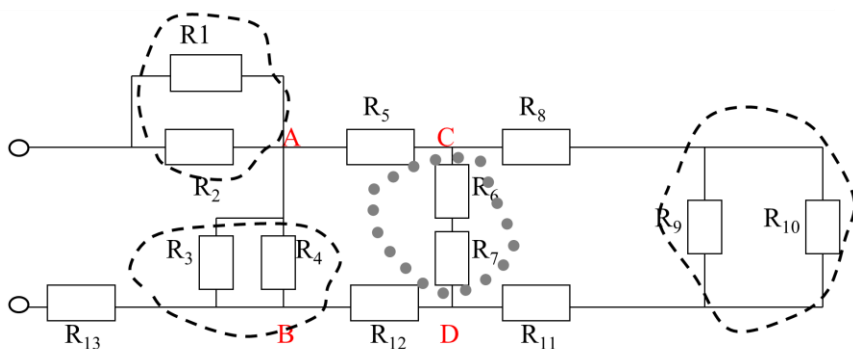


Рис.69а

Из схемы видно, что сопротивления R_1 и R_2 , R_3 и R_4 , R_9 и R_{10} соединены параллельно, соединения R_6 и R_7 соединены последовательно. Заменяем их эквивалентными сопротивлениями.

Находим значения эквивалентных сопротивлений.

$$R_{O1} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1,8 \cdot 1,8}{1,8 + 1,8} = 0,9 \text{ Ом}$$

$$R_{O2} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} = \frac{1 \cdot 3}{1 + 3} = 0,75 \text{ Ом}$$

$$R_{O3} = R_6 + R_7 = 1,2 + 0,8 = 2 \text{ Ом}$$

$$R_{O4} = \frac{R_9 R_{10}}{R_9 + R_{10}} = \frac{3 \cdot 3}{3 + 3} = 1,5 \text{ Ом}$$

Получаем схему на рис.70:

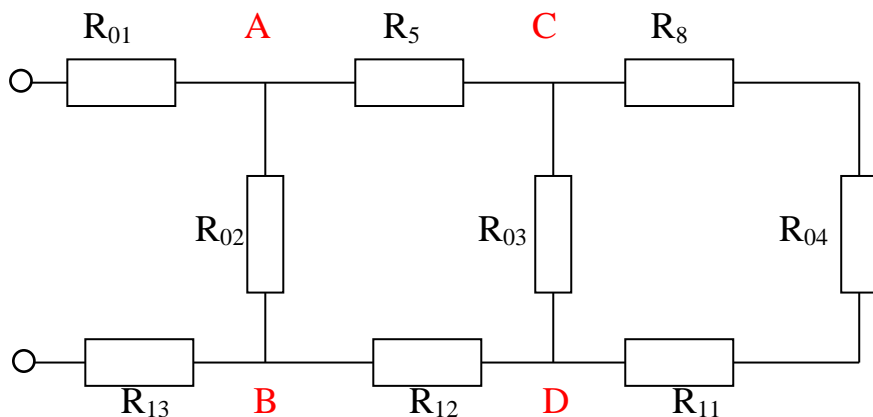


Рис. 70

Далее, рассматривая упрощенную схему на рис.70а, замечаем, что резисторы R_{04} , R_8 и R_{11} соединены последовательно. Заменяем их эквивалентным сопротивлением R_{05} .

$$R_{05} = R_8 + R_{04} + R_{11} = 1,2 + 1,5 + 0,3 = 3 \text{ Ом}$$

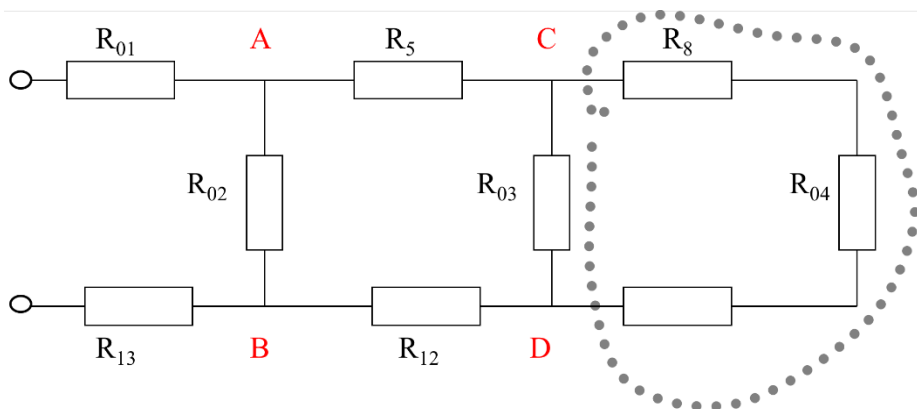


Рис.70а.

После замены схема содержит 7 резисторов:

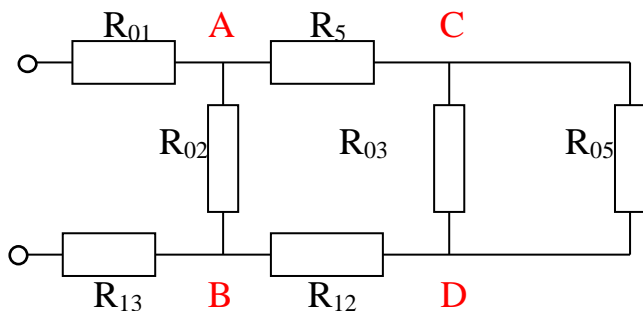


Рис.70.

Выделяем в единый блок (рис.71а) R_{03} и R_{05} , они соединены параллельно. Их заменим эквивалентным резистором R_{06} :

$$R_{06} = \frac{R_{03} R_{05}}{R_{03} + R_{05}} = \frac{2 \cdot 3}{2 + 3} = 1,2 \text{ Ом}$$

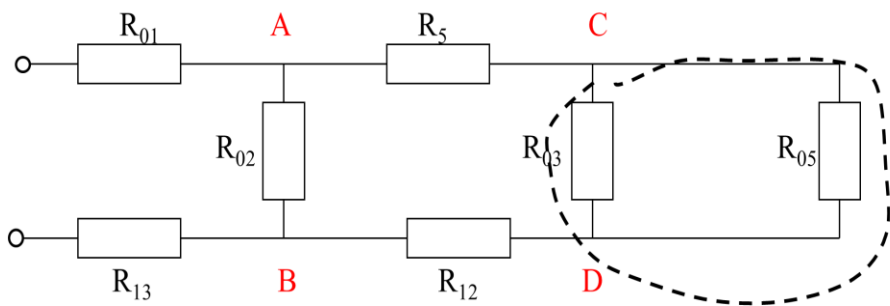


Рис.71а.

Получаем новую схему (рис.72)

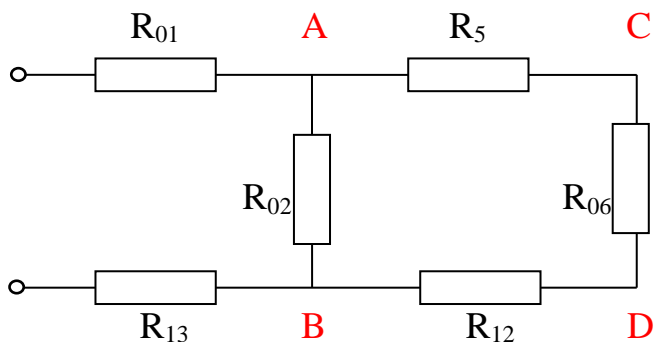


Рис. 72.

Из рис.72а видно, что R_5 , R_{06} и R_{12} соединены последовательно. Заменим их эквивалентным сопротивлением R_{07} :
 $R_{07} = R_5 + R_{06} + R_{12} = 1 + 1,2 + 0,3 = 2,5 \text{ Ом}$

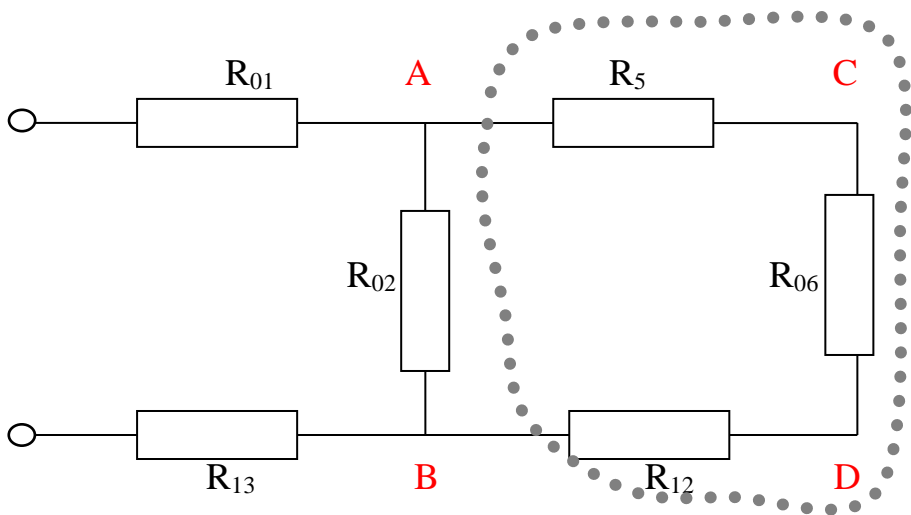


Рис. 72а.

Следующий шаг на рис.73.

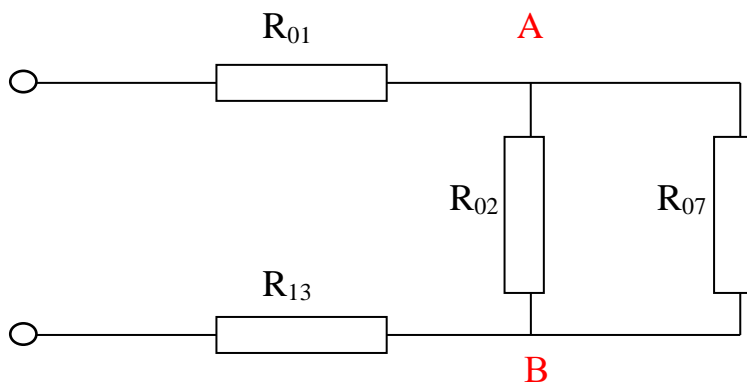


Рис.73.

На рис.73а R_{02} и R_{07} соединены параллельно. Заменим их эквивалентным R_{08}

$$R_{08} = \frac{R_{02}R_{07}}{R_{02} + R_{07}} = \frac{15}{26} \approx 0,58 \text{ Ом}$$

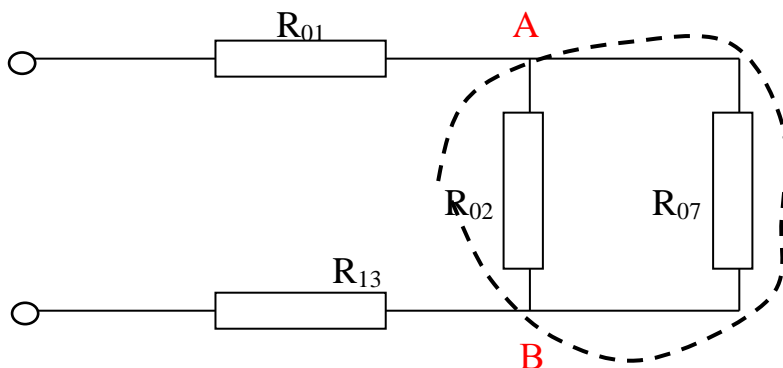


Рис.73а.

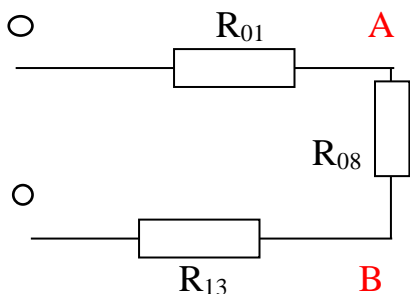


Рис.74.

Наконец из рис.74 , видно, что резисторы R_{01} , R_{08} и R_{13} соединены последовательно. Следовательно, общее сопротивление цепи:
 $R_0 = R_{01} + R_{08} + R_{13} = 0,9 + 0,58 + 0,7 = 2,18 \text{ Ом}$

В некоторых из первоначального начертания схемы сложно определить типы соединения резисторов. В этих случаях необходимо перерисовать схему так, чтобы типы соединений были очевидны.

Задание 2

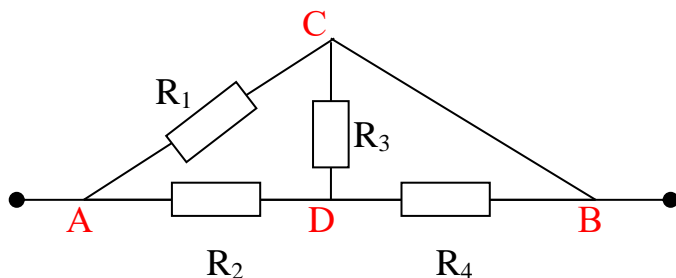


Рис.75.

Найти сопротивление между токами А и В, если $R_1=12 \text{ Ом}$, $R_2=4 \text{ Ом}$, $R_3=6 \text{ Ом}$ и $R_4=3 \text{ Ом}$.

Решение.

Сопротивление между точками В и С равно нулю. Следовательно резисторы R_3 R_4 соединены параллельно. Кроме того, резистор R_1 фактически соединен между точками А и В. Поэтому схему можно изобразить так:

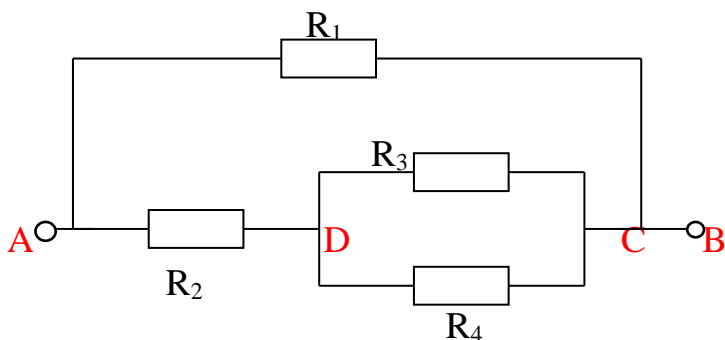


Рис.76.

Далее решаем по стандартной методике упрощения схемы. R_3 и R_4 соединены параллельно, заменим их эквивалентным сопротивлением R_{O1}

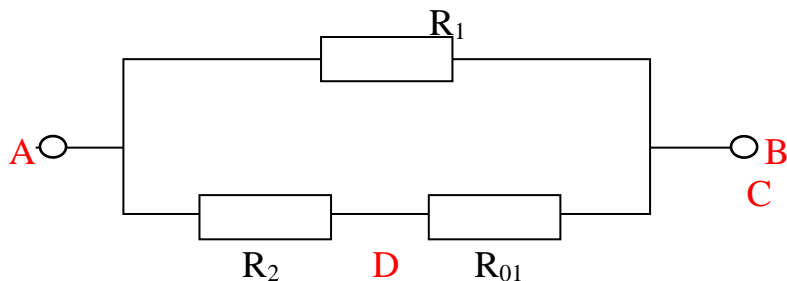


Рис.77.

$$R_{O1} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} = \frac{6 \cdot 3}{6 + 3} = 2 \text{ Ом}$$

В схеме R_2 и R_{O1} соединены последовательно. Заменяем их на R_{O2}

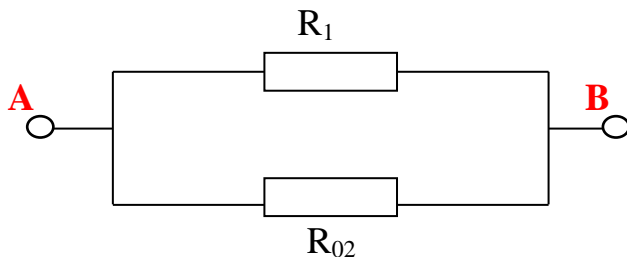


Рис.78.

$$R_{O2} = R_2 + R_{O1} = 4 + 2 = 6 \text{ Ом}$$

R_3 R_4 соединены параллельно. Поэтому сопротивление между токами А и В равно

$$R_O = \frac{R_1 R_{O2}}{R_1 + R_{O2}} = \frac{12 \cdot 6}{12 + 6} = 4 \text{ Ом}$$

Задание 3

Рассмотрим задание на преобразование схемы более подробно (рис. 79):

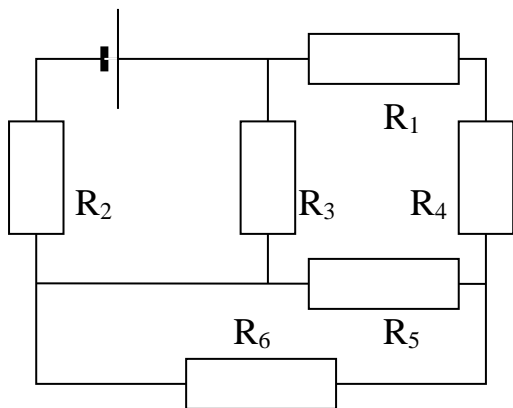


Рис.79

Превратим свёрнутую в кольцо схему в линейную.

Начнём обход по направлению движения тока из точки

А. В точке В ток делится на два потока:

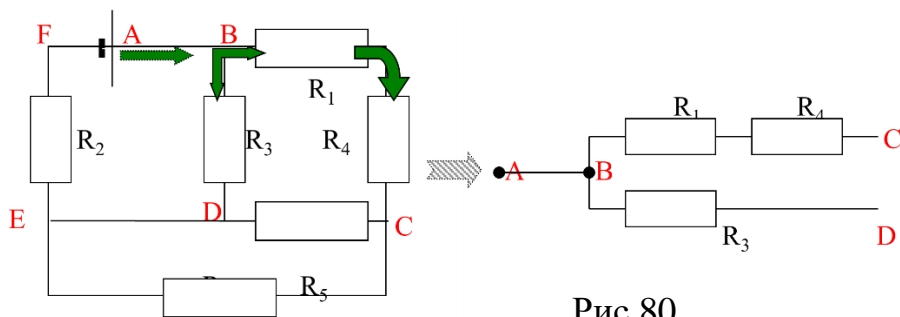


Рис.80.

В точке С ток, текущий через сопротивления R_1 и R_4 опять делится на два потока: один идёт через R_5 в D, а другой через R_6 в E. Ток через R_3 идёт из В в D.

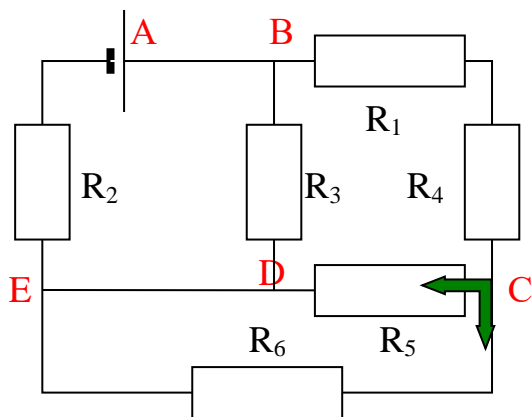
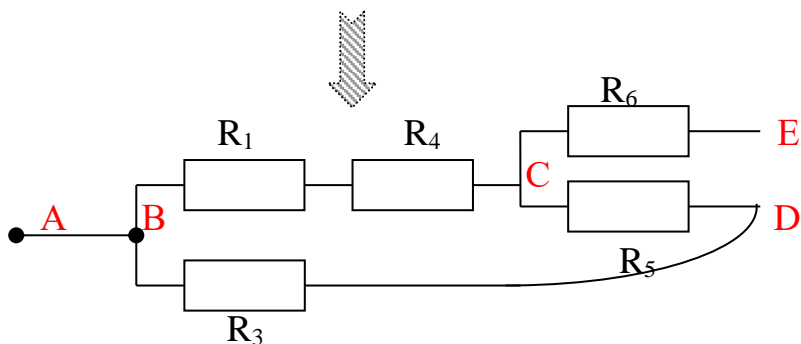
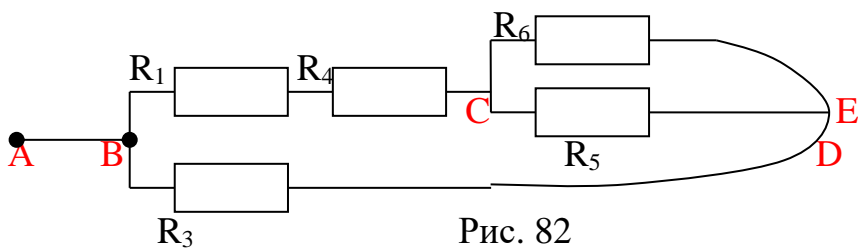


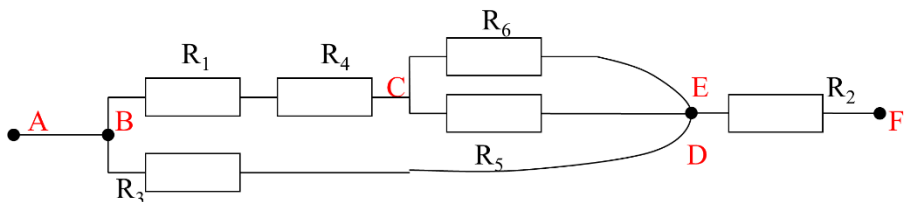
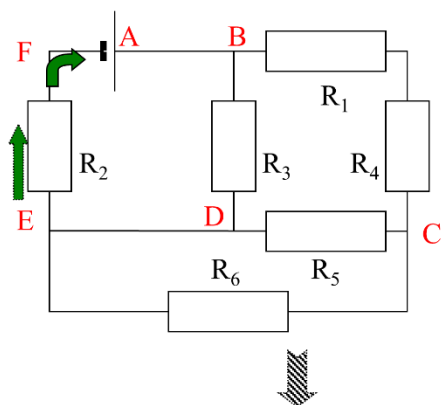
Рис.81.



На участке ED сопротивление равно нулю, длина соединительного провода не имеет значения, следовательно можно представить, что точки D и E совпадают:



После точки E ток , собрав все потоки течёт через сопротивление R_2 .



После преобразования схема приобрела вид, позволяющий легко выделить параллельные и последовательные соединения и применять метод блоков.

Задачи для самостоятельного решения смешанные соединения проводников методом блоков.

Задача 2.97. Найдите формулу для вычисления общего сопротивления в задании 3.

Задача 2.98. Найти общее сопротивление. Значения сопротивлений резисторов, указанных на схеме (рис. 84.) считать известными.

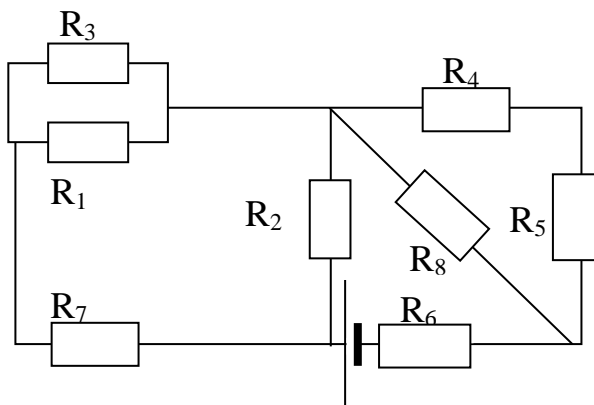


Рис.84.

Задача 2.99. Найти общее сопротивление. Значения сопротивлений резисторов, указанных на схеме (рис. 85) считать известными.

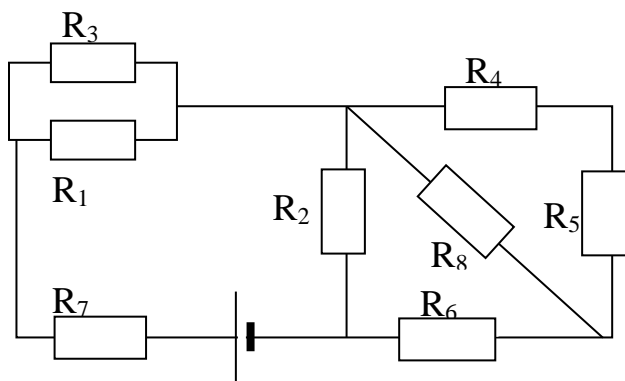


Рис.85.

Задача 2.100. Найти общее сопротивление. Значения сопротивлений резисторов, указанных на схеме (рис.86) считать известными.

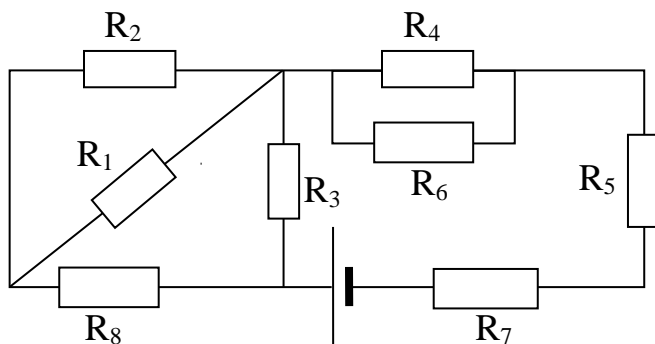


Рис.86.

Задача 2.101. Найти общее сопротивление. Значения сопротивлений резисторов, указанных на схеме (рис.87) считать известными.

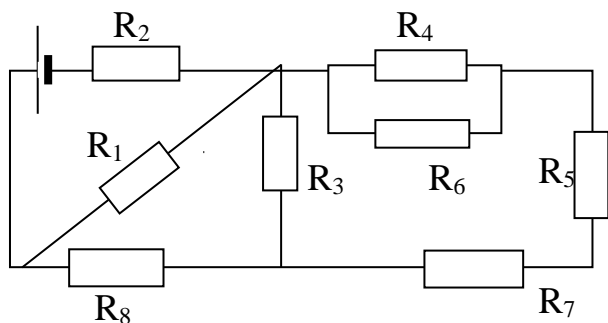


Рис.87.

Задача 2.102. Найти общее сопротивление. Значения сопротивлений резисторов, указанных на схеме (рис.88) считать известными.

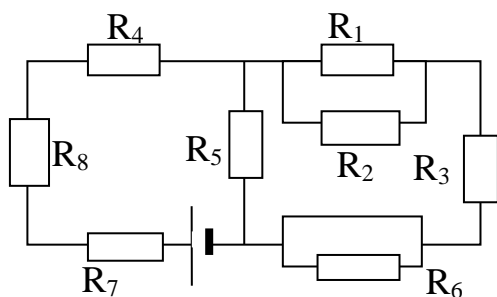


Рис.88.

Задача 2.103. Найти общее сопротивление. Значения сопротивлений резисторов, указанных на схеме (рис. 89) считать известными.

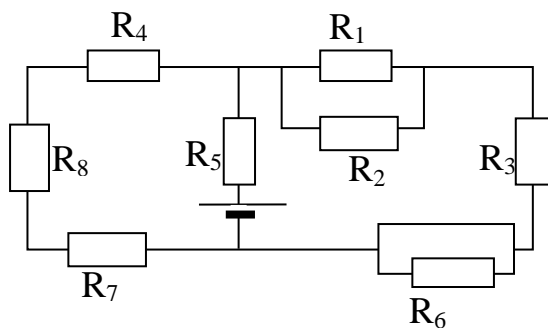


Рис.89.

Задача 2.104 Найти общее сопротивление. Значения сопротивлений резисторов, указанных на схеме (рис. 90) считать известными.

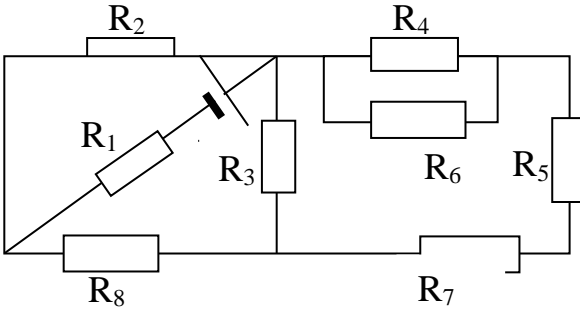


Рис.90.

Задача 2.105. Найти общее сопротивление. Значения сопротивлений резисторов, указанных на схеме (рис. 91) считать известными.

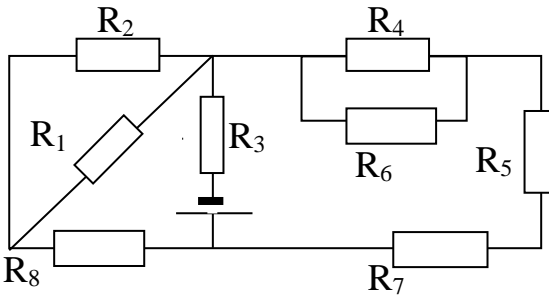
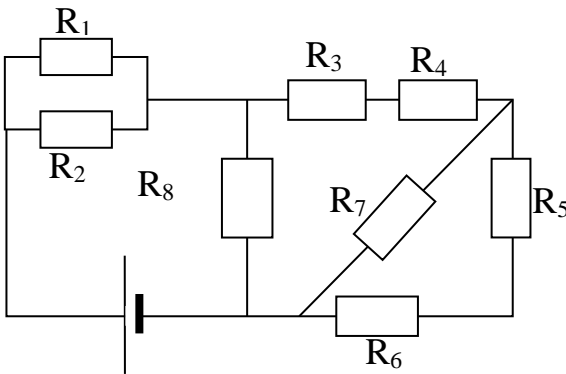


Рис.91.

Задача 2.106. Найти общее сопротивление. Значения сопротивлений резисторов, указанных на схеме (рис. 92) считать известными.



противлений резисторов, указанных на схеме (рис. 92) считать известными.

Рис.92.

Задача 2.107. Найти общее сопротивление. Значения сопротивлений резисторов, указанных на схеме (рис.93) считать известными.

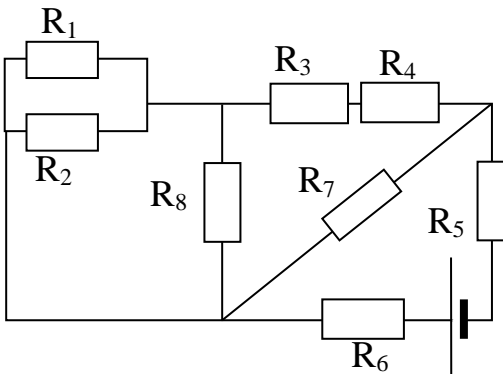


Рис.93.

Задача 2.108. Начертите схемы возможных соединений из 3 резисторов, каждое из которых имеет сопротивление R . Определите сопротивление полученных соединений.

Задача 2.109. Начертите схемы возможных соединений из четырех одинаковых резисторов, каждый из которых имеет сопротивление R . Определите сопротивление полученных соединений.

Задача 2.110. Амперметр A (рис. 94) показывает $3,2$ А, $A_1—1,7$ А и $A_2—0,7$ А. Определите силу тока в

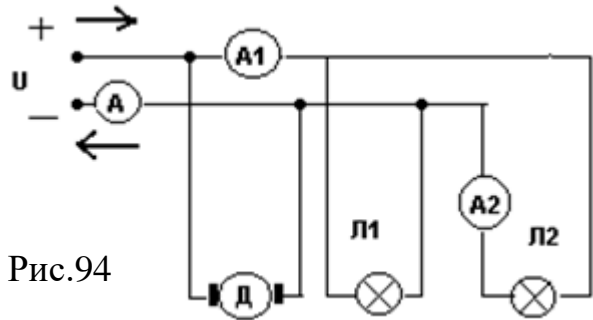


Рис.94

каждой из ламп L_1 и L_2 и в электродвигателе D . Найдите сопротивление каждого потребителя и общее сопротивление цепи, если напряжение $U_0=320$ В.

Задача 2.111. В схеме на рис. 95 амперметр A_3 показывает силу тока 6 А, амперметр A_1 — силу тока 2 А, амперметр A_0 — 12 А. Сопротивление R_2 равно 3 Ом. Определите сопротивления R_1 и R_3 , показания амперметра A_2 , общее сопротивление цепи.

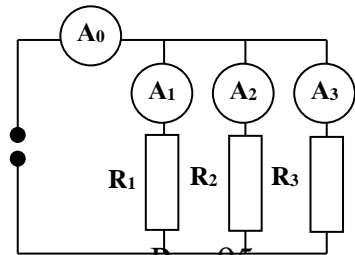


Рис.95.

Задача 2.112. На рисунке 96 изображена схема смешанного соединения проводников, где $R_1=3$ Ом, $R_2=6$ Ом, $R_3=4$ Ом. Вычислите R_{AB} , R_{AC} .

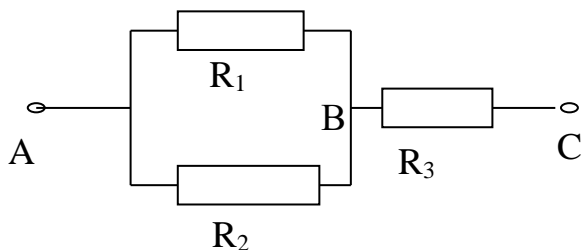


Рис.96.

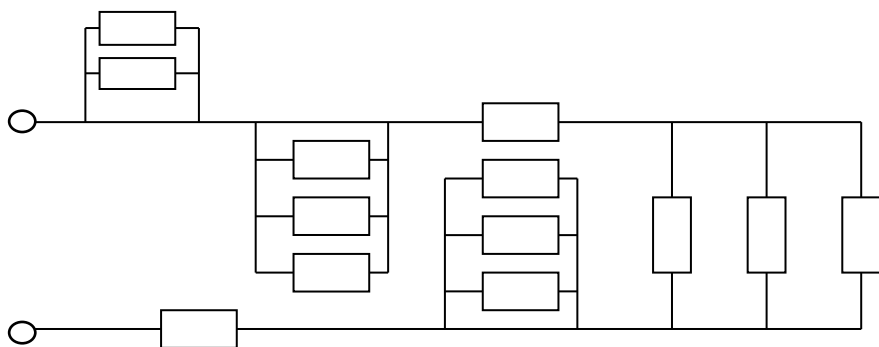


Рис.97

Задача 2.113. Найти сопротивление цепи, изображенной на рисунке 97, если каждое из сопротивлений равно 2 Ом.

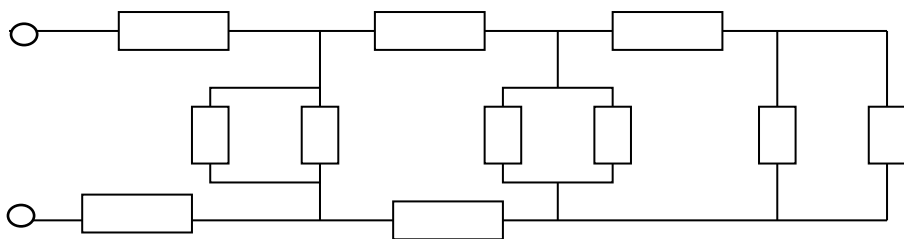


Рис.98.

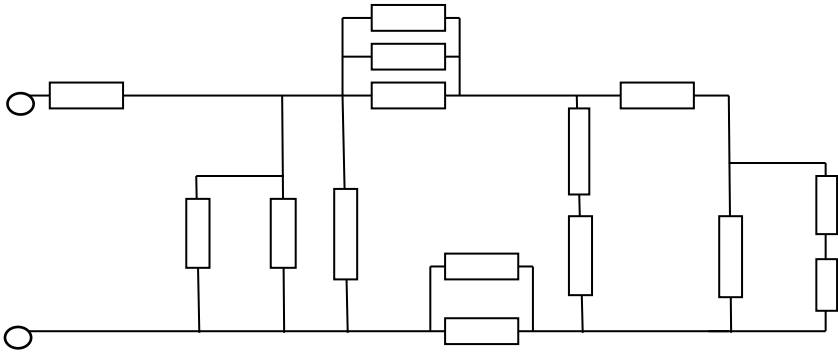


Рис.99.

Задача 2.114. а) Найти сопротивление цепи, изображенной на рис.98, если каждое из сопротивлений равно 2 Ом; б) Найти сопротивление цепи, изображенной на рис.99, если каждое из сопротивлений равно 1 Ом.

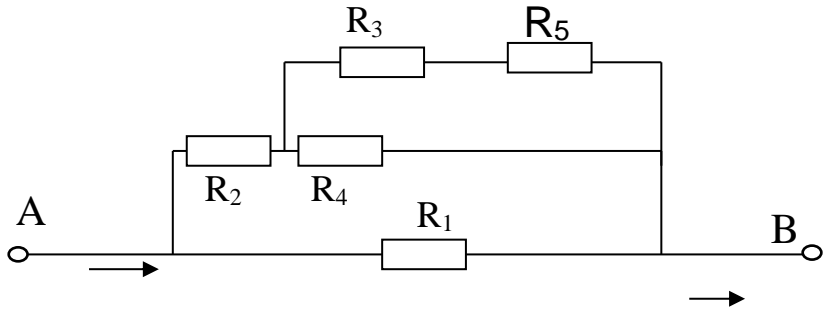


Рис.100.

Задача 2.115. Найти сопротивление между точками А и В, если $R_1=12$ Ом, $R_2=4$ Ом, $R_3=2$ Ом, $R_4=3$ Ом, $R_5=4$ Ом (рис.100).

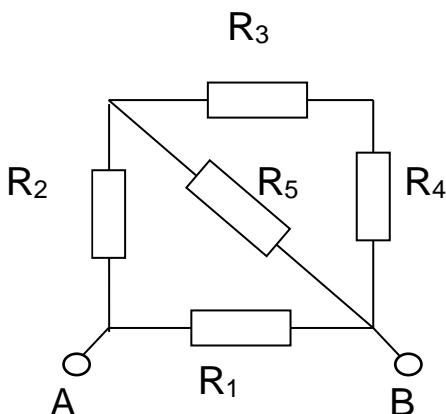


Рис.101.

Задача 2.116. Найти сопротивление между точками А и В, если $R_1=24$ Ом, $R_2=8$ Ом, $R_3=4$ Ом, $R_4=6$ Ом, $R_5=8$ Ом (рис.101).

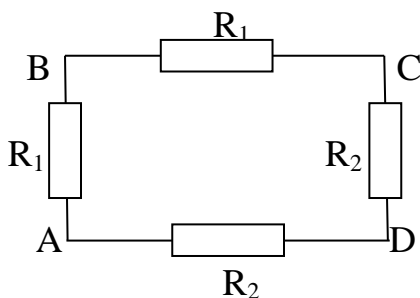


Рис.102.

Задача 2.117. Цепь составлена из двух резисторов R_1 и двух резисторов R_2 (рис.102). Сопротивление резистора R_2 равно удвоенному сопротивлению резистора R_1 ($R_2=2R_1$). Сравните сопротивление этой цепи, если источник тока подключается: 1) к точкам А и С; 2) к точкам В и D. Определите сопротивление

цепи если сопротивление каждого из резисторов $R=1$ Ом.

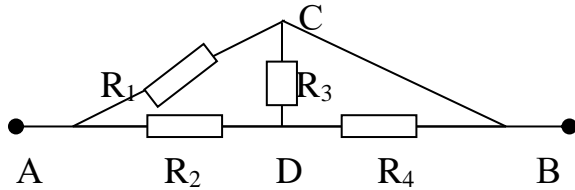


Рис.103.

Задача 2.118. Резисторы сопротивлениями $R_1=1$ Ом, $R_2=2$ Ом, $R_3=3$ Ом, $R_4=4$ Ом (рис. 103) подключены к источнику тока в точках а) АВ; б) АС; в) AD; г) ВС; д) BD; е) CD. Найти общее сопротивление участка при каждом способе включения.

Задача 2.119. Найти сопротивление между точками А и В схемы (рис. 104).

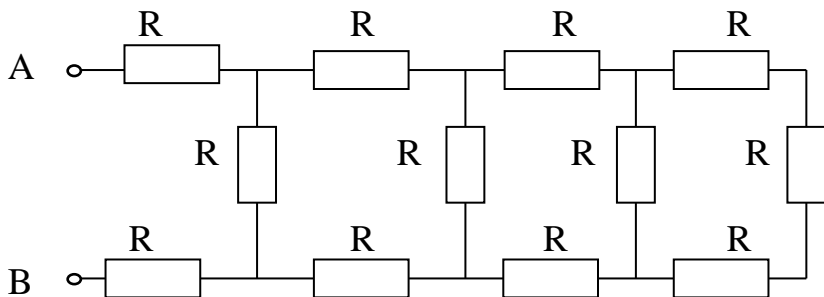


Рис.104.

§13.2. Метод удаления проводника.

Некоторые схемы принципиально не сводятся к последовательному и параллельному соединению проводников. Однако в некоторых случаях, напряжение на отдельных проводниках схемы равно нулю и ток по этим проводникам не идет. В этих ситуациях можно сделать **разрыв цепи** в этих местах и произвести расчет по стандартной методике упрощения схемы. Такие схемы часто обладают определенной симметрией.

Задание 4.

Рассмотрим, например, соединение одинаковых резисторов, которые образуют ток, называемый мост Уитстона

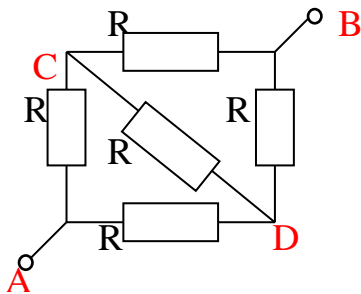


Рис.105

Если источник подключен к точкам А и В, то напряжение U_{CD} между точками С и D равно нулю. Докажем это.

Напряжение—это разность потенциалов:

$$U_{AC} = \varphi_A - \varphi_C$$

$$U_{AD} = \varphi_A - \varphi_D$$

На участках AC и AD из-за симметрии текут одинаковые токи, они имеют одинаковое сопротивление, следовательно напряжения равны, равны и потенциалы в точках C и D.

$$U_{CD} = \varphi_C - \varphi_D = 0$$

Ток через резистор, включенный в диагональ моста, не идет и этот резистор можно исключить из схемы

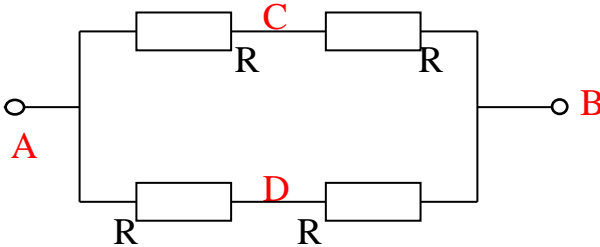


Рис.106.

Теперь можно произвести стандартную процедуру упрощения схемы и легко найти, что сопротивление между точками A и B равно R.

В качестве примера расчета более сложной симметричной схемы рассмотрим следующее задание.

Задание 5.

Найти сопротивление между точками A и B схемы на рис. 107.

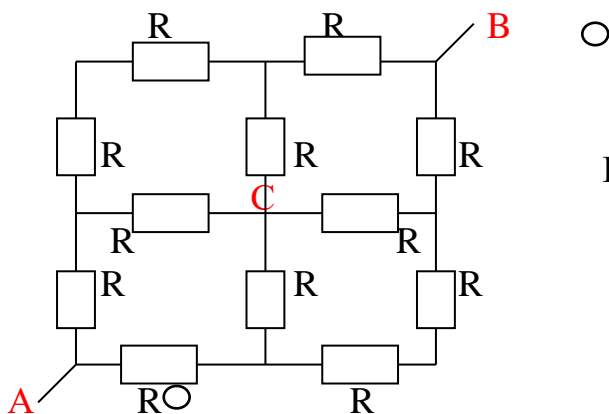


Рис.107.

Решение.

Схему, заданную на рис.108, представим в виде двух одинаковых параллельно соединенных ветвей. Заменяем точку С проводом C_1C_2 .

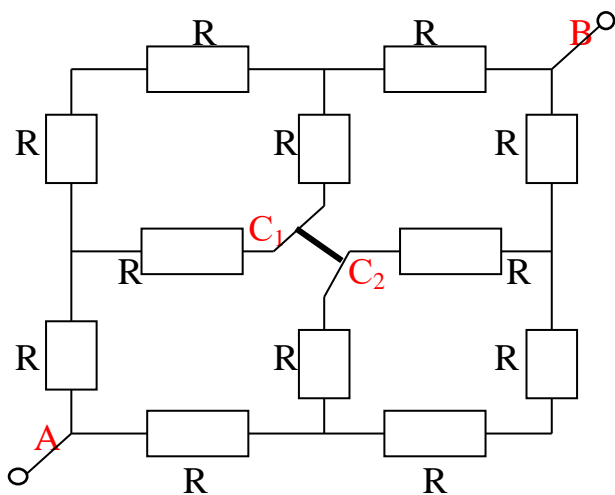


Рис.108.

Предположим, что проводник C_1C_2 убрали (рис.109) Благодаря симметрии схемы на рис. напряжение на участках AC_1 и AC_2 одинаковы, следовательно одинаковы и потенциалы. Отсутствие проводника C_1C_2 не играет ни какой роли.

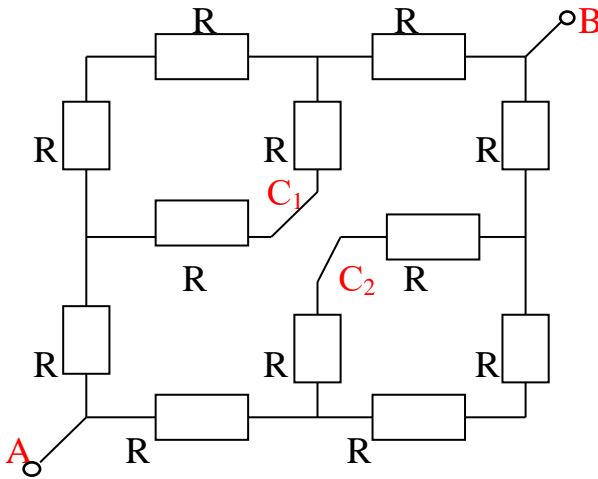


Рис.109.

. Далее действуем по стандартной методике упрощения схемы

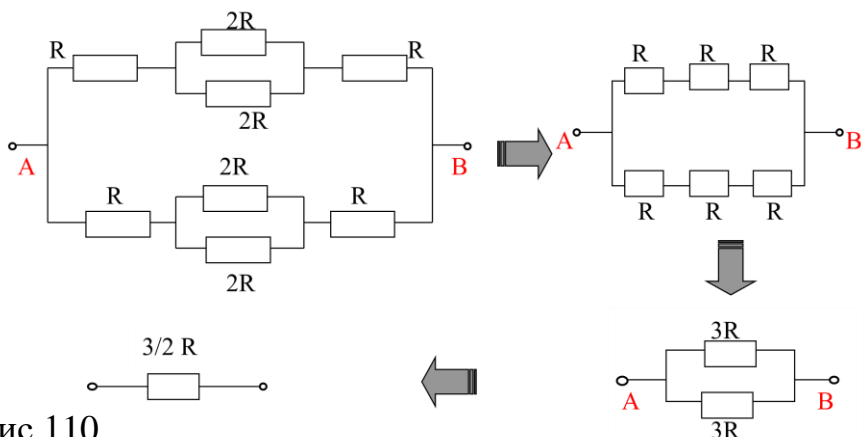


Рис.110.

§13.3. Расчёт бесконечных цепей.

Особая методика существует для расчета сопротивления бесконечного числа повторяющихся элементов схемы. Рассмотрим следующую задачу.

Задание 6.

Определить сопротивление между точками А и В бесконечной цепочки одинаковых резисторов. Каждый резистор имеет сопротивление $R=2$ Ом.

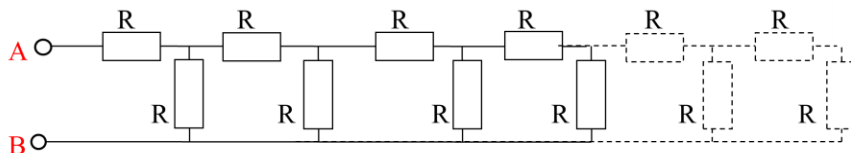


Рис 111

Решение.

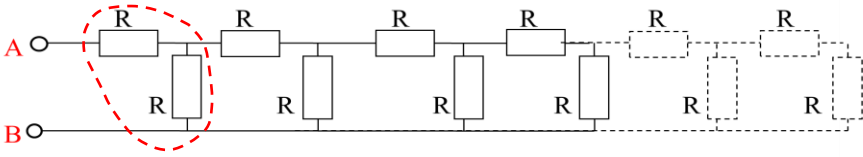


Рис.112. Выделим повторяющийся элемент схемы. В данном случае таким элементом будет такая схема (рис.112) Так как цепочка бесконечна, то при удалении первого элемента сопротивление схемы не изменится. . Обозначим общее сопротивление цепочки через R_0 . Тогда, при удалении первого элемента сопротивление оставшейся цепочки будет также R_0 , и вместо бесконечной цепочки можно рассматривать такую схему (рис.113):

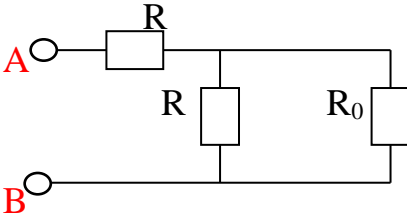


Рис.113

Сопротивление между точками А и В такой схемы:

$$R_{AB} = R + \frac{R \cdot R_0}{R + R_0}$$

Так как $R_{AB} = R_0$

$$R = R + \frac{R \cdot R_0}{R + R_0}$$

Решаем полученное уравнение относительно неизвестной величины R_0 . После приведения к общему знаменателю и группировки подобных членов получим квадратное уравнение

$$R^2_0 - RR_0 - R^2 = 0$$

Решая относительно R_0 , получим

$$R_0 = \frac{R}{2} \pm \sqrt{\frac{R^2}{4} + R^2}$$

$$R_0 = \frac{R}{2} (1 + \sqrt{5})$$

Отрицательный корень отбрасываем, т.к. $R_0 > 0$.

Подставляя значение $R = 2$ Ом, получаем ответ $R_0 = (1 + \sqrt{5})$ Ом

§13.4. Метод соединения точек равного потенциала.

По проводам, соединяющим точки схемы с одинаковыми потенциалами, ток не течёт, следовательно, если добавить провода, соединяющие эти точки, распределение токов не изменится. Потом можно мысленно укоротить добавленные провода, стянуть их в точку, то получим узел.

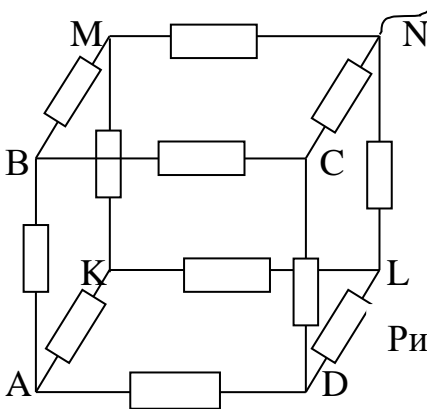


Рис.114.

Задание.7.

Определить сопротивление между точками A и N проволочного куба, сопротивление каждого ребра которого равно R .

Решение.

Токи, текущие из точки А одинаковы во всех трёх проводниках: АВ, АС, АД. Напряжения на них будут равные, и равными будут потенциалы в точках В, С и D. Соединим точки равных потенциалов соединительными проводами и стянем провода в точку. Точки В, С и D сливаются в одну точку.

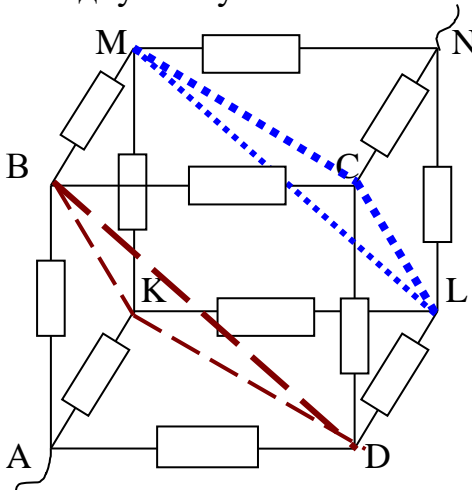


Рис.115.

Аналогично сольются в одну точки М,С и L.

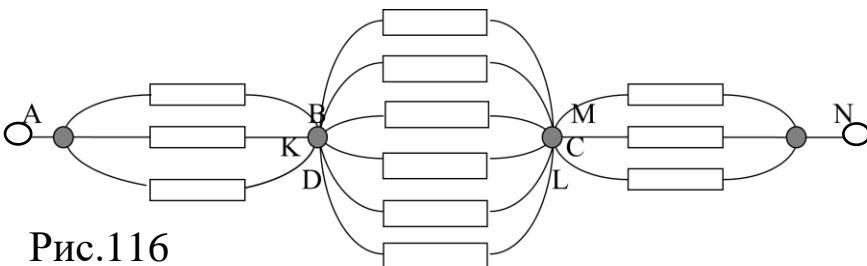


Рис.116

Полученная схема состоит из последовательно соединённых блоков, которые состоят из последовательно соединённых сопротивлений

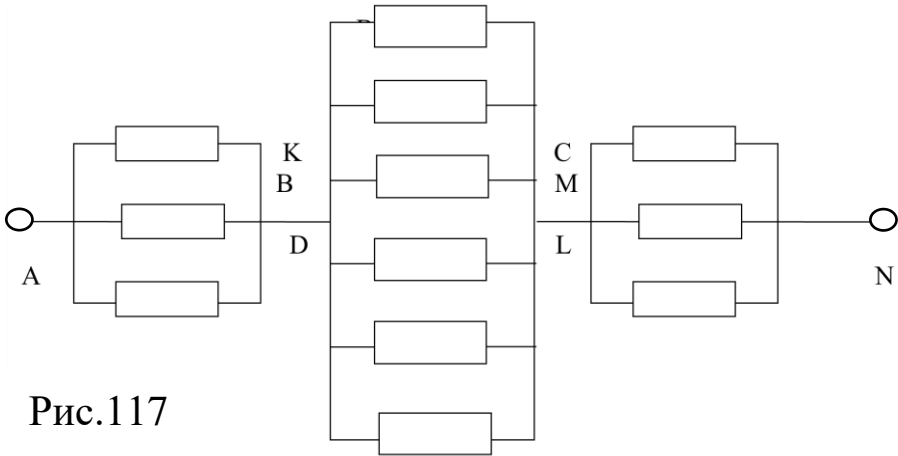


Рис.117

После стандартной процедуры упрощения получаем сопротивление цепи:

$$R_{AN} = \frac{R}{3} + \frac{R}{6} + \frac{R}{3} = \frac{5}{6}R$$

§13.5. Метод сложения напряжений вдоль выбранных траекторий.

Некоторые схемы невозможно свести к блокам, состоящим из параллельных и последовательных сопротивлений.

Задание.7.

Найти сопротивление схемы, в которой известно сопротивление резисторов: $R_1=5\text{Ом}$,

$$R_2=11\text{Ом},$$

$$R_3=9\text{Ом},$$

$$R_4=3\text{Ом},$$

$$R_5=14\text{Ом}.$$

Будем искать общее сопротивление как отношение напряжения на клеммах U_{AD} к втекающему току I_0 :

$$R_{\text{общ}} = \frac{U_{AD}}{I_0}.$$

Представим U_{AD} как разность потенциалов:

$$U_{AD} = \varphi_A - \varphi_D$$

Между точками А, А₁ и А₂ разность потенциалов равна нулю, т.к. они соединены проводом без сопротивления, так же как и точки D, D₁ и D₂. В каждой группе точек потенциалы одинаковы : φ_A и φ_D соответственно.

Разность потенциалов $\varphi_A - \varphi_D$ можно представить в виде разных выражений:

1) $U_{AD} = \varphi_A - \varphi_D = (\varphi_A - \varphi_B) + (\varphi_B - \varphi_C) + (\varphi_C - \varphi_D)$ —соответствует зелёной траектории

2) $U_{AD} = \varphi_A - \varphi_D = (\varphi_A - \varphi_C) + (\varphi_C - \varphi_B) + (\varphi_B - \varphi_D)$ —голубая траектория

3) $U_{AD} = \varphi_A - \varphi_D = (\varphi_A - \varphi_B) + (\varphi_B - \varphi_D)$ —красная траектория

4) $U_{AD} = \varphi_A - \varphi_D = (\varphi_A - \varphi_C) + (\varphi_C - \varphi_D)$ —жёлтая траектория

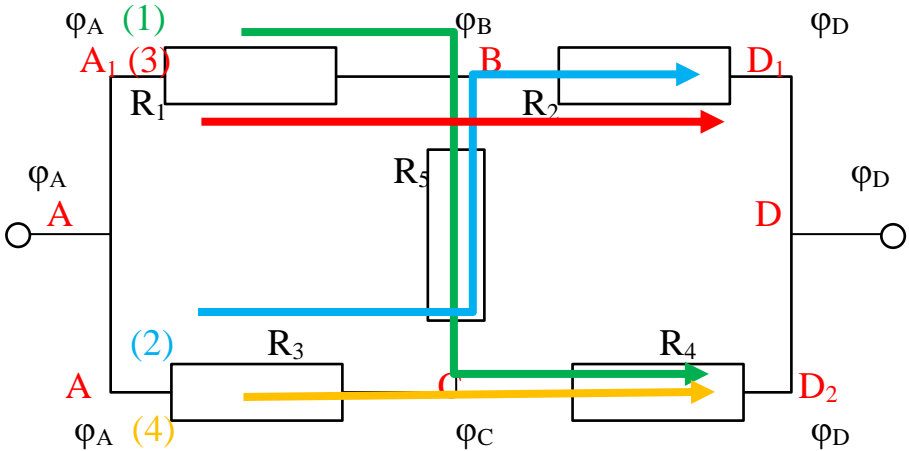


Рис.118

Произвольно расставим токи (направление тока ΔI через резистор R_5 зависит от сопротивлений других резисторов).

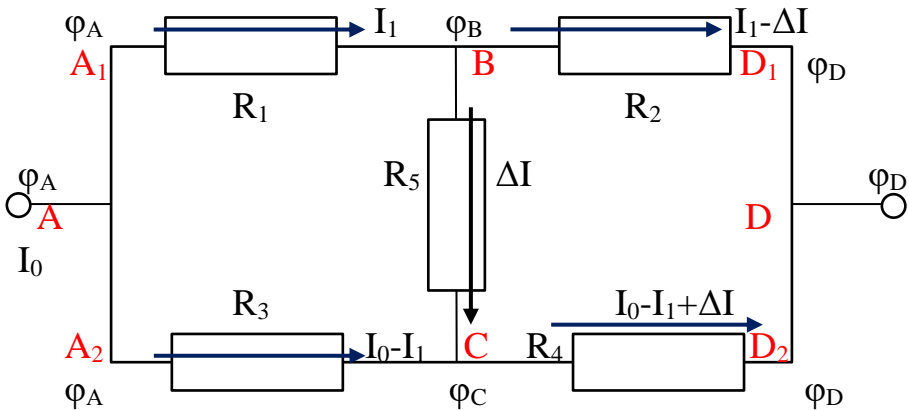


Рис.119

Разность потенциалов на каждом резисторе:

$$\varphi_A - \varphi_B = I_1 \cdot R_1$$

$$\varphi_B - \varphi_C = \Delta I \cdot R_5$$

$$\varphi_A - \varphi_C = (I_0 - I_1) \cdot R_3$$

$$\varphi_C - \varphi_D = (I_0 - I_1 + \Delta I) \cdot R_4$$

$$\varphi_B - \varphi_D = (I_1 - \Delta I) \cdot R_2$$

Подставим в выражения для траекторий:

$$\left\{ \begin{array}{l} 1) U_{AD} = I_1 \cdot R_1 + \Delta I \cdot R_5 + (I_0 - I_1 + \Delta I) \cdot R_4 \\ 2) U_{AD} = (I_0 - I_1) \cdot R_3 - \Delta I \cdot R_5 + (I_1 - \Delta I) \cdot R_2 \\ 3) U_{AD} = I_1 \cdot R_1 + (I_1 - \Delta I) \cdot R_2 \\ 4) U_{AD} = (I_0 - I_1) \cdot R_3 + (I_0 - I_1 + \Delta I) \cdot R_4 \end{array} \right.$$

Систему уравнений удобнее решать в числах:

$$1) U_{AD} = I_1 \cdot 5 + \Delta I \cdot 14 + (I_0 - I_1 + \Delta I) \cdot 3 = 3 I_0 + 2 I_1 + 17 \Delta I$$

$$2) U_{AD} = (I_0 - I_1) \cdot 9 - \Delta I \cdot 14 + (I_1 - \Delta I) \cdot 11 = 9 I_0 + 2 I_1 - 25 \Delta I$$

$$3) U_{AD} = I_1 \cdot 5 + (I_1 - \Delta I) \cdot 11 = 16 I_1 - 11 \Delta I$$

$$4) U_{AD} = (I_0 - I_1) \cdot 9 + (I_0 - I_1 + \Delta I) \cdot 3$$

Последнее уравнение лишнее (его можно получить из первых трёх).

$$\Delta I = \frac{1}{7} I_0$$

$$I_1 = \frac{1}{2} I_0$$

$$U_{AD} = \frac{45}{7} I_0$$

$$R_{\text{общ}} = \frac{45}{7} \text{ Ом} \approx 6,430 \text{ М}$$

§13.6. Метод превращения треугольника в звезду

В схеме можно выделить кусок и заменить его так, что не изменятся втекающие токи, потенциалы на концах, соединяющих кусок с остальной схемой, выделяемое тепло.

Часть схемы, в виде трёх сопротивлений r_{12} , r_{23} , r_{13} , соединённых треугольником, заменяют «звездой» из резисторов R_1 , R_2 , R_3 :

$$R_1 = \frac{r_{12} \cdot r_{13}}{r_{12} + r_{13} + r_{23}} ; \quad R_2 = \frac{r_{12} \cdot r_{23}}{r_{12} + r_{13} + r_{23}} ;$$

$$R_3 = \frac{r_{23} \cdot r_{13}}{r_{12} + r_{13} + r_{23}} .$$

Возможен пересчёт «звезды» в треугольник. Для более изящного вида формул введём проводимости:

$$\lambda_{12} = \frac{1}{r_{12}} ; \quad \lambda_{13} = \frac{1}{r_{13}} ; \quad \lambda_{23} = \frac{1}{r_{23}} ;$$

$$\sigma_1 = \frac{1}{R_1} ; \quad \sigma_2 = \frac{1}{R_2} ; \quad \sigma_3 = \frac{1}{R_3} .$$

$$\lambda_{12} = \frac{\sigma_1 \cdot \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3} ; \quad \lambda_{13} = \frac{\sigma_1 \cdot \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3} ;$$

$$\lambda_{23} = \frac{\sigma_2 \cdot \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}$$

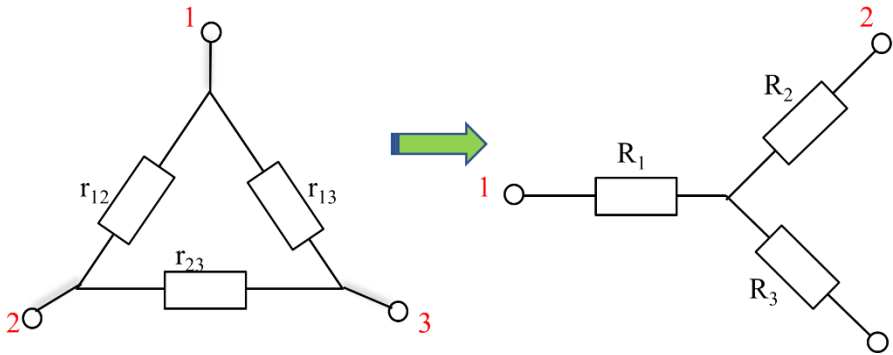


Рис.120.

Задание.7а.

Решим задание 7 методом превращения треугольника в «звезду». Перечертим исходную схему (рис.121) в другом виде (рис.122):

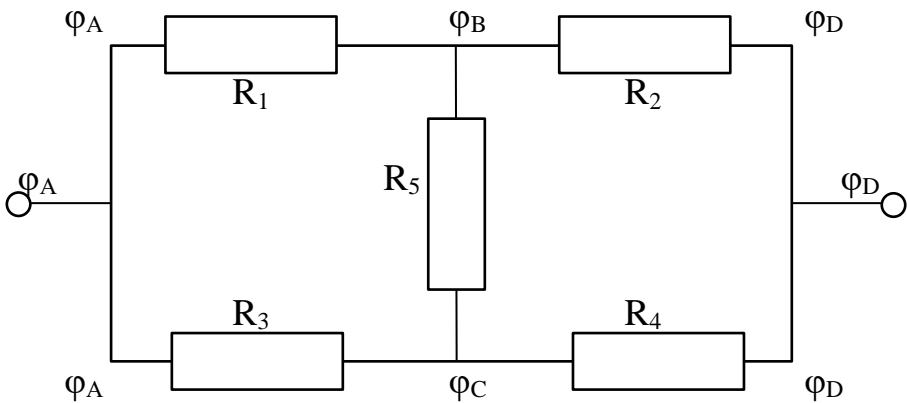


Рис. 121.

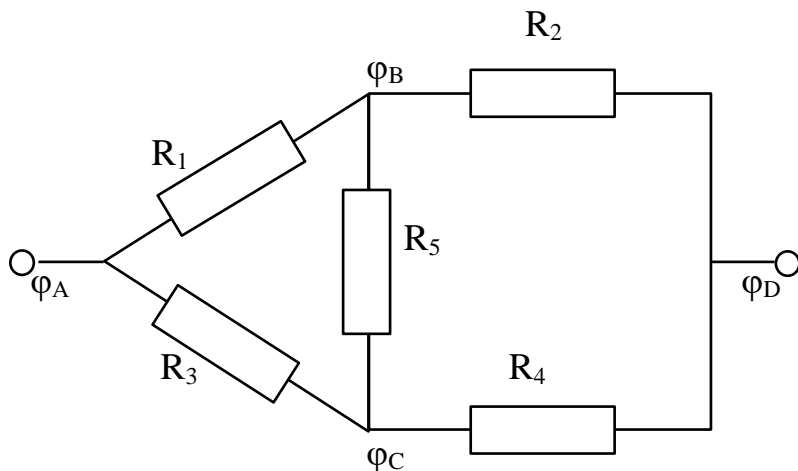


Рис.122.

Вычислим новые сопротивления для схемы на рисунке :

$$R_A = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3 + R_5} \quad R_A = \frac{5 \cdot 9}{5 + 9 + 14} = \frac{45}{28}$$

$$R_B = \frac{R_1 \cdot R_5}{R_1 + R_3 + R_5} \quad R_B = \frac{5 \cdot 14}{5 + 9 + 14} =$$

$$\frac{5}{2} = 2,5$$

$$R_C = \frac{R_5 \cdot R_3}{R_1 + R_3 + R_5} \quad R_C = \frac{14 \cdot 9}{5 + 9 + 14} =$$

$$\frac{9}{2} = 4,5$$

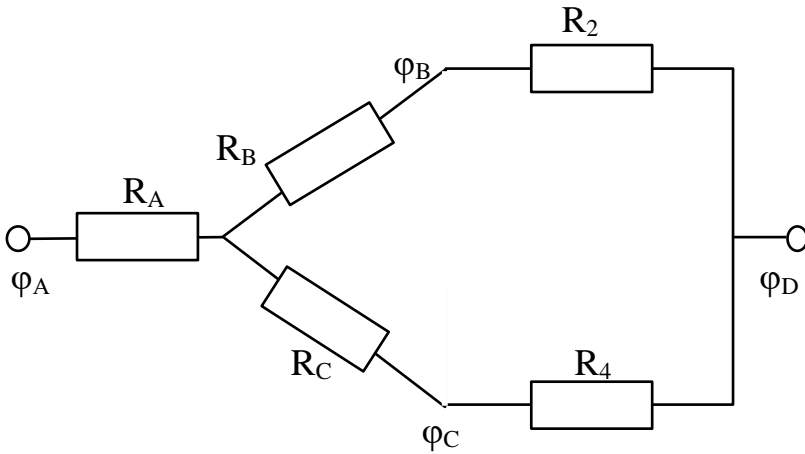


Рис.123.

$$R_{\text{общ}} = R_A + \frac{(R_B + R_2) \cdot (R_C + R_4)}{(R_B + R_2) + (R_C + R_4)}$$

$$R_{\text{общ}} = \frac{45}{28} + \frac{(2,5 + 11) \cdot (4,5 + 3)}{(2,5 + 11) + (4,5 + 3)}$$

$$R_{\text{общ}} = \frac{45}{7} \text{ Ом} \approx 6,430 \text{ Ом}$$

Задачи для самостоятельного решения на смешанное соединение проводников.

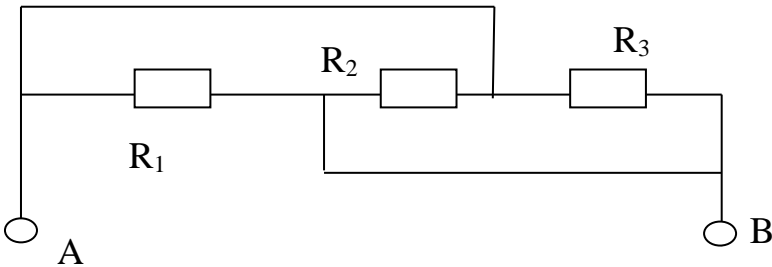


Рис.124.

Задача 2.120. Три проводника сопротивлением $R_1=6$ Ом, $R_2=3$ Ом и $R_3=2$ Ом подключены к источнику $U_{AB}=4$ В так, как показано на рис.124. Каково общее сопротивление цепи? Какова сила тока в каждом проводнике? Какое общее сопротивление будет иметь участок цепи АВ, если сделать разрыв: а) в верхнем из соединительных проводов; б) в нижнем проводе; в) в обоих проводах одновременно? Какая сила тока будет в проводниках в каждом случае?

Задача 2.121. Круглое кольцо из медной проволоки длиной 60 см и диаметром 0,1 мм включено так, как показано на рис. 125. Найти сопротивление цепи. При какой длине меньшего участка $AB = x$ сопротивление цепи составит 0,2 Ом?

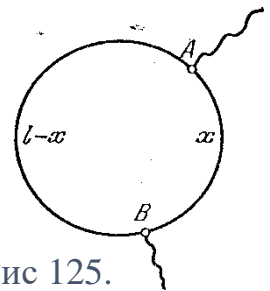


Рис 125.

Задача 2.123. Резисторы сопротивлениями $R_1=6$ Ом, $R_2=12$ Ом и $R_3=36$ Ом соединили последовательно. Затем начало резистора R_1 соединили проводником с точкой, лежащей между резисторами R_2 и R_3 , а конец резистора R_3 – с точкой между резисторами R_1 и R_2 . Начертите схему полученного соединения и определите, чему стало равно сопротивление цепи. (Сопротивлением соединительных проводников пренебречь).

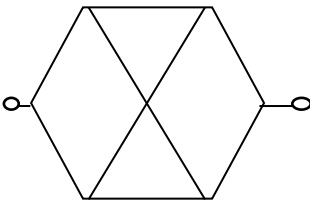


Рис.126.

Задача 2.122. Определите сопротивление однородного проволочного каркаса в форме правильного шестиугольника с двумя диагоналями, соединенными в центре. Сопротивление каждой стороны шестиугольника принять равным R .

Задача 2.124. Две проволоки при параллельном соединении имеют сопротивление $3,43$ Ом, а при последовательном соединении – сопротивление 14 Ом. Найти сопротивление каждой проволоки.

Задача 2.125. Найти сопротивление между точками A и C схемы (рис. 127).

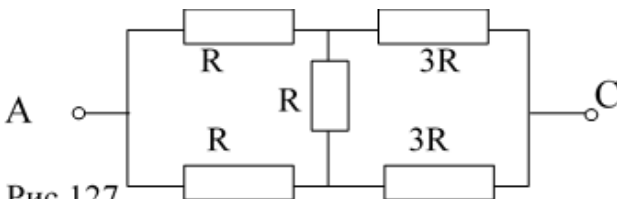


Рис.127.

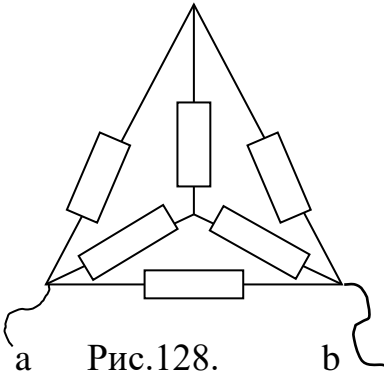


Рис.128.

Задача 2.126. Провода соединены по схеме на рис. 127. Сопротивление каждого из проводов равно 1 Ом. Чему равно сопротивление R_{ab} между точками а и b?

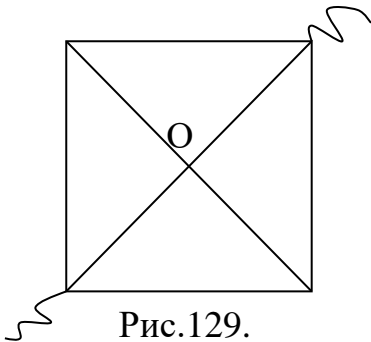


Рис.129.

Задача 2.127. Найти сопротивление проволочной фигуры. Провод однородный, алюминиевый, диаметром 0,4 мм. Длина стороны квадрата 20 см.

Задача 2.128. Найти сопротивление между точками А и В схемы на рис. 130, между точками А и С, А и D, если сопротивление каждого резистора равно R.

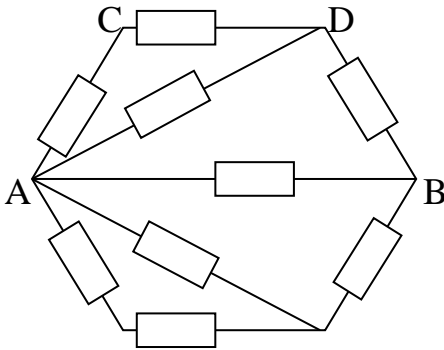


Рис.130.

Задача 2.129. Найти сопротивление между точками A и B схемы на рис. 131, между точками A и C, A и D, если сопротивление каждого резистора равно R .

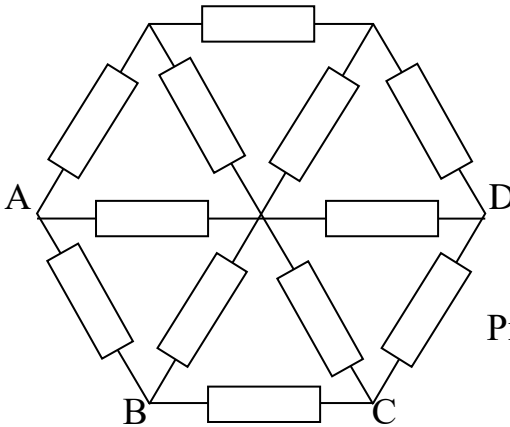


Рис.131.

Задача 2.130. Найти общее сопротивление $R_{\text{общ}}$ участка цепи (рис.132), содержащего бесконечное число проводников сопротивлением R каждый.

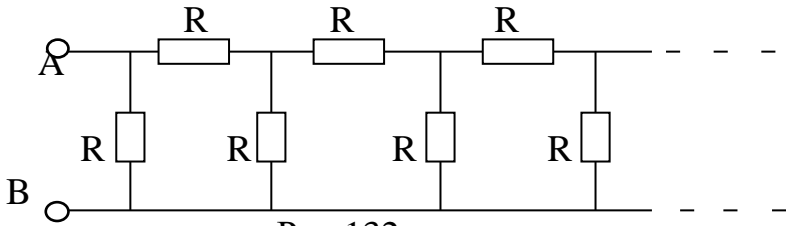


Рис.132.

Задача 2.131. Найти общее сопротивление бесконечной цепочки одинаковых проводников (рис.133), сопротивление каждого из которых $R=4$ Ом.

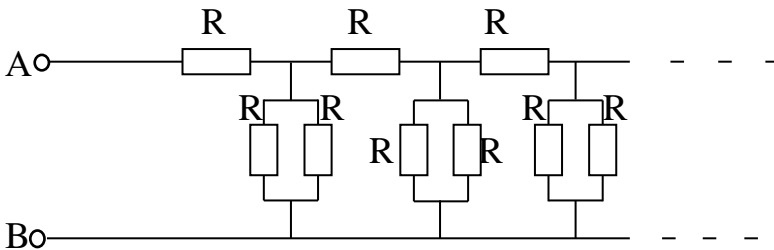


Рис.133.

Задача 2.132. Определить сопротивление бесконечного числа проводников, состоящей из ячеек, у которых сопротивление каждой последующей ячейки в два раза больше предыдущей. (рис. 134)

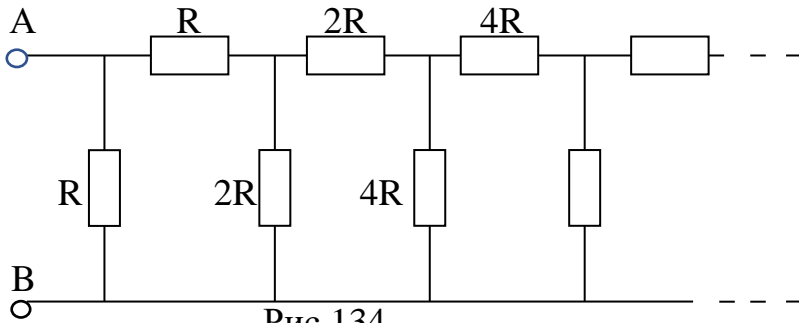


Рис.134.

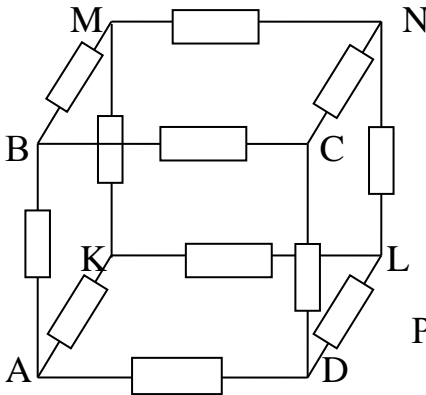


Рис.135.

Задача 2.133. Определить сопротивление между точками A и B проволочного куба (рис.135), сопротивление каждого ребра которого равно R .

Задача 2.134. Определить сопротивление между точками A и C проволочного куба (рис.135), сопротивление каждого ребра которого равно R .

§14. Определение токов и напряжений при смешанном соединении проводников.

Пример решения задачи.

Задание 6.

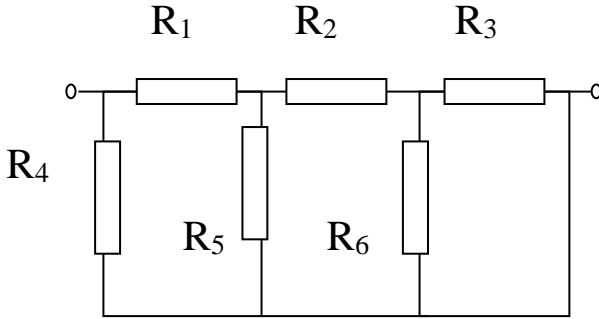


Рис.136.

Найти полное сопротивление цепи, изображённой на рис.36, и ток, текущий через сопротивление R_5 , если через сопротивление R_4 течёт ток 10А.

$R_1=10\text{Ом}$, $R_2=20\text{Ом}$, $R_3=30\text{Ом}$, $R_4=40\text{Ом}$, $R_5=50\text{Ом}$, $R_6=60\text{Ом}$.

Решение

Выделим блок из параллельно соединённых сопротивлений R_3 и R_6 :

Схема №1

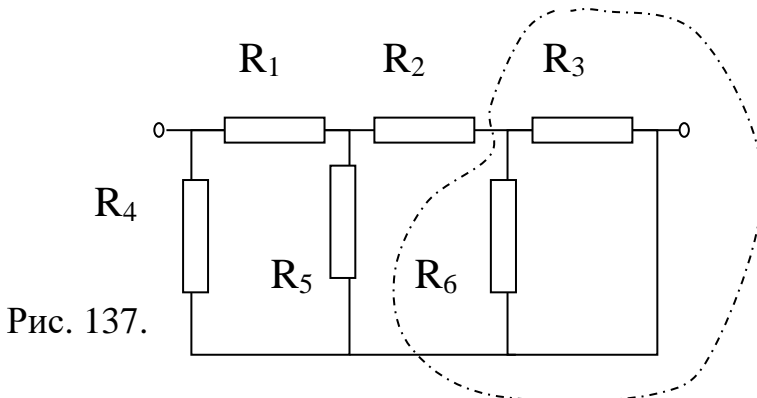


Рис. 137.

Заменяем блок эквивалентным сопротивлением R_{36} .

$$\frac{1}{R_{36}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_6}, \text{ преобразуем:}$$

$$R_{36} = \frac{R_3 \cdot R_6}{R_3 + R_6}.$$

Подставим численные значения:

$$R_{36} = \frac{30\text{М} \cdot 60\text{М}}{30\text{М} + 60\text{М}} = 20\text{М}$$

Получим схему, эквивалентную прежней:

Схема №2

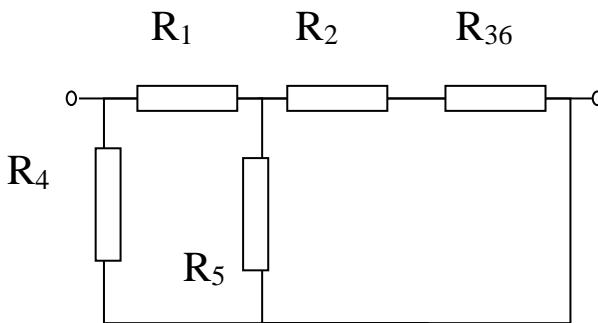


Рис. 138.

Выделим следующий блок последовательно соединённых сопротивлений R_2 и R_{36} :

Схема №3

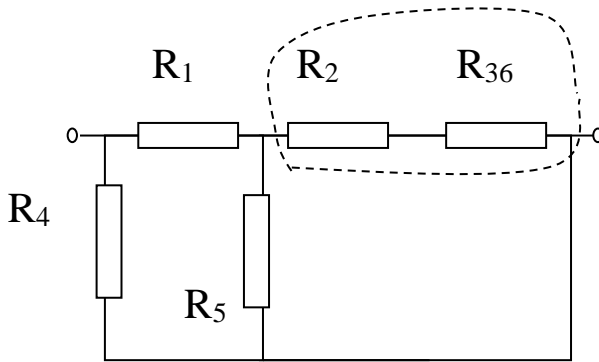


Рис. 139.

Вычислим эквивалентное сопротивление R_{362}

$$R_{362} = R_{36} + R_2,$$

$$R_{362} = 2\text{Ом} + 2\text{Ом} = 4\text{Ом}$$

Схема №4

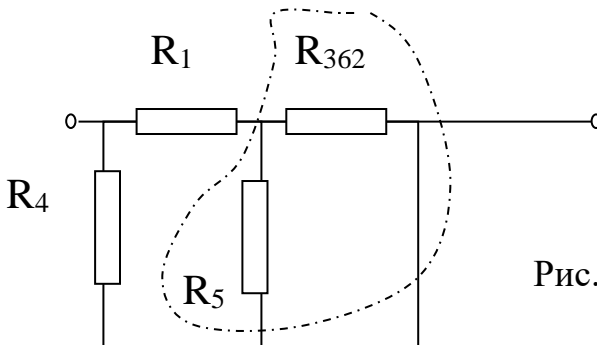


Рис.140.

Выделим следующий блок параллельно соединённых сопротивлений R_5 и R_{362} и вычислим эквивалентное сопротивление R_{3625} :

$$R_{3625} = \frac{R_{362} \cdot R_5}{R_{362} + R_5}$$

$$R_{3625} = \frac{40\text{М} \cdot 50\text{М}}{40\text{М} + 50\text{М}} = 2,22\text{М}$$

Схема№5

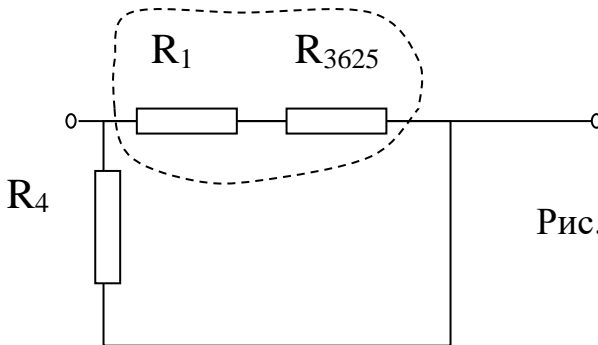


Рис.141.

Блок последовательно соединённых сопротивлений R_1 и R_{3625} имеет сопротивление R_{36251}

$$R_{36251} = R_{3625} + R_1$$

$$R_{36251} = 3,22\text{М}$$

Осталось вычислить полное сопротивление цепи $R_{\text{полн}}$.

Схема№6

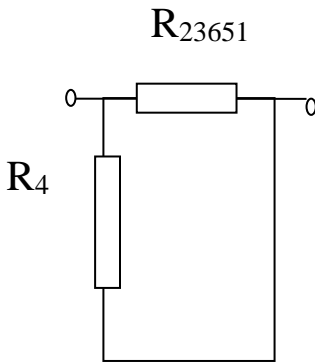


Рис.142.

$$R_{полн} = \frac{R_{36251} \cdot R_4}{R_{36251} + R_4}$$

$$R_{полн} = \frac{3,22 \text{ Ом} \cdot 4 \text{ Ом}}{3,22 \text{ Ом} + 4 \text{ Ом}} = 1,78 \text{ Ом}$$

Для определения величины тока через сопротивление R_5 необходимо рассмотреть схему №4, где часть исходной схемы заменено эквивалентным сопротивлением R_{362}

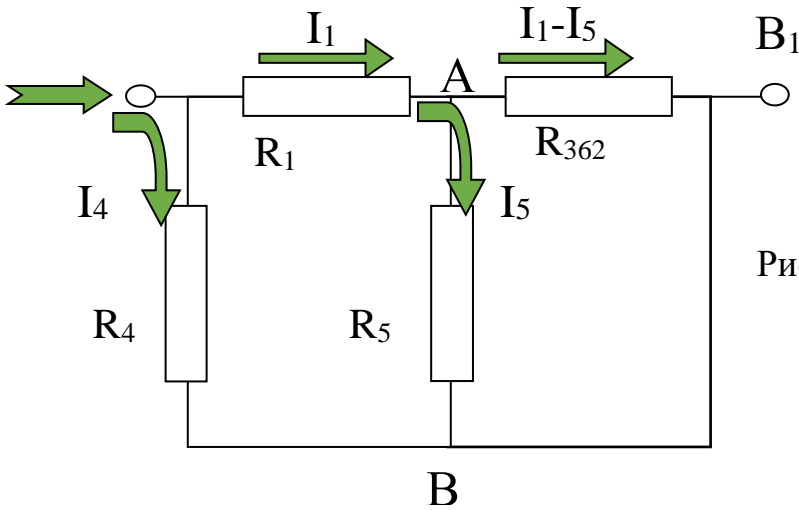


Рис.143.

Ток I_1 делится на два рукава: I_1 и $I_1 - I_5$ обратно пропорционально сопротивлению проводников, соединённых параллельно.

$$\frac{I_5}{I_1 - I_5} = \frac{R_{362}}{R_5}$$

Решим полученное уравнения относительно I_5 :

$$I_5 \cdot R_5 = (I_1 - I_5) \cdot R_{362}$$

$$I_5 \cdot (R_5 + R_{362}) = I_1 \cdot R_{362}$$

$$I_5 = I_1 \cdot \frac{R_{362}}{R_5 + R_{362}}$$

Аналогично, используя схему №6, выразим I_1 через I_4 , учитывая обратно пропорциональную зависимость тока от сопротивления при параллельном соединении проводников:

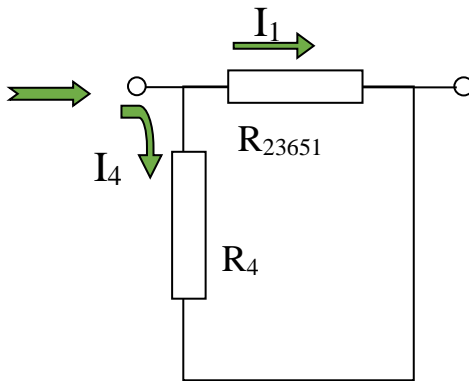


Рис.144.

$$\frac{I_4}{I_1} = \frac{R_{36251}}{R_4},$$

преобразуем

$$I_4 \cdot R_4 = I_1 \cdot R_{36251}$$

$$I_1 = \frac{I_4 \cdot R_4}{R_{36251}}, \text{ подставим в формулу для } I_1 .$$

$$I_5 = \frac{I_4 \cdot R_4}{R_{36251}} \cdot \frac{R_{362}}{R_5 + R_{362}}$$

Проведём вычисления:

$$I_5 = \frac{10 \cdot 4}{3,22} \cdot \frac{4}{5 + 4} = 5,52$$

$$I_5 = 5,52 \text{ A}$$

Задачи для самостоятельного решения на определение токов и напряжений при смешанном соединении проводников.

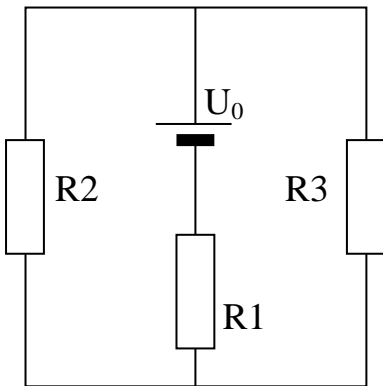


Рис.145.

Задача 2.135. В цепи на рис.145, $U_0 = 3,0 \text{ В}$, $R_1 = 1,4 \text{ Ом}$, $R_2 = 2,0 \text{ Ом}$, $R_3 = 8,0 \text{ Ом}$. Найти силы тока в R_1 , R_2 , R_3 .

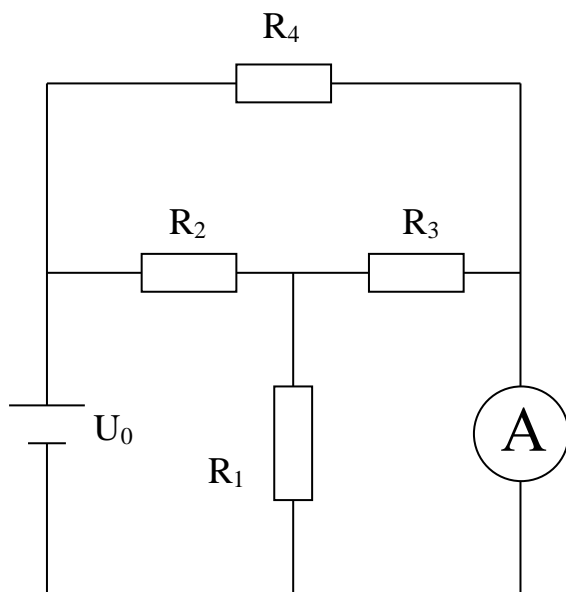


Рис.146.

Задача 2.136. Что покажет амперметр в схеме на рис.146, если $R_1 = R_2 = R_3 = 10 \text{ Ом}$, $R_4 = 15 \text{ Ом}$, $U_0 = 30 \text{ В}$? Сопротивление амперметра очень мало.

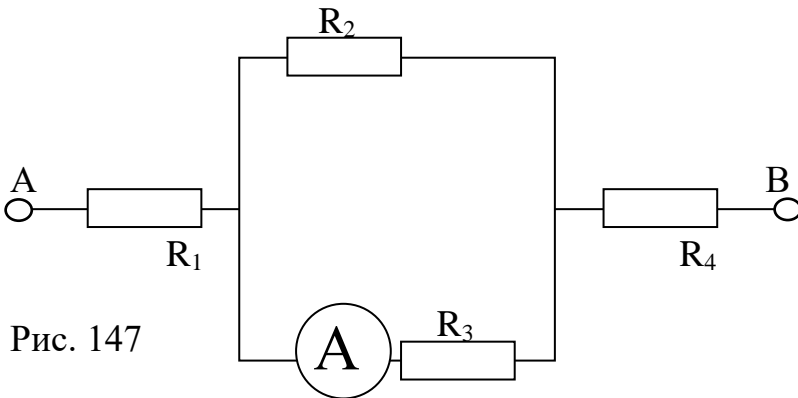


Рис. 147

Задача 2.137. Найти силу токов и напряжения в цепи на рис.147, если амперметр показывает 2А, а сопротивление резисторов $R_1 = 2\text{Ом}$, $R_2 = 10\text{Ом}$, $R_3 = 15\text{Ом}$, $R_4 = 4\text{Ом}$.

Задача 2.138. В цепь, состоящую из трех ламп, соединенных по схеме (Рис. 148), подано напряжение 90 В. Сила тока, потребляемая от источника, равна 0,5А. Сопротивление одной из ламп разветвленного участка равно сопротивлению лампы, включенной в неразветвленную часть цепи, а сопротивление второй лампы разветвленного участка в 4 раза больше. Найдите сопротивление каждой лампы, напряжение на лампах разветвленного участка и силу тока в них.

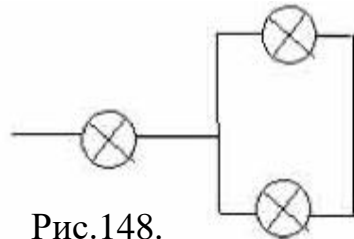


Рис.148.

Задача 2.139. На схеме (рис. 149) известно сопротивление резисторов $R_3=10\text{ Ом}$ и $R_4=20\text{ Ом}$, показания вольтметра V $U_V=20\text{ В}$, амперметра A $I_A=3\text{ А}$ и амперметра A_1 $I_{A1}=5\text{ А}$. Найти сопротивления оставшихся резисторов $R_1=?$, $R_2=?$, показания вольтметра V_1 $U_{V1}=?$ и общее сопротивление цепи $R_{\text{общее}}=?$

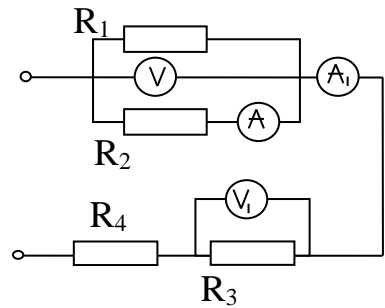


Рис. 149.

Задача 2.140. На схеме (рис. 149) известно сопротивление резисторов $R_3=10\text{ Ом}$ и $R_1=5\text{ Ом}$, $R_4=50\text{ Ом}$, показания вольтметра V_1 $U_{V1}=100\text{ В}$, амперметра A $I_A=4\text{ А}$. Найти сопротивления оставшегося резистора $R_2=?$, показания вольтметра V_1 $U_{V1}=?$ и амперметра A_1 $I_{A1}=?$, общее сопротивление цепи $R_{\text{общее}}=?$

Задача 2.141. На схеме (рис. 150) известно сопротивление резисторов $R_1=4\text{ Ом}$, $R_2=4\text{ Ом}$, $R_3=2\text{ Ом}$, показания вольтметра V_1 $U_{V1}=24\text{ В}$, амперметра A_1 $I_{A1}=6\text{ А}$. Найти сопротивления оставшегося резистора $R_4=?$, показания

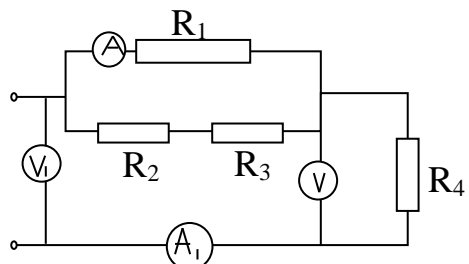


Рис. 150.

вольтметра V $U_V=?$ и амперметра A $I_A=?$, общее сопротивление цепи $R_{общее}=?$

Задача 2.142. На схеме (рис. 150) известно сопротивление резисторов $R_2=10$ Ом и $R_1=20$ Ом, показания вольтметра V_1 $U_{V1}=120$ В, амперметра A $I_A=1$ А и амперметра A_1 $I_{A1}=3$ А. Найти сопротивления оставшихся резисторов $R_3=?$, $R_4=?$, показания вольтметра V $U_V=?$ и общее сопротивление цепи $R_{общее}=?$

Задача 2.143. На схеме (рис. 151) известно сопротивление резисторов $R_1=10$ Ом и $R_3=60$ Ом, показания вольтметра V_1 $U_{V1}=240$ В, амперметра A $I_A=15$ А и амперметра A_1 $I_{A1}=6$ А. Найти сопротивления оставшихся резисторов $R_4=?$, $R_2=?$, показания вольтметра V $U_V=?$ и общее сопротивление цепи $R_{общее}=?$

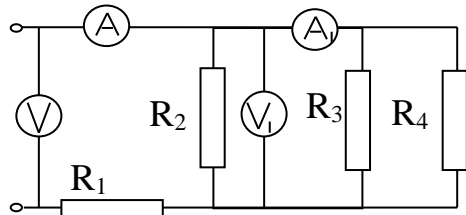


Рис. 151.

Задача 2.144. На схеме (рис. 151) известно сопротивление резисторов $R_3=40$ Ом и $R_2=30$ Ом, показания вольтметра V_1 $U_{V1}=60$ В, вольтметра V $U_V=100$ В амперметра A $I_A=5$ А и . Найти сопротивления оставшихся резисторов $R_1=?$, $R_4=?$, показания амперметра A_1 $I_{A1}=?$ и общее сопротивление цепи $R_{общее}=?$

Задача 2.145. Пять проводников одинакового сопротивления соединили так, что под действием общего напряжения 5В сила тока в цепи оказалась равной 1А. Определите сопротивление отдельного проводника и начертите схему цепи. Одно ли решение имеет задача?

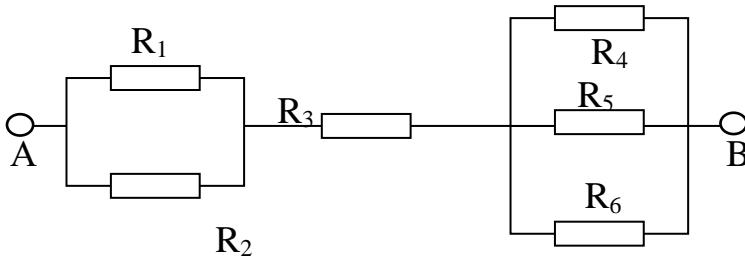


Рис.152

Задача 2.146. Найти распределение токов в цепи, приведенной на рисунке 152, если напряжение $U_{AB} = 48 \text{ В}$, $R_1 = R_3 = 3 \text{ Ом}$, $R_2 = 6 \text{ Ом}$, $R_4 = 5 \text{ Ом}$, $R_5 = 10 \text{ Ом}$, $R_6 = 30 \text{ Ом}$.

Задача 2.147. Найти силу тока во всех резисторах и в неразветвленной части цепи на рис.153, а также подведенное к цепи напряжение U , если амперметр показывает 10А, $R_1 = 6,4 \text{ Ом}$; $R_2 = 4,2 \text{ Ом}$; $R_3 = 12 \text{ Ом}$; $R_4 = 6 \text{ Ом}$; $R_5 = 3 \text{ Ом}$; $R_6 = 8 \text{ Ом}$; $R_7 = 20 \text{ Ом}$.

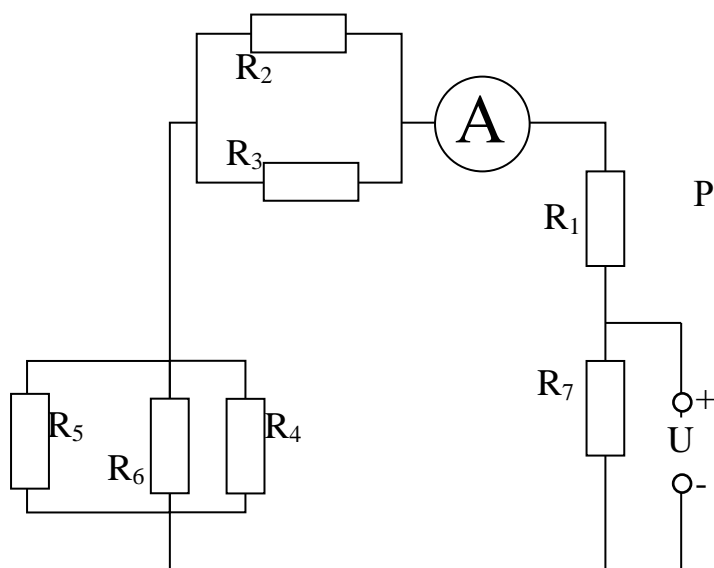


Рис.153

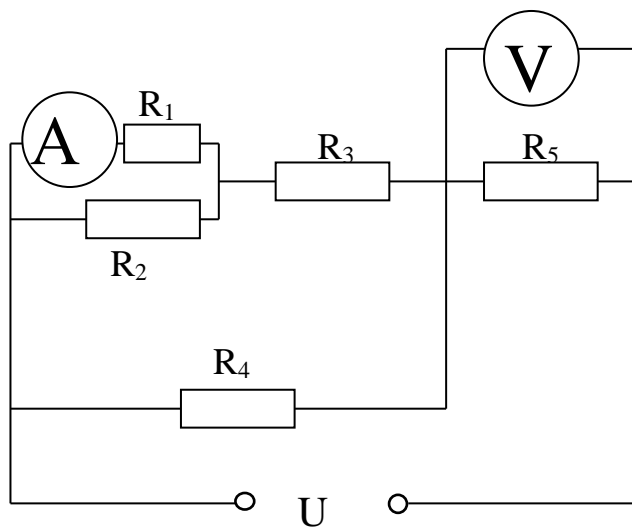
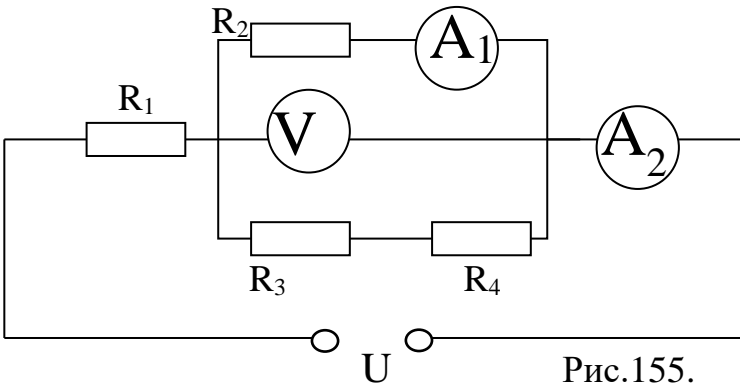


Рис.154.

Задача 2.148. Определить показания амперметра и вольтметра на рис 154, если $R_1 = 12 \text{ Ом}$, $R_2 = 6 \text{ Ом}$, $R_3 = 2 \text{ Ом}$, $R_4 = 3 \text{ Ом}$, $R_5 = 4 \text{ Ом}$, $U = 12 \text{ В}$

Задача 2.149. Определить показания амперметра и вольтметра на рис 154., если $R_1 = 12 \text{ Ом}$, $R_2 = 6 \text{ Ом}$, $R_3 = 2 \text{ Ом}$, $R_4 = 3 \text{ Ом}$, $R_5 = 4 \text{ Ом}$, $U = 12 \text{ В}$



Задача 2.150. В схеме на рис.155 вольтметр показывает 8 В ; $R_1 = 4 \text{ Ом}$; $R_2 = 6 \text{ Ом}$; $R_3 = 1 \text{ Ом}$. Показания амперметра $A_2 = 4 \text{ А}$; напряжение источника $U = 24 \text{ В}$. Определить показания первого амперметра и сопротивление резистора R_4 .

Задача 2.151. Найти сопротивление бесконечной цепи на рисунке 156.

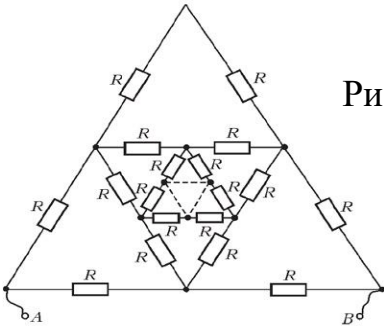


Рис.156

§15.Использование симметрии схемы.

Для всех линейных схем (не содержащих нелинейные элементы: диоды, транзисторы и т.д.) существует правило: если поменять полюса источника, то токи изменят направление на противоположное, но величина их не изменится

Задание

Найти сопротивление схемы между точками А и В.

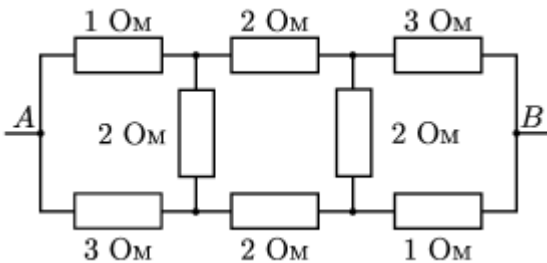
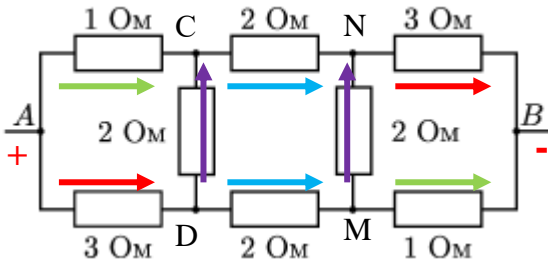
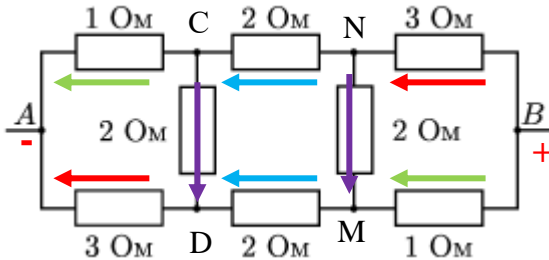


Рис.157

Расставим токи, на участках CD и NM направления выберем наугад:



Поменяем полюса источника:



Если схему рассматривать от В к А, то получим исходную. Токи AD и NB равны, также равны пары токов AC и MB, CN и DM, DC и MN. Обозначим:

$$I_{CN} = I_{DM} = I$$

$$I_{DC} = I_{MN} = J$$

$$I_{AC} = I_{MB} = I - J$$

$$I_{AD} = I_{NB} = I + J$$

$I_0 = I_{AC} + I_{AD} = 2I$ — общий ток, втекающий и вытекающий из схемы.

Выберем две траектории для сложения напряжений: ACNB и ACDMB

$$U_{AB} = 1 \cdot (I - J) + 2 \cdot I + 3 \cdot (I + J) = 1 \cdot (I - J) - 2 \cdot J + 2 \cdot I + 1 \cdot (I - J)$$

$$U_{AB} = 6 \cdot I + 2 \cdot J = -4 \cdot J + 4 \cdot I \rightarrow 2 \cdot I = -6 \cdot J$$

U

Ответ: Общее сопротивление схемы $2\frac{2}{3}$ Ом.

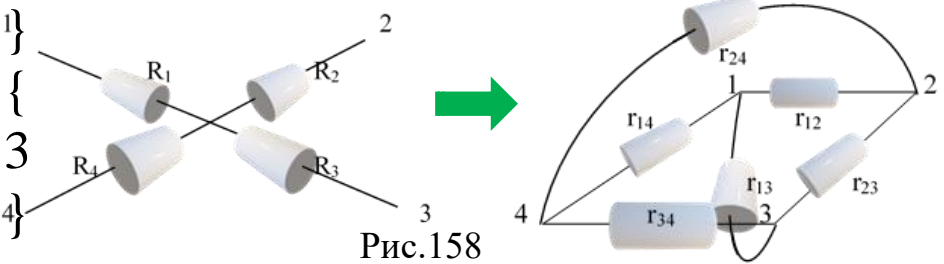
§16. Преобразование N-лучевой звезды в N-угольник с набором диагоналей.

5

В параграфе §13.6 рассматривалось наиболее популярное преобразование 3-х лучевой звезды в треугольник. При этом три сопротивления R_1, R_2, R_3 пересчитывались в другие три сопротивления r_{12}, r_{23}, r_{13} , число сопротивлений не увеличилось.

а Преобразование 4-х лучевой звезды переводит четыре сопротивления R_1, R_2, R_3, R_4 в шесть сопротивлений $r_{12}, r_{23}, r_{34}, r_{14}, r_{13}, r_{24}$, при этом появляются не только стороны четырёхугольника, но и все возможные диагонали.

1



Г Формулы пересчёта остаются похожими:

=

8

3

$$\begin{aligned} \text{Введём проводимости: } \lambda_{12} &= \frac{1}{r_{12}} ; \lambda_{13} = \frac{1}{r_{13}} ; \\ \lambda_{23} &= \frac{1}{r_{23}} ; \lambda_{14} = \frac{1}{r_{14}} ; \lambda_{34} = \frac{1}{r_{34}} ; \lambda_{24} = \frac{1}{r_{24}} \\ \sigma_1 &= \frac{1}{R_1} ; \sigma_2 = \frac{1}{R_2} ; \sigma_3 = \frac{1}{R_3} , \sigma_4 = \frac{1}{R_4} . \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_{12} &= \frac{\sigma_1 \cdot \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4} ; \lambda_{13} = \frac{\sigma_1 \cdot \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4} ; \\ \lambda_{23} &= \frac{\sigma_2 \cdot \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4} ; \lambda_{24} = \frac{\sigma_2 \cdot \sigma_4}{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4} ; \\ \lambda_{34} &= \frac{\sigma_3 \cdot \sigma_4}{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4} ; ; \lambda_{14} = \frac{\sigma_1 \cdot \sigma_4}{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4} ; \end{aligned}$$

Если нужно пересчитать произвольный многоугольник с диагоналями в звезду, это оказывается не всегда возможным, т.к. на проводимости в четырёхугольнике накладываются дополнительные условия:

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{\lambda_{13}}{\lambda_{23}} = \frac{\lambda_{14}}{\lambda_{24}} , \text{ следовательно } \lambda_{24} &= \frac{\lambda_{23} \cdot \lambda_{14}}{\lambda_{13}} \\ \frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{23}} = \frac{\lambda_{14}}{\lambda_{34}} , \text{ следовательно } \lambda_{34} &= \frac{\lambda_{23} \cdot \lambda_{14}}{\lambda_{12}} \end{aligned}$$

Для преобразования звезды с любым количеством лучей в многоугольник с диагоналями, каждый отрезок, соединяющий точки k и n , имеет проводимость:

$$\lambda_{nk} = \frac{\sigma_n \cdot \sigma_k}{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 + \dots + \sigma_n + \dots + \sigma_k + \dots}$$

§17. Метод последовательных приближений.

Метод последовательных приближений используется, когда точное решение очень громоздко или кажется невозможным. Метод применяют при условии, что небольшие изменения в условиях не вызовут больших скачков в ответах. Он позволяет оценить искомые значения. Задачу упрощают, временно заменяя малые значения нулём.

Найти токи во всех проводниках с точностью до 1%, если ток, текущий через источник равен 24А.

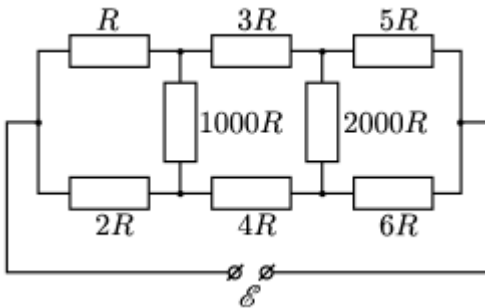


Рис.159.

Рассмотрим схему на рисунке 159. Два резистора имеют сопротивления $1000R$ и $2000R$, их проводимости очень малы. Будем считать их равными нулю, т.е. вместо этих резисторов—обрыв (рис.160).

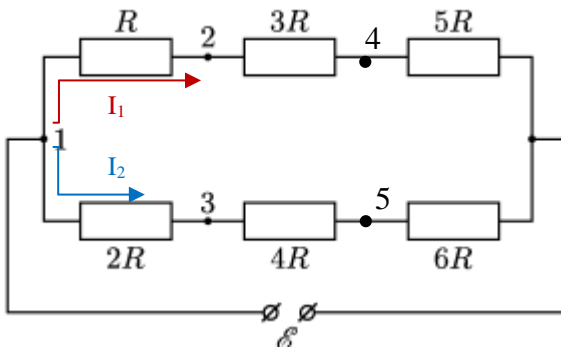


Рис.160.

Получили простейшее параллельное соединение проводников. По верхнему участку идёт ток I_1 , по нижнему $I_2=21A - I_1$. Токи обратно пропорциональны сопротивлениям:

$$\frac{I_1}{21 - I_1} = \frac{2R + 4R + 6R}{R + 3R + 5R} = \frac{12R}{9R} = \frac{4}{3}$$

$$I_1 = 12A, \quad I_2 = 9A$$

Найдём напряжения между точками 2 и 3, 4 и 5, и токи (61):

$$\varphi_1 - \varphi_2 = I_1 \cdot R = 12R$$

$$\varphi_1 - \varphi_3 = I_2 \cdot 2R = 18R$$

$$\varphi_3 - \varphi_2 = -6R = I_a \cdot 1000R$$

$I_a = -0,006A$, т.е. направление тока I_a выбрано неудачно, он отрицательный: на самом деле ток течёт из точки 2 в точку 3.

$$\varphi_1 - \varphi_4 = I_1 \cdot 4R = 48R$$

$$\varphi_1 - \varphi_5 = I_2 \cdot 6R = 54R$$

$$\varphi_5 - \varphi_4 = -6R = I_b \cdot 2000R$$

$$I_b = -0,003A$$

Получены значения токов при самой грубой оценке — в нулевом приближении. В первом приближении уточним значения токов, используя результаты нулевого приближения.

\tilde{I}_1 и $\tilde{I}_2 = 21A - \tilde{I}_1$ — уточнённые значения токов. Для схемы на рисунке 163 запишем сумму напряжений для верхней и нижней ветви:

$$\mathcal{E} = \tilde{I}_1 \cdot R_1 + (\tilde{I}_1 + I_a) \cdot R_2 + (\tilde{I}_1 + I_a + I_b) \cdot R_3$$

$$\mathcal{E} = \tilde{I}_2 \cdot R_4 + (\tilde{I}_2 - I_a) \cdot R_5 + (\tilde{I}_2 - I_a - I_b) \cdot R_6$$

Приравняем правые части, подставив значения из нулевого приближения:

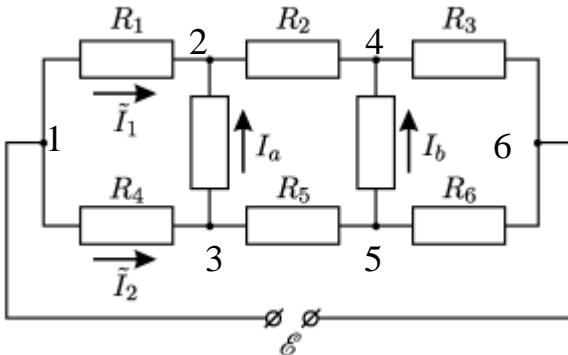


Рис.161.

$$\begin{aligned} \tilde{I}_1 \cdot R + (\tilde{I}_1 - 0,006) \cdot 3R + (\tilde{I}_1 - 0,006 - 0,003) \cdot 5R = \\ = (21 - \tilde{I}_1) \cdot 2R + (21 - \tilde{I}_1 + 0,006) \cdot 4R + \\ + (21 - \tilde{I}_1 + 0,006 + 0,003) \cdot 6R \end{aligned}$$

Новые значения токов $\tilde{I}_1=12,0067\text{A}$ и $\tilde{I}_2=8,9933\text{A}$
 Найдём новые значения потенциалов:

$$\tilde{\varphi}_1 - \tilde{\varphi}_2 = \tilde{I}_1 \cdot R = 12,0067 R$$

$$\tilde{\varphi}_1 - \tilde{\varphi}_3 = \tilde{I}_2 \cdot 2R = 17,9866 R$$

$$\tilde{\varphi}_3 - \tilde{\varphi}_2 = -5,9799 \cdot R = \tilde{I}_a \cdot 1000R$$

$$\tilde{I}_a = -0,0059799\text{A}$$

$$\begin{aligned} \tilde{\varphi}_1 - \tilde{\varphi}_4 &= \tilde{I}_1 \cdot R_1 + (\tilde{I}_1 + I_a) \cdot R_2 = \\ &= \tilde{I}_1 \cdot R + (\tilde{I}_1 - 0,006) \cdot 3R = 48,0088 R \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{\varphi}_1 - \tilde{\varphi}_5 &= \tilde{I}_2 \cdot R_4 + (\tilde{I}_2 - I_a) \cdot R_5 = \\ &= (21 - \tilde{I}_1) \cdot 2R + (21 - \tilde{I}_1 + 0,006) \cdot 4R = \\ &= 53,9838 R \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tilde{\varphi}_5 - \tilde{\varphi}_4 &= -5,975 \cdot R = \tilde{I}_b \cdot 2000R \\ \tilde{I}_b &= -0,0029875\text{A} \end{aligned}$$

Получили значения токов в первом приближении:

$I_{12} = \tilde{I}_1 = 12,0067\text{A}$ — отличается от нулевого приближения на 0,056%,

$I_{23} = -\tilde{I}_a = 0,0059799\text{A}$ — на 0,34%,

$I_{24} = \tilde{I}_1 + \tilde{I}_a = 12,007\text{A}$ — на 0,058%,

$I_{45} = -\tilde{I}_b = 0,002988\text{A}$ — на 0,4%,

$$I_{46} = \tilde{I}_1 + \tilde{I}_a + \tilde{I}_b = 11,9977 \text{ A} \text{—на } 0,019\%,$$

$$I_{13} = \tilde{I}_2 = 8,9933 \text{ A} \text{—на } 0,074\%,$$

$$I_{35} = \tilde{I}_2 - \tilde{I}_a = 8,9993 \text{ A} \text{—на } 0,008\%,$$

$$I_{56} = \tilde{I}_2 - \tilde{I}_a - \tilde{I}_b = 9,0023 \text{ A} \text{—на } 0,026\%.$$

Второе приближение будет отличаться от первого ещё меньше. Значения токов с ошибкой 0,4% и менее получены.

Задачи для самостоятельного решения использование метода последовательного приближения.

Задача 2.152. Найти полное сопротивление схемы (рис.162) с точностью до 0,5%.

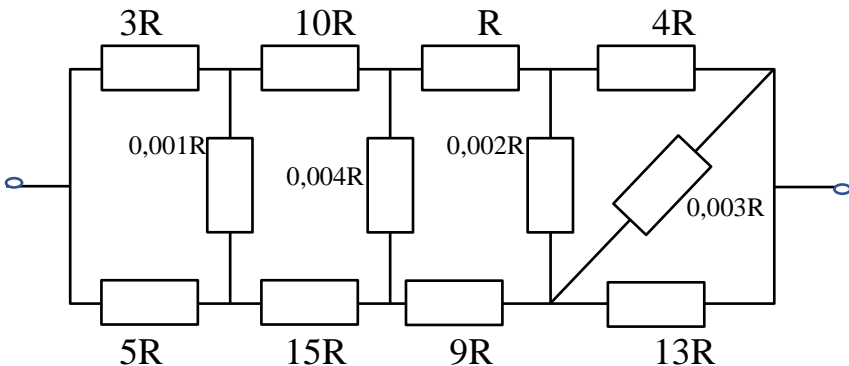


Рис.162.

§18. Токи в средах.

Зависимость сопротивления различных видов проводников от температуры: при увеличении температуры сопротивление металлов растёт, сопротивление электролитов и без примесных полупроводников уменьшается. Сопротивление примесных полупроводников почти не зависит от температуры.

Носители электрического тока:

В металлах—электроны;

В растворах и расплавах электролитов— положительные и отрицательные ионы;

При электрическом разряде в газах— электроны, положительные и отрицательные ионы

В полупроводниках— электроны и дырки.

Дырка—это вакансия (не занятое электроном место в ковалентной связи).

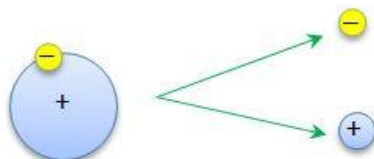
Отличие собственной и примесной проводимости полупроводников:

- 1) В отличие от собственной проводимости, осуществляющейся одновременно электронами и дырками, примесная проводимость полупроводника обусловлена в основном носителями одного знака —электронами, в случае донорной примеси, и дырками, в случае акцепторной примеси.
- 2) Собственная проводимость зависит от температуры, а примесная - нет.

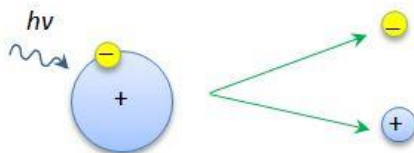
§ 18.1 . Электрический ток в газах

Процессы, влияющие на проводимость газов:

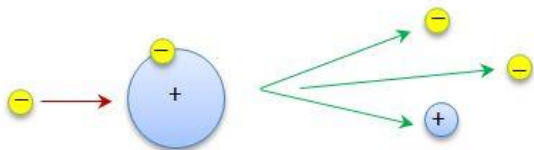
Термическая ионизация – при столкновении нейтральных атомов происходит выбивание электронов и превращение атомов в положительные ионы



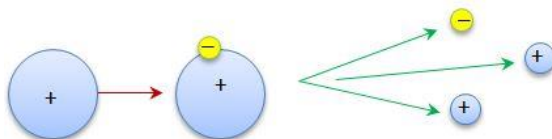
Ионизация излучением (фотоионизация) – распад атома на электрон и положительный ион под действием света



Ионизация электронным ударом – выбивание ускоренным электроном из атома электрона с образованием положительного иона

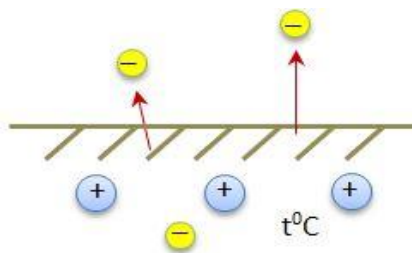


Вторичная электронная эмиссия с катода – выбивание положительными ионами электронов из катода



Термоэлектронная эмиссия

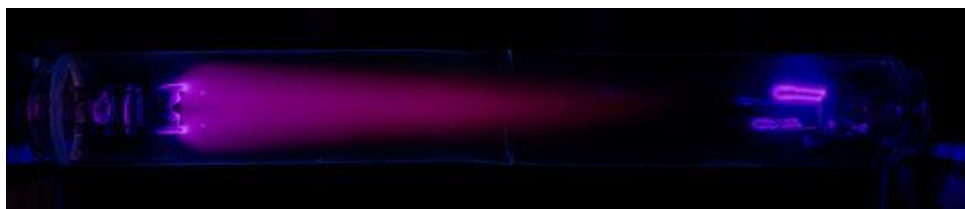
– излучение нагретым металлом электронов



Тлеющий разряд: При давлении газа в несколько десятых миллиметра ртутного столба разряд имеет типичный вид, изображённый на рис.

Это ток в ионизированном газе, а точнее сказать в низкотемпературной плазме. Тлеющий разряд образуется при прохождении тока через разряженный газ. Как только напряжение превосходит определённое значение, газ в колбе ионизируется и происходит свечение. Это уже по сути электрический ток не столько в газе, сколько в плазме. Цвет свечения газа (плазмы) зависит от вещества газа.

Несамостоятельный разряд: Если напряжения не хватает для ионизации газа, используют дополнительный источник заряженных частиц (ионов и электронов). Такой разряд существует только пока действует источник.



Искровой разряд: При достаточно большой напряженности поля (около 3 МВ/м) между электродами появляется электрическая искра, имеющая вид ярко светящегося извилистого канала, соединяющего оба электрода. Газ вблизи искры нагревается до высокой температуры и внезапно расширяется, отчего возникают звуковые волны, и мы слышим характерный треск. Происходит при обычных условиях, при обычном атмосферном давлении, точно также как и тлеющий разряд происходит в следствие ионизации газа, но при высоком напряжении, в отличии от дугового разряда, где в первую очередь важна высокая плотность тока.

Коронный разряд: Происходит в сильном электрическом поле с высокой напряжённостью, достаточной, чтобы вызвать ионизацию газа (или жидкости) при атмосферном давлении. Электрическое поле при этом бывает не однородным, где-то напряжённость значительно больше. Образуется градиент (рост или уменьшение) потенциалов поля и там где потенциал больше, ионизация газа идёт сильнее, интенсивнее, затем поток ионов доходит до другой части поля, тем самым образуя поток электричества. В результате образуется коронный газовый разряд причудливых форм, в зависимости от геометрии проводников — источников напряжённости поля.

Дуговой разряд: Представляет собой электрический пробой газа, которой в дальнейшем становится постоянным плазменным разрядом — дугой, образуется электрическая дуга. Дуговой разряд характеризуется более низким

напряжением, чем тлеющий разряд. Поддерживается в основном за счёт термоэлектронной эмиссии, когда из электродов высвобождаются электроны. Старое название такой дуги «вольтовая дуга». Отличительной особенностью такой дуги является высокая плотность тока и низкое напряжение (около 50 В), которое ограничено источником тока. Для того, чтобы создать такую дугу, электроды сближаются, происходит пробой, а затем они раздвигаются.



Таблица. Плотность и теплоёмкость.

Вещество	Плотность <i>кг/м³</i>	Теплоём- кость <i>Дж/(кг °С)</i>
Алюминий	2700	900
Вода	1000	4200
Медь	8900	390
Сталь	7800	460
Лёд	900	2100

Таблица. Удельное сопротивление.

Вещество	Удельное сопротивление <i>Ом·мм²/м</i>
Алюминий	0,028
Никелин	0,40
Нихром	1,1
Медь	0,017
Сталь	0,10

Элементарный заряд $e=1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл

Электрическая постоянная $\epsilon_0=8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Нм}^2}$

Масса электрона $m_e=9,1 \cdot 10^{-31}$ кг

Масса протона $m_p=1,67 \cdot 10^{-27}$ кг

Масса нейтрона $m_n=1,67 \cdot 10^{-27}$ кг

Период		Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В										VIII	
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		IX		
I	1	Li Литий 3 6,939	Be Бериллий 4 9,0122	B Бор 5 10,811	C Углерод 6 12,01115	N Азот 7 14,0067	O Кислород 8 15,9994	F Фтор 9 18,9984	Ne Неон 10 20,179	He Гелий 2 4,0026	Обозначение элемента		Атомный номер
II	2	Li Литий 3 6,939	Be Бериллий 4 9,0122	B Бор 5 10,811	C Углерод 6 12,01115	N Азот 7 14,0067	O Кислород 8 15,9994	F Фтор 9 18,9984	Ne Неон 10 20,179	He Гелий 2 4,0026	Обозначение элемента		Атомный номер
III	3	Na Натрий 11 22,9898	Mg Магний 12 24,305	Al Алюминий 13 26,9815	Si Кремний 14 28,086	P Фосфор 15 30,9738	S Сера 16 32,064	Cl Хлор 17 35,453	Ar Аргон 18 39,948	Относительная атомная масса		Li Литий 3 6,939	6
IV	4	K Калий 19 39,102	Ca Кальций 20 40,08	Sc Скандий 21 44,956	Ti Титан 22 47,90	V Ванадий 23 50,942	Cr Хром 24 51,996	Mn Марганец 25 54,9380	Fe Железо 26 55,847	Co Кобальт 27 58,9330	Ni Никель 28 58,71	Относительная атомная масса	
V	5	Rb Рубидий 37 85,47	Zn Цинк 30 65,37	Ga Галлий 31 69,72	Ge Германий 32 72,59	As Мышьяк 33 74,9216	Se Селен 34 78,96	Br Бром 35 79,904	Kr Криптон 36 83,80	Относительная атомная масса		Co Кобальт 27 58,9330	Ni Никель 28 58,71
	6	Sr Стронций 38 87,62	Y Иттрий 39 88,905	Zr Цирконий 40 91,22	Nb Нобий 41 92,906	Mo Молибден 42 95,94	Tc Технеций 43 [99]	Ru Рутений 44 101,07	Rh Родий 45 102,905	Pd Палладий 46 106,4	Относительная атомная масса		Pd Палладий 46 106,4
	7	Ag Серебро 47 107,868	Cd Кадмий 48 112,40	In Индий 49 114,82	Sn Олово 50 118,69	Sb Сурьма 51 121,75	Te Теллур 52 127,60	Xe Ксенон 54 131,30	Относительная атомная масса		Rh Родий 45 102,905	Pd Палладий 46 106,4	
	8	Cs Цезий 55 132,905	Ba Барий 56 137,34	La* Лантан 57 138,91	Hf Гафний 72 178,49	Ta Тантал 73 180,948	W Вольфрам 74 183,85	Re Рений 75 186,2	Os Осмий 76 190,2	Pt Платина 78 195,09	Относительная атомная масса		Pt Платина 78 195,09
VI	9	Au Золото 79 196,967	Hg Ртуть 80 200,59	Tl Таллий 81 204,37	Pb Свинец 82 207,19	Bi Висмут 83 208,980	Po Полоний 84 [210]*	At Астат 85 [210]	Rn Радон 86 [222]	Относительная атомная масса		Ir Иридий 77 192,2	Pt Платина 78 195,09
VII	10	Fr Франций 87 [223]	Ra Радий 88 [226]	Ac** Актиний 89 [227]	Rf Резерфордий 104 [261]	Db Дубний 105 [262]	Sg Сиборгий 106 [263]	Bh Борий 107 [262]	Hs Хасий 108 [265]	Mt Мейтнерий 109 [265]	Lu Лютеций 71 174,97	Yb Иттербий 70 173,04	Lu Лютеций 71 174,97
	11	Ce Церий 58 140,12	Nd Неодим 60 144,24	Sm Самарий 62 150,35	Eu Европий 63 151,96	Gd Гадолиний 64 157,25	Dy Диспрозий 66 162,50	Ho Гольмий 67 164,930	Er Эрбий 68 167,26	Tm Тулий 69 168,934	Yb Иттербий 70 173,04	Lu Лютеций 71 174,97	Lu Лютеций 71 174,97
	12	Pr Прометий 59 140,907	Pm Прометий 61 [147]*	Sm Самарий 62 150,35	Eu Европий 63 151,96	Gd Гадолиний 64 157,25	Dy Диспрозий 66 162,50	Ho Гольмий 67 164,930	Er Эрбий 68 167,26	Tm Тулий 69 168,934	Yb Иттербий 70 173,04	Lu Лютеций 71 174,97	Lu Лютеций 71 174,97
	13	Th Торий 90 232,038	U Уран 92 238,03	Np Нептуний 93 [237]	Am Америций 95 [243]	Cm Кюрий 96 [247]	Bk Берклий 97 [247]	Cf Калифорний 98 [251]*	Es Эйнштейний 99 [252]*	Fm Фермий 101 [257]	Md Менделеев 102 [259]	No Нобелий 103 [259]	Lr Лоренсвий 104 [260]

СОДЕРЖАНИЕ

- §1 Электрический ток. Действие электрического тока
- §2 Сила тока.
- §3. Электрическое поле в проводнике с током.
- §4. Напряжение.
- §5. Сопротивление.
- §6. Источник тока. Сторонние силы. ЭДС. Идеальный и неидеальный источник тока.
- §7. Закон Ома .
 - §7.1 Закон Ома для однородного участка цепи (без источника тока).
 - §7.2 Закон Ома для неоднородного участка цепи.
 - §7.3. Закон Ома для полной цепи.
 - §7.4. Правила Кирхгофа
- §8. Последовательное соединение проводников.
- §9. Параллельное соединение проводников.
- §10. Амперметр и вольтметр. Шунт и добавочное сопротивление.
- §11. Работа электрического тока. Мощность электрического тока. Закон Джоуля-Ленца. Короткое замыкание. «Плохой контакт»
- §12. Основные правила изменения и упрощения электрических схем, состоящих из резисторов и соединительных проводов.
- §13. Определение общего сопротивления цепи при смешанном соединении проводников.
 - §13.1. Метод блоков.
 - §13.2. Метод удаления проводника.
 - §13.3. Расчёт бесконечных цепей.

§13.4. Метод соединения точек равного потенциала.

§13.5. Метод сложения напряжений вдоль выбранных траекторий.

§13.6. Метод превращения треугольника в звезду

§14. Определение токов и напряжений при смешанном соединении проводников.

§15. Использование симметрии схемы.

§16. Преобразование N-лучевой звезды в N-угольник с набором диагоналей.

§17. Метод последовательных приближений.

§18. Токи в средах.

§ 18.1. Электрический ток в газах

Вопросы к экзамену по физике для учащихся 8-х классов.

1. Электризация тел. Электрический заряд. Два рода зарядов. Закон взаимодействия эл. зарядов. Способы электризации тел. Понятие электрически замкнутой системы. Закон Франклина.
2. Делимость эл. заряда (квантование заряда). Элементарный заряд. Электрон. Опыты Иоффе и Милликена (суть, результат).
3. Опыт Резерфорда. Строение атома по Резерфорду. Объяснение электризации тел на основе модели атома Резерфорда.
4. Сила Кулона. Закон Кулона. Границы применимости. Напряженность электростатического поля. Принцип суперпозиции.

5. Электростатическое поле. Силовые линии. Структура поля монополя, диполя. Применение принципа суперпозиции. Проводники и диэлектрики.
6. Электрический ток. Сила тока. Направление эл. тока. Электрическое напряжение. Условие существования эл. тока в проводнике. Электрическая цепь.
7. Электрическое сопротивление проводников. Удельное сопротивление вещества. Соединения проводников: последовательное и параллельное. Законы последовательного и параллельного сопротивления проводников.
8. Закон Ома для однородного участка цепи. Графическая интерпретация. Электроизмерительные приборы. Изменение пределов измерения амперметра и вольтметра с помощью шунта и добавочного сопротивления.
9. Работа эл. тока, мощность эл. тока. Закон Джоуля-Ленца. Короткое замыкание. «Плохой контакт»