

# 1. Природа электрических явлений

## 1.1. Электрический ток

- **Атом** является наименьшей частицей *элемента*, сохраняющей его характеристики. Атомы различных элементов отличаются друг от друга.
- Каждый атом имеет **ядро**. Ядро расположено в центре атома. Оно содержит положительно заряженные частицы — **протоны** и незаряженные частицы — **нейтроны** (рис.1.1).
- Отрицательно заряженные частицы — **электроны** вращаются вокруг ядер.

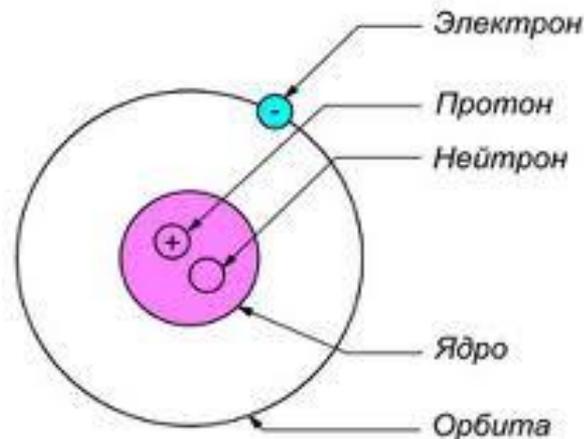
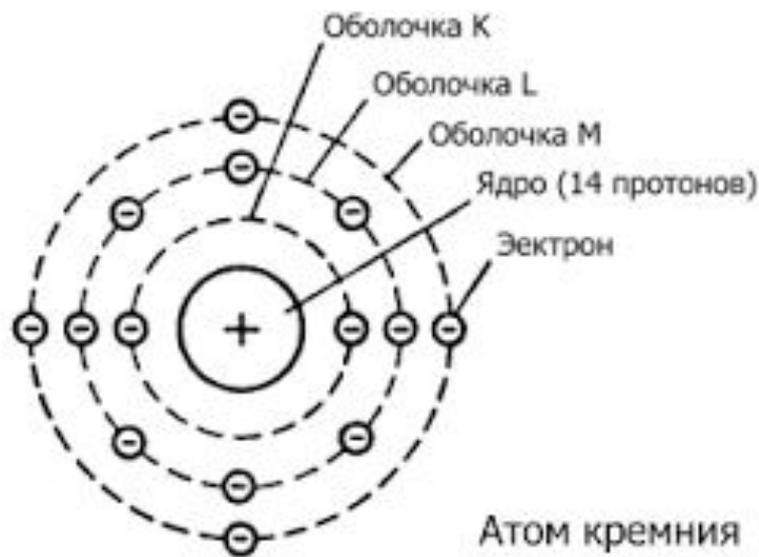


Рисунок 1.1. Строение атома.

- Количество *протонов* в ядре атома называется **атомным номером** элемента. Атомные номера позволяют отличить один элемент от другого .
- Каждый элемент имеет атомный вес. **Атомный вес** —это масса атома, которая определяется общим числом протонов и нейтронов в ядре.
- Электроны практически не дают вклада в общую массу атома, масса электрона составляет только  $1/1845$  часть массы протона и ею можно пренебречь.
- Электроны вращаются по концентрическим орбитам вокруг ядра. Каждая орбита называется оболочкой. Эти *оболочки* заполняются в следующей последовательности: сначала заполняется оболочка К, затем L, M, N и т.д.



Порядковый номер атома	Название элемента	Условное обозначение	Количество электронов на каждой оболочке				
			K	L	M	N	O
13	Алюминий	Al	2	8	3		
14	Кремний	Si	2	8	4		
31	Галлий	Ga	2	8	18	3	
32	Германий	Ge	2	8	18	4	
33	Мышьяк	As	2	8	18	5	
49	Индий	In	2	8	18	18	3
51	Сурьма	Sb	2	8	18	18	5

Внешняя оболочка называется валентной, и количество электронов, содержащееся в ней, называется валентностью.

Чем дальше от ядра *валентная оболочка*, тем меньше притяжение со стороны ядра испытывает каждый валентный электрон. Таким образом, потенциальная возможность атома присоединять или терять электроны увеличивается, если валентная оболочка не заполнена и расположена достаточно далеко от ядра

Обозначения оболочек	Общее количество электронов
K	2
L	8
M	18
N	32
O	18
P	12
Q	2

Рис. 1-4. Количество электронов, которое может принять каждая оболочка.

Материал	Проводимость
Серебро	<p>Высокая</p>  <p>Низкая</p>
Медь	
Золото	
Алюминий	
Вольфрам	
Железо	
Нихром	

Рис. 1-5. Проводимость различных металлов, используемых в качестве проводников.

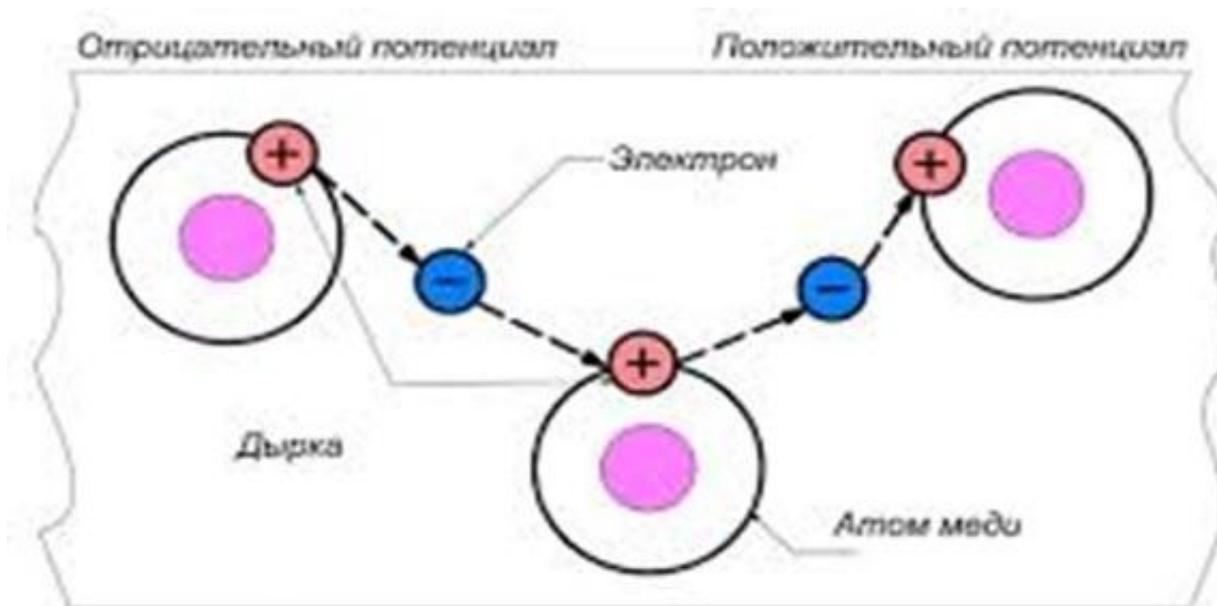
Электроны валентной оболочки могут получать энергию. Если эти электроны получают достаточно энергии от внешних сил, они могут покинуть атом и стать свободными электронами, произвольно перемещающимися от атома к атому. Материалы, содержащие большое количество свободных электронов называются **проводниками**.

**Электрический ток** – направленное движение заряженных частиц, возникающее под действием внешней силы и приводящее к переносу заряда

Отрицательно заряженные электроны являются носителями заряда в электрической цепи.

При перемещении электрона от одного атома к другому создаются положительные заряды, называемые «дырками», которые перемещаются в противоположном направлении.

**Направление электрического тока принято считать обратным направлению движения электронов.**



Материалы, содержащие большое количество свободных электронов называются **проводниками**.

**Изоляторы** препятствуют протеканию электричества

**Полупроводники** не являются ни хорошими проводниками, ни хорошими изоляторами, но их проводимость можно изменять от проводника до изолятора.

- Электрический ток возникает только в замкнутой электрической цепи, содержащей источник тока, создающий напряжение на концах этой цепи.
- Электрический ток, протекающий в одном направлении, получил название **постоянного тока**, а периодически изменяющий направление, - **переменного тока**.

Если имеет место избыток электронов (отрицательный заряд) на одном конце проводника и дефицит электронов (положительный заряд) на другом конце проводника, то по проводнику течет ток. Ток будет течь до тех пор, пока эти условия выполняются. Источник, который создает избыток электронов на одном конце проводника и дефицит электронов на другом конце, характеризуется **потенциалом**. *Потенциал* — это способность источника выполнять электрическую работу.



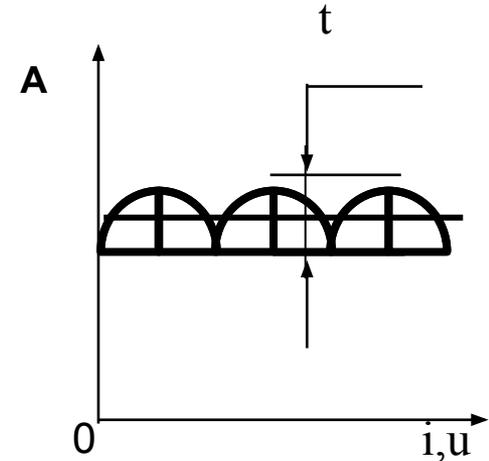
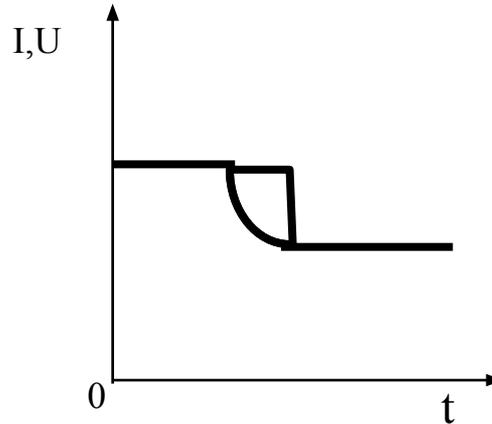
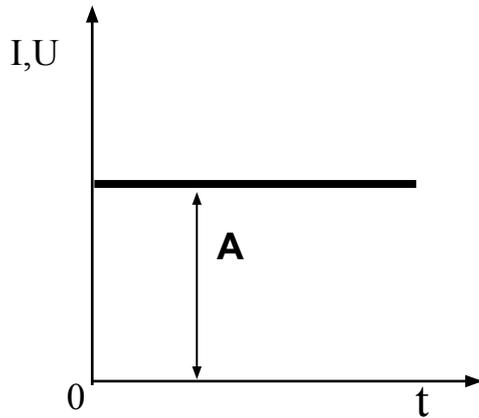
**Напряжение** - это сила, которая перемещает электроны в цепи

Электрический ток представляет собой медленный дрейф электронов из области отрицательного заряда в область положительного заряда. Для измерения силы тока используется ампер (А). Эта единица названа в честь французского физика Андре Мари Ампера (1775–1836). Ампер представляет силу тока в проводнике, когда заряд в один кулон перемещается через заданную точку за одну секунду. Соотношение между ампером и кулоном за секунду выражается формулой:

$$I = \frac{Q}{t},$$

где  $I$  — сила тока в амперах,  $Q$  — величина электрического заряда в кулонах,  $t$  — время в секундах.

# Постоянный ток



Примеры графиков постоянного тока.

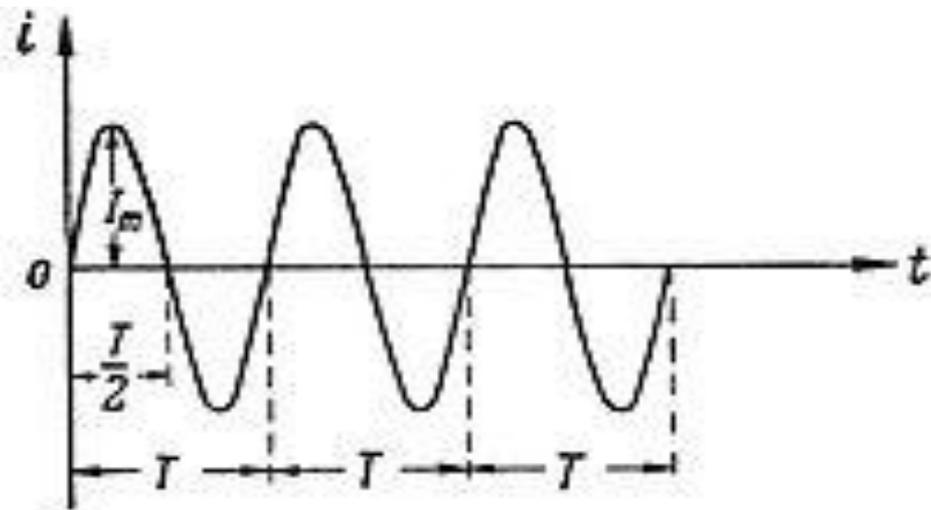
## Основные параметры постоянного тока

1. Амплитуда напряжения (тока) –  $U(I)$ .
2. Амплитуда пульсаций напряжения (тока) –  $\Delta U(\Delta I)$ .

# Переменный ток

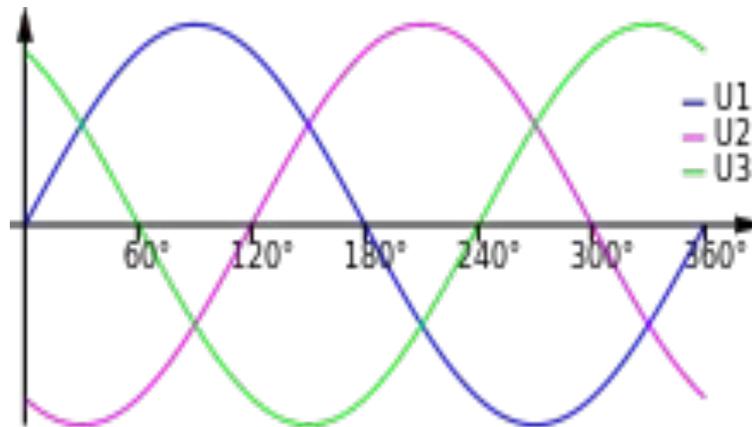
- **Переменным током** называется ток, который во времени изменяется по величине и направлению либо только по величине, либо только по направлению. Переменные токи могут быть периодическими и непериодическими.
- **Периодическим** называется ток, значения которого повторяются через равные промежутки времени. Периодические переменные токи могут быть синусоидальными и несинусоидальными.
- **Синусоидальным током** называется ток, который в течение времени изменяется по синусоидальному закону.

$$i = I_m \sin \omega t$$



Развернутая диаграмма периодического переменного тока

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi)$$

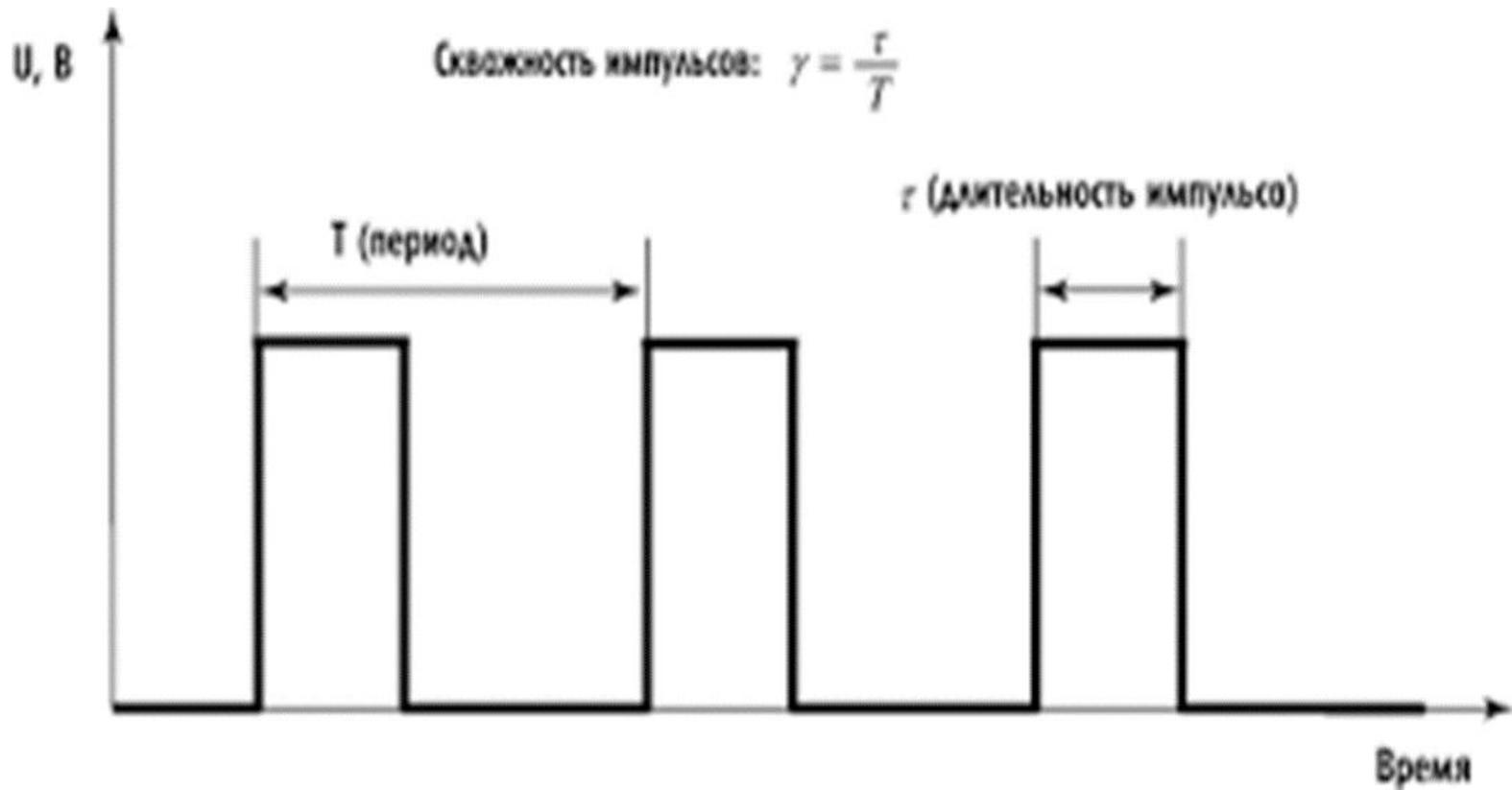


Фаза «А» (или U1), сдвиг по фазе  $0^\circ$

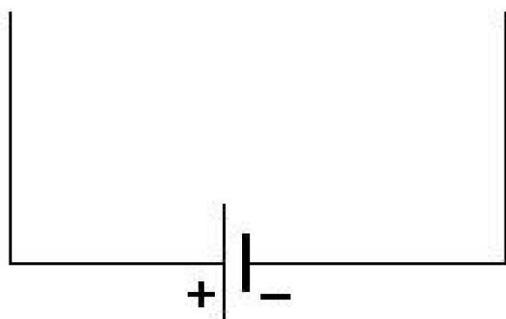
Фаза «В» (или U2), сдвиг по фазе  $120^\circ$

Фаза «С» (или U3), сдвиг по фазе  $240^\circ$

# Импульсное напряжение

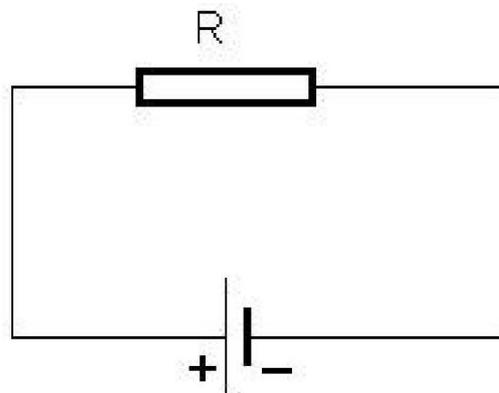


**Идеальный источник тока** – устройство, поддерживающее неизменный ток во внешней электрической цепи при любом сопротивлении этой цепи.



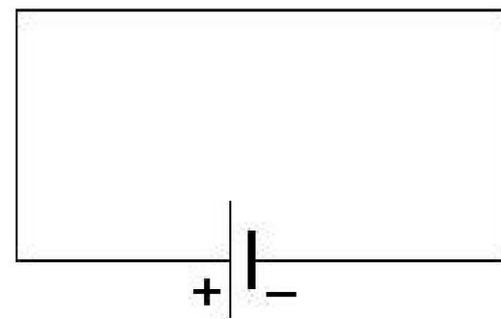
а

Режим «холостого хода»



б

Рабочий режим



в

Режим «короткого замыкания»

## Закон Ома

**Сила тока прямо пропорциональна напряжению, приложенному к проводнику и обратно пропорциональна его сопротивлению**

$$\text{Ток (A)} = \frac{\text{Напряжение (В)}}{\text{Сопротивление (Ом)}}$$

$$I = \frac{U}{R}, \quad I = GU, \quad G - \text{проводимость}$$

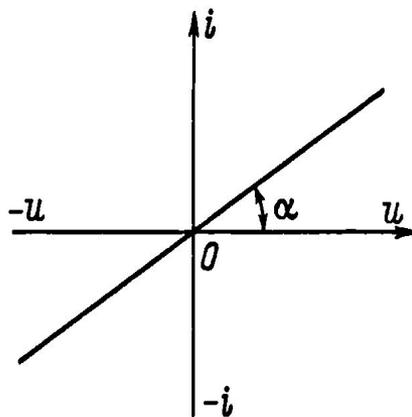
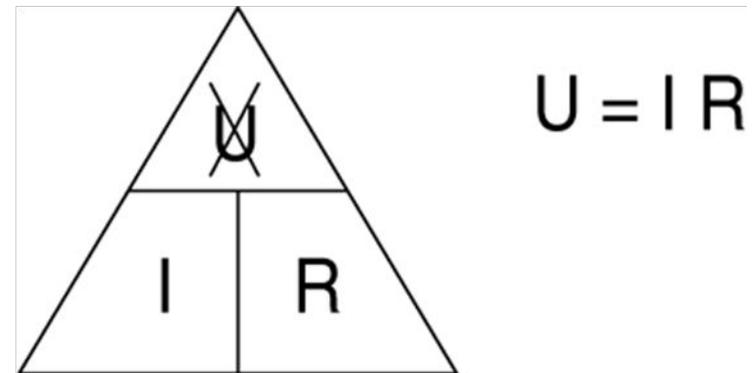
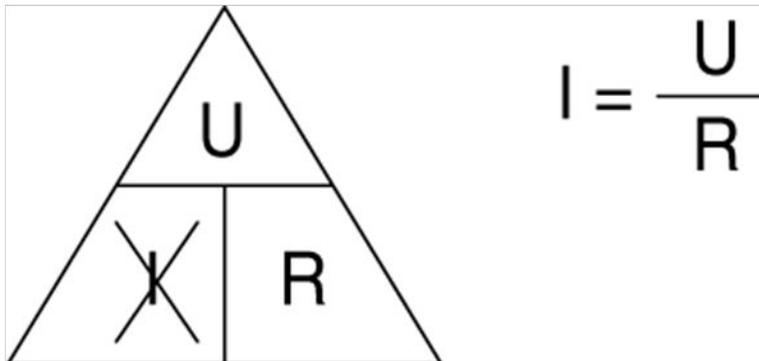
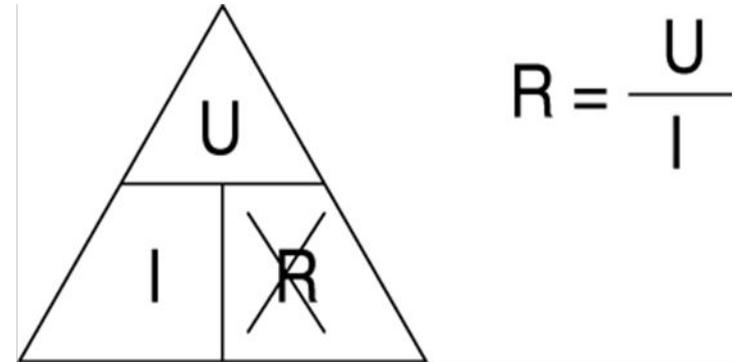
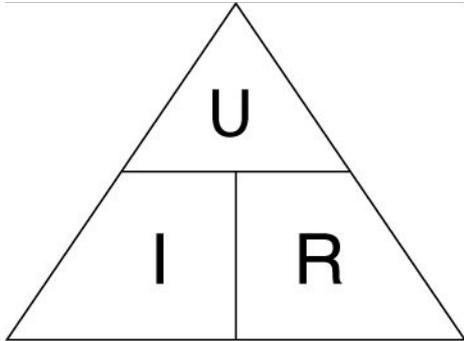


Рис. 3.1. Вольт-амперная характеристика линейного прибора

## Соотношения напряжения, тока и сопротивления



# Тепловое действие электричества

При протекании электрического тока источник тока совершает работу по переносу зарядов вдоль электрической цепи. Энергия источника тока преобразуется в нагрев элементов электрической цепи.

**Закон Джоуля-Ленца :**

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

*Нагревание проводов электрической цепи пропорционально их сопротивлению и квадрату силы тока, а также времени действия тока*

# Мощность

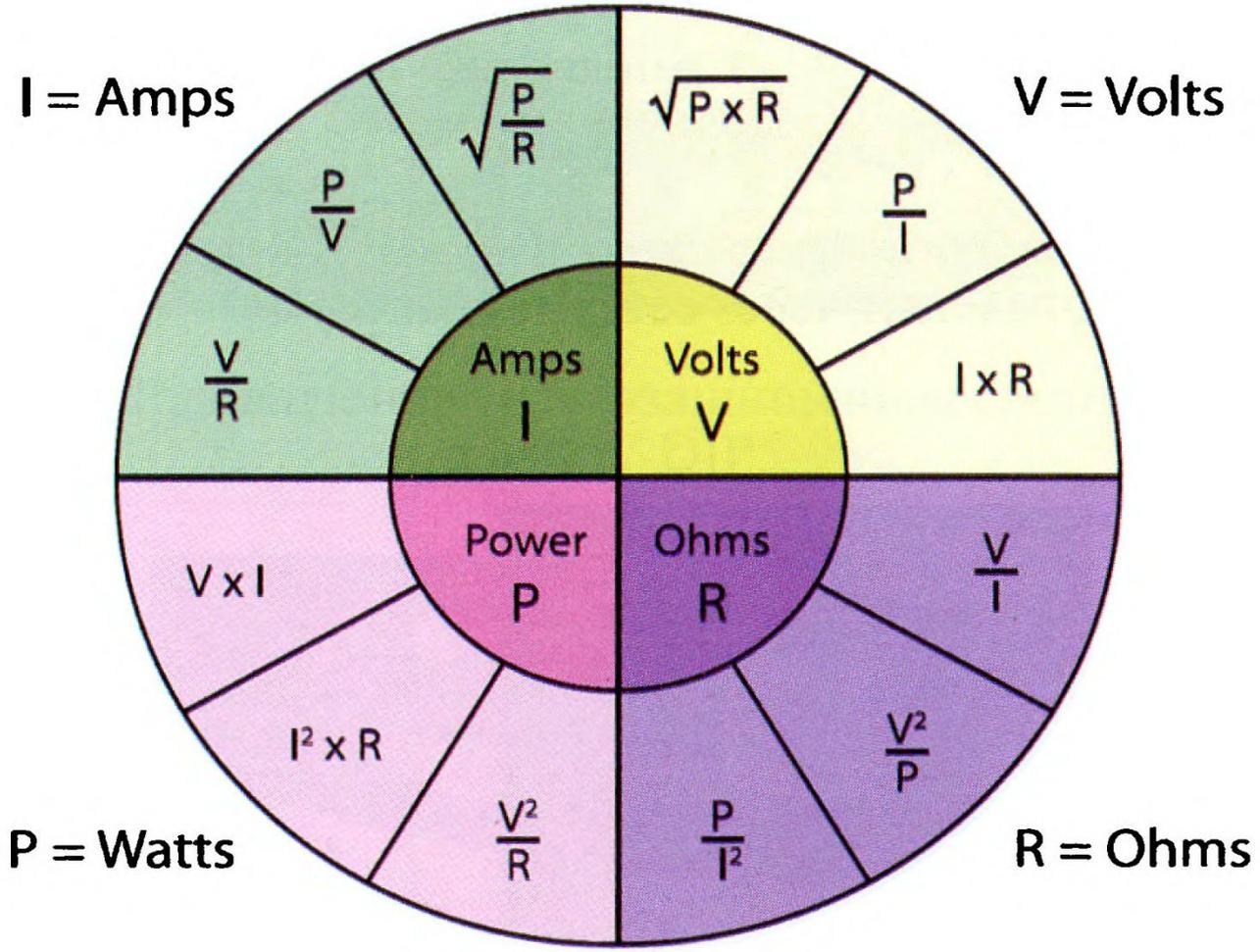
**Мощность** – энергия, выделяемая на сопротивлении в электрической цепи:

$$\text{Мощность (Вт)} = \text{Напряжение (В)} \times \text{Ток (А)}$$

$$P = UI = I^2 R$$

Полная мощность, потребляемая последовательной или параллельной цепью, равна сумме мощностей, потребляемых отдельными элементами:

$$P_{\Sigma} = P_{R1} + P_{R2} + P_{R3} + \dots$$



# Закон Кирхгофа

**Первый закон Кирхгофа** является следствием принципа непрерывности электрического тока, в соответствии с которым суммарный поток зарядов через любую замкнутую поверхность равен нулю, т.е. количество зарядов выходящих через эту поверхность должно быть равно количеству входящих зарядов.

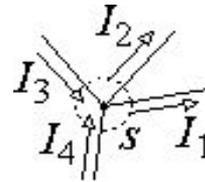


Рис. 1

- алгебраическая сумма токов в любом узле электрической цепи равна нулю 
$$\sum_{k=1}^n \pm I_k = 0$$
- в любом узле сумма токов направленных к узлу равна сумме токов направленных от узла 
$$\sum_{k=1}^p I_k = \sum_{m=1}^q I_m$$

## Второй закон

- алгебраическая сумма падений напряжения вдоль любого замкнутого контура электрической цепи равна нулю

$$\sum_{k=1}^n \pm U_k = 0$$

- алгебраическая сумма ЭДС вдоль любого замкнутого контура равна алгебраической сумме падений напряжения на резисторах в этом контуре

$$\sum_{k=1}^p \pm E_k = \sum_{m=1}^q \pm U_m$$

## 1.2. Источники напряжения

Напряжение возникает при удалении электронов со своих орбит в атомах. Таким образом, любой вид энергии, отрывающий электроны от атомов, может быть использован для получения напряжения. Но надо помнить, что энергия никогда сама по себе не возникает. Имеет место просто переход энергии из одной формы в другую. Источник напряжения — это не просто источник электрической энергии. Скорее это способ преобразования других видов энергии в электрическую. Существует шесть основных источников напряжения — трение, магнетизм, химические реакции, свет, тепло и давление.



Рис. 3-3. Схематическое обозначение генератора переменного тока.

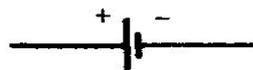


Рис. 3-4. Схематические обозначения элемента и батареи. Комбинация двух или более элементов образует батарею.



Рис. 3-7. Схематическое обозначение фотовольтаической ячейки (солнечного элемента).



Рис. 3-9. Схематическое обозначение термопары.



Рис. 3-11. Схематическое обозначение пьезоэлектрического кристалла.

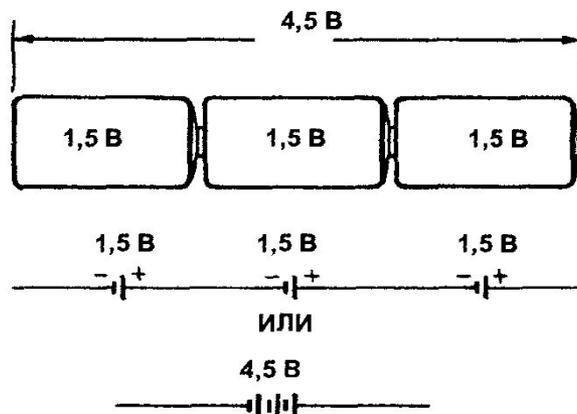


Рис. 3-18. Элементы или батареи могут быть соединены последовательно для увеличения напряжения.

При последовательно-дополняющей конфигурации через все элементы или батареи протекает одинаковый ток:

$$I_{\Sigma} = I_1 = I_2 = I_3$$

Индексы обозначают номера отдельных элементов или батарей. Полное напряжение равно сумме напряжений каждого элемента:

$$U_{\Sigma} = U_1 + U_2 + U_3$$

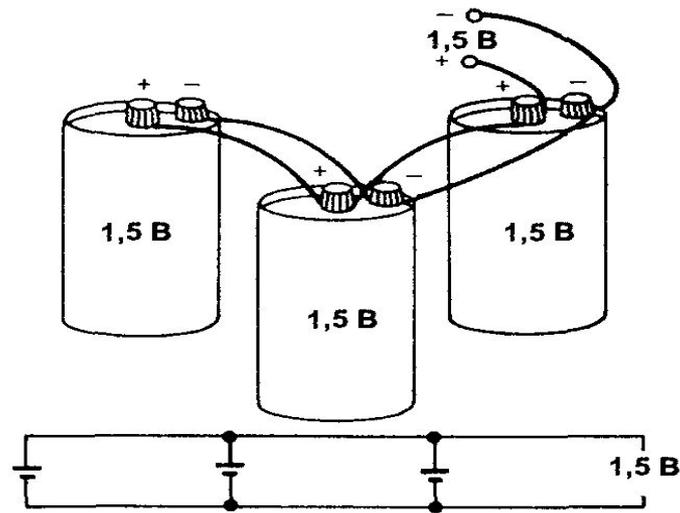


Рис. 3-19. Элементы или батареи могут быть соединены параллельно для увеличения тока.

При параллельном соединении все положительные выводы соединяются вместе и все отрицательные выводы также соединяются вместе (рис. 3-19). Общий возможный ток является суммой токов каждого элемента или батареи

$$I_{\Sigma} = I_1 + I_2 + I_3$$

Общее напряжение будет равно напряжению на каждом из элементов

$$U_{\Sigma} = U_1 = U_2 = U_3$$

В электрических цепях различают два типа напряжений:

- **приложенное напряжение**
- **падение напряжения на участке цепи**

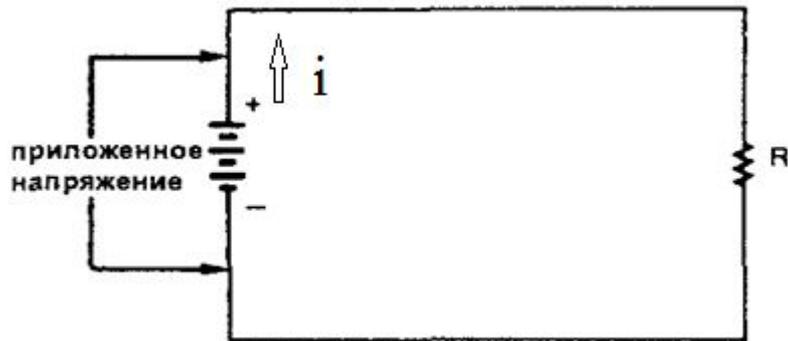


Рис. 1. Потенциал, приложенный к цепи, называется приложенным напряжением

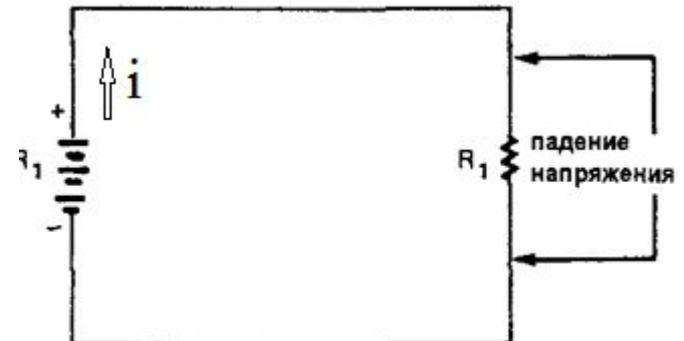


Рис.2. Энергия, поглощенная цепью при прохождении тока через нагрузку, называется падением напряжения

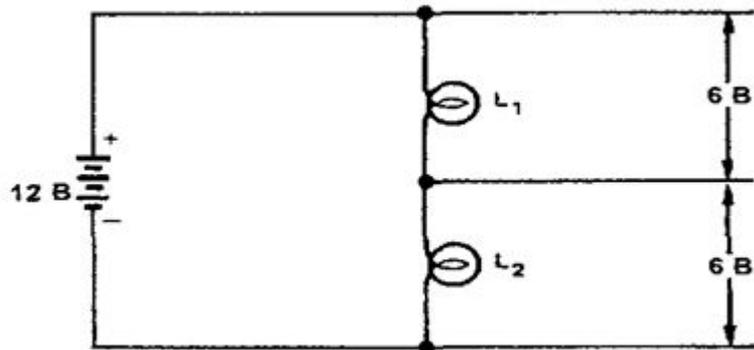
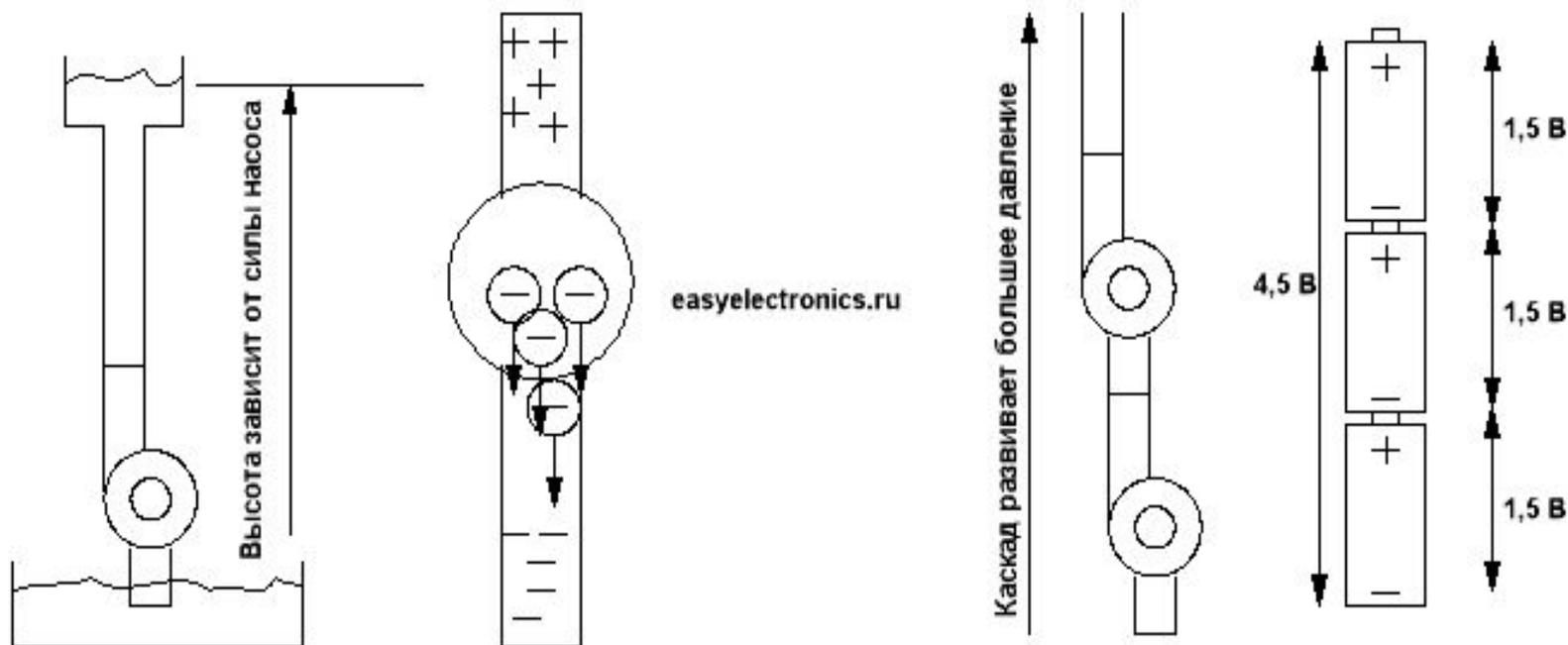


Рис.2. На каждой из одинаковых ламп номиналом по 6В, подключенных, к источнику 12В, происходит одинаковое падение напряжения по 6В

Рис. 3. При последовательном соединении соединении двух ламп к источнику, падение напряжения на каждой лампе будет разным в зависимости от ее сопротивления (номинального напряжения)

# Что такое нулевой потенциал (земля)



**Земля** — это термин, используемый для обозначения нулевого потенциала. Все другие потенциалы являются либо положительными, либо отрицательными по отношению к земле.

## Префиксы для обозначения номинальных значений

Префикс	Символ	Значение	Значение в десятичной дроби
Гига-	G	$10^9$	1 000 000 000
Мега-	M	$10^6$	1 000 000
Кило-	k	$10^3$	1 000
Милли-	m	$10^{-3}$	0,001
Микро-	$\mu$	$10^{-6}$	0,000001
Нано-	n	$10^{-9}$	0,000000001
Пико-	p	$10^{-12}$	0,000000000001

## Представление физических величин в относительных единицах

**Величина, выраженная в децибелах, численно равна десятичному логарифму безразмерного отношения физической величины к одноимённой физической величине, принимаемой за исходную, умноженному на десять:**

$$A_{dB} = 10 \lg \frac{A}{A_0}$$

где  $A_{dB}$  — величина в децибелах,  $A$  — измеренная физическая величина,  $A_0$  — величина, принятая за базис

Для оценки отношения мощностей  $P_{dB} = 10 \lg \frac{P_1}{P_0}$

Для оценки отношения напряжений  $U_{dB} = 20 \lg \frac{U_1}{U_0}$

Соответственно, переход от дБ к отношению мощностей осуществляется по формуле  $P_1/P_0 = 10^{(0,1 \cdot \text{величина в дБ})}$ ,

Пусть значение мощности  $P_1$  стало в 2 раза больше исходного значения мощности  $P_0$ , тогда

$$10 \lg(P_1/P_0) = 10 \lg(2) \approx 3,0103 \text{ дБ} \approx 3 \text{ дБ},$$

то есть рост мощности на 3 дБ означает её увеличение в 2 раза.

Пусть значение мощности  $P_1$  стало в 2 раза меньше исходного значения мощности  $P_0$ , то есть  $P_1 = 0,5 P_0$ . Тогда

$$10 \lg(P_1/P_0) = 10 \lg(0,5) \approx -3 \text{ дБ},$$

то есть снижение мощности на 3 дБ означает её снижение в 2 раза. По аналогии:

• **рост мощности в 10 раз:**  $10 \lg(P_1/P_0) = 10 \lg(10) = 10 \text{ дБ}$ , снижение в 10 раз:  $10 \lg(P_1/P_0) = 10 \lg(0,1) = -10 \text{ дБ}$ ;

• **рост в 1 млн. раз:**  $10 \lg(P_1/P_0) = 10 \lg(1\,000\,000) = 60 \text{ дБ}$ , снижение в 1 млн раз:  $10 \lg(P_1/P_0) = 10 \lg(0,000001) = -60 \text{ дБ}$

$\frac{P_1}{P_0}$	1000	100	10	4	2	1	0,79	0,5	0,25	0,1	0,01	0,001
$P_{\text{дБ}}$	30	20	10	6	3	0	-1	-3	-6	-10	-20	-30

- 0 дБ** Ничего не слышно (порог слышимости)
- 30** Тихо шепот, тиканье настенных часов.
- 60** Шумно (улица)
- 80** Очень шумно крик, мотоцикл с глушителем
- 100** Крайне шумно оркестр, вагон метро (прерывисто), гром
- 110** Крайне шумно, вертолёт
- 130** Болевой порог, самолёт на старте
- 160** - возможен разрыв барабанных перепонок