

Электрический ток.  
Электрическая цепь и её  
элементы.  
Электродвижущая сила  
(ЭДС). Электрическое  
сопротивление и  
проводимость.

- **Электрическая цепь** - это совокупность устройств и объектов, образующих путь электрического тока. Отдельное устройство, входящее в состав электрической цепи и выполняющее в ней определенную функцию, называется элементом электрической цепи.
- Электрическая цепь состоит из источника электрической энергии, потребителей и соединительных проводов, соединяющих источник электрической энергии с потребителем.

# ***Классификация электрической цепи***

## ***по виду тока:***

- постоянного тока;
- переменного тока;

## ***по составу элементов:***

- активные цепи;
- пассивные цепи;
- линейные цепи;
- нелинейные цепи;

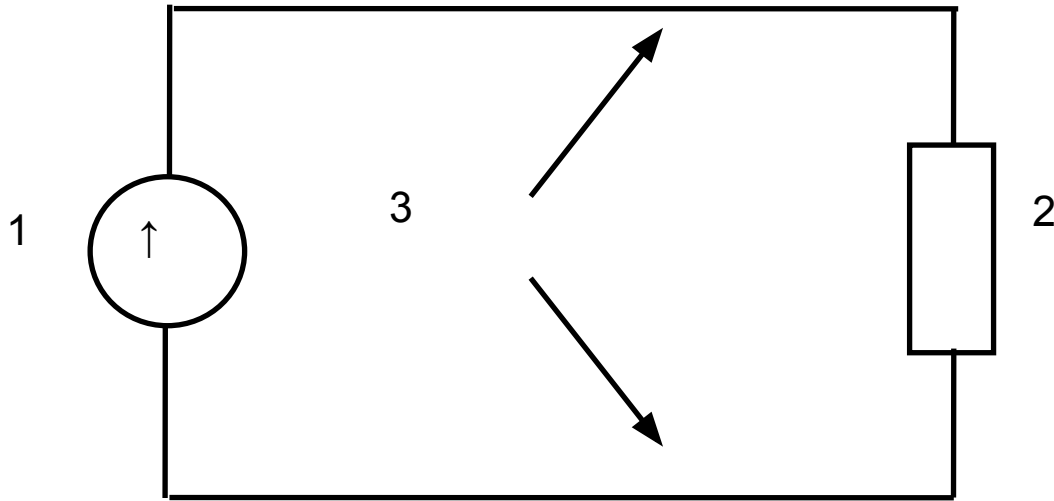
## ***по характеру распределения параметров:***

- с сосредоточенными параметрами;
- с распределенными параметрами;

## ***по числу фаз (для переменного тока):***

- однофазные;
- многофазные (в основном трехфазные).

# Простейшая электрическая цепь



***Основные элементы простейшей электрической цепи:***

1 - источник электрической энергии; 2 - приемники электрической энергии; 3 - соединительные провода.

## ***Вспомогательные элементы электрической цепи:***

- **управления** (рубильники, переключатели, контакторы);
- **защиты** (плавкие предохранители, реле и т.д.);
- **регулирования** (реостаты, стабилизаторы тока и напряжения, трансформаторы);
- **контроля** (амперметры, вольтметры и т.д.)

**Источник электрической энергии** - это преобразователь какого-либо вида неэлектрической энергии в электрическую.

■ **Виды преобразователей:**

- **электромеханический** (генераторы переменного и постоянного тока);
- **электрохимический** (гальванические элементы, аккумуляторы, топливные элементы);
- **термоэлектрический** (контактный, полупроводниковый).

**Приемники электрической энергии** преобразуют электрическую энергию в другие виды энергии:

- **механическую** (электродвигатели, электромагниты);
- **тепловую** (электропечи, сварочные аппараты, ... );
- **световую** (электролампы, прожекторы);
- **химическую** (аккумуляторы в процессе зарядки, электролитические ванны).

- **Схема электрической цепи** - это графическое изображение электрической цепи, содержащее условные обозначения ее элементов, показывающее соединения этих элементов.
- **Типы схем:** структурная; функциональная; принципиальная; монтажная и др.
- На принципиальной схеме приводится полный состав элементов и указаны все связи между ними. Эта схема дает детальное представление о принципах работы изделия (установки).

# условные обозначения электроприборов:



лампа



звонок



резистор



плавкий  
предохранитель



реостат



гальванический элемент,  
батарея элементов



вилка и  
розетка



клеммы



кнопка,  
выключатель



амперметр



вольтметр



электромагнит



двигатель



генератор



# ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

- Напряжение (Э.Д.С.) источника электрической энергии –  $U$ (В).
- Мощность источника электрической энергии –  $P$  (Вт).
- Сопротивление приемника электрической энергии –  $R$ (Ом).
- Мощность приемника электрической энергии –  $P$ (Вт).

- **Электродвижущая сила** - характеристика источника энергии в электрической цепи. **Электродвижущая сила** измеряется отношением работы сторонних **сил** по перемещению заряда вдоль контура к величине этого заряда. ЭДС измеряется в вольтах.

## Электродвижущая сила

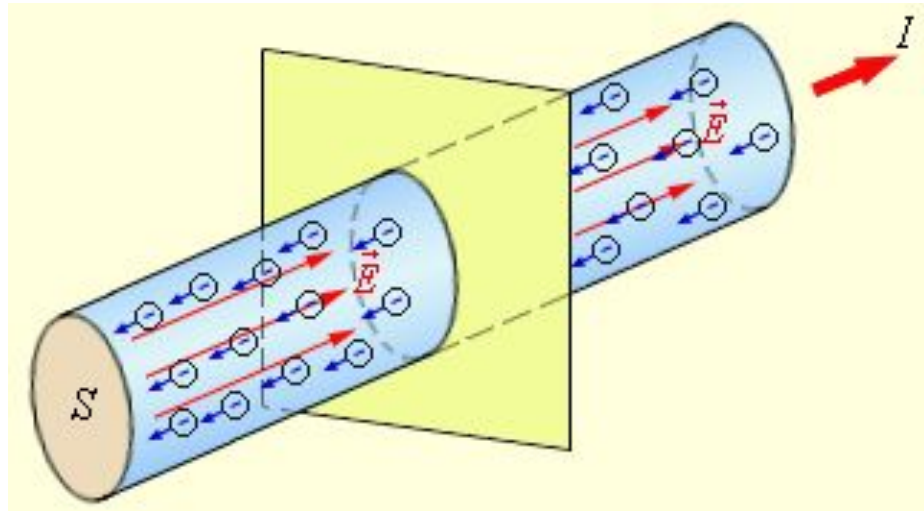
- (ЭДС), физическая величина, характеризующая действие сторонних сил в источниках постоянного или переменного тока; в замкнутом проводящем контуре равна работе этих сил по перемещению единичного положительного заряда вдоль контура. Если через  $E_{стр}$  обозначить напряжённость поля сторонних сил, то эдс в замкнутом контуре ( $L$ ) равна

$$E = \oint \mathbf{E} dl$$

где  $dl$  - элемент длины контура.

- Потенциальные силы электростатического (или стационарного) поля не могут поддерживать постоянный ток в цепи, т. к. работа этих сил на замкнутом пути равна нулю. Прохождение же тока по проводникам сопровождается выделением энергии - нагреванием проводников. Сторонние силы приводят в движение заряженные частицы внутри источников тока: генераторов, гальванических элементов, аккумуляторов и т. д. Происхождение сторонних сил может быть различным. В генераторах сторонние силы - это силы со стороны вихревого электрического поля, возникающего при изменении магнитного поля со временем, или Лоренца сила, действующая со стороны магнитного поля на электроны в движущемся проводнике; в гальванических элементах и аккумуляторах - это химические силы и т. д. ЭДС определяет силу тока в цепи при заданном её сопротивлении.
- Измеряется ЭДС, как и напряжение, в вольтах.

- **Электрический ток** - направленное и упорядоченное движение электронов под действием электрического поля создаваемого за счет Э.Д.С. источника питания.
- За направление электрического тока в электротехнике принято **направление, противоположное направлению движения электронов**. Всегда в электрической цепи ток направлен от положительного полюса источника к отрицательному.



**сила тока  $I$**  – скалярная физическая величина, равная отношению заряда  $\Delta q$ , переносимого через поперечное сечение проводника за интервал времени  $\Delta t$ , к этому интервалу времени:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

Упорядоченное движение электронов в металлическом проводнике и ток  $I$ .

$S$  – площадь поперечного сечения проводника,

$\vec{E}$  – электрическое поле.

Единицей измерения тока в системе СИ служит ампер (А)

Один ампер это такой ток при котором через поперечное сечение проводника за одну секунду протекает заряд в один кулон.

# Сопротивление приемника электрической энергии

- Противодействие, оказываемое материалом протеканию электрического тока, называется сопротивлением.
- Сопротивление проводника зависит от его геометрических размеров, материала и от температуры окружающей среды. Зависимость сопротивления от геометрических размеров и материала выражается формулой

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

где

R- сопротивление проводника, Ом;

l - длина проводника, м;

S - площадь поперечного сечения проводника, мм<sup>2</sup>;

ρ - удельное сопротивление проводника, Ом×мм<sup>2</sup>/м.

- Удельное сопротивление - сопротивление проводника длиной 1 м и сечением 1 мм<sup>2</sup> при температуре 200С.
- Удельное сопротивление в системе СИ измеряется в Ом×м.
- Сопротивление проводника прямо пропорционально длине проводника, обратно пропорционально площади поперечного сечения и зависит от материала проводника.
- Проводимость - величина, обратная сопротивлению, характеризует способность проводников проводить электрический ток,

$$G = \frac{1}{R} ; [G] = 1/\text{Ом} = \text{См (сименс)}$$

- При протекании электрического тока под действием источника питания затрачивается определенная энергия.
- Энергию часто определяют, как способность выполнять работу. В системе СИ единицей измерения работы является джоуль (Дж). Буквенным обозначением работы служит символ  $A$ .
- Электрическое напряжение есть энергетическая характеристика поля вдоль рассматриваемого пути из одной точки в другую, которой оценивается возможность совершения работы при перемещении заряженных частиц между этими точками.

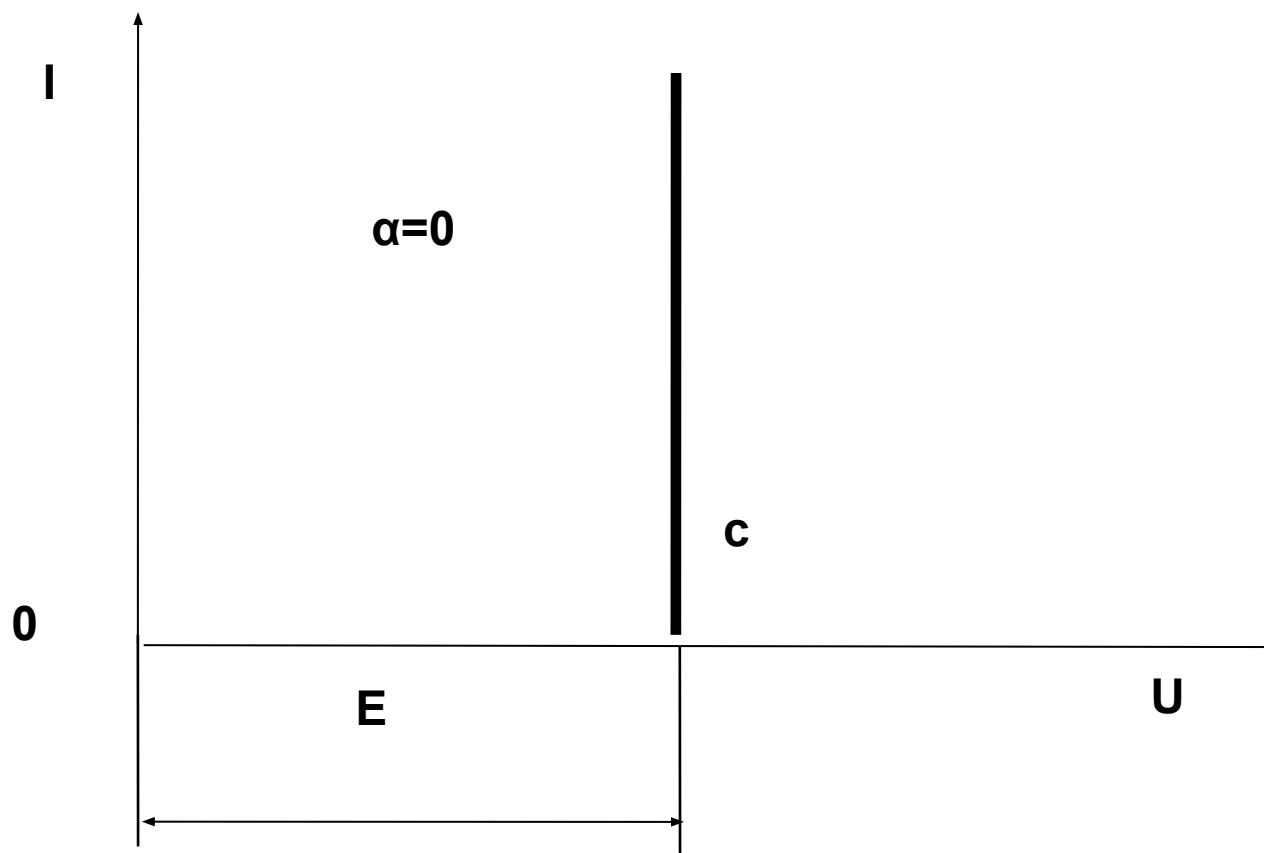


- Если для перемещения заряда в 1 Кл из одной точки проводника в другую требуется энергия 1 Дж, между этими точками существует разность потенциалов или напряжение 1 Вольт.
- **Вольт** - единица напряжения в системе СИ. Буквенное обозначение напряжения - U.

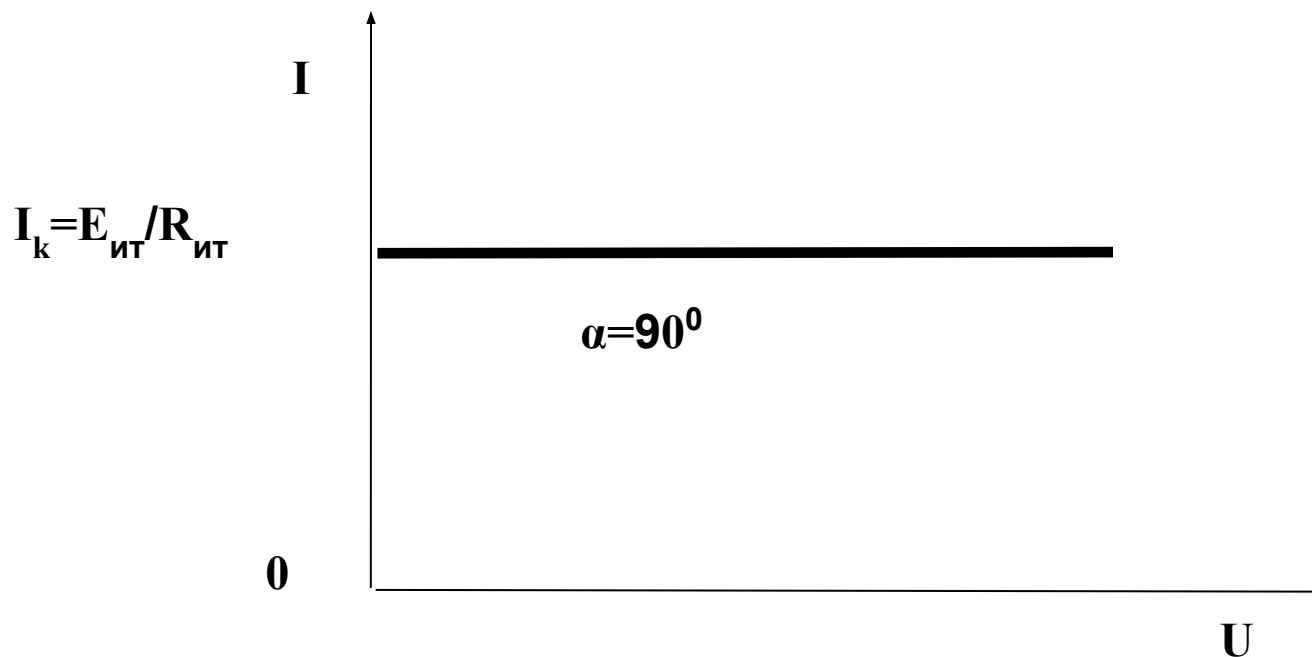
$$U = \frac{A}{q} = \frac{W}{q} = \varphi_1 - \varphi_2 \text{ [В]}$$

- Применяются также производные единицы от вольта: 1кВ=10<sup>3</sup> В; 1мВ=10<sup>-3</sup> В; 1 мкВ=10<sup>-6</sup> В.

**Источник Э.Д.С.** представляет собой такой идеализированный источник питания напряжение, на зажимах которого постоянно (не зависит от величины тока  $I$ ) и равно Э.Д.С.  $E$ , а внутреннее сопротивление равно нулю.



**Источник тока** представляет собой идеализированный источник питания, который дает ток  $I=I_k$ , не зависящий от сопротивления нагрузки, к которой он присоединен, а Э.Д.С. его  $E_{ит}$  и внутреннее сопротивление  $R_{ит}$  равны бесконечности.



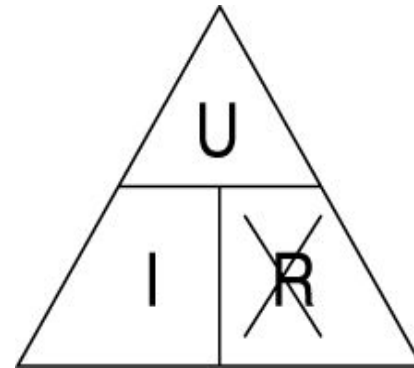
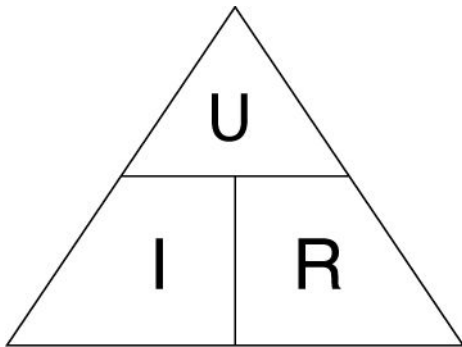
# Законы Ома.

## закон Ома для участка цепи

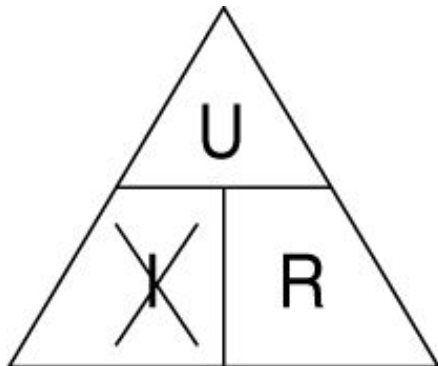
- Электрический ток на участке цепи прямо пропорционален напряжению на этом участке и обратно пропорционален сопротивлению того же участка.

$$I = \frac{U}{R}, [A = B / \text{Ом}]$$

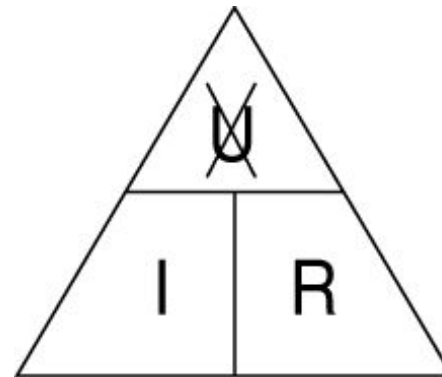
- При постоянном напряжении ток в цепи будет тем больше, чем меньше сопротивление этой цепи, причем ток в цепи увеличивается во столько раз, во сколько раз уменьшается сопротивление цепи.



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



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



$$U = IR$$

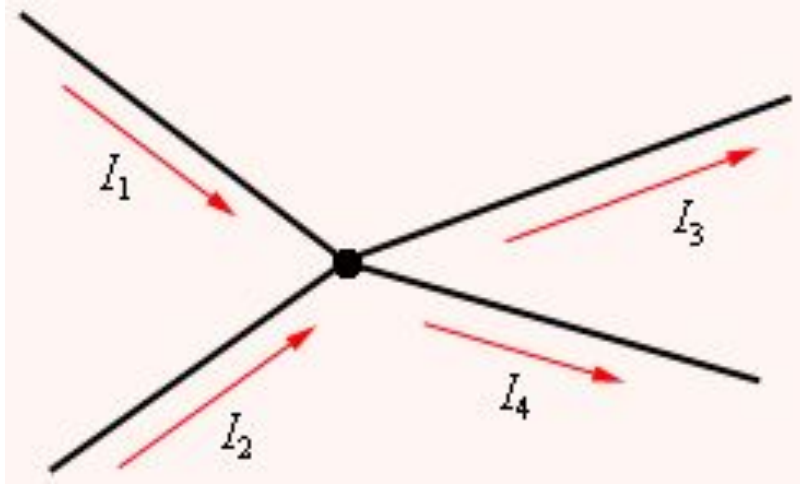
# закон Ома для всей цепи

- путь тока проходит не только по внешней части цепи, но также и по внутренней части цепи, т.е. внутри самого источника энергии.
- Электрический ток, проходя по внутренней части цепи, преодолевает ее внутреннее сопротивление и потому внутри источника также происходит падение напряжения.
- электродвижущая сила (э.д.с.) источника электрической энергии идет на покрытие внутренних и внешних потерь напряжения в цепи.
- Если  $E$  - электродвижущая сила в вольтах,  $I$  - ток в амперах,  $r$  - сопротивление внешней цепи в Омах,  $r_0$  - сопротивление внутренней части цепи в Омах,  $\Delta U_0$  - внутренняя потеря напряжения и  $U$  - напряжение внешней цепи, то

$$E = \Delta U_0 + U = Ir_0 + Ir = I(r_0 + r), \quad I = E / (r_0 + r).$$

- ток в электрической цепи равен электродвижущей силе, деленной на сопротивление всей цепи (сумме внутреннего и внешнего сопротивлений).

# первый закон Кирхгофа



В ветвях, образующих узел электрической цепи, алгебраическая сумма токов равна нулю.  $\sum I = 0$ .

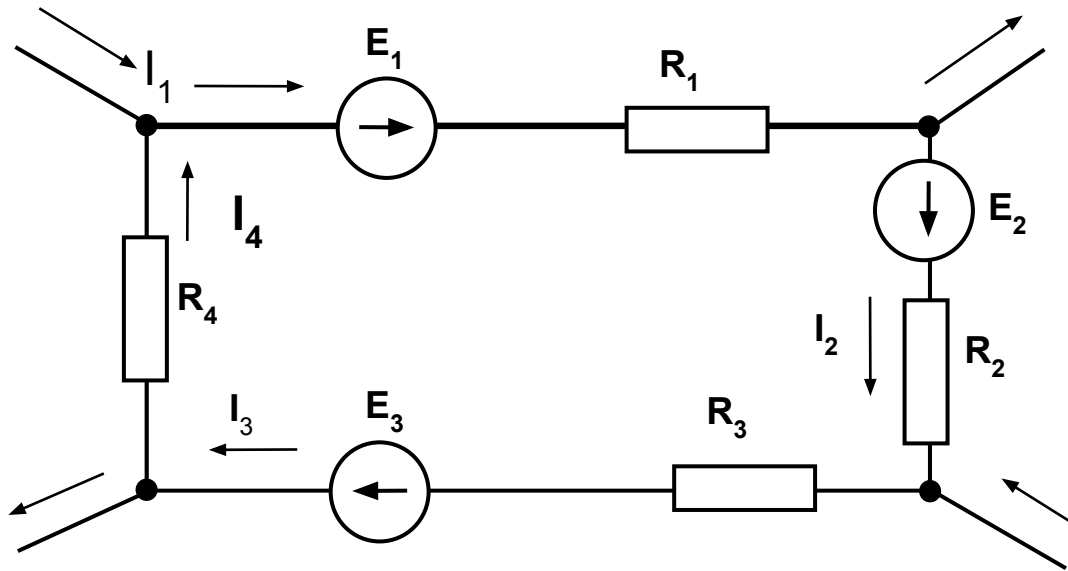
$$I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = 0.$$

сумма токов, направленных к узлу электрической цепи, равна сумме токов, направленных от этого узла.

Этот закон следует из принципа непрерывности тока.

Если допустить преобладание в узле токов одного направления, то заряд одного знака должен накапливаться, а потенциал узловой точки непрерывно изменяться, что в реальных цепях не наблюдается.

## второй закон Кирхгофа



Обходим контур в произвольном направлении, например по часовой стрелке. Если направления Э.Д.С. и токов совпадают с направлением обхода контура то Э.Д.С. ( $E$ ) и падения напряжений ( $Ir$ ) берутся со знаком плюс, если не совпадают - со знаком минус:

$$E_1 - E_2 + E_3 = I_1 r_1 + I_2 r_2 + I_3 r_3 + I_4 r_4$$

Или в общем виде:

$$\Sigma E = \Sigma Ir$$



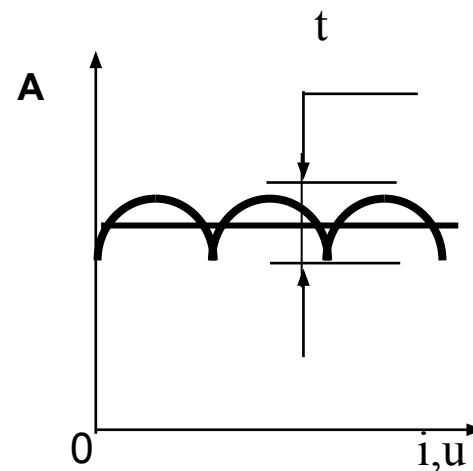
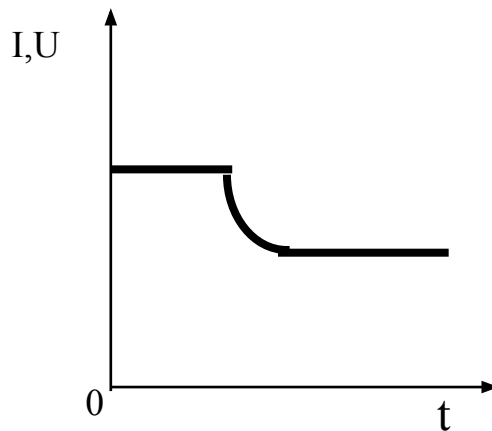
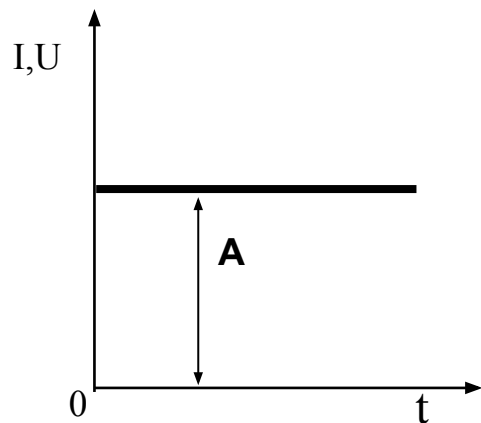
- **второй закон Кирхгофа. во всяком замкнутом контуре алгебраическая сумма электродвижущих сил равна алгебраической сумме падений напряжений.**
- Первый и второй законы Кирхгофа, записанные для всех независимых узлов и контуров разветвленной цепи, дают в совокупности необходимое и достаточное число алгебраических уравнений для расчета электрической цепи.
- Таким образом, законы Кирхгофа сводят расчет разветвленной электрической цепи к решению системы линейных алгебраических уравнений.

- Работа произведенная в единицу времени, называется **мощностью** и обозначается буквой  $P$ :

$$P = \frac{A}{t}, \quad [ \text{Вт} = \text{Дж/С} ]$$

- Мощность можно выразить также через напряжение и ток.  $P=UI$ , [ Вт=ВА]
- Кроме ватта, применяются также производные единицы  $1 \text{ мВт} = 10^{-3} \text{ Вт}$ ;  $1 \text{ кВт} = 10^3 \text{ Вт}$ ;  $1 \text{ МВт} = 10^6 \text{ Вт}$ .

- Под цепями постоянного тока подразумевают цепи, в которых ток не меняет своего направления, т.е. полярность источников Э.Д.С. в которых постоянна.
- Поток зарядов в этих цепях однонаправленный, и его определяют как **ПОСТОЯННЫЙ ТОК** и обозначают буквой латинского алфавита **I**.
- Единицей измерения тока в системе СИ служит ампер (А).



Примеры графиков постоянного тока.

## Основные параметры постоянного тока

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

- Переменным током называется ток, который во времени изменяется по величине и направлению либо только по величине, либо только по направлению.

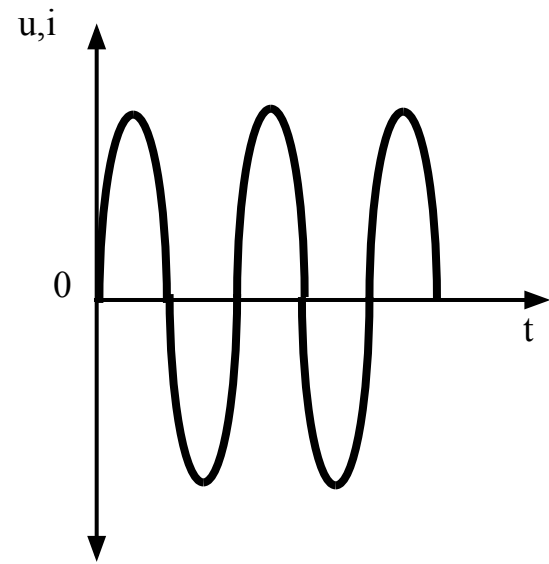
Переменные токи могут быть периодическими и непериодическими.

- **Определение:** Периодическим называется ток, значения которого повторяются через равные промежутки времени.

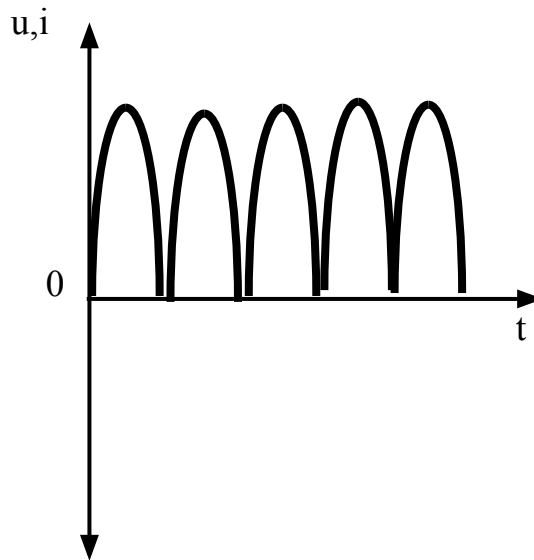
Переменные токи могут быть синусоидальными и несинусоидальными.

- **Определение:** Синусоидальным током называется ток, который в течение времени изменяется по синусоидальному закону.

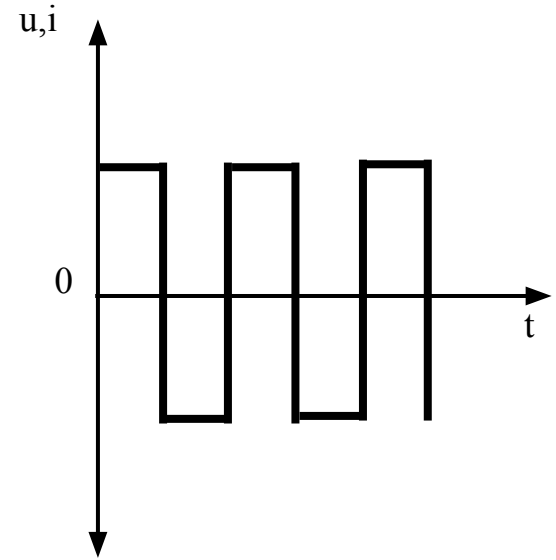
# Формы переменного тока.



а) изменяется по величине  
и по направлению



б) изменяется только  
по величине



в) изменяется только  
по направлению

- Синусоидальную Э.Д.С. можно получить, вращая с постоянной скоростью проводник в виде прямоугольной рамки в равномерном магнитном поле. В результате вращения рамки в магнитном поле в сторонах ее будет индуцироваться Э.Д.С., величина которой определяется по формуле:

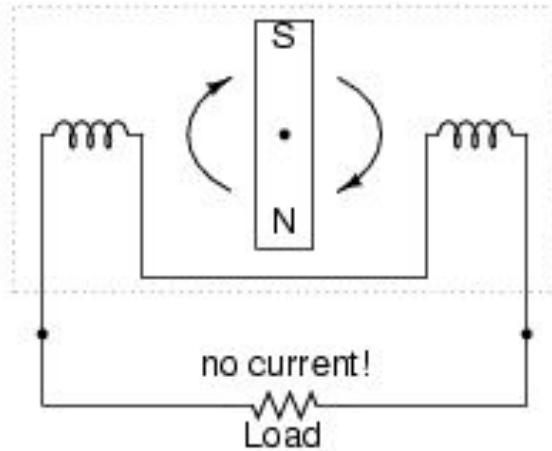
$$e = 2BVI \sin \alpha,$$

- где:  $B$  - магнитная индукция, Тл;  $V$  - скорость движения проводника, м/с;  $l$  - активная длина проводника, м;  $\alpha$  - угол между нейтралью и плоскостью, проходящей через рамку, в радианах или градусах.

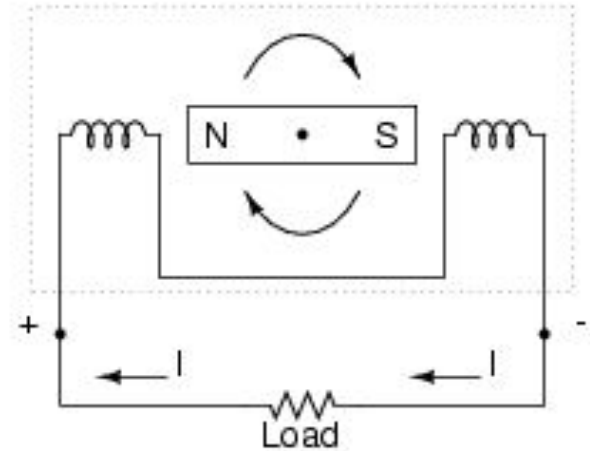
Если  $2BVI$  обозначить  $E_m$ , то формулу для определения индуцированной Э.Д.С. можно записать:  $e = E_m \sin \alpha$ .

## Alternator operation

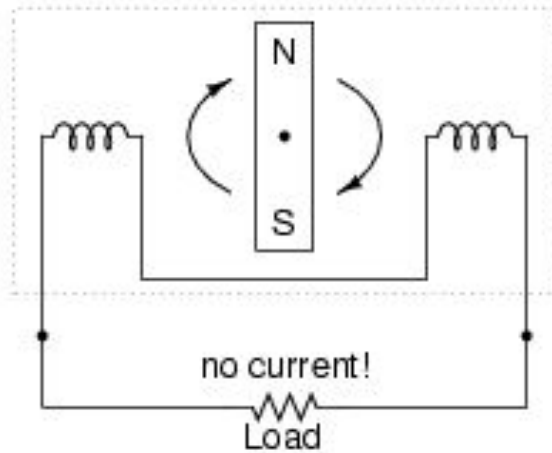
Step #1



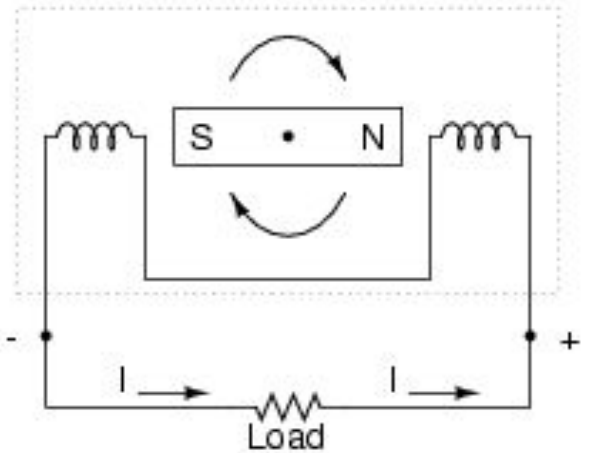
Step #2



Step #3



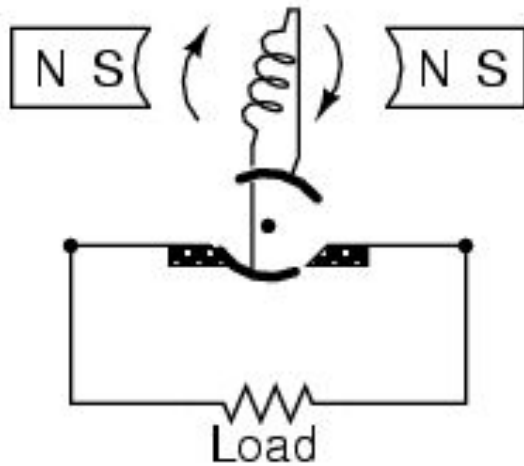
Step #4



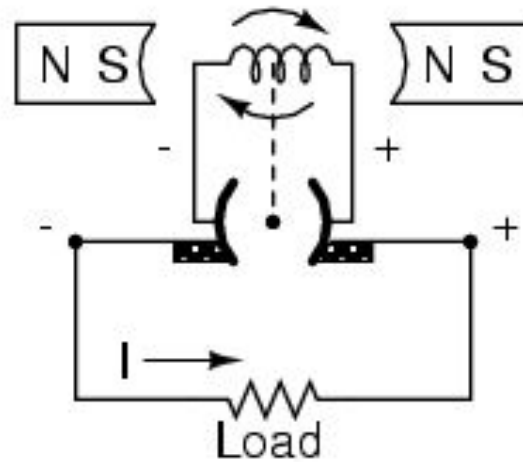


# (DC) Generator operation

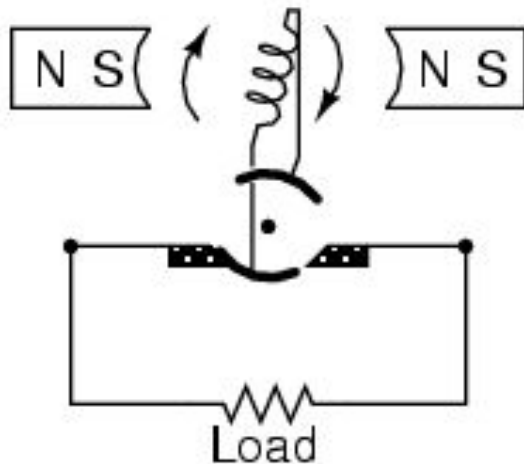
Step #1



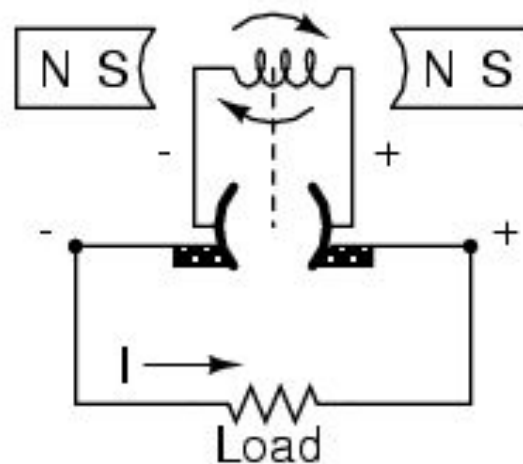
Step #2

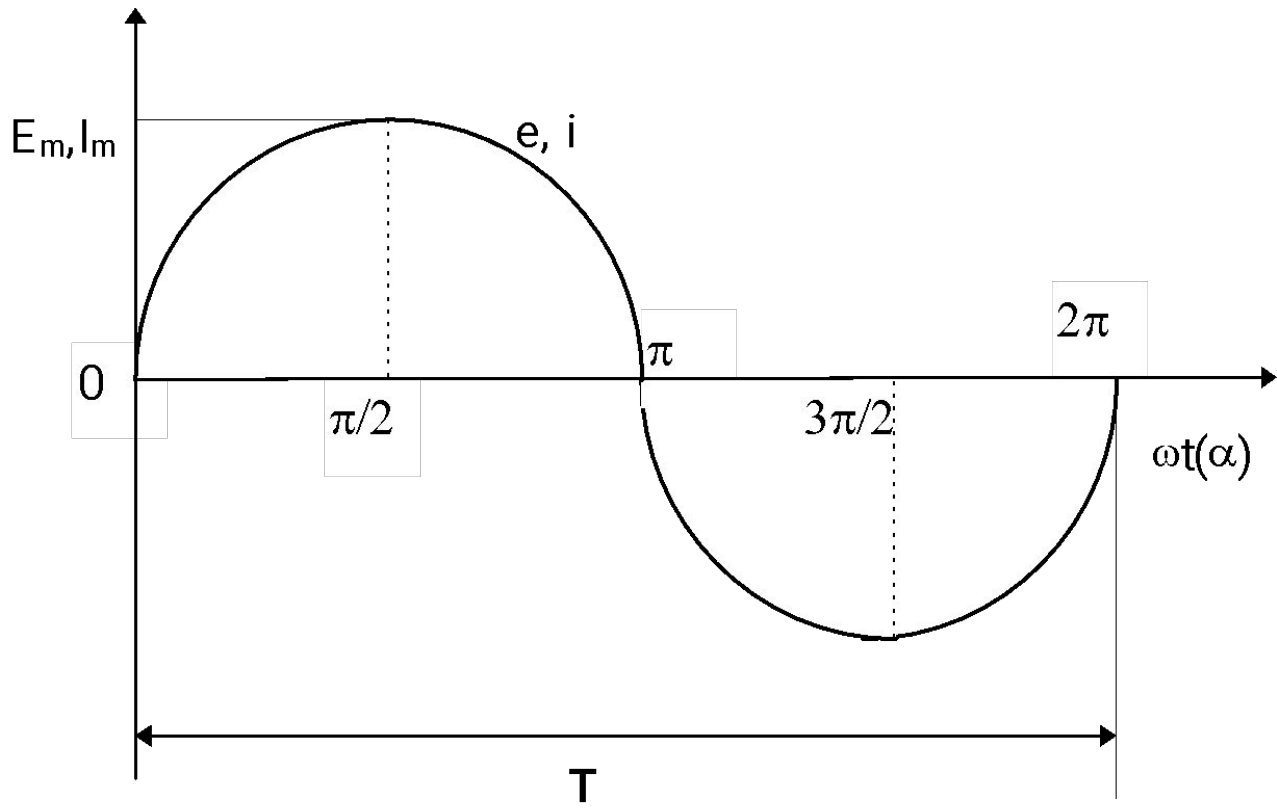


Step #3



Step #4





## ОСНОВНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК:

- 1. Наибольшие значения, которых достигают при своем изменении Э.Д.С., напряжения и токи называются **амплитудными или максимальными значениями**.
- 2. Время, за которое переменный ток совершает полный цикл своих изменений после чего они повторяются в той же последовательности, называется **периодом**
- Период обозначается буквой  $T$ , измеряется в секундах.
- 3. Величина, определяющая количество периодов переменного тока за одну секунду, называется **линейной частотой или просто частотой**.
- 4. Угол, изменяющийся во времени и характеризующий стадию изменения тока, напряжения, э.д.с. в данный момент времени называется **фазой или фазным углом**.
- 5. **Начальным фазным углом** называется величина фазного угла в начальный момент времени равной нулю.  $i = I_m \sin(\omega t + \psi)$ , при  $t=0$   $i = I_m \sin \psi$ .
- 6. Величина, определяющая скорость изменения фазного угла называется **угловой частотой**.  $\omega = d\alpha/dt$ ,  $\omega t = 2\pi$ ;  $\omega = 2\pi/T = 2\pi f$ .

- 7. Значение величин тока, напряжения и э.д.с. в любой момент времени называется **мгновенным значением**.
- Мгновенные значения электрических величин обозначаются малыми буквами  $i$ ,  $u$ ,  $e$ .
- 8. **Действующее значение переменного тока, Э.Д.С. и напряжения** - это среднеквадратичное значение переменного тока (Э.Д.С., напряжения) за период  $T$ .

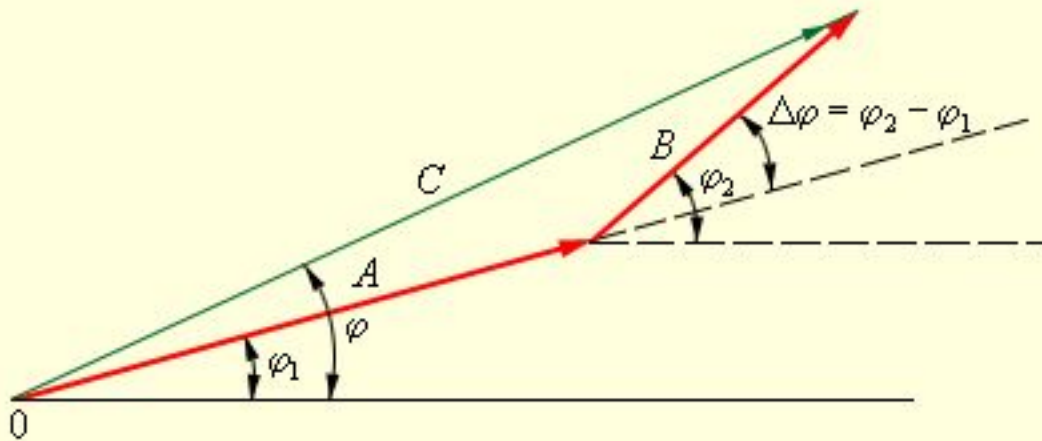
$$I = \sqrt{1/T \int i^2 dt} \quad E = \sqrt{1/T \int e^2 dt} \quad U = \sqrt{1/T \int u^2 dt}$$

- Действующая величина переменного тока  $I$  численно равна величине постоянного тока, который в одном и том же элементе цепи за время периода  $T$  выделяет столько же тепла, сколько при тех же условиях выделяет переменный ток.
- 9. **Средней величиной переменного тока (Э.Д.С., напряжения)** называется среднее арифметическое из всех мгновенных величин за полупериод.
- Средняя величина равна высоте прямоугольника с основанием  $\pi$  (в угловой мере), площадь которого равна площади  $S$ , ограниченной положительной полувольтной тока и осью абсцисс

$$(I_c \times \pi = 2 \times I_m).$$

$$\text{Отсюда: } I_{cp} = 2I_m / \pi = 0,637 I_m$$

- синусоидальные токи, напряжения и Э.Д.С. полностью характеризуются тремя параметрами: **амплитудным значением, частотой и начальной фазой.**
- Синусоидально изменяющиеся величины помимо аналитического выражения изображают также графически с помощью волновых или **векторных диаграмм.**  
Совокупность двух и большего числа векторов называют векторной диаграммой.
- Суть векторного изображения заключается в том, что синусоидальные величины изображаются с помощью вращающихся против часовой стрелки векторов с угловой скоростью  $\omega$ .



Изображение гармонических колебаний  $A \cos(\omega t + \varphi_1)$ ,  $B \cos(\omega t + \varphi_2)$  и их суммы  $C \cos(\omega t + \varphi)$  с помощью векторов на векторной диаграмме.

Длины векторов на диаграмме равны амплитудам колебаний  $A$  и  $B$ , а наклон к горизонтальной оси определяется фазами колебаний  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ . Взаимная ориентация векторов определяется относительным фазовым сдвигом  $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ . Вектор, изображающий суммарное колебание, строится на векторной диаграмме по правилу сложения векторов:

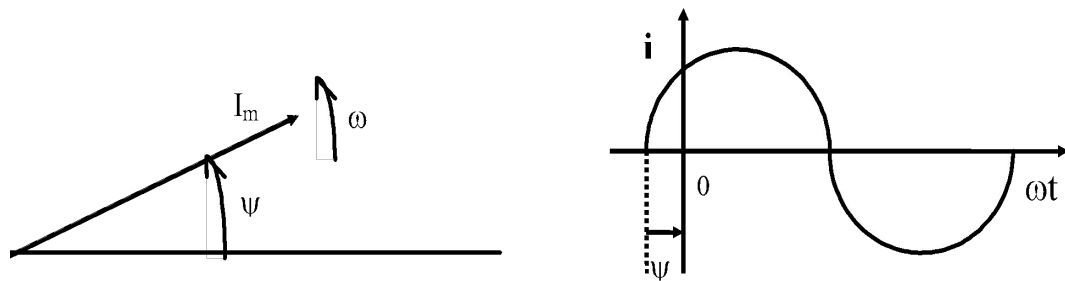
$$\vec{C} = \vec{A} + \vec{B}.$$

Для того, чтобы построить векторную диаграмму напряжений и токов при в электрической цепи, нужно знать соотношения между амплитудами токов и напряжений и фазовый сдвиг между ними для всех участков цепи.

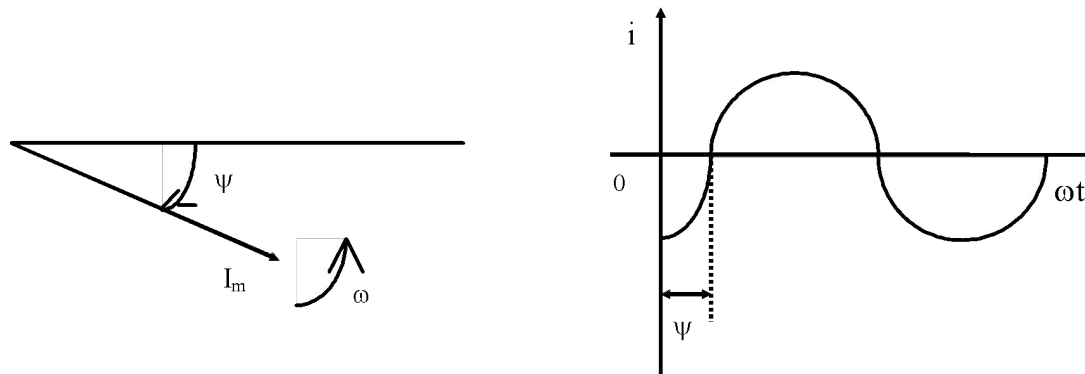
синусоидальная величина без начальной фазы ( $i = I_m \sin \omega t$ , при  $\psi = 0$ )



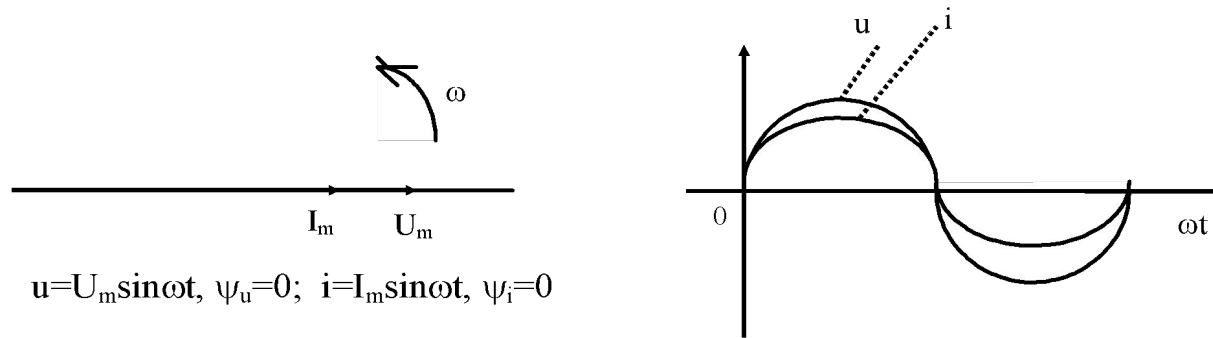
синусоидальная величина с положительной начальной фазой [ $i = \sin(\omega t + \psi)$ ]



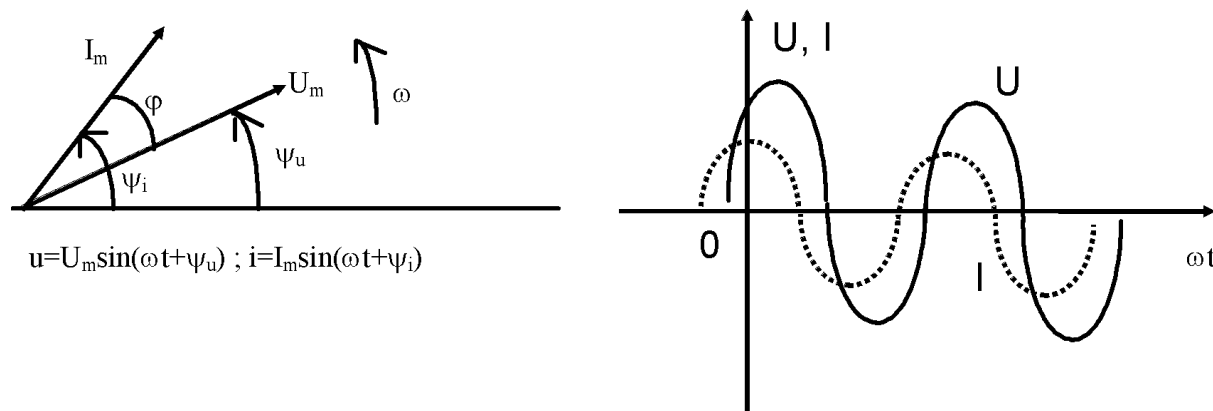
синусоидальная величина с отрицательной начальной фазой [ $i = \sin(\omega t - \psi)$ ]



## Изменение синусоидальных электрических величин в фазе



## Изменение синусоидальных электрических величин со сдвигом по фазе.



## Синусоидальные электрические величины, изменяющиеся в противофазе.

