



# *Цепи постоянного и переменного тока*

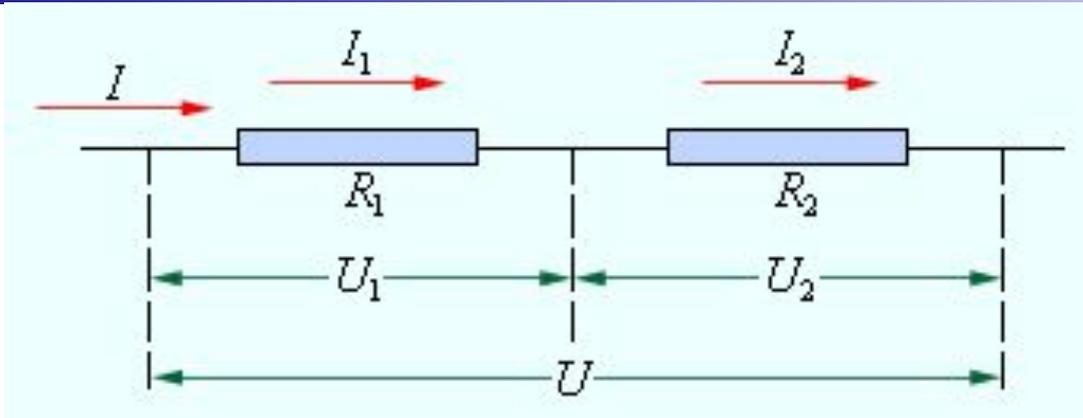
**ЛЕКЦИЯ 1/3**

# УЧЕБНЫЕ ВОПРОСЫ

- Последовательное соединение элементов. Делитель напряжения.
- Параллельное соединение элементов. Делитель тока.
- Мостовые цепи постоянного тока.
- Емкость и индуктивность в цепях переменного тока, активное, реактивное и полное сопротивление цепи переменного тока.
- Делители напряжений и токов в цепях переменного тока.
- Трансформаторы в цепях переменного тока.

# **Учебный вопрос №1**

- **Последовательное соединение элементов. Делитель напряжения.**



1. Через все участки последовательной цепи протекает один и тот же электрический ток.

$$I = I_1 = I_2$$

2. Сумма падений напряжений на резисторах равна приложенному к цепи напряжению.

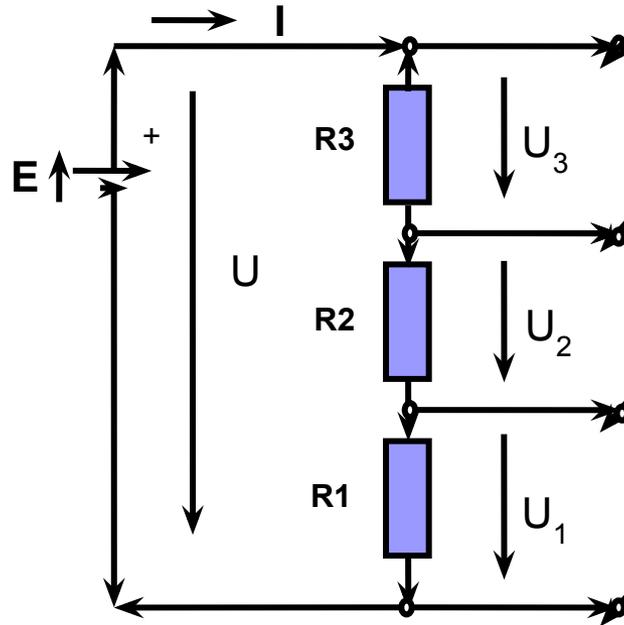
$$U = U_1 + U_2$$

3. Эквивалентное сопротивление цепи равно сумме сопротивлений резисторов.

$$R_3 = R_1 + R_2$$

4. При последовательном соединении резисторов напряжения на отдельных участках цепи распределяются прямо пропорционально сопротивлениям этих резисторов.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}; \frac{U_2}{U_3} = \frac{R_2}{R_3}; \frac{U_3}{U_1} = \frac{R_3}{R_1}.$$



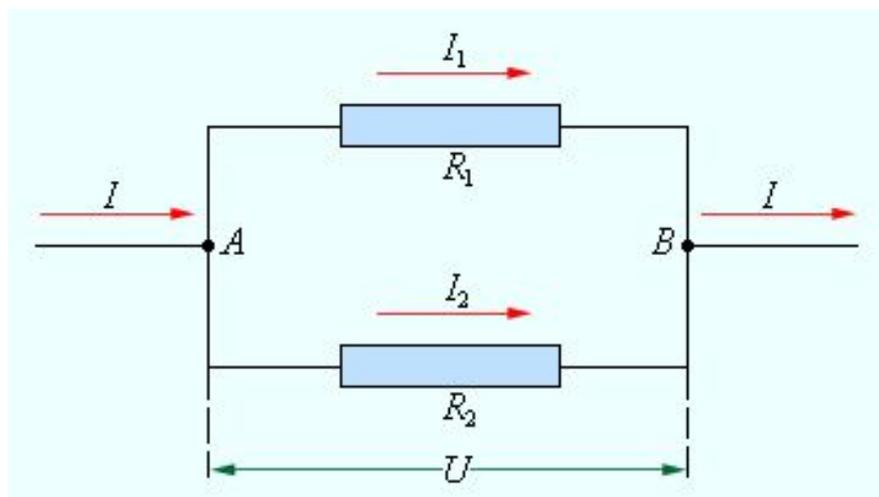
**Делитель напряжения** - это устройство, состоящее из нескольких последовательно соединенных резисторов, позволяющее снимать с него несколько величин напряжений, меньших напряжения источника.

Если  $R1 > R2 > R3$ , то и  $U_1 > U_2 > U_3$ ;  $U_1 = IR1$ ;  
 $U_{12} = I(R1 + R2)$ , т.к.  $R1 + R2 > R1$ , то и  $U_{12} > U_1$ .

Таким образом, в зависимости от сопротивлений резисторов с делителя можно снимать различные по величине напряжения.

# **Учебный вопрос №2**

- **Параллельное соединение элементов.  
Делитель тока.**



1. Напряжение на каждом резисторе равно приложенному напряжению.

$$U = U_1 = U_2$$

2. Ток в неразветвленной цепи равен сумме токов в ветвях.

$$I = I_1 + I_2,$$

Если все резисторы обладают одинаковым сопротивлением ( $R_1 = R_2 = R_n$ ), то  $I = nI_1$ .

3. Величина обратная эквивалентному сопротивлению равна сумме обратных величин сопротивлений ветвей.

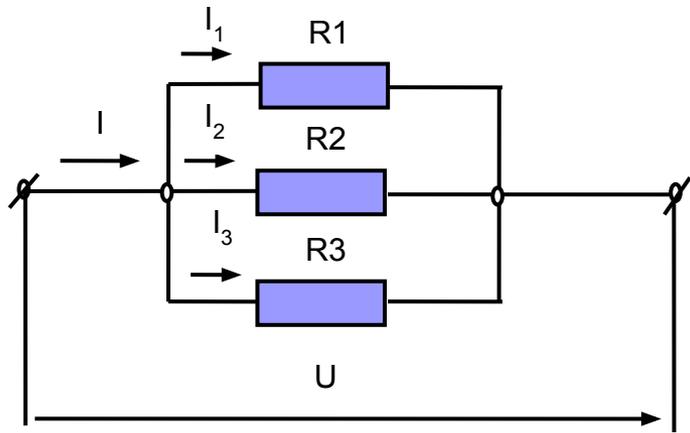
$$1/R_{\text{э}} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$$

Если параллельно соединены несколько одинаковых по величине сопротивлений, то эквивалентное сопротивление цепи определяется отношением сопротивления одного из них на количество сопротивлений (резисторов).

$$R_{\text{э}} = R/n$$

При параллельном соединении эквивалентное сопротивление меньше наименьшего. Для двух параллельно соединенных резисторов эквивалентное сопротивление определяется по формуле:

$$R_{\text{э}} = (R_1 \times R_2) / (R_1 + R_2)$$



Электрические цепи с параллельным соединением резисторов могут выступать в роли **делителей токов**. Принцип деления тока применим только к параллельным схемам, где ко всем элементам приложено одно и то же напряжение.

В схеме содержащей n параллельных ветвей ток  $I_n$  в ветви  $R_n$  равен произведению общего тока  $I_{\text{общ}}$  и частного от деления эквивалентного сопротивления параллельной цепи  $R_{\text{э}}$  на сопротивление  $R_n$ :

$$I_n = I_{\text{общ}} (R_{\text{э}} / R_n)$$

Если два резистора  $R_1$  и  $R_2$  соединены параллельно, то протекающий через резистор  $R_1$  ток определяется по формуле:

$$I_1 = I_{\text{общ}} (R_2 / (R_1 + R_2))$$

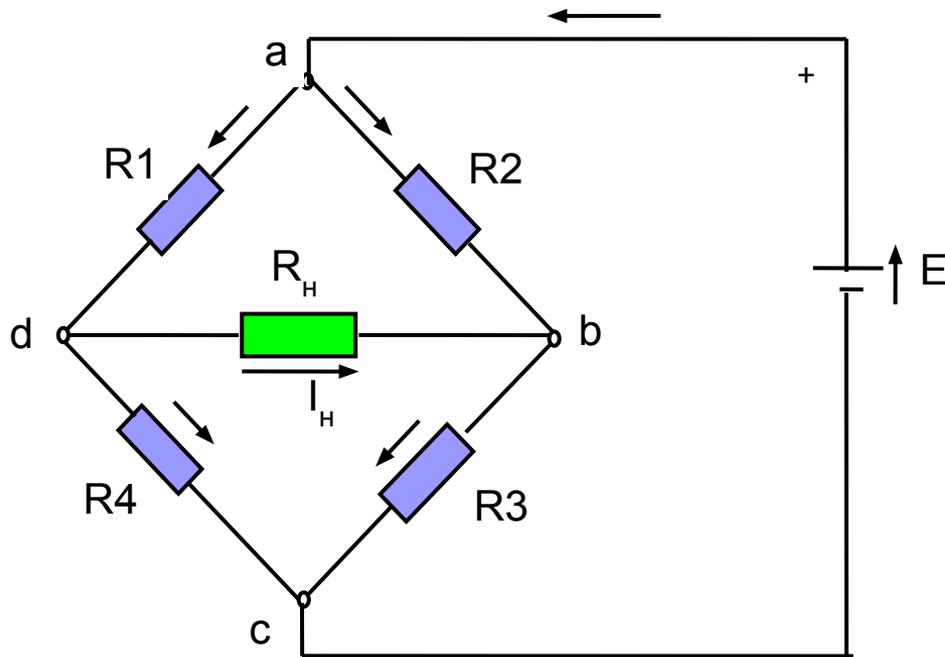
Протекающий через резистор  $R_2$  ток определяется по формуле:

$$I_2 = I_{\text{общ}} (R_1 / (R_1 + R_2))$$

Ток в ветви обратно пропорционален ее сопротивлению. Ветвь с большим сопротивлением “пропускает” меньший ток, и наоборот.

# **Учебный вопрос №3**

- **Мостовые цепи постоянного тока.**



**Мост постоянного тока (МПТ)** - это сложная электрическая цепь, в которой 4 резистора, называемых плечами, образуют замкнутый 4-х угольник, в одну диагональ которого включается нагрузка, а в другую - источник постоянного тока.  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  и  $R_4$  - плечи моста;  $ac$  - диагональ источника питания;  $db$  - диагональ нагрузки.).

Мостовая схема может находиться в 2-х состояниях - **уравновешенном** (сбалансированном) и **неуравновешенном** (несбалансированном).

Уравновешенное состояние - режим работы МПТ, когда разность потенциалов между узлами диагонали нагрузки равны 0 и ток через сопротивление нагрузки не протекает. Математически условие равновесия мостовой схемы можно выразить как:

$$\varphi_b = \varphi_d; \varphi_b - \varphi_d = U_{bd} = 0; I_H = 0.$$

где:  $\varphi_b; \varphi_d$  - потенциалы узлов b и d диагонали нагрузки;

$\varphi_b - \varphi_d = U_{bd}$  - разность потенциалов между узлами диагонали нагрузки, или падение напряжения на сопротивлении нагрузки.

Для обеспечения равенства потенциалов точек d и b диагонали нагрузки необходимо, чтобы:  $U_{R1} = U_{R2}$  и  $U_{R4} = U_{R3}$ ;

**$R1 * R4 = R2 * R3$  - условие равновесия моста постоянного тока.**

Признаком уравновешенного состояния моста является отсутствие тока в диагонали нагрузки.

## Неуравновешенное состояние МПТ.

В случае нарушения условия равновесия МПТ ( $R_1 * R_4 \neq R_2 * R_3$ ) между точками d и b диагонали нагрузки появляется разность потенциалов, и через диагональ будет протекать ток. При этом возможны два варианта разбаланса моста:

$\varphi_d > \varphi_b$  и тогда ток в нагрузке протекает от d к b;

$\varphi_d < \varphi_b$  и тогда ток в нагрузке протекает от b к d.

## Области применения МПТ:

1. Мосты постоянного тока находят широкое применение в измерительной технике для измерения омических сопротивлений (измерительные мосты).
2. МПТ широко используются в аппаратуре ТСО для фиксации факта нарушения целостности сигнального шлейфа (соединительной линии).

# **Учебный вопрос №4**

- **Емкость и индуктивность в цепях переменного тока**

## Сопротивление электрической цепи,

полное электрическое сопротивление, величина, характеризующая сопротивление цепи электрическому току; измеряется в Омах. В случае синусоидального переменного тока С. э. ц. выражается отношением амплитуды напряжения на зажимах цепи к амплитуде тока в ней и равно  $Z = \sqrt{r^2 + x^2}$ , где  $r$  - сопротивление активное,  $x$  - сопротивление реактивное

$$Z = \sqrt{r^2 + x^2}$$

**Сопротивление активное** электрическое, величина, характеризующая сопротивление цепи (ее участка) переменному току, обусловленное необратимым превращением электрической энергии в др. формы энергии (преимущественно в тепловую); выражается отношением активной мощности, поглощаемой на участке цепи, к квадрату действующего значения тока на этом участке; измеряется в Омах.

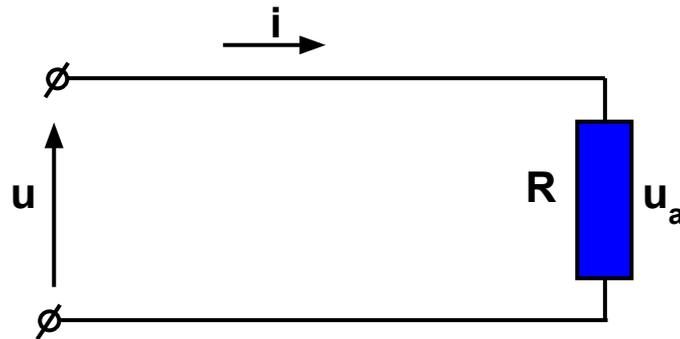
**Сопротивление реактивное** - величина, характеризующая сопротивление, оказываемое переменному току электрической ёмкостью и индуктивностью цепи (её участка).

В случае синусоидального тока при последовательном соединении индуктивного и ёмкостного элементов цепи сопротивление выражается в виде разности сопротивления индуктивного и сопротивления ёмкостного:

$$x = \omega L - \frac{1}{\omega C}$$

где  $\omega$  — угловая частота тока,  $L$  и  $C$  — индуктивность и ёмкость цепи; Сопротивление реактивное равно отношению амплитуды напряжения на зажимах цепи, обладающей малым сопротивлением активным, к амплитуде тока в ней. В цепи, обладающей только сопротивлением реактивным, при протекании переменного тока происходит передача энергии источника тока электрическому или магнитному полю, создаваемому соответственно ёмкостным или индуктивным элементом цепи, и затем обратно, причём средняя за период мощность равна нулю. Наличие у цепи сопротивления реактивного вызывает сдвиг фаз между напряжением и током.

## Цепь переменного тока с активным сопротивлением.

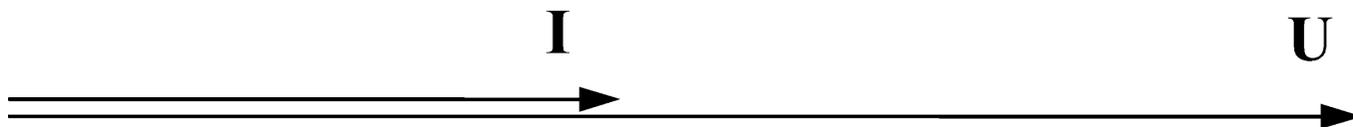


$$i = \frac{u}{R} = (U_m/R) \sin \omega t = I_m \sin \omega t,$$

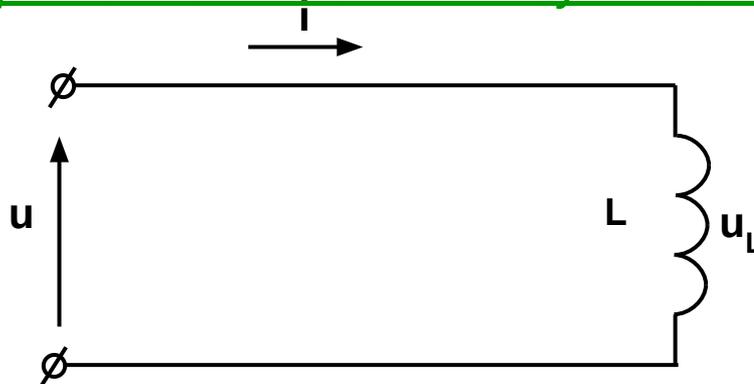
где  $U_m$  - амплитудное значение напряжения, В;  $I_m = U_m/R$  - амплитудное значение тока, А.

Действующее значение тока в цепи  $I = I_m / \sqrt{2} = (U_m/R) \sqrt{2} = U/R$ .

Напряжение и ток в цепи с активным сопротивлением совпадают по фазе, и в любой момент времени мгновенные значения тока и напряжения пропорциональны друг другу. Временная диаграмма для цепи переменного тока с активным сопротивлением имеет следующий вид.



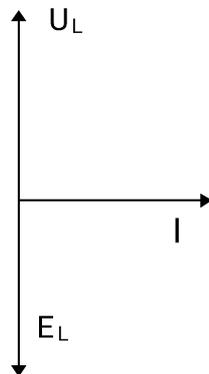
## Цепь переменного тока с индуктивностью.



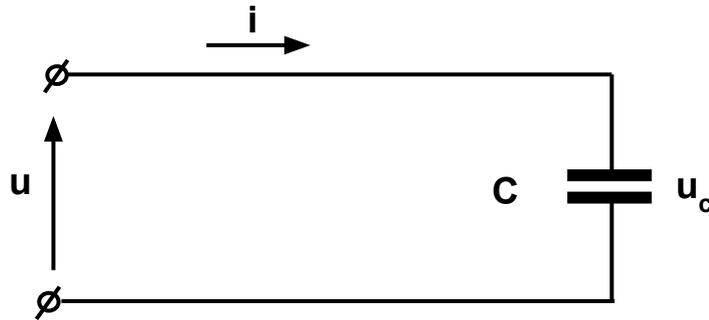
Если электрическая цепь обладает только индуктивностью  $L$  (активное сопротивление катушки  $R=0$ ) и по ней протекает синусоидальный ток  $i=I_m \sin \omega t$ , то по второму закону Кирхгофа

$$u=L \frac{di}{dt}=U_{Lm} \cos \omega t=U_{Lm} \sin(\omega t+\pi/2), \text{ где } U_{Lm}=E_{Lm}=LI_m \omega.$$

При синусоидальном токе напряжение на индуктивности по фазе опережает ток на угол  $\phi=\pi/2$ . Векторная диаграмма этой цепи имеет следующий вид.



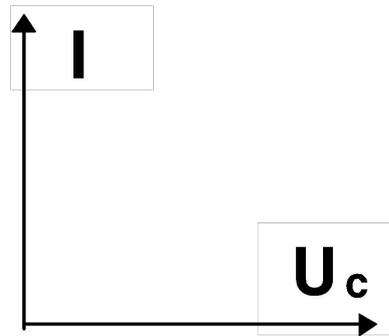
## Цепь переменного тока с емкостью.



Если электрическая цепь обладает только емкостью (конденсатор без потерь) и к ней приложено напряжение  $u$  переменного тока, то в цепи протекает ток

$$i = C \frac{du}{dt} = C U_m \omega \cos \omega t = I_m \sin(\omega t + \pi/2),$$

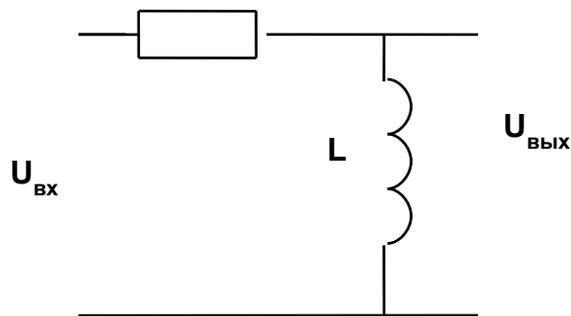
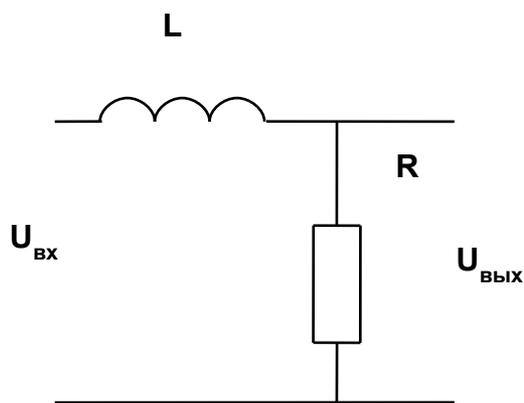
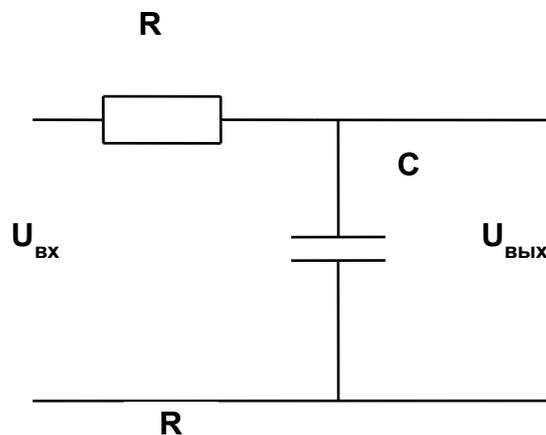
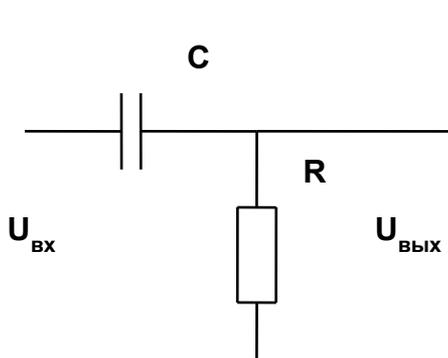
где  $u = U_m \sin \omega t$ , т.е. ток в такой цепи опережает напряжение на угол  $\pi/2$ .



# **Учебный вопрос №5**

- **Делители напряжений и токов в цепях переменного тока.**

Делители напряжений имеют простую структуру и содержат два и более элемента. Эти элементы могут быть активными (резисторы) и реактивными (конденсаторы и катушки индуктивности).



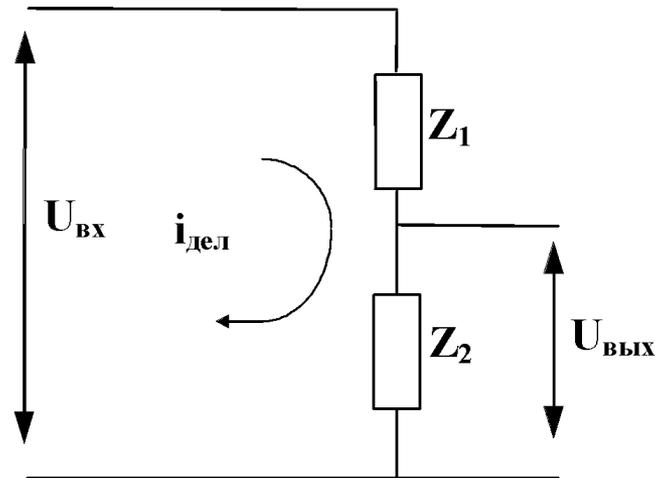


Схема делителя напряжения в общем виде

**Связь между напряжением на выходе и на входе  
устанавливает коэффициент передачи**

$$\beta = u_{\text{ВЫХ}} / u_{\text{ВХ}}$$

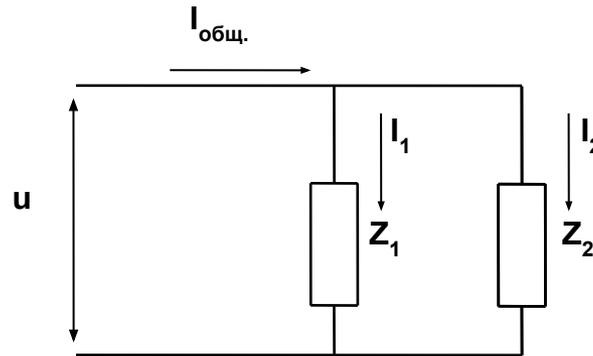
$$\beta = Z_2 / (Z_1 + Z_2)$$

**коэффициент передачи зависит от величин сопротивлений  
делителя.**

**А в свою очередь, если элементами делителя будут являться  
реактивные элементы (конденсаторы и катушки индуктивности),  
то их сопротивления будут зависеть от частоты приложенного к  
делителю переменного напряжения.**

## Делитель тока.

Схема делителя тока представляет собой электрическую цепь с параллельным соединением элементов.



В параллельной схеме с комплексными сопротивлениями ток  $I_n$  в конкретной ветви  $Z_n$  равен произведению общего тока  $I_{\text{общ}}$  и полного эквивалентного сопротивления  $Z_{\text{э}}$ , деленного на  $Z_n$ .

$$I_n = I_{\text{общ}} \times Z_{\text{э}} / Z_n .$$

В случае параллельного соединения двух комплексных сопротивлений  $Z_1$  и  $Z_2$  протекающий через  $Z_1$  ток определяется по формуле

$$I_1 = I_{\text{общ}} \times Z_2 / (Z_1 + Z_2) .$$

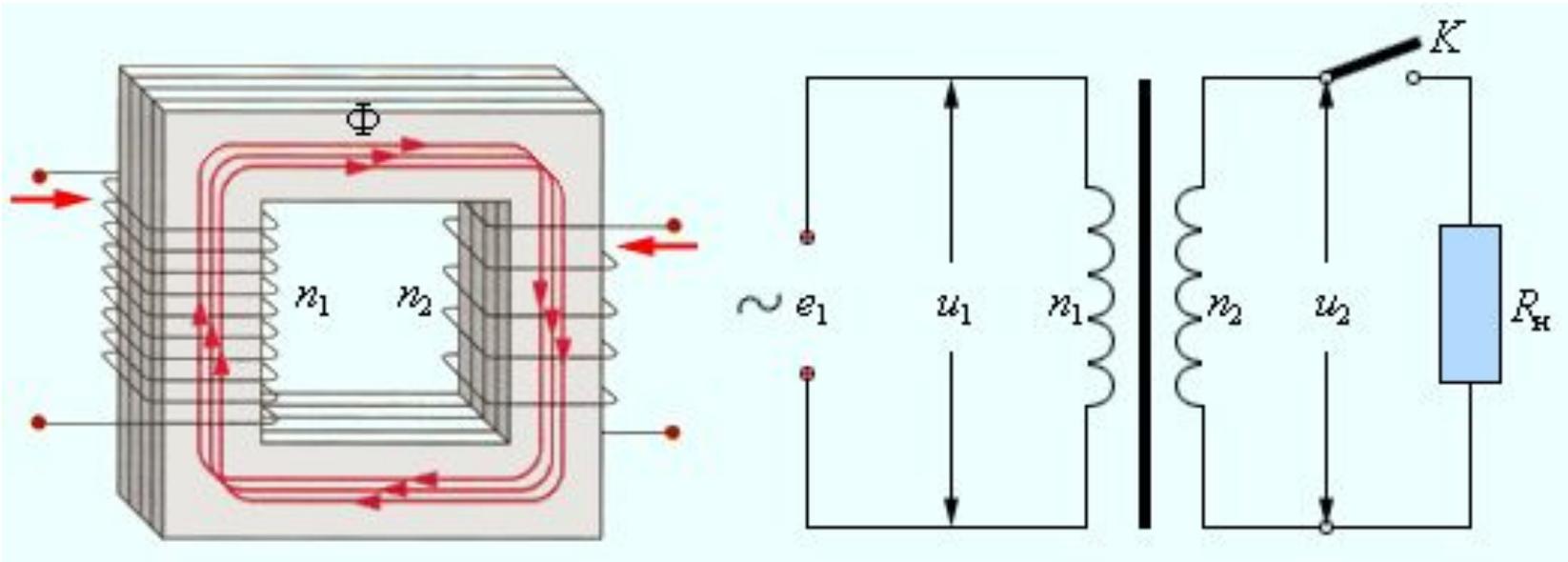
Протекающий через  $Z_2$  ток определяется по формуле

$$I_2 = I_{\text{общ}} \times Z_1 / (Z_1 + Z_2) .$$

# **Учебный вопрос №6**

- **Трансформаторы в цепях переменного тока.**

Трансформатором называется статическое устройство, имеющее две или большее число индуктивно связанных обмоток и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной или нескольких систем переменного тока в одну или несколько других систем переменного тока.



Простейший трансформатор и его условное изображение в схемах.  
 $n_1$  и  $n_2$  – числа витков в обмотках.

Трансформатор состоит из **стального магнитопровода** на который намотаны **обмотки**. Обмоток может быть две (двухобмоточный трансформатор), три (трехобмоточный) и т. д. К одной из обмоток подводят напряжение  $U_1$  от источника питания. Эта обмотка называется *первичной* и имеет  $w_1$  витков. Другая обмотка, имеющая  $w_2$  витков, называется *вторичной*.

Под действием переменного напряжения  $u_1$ , по виткам первичной обмотки протекает переменный ток  $i$ , создающий переменную магнитодвижущую силу  $iw_1$ , которая, в свою очередь, создает переменный *основной магнитный поток*  $\Phi$ , замыкающийся по стальному магнитопроводу.

Замыкаясь, магнитный поток  $\Phi$  оказывается сцепленным как с первичной, так и со вторичной обмотками.

Магнитный поток индуцирует в первичной обмотке э. д. с. самоиндукции, пропорциональную числу витков обмотки и скорости изменения магнитного потока:

$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi}{dt} = -\omega w_1 \Phi_m \cos \omega t = E_{1m} \sin(\omega t - \pi / 2)$$

где  $E_{1m} = \omega w_1 \Phi_m$  — амплитуда первичной э. д. с.

Синусоидальный магнитный поток, сцепленный со вторичной обмоткой, индуцирует в ней э. д. с. *взаимоиндукции*

$$e_2 = -w_2 \frac{d\Phi}{dt} = -\omega w_2 \Phi_m \cos \omega t = E_{2m} \sin(\omega t - \pi / 2)$$

где  $E_{2m} = \omega w_2 \Phi_m$  — амплитуда вторичной э. д. с.

Так как частота э. д. с. одинакова и индуцируются они одним и тем же магнитным потоком, то первичная э. д. с. отличается от вторичной только в том случае, если число витков  $w_1$  и  $w_2$ , обмоток неодинаково. Чем больше число витков обмотки, тем большая э. д. с. в ней индуцируется.

Отношение первичной э.д.с. к вторичной называется коэффициентом трансформации трансформатора  $k = E_1 / E_2 = w_1 / w_2$ , и равно отношению числа витков обмоток.

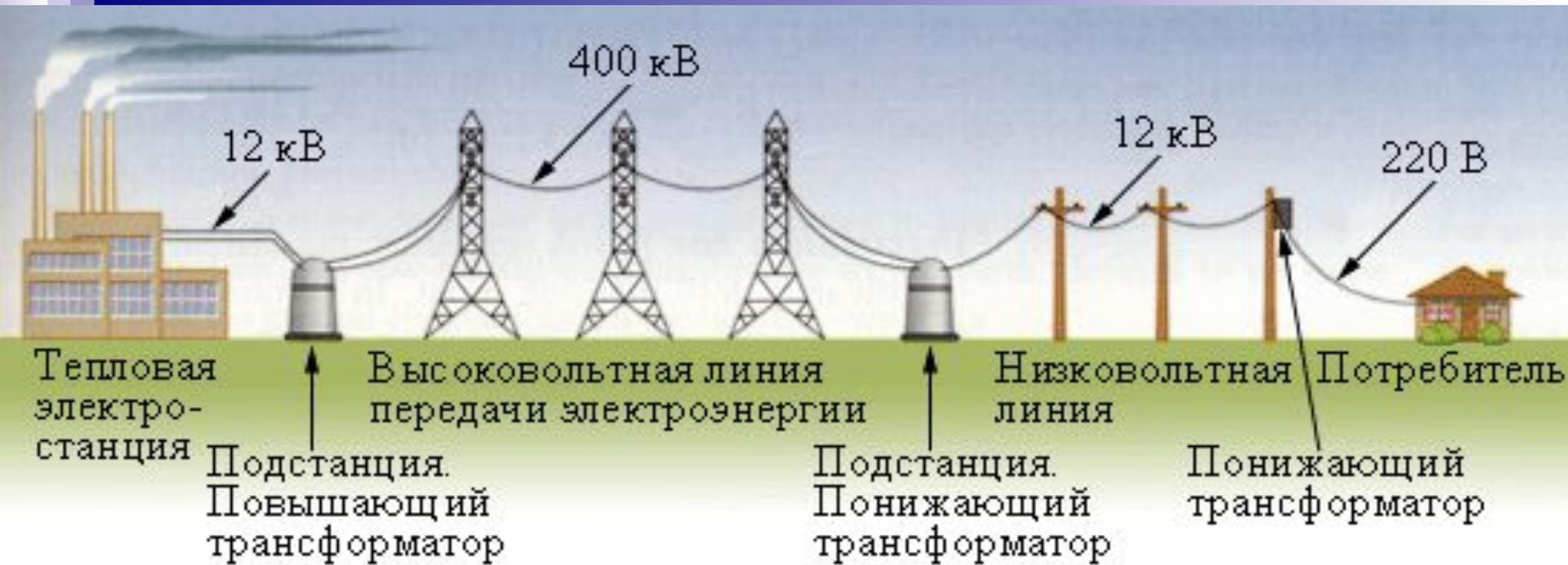
Коэффициент трансформации может быть как больше, так и меньше единицы

Если необходимо повысить напряжение источника питания, то число витков вторичной обмотки делают больше числа витков первичной обмотки ( $w_2 > w_1$ ). Такой трансформатор называется *повышающим*.

Если это напряжение надо понизить, то  $w_2 < w_1$ . В этом случае трансформатор будет *понижающим*.

Если требуется несколько различных значений вторичного напряжения, то на тот же магнитопровод наматывают несколько вторичных обмоток с различным числом витков.

Таким образом, при подключении первичной обмотки трансформатора к источнику переменного тока на зажимах вторичной обмотки индуцируется переменная э. д. с.  $E_2$  и вторичная обмотка становится источником питания, к которой можно присоединить какой-либо электроприемник.



Условная схема высоковольтной линии передачи.

Трансформаторы изменяют напряжение в нескольких точках линии.

Передача электрической энергии от электростанций до больших городов или промышленных центров на расстояния тысяч километров является сложной научно-технической проблемой.

Для уменьшения потерь на нагревания проводов необходимо уменьшить силу тока в линии передачи, и, следовательно, увеличить напряжение. Обычно линии электропередачи строятся в расчете на напряжение 400–500 кВ, при этом в линиях используется трехфазный ток частотой 50 Гц.



Передача электрической энергии от электростанций до больших городов или промышленных центров на расстояния тысяч километров является сложной научно-технической проблемой.

Для уменьшения потерь на нагревания проводов необходимо уменьшить силу тока в линии передачи, и, следовательно, увеличить напряжение. Обычно линии электропередачи строятся в расчете на напряжение 400–500 кВ, при этом в линиях используется трехфазный ток частотой 50 Гц.