

Цепи постоянного и переменного тока

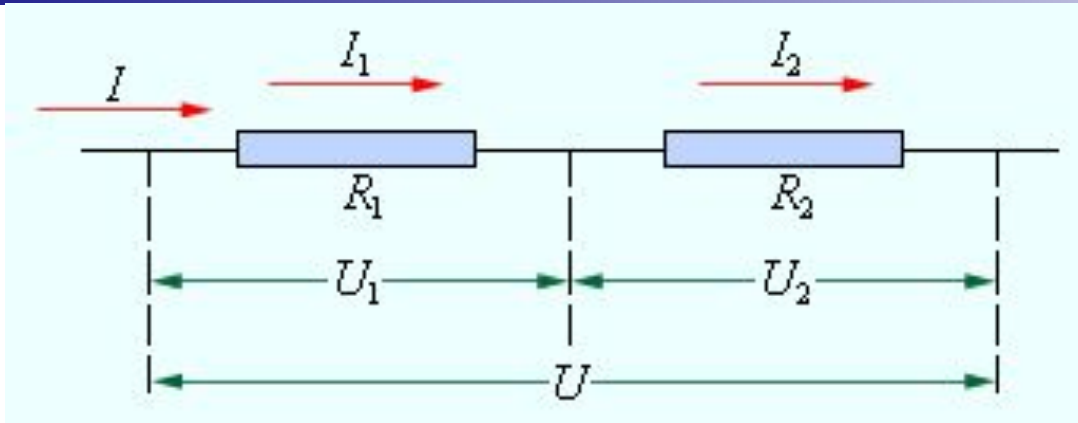
ЛЕКЦИЯ 1/3

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.

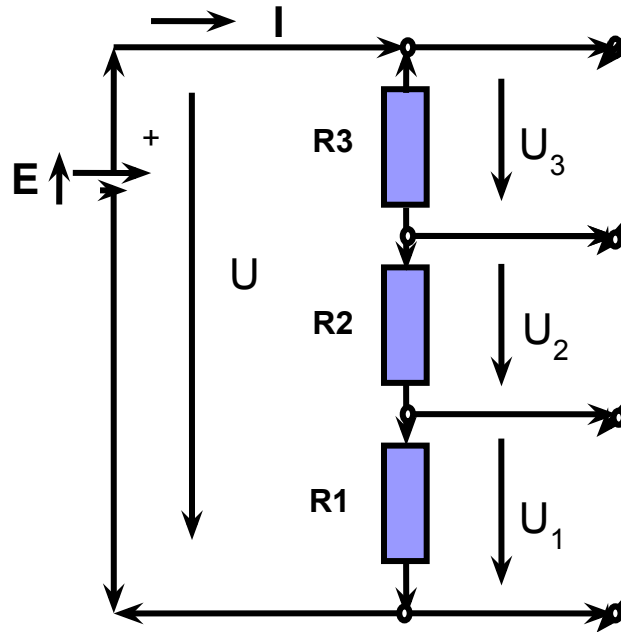
$$U = U_1 + U_2$$

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.

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



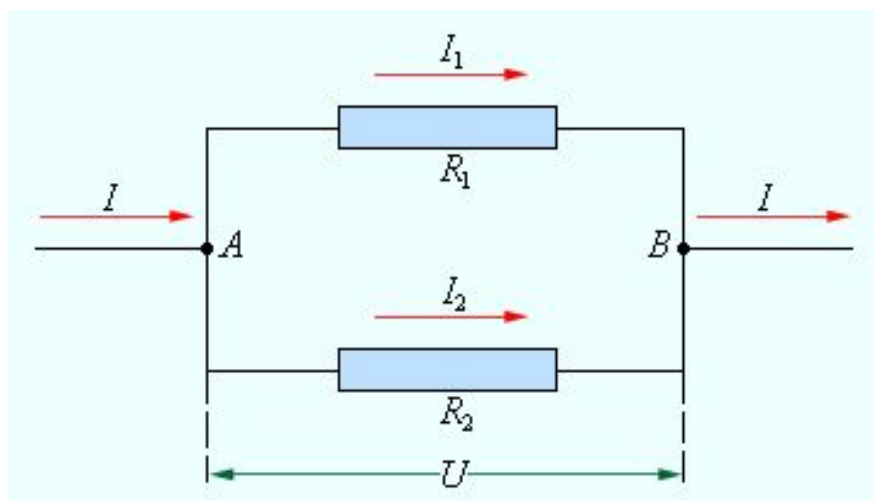
Делитель напряжения - это устройство, состоящее из нескольких последовательно соединенных резисторов, позволяющее снимать с него несколько величин напряжений, меньших напряжения источника.

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.

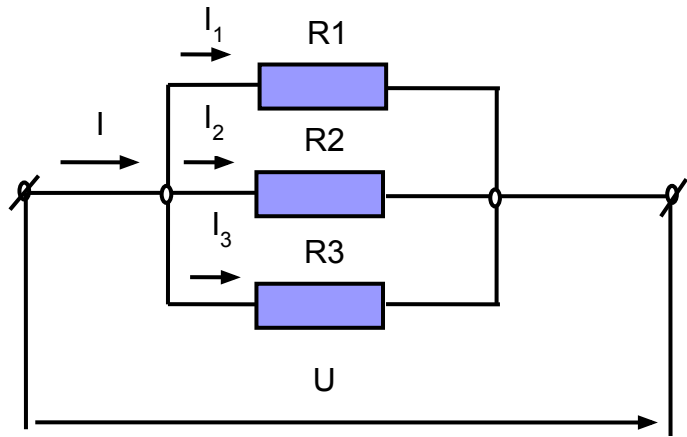
$$1/R_{\text{э}} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$$

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:

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

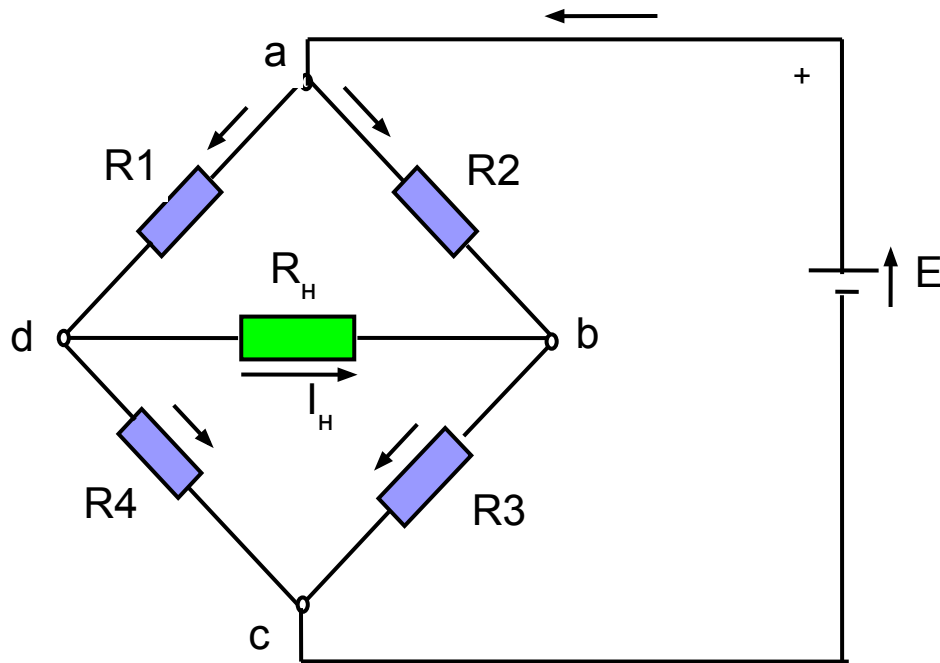
Протекающий через резистор R_2 ток определяется по формуле:

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

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.

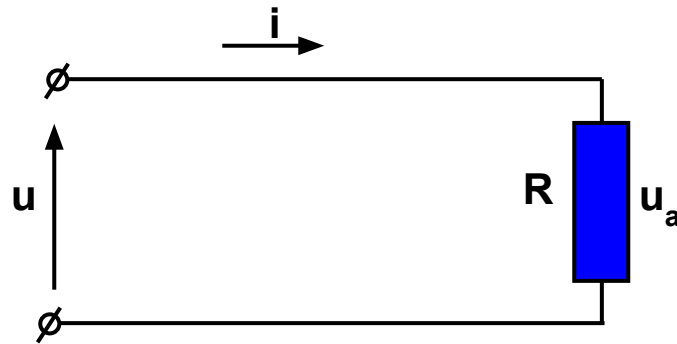
Сопrotивление реактивное - величина, характеризующая сопротивление, оказываемое переменному току электрической ёмкостью и индуктивностью цепи (её участка).

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 ω — 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.

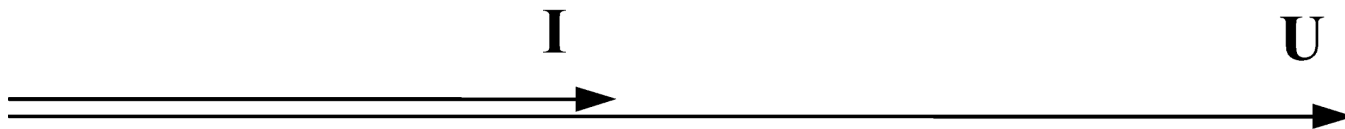


$$i = \frac{u}{R} = (U_m/R) \sin \omega t = I_m \sin \omega t,$$

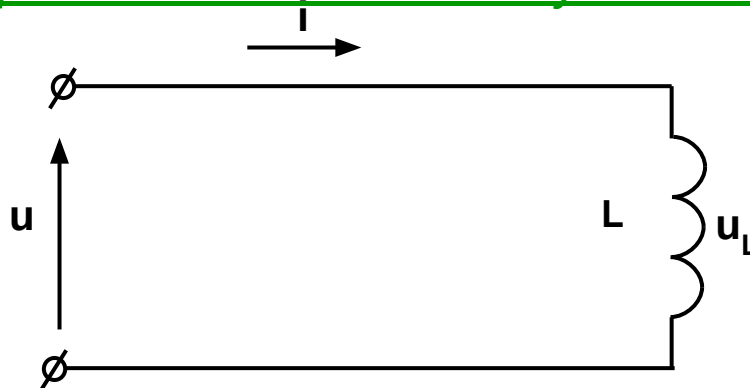
где U_m - амплитудное значение напряжения, В; $I_m = U_m/R$ - амплитудное значение тока, А.

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.



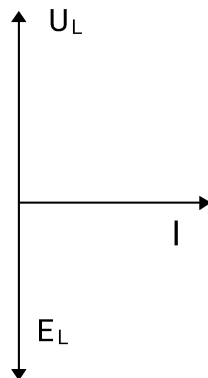
Цепь переменного тока с индуктивностью.



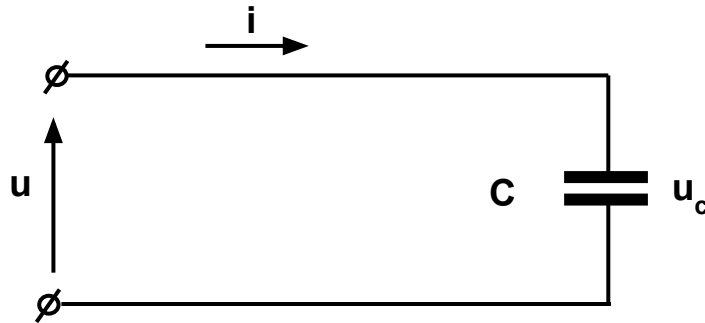
Если электрическая цепь обладает только индуктивностью L (активное сопротивление катушки $R=0$) и по ней протекает синусоидальный ток $i=I_m \sin \omega t$, то по второму закону Кирхгофа

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

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



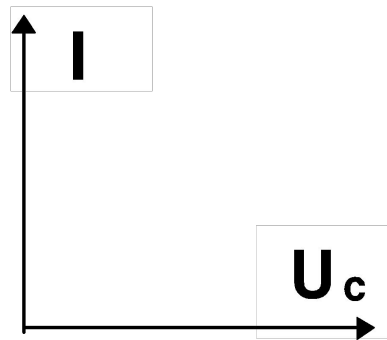
Цепь переменного тока с емкостью.



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

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

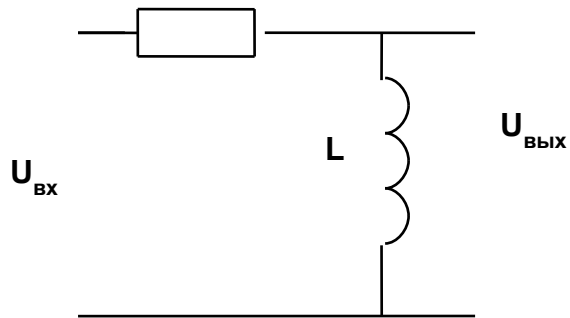
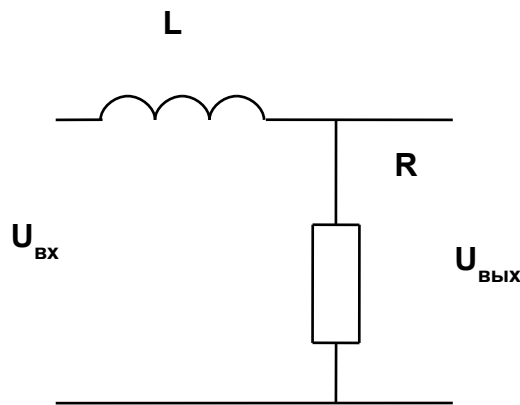
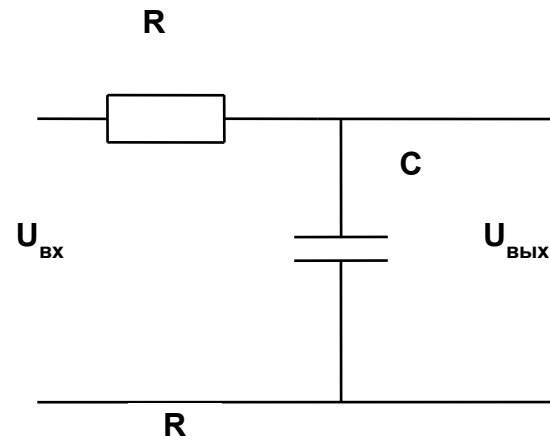
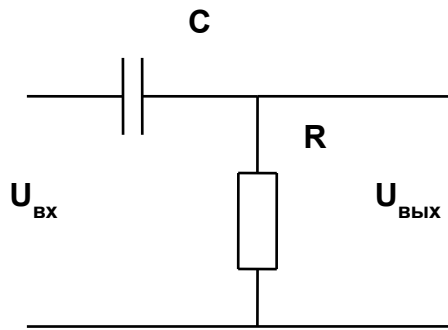
где $u = U_m \sin \omega t$, т.е. ток в такой цепи опережает напряжение на угол $\pi/2$.



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).



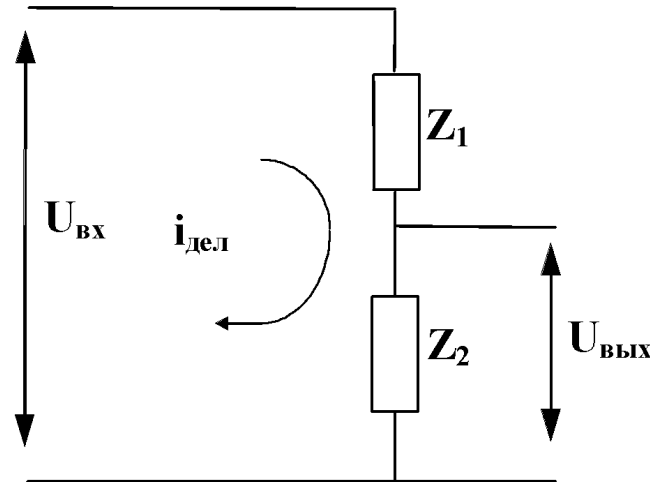


Схема делителя напряжения в общем виде

Связь между напряжением на выходе и на входе
устанавливает коэффициент передачи

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

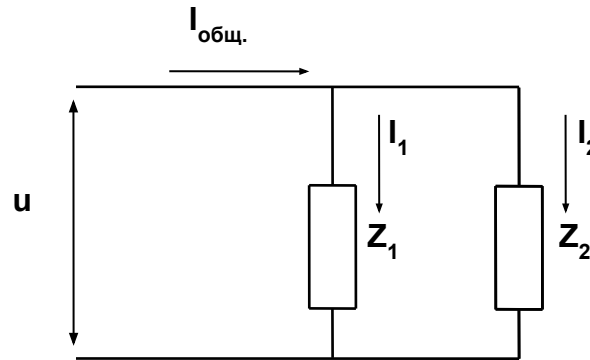
$$\beta = Z_2 / (Z_1 + Z_2)$$

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

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

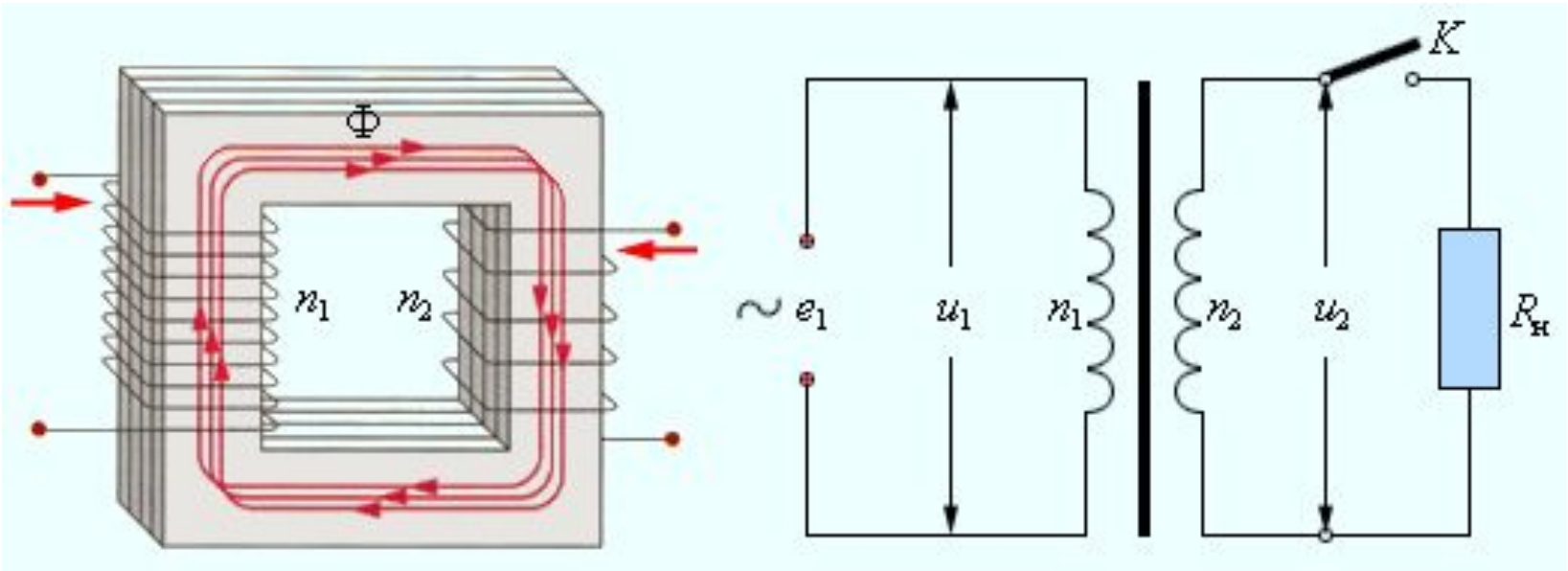
Протекающий через Z_2 ток определяется по формуле

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

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 $i w_1$, которая, в свою очередь, создает переменный *основной магнитный поток* Φ , замыкающийся по стальному магнитопроводу.

Замыкаясь, магнитный поток Φ 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. взаимоиנדукции

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

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.

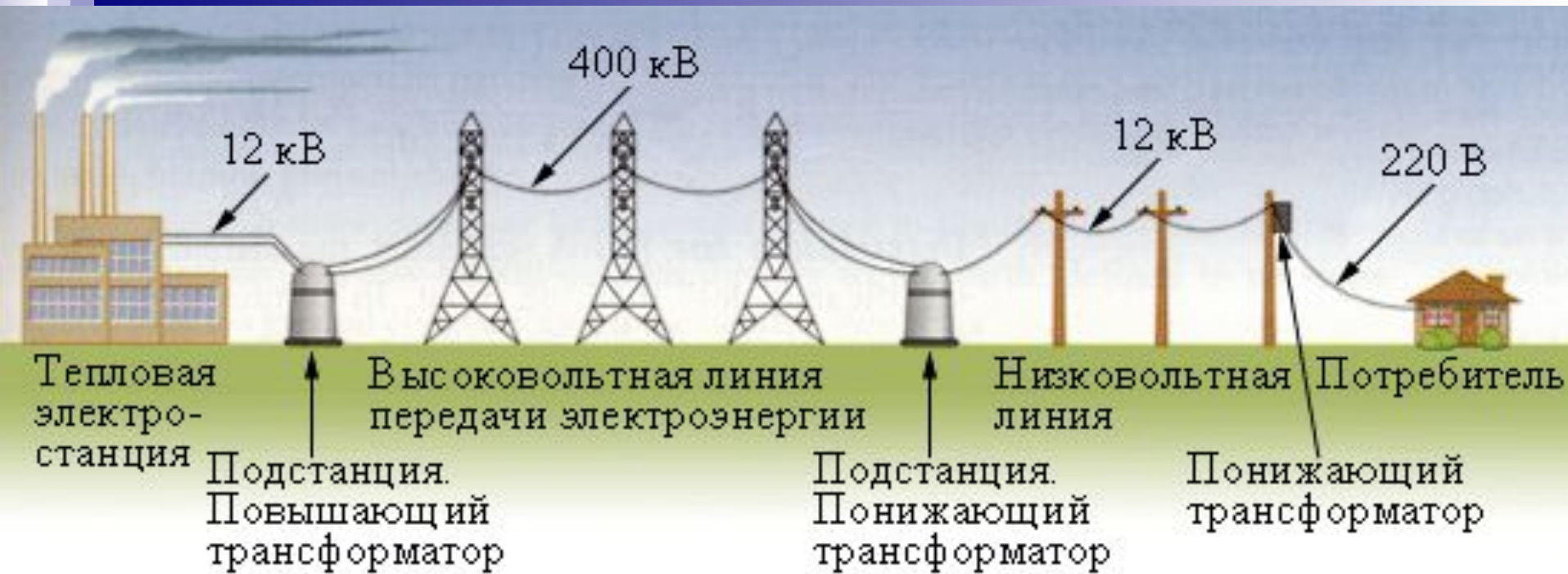
Коэффициент трансформации может быть как больше, так и меньше единицы

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.