

ТРАНСФОРМАТОРЫ

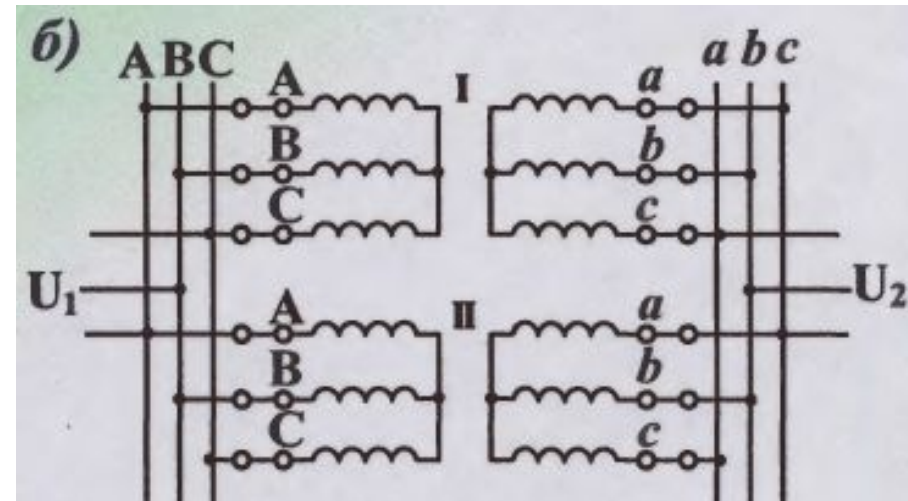
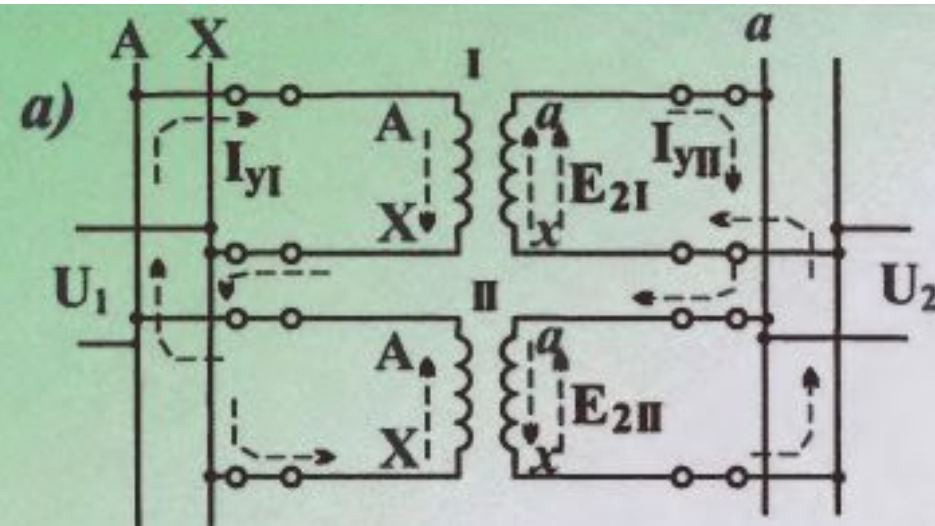
ЛЕКЦИЯ 3_2

Параллельная работа трансформаторов.
Переходные режимы. Специальные трансформаторы

Параллельная работа трансформаторов

Условия, которые необходимо соблюдать при включении трансформаторов на параллельную работу:

- 1) одинаковые группы соединения обмоток;
- 2) равные первичные и вторичные номинальные напряжения (равные коэффициенты трансформации);
- 3) равные напряжения короткого замыкания.



Схемы параллельной работы однофазных (а) и трехфазных (б) двухобмоточных трансформаторов

Проиллюстрируем условие **одинаковости групп** **соединения обмоток**

Условие одинаковости групп соединений обмоток. Допустим, что на параллельную работу включены два трансформатора — с соединениями обмоток $Y/\Delta-11$ и $Y/Y-0$, имеющие одинаковые первичные и вторичные номинальные напряжения. Тогда вторичные э. д. с. E_2 соответствующих фаз этих трансформаторов будут равны по величине, но сдвинуты по фазе на 30° . В замкнутом контуре вторичных обмоток действует разность этих э. д. с.

$$\Delta E = 2E_2 \sin 15^\circ = 0,518E_2.$$

Уравнительный ток течет только по первичным и вторичным обмоткам трансформаторов и ограничивается по величине только сопротивлениями этих обмоток, т. е. сопротивлениями короткого замыкания трансформаторов. Поэтому

$$I_y = \frac{\Delta \dot{E}}{Z_{KI} + Z_{KII}}.$$

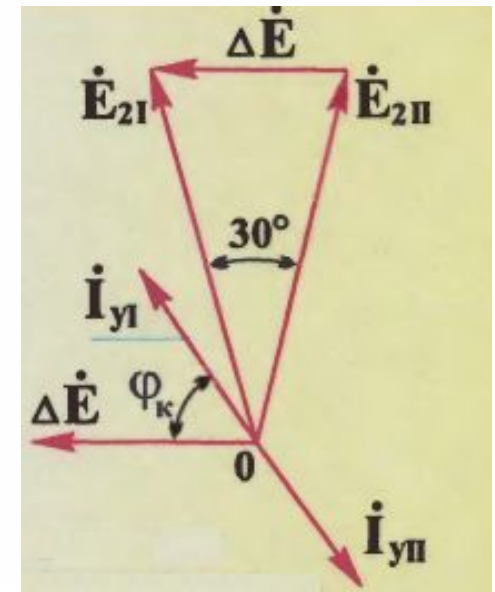
Условие одинаковости групп соединения обмоток

Если, например, мощности трансформаторов равны и $z_{KI*} = z_{KII*} = u_{KI*} = u_{KII*} = 0,05$, то относительная величина уравнительного тока будет

$$I_{y*} = \frac{0,518}{2 \cdot 0,05} = 5,18,$$

т. е. этот ток будет в 5,18 раза больше номинального. Наличие такого тока почти равносильно короткому замыканию.

Таким образом, параллельное включение трансформаторов с различными группами соединений обмоток недопустимо.



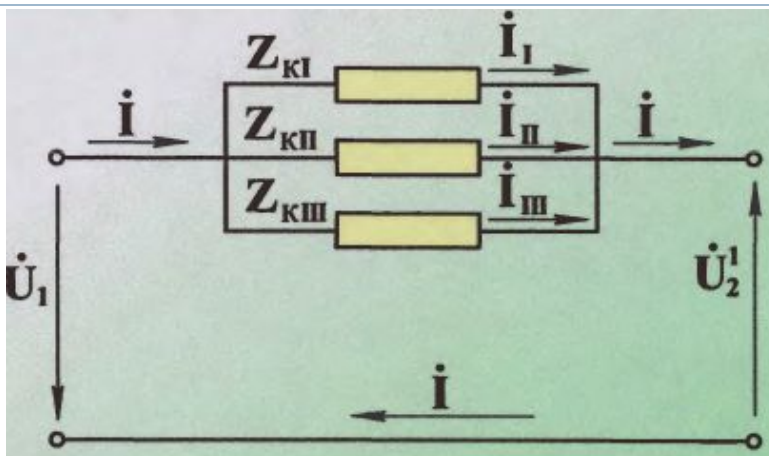
Условие равенства коэффициентов трансформации

В качестве примера допустим, что параллельно работают два трансформатора одинаковой мощности и $z_{KI*} = z_{KII*} = 0,055$, а их коэффициенты трансформации различаются на 1%. Тогда $\Delta E = 0,01 U_n$ и, согласно формуле (15-20),

$$I_{y*} = \frac{\Delta E_*}{z_{KI*} + z_{KII*}} = \frac{0,01}{2 \cdot 0,055} = 0,091 \text{ или } 9,1\%,$$

т. е. уравнивающий ток составляет довольно значительную величину. По ГОСТ 11677—65 в общем случае допускается различие коэффициентов трансформации от паспортных значений на 0,5%, а для трансформаторов с $k > 3$ — на 1%. Допускается параллельная работа трансформаторов с такими различиями коэффициентов трансформации.

Условие равенства напряжений короткого замыкания



Упрощенная схема
параллельной работы
трансформаторов

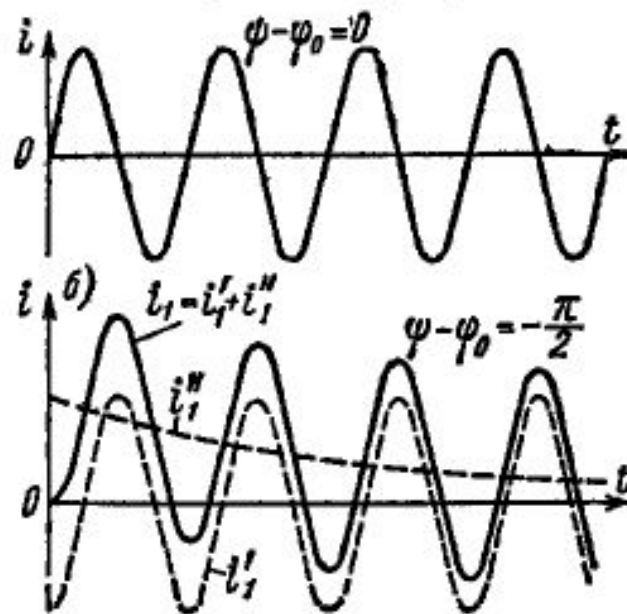
$$S_{I*} : S_{II*} : S_{III*} = \frac{1}{u_{кI\%}} : \frac{1}{u_{кII\%}} : \frac{1}{u_{кIII\%}},$$

т. е. относительные нагрузки трансформаторов обратно пропорциональны их напряжениям короткого замыкания.

Если $u_{кI\%} = u_{кII\%} = u_{кIII\%}$, то $S_{I*} = S_{II*} = S_{III*}$, т. е. трансформаторы нагружаются равномерно и при увеличении нагрузки достигают номинальной мощности одновременно. Очевидно, что при этом условия параллельной работы являются наилучшими. Если же $u_{к\%}$ не равны, то при повышении нагрузки номинальной мощности прежде всего достигнет трансформатор с наименьшим $u_{к\%}$.

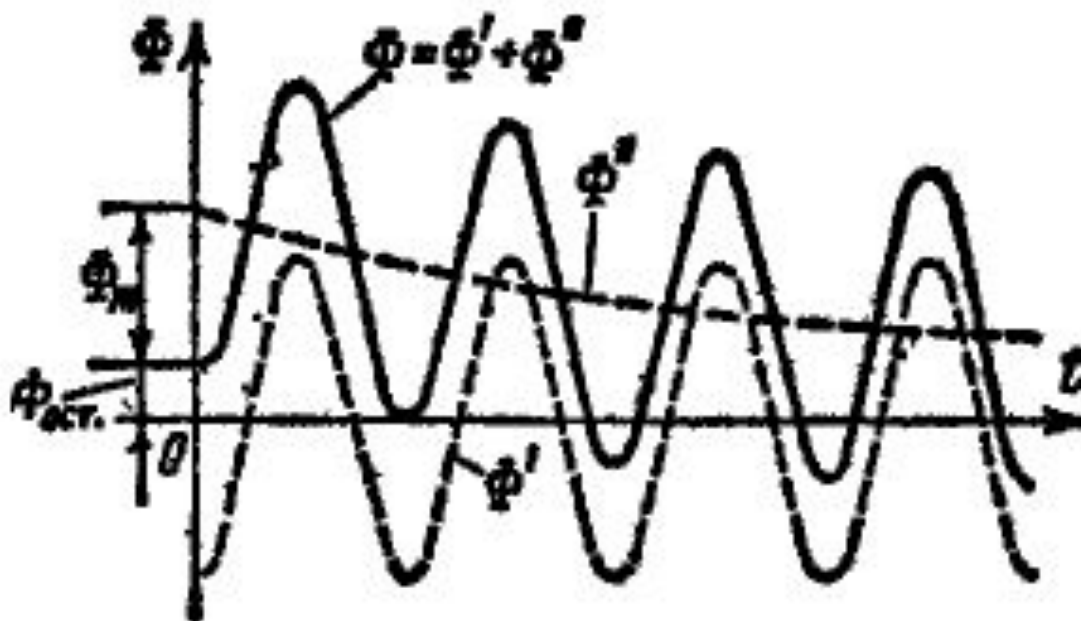
Переходный процесс включения **ненасыщенного** трансформатора под напряжение

При всех нарушениях режима цепи и наступлении в связи с этим переходного процесса возникает свободный апериодический ток, затухающий вследствие рассеяния энергии в активных сопротивлениях. Начальная величина апериодического тока при этом равна разности мгновенных значений установившихся токов начального (предыдущего) и нового (последующего) режимов в момент приложения толчкообразного импульса (например, напряжения), изменяющего режим. Свободный ток представляет собой, таким образом, результат реакции инерционной, обладающей индуктивностью цепи на импульс, стремящийся изменить ее режим. Этот свободный ток «сглаживает» переход к новому режиму, не допуская мгновенных конечных по величине изменений тока, которые в инерционной цепи невозможны.



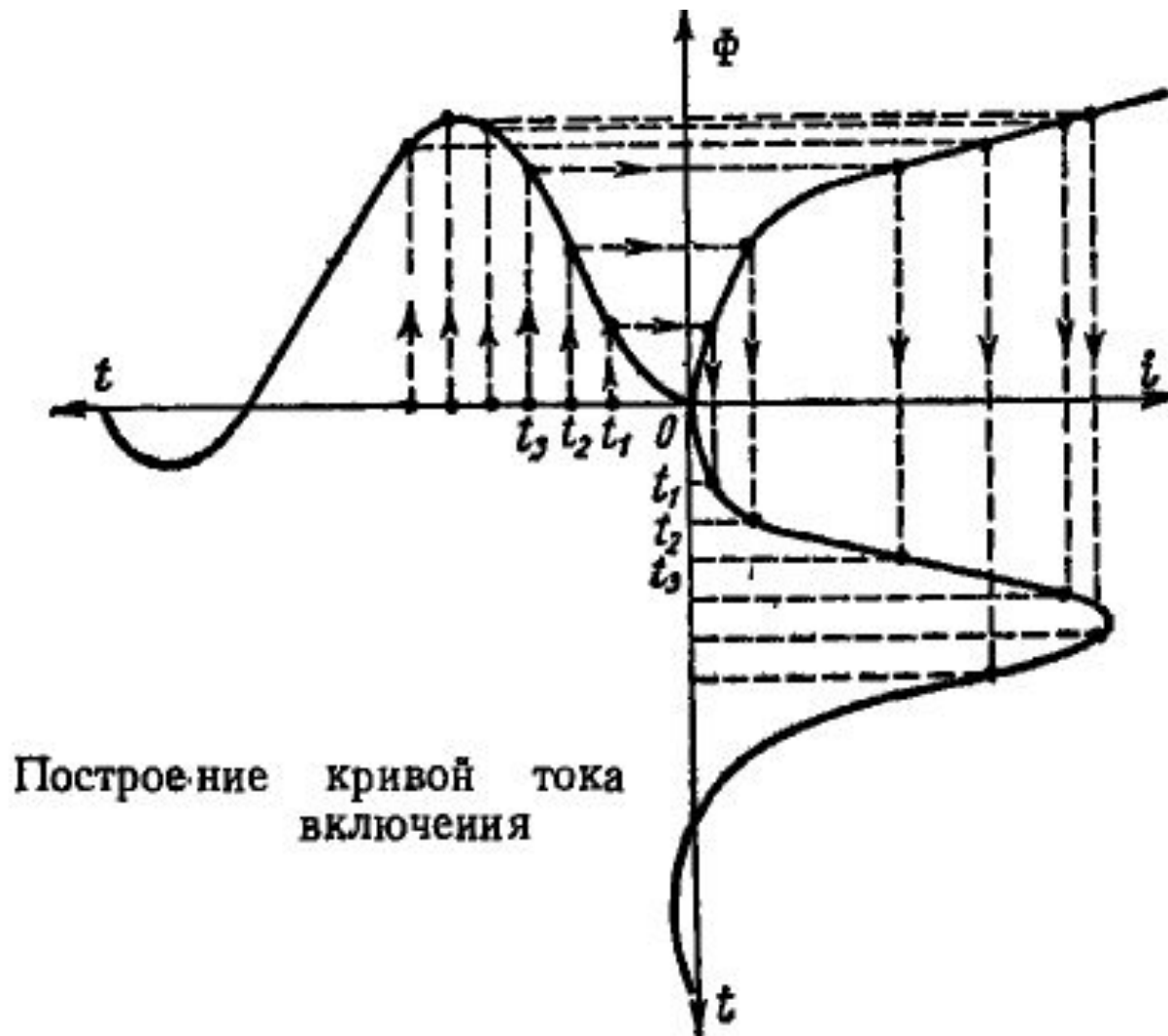
Ненасыщенный трансформатор $i_{1\max} = 2I_{1m}$ – удвоенная амплитуда тока холостого хода

Переходный процесс включения **насыщенного** трансформатора под напряжение



Изменение магнитного потока $\Phi = f(t)$ [при неблагоприятном моменте включения трансформатора под напряжение]

Переходный процесс включения **насыщенного** трансформатора под напряжение



Переходный процесс включения **насыщенного** трансформатора под напряжение

На рис. представлена осциллограмма тока включения трансформатора средней мощности с умеренным насыщением. Во многих случаях максимальные толчки тока включения могут превышать в 100—150 раз амплитуду установившегося тока холостого хода и соответственно в несколько раз амплитуду номинального

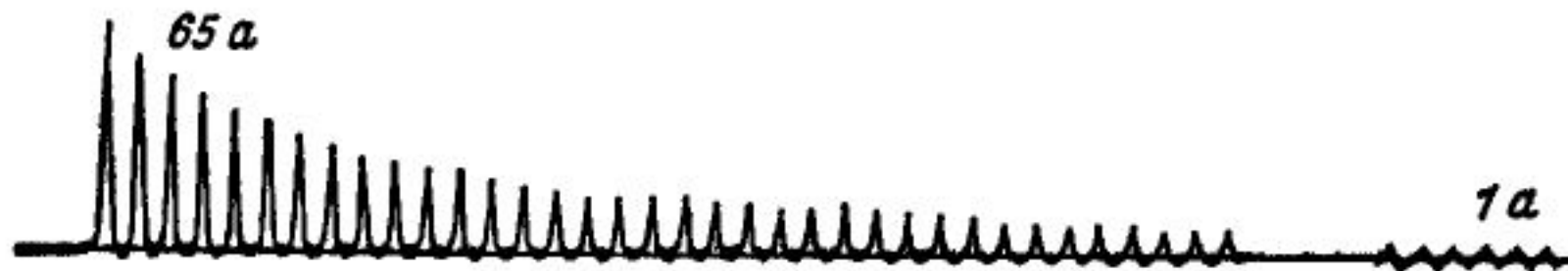


Рис. Осциллограмма тока включения трансформатора

тока. Такие толчки тока включения вызывают осложнения при конструировании и настройке защитных токовых реле трансформаторов, так как могут быть причиной ложных срабатываний этих реле при включении трансформатора на холостом ходу. В то же время при отсутствии насыщения максимальный толчок тока включения, как это было установлено выше, мог бы превышать амплитуду установившегося тока холостого хода только в два раза.

Трехобмоточный трансформатор

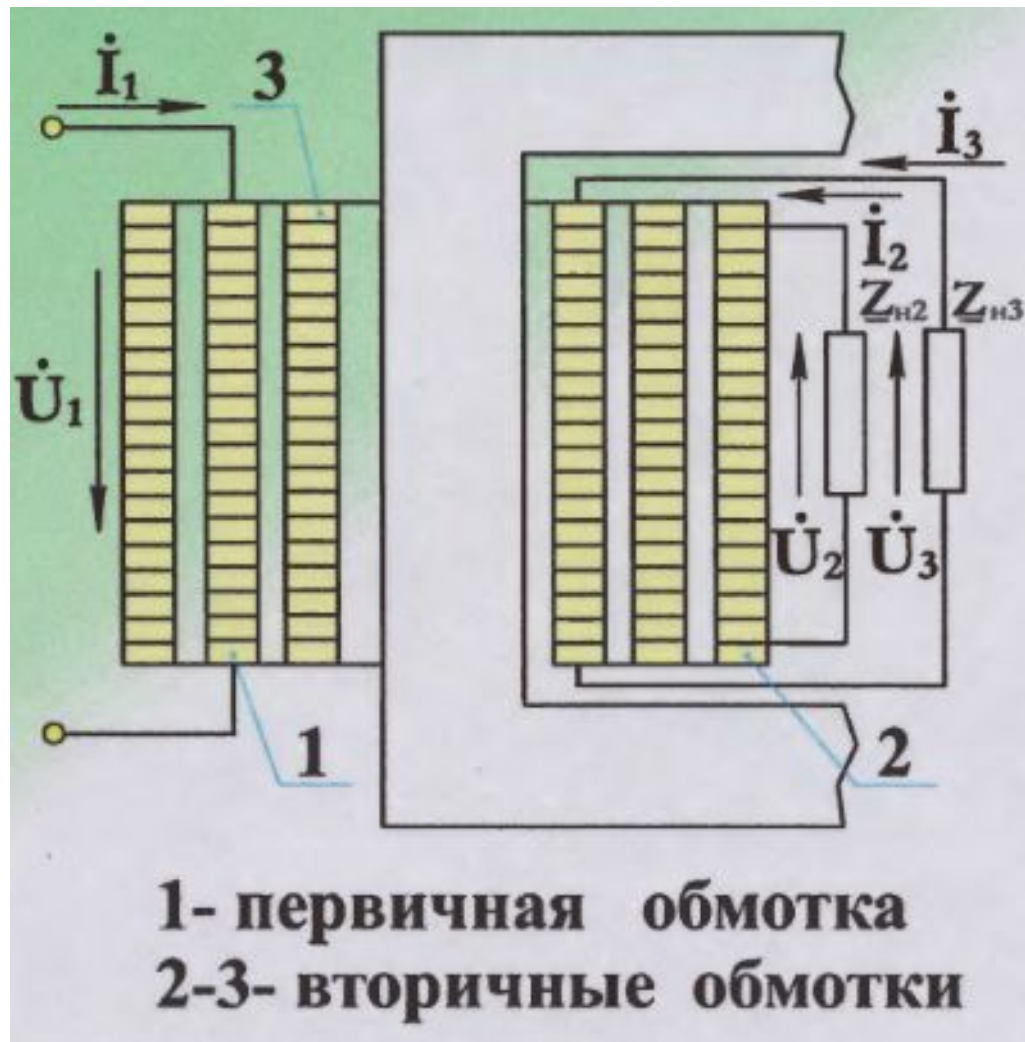
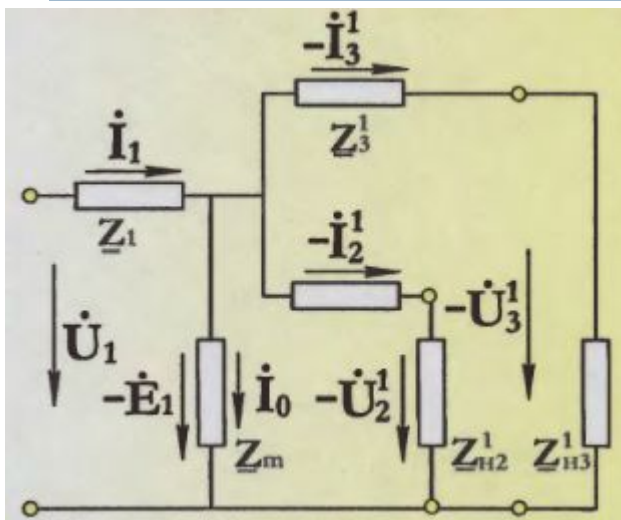


Схема замещения и упрощенная векторная диаграмма трехобмоточного трансформатора

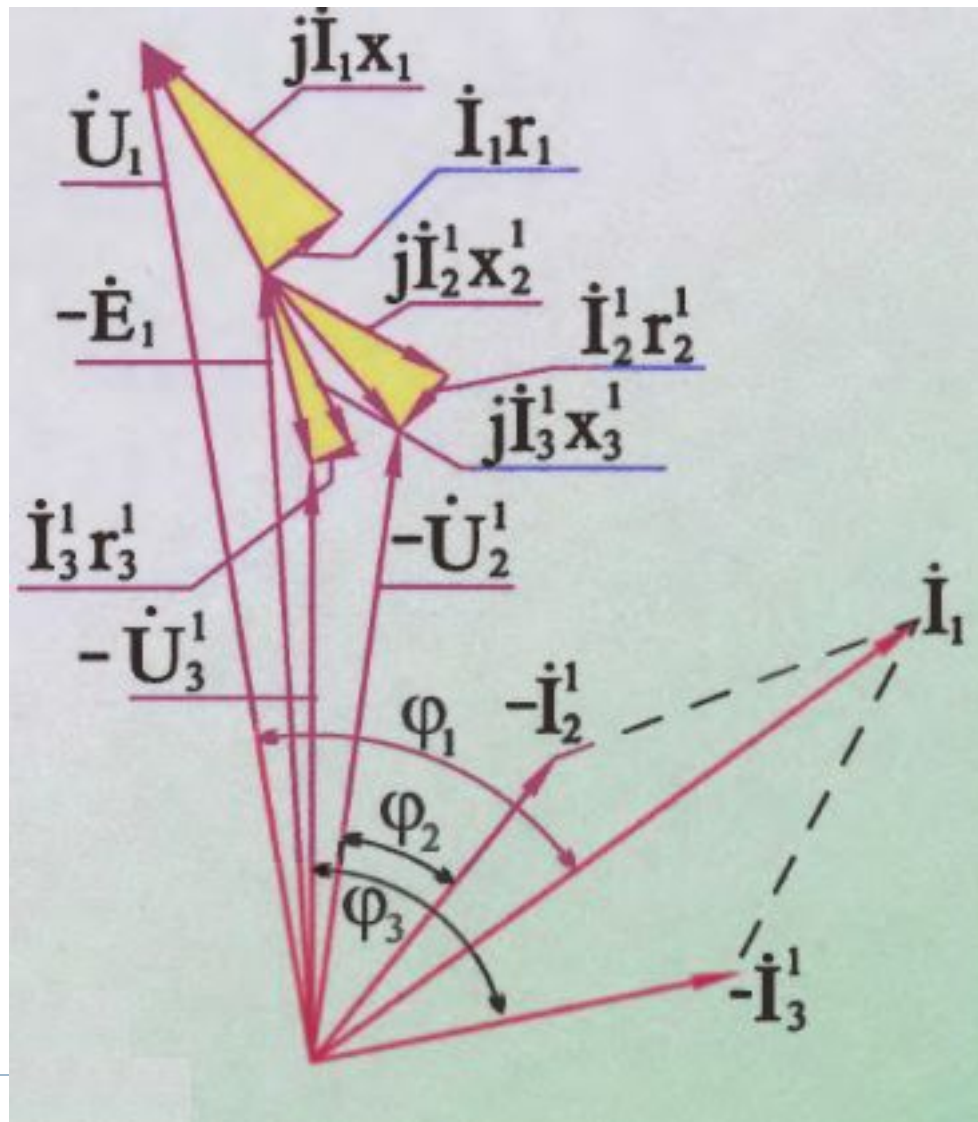


$$i_0 \approx 0$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 r_1 + j \dot{I}_1 x_1 \\ -\dot{U}_2^1 &= -\dot{E}_2^1 + \dot{I}_2^1 r_2^1 + j \dot{I}_2^1 x_2^1 \\ -\dot{U}_3^1 &= -\dot{E}_3^1 + \dot{I}_3^1 r_3^1 + j \dot{I}_3^1 x_3^1 \end{aligned}$$

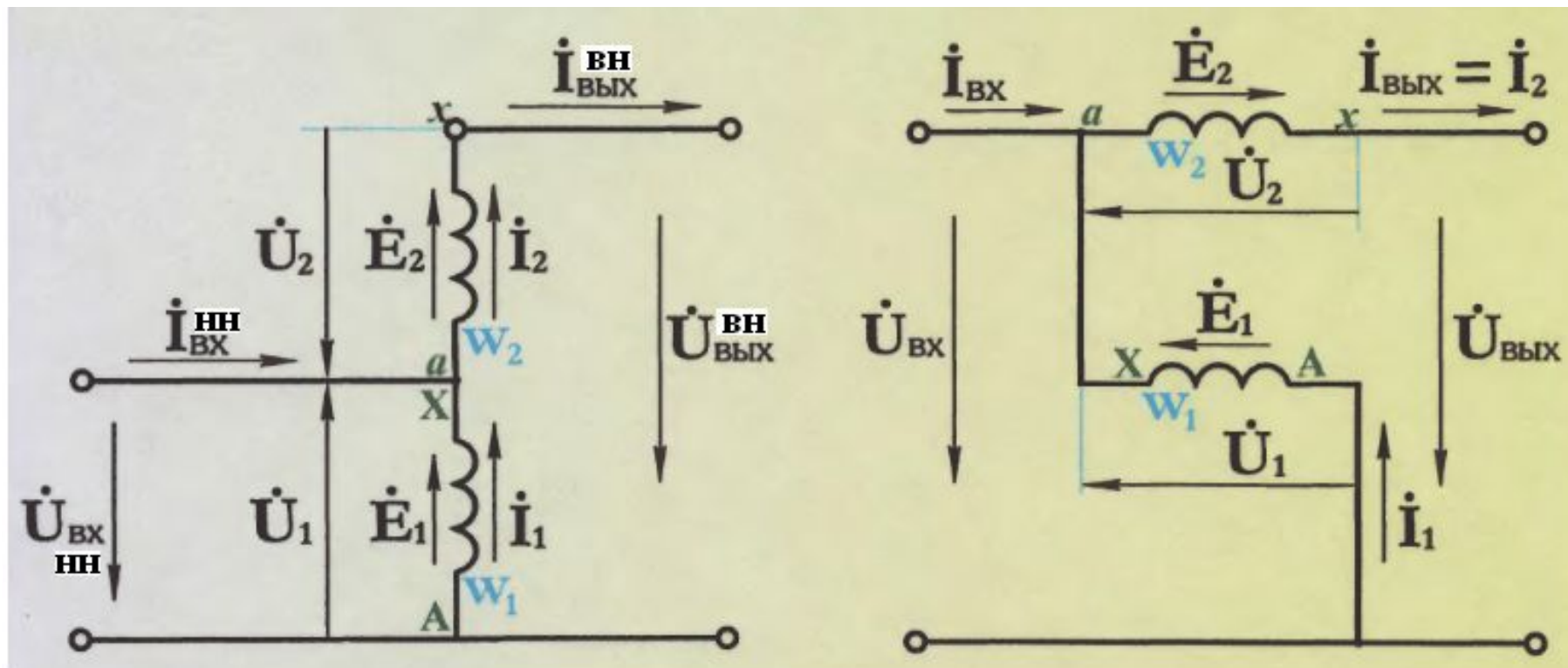
$$\dot{E}_1 = \dot{E}_2^1 = \dot{E}_3^1$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 - \dot{I}_2^1 - \dot{I}_3^1$$



Автотрансформатор

Автотрансформаторы. В обычных трансформаторах первичные и вторичные обмотки имеют между собой только магнитную связь. В ряде случаев вместо таких трансформаторов экономически целесообразно применять трансформаторы, в которых первичные и вторичные обмотки имеют также электрическую связь. Такие трансформаторы называются автотрансформаторами.



Автотрансформатор

Э. д. с. и токи обмоток автотрансформатора связаны такими же соотношениями, как в обычном трансформаторе:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = k_{\text{ат}}.$$

С другой стороны, коэффициент трансформации напряжений и токов первичной и вторичной сетей у автотрансформатора

$$k_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{в. н.}}}{U_{\text{н. н.}}} = \frac{I_{\text{н. н.}}}{I_{\text{в. н.}}}$$

отличается от отношения чисел витков ω_1 и ω_2 .

Внутренняя, или расчетная, мощность автотрансформатора, передаваемая посредством магнитного поля из первичной обмотки во вторичную, как и в обычном трансформаторе, равна

$$S_p = E_1 I_1 = E_2 I_2.$$

Автотрансформатор

Внешняя, или проходная, мощность автотрансформатора, передаваемая из одной сети в другую и равная

$$S_{\text{пр}} = U_{\text{н.н}} I_{\text{н.н}} = U_{\text{в.н}} I_{\text{в.н}}$$

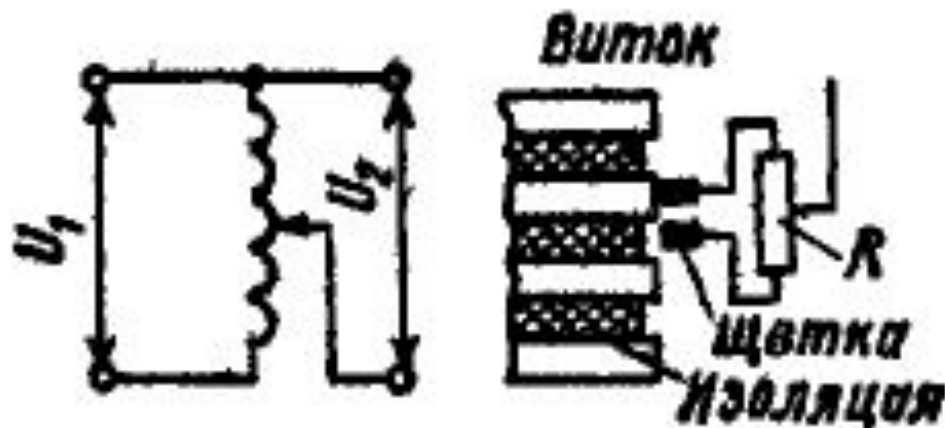
больше S_p , так как часть мощности передается из одной сети в другую непосредственно электрическим путем. Расход материалов, габариты и стоимость автотрансформаторов определяются мощностью S_p , и так как у автотрансформатора $S_p < S_{\text{пр}}$, то в принципе применение автотрансформаторов выгоднее применения обычных трансформаторов, в которых $S_p = S_{\text{пр}}$.

Для рассмотренной схемы

$$\frac{S_p}{S_{\text{пр}}} = \frac{E_2 I_2}{U_{\text{в.н}} I_{\text{в.н}}} = \frac{(U_{\text{в.н}} - U_{\text{н.н}}) I_{\text{в.н}}}{U_{\text{в.н}} I_{\text{в.н}}} = \frac{k_{\text{тр}} - 1}{k_{\text{тр}}}$$

Применение автотрансформаторов тем выгоднее, чем меньше $K_{\text{тр}}$.
Обычно автотрансформаторы применяют при $K_{\text{тр}} < 2,5$

Трансформаторы с плавным регулированием напряжения

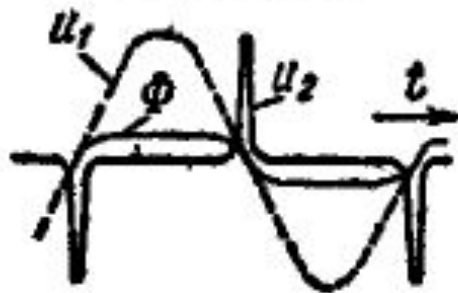
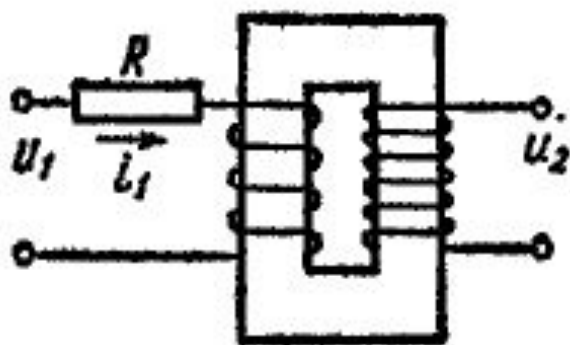


**Трансформатор со
скользящими контактами**

В более мощных трансформаторах и автотрансформаторах необходимо применять двойные комплекты щеток и сопротивления с целью ограничения тока короткого замыкания при замыкании щетками соседних витков

Пик - трансформаторы

Пик-трансформаторы дают вторичное напряжение в виде резкого, весьма кратковременного импульса.



Такая форма вторичного напряжения получается в результате применения весьма сильно насыщающегося сердечника трансформатора, когда магнитный поток на протяжении почти всего полупериода почти постоянен и резко изменяется только при перемене своего направления.

При постоянстве потока ($\Phi = \text{const}$)

$$e_1 = w_1 \frac{d\Phi}{dt} \approx 0$$

и для погашения напряжения и ограничения тока i_1 в схему вводится сопротивление R .