



ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ (6 семестр)

3. СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ

Составление схем замещения сводится к приведению параметров элементов и ЭДС различных ступеней трансформации к какой-либо одной ступени, выбранной за основную. Параметры элементов и ЭДС выражают в именованных или в относительных единицах. Для определения токов и напряжений в месте КЗ необходимо полную схему замещения преобразовать путем эквивалентирования ветвей к простейшей радиальной ветви согласно рис.1.

Тогда начальный ток $I_{\text{по}^*}$, о.е., в месте КЗ равен

$$I_{\text{по}^*} = \frac{E_{\text{э}}}{Z_{\text{э}}}$$

где $E_{\text{э}}$, $Z_{\text{э}}$ - соответственно эквивалентные ЭДС и сопротивление простейшей радиальной схемы, о.е.

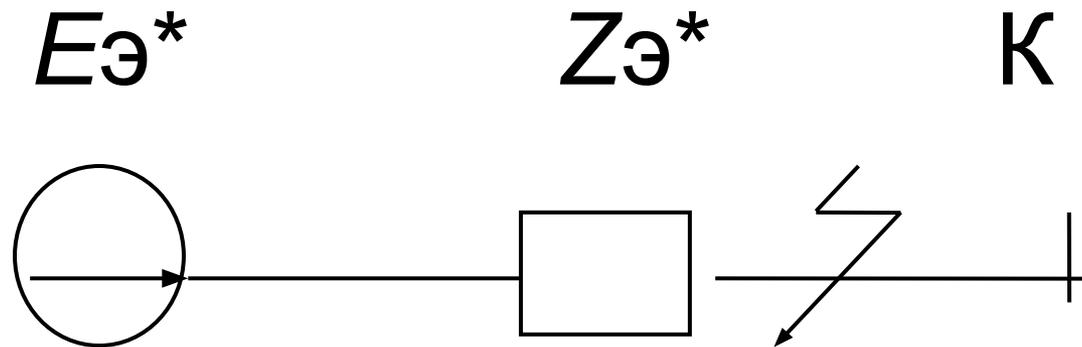


Рис.1. Эквивалентная схема замещения

Схема замещения трехфазной электрической системы составляется на одну фазу, соответственно источник питания представляется в ней фазной ЭДС или фазным напряжением, приложенным за сопротивлением энергосистемы:

$$X_{\text{с макс}} \text{ и } X_{\text{с мин}}.$$

Дополнительные трудности при расчетах токов КЗ возникают, если в схеме имеется несколько магнитно-связанных цепей, т.е. трансформаторов (автотрансформаторов).

В этом случае для упрощения проводимых расчетов такую схему целесообразно представить схемой замещения, заменив имеющиеся в ней магнитно-связанные цепи одной эквивалентной электрически связанной цепью.

Составление такой схемы замещения сводится к приведению параметров элементов и ЭДС различных ступеней заданной схемы к одной ступени, выбранной за основную, – той, где установлены устройства релейной защиты, для которых выполняются расчеты.

На расчетной схеме и схеме замещения целесообразно обозначить места установки релейной защиты.

При этом используют известные соотношения для ЭДС напряжений, токов и сопротивлений при приведении их с одной стороны трансформатора на другую.

СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ СЕТИ С ТРАНСФОРМАТОРНЫМИ СВЯЗЯМИ

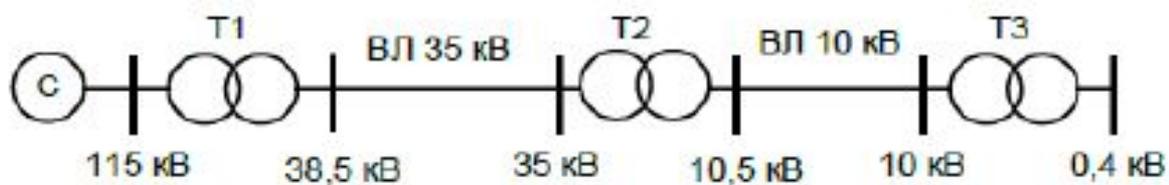


Рис. 1.3.1. Схема сети с каскадом трансформаторов

Общие выражения для определения приведенных к основной ступени значений отдельных величин электрической цепи при наличии n трансформаторов между приводимой и основной ступенью таковы:

для ЭДС $\dot{E}_o = (K_{T1} \cdot K_{T2} \cdot \dots \cdot K_{Tn})E;$

для напряжения $\dot{U}_o = (K_{T1} \cdot K_{T2} \cdot \dots \cdot K_{Tn})U;$

для тока $I = I / (K_{T1} \cdot K_{T2} \cdot \dots \cdot K_{Tn});$

для индуктивного и активного сопротивлений соответственно

$$\dot{X}_o = (K_{T1} \cdot K_{T2} \cdot \dots \cdot K_{Tn})^2 X;$$

$$R = (K_{T1} \cdot K_{T2} \cdot \dots \cdot K_{Tn})^2 R,$$

где $K_{T1}, K_{T2}, \dots, K_{Tn}$ – коэффициенты трансформации силовых трансформаторов (автотрансформаторов).

Таким образом, истинные величины должны быть пересчитаны столько раз, сколько имеется трансформаторов между приводимой цепью и принятой основной ступенью.

Для трансформаторов можно принять, что отношение числа витков равно отношению соответствующих напряжений при холостом ходе трансформатора, т.е.

$$K_T = \omega_1 / \omega_2 \approx U_{1xx} / U_{2xx}.$$

Поэтому в вышеприведенных выражениях под коэффициентом трансформации трансформатора (автотрансформатора) понимается отношение междуфазного напряжения холостого хода его обмотки, обращенной в сторону основной ступени напряжения, к аналогичному напряжению его другой обмотки, находящейся ближе к ступени, элементы которой подлежат приведению.

Для пояснения данного положения рассмотрим схему на рис. 2.1, где представлена электрическая система, состоящая из генератора Γ , трансформаторов $T1$ и $T2$, линий $L1$ и $L2$ с тремя ступенями напряжения: первой ступени (I), второй ступени (II) и третьей ступени (III).

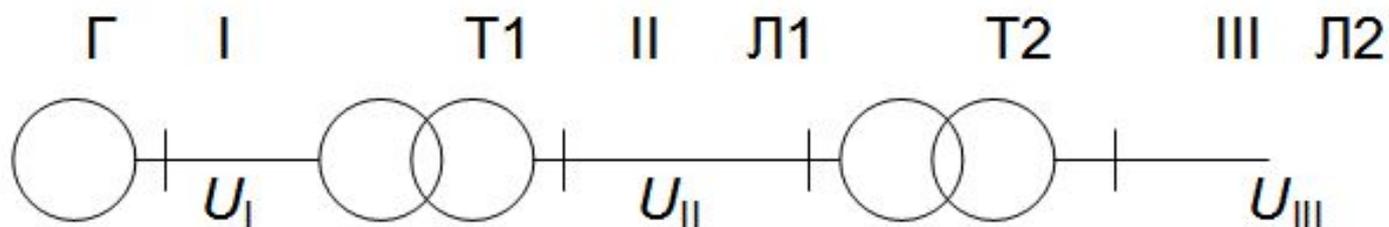


Рис. 2. Схема электрической сети с несколькими магнитно-связанными цепями

В качестве основной ступени примем третью ступень напряжения – III. Приведенное к III (основной) ступени напряжения, сопротивление генератора Γ , Ом, определяется как

$$\overset{\circ}{X}_{\Gamma} = X_{\Gamma} (U_{II}/U_I)^2 (U_{III}/U'_{II})^2;$$

ЭДС генератора, кВ, определяется по выражению

$$\overset{\circ}{E}_{\Gamma} = E_{\Gamma} (U_{II}/U_I) (U_{III}/U'_{II})$$

Ток генератора, кА, определяется по выражению

$$\overset{\circ}{I}_{\Gamma} = I_{\Gamma} / (U_{II}/U_I) (U_{III}/U'_{II}),$$

где $K_{T1} = U_{II}/U_I$ – действительный коэффициент трансформации трансформатора T1;

$K_{T2} = U_{III}/U'_{II}$ – действительный коэффициент трансформации трансформатора T2.

Рассмотренное приведение по действительным коэффициентам трансформации называют точным приведением.

В паспортных данных генератора его сопротивление представляют в относительных единицах (о.е.) при номинальных условиях: $X_{*Г(Н)}$. Для нахождения его сопротивления $X_{Г}$ Ом, можно воспользоваться выражением:

$$X_{Г} = X_{*Г(Н)} U_{Н} / \sqrt{3} I_{Н} \quad \text{или} \quad X_{Г} = X_{*Г(Н)} U_{Н}^2 / S_{Н},$$

где $U_{Н}$ – номинальное напряжение генератора, кВ; $I_{Н}$ – номинальный ток генератора, кА; $S_{Н}$ – номинальная мощность генератора, МВ·А.

Данное выражение можно использовать для определения сопротивления в именованных единицах и для других элементов электрической системы, у которых параметры даны в относительных единицах, приведенных к номинальным данным этих элементов, т.е.

$$X_{*(H)} = X/X_H,$$

где $X_H = U_H / \sqrt{3}I_H$, Ом, или $X_H = U_H^2 / S_H$, Ом.

В паспортных данных трансформатора (автотрансформатора) представлено значение напряжения короткого замыкания в процентах, по нему определяется сопротивление в относительных единицах:

$$Z_T = U_K / 100.$$

В большинстве случаев активным сопротивлением трансформатора R_T пренебрегают, а индуктивное сопротивление X_T принимают равным напряжению короткого замыкания U_K :

$$X_T = U_K, \%$$

Как известно, на трансформаторах распределительных сетей 35 кВ и выше устанавливаются автоматические регуляторы напряжения (АРН) для поддержания на шинах низшего напряжения (НН) номинального напряжения при эксплуатационных изменениях режима. Это достигается регулированием коэффициента трансформации с помощью изменения положения регулировочного ответвления трансформатора, чаще всего со стороны ВН трансформатора.

Ниже рассмотрены особенности расчетов токов КЗ в сетях, содержащих трансформаторные цепи со встроенными устройствами регулирования напряжения под нагрузкой РПН.

Для двухобмоточного трансформатора (рис. 3), в котором предусматривается регулирование с помощью ответвлений со стороны нейтралей от обмотки высшего напряжения ВН (I), отношение напряжения на обмотках при холостом ходе равно отношению количества витков:

$$U_{II}/U_I = \omega_{II}/(\omega_{I\text{ном}} \pm \Delta\omega),$$

где $\omega_{I\text{ном}}$ – число витков обмотки ВН трансформатора в номинальном режиме;

$\pm \Delta\omega$ – число витков ответвлений от этой обмотки (ступеней) для положительного и отрицательного регулирования напряжения (принимаются одинаковыми);

ω_{II} – число витков обмотки низшего напряжения НН,

U_I – напряжение обмотки ВН,

U_{II} – напряжение обмотки НН.

Используя отношения напряжений к их номинальным значениям, формулу (2.14) можно привести к виду

$$U_{*II}/U_{*I} = (1 \pm \Delta U_{*I})^{-1},$$

где $U_{*I} = U_I/U_{I\text{НОМ}}$ – относительное напряжение обмотки ВН трансформатора, о.е.;

$U_{*II} = U_{II}/U_{II\text{НОМ}}$ – относительное напряжение обмотки НН, о.е.;

$\Delta U_{*I} = \Delta U_I/U_{I\text{НОМ}} = \Delta\omega/\omega_{I\text{НОМ}}$ – напряжение ступени регулирования, о.е.

Из последних выражений видно, что при работе трансформатора в понижающем режиме (рис. 3) при увеличении или уменьшении числа витков обмотки ВН (I) напряжение на обмотке НН (II) изменяется в обратном направлении.

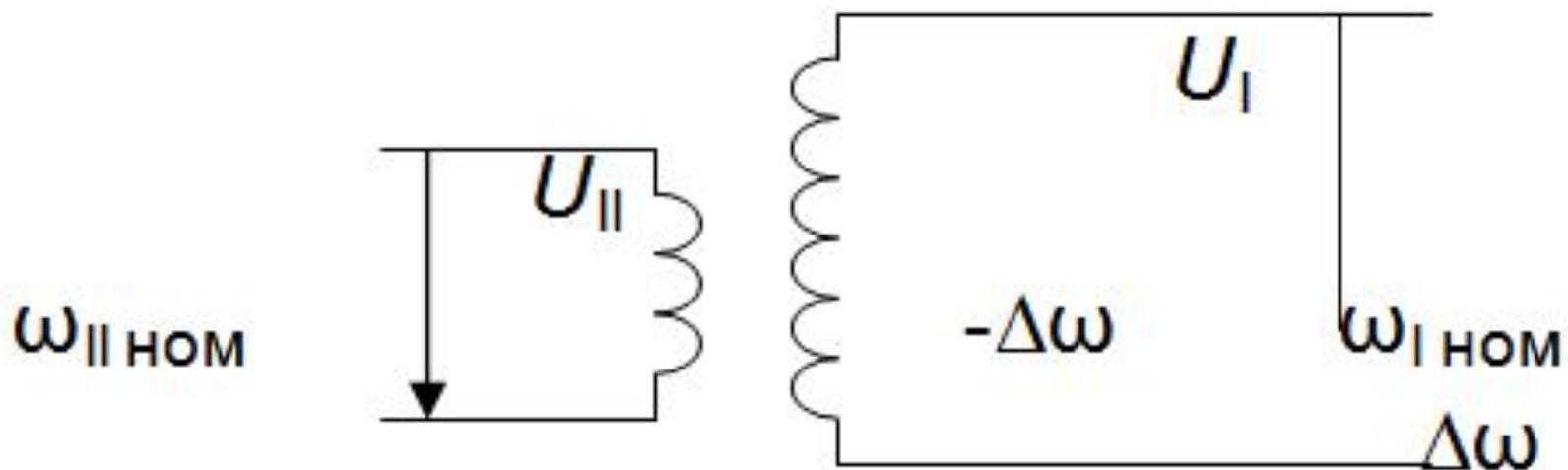


Рис.3. Принципиальная схема регулирования напряжения двухобмоточного трансформатора

Для трехобмоточного трансформатора (рис. 4), в котором предусмотрено регулирование напряжения с помощью ответвлений со стороны нейтрали от обмотки высшего напряжения, в дополнение к предыдущим выражениям имеем:

$$U_{*III} = U_{III} / U_{III\text{НОМ}}; U_{*III} / U_{*I} = (1 \pm \Delta U_{*I})^{-1}.$$

Из представленных выражений видно, что при работе трехобмоточного трансформатора в понижающем режиме одновременно и пропорционально изменяются среднее и низшее напряжения.

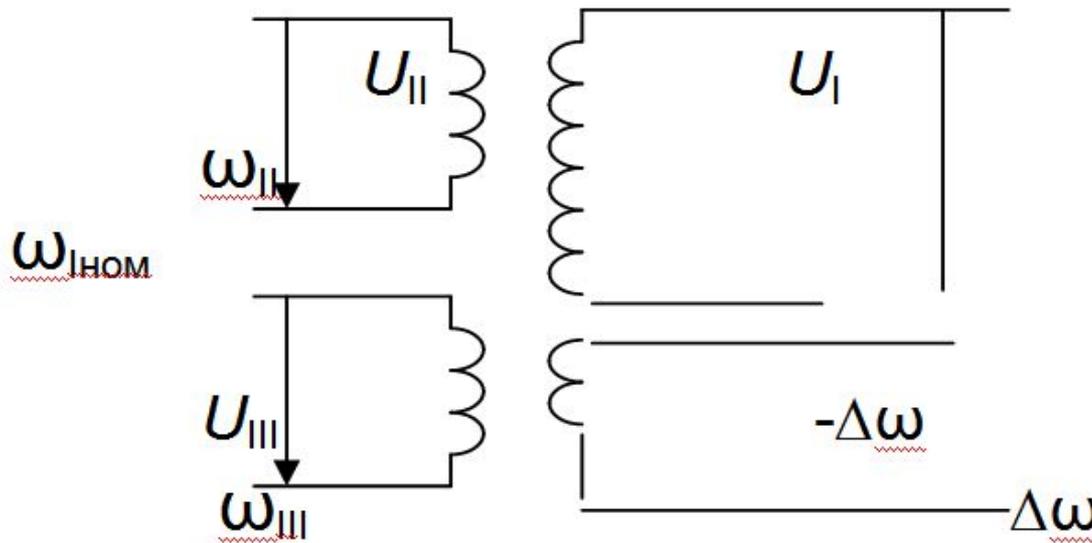


Рис. 4. Принципиальная схема регулирования напряжения трехобмоточного трансформатора

При этом увеличение или уменьшение числа витков обмотки ВН вызывает изменение напряжения обмоток СН и НН в обратном направлении.

Сопротивление трансформатора Z_T , Ом, приведенное к напряжению одной из сторон трансформаторной цепи, где предусматривается регулирование, равно

$$Z_T = U_k U_{\text{рег}}^2 / 100 S_{T \text{ ном}},$$

где $S_{T \text{ ном}}$ – номинальная мощность трансформатора, МВ·А;

$U_{\text{рег}}$ – напряжение холостого хода на соответствующей стороне трансформаторной цепи, кВ;

U_k – напряжение короткого замыкания, %.