

КУРС ЛЕКЦИЙ
по учебной дисциплине

**«Переходные процессы в
электроэнергетических
системах»**

**Раздел 3 Инженерные методы расчёта
переходных процессов в ЭЭС**

**ЛЕКЦИЯ №7 Система относительных единиц –
базисных величин**

Учебные вопросы лекции:

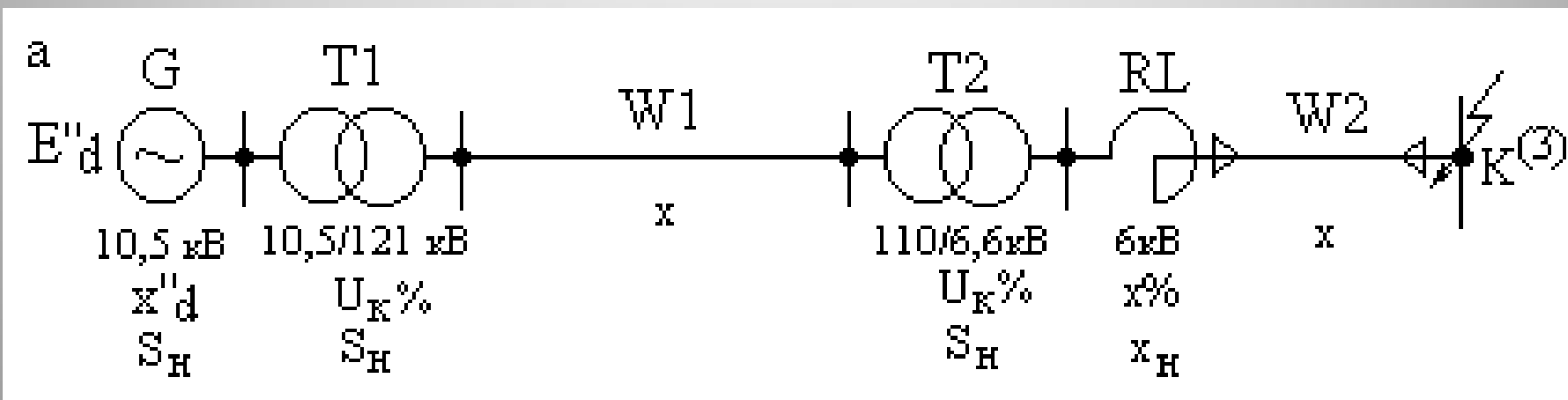
- 1. Расчёт в именованных единицах с точным
приведением параметров к базисным условиям**
- 2. Расчёт в именованных единицах с приближённым
приведением параметров к базисным условиям.**

Трехфазные симметричные электрические системы, состоят в общем случае из генераторов, трансформаторов, воздушных и кабельных линий, реакторов и других элементов, сопротивления которых известны.

Задача заключается в нахождении токов при трехфазных КЗ в той или иной точке электрической системы.

Поскольку заданная трехфазная система выполнена симметрично, и все ее фазы находятся при трехфазном КЗ в одинаковых условиях, представляется возможным вести расчет в одной фазе и пользоваться при этом однолинейным изображением схем.

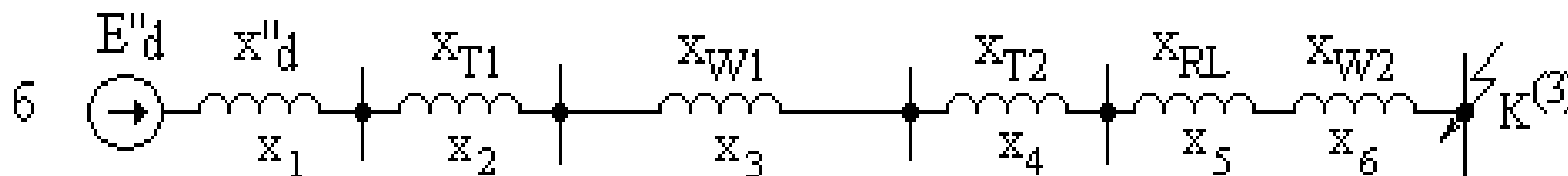
В однолинейную схему, называемую *расчетной*, вводятся все генераторы, участвующие в формировании токов КЗ, и все элементы цепи, связывающие генерирующие источники с местом КЗ.



Пример расчетной схемы элемента ЭЭС

На расчетной схеме обычно указывают основные параметры: номинальные мощности, номинальные напряжения, величины сопротивлений и др.

Для вычислений токов КЗ однолинейная расчетная схема должна быть представлена **эквивалентной схемой замещения**, в которой все элементы связаны между собой электрически, точка КЗ и концы нагрузочных ветвей имеют нулевой потенциал.



Пример эквивалентной (расчётной схеме) схемы замещения системы

После составления схемы замещения рассчитываются ее параметры в системе **именованных** или **относительных** единиц.

Параметры эквивалентных схем замещения в именованных единицах

При представлении параметров элементов схем замещения в именованных единицах физические величины выражаются соответственно в кВт, В, А, Ом и т.п., а в относительных - в безразмерных, т.е. берется отношение какой-либо величины к другой, принятой за единицу измерения.

При наличии в расчетной схеме одной или нескольких трансформаторных связей все параметры различных элементов схемы предварительно следует привести к одной и той же выбранной ступени напряжения, называемой **базисной** (основной).

Обычно за базисную принимают ступень напряжения, где находится расчетная точка КЗ.

При наличии ряда последовательных магнитносвязанных цепей (каскадно включенные трансформаторы с коэффициентами трансформации k_1, k_2 и т. д.) приведение э.д.с., токов и сопротивлений к базисной ступени напряжения должно выполняться по формулам:

$$\overset{o}{E} = (k_1 k_2 k_3 \dots k_n) E;$$

$$\overset{o}{I} = \frac{1}{k_1 k_2 \dots k_n} I$$

$$\overset{o}{x} = \frac{\overset{o}{E}}{\overset{o}{I}} = (k_1 k_2 \dots k_n)^2 \frac{\overset{o}{E}}{I} = (k_1 k_2 \dots k_n)^2 x$$

В практических расчетах обычно не учитывают действительных коэффициентов трансформации и различия в номинальных напряжениях одной и той же электрической ступени (например, в начале линии 121 или 6,6 кВ и в конце - 110 или 6,0 кВ), а приблизительно определяют коэффициент трансформации как отношение средних номинальных напряжений соответствующих ступеней. В качестве средних номинальных напряжений принята следующая расчетная шкала

230; 115; 37; 10,5; 6,3; 3,15; 0,40; 0,23 кВ.

Благодаря этому формулы пересчета упрощаются, так как все промежуточные коэффициенты трансформации взаимно сокращаются и конечные формулы принимают простой вид:

$$\overset{o}{E} = E \frac{U_{cp.\dot{b}.}}{U_{cp.}}; \quad \overset{o}{I} = I \frac{U_{cp.}}{U_{cp.\dot{b}.}}; \quad \overset{o}{X} = X \left(\frac{U_{cp.\dot{b}.}}{U_{cp.}} \right)^2,$$

где E, I, X - действующие значения, выраженные соответственно в амперах, вольтах и омах при среднем номинальном напряжении своей ступени $U_{cp.}$

Параметры эквивалентной схемы замещения в относительных единицах

В системе относительных единиц известные величины для какого-либо элемента системы: напряжение U , э.д.с. E , ток I , мощность $S = UI$ и индуктивное сопротивление x (полагая активное сопротивление $R=0$) выражаются в долях от некоторых других величин, принятых за единицу измерения.

В зависимости от принятых единиц измерения различают *относительные номинальные* или *относительные базисные* значения величин данного элемента системы.

При использовании в качестве единиц измерения **относительных номинальных** принимаются *номинальные параметры* каждого данного элемента:

- **междуфазное напряжение** $U_{н'}$ - **ток** $I_{н}$
- **мощность** $S_{н}$.

Тогда значения величин данного элемента определяются как:

$$S_{*_{н}} = \frac{S}{S_{н}}; \quad I_{*_{н}} = \frac{I}{I_{н}}; \quad U_{*_{н}} = \frac{U}{U_{н}}$$

где звездочка указывает, что величина выражена в относительных единицах, а индекс (н) - что она взята при номинальных условиях.

Относительное номинальное сопротивление данного элемента определяется как **отношение падения напряжения в его сопротивлении при протекании через него номинального тока к номинальному напряжению, т. е.**

$$x_{*H} = \frac{x}{x_H} = \frac{\sqrt{3}I_H x}{U_H},$$

поскольку $U_H = \sqrt{3}I_H x_H$ **тогда**

$$x_{*H} = x \frac{S_H}{U_H^2},$$

При использовании в качестве единиц измерения **относительных базисных значений** в качестве единиц измерения принимаются:

напряжение, ток, мощность и сопротивление, которые связаны между собой уравнением

мощности $S_{\delta} = \sqrt{3}U_{\delta}I_{\delta}$, а из закона Ома

$x_{\delta} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3}I_{\delta}}$. Тогда относительные базисные значения известных величин данного элемента выразятся следующими соотношениями:

$$U_{*\delta} = \frac{U}{U_{\delta}}, \quad I_{*\delta} = \frac{I}{I_{\delta}}, \quad S_{*\delta} = \frac{S}{S_{\delta}}, \quad x_{*\delta} = \frac{x}{x_{\delta}}.$$

Обычно при расчетах задаются **базисной мощностью и базисным напряжением**.

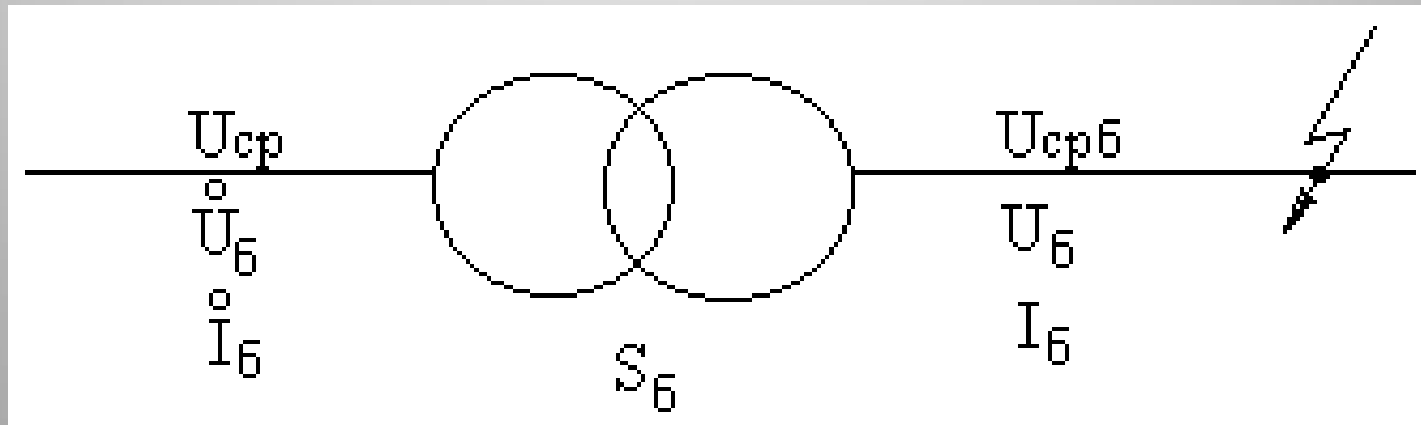
Поэтому за базисную мощность S_B целесообразно принимать величины, кратные десяти, чаще всего 100МВА. Иногда удобно базисную мощность принимать равной суммарной номинальной мощности генераторов, включенных в расчетную схему.

За базисное напряжение U_b обычно принимают среднее номинальное напряжение U_{cp} электрической ступени, где находится точка КЗ.

- При составлении схемы замещения в относительных единицах параметры тех элементов, которые заданы в именованных единицах, можно выразить в относительных единицах при базисных условиях.
- Если же элементы расчетной схемы заданы параметрами, выраженными в относительных номинальных единицах, то индуктивное сопротивление определится как:

$$x_{*б} = x_{*н} \frac{I_б}{I_н} \quad x_{*б} = x_{*н} \frac{S_б}{S_н}$$

Исключение делают только для реакторов, учитывая их действительное номинальное напряжение, так как они иногда используются на более низких напряжениях, чем их номинальные напряжения.



$$x_{*6} \frac{U_{cp}}{\sqrt{3}I_6} = x_{*H} \frac{U_H}{\sqrt{3}I_H}, \text{откуда} \quad x_{*6} = x_{*H} \frac{I_6}{I_H} \cdot \frac{U_H}{U_{cp}}$$

В общем случае расчетная схема может иметь несколько ступеней напряжения. Тогда одну из ступеней принимают в качестве основной (базисной) ступени. Основным целесообразно принимать ту ступень напряжения, где хотят определить величину тока K_3 . Для этой ступени принимают базисные единицы измерения и тем самым однозначно устанавливают базисные единицы для других ступеней. Последние получаются путем приведения базисных единиц основной ступени напряжения к соответствующим другим ступеням.

Для приведенного базисного напряжения любой ступени получаем следующее

соотношение:

$$U_{\delta}^o = U_{\delta} \frac{U_{cp}}{U_{cp \cdot \delta}} = U_{cp} ,$$

так как базисное напряжение основной ступени U_{δ} принимается равным среднему номинальному напряжению этой ступени.

Таким образом, приведенное базисное напряжение для любой электрической ступени расчетной схемы численно равно среднему номинальному напряжению этой ступени.

Приведенный базисный ток любой ступени определяется по выражению

$$I_{\delta}^o = I_{\delta} \frac{U_{cp.\delta}}{U_{cp}};$$

где U_{cp} - среднее номинальное напряжение той ступени, для которой определяется приведенный базисный ток I_{δ} ;

$U_{cp.\delta}$ - среднее номинальное напряжение основной (базисной) ступени;

I_{δ} - базисный ток основной (базисной) ступени.

Приведенный базисный ток любой ступени можно определить и по иному выражению:

$$\overset{o}{I}_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3}U_{cp}},$$

так как базисная мощность S_{δ} остается одинаковой для всех ступеней расчетной схемы.

Четвертую приведенную базисную величину, **приведенное базисное сопротивление** любой ступени x_{δ} , легко определить по приведенным базисным величинам U_{δ} и I_{δ}

Имея приведенные базисные величины для любой ступени напряжения можно при составлении схемы замещения пользоваться всеми формулами, выведенными для одной ступени напряжения, подставляя в них соответствующие приведенные базисные величины для каждой из ступеней напряжения.

Практически это означает, что в случае наличия нескольких ступеней напряжения необходимо под $U_{\text{ср}}$ подразумевать среднее номинальное напряжение той ступени, на которой расположен рассматриваемый элемент схемы, а вместо базисного тока I_b подставлять приведенный базисный ток

Вопрос 2. Преобразование схем замещения

Целью преобразования схемы замещения является ее приведение к простейшему виду.

Простейшей называется эквивалентная схема, состоящая из одного результирующего сопротивления, с одной стороны к которому приложена расчетная ЭДС, а с другой – находится расчетная точка КЗ с нулевым потенциалом.

