

Лекция 1.4

Основы расчета токов короткого замыкания

- 1. Составление схем замещения
и расчет их параметров.**
- 2. Преобразование схем
замещения.**

Литература:

- 1. [1], с. 53-70 – основная**
- 2. [2], с. 85-96 – основная**
- 3. [4], с. 23-38 – дополнительная**

Порядок расчёта токов КЗ:

- 1. Составляют расчётную схему СЭС.**
- 2. Составляют её эквивалентную схему замещения.**
- 3. Определяют параметры всех элементов схемы замещения (ЭДС, сопротивления и др.)**
- 4. Преобразовывают и упрощают схему замещения до простейшего вида.**
- 5. Вычисляют токи КЗ.**

1. Составление схем замещения и расчет их параметров.

Расчёт токов КЗ начинается с составления **расчётной схемы**. Так как рассматриваемая система является **симметричной трёхфазной системой**, то **расчёт можно вести на одну фазу** и пользоваться при этом **однолинейным изображением схем**.

1.1 Расчётная схема – это упрощенная однолинейная схема электрической системы, включающая все источники и все элементы системы, по которым протекают токи КЗ (с перспективой на 5 лет, составляется по принципиальной схеме системы).

Источники : все синхронные генераторы, система, а также работающие СД и АД, мощностью более 100 кВт.

1.2 Схема замещения

**электрической системы
представляет собой
совокупность схем замещения
отдельных элементов,
соединённых в той же
последовательности, что и
на расчётной схеме.**

ОСОБЕННОСТЬ !

При расчёте токов КЗ схема замещения составляется для сверхпереходного режима, т.е. источники представляются в ней своими сверхпереходными ЭДС E_d'' - и сверхпереходными индуктивными сопротивлениями X_d''

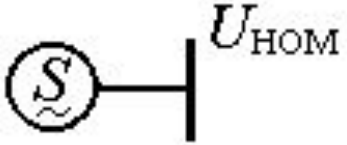
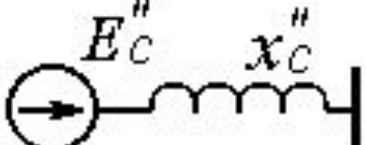

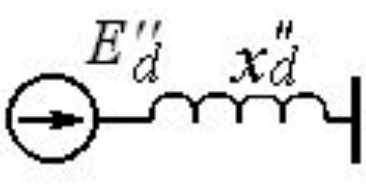
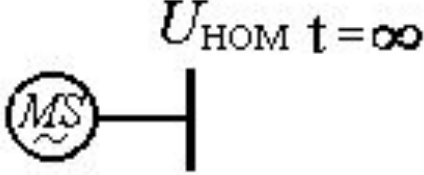
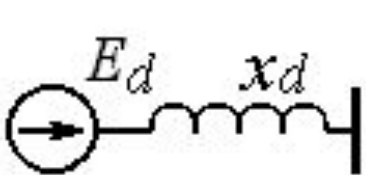
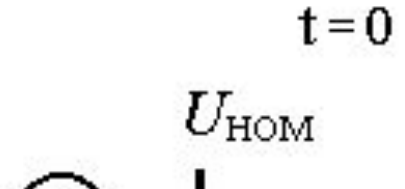
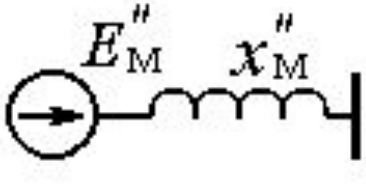
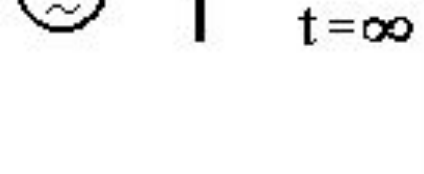
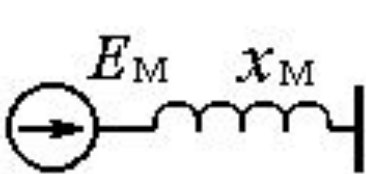
Система		
Синхронный генератор (с демпферными обмотками) или синхронный двигатель		
		
Асинхронный двигатель		
		

Рисунок 1,а – Представление элементов электрической системы в схемах замещения

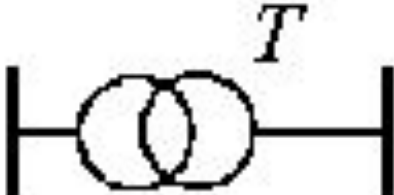
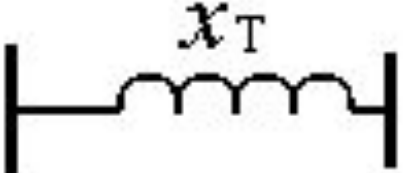

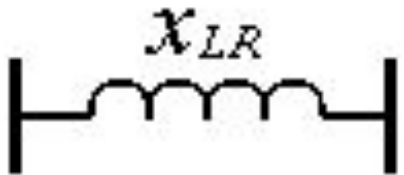
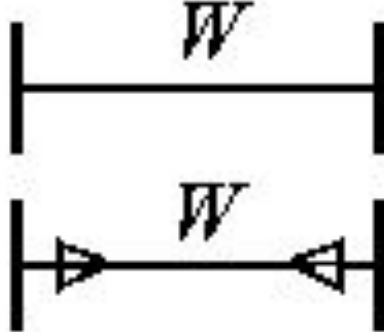
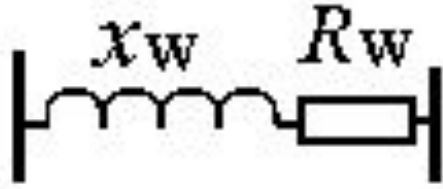
Трансформатор		
Реактор		
Воздушная или кабельная линия		

Рисунок 1,б – Представление элементов электрической системы в схемах замещения

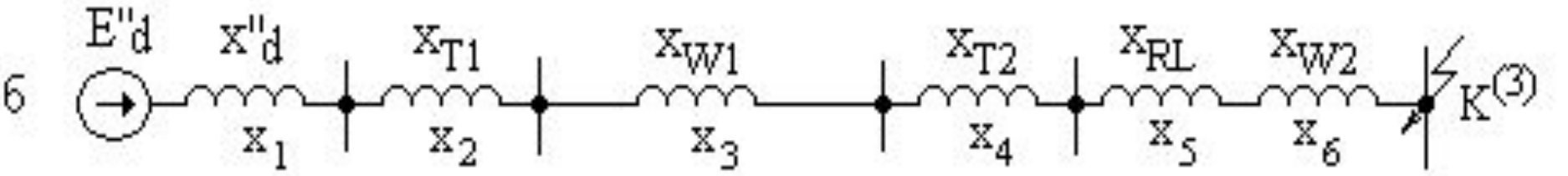
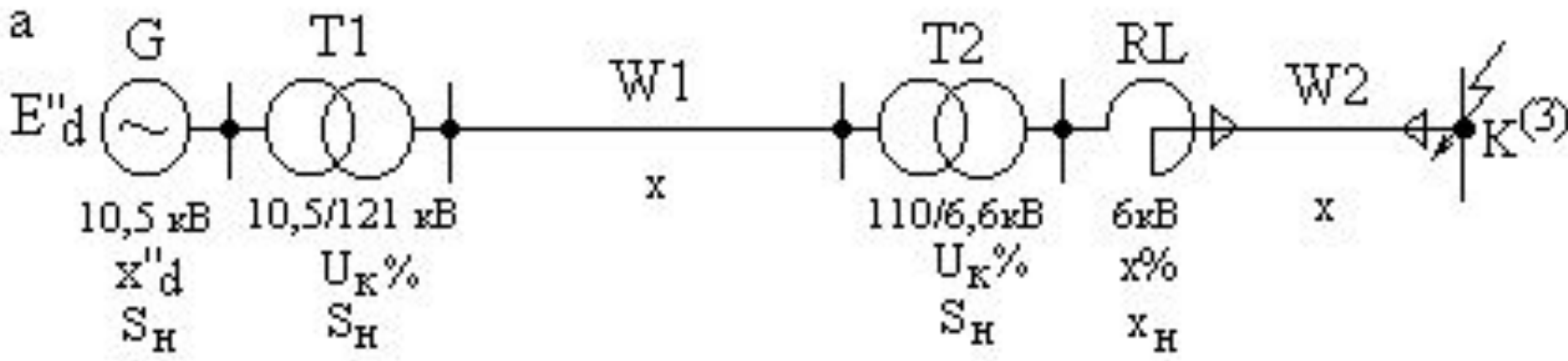


Рисунок 2 – Пример расчетной (а) и эквивалентной (б) схемы

Порядок расчёта токов КЗ:

1. Составляют расчётную схему СЭС.
2. Составляют её эквивалентную схему замещения.
3. **Определяют параметры всех элементов схемы замещения (ЭДС, сопротивления и др.)**
4. Преобразовывают и упрощают схему замещения до простейшего вида.
5. Вычисляют токи КЗ.

1.3 Параметры элементов схемы замещения (*сопротивления*), как и параметры режима (*напряжения, тока, мощности*) могут быть выражены как в системе именованных единиц, так и в системе относительных единиц.

Точность результатов расчёта не зависит от выбранной системы единиц !

В системе именованных единиц
параметры E, U, I, Z, X, r, S
выражаются в [В, А, Ом, ВА] или в их
производных.

**Если в расчётной схеме
имеются трансформаторы, т.е.
разные ступени напряжения, то все
параметры схемы замещения
приводятся к основной (базисной)
ступени напряжения.**

Рекомендуется за базисную ступень напряжения применять ту ступень, где находится точка КЗ.

Именованные величины, преобразованные к базисной ступени напряжения, называются приведёнными и обозначаются кружочком сверху.

$$\overset{o}{E} = (\kappa_1 \kappa_2 \kappa_3 \dots \kappa_n) E;$$

$$\overset{o}{I} = \frac{1}{\kappa_1 \kappa_2 \dots \kappa_n} I$$

$$\overset{o}{x} = \frac{\overset{o}{E}}{\overset{o}{I}} = (\kappa_1 \kappa_2 \dots \kappa_n)^2 \frac{\overset{o}{E}}{\overset{o}{I}} = (\kappa_1 \kappa_2 \dots \kappa_n)^2 x$$

(1)

где $\kappa_1 = \frac{U_2}{U_1}$ - коэф. трансформации

(1) – формулы для точного приведения.

В практических расчётах часто

используют приближённое приведение

как в именованных, так и относительных

системах единиц. Оно заключается в

том, что для каждой ступени

трансформации устанавливают среднее

номинальное напряжение $U_{\text{ср.}}$ по
специальной шкале [1, с. 61]

$U_{\text{ср.}}$, кВ	0,23; 0,4; 6,3; 10,5; 37; 115; 230; 340
--------------------------	--

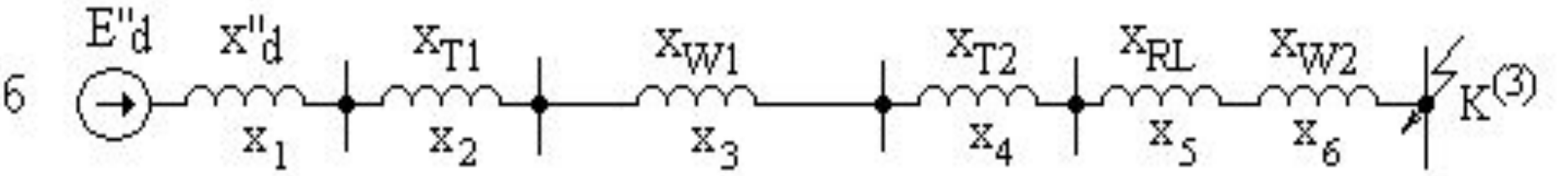
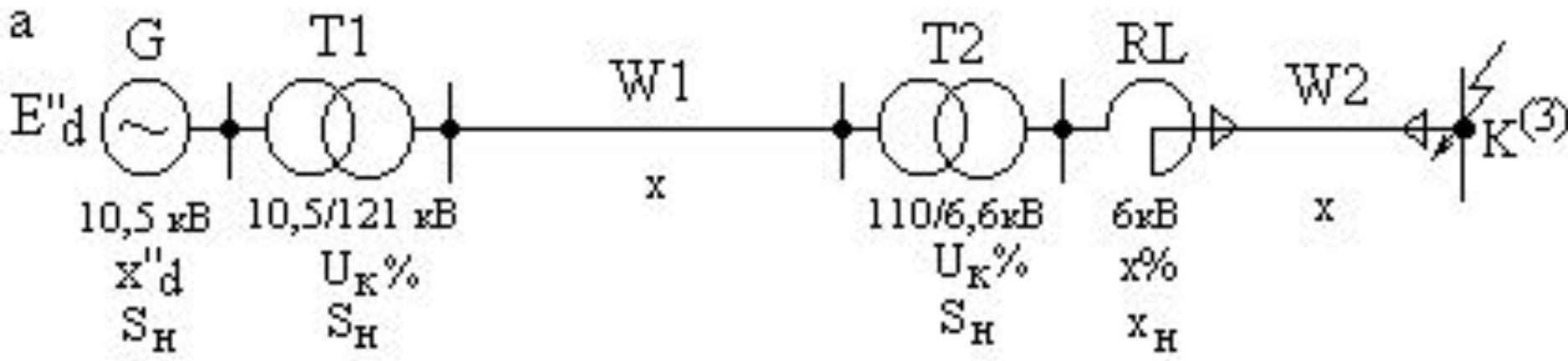


Рисунок 2 – Пример расчетной (а) и эквивалентной (б) схемы

Тогда приведение упрощается и (1)

для именованных величин принимают

вид (2):

$$\overset{o}{E} = E \frac{U_{\text{ср.б.}}}{U_{\text{ср.}}} ;$$

$$\overset{o}{I} = I \frac{U_{\text{ср.}}}{U_{\text{ср.б.}}} ;$$

$$\overset{o}{x} = x \left(\frac{U_{\text{ср.б.}}}{U_{\text{ср.}}} \right)^2 ,$$

(2)

**Расчёты в именованных
единицах проводят, как правило:**

- когда **исходные данные** (параметры элементов схемы) **указаны в именованных единицах**;
- **в сетях с напряжением менее 1 кВ.**

На практике чаще используют

относительные единицы.

Расчёты в них часто

существенно упрощаются,

облегчается контроль

расчётных данных и

сопоставление результатов

расчёта для установок

различной мощности, т.к. для

таких установок относительные

значения расчётных величин

В относительных номинальных величинах за единицу измерения принимают номинальные значения своих параметров: U_H, I_H, S_H, X_H . Тогда относительные номинальные значения будут иметь вид:

$$S_{*H} = \frac{S}{S_H}; \quad I_{*H} = \frac{I}{I_H}; \quad U_{*H} = \frac{U}{U_H} \quad (3)$$
$$x_{*H} = \frac{x}{x_H} = \frac{\sqrt{3}I_H x}{U_H}, \quad x_{*H} = x \frac{S_H}{U_H^2},$$

Расчёты токов КЗ в установках выше 1 кВ чаще производят в относительных базисных единицах. В них истинные значения параметров делятся на базисные значения.

$$\begin{aligned} U_{*б} &= \frac{U}{U_б}, & I_{*б} &= \frac{I}{I_б}, \\ S_{*б} &= \frac{S}{S_б}, & x_{*б} &= \frac{x}{x_б}. \end{aligned} \quad (4)$$

Базисных величин всего четыре.

На практике **две из базисных величин**
выбираются произвольно:

- **базисную мощность** S_6 – кратную десяти, например: 10 МВА, 100 МВА и др.;
- **базисное напряжение** U_6 **рекомендуется** выбирать по напряжению в точке КЗ;
- остальные **две** выбирают из выражений

$$S_6 = \sqrt{3}U_6 I_6, \quad x_6 = \frac{U_6}{\sqrt{3}I_6}.$$

Если в расчётной схеме имеются трансформаторы, то для относительных базисных единиц, как и для именованных, проводится точное или приближенное приведение к основной (базисной) ступени напряжения.

При приближенном приведении в выражениях (4) заменяют

$$\begin{array}{l} \mathbf{U} \rightarrow \mathbf{U}_{\text{ср.}}; \\ \mathbf{U}_{\text{б}} \rightarrow \mathbf{U}_{\text{б ср}} \end{array}$$

Если исходные данные приведены в относительных номинальных единицах, то для преобразования их в относительные базисные единицы используют формулы:

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

$$x_{*б} = x \frac{\sqrt{3}I_б}{U_{cp}}, \quad x_{*б} = x \frac{S_б}{U_{cp}^2}.$$

Ср. знач. парам. элементов см. [4] с.14, 15, 22.

Выводы:

- 1. Эквивалентная **схема замещения** по своей сути представляет **математическую модель**, в которой реальные элементы электрической системы замещаются их сопротивлениями (индуктивными или полными).
- 2. **Для расчетов токов КЗ** эквивалентные схемы составляются для **сверхпереходного режима**.
- 3. Параметры схем замещения в электрических сетях **выше 1000 В**, как правило, выражаются в **относительных базисных единицах**, а в сетях **ниже 1000 В** – в **именованных единицах**.
- 4. При наличии **трансформаторов** параметры схем замещения приводят к **базисной ступени напряжения** (где находится точка КЗ).

2. Преобразование схем замещения.

Порядок расчёта токов КЗ:

- 1. Составляют расчётную схему СЭС.**
- 2. Составляют её эквивалентную схему замещения.**
- 3. Определяют параметры всех элементов схемы замещения (ЭДС, сопротивления и др.)**
- 4. Преобразовывают и упрощают схему замещения до простейшего вида.**
- 5. Вычисляют токи КЗ.**

Простейшая схема – это эквивалентная схема, состоящая из одного **результатирующего сопротивления** $X_{рез}$, с одной стороны к которому приложена расчетная ЭДС E''_d , а с другой – находится **точка КЗ** с нулевым потенциалом (**нарисуйте её**).

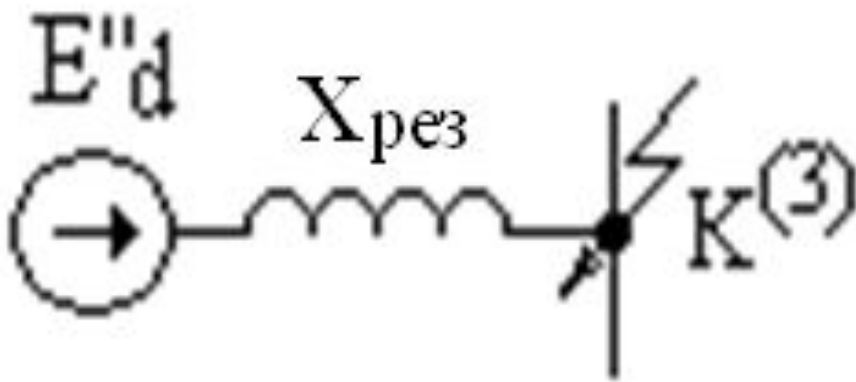
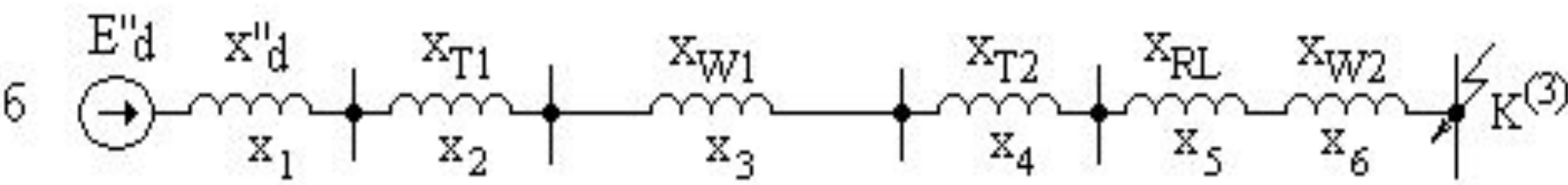


Рисунок 3 – Схема замещения, преобразованная к простейшему виду



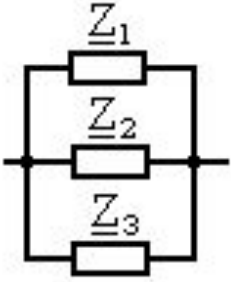

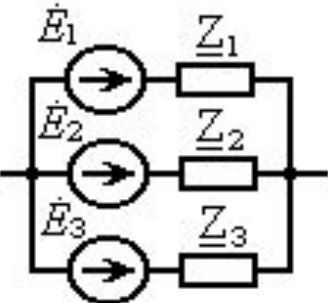
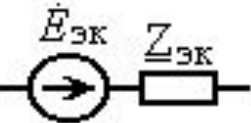
<p>Последовательное соединение</p>			$\underline{Z}_{\text{эк}} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \dots + \underline{Z}_n$
<p>Параллельное соединение</p>			$\underline{Z}_{\text{эк}} = \frac{1}{\underline{Y}_{\text{эк}}};$ $\underline{Y}_{\text{эк}} = \underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \dots + \underline{Y}_n,$ $\underline{Y}_1 = \frac{1}{\underline{Z}_1}; \quad \underline{Y}_2 = \frac{1}{\underline{Z}_2};$ $\underline{Y}_n = \frac{1}{\underline{Z}_n}.$ <p>При двух ветвях</p> $\underline{Z}_{\text{эк}} = \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2}$
<p>Замена нескольких источников эквивалентным</p>			$\dot{E}_{\text{эк}} = \frac{1}{\underline{Y}_{\text{эк}}} \sum_{k=1}^n \underline{Y}_k \dot{E}_k$ <p>При двух ветвях</p> $\dot{E}_{\text{эк}} = \frac{\dot{E}_1 \underline{Z}_2 + \dot{E}_2 \underline{Z}_1}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2}$

Рисунок 4,а – Основные формулы преобразования схем

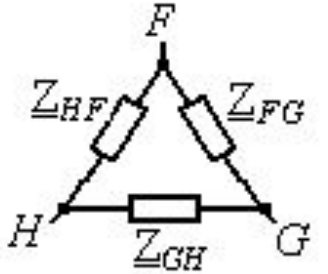
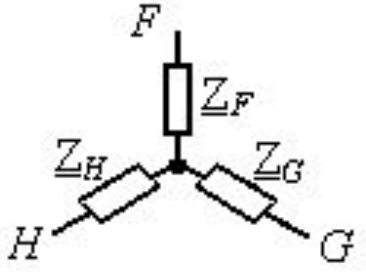
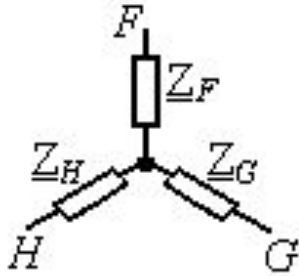
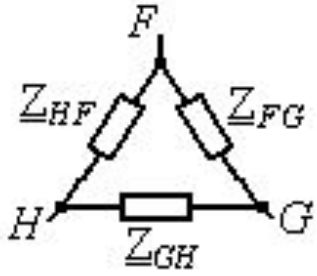
<p>Преобразование треугольника в звезду</p>			$Z_F = \frac{Z_{FG} Z_{HF}}{Z_{FG} + Z_{GH} + Z_{HF}};$ $Z_H = \frac{Z_{FG} Z_{HF}}{Z_{FG} + Z_{GH} + Z_{HF}};$ $Z_G = \frac{Z_{FG} Z_{HF}}{Z_{FG} + Z_{GH} + Z_{HF}}$
<p>Преобразование трехлучевой звезды в треугольник</p>			$Z_{FG} = Z_F + Z_G + \frac{Z_F Z_G}{Z_H};$ $Z_{GH} = Z_G + Z_H + \frac{Z_G Z_H}{Z_F};$ $Z_{HF} = Z_H + Z_F + \frac{Z_H Z_F}{Z_G}$

Рисунок 4,б – Основные формулы преобразования схем

• **Выводы:**

- 1. Целью преобразования схемы замещения является приведение ее к **простейшему виду**.
- 2. **Преобразование включает в себя последовательное и параллельное сложение сопротивлений, последовательное преобразование треугольника сопротивлений в звезду и обратно.**

Задание на
самостоятельную
подготовку:

1. Изучить материал лекции по конспекту.
2. То же по рекомендованной литературе:
[2], с. 85-96 – основная;
[1], с. 53-70; [4], с. 5-23 – дополнительная.

- **Вопросы для контроля:**

- 1. В чем отличие расчетной схемы от принципиальной схемы электрической системы?**
- 2. Сколько всего базисных величин и как они выбираются?**
- 3. Какова цель преобразования схемы замещения электрической сети?**
- 4. Что представляет собой простейшая схема замещения?**