

Электрические сети и энергосистемы

Лекция № 3

*Общие сведения о силовых трансформаторах.
Схемы замещения и параметры
трансформаторов и автотрансформаторов*

Общие сведения о силовых трансформаторах

Для преобразований уровней напряжения на подстанциях электросетей и электростанциях используют трехфазные двух- и трехобмоточные трансформаторы (Т) и автотрансформаторы (АТ). При большой мощности используют однофазные трансформаторы соединенные в трехфазные группы.

На подстанциях 35 – 750 кВ энергосистем РФ работает около 2500 силовых Т и АТ общей мощностью более 580 тыс. МВ·А, что втрое больше установленной мощности электростанций.



Общие сведения о силовых трансформаторах

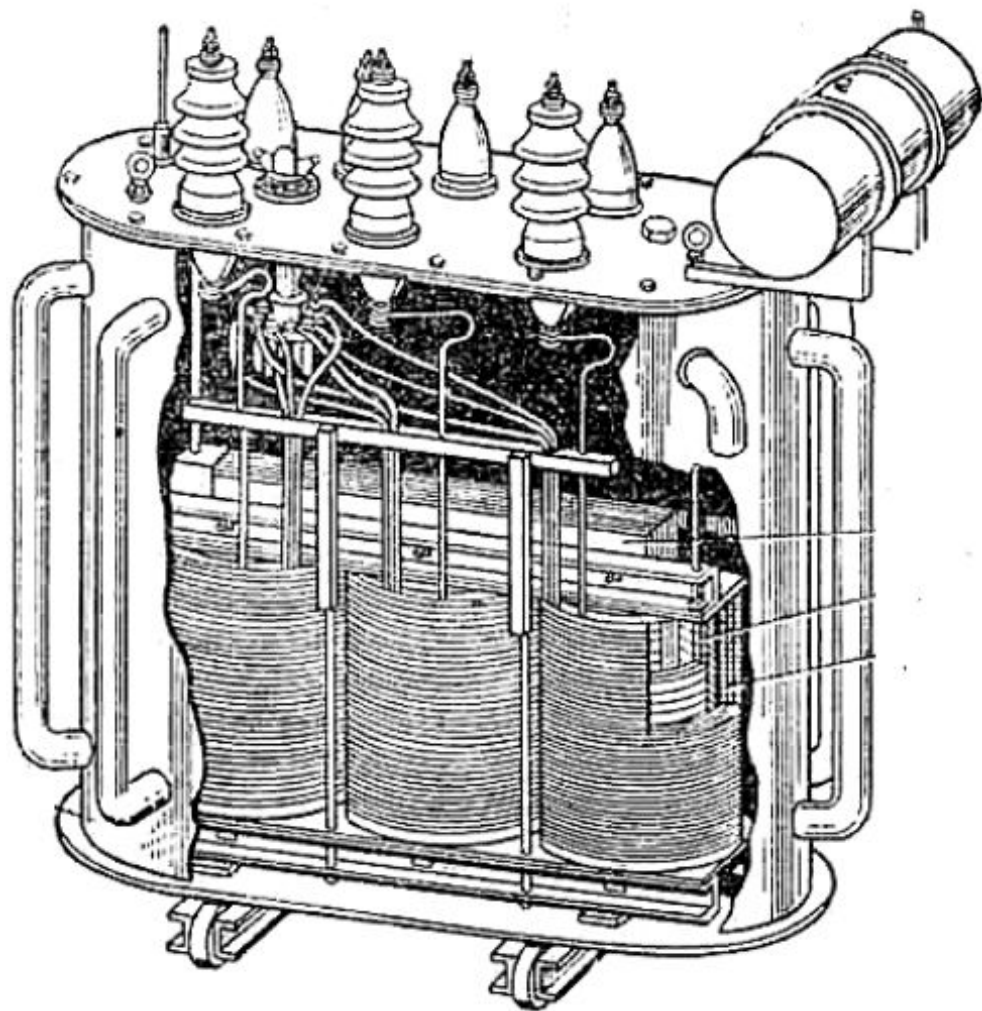
Таблица 5.1

Распределение Т и АТ мощностью 120 МВ·А и более
по классам напряжения

Класс напряжения, кВ	Доля общей мощности, %
110	7
220	36
330	12,5
500	37
750	6
1150	1,5

Общие сведения о силовых трансформаторах

Трехфазный двухобмоточный трансформатор



Общие сведения о силовых трансформаторах

Трехфазный двухобмоточный герметичный трансформатор



Трехфазный двухобмоточный сухой трансформатор с литой изоляцией



Общие сведения о силовых трансформаторах

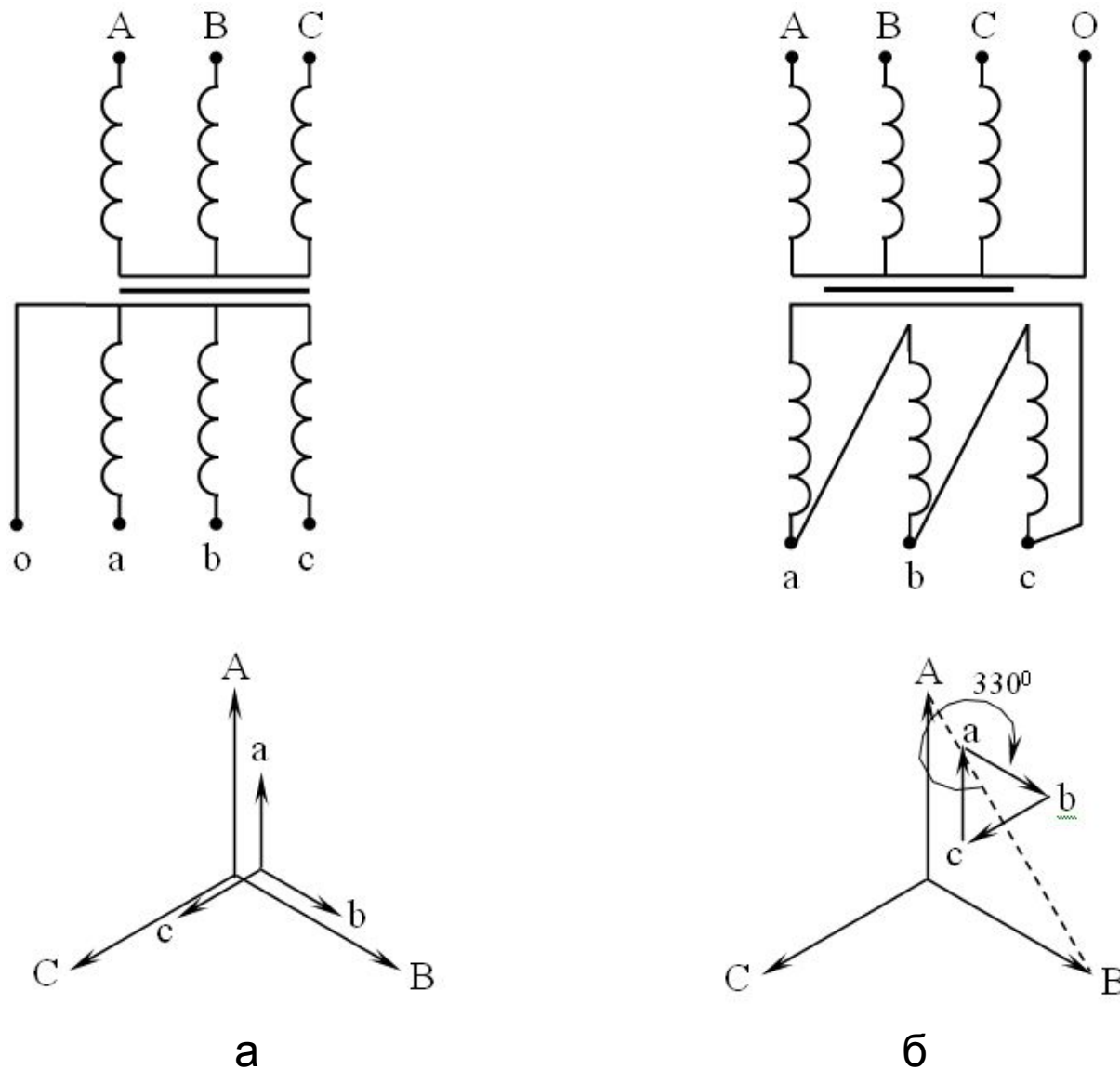


Рис. 11. Схемы соединений обмоток двухобмоточных трансформаторов

Общие сведения о силовых трансформаторах

Обмотки высшего напряжения (ВН) 6 – 35 кВ двухобмоточных трансформаторов соединены в звезду (с изолированной (Y) или выведенной (Y₀) нулевой точкой), а обмотки низшего напряжения (НН) 0,4/0,23 и 0,69/0,4 кВ соединены в звезду с выведенной нулевой точкой, т. е. группа соединений Y/Y₀-0 (рис. 11, а). При более высоком напряжении (ВН 110, 150, 220 кВ) обмотку НН (6 – 10 кВ) соединяют в треугольник, что соответствует группе Y_н/Δ-11 (рис. 11, б)

В трехобмоточных трансформаторах с первичным напряжением 110, 150, 220 кВ обмотки ВН и СН соединены, соответственно, в звезду с выведенной и изолированной нейтралью. Обмотку НН при напряжении 6, 10, 20 кВ соединяют в треугольник, что соответствует группе соединений Y_н/Y/Δ-0/0/11 (рис. 12).

Общие сведения о силовых трансформаторах

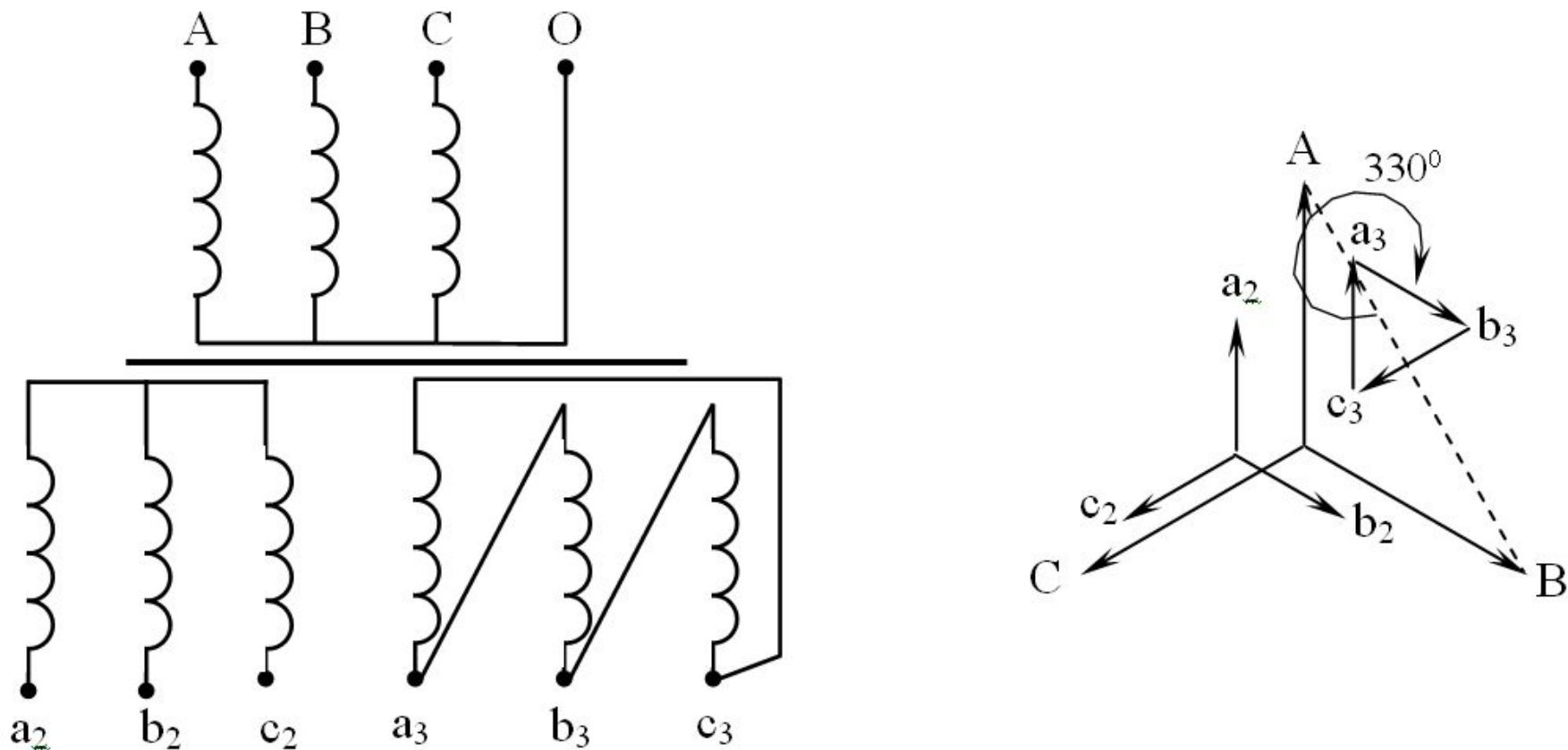


Рис. 12. Схема соединения обмоток трехобмоточных трансформаторов

Общие сведения о силовых трансформаторах

Для передачи ЭЭ с незначительным изменением напряжения и тока применяются автотрансформаторы, у которых обмотки имеют магнитные и электрические связи.

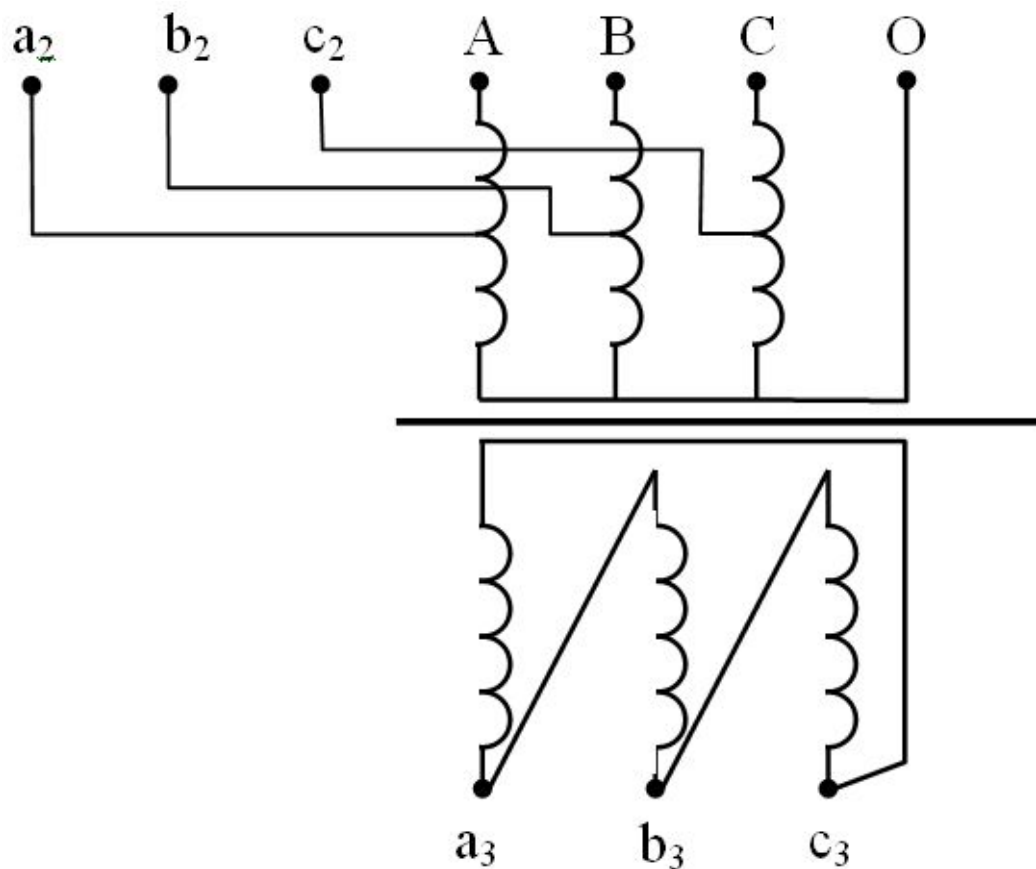


Рис. 13. Схема соединения обмоток автотрансформатора

Общие сведения о силовых трансформаторах

В автотрансформаторах с первичным напряжением 150, 220, 330, 500, 750 кВ общие обмотки соединены в звезду с обязательным глухим заземлением нейтрали (рис. 13).

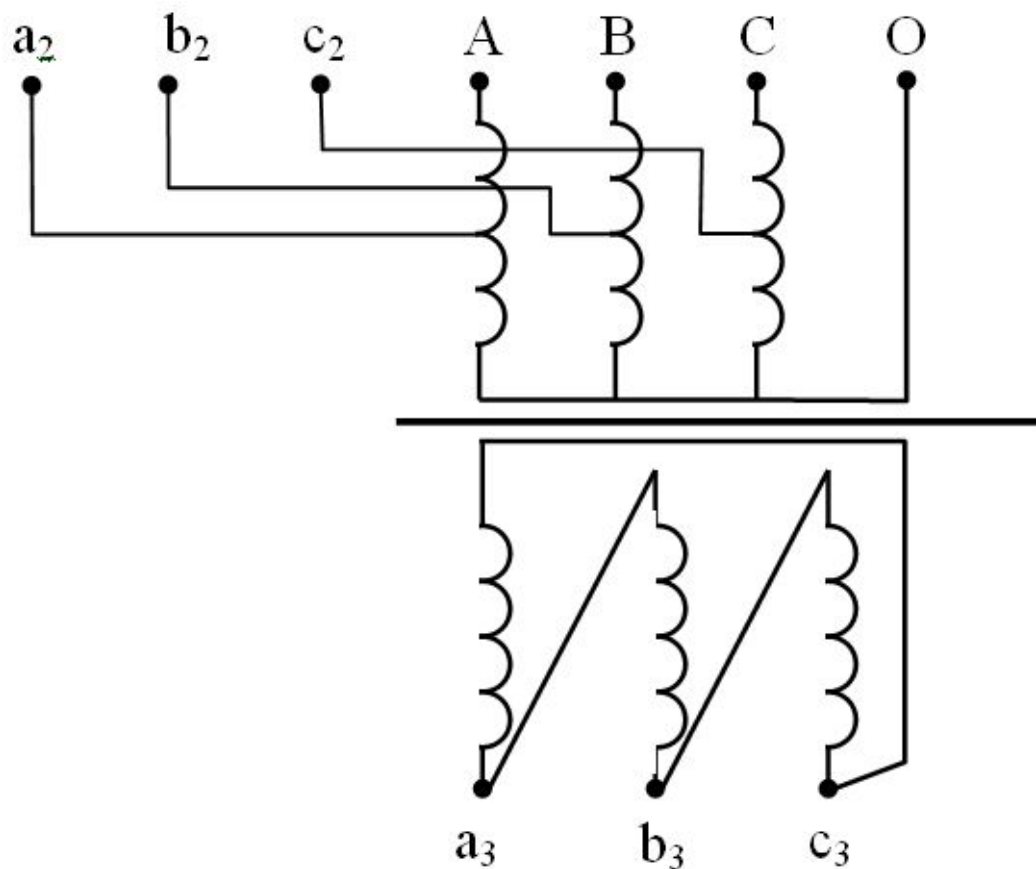


Рис. 13. Схема соединения обмоток автотрансформатора

Общие сведения о силовых трансформаторах

Автотрансформатор 330 кВ



Группа автотрансформаторов 500 кВ



Общие сведения о силовых трансформаторах

Буквенные обозначения трансформаторов:

- первая буква обозначает количество фаз – Т (О) – трехфазный (однофазный);
- вторая буква обозначает систему охлаждения – М – масляный с естественной циркуляцией масла; С – сухой с естественным воздушным охлаждением; Д – масляное с дутьем; Ц – принудительная циркуляция масла через водяной охладитель; ДЦ - принудительная циркуляция масла с дутьем;
- после числа фаз буква Р указывает, что обмотка низшего напряжения расщеплена;
- наличие второй буквы Т в наименовании означает, что трансформатор трехобмоточный;
- буква Н – регулирование напряжения под нагрузкой (РПН), ее отсутствие – переключение без возбуждения (ПБВ);
- буква Г – грозоупорный (герметичный);
- буква А в начале обозначения – автотрансформатор, Э – трансформатор для дуговых сталелитейных печей.

Общие сведения о силовых трансформаторах

После буквенного обозначения идут номинальная мощность в кВ·А и через дробь – класс напряжения обмотки ВН в кВ.

Шкала номинальных мощностей силовых трансформаторов и автотрансформаторов, как правило, кратна десяти: 20, 25, 40, 63, 100, 160, 250, 400, 630, 1000, 1600 и т. д.

Пример условного обозначения:

ТРДП–12500/10–УХЛ1 – трехфазный, с расщепленной вторичной обмоткой, с принудительной циркуляцией воздуха и естественно циркуляцией масла, для преобразователей железных дорог, мощностью 12500 кВ·А, 1 климатического исполнения.

Нормативный срок службы отечественных трансформаторов составляет 50 лет.

Общие сведения о силовых трансформаторах

К основным параметрам трансформаторов можно отнести:

- $S_{\text{ном}}$ – номинальная мощность, кВ·А;
- $U_{\text{ном}}$ – номинальные междуфазные напряжения присоединяемых сетей, кВ;
- $\Delta P_{\text{к}}$ – потери активной мощности короткого замыкания, кВт;
- $\Delta P_{\text{х}}$ – потери активной мощности холостого хода, кВт;
- $U_{\text{к}}$ – относительное значение напряжения короткого замыкания, %;
- $I_{\text{х}}$ – относительное значение тока холостого хода, %.

Номинальный коэффициент трансформации – отношение номинальных напряжений обмоток, с учетом группы соединения обмоток m :

$$k_{\text{ном}} = \frac{U_{1\text{ном}}}{U_{2\text{ном}}} e^{-jm\frac{\pi}{6}} \quad (5.1)$$

Схемы замещения и параметры трансформаторов и автотрансформаторов

В трансформаторах передача ЭЭ из первичной обмотки во вторичную осуществляется посредством переменного магнитного потока. Эту магнитную связь в электрических расчетах заменяют гальванической (см. рис. 14).

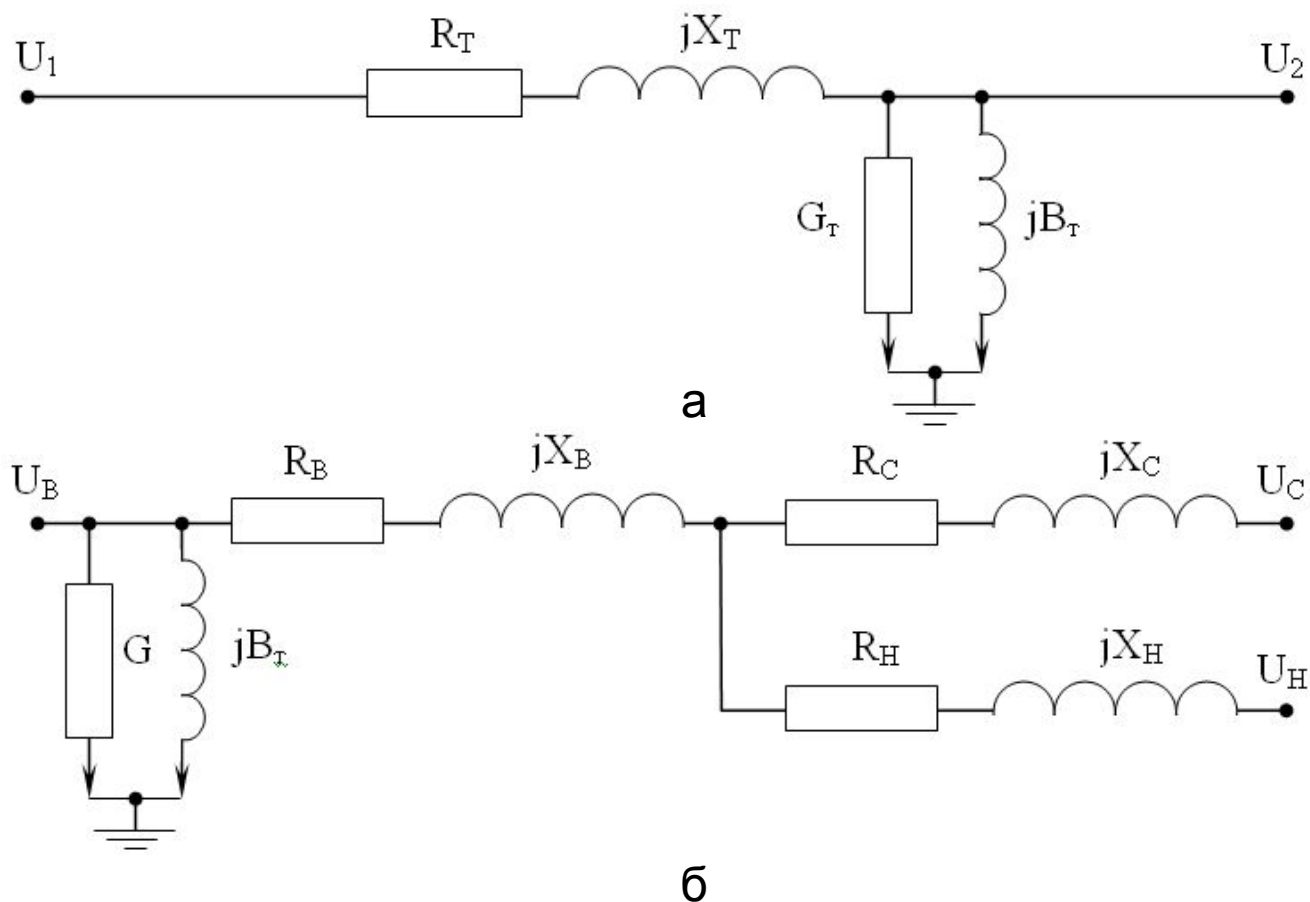


Рис. 14. Электрические схемы замещения силовых трансформаторов

Схемы замещения и параметры трансформаторов и автотрансформаторов

Сопротивления схем замещения определяются по результатам опыта короткого замыкания, при котором определяют U_k и ΔP_k .

Проводимости схем замещения определяются по результатам опыта холостого хода, при котором определяют I_x и ΔP_x .

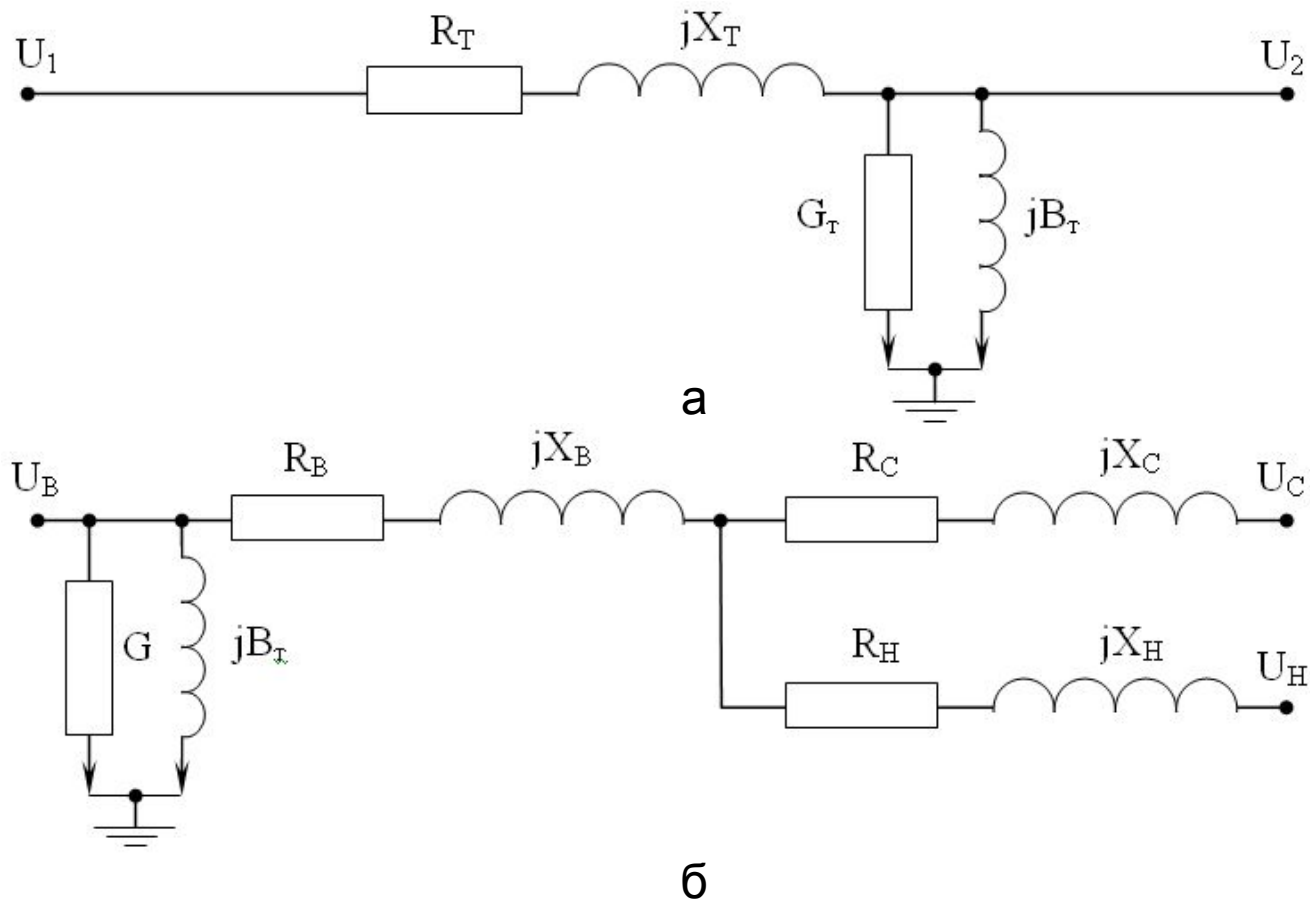


Рис. 14. Электрические схемы замещения силовых трансформаторов

Схемы замещения и параметры трансформаторов и автотрансформаторов

Полное сопротивление обмоток трансформатора, Ом:

$$Z_T = \frac{u_{K\%}}{100} \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3}I_{НОМ}} = \frac{u_{K\%}}{100} \frac{U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}} \quad (5.2)$$

Активное сопротивление обмоток трансформатора, Ом:

$$R_T = \frac{\Delta P_K U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}^2} 10^{-3} \quad (5.3)$$

Индуктивное сопротивление, Ом:

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (5.4)$$

Для трансформаторов мощностью 1000 кВ·А и выше $X_T \gg R_T$,

поэтому

$$X_T \approx Z_T = \frac{u_{K\%}}{100} \frac{U_{НОМ}^2}{S_{НОМ}} \quad (5.5)$$

Схемы замещения и параметры трансформаторов и автотрансформаторов

Активная проводимость обусловлена потерями мощности в стали на перемагничивание (гистерезис) и вихревые токи и равна, См:

$$G_T = \frac{\Delta P_x}{U_{\text{НОМ}}^2} 10^{-3} \quad (5.6)$$

Реактивная проводимость определяется мощностью, намагничивающей сталь, См:

$$B_T = \frac{I_{x\%}}{100} \frac{S_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}^2} 10^{-3} \quad (5.7)$$

Схемы замещения и параметры трансформаторов и автотрансформаторов

Для трехобмоточных трансформаторов задаются межобмоточные напряжения короткого замыкания, т. е. $U_{квс}$, $U_{квн}$, $U_{кcn}$. Таким образом, в схемах замещения сетей трехобмоточный трансформатор представляется в виде треугольника с сопротивлениями $Z_{вс}$, $Z_{вн}$, $Z_{сн}$ (рис. 15, а).

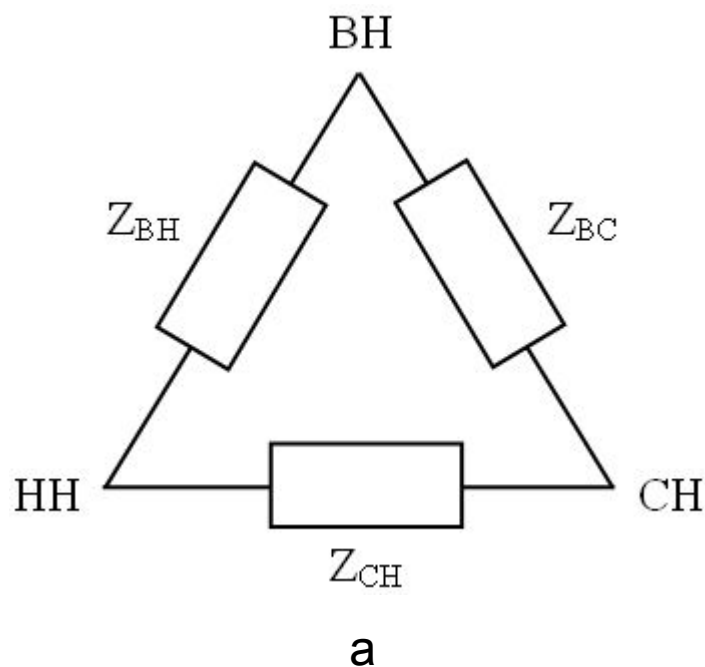


Рис. 15. Возможное представление трехобмоточных трансформаторов в схемах электрических сетей

Схемы замещения и параметры трансформаторов и автотрансформаторов

Такой трансформатор можно представить в виде трехлучевой звезды (рис. 15, б). В этом случае необходимо преобразовать межобмоточные напряжения короткого замыкания в напряжения соответствующих обмоток по формулам:

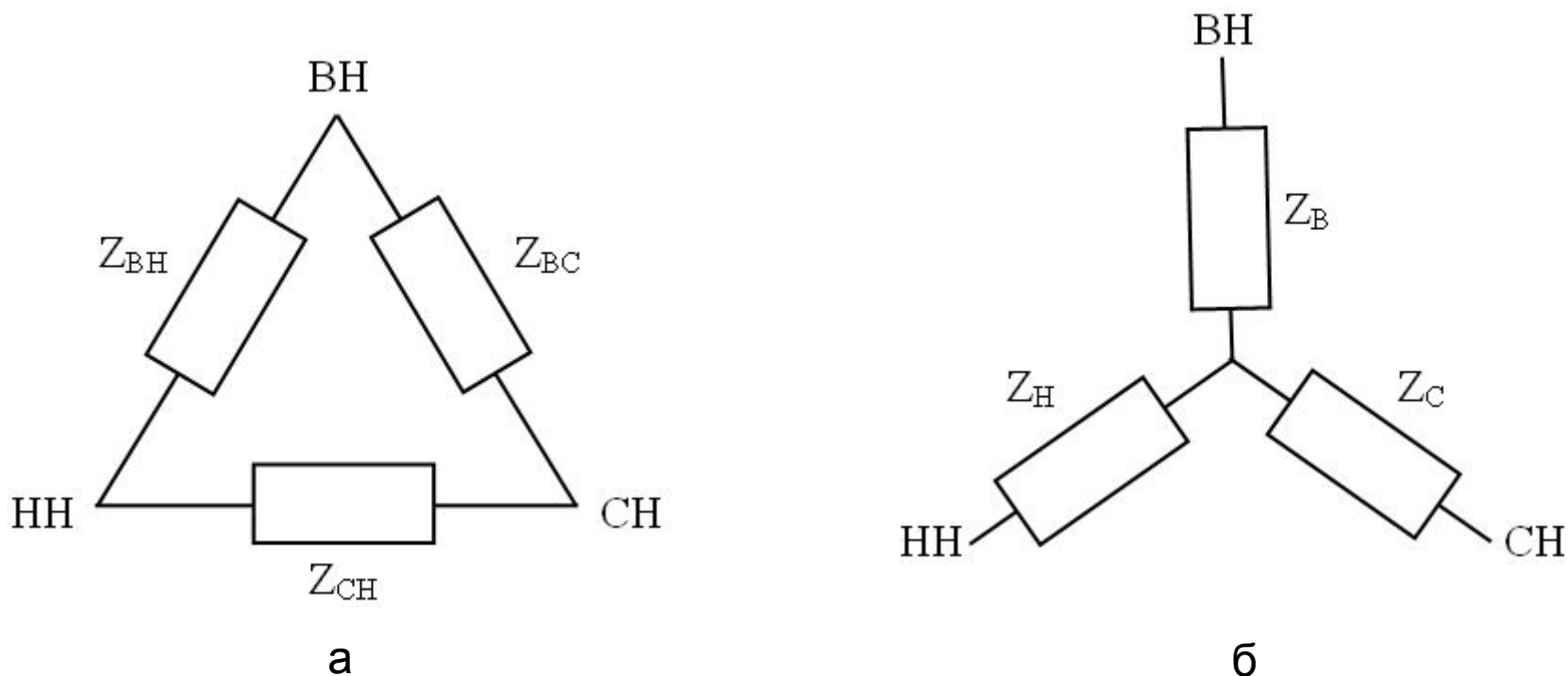


Рис. 15. Возможное представление трехобмоточных трансформаторов в схемах электрических сетей

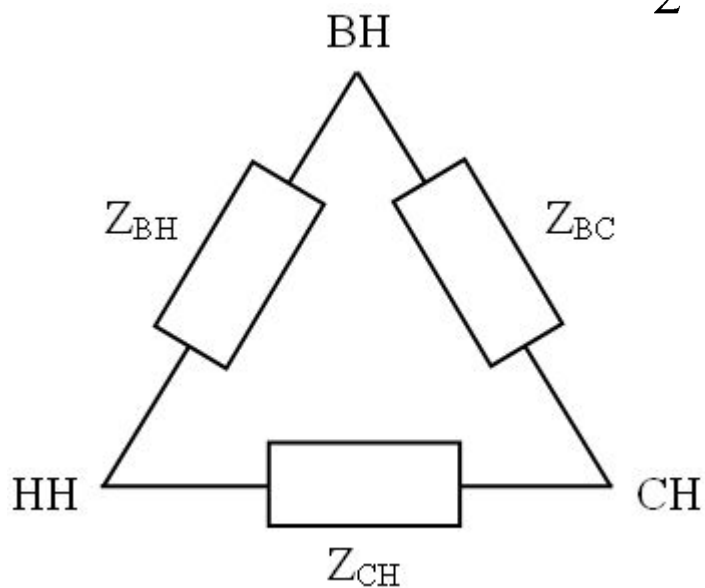
Схемы замещения и параметры трансформаторов и автотрансформаторов

$$u_{кВ} = \frac{1}{2}(u_{кВС} + u_{кВН} - u_{кСН})$$

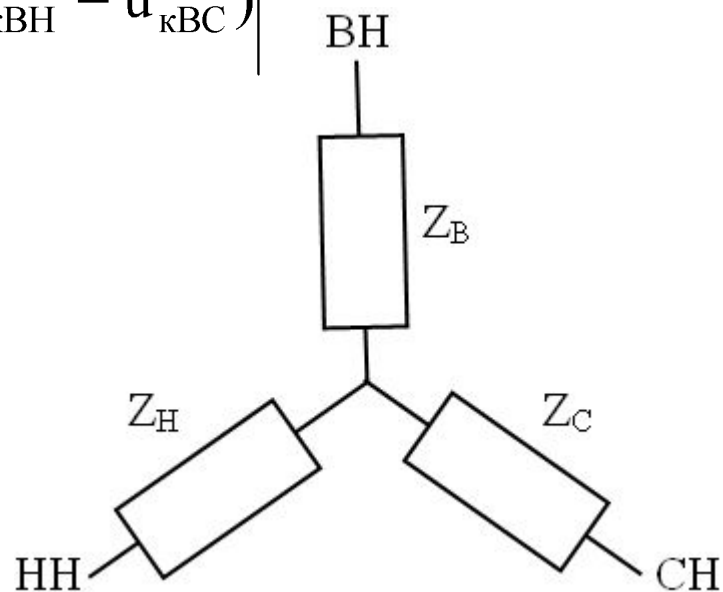
$$u_{кС} = \frac{1}{2}(u_{кСН} + u_{кВС} - u_{кВН})$$

$$u_{кН} = \frac{1}{2}(u_{кСН} + u_{кВН} - u_{кВС})$$

(5.8)



а



б

Рис. 15. Возможное представление трехобмоточных трансформаторов в схемах электрических сетей