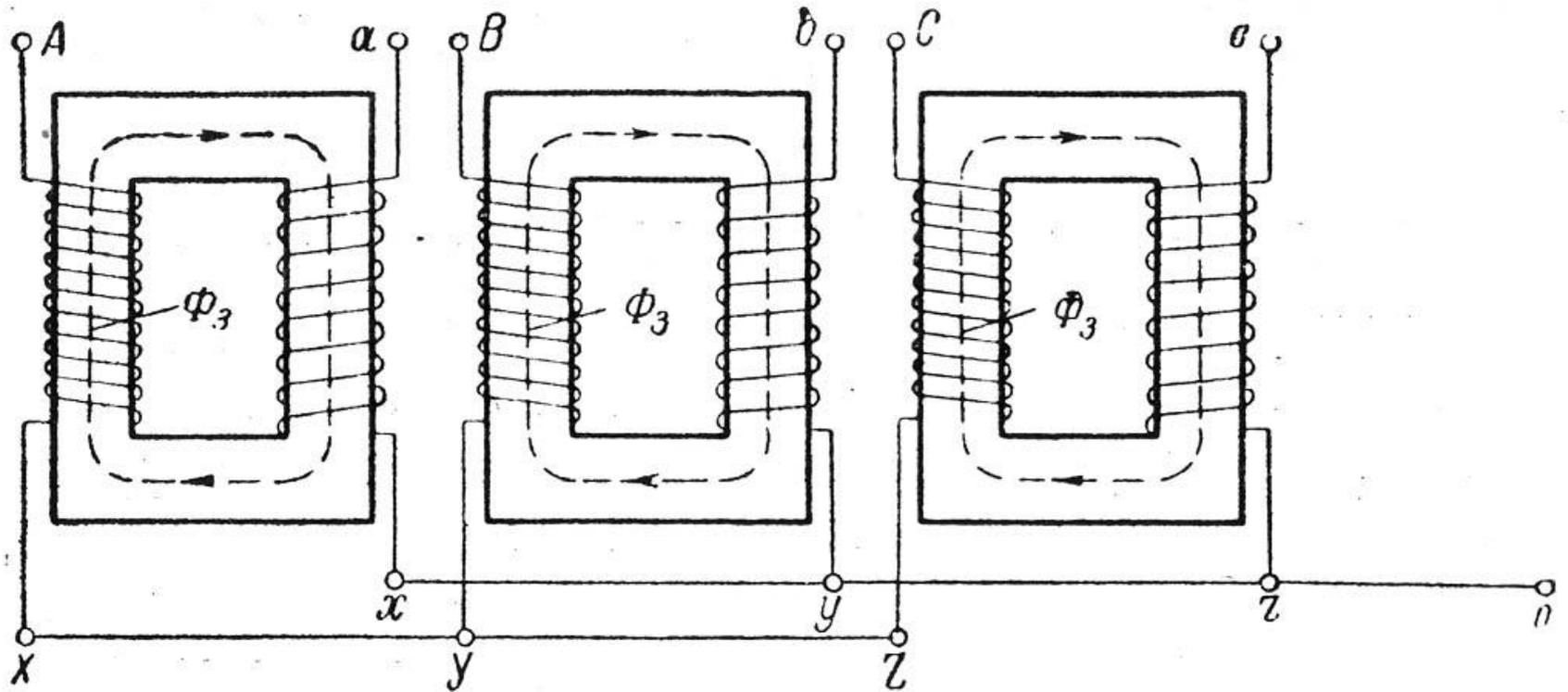


Трехфазные трансформаторы

Лекция 2

Трехфазный трансформатор



Трансформаторная группа при соединении обмоток по схеме $Y/Y_0 - 12$.

Трехфазный трансформатор

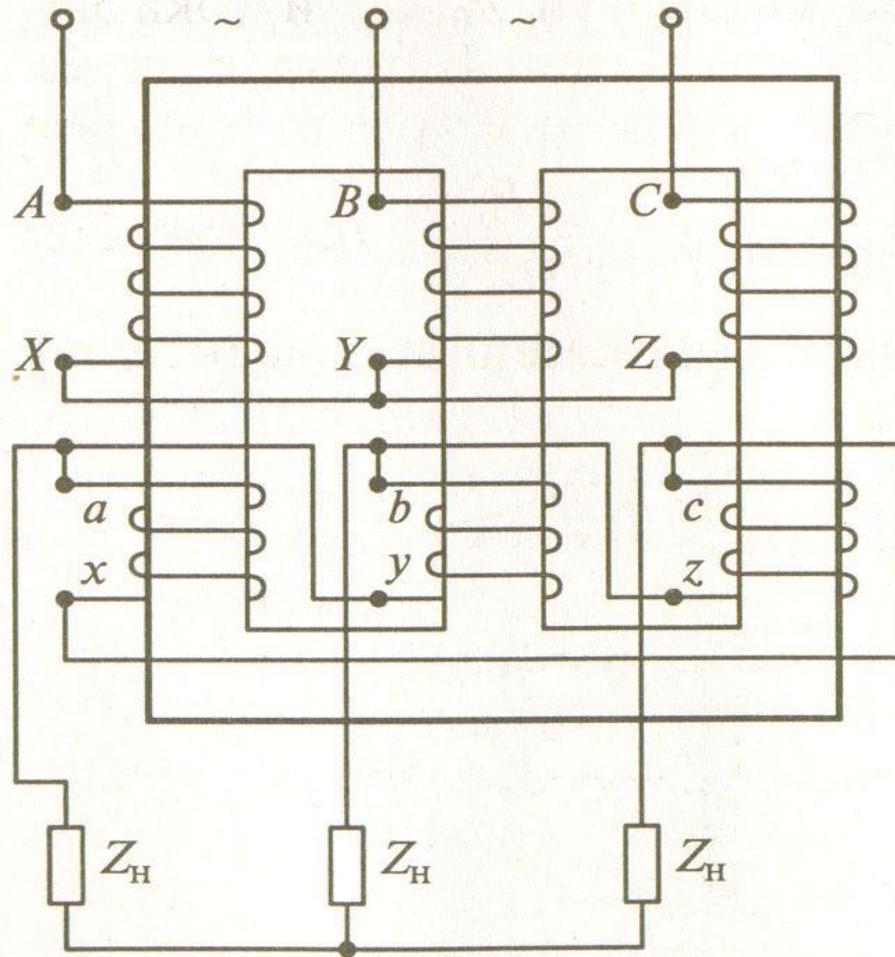
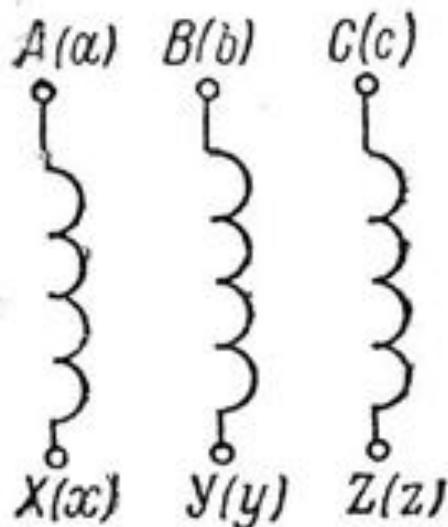


Схема соединения обмоток трехфазного трансформатора
 $Y/\Delta-11$

Схемы соединения фаз обмоток



Начала и концы трехфазной обмотки.

Обмотки трехфазных трансформаторов принято соединять по следующим схемам: звезда; звезда с нулевым выводом; треугольник; зигзаг с нулевым выводом. Схемы соединения обмоток трансформатора обозначают дробью, в числителе которой указана схема соединения обмоток ВН, а в знаменателе — обмоток НН. Например, Y/Δ означает, что обмотки ВН соединены в звезду, а обмотки НН — в треугольник.

Соединение в *зигзаг* применяют только в трансформаторах специального назначения, например в трансформаторах для выпрямителей

Выводы обмоток трансформаторов принято обозначать следующим образом: обмотки ВН — начало обмоток A, B, C , соответствующие концы X, Y, Z ; обмотки НН — начало обмоток a, b, c , соответствующие концы x, y, z .

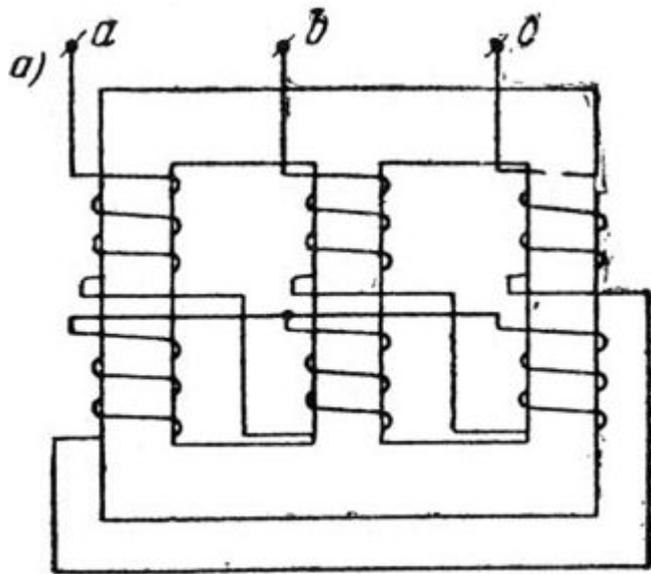
При соединении обмоток звездой линейное напряжение больше фазного ($U_{л} = \sqrt{3}U_{ф}$), а при соединении обмоток треугольником линейное напряжение равно фазному ($U_{л} = U_{ф}$).

Отношение линейных напряжений трехфазного трансформатора для разных схем соединения обмоток определяется следующим образом:

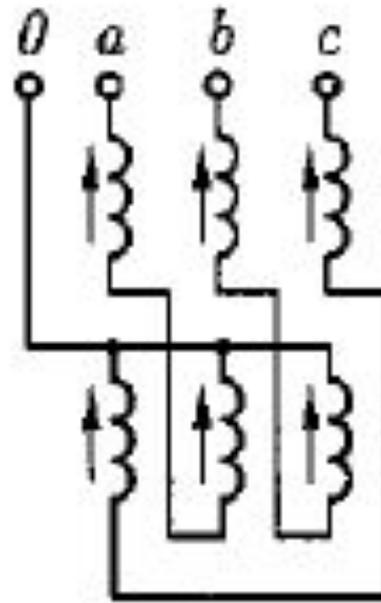
Схема соединения обмоток	Y/Y	Δ/Y	Δ/Δ	Y/Δ
Отношение линейных напряжений	w_1/w_2	$w_1/(\sqrt{3}w_2)$	w_1/w_2	$\sqrt{3}w_1/w_2$

Таким образом, отношение линейных напряжений в трехфазном трансформаторе определяется не только отношением числа витков фазных обмоток, но и схемой их соединений.

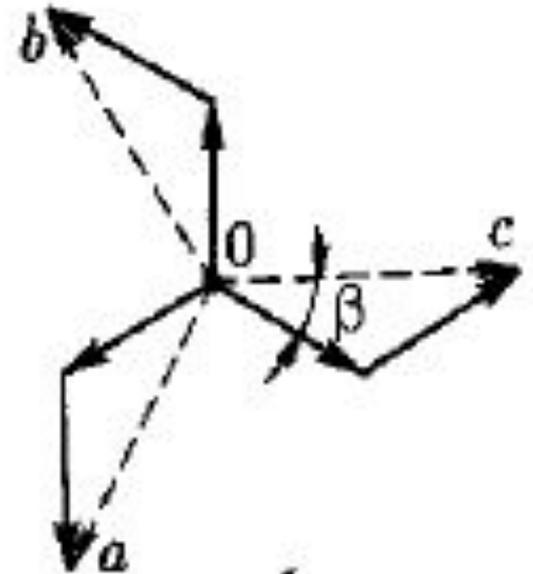
Схемы соединения фаз обмоток



Соединение зигзагом.



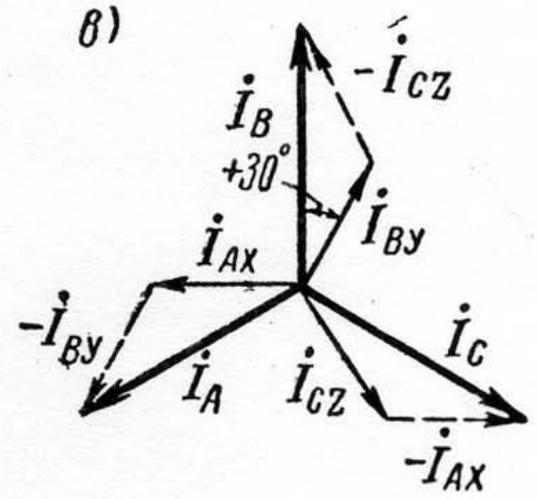
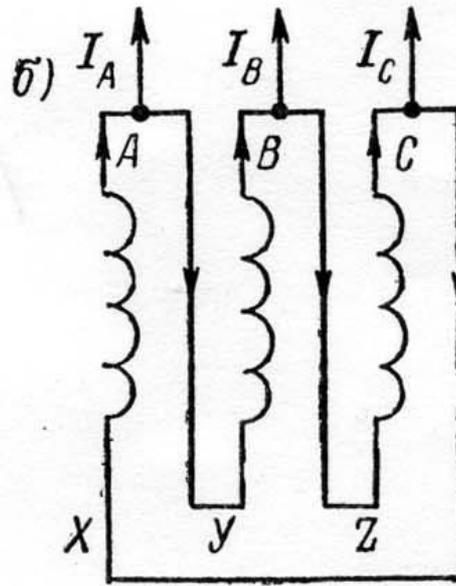
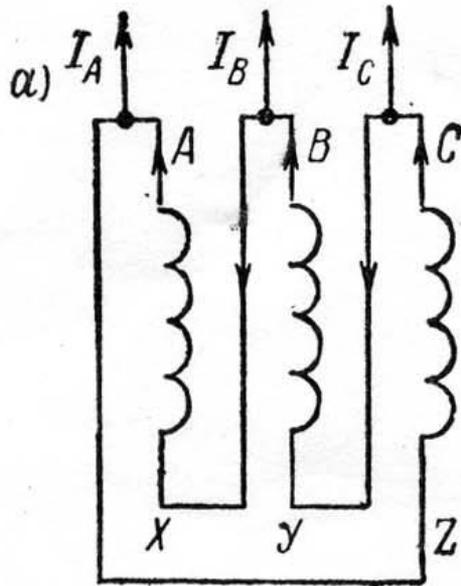
a



b

Рис. Схема соединения обмоток в зигзаг (a) и векторная диаграмма ЭДС (b)

Схемы соединения фаз обмоток



а и б — схемы соединений трехфазной обмотки треугольником; в — диаграмма токов.

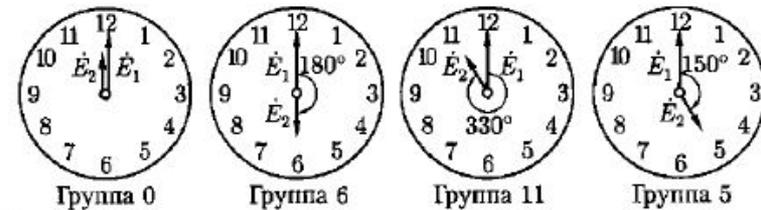
Группы соединения

- Группой соединения трансформатора называется угол сдвига между линейными ЭДС первичной и вторичной обмоток трансформатора. За первичную обмотку принимают обмотку высокого напряжения.

Если в трансформаторе изменить направление намотки обмотки НН или же переставить обозначения ее выводов, то ЭДС \dot{E}_{ax} окажется сдвинутой по фазе относительно ЭДС \dot{E}_{Ax} на 180°

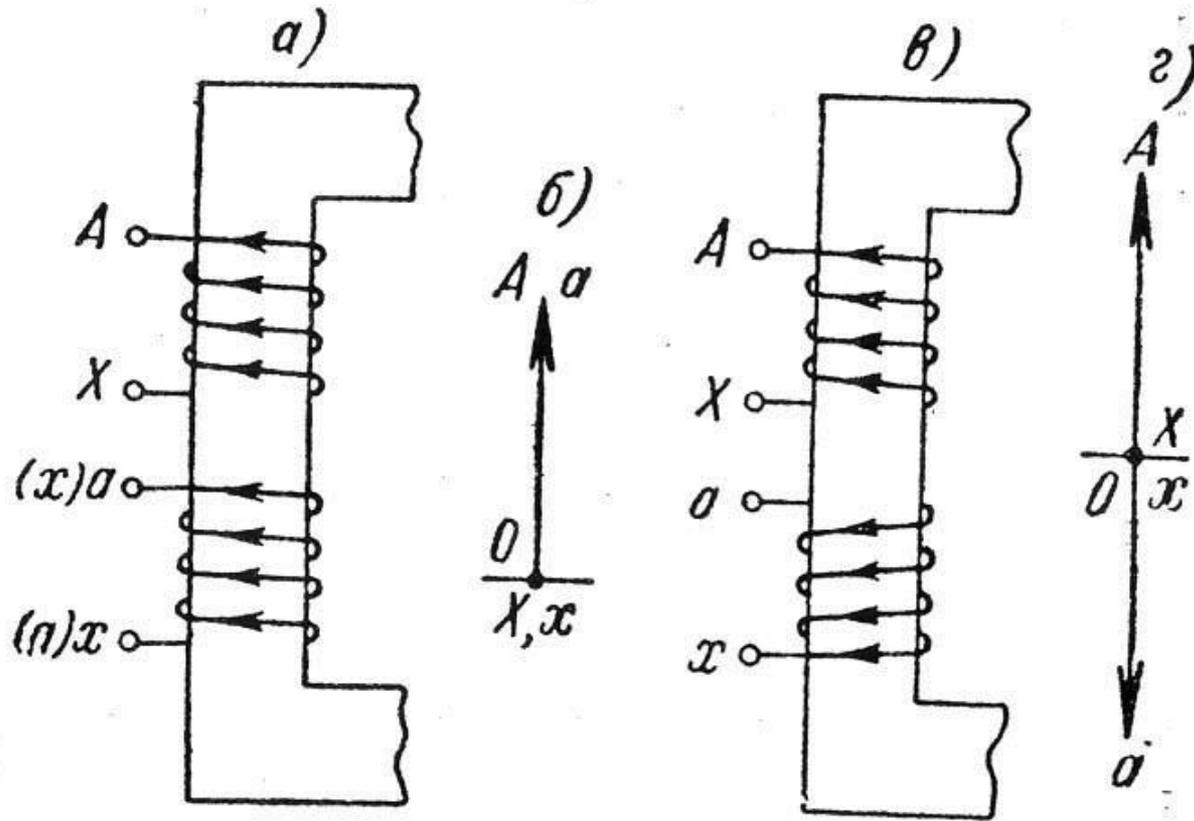
Сдвиг фаз между ЭДС \dot{E}_{Ax} и \dot{E}_{ax} принято выражать *группой соединения*. Так как этот сдвиг фаз может изменяться от 0 до 360° , а кратность сдвига составляет 30° , то для обозначения группы соединения принят ряд чисел: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 и 0.

Для лучшего понимания принятого обозначения групп соединения пользуются сравнением с часами. При этом вектор линейной ЭДС обмоток ВН соответствует минутной стрелке, установленной на цифре 12, а вектор линейной ЭДС обмоток НН — часовой



Сравнение положения стрелок часов с обозначением групп соединения

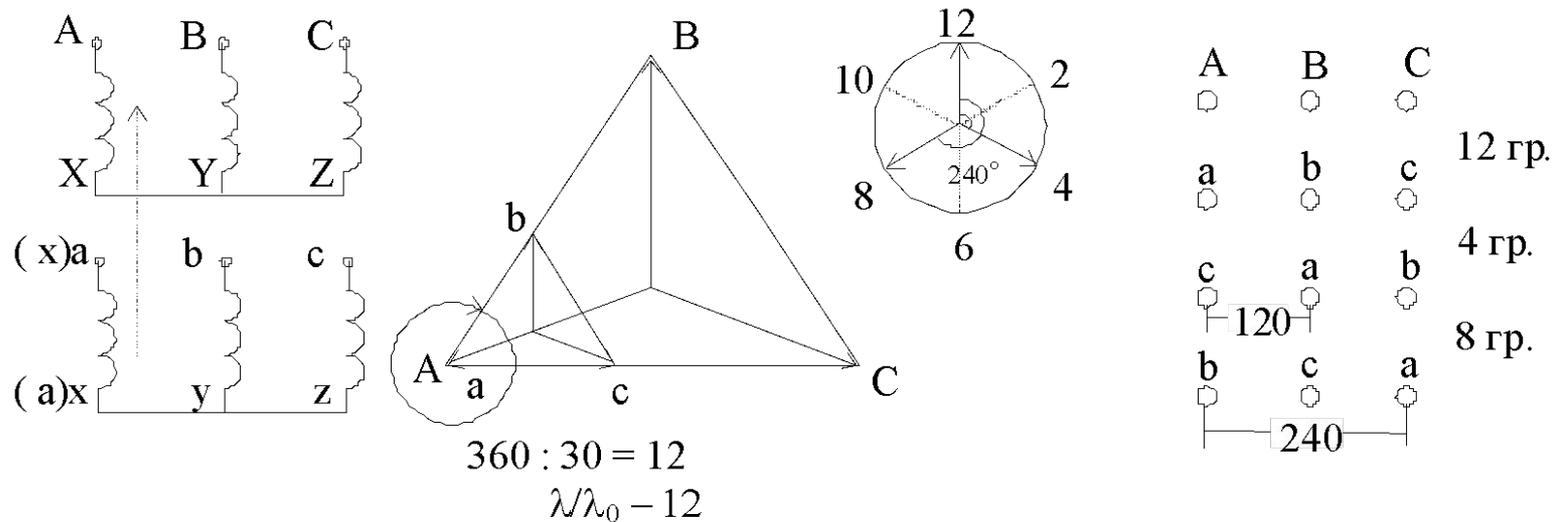
Группы соединения



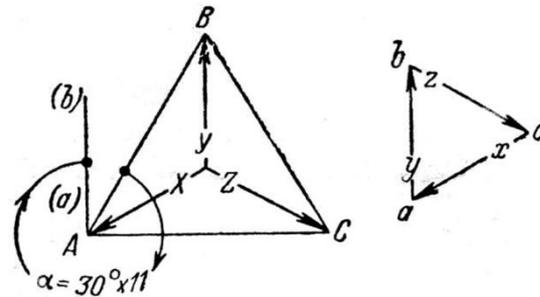
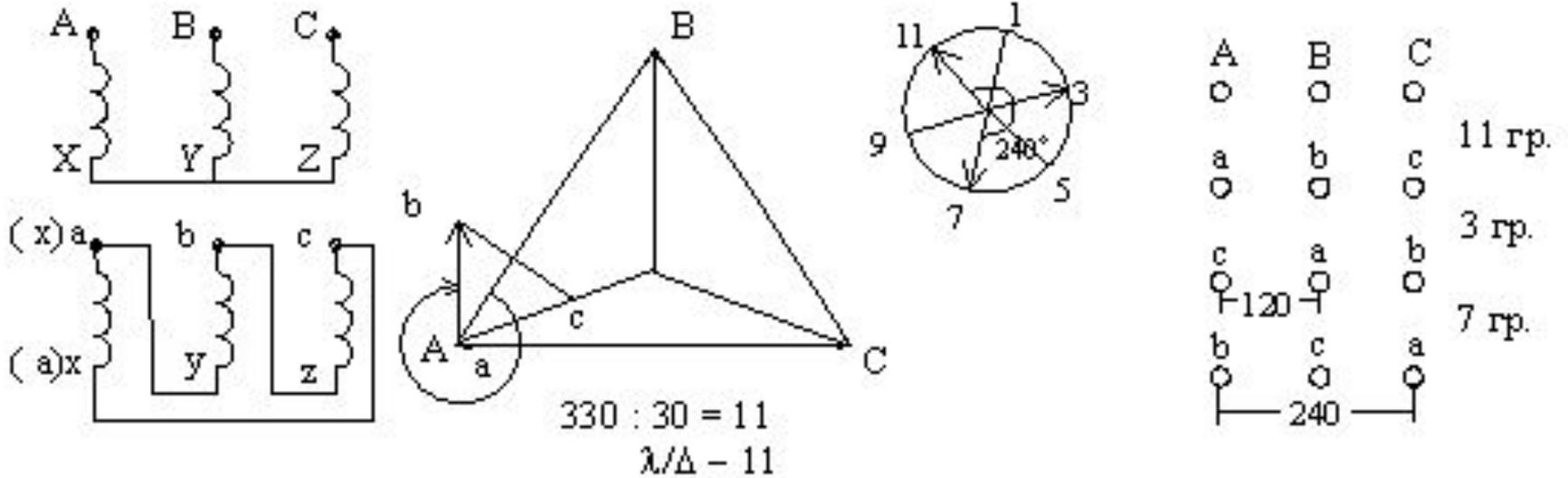
Угол сдвига векторов
э. д. с. в зависимости от направления
намотки и обозначения зажимов об-
мотки.

Группы соединения

- Группа соединения зависит от:
 - от направлений намотки;
 - маркировки концов обмотки;
 - схемы соединения обмоток.
- Группы соединения трехфазных трансформаторов:
 - 1) соединение λ/λ_0 ;



соединение λ/Δ



Соединение $Y/\Delta - 11$.

Группы соединения

Для однофазных трансформаторов возможны только две группы: *нулевая и шестая*.

Для трехфазных трансформаторов возможно большее число комбинаций соединений.

Поэтому и групп больше – 12, отличающихся линейных напряжений на 30° . Применяются соединения: звезда, треугольник и, редко, зигзаг.

Схемы соединения фаз обмоток

- При изготовлении трансформаторов, ГОСТом предусматриваются следующие способы соединения:
- λ/λ_0 для мелких распределительных трансформаторов (на предприятиях);
- λ/Δ для трансформаторов средней и большой мощности;
- λ_0/Δ для трансформаторов большой мощности при повышенном напряжении.
- Соединение в зигзаг делается на стороне низкого напряжения.

Группы соединения

Схемы соединения обмоток		Диаграммы векторов ЭДС		Условные обозначения
ВН	НН	ВН	НН	

Схемы и группы соединения обмоток трехфазных двухобмоточных трансформаторов

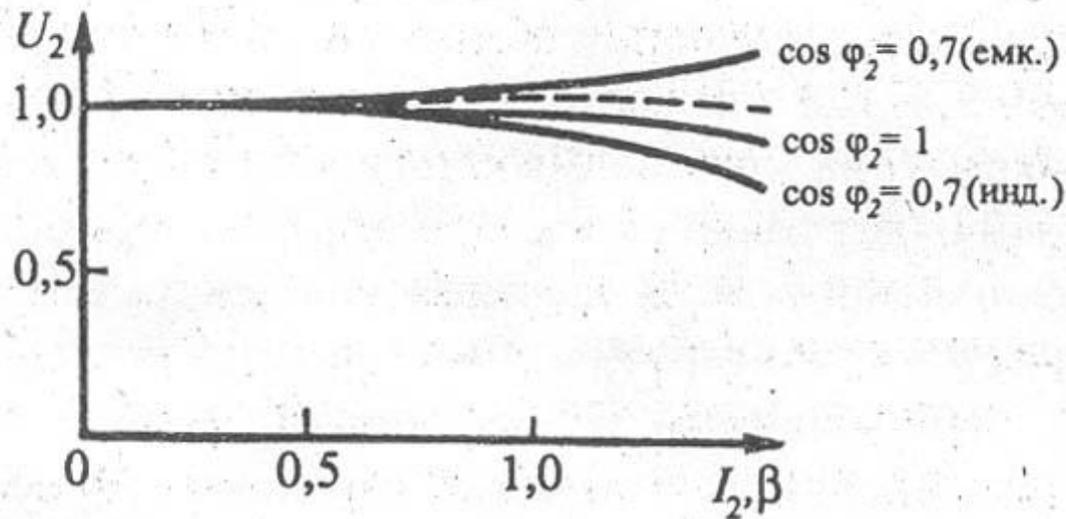
Группы соединения

Таблица 15-1

Обозначение схемы соеди- нения обмоток	Напряжение обмоток		Мощность трансформатора кВа
	ВН кВ	НН В	
Y/Y ₀ -12	До 35 (включительно) То же	230 400	До 560 (включительно) > 1800 >
Y/Δ — 11	До 35 (включительно)	525 Выше 525	До 1800 (включительно) > 5600 >
Y ₀ /Δ—11	110 и выше	3150 и выше	3200 и выше
	6,3 и выше	3300 и выше	7500 и выше

Характеристики трансформаторов

Внешняя характеристика - это зависимость напряжения на вторичной обмотке от нагрузки или I_2 , где β коэффициент нагрузки.



Внешние характеристики трансформатора

Характеристики трансформаторов

$$\Delta u = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}}$$

$$\Delta u = \beta (u_{ak} \cos \varphi_2 + u_{pk} \sin \varphi_2)$$

Падение напряжения определяется значениями β или характером нагрузки $\cos \varphi_2$ а также напряжением короткого замыкания.

При активно-емкостной нагрузке из-за увеличения реактивной мощности при увелич. I_2 напряжение на вторичной обмотке растет. Избыток реактивной энергии при этом отдается обратно в первичн. обм-ку, что ведет к увелич эдс, магнитного потока и напряжению u_2 .
При активно-индуктивной нагрузке напряжение u_2 падает из-за падения напряжения на внутреннем сопротивлении z_k .

Характеристики трансформаторов

Коэффициент полезного действия

Показывает соотношение между мощностью, которая передается из первичной обмотки во вторичную и мощностью, которая преобразуется в тепло.

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum P} = 1 - \frac{\sum P}{P_2 + \sum P}$$

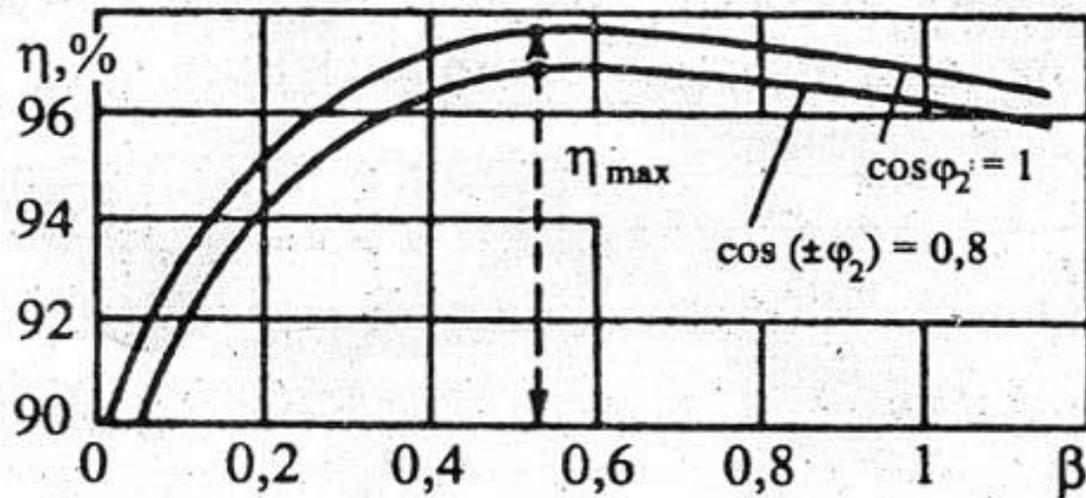
$$P_2 = m U_2 I_2 \cos \varphi_2 = \beta P_{2, \text{ном}} \cos \varphi_2$$

По ГОСТ КПД трансформатора определяется:

$$\eta = 1 - \frac{P_{x, \text{ном}} + \beta^2 P_{k, \text{ном}}}{\beta P_{2, \text{ном}} \cos \varphi_2 + P_{x, \text{ном}} + \beta^2 P_{k, \text{ном}}}$$

Характеристики трансформаторов

Коэффициент полезного действия

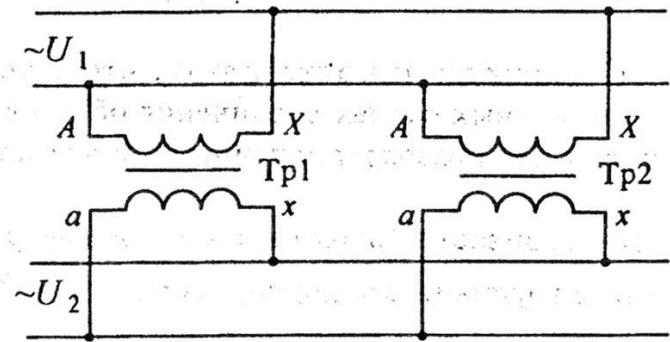
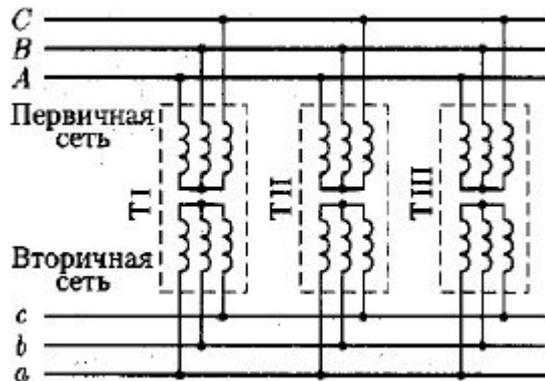


Зависимость КПД от нагрузки
при неизменном $\cos \varphi_2$

Параллельная работа трансформаторов

Параллельная работа двух и более трансформаторов состоит в параллельном соединении их обмоток, как на первичной так и на вторичной сторонах.

При параллельной работе трансформаторов первичные и вторичные обмотки подключены к общим шинам.



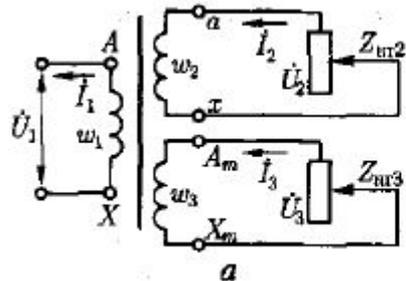
Условия включения трансформаторов на параллельную работу

1. При одинаково первичном напряжении вторичны напряжения должны быть равны (иметь одинаковые коэффициенты трансформации);
2. Трансформаторы должны принадлежать к одной группе соединения;
3. Трансформаторы должны иметь одинаковые напряжения короткого замыкания.

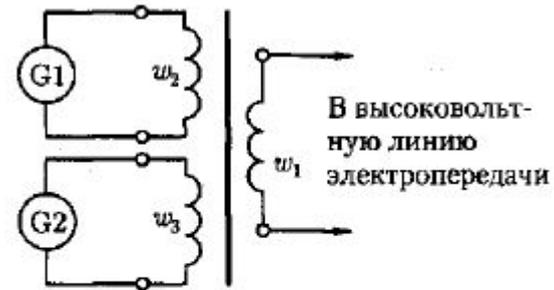
Рекомендуется включать параллельно тр-ры, отличающиеся мощностями не более, чем в три раза

Трехобмоточные трансформаторы

В трехобмоточном трансформаторе на каждую трансформируемую фазу приходится три обмотки. За номинальную мощность такого трансформатора принимают номинальную мощность наиболее нагружаемой его обмотки. Токи, напряжения и сопротивления других обмоток приводят к числу витков этой, наиболее мощной обмотки. Принцип работы трехобмоточного трансформатора по существу не отличается от принципа работы обычного двухобмоточного трансформатора.



Трехобмоточный трансформатор с одной первичной и двумя вторичными обмотками



Трехобмоточный трансформатор с двумя первичными обмотками

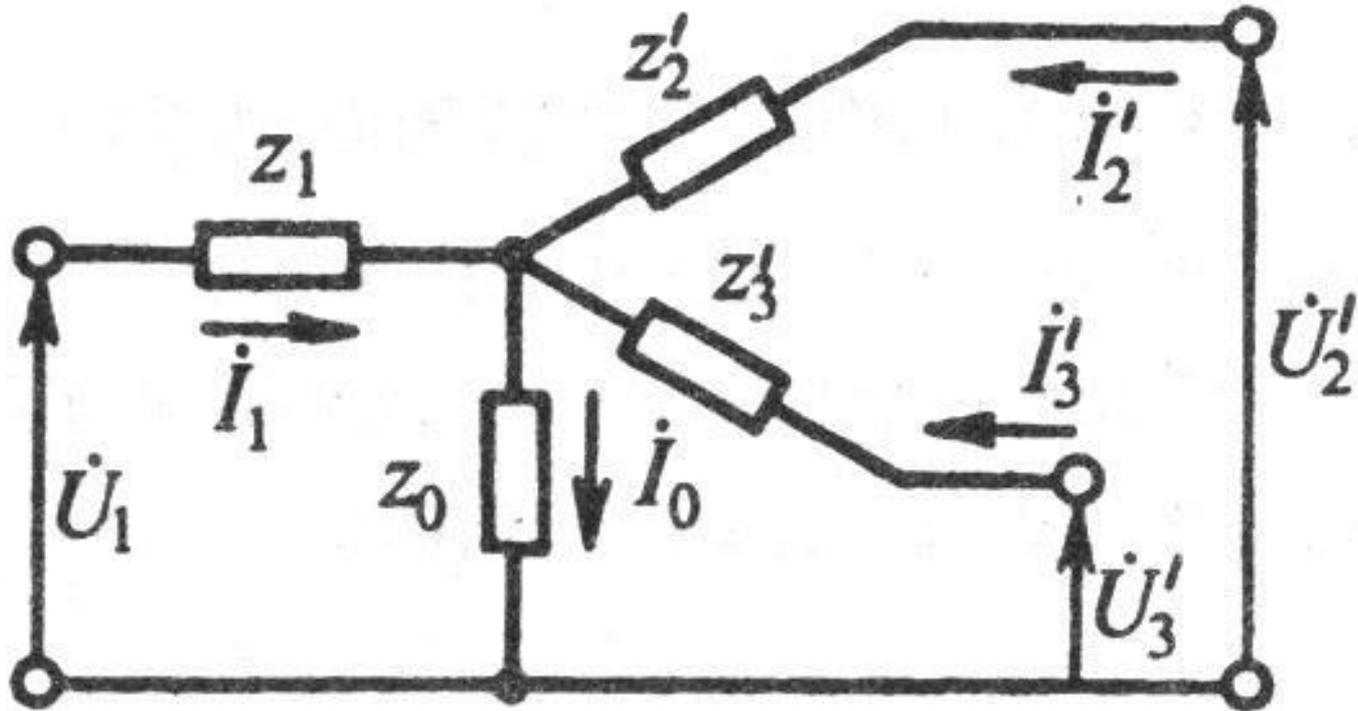
Трехобмоточные трансформаторы

В трехфазных трехобмоточных трансформаторах применяют группы соединения $Y_0/Y_0/\Delta - 0 - 11$ или $Y_0/\Delta/\Delta - 11 - 11$, а однофазных — группа соединения $I/I/I - 0 - 0$.

Трехобмоточные трансформаторы изготовляют с различным соотношением мощностей обмоток. Стандартом предусмотрено следующее соотношение мощностей в долях от мощности самой мощной (первичной) обмотки:

w_1	1	1	1
w_2	1	1	2/3
w_3	1	2/3	2/3

Схема замещения трехобмоточного трансформатора



Трехобмоточные трансформаторы

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_1 &= -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 z_1; \\ \dot{U}'_2 &= \dot{E}'_2 - \dot{I}'_2 z'_2; \\ \dot{U}'_3 &= \dot{E}'_3 - \dot{I}'_3 z'_3; \\ \dot{I}_0 &= \dot{I}_1 + \dot{I}'_2 + \dot{I}'_3. \end{aligned} \right\}$$

В этих уравнениях полные сопротивления обмоток равны

$$\begin{aligned} z_1 &= r_1 + jx_1; & z'_2 &= r'_2 + jx'_2; \\ z'_3 &= r'_3 + jx'_3, \end{aligned}$$

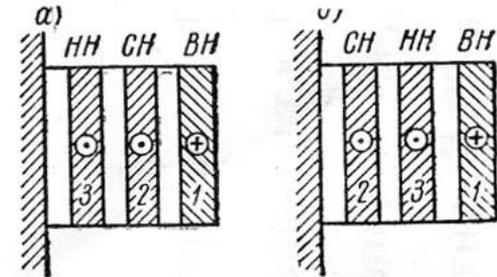


Рис. Схема расположения обмоток трехобмоточного трансформатора.

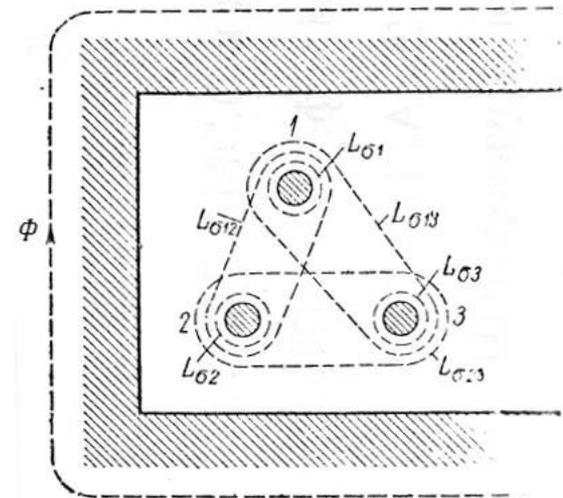
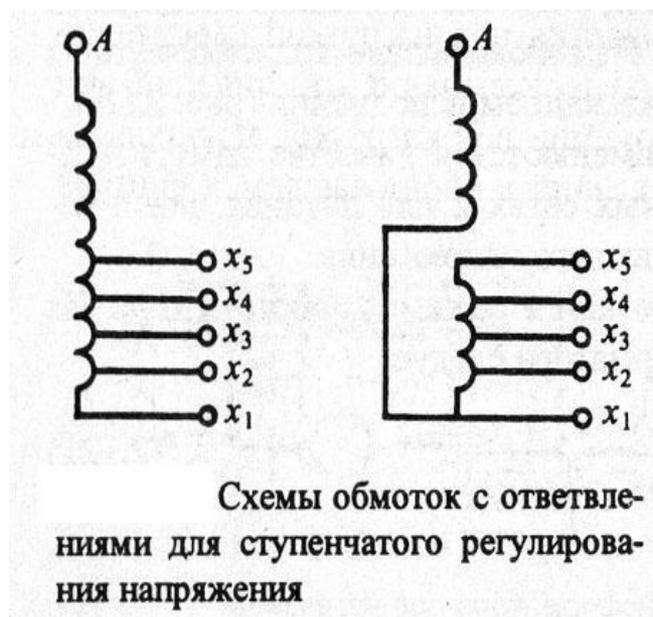


Схема потоков рассеяния в трехобмоточном трансформаторе.

Регулирование напряжения силовых трансформаторов

Регулирование напряжения вторичной обмотки трансформаторов необходимо для правильной работы электрооборудования.

Распространен способ регулирования изменением числа витков вторичной или первичной обмоток., т.е.изменением коэффициента трансформации. По ГОСТ должно быть пять ответвлений: номинальное напряжение, $\pm 2,5$ и $\pm 5\%$. Чаще переключение устанавливают на стороне высшего напряжения



Регулирование напряжения силовых трансформаторов

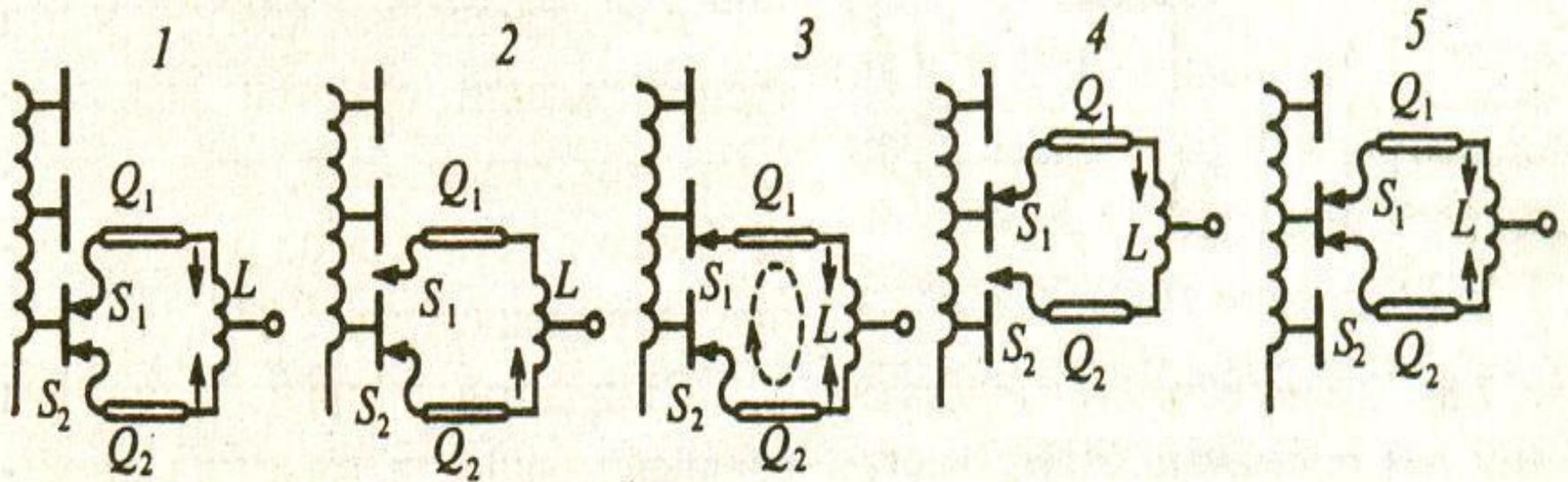
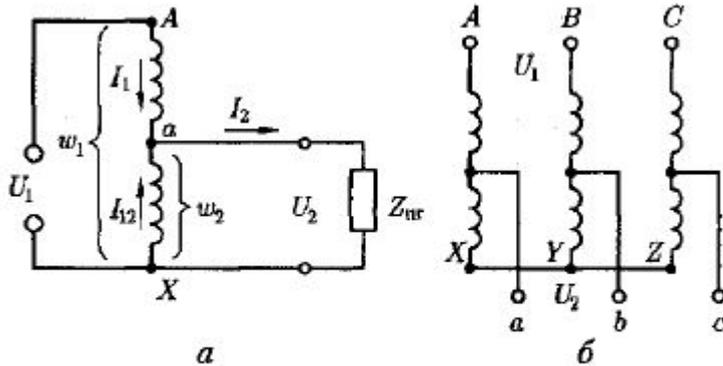


Схема переключения отпаяк трансформатора под нагрузкой

Автотрансформаторы



Принципиальные схемы автотрансформаторов:

а – однофазный понижающий; б – трехфазный

Автотрансформатор – такой вид трансформатора в котором помимо магнитной связи между обмотками имеется еще и электрическая связь.

В автотрансформаторах передача энергии осуществляется магнитным полем и за счет электрической связи.

Токи первичной и вторичной обмоток направлены встречно, поэтому при небольших коэффициентах трансформации обеспечивается экономия меди.

Они применяются также в низковольтных сетях в качестве плавных низковольтных регуляторов напряжения (ЛАТР).

Конструктивно автотрансформатор не отличается от силового тр-ра. Активная часть помещается в бак с маслом.

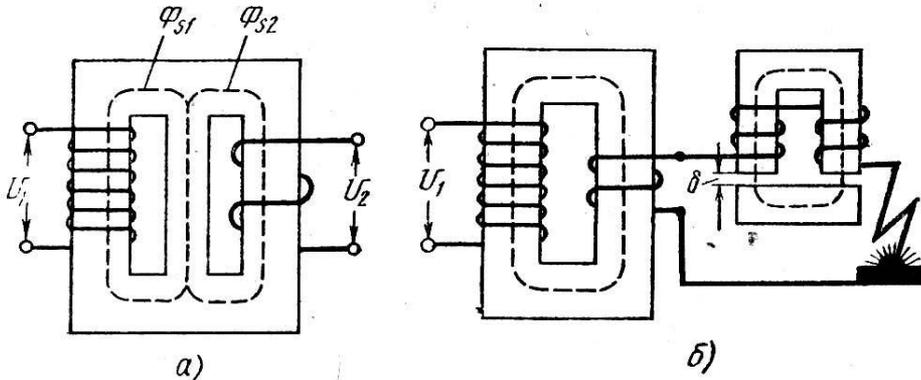
Автотрансформаторы

Недостатки:

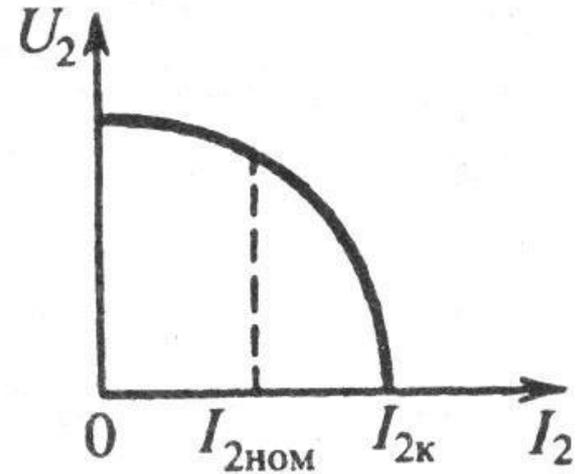
1. Изоляция обмоток должна выполняться на большее напряжение.
2. Автотрансформаторы не могут выполняться на напряжения 6,0/0,38 кВ, т.к. на оборудовании могут работать люди.
3. Большой ток короткого замыкания.

Применение автотрансформаторов улучшает КПД энергосистемы, снижает стоимость передачи электроэнергии.

Сварочные трансформаторы



Схемы устройства сварочных трансформаторов:
а — с магнитным шунтом, б — с индуктивной катушкой



Горение дуги возникает при напряжении 40...70 В.
Для качественной сварки требуется крутопадающая внешняя характеристика

Испытательные трансформаторы

Для испытаний кабелей и разного оборудования в лабораториях испытательных центров требуется высокое напряжения до 1 млн В и более. Здесь прим. испытательные тр-ры. Они выполняются в виде каскада. Принципы, на которых основаны конструкции испытательных трансформаторов:

1. Принудительное распределение высокого напряжения по всей высоковольтной схеме, благодаря чему фиксируются потенциалы отдельных узловых точек схемы относительно земли.
2. Дробление общего напряжения на несколько трансформаторов, соединяемых последовательно или в каскад.
3. Применение вспомогательных или изолирующих трансформаторов
4. Применение конструкции обмотки высокого напряжения по типу конденсаторного изолятора

Испытательные трансформаторы

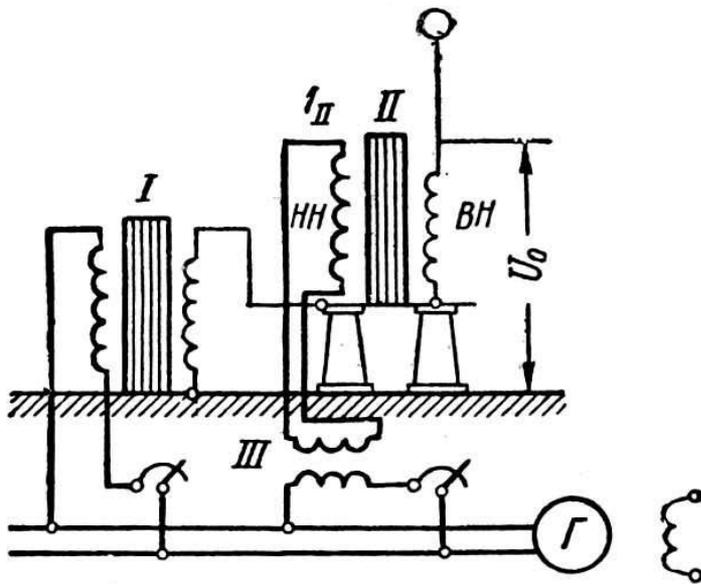


Схема испытательного трансформатора с изолирующим трансформатором.

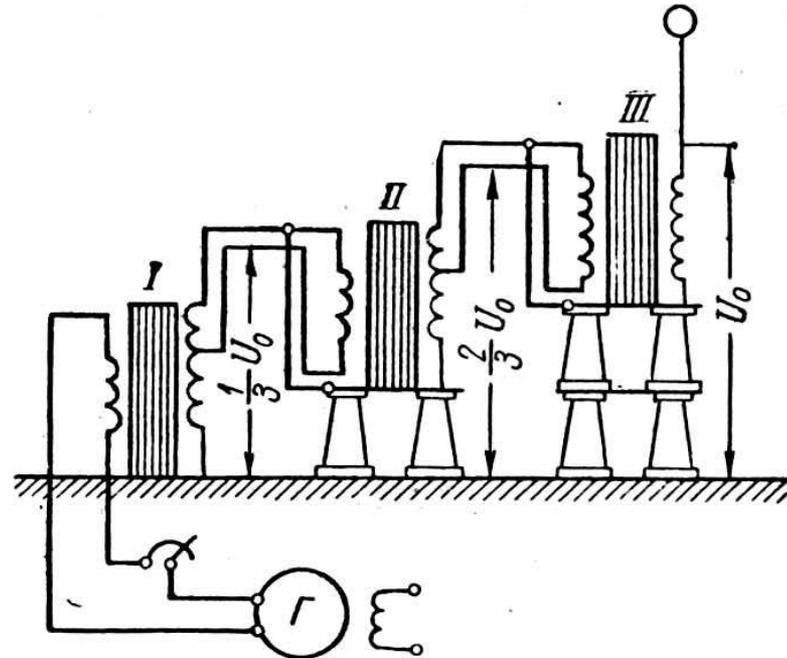
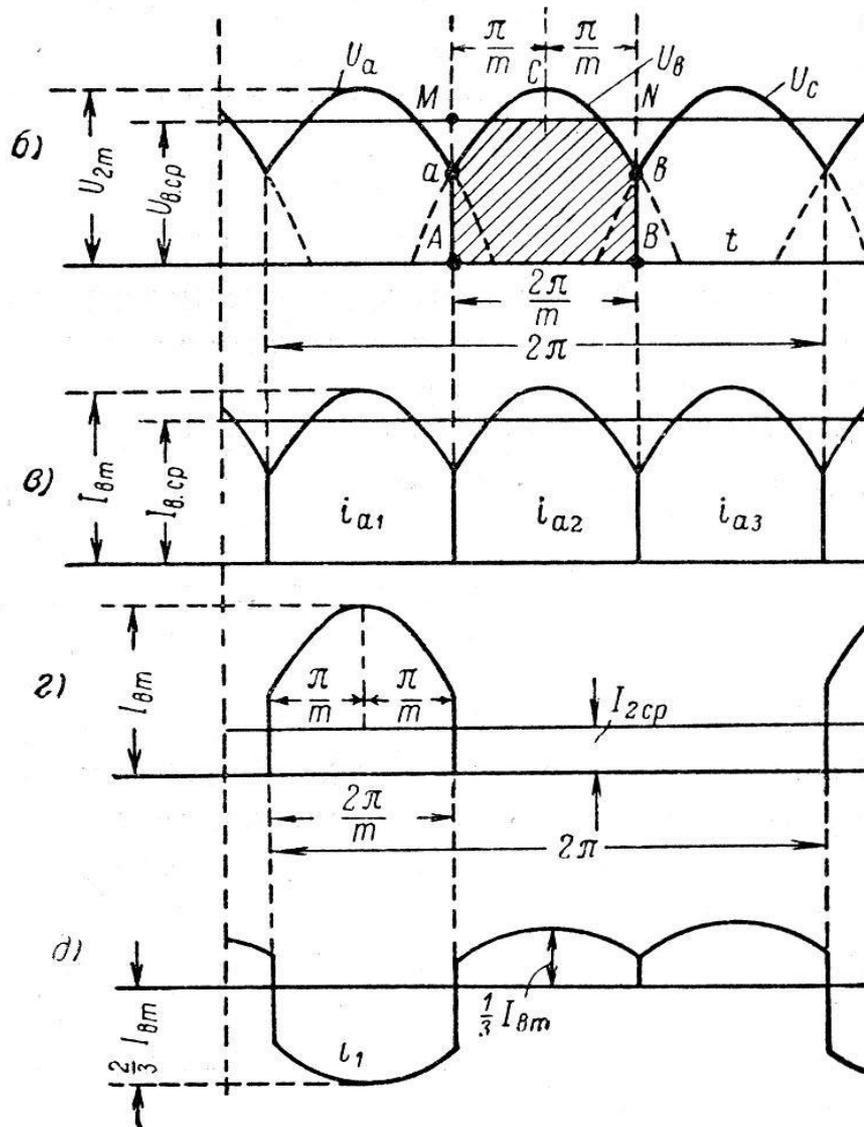
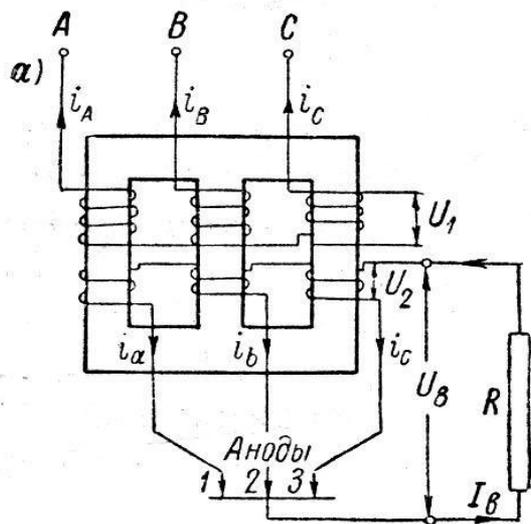
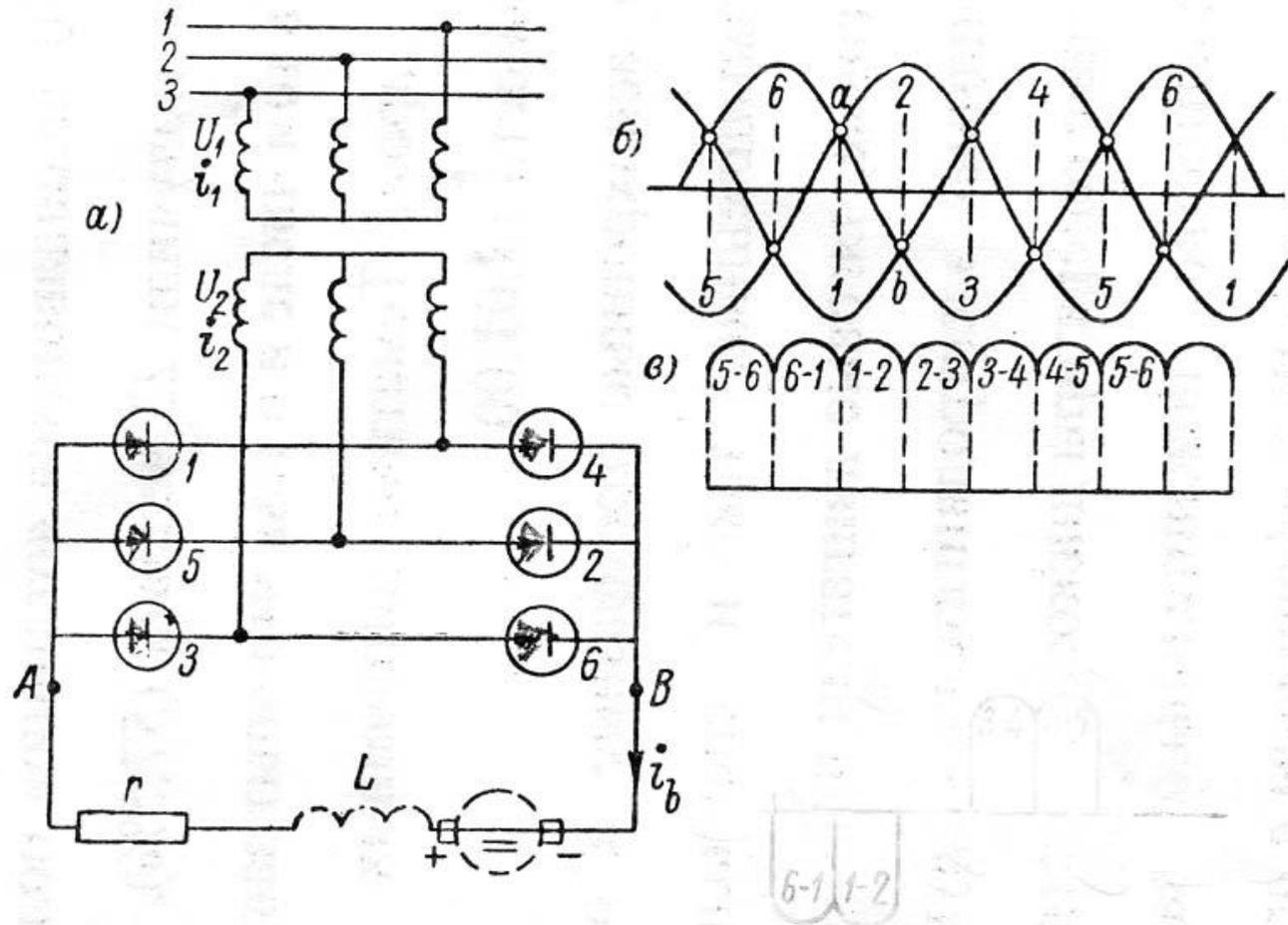


Схема каскадного испытательного трансформатора с возбуждением по принципу автотрансформатора.

Выпрямительные трансформаторы

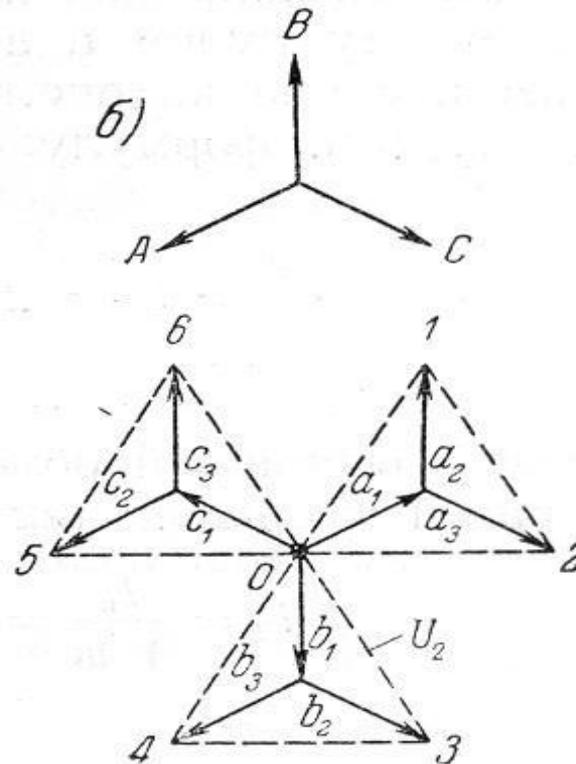
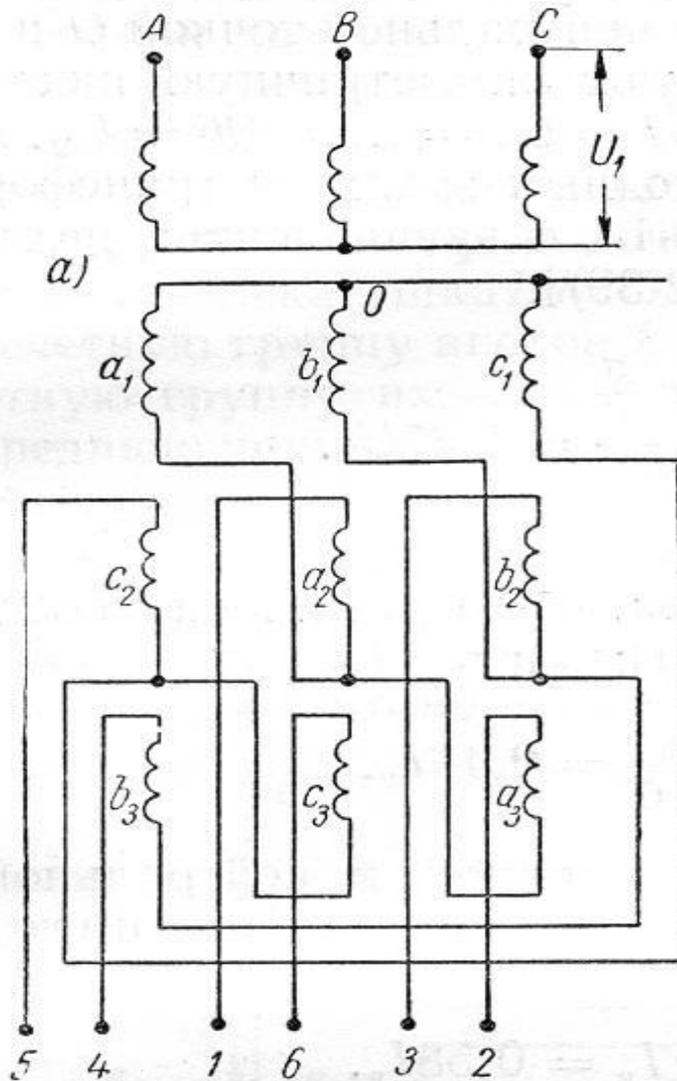


Выпрямительные трансформаторы



2. Трехфазная мостовая схема: *a* — схема соединений; *b* — вторичные фазные напряжения трансформатора; *в* — выпрямленное напряжение; i_2 — вторичный фазный ток трансформатора.

Выпрямительные трансформаторы



Преобразование частоты

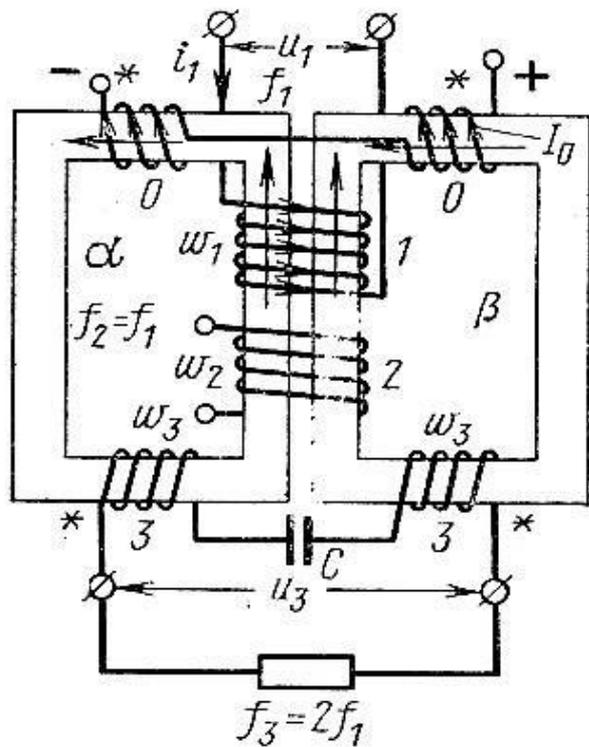
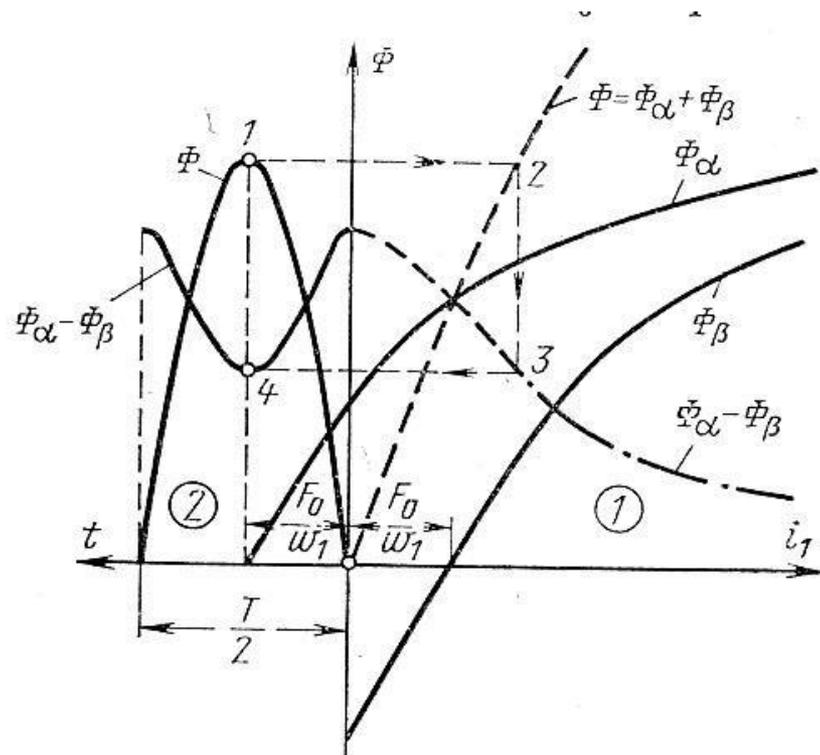


Схема удвоения частоты.



К расчету магнитного потока, сцепленного с обмоткой двойной частоты.

Преобразование частоты

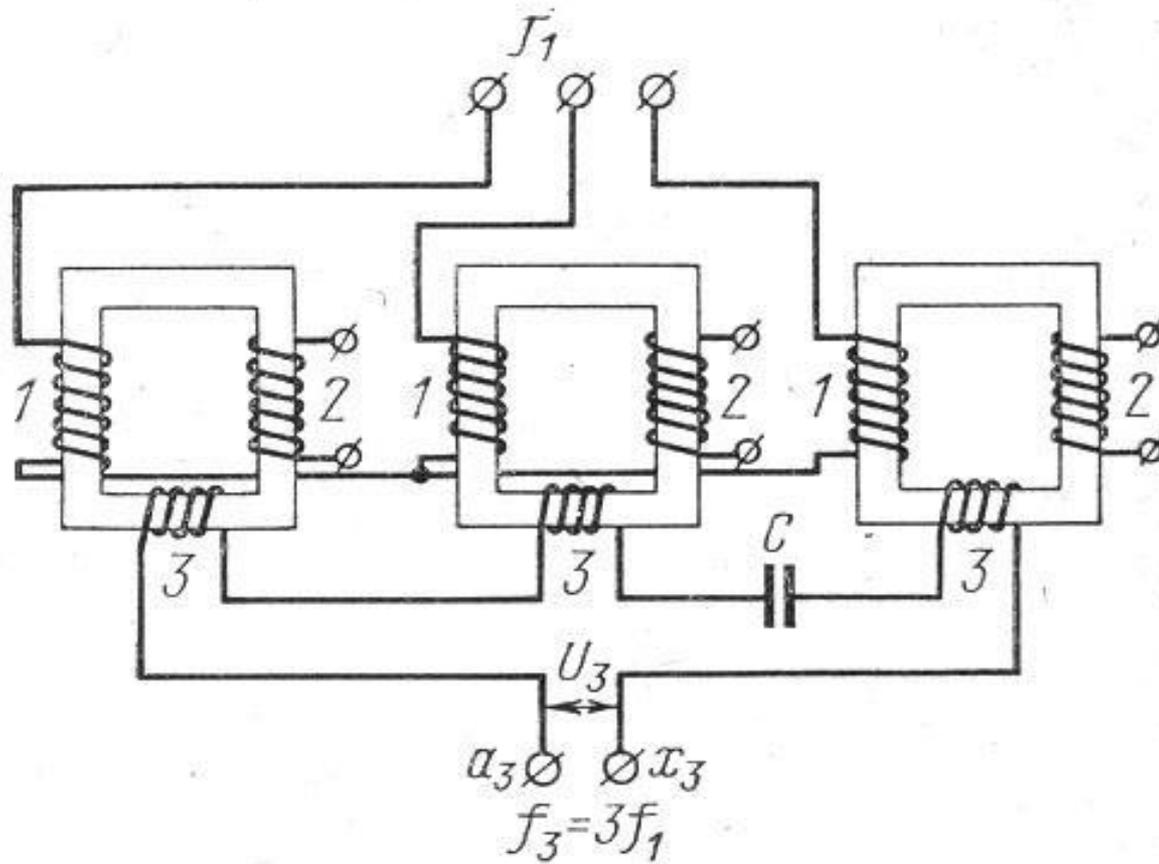
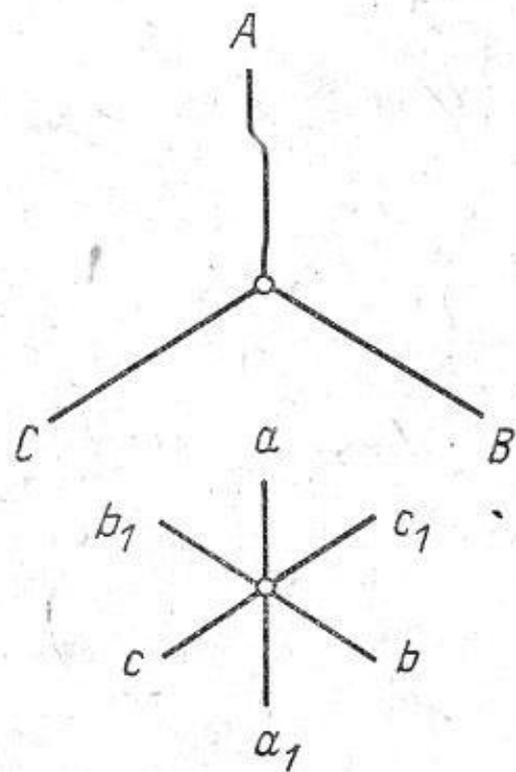
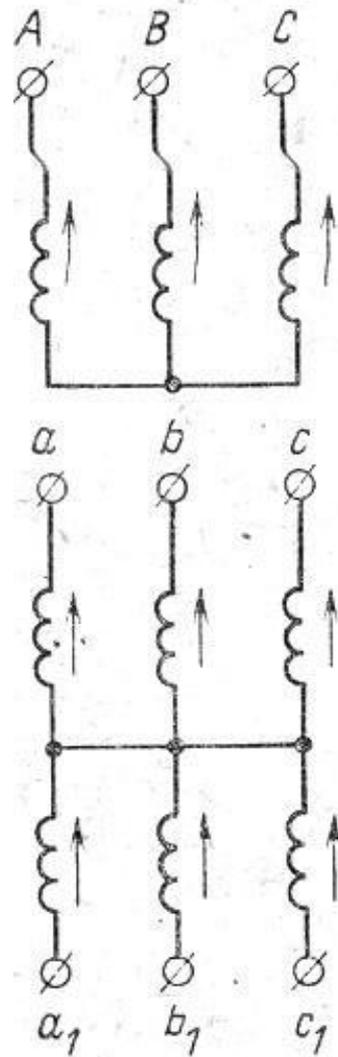
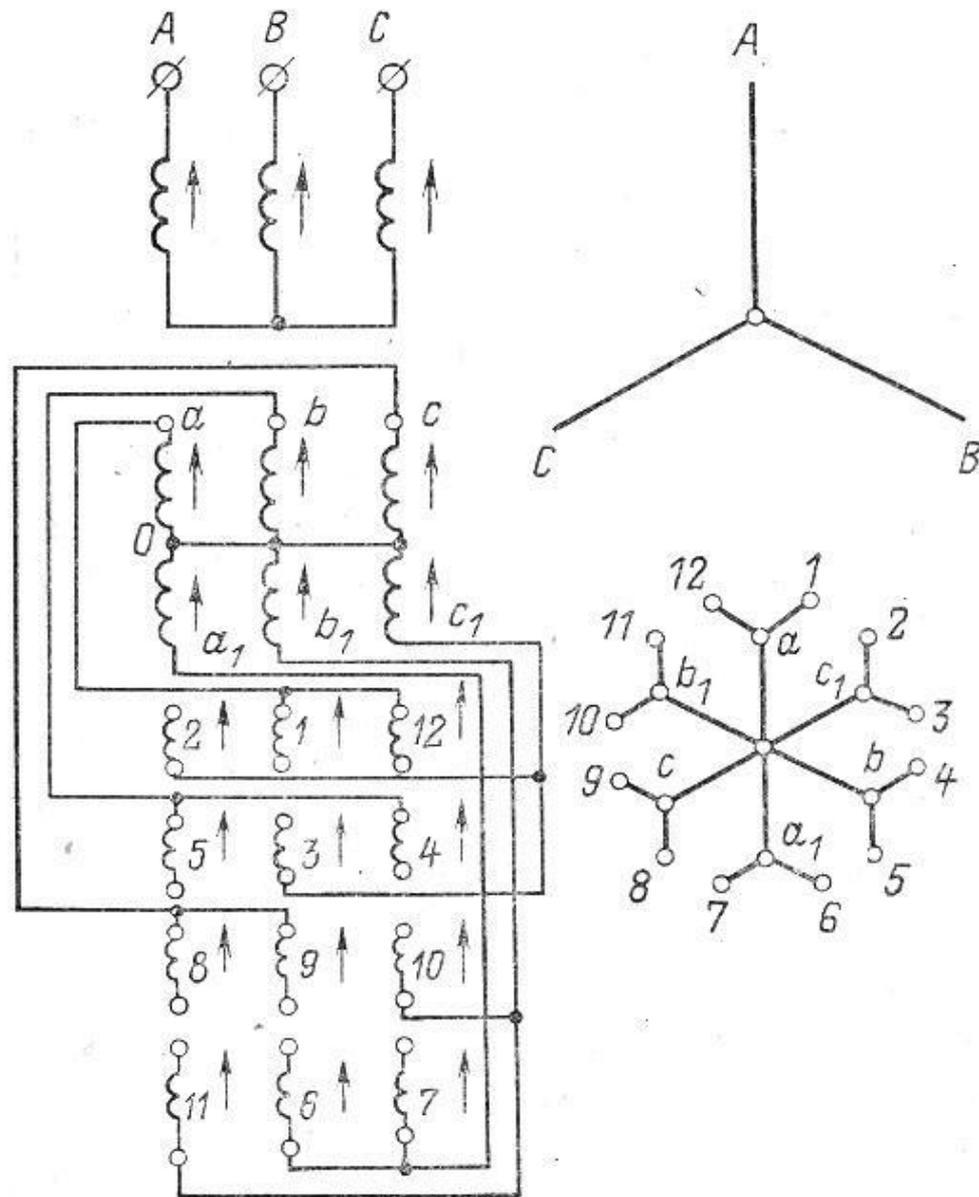


Схема утроения частоты.

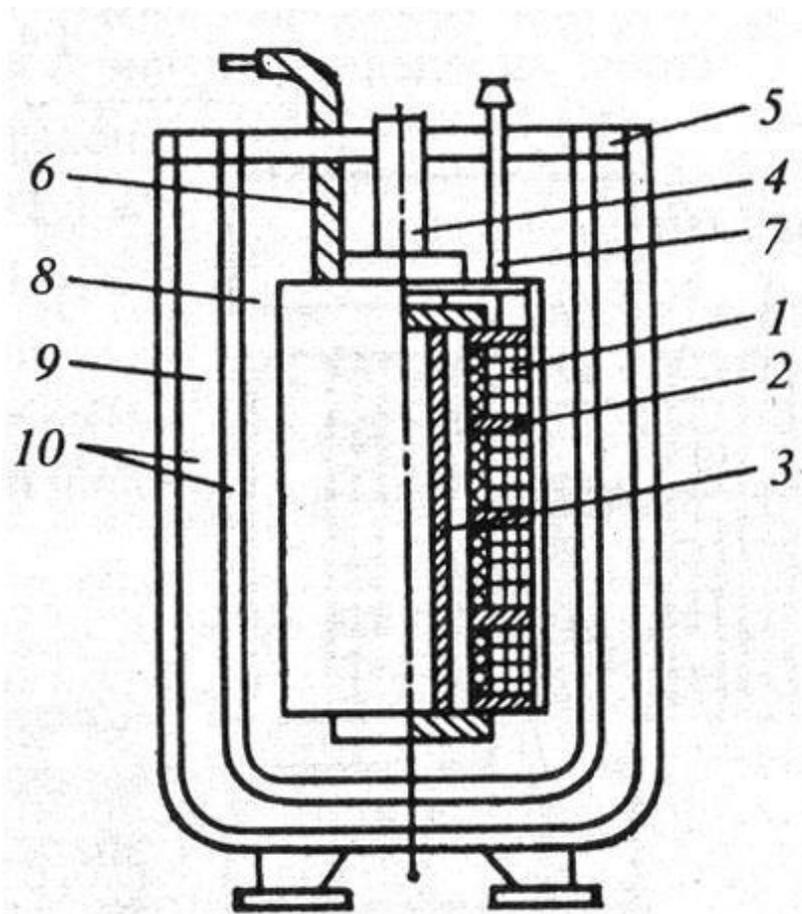
Преобразование числа фаз



Преобразование числа фаз



Сверхпроводящие индуктивные накопители



Сверхпроводящий индуктивный накопитель