

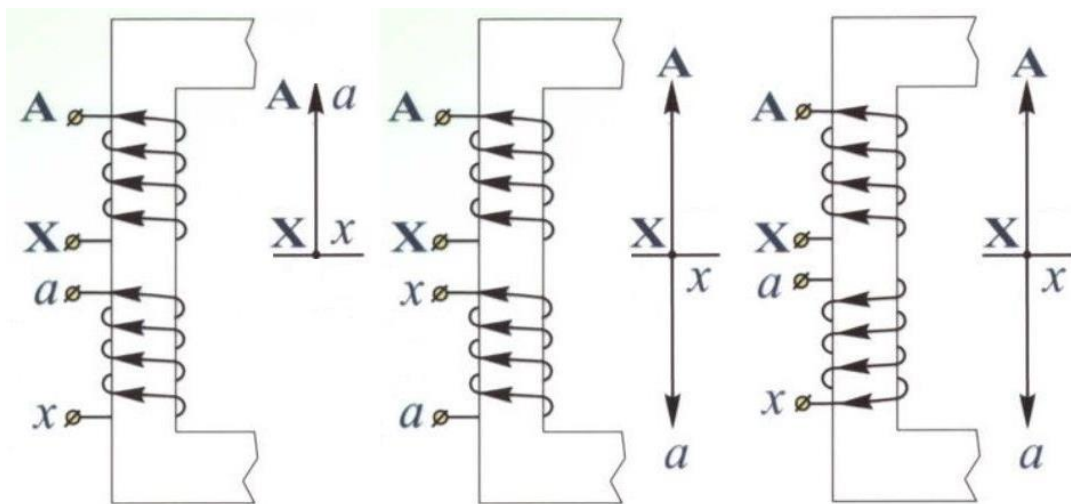
ТРАНСФОРМАТОРЫ

Группы соединения обмоток

Группы соединения обмоток

Для включения тр-ров на параллельную работу надо знать сдвиг фаз между E_1 и E_2 (сдвиг фаз должен быть одинаковым)
Такой сдвиг фаз характеризует группа соединения обмоток

Обмотки одного стержня сцеплены с одним потоком → направление ЭДС определяется выбором начала и конца обмотки и направлением намотки

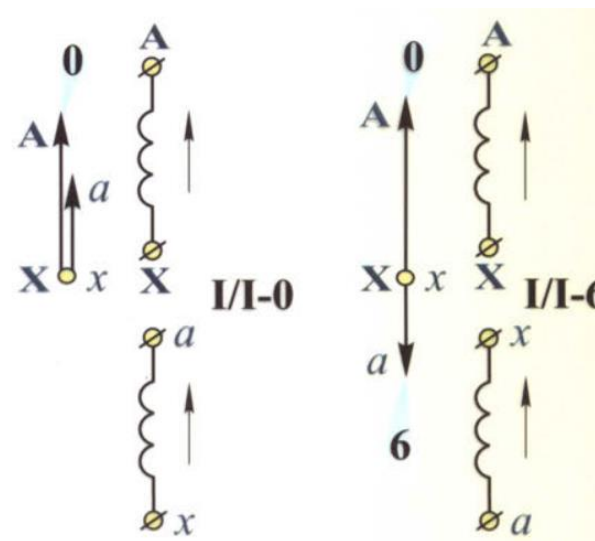


Однофазный трансформатор:

E_1 и E_2 совпадают либо противоположны

- выбор начала и конца обмотки $a - x$
- направление намотки

номер группы: циферблат часов (ВН на 12) или угол между векторами ЭДС / 30°



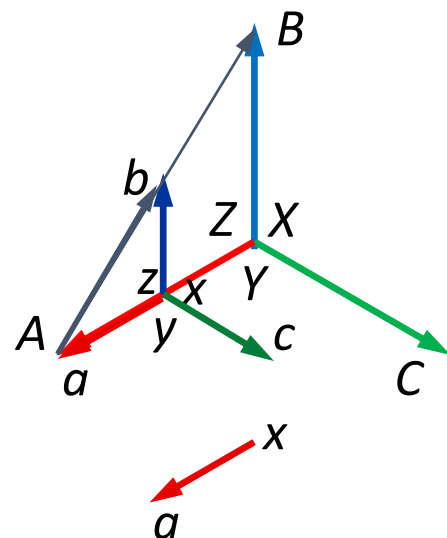
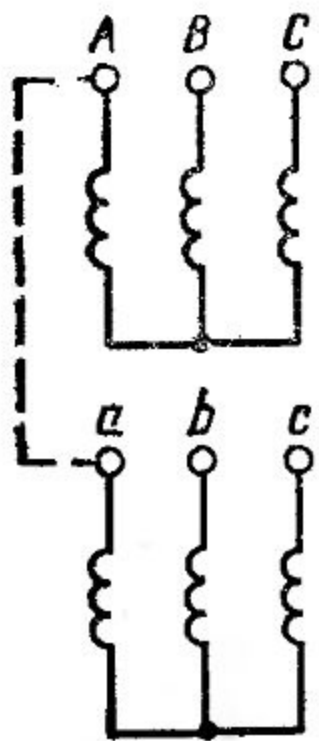
Группы соединения обмоток

Трехфазный трансформатор

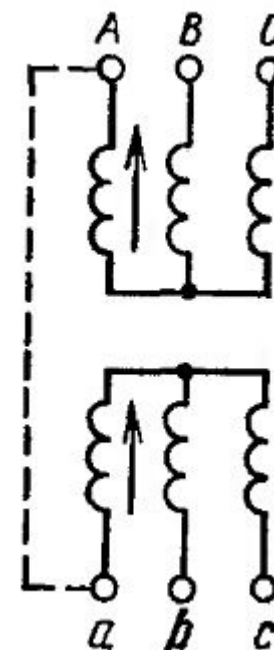
12 групп (от 0 до 11) – угол сдвига фаз между одноименными линейными ЭДС / 30°

Рассмотрим пример

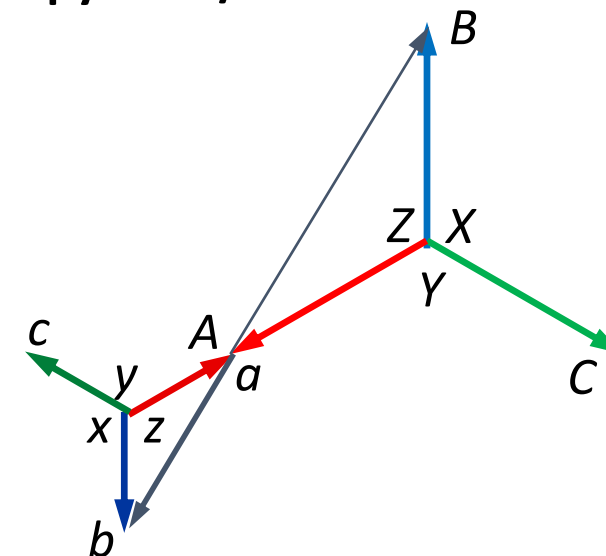
для каждой обмотки – фазные ЭДС совмещаем точки A и a см. угол между E_{AB} и E_{ab}
 $0^\circ \rightarrow$ группа $Y/Y-0$



Если в одной из обмоток поменять начала и концы фаз \rightarrow ЭДС повернется на $180^\circ \rightarrow$ группа изменится на 6



группа $Y/Y-6$



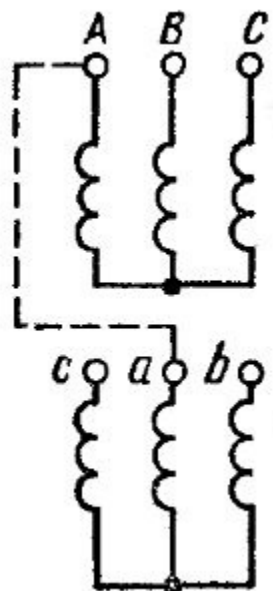
Правило работает для любой группы:
новая группа = (группа + 6)

Группы соединения обмоток

Трехфазный трансформатор

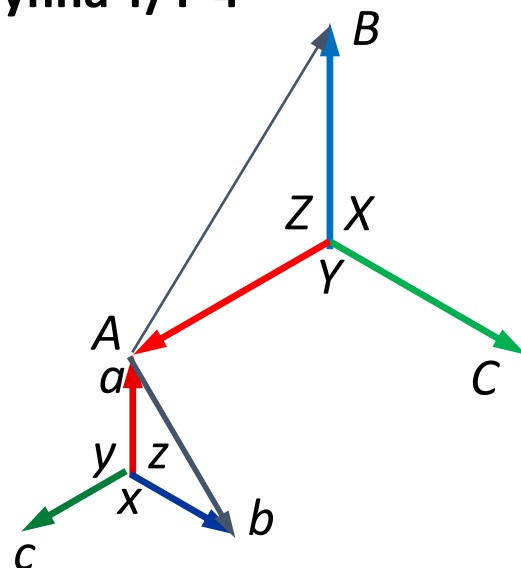
Если в одной из обмоток провести круговую перемаркировку фаз (сдвиг вправо)

→ группа изменится на 4 (группа + 4)



ЭДС фазы a совпадает с ЭДС фазы B
Угол между E_{AB} и E_{ab} 120°

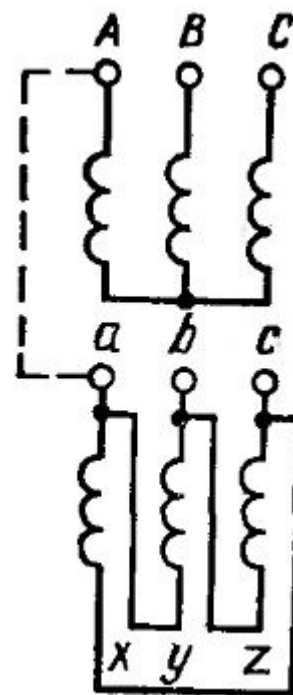
→ группа $Y/Y-4$



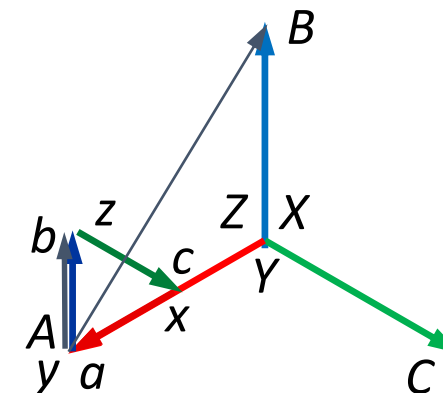
(еще один сдвиг вправо → группа 8)

В схемах Y/Y и Δ/Δ можно получить любую четную группу

Нечетные группы – в схемах Y/Δ и Δ/Y



Например – группа $Y/\Delta-11$

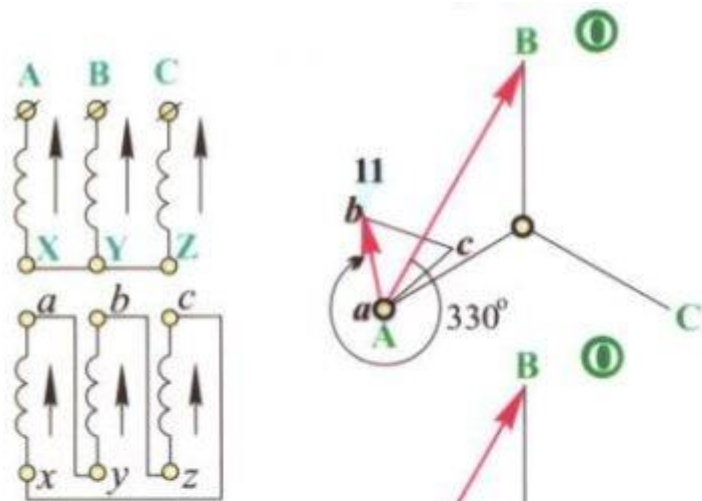


Сдвиг вправо – группы 3 и 7

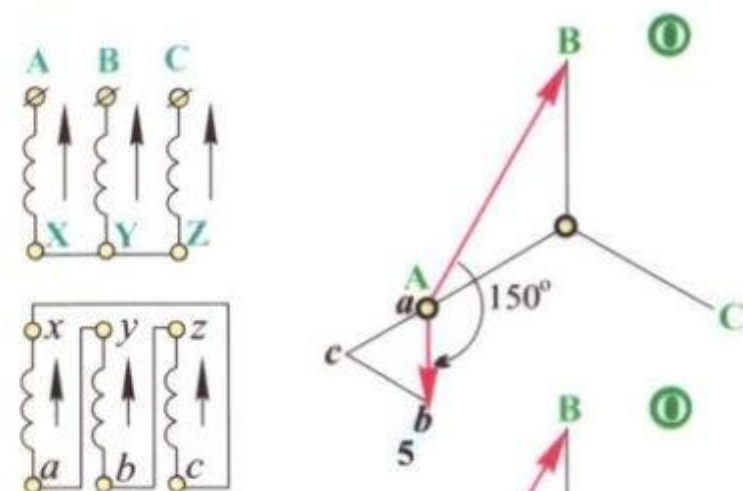
Перевернуть начала и концы фаз – группа 5
(любые нечетные)

Группы соединения обмоток

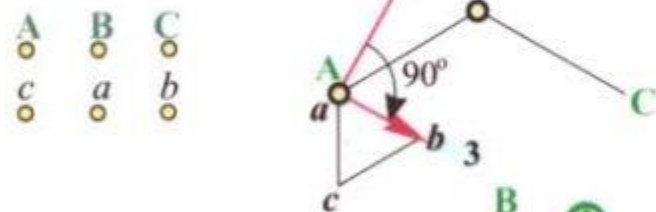
Y/Δ-11



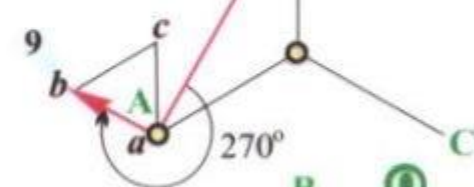
Y/Δ-5



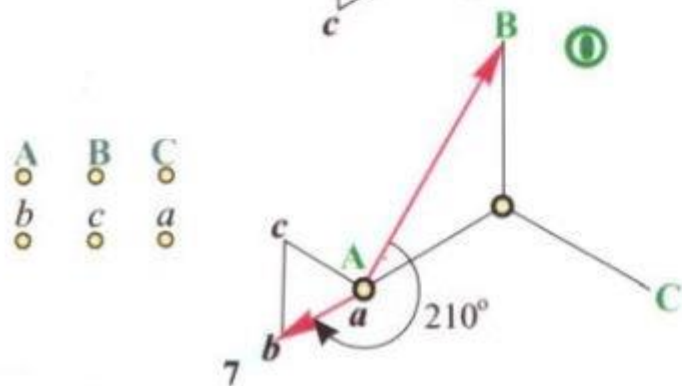
Y/Δ-3



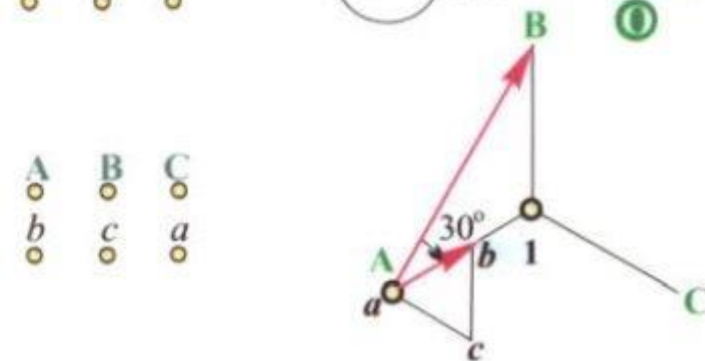
Y/Δ-9



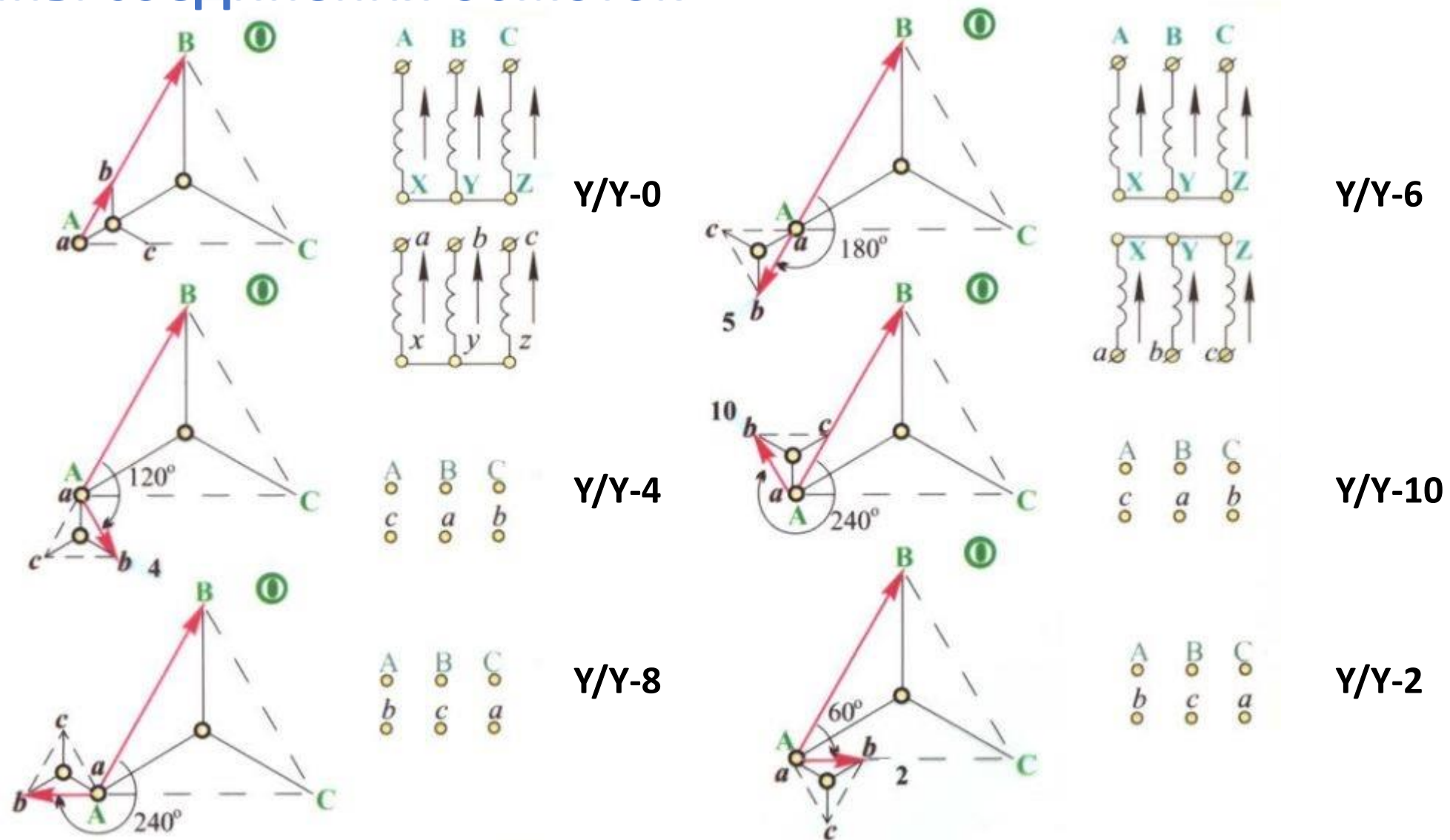
Y/Δ-7



Y/Δ-1



Группы соединения обмоток

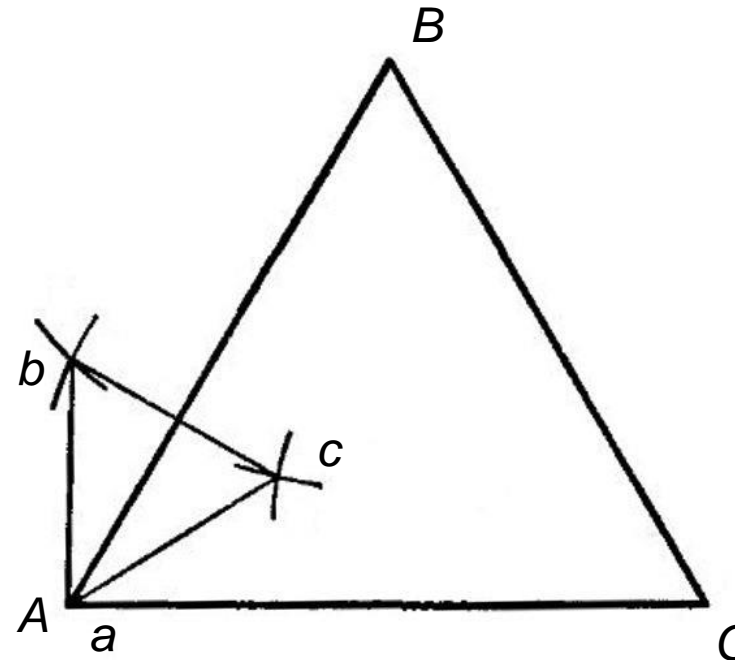


Группы соединения обмоток

Трехфазный трансформатор

Экспериментальное определение группы трансформатора

- подключить тр-р к источнику симметричного U_1
- соединить зажимы A и a
- измерить линейные напряжения U_{Bb} , U_{Cc} , U_{Cb} , U_{Bc}
- построить треугольник линейных напряжений ВН ($U_{AB} = U_{BC} = U_{CA}$)
- циркулем отложить измеренные напряжения
- на пересечении – вершины b и c
- получили треугольник линейных напряжений НН ($U_{ab} = U_{bc} = U_{ca}$)
- угол между U_{AB} и $U_{ab} \rightarrow$ группа 11



Стандартные группы – Y/Δ-11 и Y/Y-0

ТРАНСФОРМАТОРЫ

Параллельная работа
трансформаторов

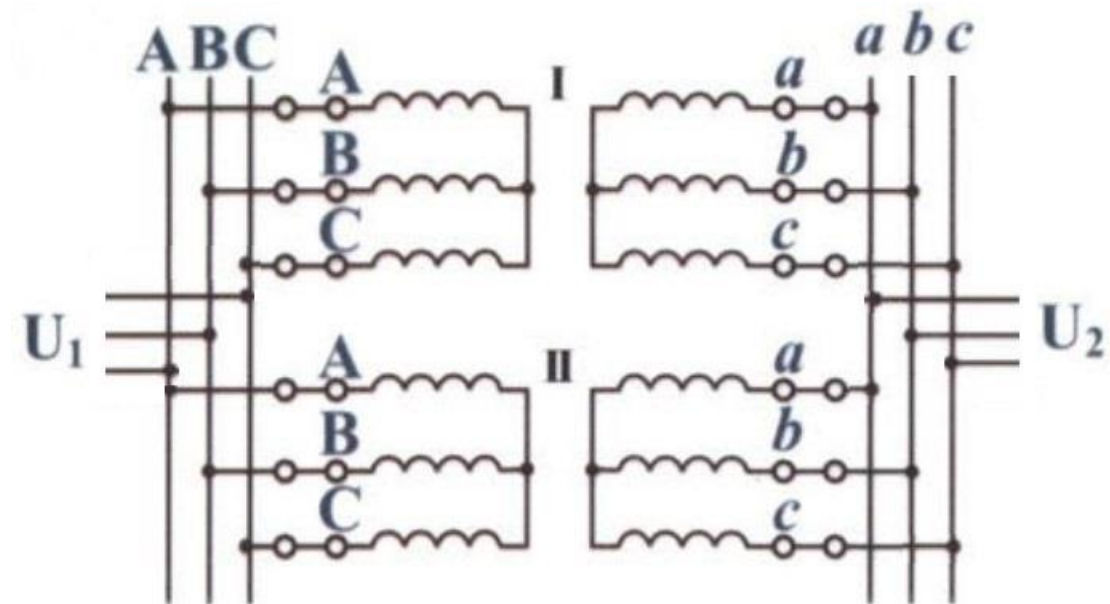
Параллельная работа трансформаторов

Необходимость в параллельной работе:

- сезонные и суточные колебания нагрузки (минимизация потерь)
- резервирование электроснабжения (авария / ремонт)
- превышение максимальной единичной мощности
- рост / развитие потребления

Оптимальное включение:

- Каждый тр-р должен быть нагружен током, пропорциональным его номинальной мощности (тогда $S_{\Sigma} = \sum S_{iH}$)



Условия включения на параллельную работу:

- одинаковые U_{1H} и U_{2H} (равные k_T)
- одинаковые группы соединения
- одинаковые u_K

Параллельная работа трансформаторов

Работа при неодинаковых k_{Γ}

Однофазные тр-ры: $k_{\Gamma\alpha} < k_{\Gamma\beta}$

При одинаковых U_1 $E_{2\alpha} = \frac{U_1}{k_{\Gamma\alpha}} > E_{2\beta} = \frac{U_1}{k_{\Gamma\beta}}$

появится $\Delta E = E_{2\alpha} - E_{2\beta}$
 → уравнительный ток I_{2yp} между обмотками т.к. обмотки замкнуты друг на друга

$$\dot{I}_{2yp\alpha} = -\dot{I}_{2yp\beta} = \frac{\Delta \dot{E}}{Z_{k\alpha} + Z_{k\beta}}$$

Если Z_k равны, то $I_{2yp} = I_{2yp\alpha} = I_{2yp\beta} = \frac{\Delta E}{2Z_k}$

Выразим в о.е.

$$I'_{2yp} = \frac{\Delta E / Z_{\beta}}{2Z_k / Z_{\beta}} = \frac{U_{1H} / I_{1H}}{2Z_k} = \frac{U'_{2H} I'_{2H}}{2 \frac{Z_k I_{1H}}{U_{1H}}} = \frac{\Delta e}{2u_k} I'_{2H}$$

Например, при $\Delta e = 5\%$ и $u_k = 5\%$ $I_{2yp} = 0,5 I_{2H}$

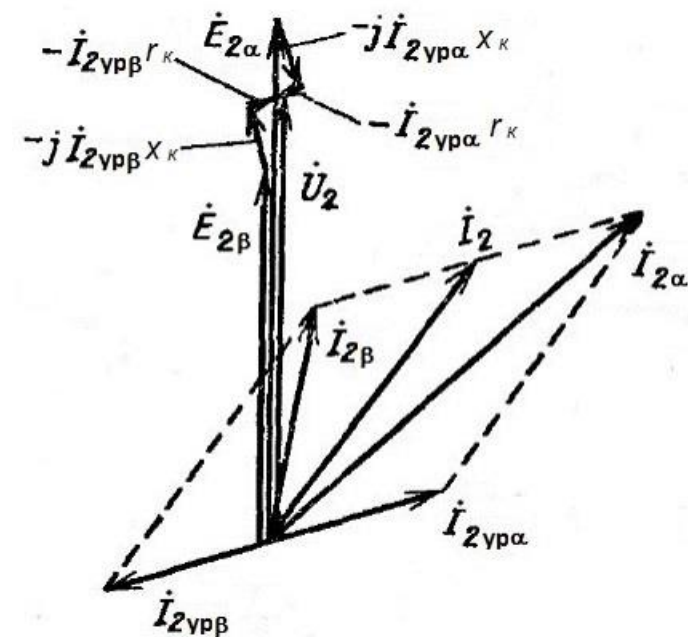
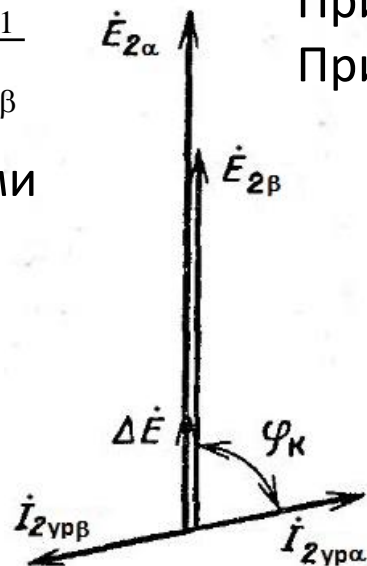
I_{2yp} протекает при ХХ по $z_{k\alpha}$ и $z_{k\beta}$

В результате тр-ры формируют среднее U_2

При включении U_2 на нагрузку, возникает I_2

При этом $\dot{I}_{2\alpha} = \dot{I}_2 + \dot{I}_{2yp\alpha}$

$$\dot{I}_{2\beta} = \dot{I}_2 + \dot{I}_{2yp\beta}$$



Неравномерная нагрузка тр-ров ($I_{2\alpha} > I_{2\beta}$)

Параллельная работа трансформаторов

Работа при неодинаковых k_T

Неравномерная нагрузка тр-ров
(больше нагружен тр-р с меньшим k_T)

Нельзя допускать перегрузку тр-ра:
если $I_{2\alpha} = I_{2\alpha H}$, то $I_{2\beta} < I_{2\beta H}$ (недогружен)

Полная мощность подстанции
 $S_\Sigma < S_{\alpha H} + S_{\beta H}$ (недоиспользуется)

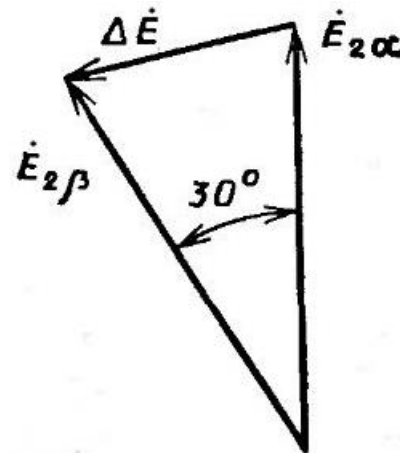
Допускается различие k_T не более $\pm 0,5\%$
(от среднего)

Работа при неодинаковых группах соединения

При одинаковых U_1 ЭДС $E_{2\alpha}$, $E_{2\beta}$ равны, но
имеют разные фазы \rightarrow появится ΔE

Например, для групп 0 и 11 фазовый угол = 30°

$$\Delta E = 2E_2 \sin \frac{30^\circ}{2} \approx 0,52E_2$$



Для групп 0 и 6 угол = 180°

$$\Delta E = 2E_2$$

При соединении вторичных обмоток (даже на ХХ) под действием ΔE возникает уравнивающий ток (больше номинального, т.к. это КЗ)

Так делать нельзя! (но, возможно, удастся изменить группу)

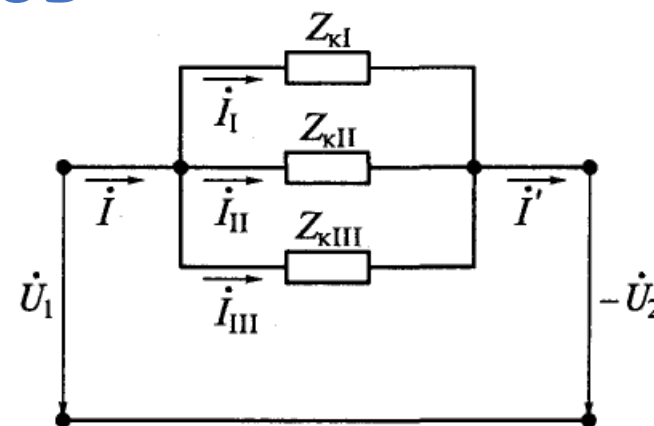
Параллельная работа трансформаторов

Работа при неодинаковых u_k

Напряжения одинаковы и уравнительных токов нет

Но ток нагрузки распределяется неравномерно

Пренебрегая намагничивающими токами, используем упрощенную схему замещения



Падения напряжений на тр-рах одинаковы $I_I Z_{кI} = I_{II} Z_{кII} = I_{III} Z_{кIII}$

Токи обратно пропорциональны Z_k $I_I : I_{II} : I_{III} = \frac{1}{Z_{кI}} : \frac{1}{Z_{кII}} : \frac{1}{Z_{кIII}}$

Для каждого тр-ра $I_1 = I'_2$ и его нагрузка $\beta = \frac{I'_2}{I'_{2н}} = \frac{I_1}{I_{1н}}$ Для тр-ра i его нагрузка $\beta_i = I_i / I_{iн}$

Выразим токи в о.е. (через % от $I_{н}$)

с учетом $I_{н} Z_k = U_k$, получим $\beta_I : \beta_{II} : \beta_{III} = \frac{1}{u_{кI}} : \frac{1}{u_{кII}} : \frac{1}{u_{кIII}}$

Больше нагружен тот тр-р, у которого u_k меньше

Параллельная работа трансформаторов

Работа при неодинаковых u_k

$$\beta_I : \beta_{II} : \beta_{III} = \frac{1}{u_{кI}} : \frac{1}{u_{кII}} : \frac{1}{u_{кIII}}$$

Для любого тр-ра относительный ток характеризует полную мощность в о.е.

$$\beta = \frac{I'_2}{I'_{2H}} = \frac{mU'_{2H} I'_2}{mU'_{2H} I'_{2H}} = \frac{S}{S_H} = S^*$$

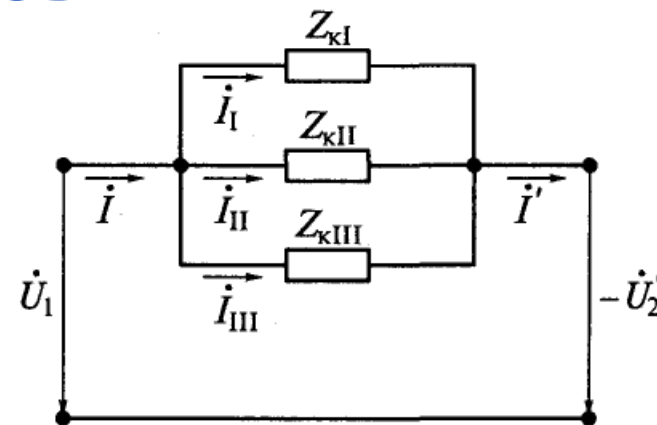
Тогда соотношение мощностей в о.е. $S_I^* : S_{II}^* : S_{III}^* = \frac{1}{u_{кI}} : \frac{1}{u_{кII}} : \frac{1}{u_{кIII}}$

Тр-р с наименьшим u_k быстрее выйдет на S_H

→ остальные будут недогружены

→ $S_\Sigma < \Sigma S_H$

Допускается различие u_k не более $\pm 10\%$
(от среднего)



Мощность одного из нескольких тр-ров

$$S_x = S_\Sigma \frac{S_{Hx} / u_{кx}}{\sum_i (S_{Hi} / u_{ki})}$$

Параллельная работа трансформаторов

Сколько оставить включенных тр-ров?
Оптимально – минимум потерь

Построим зависимость потерь от нагрузки
для 1, 2-х и 3-х включенных тр-ров

Пример:

- Подстанция с 3 одинаковыми тр-ми
 - $S_H = 1000$ кВА
 - $P_0 = 2,45$ кВт
 - $P_K = 12,2$ кВт
- При нагрузках $\beta < 0,66$
выгодно использовать 1 тр-р
 - При нагрузках $0,66 < \beta < 1,22$
выгодно использовать 2 тр-ра
 - При нагрузках $\beta > 1,22$
выгодно использовать 3 тр-ра

