

Параллельная работа трансформаторов

Параллельной работой двух или нескольких трансформаторов называется

работа при параллельном соединении их обмоток как на первичной, так и на вторичной сторонах.

При параллельном соединении
одноименные зажимы
трансформаторов присоединяют к
одному и тому же проводу сети.

Первичная
сеть

Вторичная
сеть

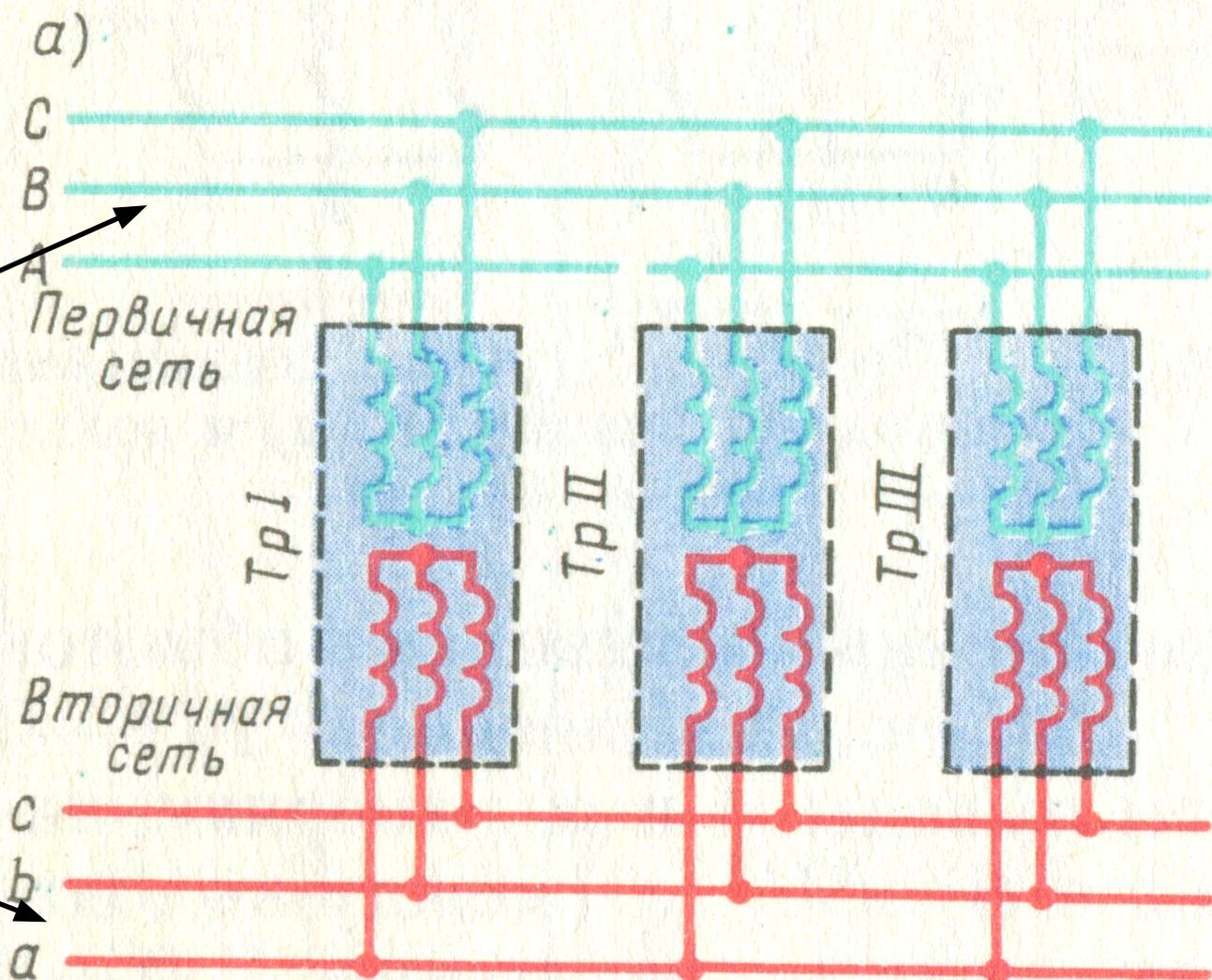


Рис. 1 Включение трансформаторов
на параллельную работу

Первичная
сеть

Вторичная
сеть

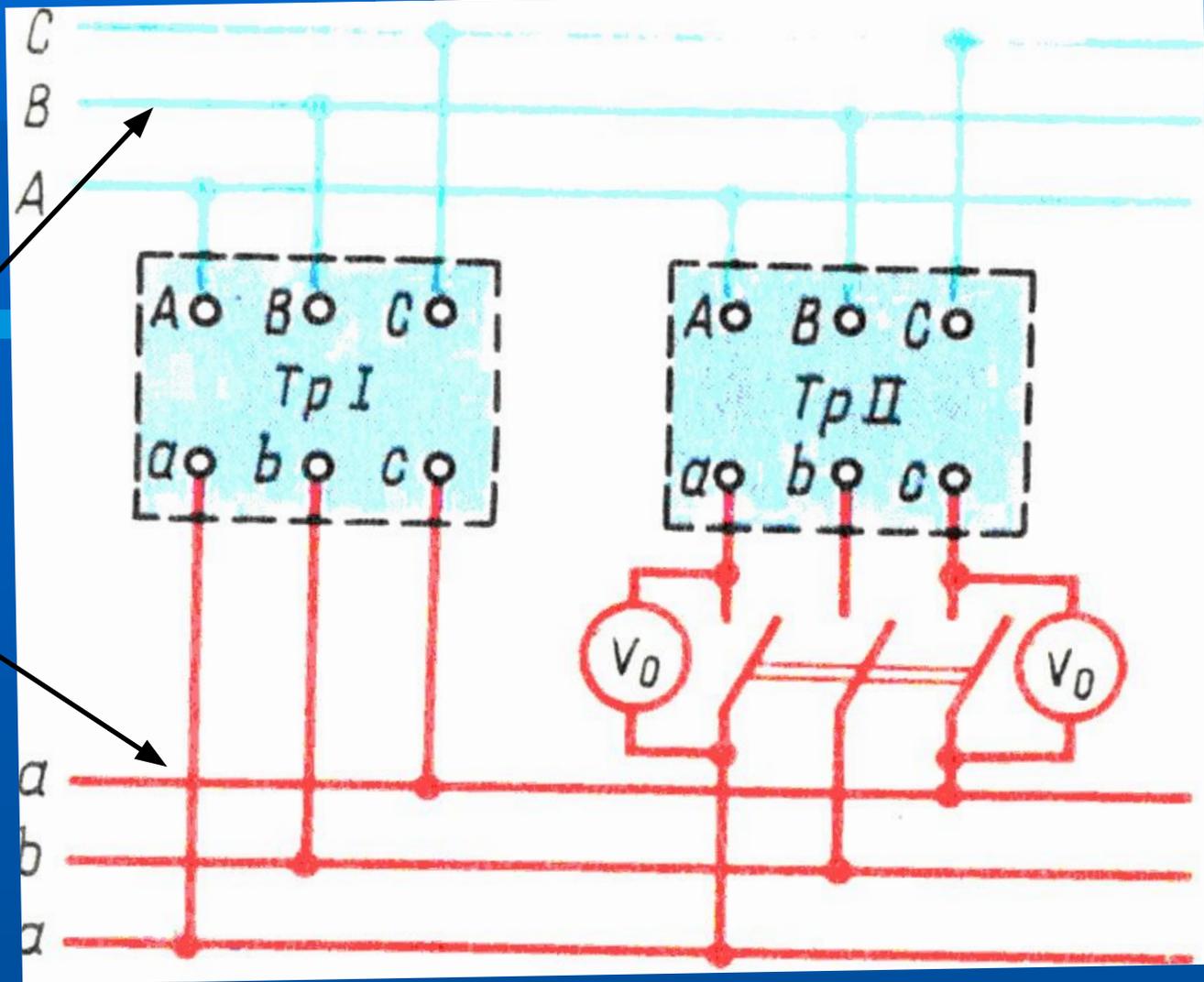


Рис. 2 Включение трансформаторов
на параллельную работу

Для обеспечения бесперебойного энергоснабжения в случае аварии в каком-либо трансформаторе или отключения его для ремонта применяют несколько параллельно включенных трансформаторов.

В различные часы суток меняется график нагрузки, поэтому целесообразно при работе трансформаторной подстанции с переменным графиком нагрузки.

То есть дополнительно включать или выключать трансформаторы.

В этом случае при уменьшении мощности нагрузки можно отключить один или несколько трансформаторов для того, чтобы нагрузка трансформаторов, оставшихся включенными, была близка к номинальной. В итоге эксплуатационные показатели работы трансформаторов (КПД и $\cos\varphi$) будут достаточно высокими.

Для того чтобы нагрузка между параллельно работающими трансформаторами распределялась пропорционально их номинальным мощностям, допускается параллельная работа двухобмоточных трансформаторов при следующих условиях.

УСЛОВИЯ ВКЛЮЧЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ

1. При одинаковом первичном напряжении вторичные напряжения должны быть равны.

Трансформаторы должны иметь
одинаковые коэффициенты
трансформации:

$$k_{\text{I}} = k_{\text{II}} = k_{\text{III}} = \dots$$

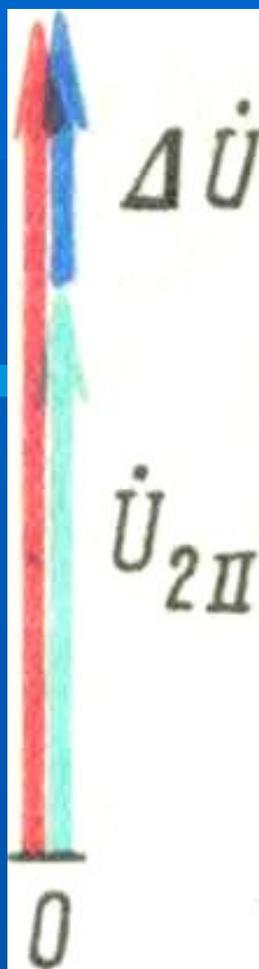
При несоблюдении этого условия, даже в режиме х. х., между параллельно включенными трансформаторами возникает уравнительный ток, обусловленный разностью вторичных напряжений трансформаторов.

$$I_{ур} = \frac{\dot{U}}{(z_{kI} + z_{kII})}$$

Где Z_{kI} Z_{kII}

- внутренние сопротивления трансформаторов.

а)



б)

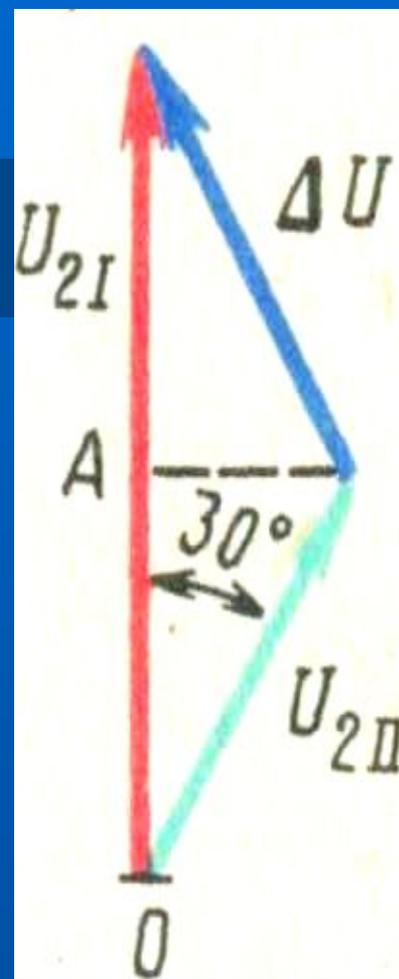


Рис. 3 Появление напряжения при не соблюдении условий включения трансформаторов на параллельную работу



При нагрузке трансформаторов уравнивающий ток накладывается на нагрузочный.

При этом трансформатор с более высоким вторичным напряжением x_2 (с меньшим коэффициентом трансформации) оказывается перегруженным, а трансформатор равной мощности, но с большим коэффициентом трансформации - недогруженным.

Так как перегрузка трансформаторов недопустима, то приходится снижать общую нагрузку. При большой разнице коэффициентов трансформации нормальная работа трансформаторов становится практически невозможной.

ГОСТ допускает включение на параллельную работу трансформаторов с различными коэффициентами трансформации, если разница коэффициентов трансформации не превышает условий включения $\pm 0,5 \%$ их среднего значения:

$$k = \left[\frac{(k_{\text{I}} - k_{\text{II}})}{k} \right] \bullet 100\% \leq 0,5\%$$

Где $k = \sqrt{k_I \cdot k_{II}}$ — среднее геометрическое значение коэффициентов трансформации.

2. Трансформаторы должны принадлежать к одной группе соединения.

При несоблюдении этого условия вторичные линейные напряжения трансформаторов окажутся сдвинутыми по фазе относительно друг друга и в цепи трансформаторов появится разностное напряжение ΔU , под действием которого возникнет значительный уравнительный ток.

Если включить на параллельную работу два трансформатора с одинаковыми коэффициентами трансформации, но один из них принадлежит к нулевой (Y/Y - 0), а другой - к одиннадцатой (Y/Д - 11) группам соединения, то линейное напряжение U_{2I} первого трансформатора будет больше линейного напряжения U_{2II} второго трансформатора в $\sqrt{3}$ раз ($U_{2I} / U_{2II} = \sqrt{3}$).

Кроме того, векторы этих напряжений окажутся сдвинутыми по фазе относительно друг друга на угол 30° .

Рис. 3 Появление напряжения при не соблюдении условий включения трансформаторов на параллельную работу



В этих условиях во вторичной цепи трансформаторов появится разностное напряжение ΔU .

Для определения величины ΔU воспользуемся построениями рис. 3, б отрезок $OA = \sqrt{3} U_{2II} / 2$ или, учитывая, что $U_{2II} = U_{2I} / \sqrt{3}$, получим $OA = 0,5 \cdot U_{2I}$

Следовательно, треугольник,
образованный векторами напряжений
 U_{2I} , U_{2II} , ΔU , - равнобедренный, а поэтому
разностное напряжение $\Delta U = U_{2II}$.

Появление такого разностного напряжения привело бы к возникновению во вторичной цепи трансформаторов уравнительного тока, в 15 - 20 раз превышающего номинальный ток нагрузки, т. е. возникла бы аварийная ситуация.

Величина U_{Δ} становится ещё большей, если трансформаторы принадлежат нулевой и шестой группам соединения ($U_{\Delta} = 2U_2$), так как в этом случае векторы линейных вторичных напряжений окажутся в противофазе.

3. Трансформаторы должны
иметь одинаковые
напряжения к. з.

$$U_{kI} = U_{kII} = U_{kIII} = \dots$$

Соблюдение этого условия необходимо для того, чтобы общая нагрузка распределялась между трансформаторами пропорционально их номинальным мощностям.

С некоторым приближением, пренебрегая токами x . x ., можно параллельно включенные трансформаторы заменить их сопротивлениями к. з. Z_{KI} и Z_{KII} и тогда от схемы, показанной на рис. 4, а, можно перейти к эквивалентной схеме рис. 4, б.

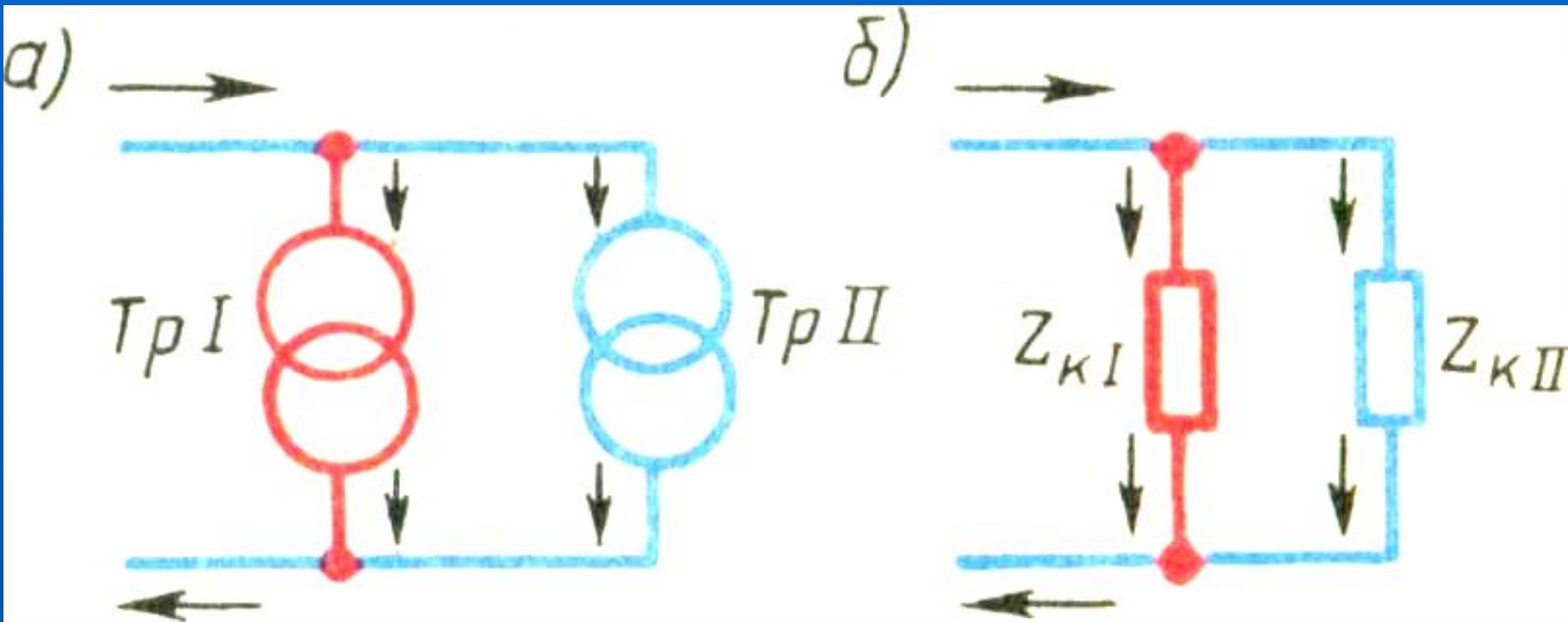


Рис. 4 Распределение нагрузки при параллельной работе трансформаторов

Известно, что токи в параллельных ветвях распределяются обратно пропорционально их сопротивлениям:

$$\frac{I_{\text{I}}}{I_{\text{II}}} = \frac{Z_{k\text{II}}}{Z_{k\text{I}}}$$

$$S'_I = \frac{S_I}{S_{Iном}}$$

$$S'_{II} = \frac{S_{II}}{S_{IIном}}$$

Где S'_I - относительная мощность первого трансформатора,
 S'_{II} - относительная мощность второго трансформатора.

Из формул следует, что *относительные мощности работающих трансформаторов обратно пропорциональны их напряжениям короткого замыкания*. В итоге это ведёт к перегрузке одного трансформатора и недогрузке другого. Чтобы не допустить этого необходимо снизить общую нагрузку.

Учитывая, что практически не всегда можно подобрать трансформаторы с одинаковыми напряжениями к. з., ГОСТ допускает включение трансформаторов на параллельную работу при разнице напряжений к. з. не более чем 10% от их среднего арифметического значения.

Помимо соблюдения указанных трёх условий необходимо перед включением трансформаторов на параллельную работу проверить порядок чередования фаз, который должен быть одинаковым у всех трансформаторов.

Соблюдение всех перечисленных условий проверяется *фазировкой трансформаторов*, сущность которой состоит в том, что одну пару, противоположно расположенных зажимов на рубильнике соединяют проводом и вольтметром V_0 (нулевой вольтметр) измеряют напряжение между оставшимися несоединенными парами зажимов рубильника.

Общая нагрузка всех включенных на параллельную работу трансформаторов S не должна превышать суммарной номинальной мощности этих трансформаторов:

$$S \leq \sum S_{\text{НОМХ}}$$

$S_{\text{НОМХ}}$ номинальная мощность данного трансформатора, кВ*А.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Презентацию составила
преподаватель Хохлова Т.Б.