

Условия параллельной работы трансформаторов

Параллельное соединение трансформаторов - это способ подключения трансформаторов, при котором соединяются одинаковые выводы обмоток активной части катушек сердечника высокого (ВН) и низкого (НН) напряжения.

Если выводы обмоток одной стороны соединяются только для низкого или только для высокого номинального напряжения, то это называется совместной работой трансформаторов.

Для параллельной работы трансформаторов, нужно выполнить 5 условий, перечисленных в пункте 2.1.19 ПТЭЭП:

- Одинаковые схемы группы соединений обмоток;
- Соотношение мощностей трансформаторов не более 1:3;
- Коэффициенты трансформации отличаются не более чем на $\pm 0,5\%$;
- Напряжения короткого замыкания отличаются не более чем на $\pm 10\%$;
- Произведена фазировка трансформаторов.

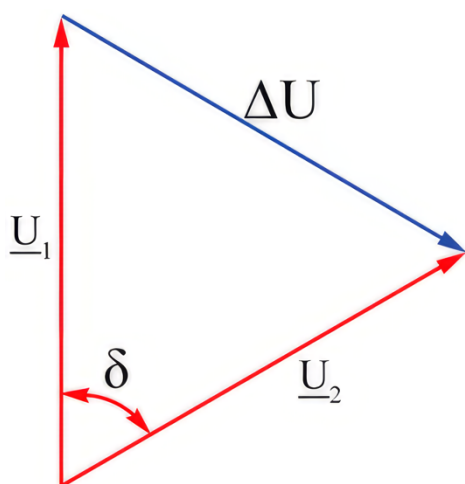
Группы соединения обмоток

Группа соединения обмоток указывает на сдвиг фазы линейной ЭДС вторичной НН обмотки по отношению к ЭДС первичной ВН.

Группа соединения определяется способом соединения первичной обмотки высокой стороны ВН и вторичной обмотки низкой стороны НН. Пример: первичная обмотка соединена по схеме треугольника, а вторичная - по схеме звезды, то это будет 11 группа (обозначается как Д/Ун-11), а разность фаз составляет 330° , где фаза ЭДС во вторичной обмотке отстает на указанный угол от фазы ЭДС в первичной

*Конфигурация трехфазного трансформатора зависит не только от типа подключения первичных и вторичных обмоток, но также от направления намотки и способа обозначения выводов обмоток (их маркировки).

Если соединить трансформаторы с разными группами обмоток параллельно, то разница напряжений на их вторичных обмотках будет зависеть от угла сдвига фаз δ . На схеме это отображается вектором ΔU .

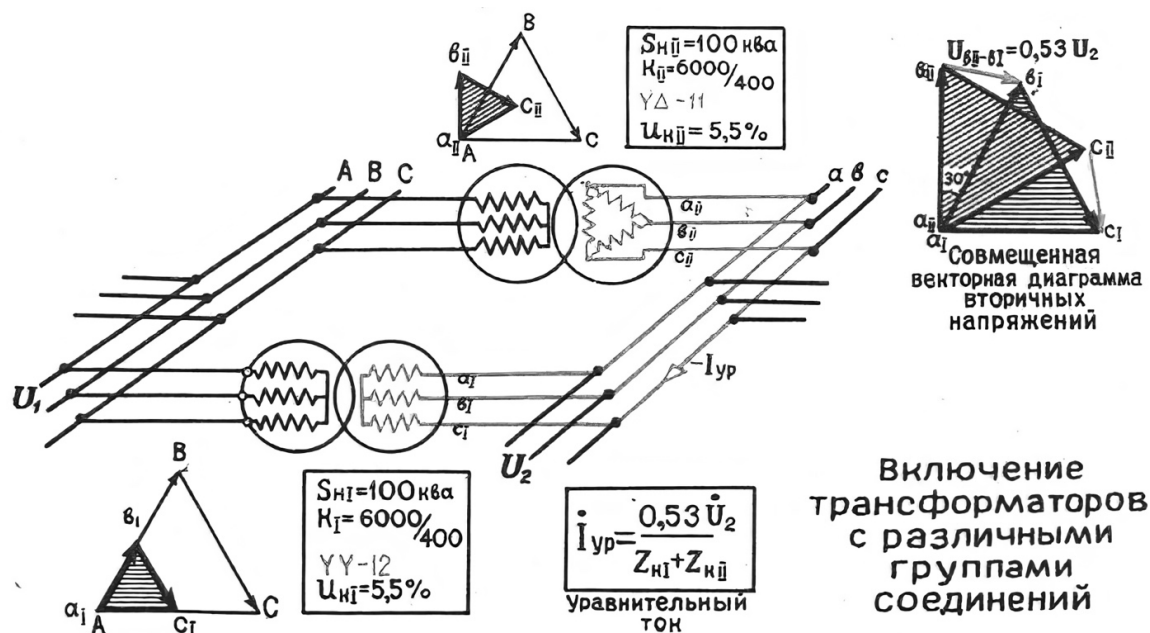


Разница напряжений ΔU при сдвиге векторов вторичных напряжений на угол δ

ВНИМАНИЕ!

При подключении в одну сеть трансформаторов с различными группами соединений обмоток активной части из-за разницы вторичных напряжений между обмотками будет протекать уравнивающий ток кратно превышающий номинальный. В свою очередь - это аварийный режим работы, который приведёт к повреждению трансформаторов, коммутационных аппаратов и токопроводящих шин.

В особых случаях, группу соединения обмоток можно изменить перемаркировкой выводов и соединением их с шинами в нужном порядке. Но это возможно если выводы обмоток доступны, иначе придется вскрывать трансформатор, что ведет к утрате гарантии на оборудование.

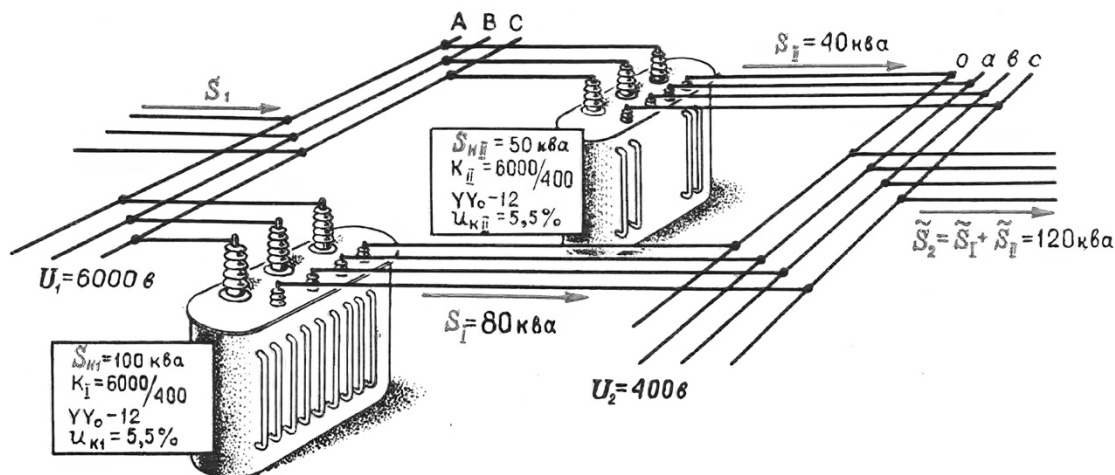


Вырезка из учебного плаката из книги Расовского Э.И.
 «Электрические машины аппараты и установки (Электротехника в рисунках и чертежах)».

Соотношение мощностей трансформаторов

Нельзя включать в параллельную работу трансформаторы, если их мощность отличается в 3 раза и больше. Это связано с тем, что при работе нагрузка распределяется между трансформаторами прямо пропорционально их мощностям. При этом более мощный трансформатор возьмёт на себя большую нагрузку, а при небольших перегрузках трансформатор меньшей мощности будет в процентном соотношении сильнее нагружаться.

Пример — если мощность одного трансформатора 630 кВа, то он может работать параллельно с трансформатором мощностью от 250 до 1600 кВа (мощности выбраны из ряда мощностей масляных трансформаторов серии ТМГ).



Параллельная работа трансформаторов различной мощности

Вырезка из учебного плаката из книги Расовского Э.И.
«Электрические машины аппараты и установки (Электротехника в
рисунках и чертежах)».

Коэффициенты трансформации

Если у трансформаторов, подключённых к линиям одинакового напряжения, будут разные коэффициенты трансформации, то вторичные напряжения у них будут отличаться, что очевидно. Ввиду разности вторичных напряжений при параллельной работе трансформаторы будут нагружаться уравнивающим током во всех режимах работы, что приведёт к увеличению потерь.

Величина уравнивающего тока будет зависеть от разности вторичных напряжений — чем больше они различаются, тем больше ток. Далее привожу пример расчёта уравнивающего тока из книги Филатова А. А. «Обслуживание электрических подстанций оперативным персоналом»:

$$I_{y1} = \frac{\Delta U}{Z_{k1} + Z_{k2}},$$

где $\Delta U = U_1 - U_2$ - разность вторичных напряжений трансформаторов;
 Z_{k1} и Z_{k2} — сопротивления первого и второго трансформаторов,
определяемые по формуле:

$$Z_k = \frac{u_{k\%} U_{НОМ}}{100 I_{НОМ}},$$

Например, есть два трансформатора с такими характеристиками: S1=S2=10000 кВ·А; U1=6600 В; U2=6300 В; uk1=uk2=8%; группы соединения обмоток Y/Δ-11. Чтобы найти уравнильный ток, сначала нужно найти номинальные токи трансформаторов:

$$I_1 = \frac{10 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 6600} = 875,8 \text{ A};$$

$$I_2 = \frac{10 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 6300} = 917,5 \text{ A};$$

Далее мы вычислим сопротивления трансформаторов, используя указанную выше формулу

$$Z_{k1} = \frac{8 \cdot 6600}{100 \cdot 875,8} = 0,603 \text{ Ом};$$

$$Z_{k2} = \frac{8 \cdot 6300}{100 \cdot 917,5} = 0,55 \text{ Ом};$$

Посчитаем разницу между вторичными напряжениями и определим величину тока, который выравняет их

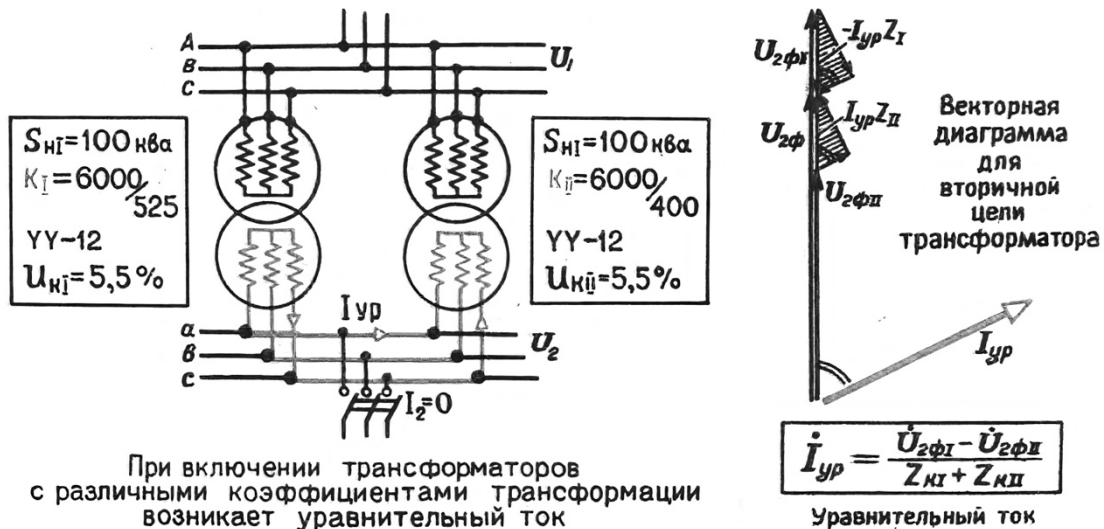
$$Z_{k1} = \frac{8 \cdot 6600}{100 \cdot 875,8} = 0,603 \text{ Ом};$$

$$Z_{k2} = \frac{8 \cdot 6300}{100 \cdot 917,5} = 0,55 \text{ Ом};$$

Другими словами, даже на холостом ходу трансформаторы будут нагружены уравнильным током в 260А, притом что номинальные токи 875 и 917 А, этот ток фактически является потерями и понижает суммарную мощность подстанции.

Поэтому Правила указывают, чтобы отклонения по коэффициенту трансформации были не более 0,5% в обе стороны.

Если трансформатор имеет возможность изменения напряжения с помощью ПБВ или РПН, то с их помощью можно откорректировать напряжения и снизить эту разницу и величину уравнительного тока.



Трансформаторы, включаемые на параллельную работу, должны иметь одинаковые первичные и вторичные номинальные напряжения — одинаковые коэффициенты трансформации. Различие между коэффициентами трансформации допускается до $\pm 0,5\%$ от их среднего значения

Вырезка из учебного плаката из книги Расовского Э.И. «Электрические машины аппараты и установки (Электротехника в рисунках и чертежах)».

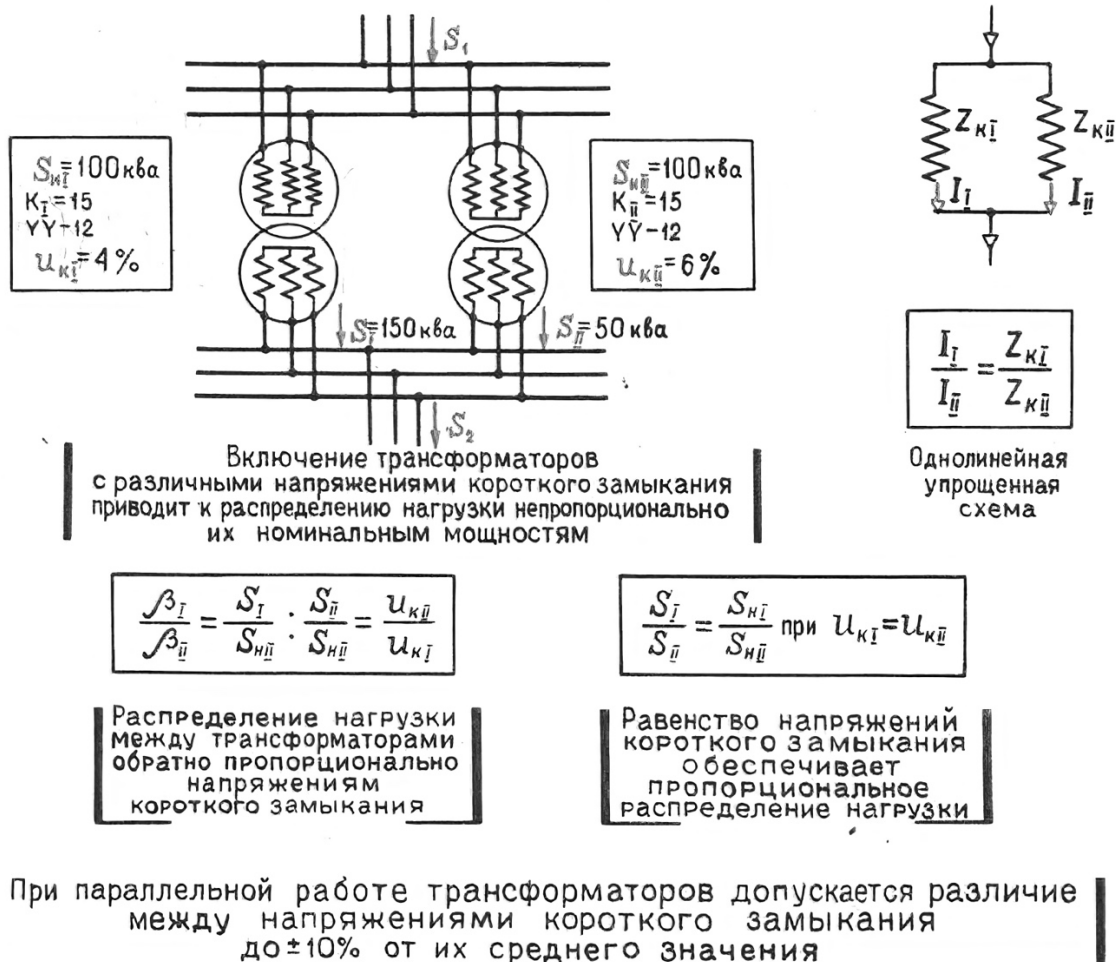
Напряжения короткого замыкания

Согласно ГОСТ 16110-82, напряжение короткого замыкания — это линейное напряжение, которое нужно подвести к линейным зажимам одной из обмоток пары, чтобы в этой обмотке установился ток, соответствующий номинальному при замкнутой накоротко второй обмотке пары. Указывается в виде процентного соотношения к номинальному напряжению.

Напряжение короткого замыкания влияет на распределение нагрузки между трансформаторами обратно пропорционально. То есть на трансформатор с меньшим напряжением короткого замыкания приходится больше нагрузки.

Поэтому Правила допускают отличие напряжений короткого замыкания не более чем на $\pm 10\%$.

*По спец заказу, специалисты нашего завода TRANSFORMATOR-ENERGUM могут произвести намотку обмоток с отличием напряжений короткого замыкания в пределах $\pm 5\%$, что гарантирует равномерную нагрузку на все трансформаторы электросети.



Вырезка из учебного плаката из книги Расовского Э.И.

«Электрические машины аппараты и установки (Электротехника в рисунках и чертежах)».

Фазировка трансформаторов

Фазировка трансформаторов — это подключение выводов вторичных обмоток (фаз) трансформаторов к соответствующим шинам. Если сказать проще, то фазировка трансформаторов — это подключение фазы А к шине фазы А, Фазы В к В, и С к С. Если перепутать и подключить, например, фазу А первого

трансформатора и фазу В второго трансформатора к одной и той же шине получится межфазное короткое замыкание.

Заключение

Согласно пункта **2.1.19. ПТЭЭП** допускается параллельная работа трансформаторов (автотрансформаторов) при условии, что ни одна из обмоток не будет нагружена током, превышающим допустимый ток для данной обмотки.

Параллельная работа трансформаторов разрешается при следующих условиях:

- Группы соединений обмоток одинаковы;
- Соотношение мощностей трансформаторов не более 1:3;
- Коэффициенты трансформации отличаются не более чем на $\pm 0,5\%$;
- Напряжения короткого замыкания отличаются не более чем на $\pm 10\%$;
- Произведена фазировка трансформаторов.

Для выравнивания нагрузки между параллельно работающими трансформаторами с различными напряжениями короткого замыкания допускается в небольших пределах изменение коэффициента трансформации путём переключения ответвлений при условии, что ни один из трансформаторов не будет перегружен.