

Лекция №12 Условие включения трансформаторов на параллельную работу.

Специальные трансформаторы

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 (рис. 2.7, а).

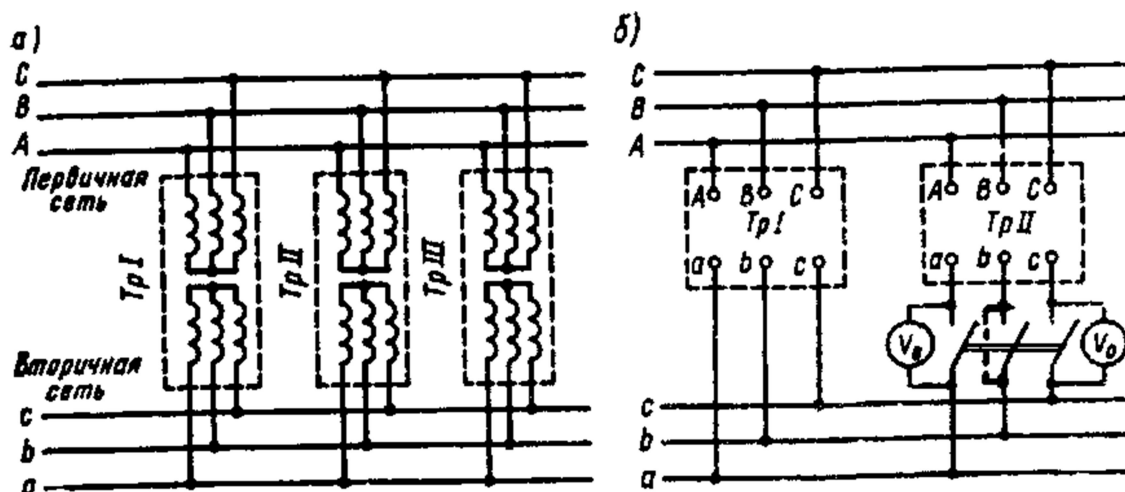


Рис. 2.7. Включение трансформаторов на параллельную работу

Применение нескольких параллельно включенных трансформаторов вместо одного трансформатора суммарной мощности необходимо для обеспечения бесперебойного энергоснабжения в случае аварии в каком-либо трансформаторе или отключения его для ремонта. Это также целесообразно при работе трансформаторной подстанции с переменным графиком нагрузки, например когда мощность нагрузки значительно меняется в различные часы суток. 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 $\cos\varphi_2$) будут достаточно высокими.

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

1. При одинаковом первичном напряжении вторичные напряжения должны быть равны. Другими словами, трансформаторы должны иметь одинаковые коэффициенты трансформации: $k_I = k_{II} = k_{III} = \dots$. При несоблюдении этого условия, даже в режиме х.х., между параллельно включенными трансформаторами возникает уравнивающий ток, обусловленный разностью вторичных напряжений трансформаторов $\Delta \dot{U}$ (рис. 2.8, а):

$$\dot{I}_{уп} = \Delta \dot{U} / (Z_{kI} + Z_{kII}), \quad (2.5)$$

где Z_{kI} и Z_{kII} — внутренние сопротивления трансформаторов.

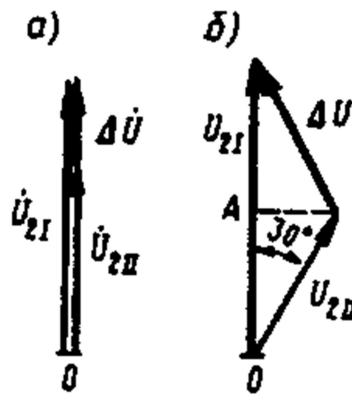


Рис. 2.8. Появление напряжения ΔU при несоблюдении условий включения трансформаторов на параллельную работу

При нагрузке трансформаторов уравнивающий ток накладывается на нагрузочный. При этом трансформатор с более высоким вторичным напряжением х.х. (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 значительной разнице коэффициентов трансформации нормальная работа трансформаторов становится практически невозможной. Однако ГОСТ допускает включение на параллельную работу трансформаторов с различными коэффициентами трансформации, если разница коэффициентов трансформации не превышает $\pm 0,5\%$ их среднего значения:

$$\Delta k = [(k_I - k_{II}) / k] 100\% \leq 0,5\% \quad (2.6)$$

где $k = \sqrt{k_I k_{II}}$ — 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 уравнивающий ток. Так, 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 ($Y/A-11$) 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. 28, б). В этих условиях во вторичной цепи трансформаторов появится разностное напряжение ΔU . Для определения величины ΔU воспользуемся построениями рис. 28, б: отрезок OA равен $\sqrt{3} U_{2II}/2$ или, учитывая, что $U_{2II} = U_{2I} / \sqrt{3}$, получим $OA = 0,5U_{2I}$. Следовательно, треугольник, образованный векторами напряжений U_{2I} , U_{2II} и ΔU — равнобедренный, а поэтому разностное напряжение $\Delta U = U_{2II}$. Появление такого разностного напряжения привело бы к возникновению во вторичной цепи трансформаторов уравнивающего тока, в 15—20 раз превышающего номинальный ток нагрузки, т. е. возникла бы аварийная ситуация. Величина ΔU становится еще большей, если трансформаторы принадлежат нулевой и шестой группам соединения ($\Delta U = 2U_{2I}$), так как в этом случае векторы линейных вторичных напряжений окажутся в противофазе (см. рис. 2.3, б).

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 х.х., можно параллельно включенные трансформаторы заменить их сопротивлениями к.з. Z_{kI} и Z_{kII} и тогда от схемы, показанной на рис. 2.9, а, можно перейти к эквивалентной схеме (рис. 2.9, б). Известно, что токи в параллельных ветвях распределяются обратно пропорционально их сопротивлениям:

$$I_I / I_{II} = Z_{kII} / Z_{kI}. \quad (2.7)$$

Умножим обе части равенства (2.7) на $I_{II\text{ном}} U_{\text{ном}} / (I_{I\text{ном}} U_{\text{ном}})$, левую часть — на $U_{\text{ном}} / U_{\text{ном}}$, а правую часть — на $100/100$, получим

$$\frac{I_I I_{II\text{ном}} U_{\text{ном}} U_{\text{ном}}}{I_{II} I_{I\text{ном}} U_{\text{ном}} U_{\text{ном}}} = \frac{Z_{kII} I_{I\text{ном}} U_{\text{ном}} 100}{Z_{kI} I_{II\text{ном}} U_{\text{ном}} 100}.$$

Затем преобразуем полученное равенство, имея в виду следующее: $I_1 U_{НОМ} = S_1$, и $I_{11} U_{НОМ} = S_{11}$ — фактическая нагрузка первого и второго трансформаторов соответственно, В-А; $I_{НОМ} U_{НОМ} = S_{НОМ}$ и $I_{1НОМ} U_{НОМ} = S_{1НОМ}$ номинальные мощности этих трансформаторов, В-А; $(I_{НОМ} Z_{к1} / U_{НОМ}) 100 = u_{1к}$ и $(I_{1НОМ} Z_{к11} / U_{НОМ}) 100 = u_{11к}$ — напряжения к.з. трансформаторов, %. В результате получим

$$(S_1 / S_{НОМ}) (S_{11} / S_{1НОМ}) \quad (2.8)$$

или

$$S'_1 / S'_{11} = u_{к11} / u_{к1} \quad (2.9)$$

где $S'_1 = S_1 / S_{НОМ}$, $S'_{11} = S_{11} / S_{1НОМ}$ — соответственно относительные мощности (нагрузки) первого и второго трансформаторов.

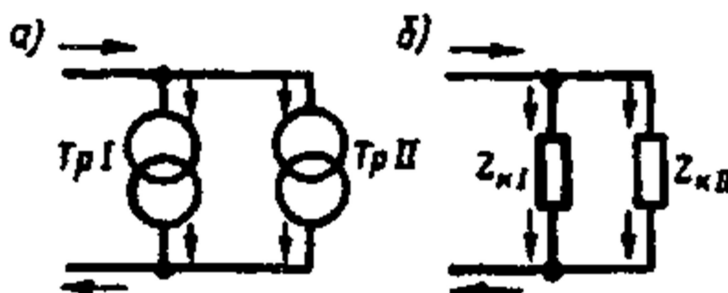


рис. 2.9. К понятию о распределении нагрузки при параллельной работе трансформаторов.

Из соотношения (2.9) следует, что относительные *мощности (нагрузки) параллельно работающих трансформаторов обратно пропорциональны их напряжениям к.з.* Другими словами, при неравенстве напряжений к.з. параллельно работающих трансформаторов больше нагружается трансформатор с меньшим напряжением к.з. В итоге это ведет к перегрузке одного трансформатора (с меньшим u_k) и недогрузке другого (с большим u_k). Чтобы не допустить перегрузки трансформатора, необходимо снизить общую нагрузку. Таким образом, неравенство напряжений к.з. не допускает полного использования по мощности параллельно работающих трансформаторов.

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. Разница в напряжениях к.з. трансформаторов тем больше, чем больше эти трансформаторы отличаются друг от друга по мощности. Поэтому ГОСТ рекомендует, чтобы отношение номинальных мощностей трансформаторов, включенных параллельно, было не более чем 3:1.

Помимо соблюдения указанных трех 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 (см. рис. 2.7, б), соединяют проводом и вольтметром V_0 (нулевой вольтметр) измеряют напряжение между оставшимися несоединенными парами зажимов рубильника. Если вторичные напряжения трансформаторов равны, их группы соединения одинаковы и порядок следования фаз у них один и тот же, то показания вольтметра V_0 равны нулю. В этом случае трансформаторы можно подключать на параллельную работу. Если вольтметр V_0 покажет некоторое напряжение, то необходимо выяснить, какое из условий параллельной работы нарушено. Необходимо устранить это нарушение и вновь провести фазировку трансформаторов. Следует отметить, что при нарушении порядка следования фаз вольтметр V_0 покажет двойное линейное напряжение. Это необходимо учитывать при подборе вольтметра, предел измерения которого должен быть не менее двойного линейного напряжения на вторичной стороне трансформаторов.

Общая нагрузка всех включенных на параллельную работу трансформаторов S не должна превышать суммарной номинальной мощности этих трансформаторов: $S \leq \sum S_{НОМ.X}$.

Распределение нагрузки между параллельно работающими трансформаторами определяется следующим образом:

$$S_x = SS_{НОМ.X} / [u_{kx} \sum (S_{НОМ.X} / u_{kx})] \quad (2.10)$$

где S_x — нагрузка одного из параллельно работающих трансформаторов, кВА; S — общая нагрузка всей параллельной группы, кВА; S — напряжение к.з. данного трансформатора, %; $S_{НОМ.X}$ — номинальная мощность данного трансформатора, кВА. В выражении (2.10)

$$\sum (S_{НОМ.X} / u_{kx}) = (S_{НОМ.I} / u_{kI}) + (S_{НОМ.II} / u_{kII}) + \dots \quad (2.11)$$