

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6 ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ТРАНСФОРМАТОРОВ

Цель работы: изучить условия включения трансформаторов на параллельную работу и основные способы регулирования вторичного напряжения трансформатора.

Основные теоретические сведения

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 (рис. 6.1).

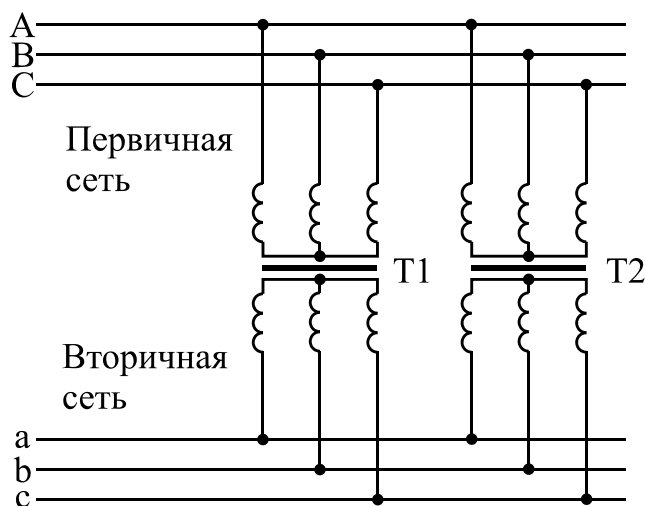


Рис. 6.1. Включение трансформаторов на параллельную работу

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 трехфазных трансформаторов при следующих условиях:

- 1) равенство номинальных напряжений трансформаторов;
- 2) одинаковая группа соединения обмоток;
- 3) равенство напряжений короткого замыкания;
- 4) трансформаторы должны быть сфазированны.

1. Трансформаторы должны иметь одинаковый коэффициент трансформации при одинаковых номинальных напряжениях. При несоблюдении этого условия даже в режиме холостого хода, между параллельно включенными трансформаторами возникает уравнивающий ток, обусловленный разностью вторичных напряжений трансформаторов:

$$I_{ур} = \frac{\Delta U}{Z_{T1} + Z_{T2}},$$

где Z_{T1}, Z_{T2} — внутренние сопротивления трансформаторов.

При нагрузке трансформаторов уравнивающий ток накладывается на нагрузочный. При этом трансформатор с более высоким вторичным напряжением ХХ (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:

$$\Delta K_{TP} = \frac{K_{TP1} - K_{TP2}}{K_{TPC}} 100\% \leq 0,5\%,$$

где K_{TPC} — среднее геометрическое значение коэффициентов трансформации:

$$K_{TPC} = \sqrt{K_{TP1} K_{TP2}}.$$

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, в 15-20 раз превышающий номинальный ток нагрузки, т.е. возникнет аварийная ситуация.

3. Трансформаторы должны иметь одинаковые напряжения КЗ. Соблюдение этого условия необходимо для того, чтобы общая нагрузка распределялась между трансформаторами пропорционально их номинальным мощностям. С некоторым приближением, пренебрегая токами ХХ, можно параллельно включенные трансформаторы заменить их сопротивлениями КЗ, Z_{K31} и Z_{K32} и тогда от схемы, показанной на (рис. 6.2, а), можно перейти к эквивалентной схеме (рис. 6.2, б).

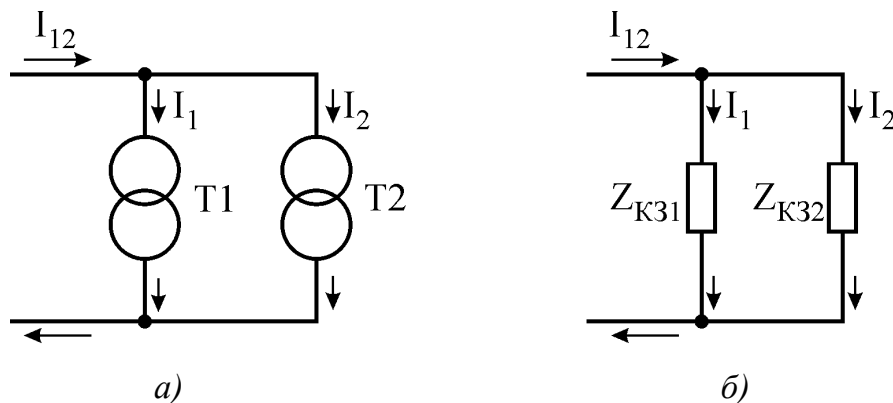


Рис. 6.2. Распределение токов при параллельной работе трансформаторов: а — схема соединения; б — схема замещения

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

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{Z_{K32}}{Z_{K31}}.$$

Преобразовав выражение, получим:

$$\frac{S_1}{S_{1НОМ}} \frac{S_{2НОМ}}{S_2} = \frac{U_{K31}}{U_{K32}},$$

где S_1, S_2 — фактическая нагрузка трансформаторов;
 $S_{1НОМ}, S_{2НОМ}$ — номинальные мощности трансформаторов;
 U_{K31}, U_{K32} — напряжения КЗ трансформаторов.

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

Учитывая, что практически не всегда можно подобрать трансформаторы с одинаковыми напряжениями КЗ, стандарт допускает включение трансформаторов на параллельную работу при разнице напряжений КЗ не более чем 10% от их среднего арифметического значения. Разница в напряжениях КЗ трансформаторов тем больше, чем больше эти трансформаторы отличаются друг от друга по мощности. Поэтому рекомендуют, чтобы отношение номинальных мощностей трансформаторов, включенных параллельно, было не более чем 3:1.

4. Трансформаторы должны быть сфазированы. 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 (рис. 6.3) 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.

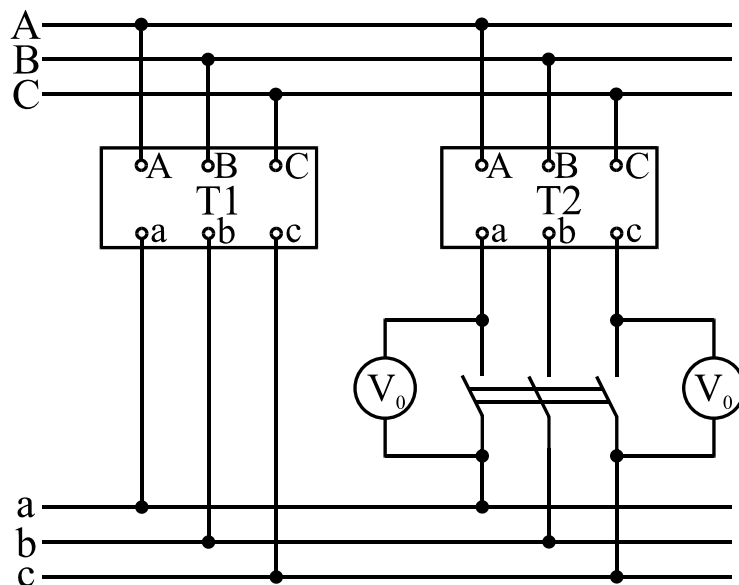


Рис. 6.3. Фазировка трансформаторов

Общая нагрузка всех включенных на параллельную работу трансформаторов $S_{ОБЩ}$ не должна превышать суммарной номинальной мощности этих трансформаторов:

$$S_{ОБЩ} \leq \sum S_{НОМi}.$$

Распределение нагрузки между параллельно работающими трансформаторами определяется следующим образом:

$$S_i = S_{ОБЩ} \frac{S_{НОМi}}{U_{КЗi} \sum \frac{S_{НОМi}}{U_{КЗi}}},$$

где S_i — нагрузка одного из параллельно работающих трансформаторов, кВА;

$S_{ОБЩ}$ — общая нагрузка всей параллельной группы, кВА;

$S_{НОМi}$ — номинальная мощность данного трансформатора, кВА;

$U_{КЗi}$ — напряжение КЗ данного трансформатора, %.

Способы регулирования вторичного напряжения трансформатора

В соответствии с формулой ЭДС регулировать напряжение на вторичной обмотке трансформатора возможно посредством изменения:

- магнитного потока Φ ;
- частотой питающего напряжения f ;
- числом витков в обмотках w_1, w_2 .

Наиболее предпочтительным является регулирование напряжения в трансформаторе посредством изменения числа витков первичной обмотки. Регулировочные ответвления в трёхфазном трансформаторе делают в каждой фазе либо вблизи нулевой точки, либо посередине обмотки высшего напряжения. В первом случае на каждой фазе делают по три ответвления, при этом среднее ответвление соответствует номинальному коэффициенту трансформации, а два других — коэффициентам трансформации, отличающимся на $\pm 5\%$. Во втором случае обмотку разделяют на две части и делают шесть ответвлений. Это даёт возможность кроме номинального коэффициента трансформации получить ещё четыре дополнительных значения, отличающихся от номинального на $\pm 2,5$ и $\pm 5\%$.

В трёхфазном трансформаторе используется два вида устройства для регулирования напряжения:

ПБВ — переключение без возбуждения (без нагрузки);

РПН — регулирование под нагрузкой.

Содержание отчёта

1. Схема включения трансформаторов на параллельную работу.
2. Условия включения трансформаторов на параллельную работу.

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип действия трансформатора.
2. Как вычислить коэффициент трансформации трансформатора?
3. Посредством каких параметров возможно регулирование вторичного напряжения на трансформаторе?
4. На какой стороне (ВН или НН) выгоднее регулировать вторичное напряжение?
5. Как осуществляется регулирование напряжения в трансформаторах под нагрузкой?
6. Для чего используется включение трансформаторов на параллельную работу?
7. Назовите четыре условия включения трансформаторов на параллельную работу.
8. Что такое фазировка трансформаторов?
9. Что обозначает группа соединения трансформаторов?
10. От чего зависит напряжение короткого замыкания трансформатора?
11. От чего возникают уравнительные токи и как их вычислить?