

## ГЛАВА 2 ТРЕХФАЗНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

### § 9. МАГНИТОПРОВОДЫ ТРЕХФАЗНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Трехфазный трансформатор может быть составлен из трех одинаковых однофазных; в этом случае он называется *групповым*. Первичные обмотки трех однофазных трансформаторов соединяют между собой по одной из трехфазных схем, так же как и вторичные обмотки.

Групповые трехфазные трансформаторы применяют при очень больших мощностях ( $3 \times 630$  кВа и выше). Это объясняется тем, что

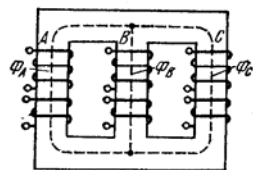


Рис. 11. Схема устройства стержневого трехфазного трансформатора

каждый однофазный трансформатор группы меньше по габаритам и массе, чем один трехфазный трансформатор на полную мощность группы. Кроме того, при групповом трансформаторе в качестве резерва достаточно иметь один однофазный трансформатор (треть мощности группы), в то время как при одном трехфазном трансформаторе в резерв приходится устанавливать другой трансформатор на полную мощность. Поэтому групповой трансформатор имеет известные преимущества при больших мощностях,

где условия транспорта и надежность при эксплуатации имеют особенно важное значение. Однако групповой трансформатор несколько дороже трехфазного трансформатора на ту же мощность, занимает больше места и имеет меньший к. п. д.

Трехфазные трансформаторы со связанной магнитной системой выполняются главным образом стержневыми (рис. 11). Получение такого магнитопровода можно представить себе следующим образом. Три одинаковых однофазных трансформатора выполнены так, что их первичные и вторичные обмотки размещены на одном стержне сердечника магнитопровода, а другой стержень каждого трансформатора не имеет обмотки. Если эти три трансформатора расположить так, чтобы стержни, не имеющие обмоток, находились рядом, то три стержня можно объединить в один — нулевой.

Через объединенный стержень будут замыкаться магнитные потоки трех однофазных трансформаторов, которые равны по величине и сдвинуты по фазе на одну треть периода. Так как сумма трех равных по амплитуде и сдвинутых по фазе на  $1/3$  периода магнитных потоков равна нулю в любой момент времени ( $\Phi_A +$

$\Phi_B + \Phi_C = 0$ ), то в объединенном стержне нет магнитного потока и надобность в этом стержне отпадает.

Таким образом, для магнитопровода достаточно иметь три стержня, которые по конструктивным соображениям располагаются в одной плоскости. На каждом стержне трехфазного трансформатора размещаются обмотки высшего и низшего напряжения одной фазы. Стержни соединяются между собой ярмом сверху и снизу. Длина магнитных линий потока среднего стержня меньше, чем крайних стержней. Поэтому магнитный поток среднего стержня встречает на своем пути меньшее магнитное сопротивление, чем магнитные потоки крайних стержней. Следовательно, в фазе, обмотка которой помещена на среднем стержне, протекает меньший намагничивающий ток, чем в фазах, обмотки которых помещены на крайних стержнях.

### § 10. СОЕДИНЕНИЕ ОБМОТОК ТРЕХФАЗНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Конструктивно обмотки трехфазных трансформаторов выполняются так же, как и однофазных.

Начала фаз обмоток высшего напряжения обозначают прописными латинскими буквами *A, B* и *C*; концы фаз этих обмоток — *X, Y* и *Z*. Если обмотка высшего напряжения имеет выведенную нулевую точку, то этот зажим обозначают *0*. Начала фаз обмоток низшего напряжения обозначают строчными латинскими буквами *a, b, c*, концы фаз — *x, y, z*, вывод нулевой точки — *0*.

Обмотки трехфазных трансформаторов могут быть соединены в звезду и треугольник, как условно показано на рис. 12, *a* и *б*. При соединении обмоток в звезду (рис. 12, *a*) концы всех трех фаз соединяют, образуя общую нейтральную (нулевую) точку, а свободные начала трех фаз подключают к трем проводам сети источника или приемника электрической энергии переменного тока. При соединении обмоток в треугольник (рис. 12, *б*) начало первой фазы соединяют с концом второй, начало второй фазы — с концом третьей, начало третьей фазы — с концом первой. Точки соединения начала одной фазы с концом другой подключают к проводам трехфазной сети переменного тока.

Иногда применяют схему соединения в зигзаг (рис. 12, *в*). При такой схеме фаза состоит из двух катушек с одинаковым числом витков, находящихся на различных стержнях и соединенных встречно. Э. д. с. фазы обмотки, соединенной в зигзаг, равна геометрической разности э. д. с. двух катушек. Эти э. д. с. сдвинуты на  $1/3$  периода по фазе так же, как и магнитные потоки двух различных стержней, поэтому

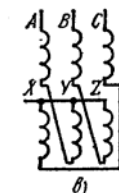
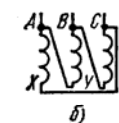
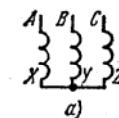


Рис. 12. Схемы соединения обмоток трехфазного трансформатора:  
*a* — в звезду,  
*б* — в треугольник, *в* — в зигзаг

$$E_{\phi z} = \sqrt{3}E_k,$$

где  $E_{\phi z}$  — э. д. с. фазы при соединении обмоток в зигзаг;  $E_k$  — э. д. с. одной катушки.

При соединении обмоток в треугольник или звезду две катушки, входящие в одну фазу, соединены последовательно, так что э. д. с. фазы равна арифметической сумме э. д. с. катушек, т. е.

$$E_{\phi y} = E_{\phi \Delta} = 2E_k.$$

Следовательно, при одинаковом расходе обмоточного провода э. д. с. фазы при соединении обмоток в зигзаг меньше, чем при соединении в звезду и треугольник.

Таким образом, схема соединения обмоток трехфазного трансформатора в зигзаг неэкономична и не имеет широкого практического применения. Эту схему используют в ртутных выпрямителях, так как при ее применении отсутствует вынужденное намагничивание сердечника. Кроме того, ее используют в сложных мостовых схемах выпрямления для преобразования симметричной трехфазной системы в шести-, девяти-, двенадцатифазную и т. д.

Схемы соединения обмоток трехфазных трансформаторов в звезду, треугольник и зигзаг обозначают знаками соответственно  $Y$ ,  $\Delta$

и  $\text{Z}$ . Если обмотка имеет выведенную нулевую точку, то в соответствующем знаке обозначают нулевую точку и показывают вывод от нее, например:  $Y_0$  или  $\text{Z}_0$ .

## § 11. ГРУППЫ ТРЕХФАЗНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Группы трехфазных трансформаторов обозначают следующими знаками:

$$Y/Y-0, \quad Y/\Delta-11 \text{ и т. д.},$$

где знак над чертой показывает схему соединения обмоток высшего напряжения, знак под чертой — схему соединения обмоток низшего напряжения, цифра — угол между векторами линейных э. д. с. обмоток высшего и низшего напряжения, выраженный числом угловых единиц по  $30^\circ$ .

Так, первое обозначение группы показывает, что обмотки высшего и низшего напряжения соединены в звезду, причем обмотки низшего напряжения имеют выведенную нулевую точку и угол между векторами линейных э. д. с. обмоток высшего и низшего напряжения равен  $0 \times 30^\circ = 0^\circ$ .

Группы трехфазных трансформаторов зависят от схемы соединения обмоток, обозначения зажимов фаз обмоток высшего и низшего напряжения и от направления намотки. Если направление намотки обмоток высшего и низшего напряжения одинаково, то э. д. с., индуцируемые в фазах обмоток высшего и низшего напряжения, совпадают по фазе. Если обмотки имеют встречное направление намотки, то э. д. с. фаз высшего и низшего напряжения находятся в противофазе.

Предположим, что обмотки высшего и низшего напряжения соединены в звезду и имеют одинаковое направление намотки, что

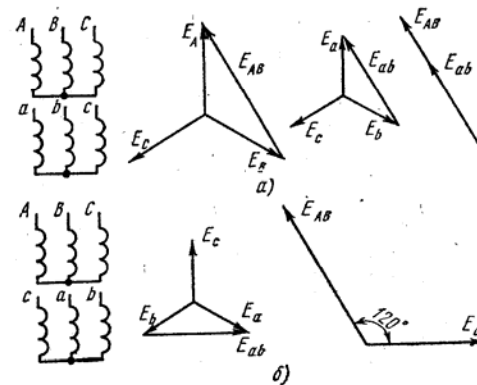


Рис. 13. Схемы соединения обмоток и векторные диаграммы э. д. с. для трансформаторов:  
а — группы 0, б — группы 4

условно показано на рис. 13, а. Тогда э. д. с., индуцируемые в фазах обмоток высшего и низшего напряжения, будут совпадать, что показано на векторной диаграмме: векторы  $E_a$  и  $E_{a'}$ ,  $E_b$  и  $E_{b'}$ ,  $E_c$  и  $E_{c'}$  параллельны. Векторы линейных э. д. с. соответствующих зажимов обмоток высшего и низшего напряжения ( $E_{AB}$  и  $E_{ab}$ ) оказались параллельны, т. е. угол между ними  $0^\circ$ , и трансформатор принадлежит группе 0.

Если изменить обозначение зажимов обмоток низшего напряжения, как показано на рис. 13, б, то при этом повернется на  $120^\circ$  звезда фазных э. д. с. обмоток низшего напряжения. В этом случае будут параллельными векторы  $E_c$  и  $E_{a'}$ ,  $E_a$  и  $E_{b'}$ ,  $E_b$  и  $E_{c'}$ , так как обмотки фаз  $c$  и  $A$ ,  $a$  и  $B$ ,  $b$  и  $C$  находятся на одних и тех же стержнях и сцеплены с одним потоком. Угол между векторами линейных э. д. с.  $E_{AB}$  и  $E_{ab}$  стал равен  $120^\circ$ , т. е. мы получили группу 4.

Если произвести еще одно изменение обозначения зажимов обмоток низшего напряжения, векторы фазных и линейных э. д. с.

обмоток низшего напряжения повернутся еще на  $120^\circ$  по часовой стрелке и мы получим группу 8.

Если обмотки низшего напряжения намотать встречно обмоткам высшего напряжения или, что то же самое, изменить обозначения начал и концов фаз низшего напряжения, то фазные э. д. с. обмоток высшего и низшего напряжения будут направлены встречно и угол между векторами линейных э. д. с.  $E_{AB}$  и  $E_{ab}$  будет равен  $180^\circ$ , т. е. мы получим группу 6. При встречном направлении намотки обмоток высшего и низшего напряжения мы можем, подобно ранее рассмотренному, провести круговое смещение зажимов и получить при этом группу 10 и группу 2.

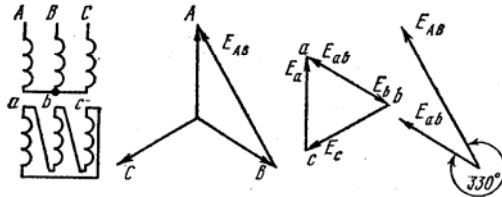


Рис. 14. Схема соединения обмоток и векторные диаграммы э. д. с. для трансформатора группы 11

Таким образом, при соединении обмоток по схеме звезда — звезда мы можем получить любую четную группу — 2, 4, 6, 8, 10, 0.

При соединении по схеме звезда — треугольник векторы фазных э. д. с. обмоток высшего и низшего напряжения, находящихся на одних стержнях сердечника, при согласном направлении намоток имеют одинаковое направление.

При соединении обмоток в треугольник линейные э. д. с. совпадают с фазными, при соединении в звезду — смещены на  $30^\circ$  по фазе относительно фазных э. д. с. Поэтому для схемы, изображенной на рис. 14, треугольники линейных э. д. с. обмоток высшего и низшего напряжения будут смещены на  $-30^\circ$  или  $+330^\circ$ , т. е. мы получили группу 11, что показано на векторной диаграмме. При круговом смещении зажимов обмоток низшего напряжения треугольник линейных э. д. с. поворачивается на  $120$  или  $240^\circ$ , т. е. мы получаем группы 3 и 7. При встречном направлении намотки обмоток низшего напряжения могут быть получены группы 1, 5 и 9.

Таким образом, при соединении обмоток по схеме звезда — треугольник или треугольник — звезда может быть получена любая нечетная группа: 1, 3, 5, 7, 9, 11.

В СССР стандартными группами являются группы  $Y/Y-0$

$Y/\Delta-11$  и  $Y/\Delta-11$ . В стандартных группах обмотки высшего напряжения соединены в звезду для уменьшения фазной э. д. с.

Фазная э. д. с. при соединении обмоток в звезду в  $\sqrt{3}$  раз меньше, чем при соединении в треугольник, так как линейные напряжения для обеих схем одинаковы. Поэтому при соединении обмоток в звезду проще изоляция обмотки высшего напряжения и обмотки имеют меньшее число витков, чем при соединении в треугольник.

Обмотки низшего напряжения в стандартных схемах преимущественно соединяют в треугольник, так как эта схема значительно менее чувствительна к несимметрии нагрузок, чем схема соединения в звезду.

Достоинством схемы звезда с нулем является возможность получения двух различных напряжений при четырехпроводной сети.

#### Контрольные вопросы

1. Расскажите о достоинствах группового трансформатора.
2. Какие схемы соединения обмоток применяют в трехфазных трансформаторах?
3. Как обозначают группы трехфазных трансформаторов?
4. От чего зависит группа трехфазного трансформатора?