

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

1. Трехобмоточный трансформатор

В трехобмоточном трансформаторе имеются три электрически не связанные друг с другом обмотки, из которых одна является первичной, а две другие — вторичными (рис.1).

Принцип работы трехобмоточного трансформатора по существу не отличается от принципа работы обычного двухобмоточного трансформатора.

Первичная обмотка этого трансформатора является намагничивающей и создает в магнитопроводе магнитный поток, который пронизывает две вторичные обмотки и наводит в них э. д. с. E_2 и E_3 .

Пренебрегая величиной тока холостого хода, можно записать уравнение токов трехобмоточного трансформатора.

$$I_1 = -(I_2 + I_3)$$

из которого следует, что первичный ток I_1 трехобмоточного трансформатора равен не арифметической, а геометрической сумме приведенных вторичных токов. Учитывая это равенство, а также и то, что трансформатор нагружен на вторичные обмотки

номинального значения не одновременно, первичная обмотка трехобмоточного трансформатора рассчитывается на такую мощность, которая должна быть меньше суммы номинальных мощностей обеих вторичных обмоток.

Целесообразность применения трехобмоточных трансформаторов объясняется еще и тем, что один трехобмоточный трансформатор фактически заменяет два двухобмоточных трансформатора.

Наличие магнитной связи между вторичными обмотками трехобмоточного трансформатора ведет к их взаимному влиянию. Так, при изменении тока I_2 меняется не только напряжение U_2 , но и напряжение U_3 .

Согласно ГОСТ 401—41 обмотки трехфазных трехобмоточных трансформаторов могут соединяться $Y_0/Y_0\Delta$ — 12 — 11 или $Y0/\Delta/\Delta$ — 11 — 11, а однофазных I/I — 12 — 12.

Выводы обмоток обозначаются, как показано в табл. 10.1. За номинальную мощность трехобмоточного трансформатора принимается мощность наиболее мощной его обмотки, т. е. мощность первичной обмотки.

Трехобмоточные трансформаторы (однофазные и трехфазные).

устанавливают на трансформаторных подстанциях.

По такому же принципу устроены многообмоточные трансформаторы малой мощности, применяемые в устройствах радио, связи и автоматики.

2. Автотрансформатор

Автотрансформатор имеет всего лишь одну обмотку, часть витков которой является общей для первичной и вторичной цепей. На рис. .2 представлена схема понижающего автотрансформатора, где общей частью обмотки является участок aX , ток в котором I_{12} . Учитывая, что токи I_1 и I_2 находятся в противофазе, получим следующее выражение тока I_{12} (13.1)

Отсюда следует, что величина тока в общей части обмотки равна разности токов I_1 и I_2 ,

Если коэффициент трансформации автотрансформатора немногим больше единицы, то токи I_1 и I_2 мало отличаются друг от друга, а их разность $I_2 - I_1$ составляет небольшую величину.

Это позволяет выполнить часть aX обмотки автотрансформатора из провода меньшего сечения. Если пренебречь потерями в автотрансформаторе, то можно принять, что мощность на входе $S_r = I_1 U_1$ и мощность на выходе $S_2 = I_2 U_2$ приблизительно равны. Эта мощность $S_1 \approx S_2$ называется *проходной мощностью* $S_{пр}$. Кроме того, различают еще *расчетную мощность* $S_{расч}$, представляющую собой мощность, передаваемую из первичной во вторичную цепь магнитным полем. Расчетной эту мощность называют потому, что размеры и вес трансформатора зависят от величины этой мощности. В трансформаторе вся проходная мощность является расчетной, так как между обмотками трансформатора существует исключительно лишь магнитная связь.

Но в автотрансформаторе между первичной и вторичной цепями, помимо магнитной связи, существует еще и электрическая связь. А поэтому расчетная мощность составляет лишь часть проходной мощности, а другая часть этой мощности переносится из первичной во вторичную цепь за счет электрической связи между цепями, без участия магнитного поля.

В подтверждение, этого разложим проходную мощность автотрансформатора $S_{пр} = I_2 U_2$ на составляющие. $\wedge$

Воспользуемся для этого выражением (13.1), из которого следует $I_2 = I_1 + I_{12}$. Подставив это в формулу проходной мощности получим

$$S_{пр} = U_2 I_2 = U_2 (I_1 + I_{12}) = U_2 I_1 + U_2 I_{12} = S_3 + S_{расч}.$$

Здесь $S_3 = I_1 U_2$ — мощность, передаваемая из первичной цепи автотрансформатора во вторичную благодаря электрической связи между этими цепями. Таким образом, расчетная мощность в автотрансформаторе $S_{расч} = U_2 I_{12}$ составляет лишь часть проходной мощности.

Это дает возможность для изготовления автотрансформатора использовать магнитопровод меньшего сечения, чем в трансформаторе равной мощности.

В связи с этим средняя длина витка обмотки также становится меньше, а

следовательно, уменьшается расход меди на выполнение обмотки автотрансформатора. Одновременно уменьшаются магнитные и электрические потери, а к. п. д. автотрансформатора повышается.

Таким образом, автотрансформатор по сравнению с трансформатором равной мощности обладает следующими преимуществами; меньшим расходом активных материалов (медь и электротехническая сталь), меньшими размерами, более высоким к.п.д., меньшей стоимостью.

Указанные преимущества автотрансформатора тем значительнее, чем больше мощность S_3 , а следовательно, чем меньше расчетная часть проходной мощности. Величина мощности S_3 обратно пропорциональна коэффициенту трансформации авто-

$$\text{трансформатора } K_A = \frac{\omega A_X}{\omega_{ax}} \quad S_3 = S_n \cdot \frac{1}{K_A} \quad (13.2)$$

S

Из графика $\sim = f(K_A)$ (рис. 13.3) видно, что применение автотрансформатора дает заметные преимущества по сравнению с двухобмоточным трансформатором лишь при небольших значениях коэффициентов трансформации.

Например, при $K_A = 1$ вся мощность автотрансформатора передается во вторичную цепь за счет электрической связи между цепями ($S_3/S_{пр} = 1$).

Наиболее целесообразно применение автотрансформаторов с коэффициентом трансформации $K \leq 2$

При большей величине коэффициента трансформации преобладающее значение имеют недостатки автотрансформатора, которые состоят в следующем:

1) большие токи короткого замыкания в случае понижающего автотрансформатора [при замыкании точек **a** и **X** (рис. 13.2) напряжение U_1 подводится лишь к небольшой части **ВИТКОВ**

A — a, которые обладают очень малым сопротивлением короткого замыкания];

2) электрическая связь стороны ВН со стороной НН; это требует усиленной электрической изоляции всей обмотки;

3) при использовании автотрансформаторов в схемах понижения напряжения между проводами сети низшего напряжения и землей возникает напряжение, приблизительно равное напряжению между проводом и землей на стороне высшего напряжения, что недопустимо по условиям безопасности эксплуатации установок.

Автотрансформаторы могут быть повышающими и понижающими, однофазными и трехфазными. В последних обмотки обычно соединяются звездой (рис. 13.4).

Широкое распространение получили автотрансформаторы с переменным коэффициентом трансформации. В этом случае автотрансформатор снабжается устройством, позволяющим регулировать величину вторичного напряжения путем изменения числа витков w_2 . Осуществляется это либо переключателем, либо с помощью скользящего контакта (щетке), перемещаемого непосредственно по зачищенным от изоляции виткам обмотки. Такие автотрансформаторы называются регуляторами напряжения и могут быть как однофазными (тип РНО), так и трехфазными (тип РНТ).

Устройство автотрансформатора типа РНО представлено на рис. 13.5.

3. Трансформатор для электродуговой сварки

Трансформатор для электродуговой сварки представляет собой однофазный понижающий трансформатор, преобразующий напряжение сети 220 или 380 В в напряжение 60—70 В, необходимое для устойчивого горения электрической дуги. Ввиду того, что сопротивление электрической дуги весьма мало, сварочный трансформатор работает в режиме, близком к короткому замыканию. Поэтому для ограничения величины тока во вторичную цепь трансформатора последовательно включают реактивную катушку РК с раздвижным сердечником (рис. 13.6, а). Наличие в схеме этой катушки влияет на форму внешней характеристики трансформатора, делая ее более крутопадающей (рис. 13.6, б). Изменяя величину воздушного зазора δ в магнитной цепи реактивной катушки, можно очень плавно менять величину индуктивного сопротивления катушки. При этом меняется угол наклона внешней характеристики, а следовательно, и величина тока: минимальному зазору соответствует наименьший ток (кривая 1), а максимальному зазору — наибольший ток (кривая 2).

4. Измерительные трансформаторы напряжения и тока

Измерительные трансформаторы применяются для расширения пределов измерения электроизмерительных приборов в цепях

переменного тока и обеспечения безопасности обслуживания последних в сетях высокого напряжения. Кроме того, измерительные трансформаторы используются для включения приборов релейной защиты.

Измерительный трансформатор напряжения применяется при измерениях в сетях переменного тока напряжением свыше 220 в. Трансформатор напряжения представляет собой понижающий трансформатор (рис. 13.7, а) с таким отношением витков в первичной и во вторичной обмотках, чтобы при номинальном первичном напряжении вторичное напряжение составило 100 в.

Во вторичную цепь трансформатора напряжения включаются вольтметры, частотомеры и обмотки напряжения ваттметров, счетчиков энергии и фазометров. Так как электрическое сопротивление этих приборов велико (порядка тысяч ом), то трансформатор напряжения обычно работает в режиме, близком к режиму холостого хода. Это дает возможность пренебречь падением напряжения в обмотках и принять

$$U_1 = -E_2 = E_2,$$

А так E_1 E_2 то напряжения в первичной обмотке

$$U_1$$

Здесь K_n — коэффициент трансформации трансформатора напряжения. Измерительные трансформаторы изготавливаются однофазными и трех- фазными на первичное напряжение от 380 до 400 000 в. В трехфазных измерительных трансформаторах напряжения применяется группа соединения 12.

При напряжении до 3000 в трансформаторы напряжения делаются сухими.

При напряжениях более 3000 в трансформаторы напряжения делаются масляными, что необходимо для большей электрической прочности изоляции обмоток.

В целях безопасности один из выводов вторичной обмотки и кожух трансформатора напряжения заземляются.

Измерительный трансформатор тока применяется для включения амперметров и обмоток тока ваттметров, счетчиков энергии и фазометров.

Первичная обмотка трансформатора тока выполняется из провода большого сечения и включается в сеть последовательно (рис. 13.7, б). Количество витков в обмотках трансформатора выбирается таким, чтобы при номинальном токе в первичной обмотке ток во вторичной цепи был 5 а.

Так как электрическое сопротивление приборов, включаемых во вторичную цепь, незначительно, то режим работы трансформатора тока

близок к режиму короткого замыкания, при котором магнитный поток в магнито-• проводе (§ 11.2) настолько мал, что им можно пренебречь. Тогда, по аналогии с уравнением токов (11.12), для опыта короткого замыкания можно записать следующее равенство для трансформатора тока

$$I_1 = -I_2 = -$$

откуда

$$I_1 = -K_{\text{т}} I_2$$

где $K_{\text{т}}$ — коэффициент трансформации трансформатора тока.

При включении трансформатора тока в сеть заземляются кожух и один вывод вторичной обмотки.

Если во время работы трансформатора тока разомкнуть его вторичную обмотку, то ток в ней станет равен нулю, а первичный ток останется прежним. При этом он будет полностью намагничивающим и вызовет значительное увеличение магнитного потока. Магнитные потери возрастут пропорционально квадрату потока, что приведет к перегреву магнитопровода, опасному для целостности изоляции. В итоге это может привести электрическую линию к короткому замыканию на землю. Кроме того, э.д.с. вторичной обмотки возрастет пропорционально магнитному потоку и достигнет значений, опасных для обслуживающего персонала.* Поэтому размыкание вторичной цепи трансформатора тока при наличии тока в первичной обмотке является недопустимым. При необходимости отключить прибор нужно зажимы вторичной обмотки трансформатора тока предварительно замкнуть накоротко.

5. Трансформатор для преобразования числа фаз переменного тока

В процессе преобразования переменного тока в постоянный, а также при питании электропечных установок и в ряде других случаев возникает необходимость в преобразовании числа фаз переменного тока. На рис. 13.8, а приведена схема трансформатора, посредством которого

трехфазная система преобразуется в шестифазную. На первичной стороне этого трансформатора имеются три фазные обмотки, соединенные в трехфазную звезду, а на вторичной стороне — шесть фазных обмоток, соединенных в шестифазную звезду.

Имеются также трансформаторы для преобразования трехфазной системы в двенадцатифазную. Схема соединения обмоток такого трансформатора приведена на рис. 13.8, б.

6. Стабилизатор напряжения

Стабилизаторы напряжения применяются в случае необходимости поддерживать неизменным напряжение в цепях различных электротехнических устройств.

Для стабилизации напряжения в устройствах небольшой мощности применяются электромагнитные стабилизаторы. Существует несколько типов

электромагнитных стабилизаторов, из которых основными являются:

а) ферромагнитные стабилизаторы насыщенного типа (без емкости), в которых используются явления, основанные на насыщении ферромагнитного сердечника;

схема бар

б) феррорезонансные стабилизаторы (с емкостью), работа которых основана на феррорезонансе токов.

Ферромагнитный стабилизатор представляет собой трехстержневой магнитопровод, на среднем стержне которого располагается первичная обмотка w_1 (рис. 13.9, а). На правом стержне, находящемся в состоянии сильного магнитного насыщения, расположена вторичная обмотка w_2 , а на левом стержне, магнитно не насыщенном, расположена компенсационная обмотка w_k . При колебаниях напряжения происходят изменения магнитного потока в среднем стержне, однако поток в правом стержне изменяется весьма незначительно, так как правый стержень находится в состоянии магнитного насыщения. Поэтому также незначительны и изменения напряжения U_2 на выходе вторичной обмотки стабилизатора (кривая 1 на рис. 13.9, б).

Незначительные изменения напряжения U_2 компенсируются за счет напряжения U_k компенсационной обмотки w_k , зависимость которого от напряжения U_1 представлена прямой 2.

При правильном подборе параметров обмоток и магнитопровода стабилизатора угол наклона α прямолинейного участка кривой 1 равен углу наклона прямой 2. В этом случае напряжение на выходе стабилизатора

$$U_2 = U_2 + U_k$$

оказывается стабилизированным. Так, при колебаниях первичного напряжения U_1 в пределах $\pm 20\%$ от номинального и при неизменной нагрузке и частоте выходное напряжение колеблется в пределах $\pm 0,3\%$. Ферромагнитные стабилизаторы напряжения имеют низкие технико-экономические показатели: низкий к.и.Д. (40—60%), низкий коэффициент мощности (порядка 0,4), несинусоидальное выходное напряжение, содержащее ярко выраженную третью гармонику. Кроме того, величина выходного напряжения в значительной степени зависит от частоты тока. Указанные недостатки ограничивают применение ферромагнитных стабилизаторов.

Несколько лучшими свойствами обладают феррорезонансные стабилизаторы напряжения.

Рассмотрим работу феррорезонансного стабилизатора. Стабилизатор

(рис. 13.10, *a*) .состоит из реактивной катушки 1, сердечник которой при заданном диапазоне напряжений (I_x работает в состоянии магнитного насыщения, конденсатора C и автотрансформатора 2, магнитопровод, которого не насыщен.

Обмотка автотрансформатора включена таким образом, чтобы напряжение на выходе стабилизатора U_2 было равно разности

$$U_2 = U'_2 - U_2,$$

где U_2 —напряжение на выходе автотрансформатора;

U'_2 —напряжение на выводах реактивной катушки.

Напряжение на зажимах катушки U_2 благодаря явлению резонанса токов имеет резко нелинейную зависимость от тока I_1 (рис. 13.10, *б*, кривая. 1). Напряжение на выходе автотрансформатора U_2 ввиду ненасыщенного состояния его магнитопровода пропорционально току I_1 (прямая 2). Если параметры автотрансформатора и реактивной катушки подобраны таким образом, что наклон a кривой 1 к оси абсцисс в области магнитного насыщения равен наклону прямой 2, то разность напряжений $U_2 - U'_2 = \text{const}$. В этом случае напряжение на выходе стабилизатора U_2 не зависит от тока (кривая 3), а следовательно, и от напряжения U_1 . Диапазон стабилизации обычно не превышает 30% от номинального значения U_1 .

К.п.д. феррорезонансных стабилизаторов достаточно высок и составляет 80—85%.

К недостаткам феррорезонансных стабилизаторов следует отнести: зависимость выходного напряжения от частоты тока в сети и от $\cos \phi$ нагрузки (но в меньшей степени, чем у ферромагнитных стабилизаторов), а также заметную несинусоидальность выходного напряжения за счет составляющей третьей гармоники.

Указанные недостатки стабилизаторов можно значительно снизить введением в цепь компенсирующих контуров.

7. Трансформатор для преобразования частоты

Наиболее широкое распространение получили такие трансформаторы, при помощи которых возможно удвоение или утроение частоты переменного тока.

Рассмотрим работу трансформатора для преобразования частоты, посредством которого осуществляется увеличение частоты переменного тока в три раза. Такой трансформатор называется *утроителем частоты*. Он состоит из трех однофазных трансформаторов, работающих при сильно насыщенном магнитопроводе. Первичные обмотки трансформаторов соединены звездой, а вторичные — последовательно (рис. 13.11).

Как было показано в § 10.8, намагничивающий ток трансформатора, помимо основной, содержит третью гармонику с частотой $I_3 = 3I_1$.

Далее было показано, что при соединении обмоток звездой токи третьей гармоники взаимно уравниваются и тогда в составе магнитного потока появляется третья гармоника Φ_3 . В

трехстержневом магнитопроводе потоки этой гармоники ослаблены.

Φ_3 в них достигают значительных величин и наводят во вторичных обмотках э.д.с. третьей гармоники

e_3 . Так как э.д.с. e_y во всех фазных обмотках совпадают по фазе, то на выходе утроителя частоты устанавливается напряжение U_3 , равное алгебраической сумме э.д.с. e_3 , частотой $f_3 = 3f_1$. Что же касается э.д.с. первой гармоники, то хотя она и наводится в фазных обмотках утроителя, но в составе напряжения на выходе утроителя она отсутствует, так как при сдвиге фаз между э.д.с. в 120° их алгебраическая сумма равна нулю

Для снижения падения напряжения во вторичных обмотках при нагрузке последовательно с обмотками включают конденсатор C , емкость которого компенсирует индуктивность обмоток.

Увеличение частоты в большее число раз можно осуществить применением нескольких трансформаторов для преобразования частоты, включенных один за другим (каскадно). Однако этот способ повышения частоты экономически нецелесообразен, так как связан со значительной затратой активных материалов.

8. ТРЕХОБМОТОЧНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Если необходимо получить несколько напряжений, то вместо требующихся для этого нескольких отдельных двухобмоточных трансформаторов с различными коэффициентами трансформации может быть использован многообмоточный трансформатор.

Это позволяет упростить и удешевить трансформаторную подстанцию.

Процессы, происходящие в двухобмоточных трансформаторах, можно обобщить и вывести общие уравнения, описывающие процессы, происходящие в многообмоточном трансформаторе.

Пусть трансформатор имеет n обмоток (рис. 45). Для такого // - обмоточного трансформатора справедливы уравнения равно* весия э. д. с. и уравнение равновесия н. с. (намагничивающих сил).

Обозначим через $I_1, I_2, \dots, I_n$ токи, протекающие в обмотках трансформатора, а через $w_1, w_2, \dots, w_n$ числа витков соответствующих обмоток. Согласно закону магнитного равновесия получим:

$$I_1 w_1 + I_2 w_2 + I_3 w_3 + \dots + I_n w_n = I_0 w_1,$$

т. е. сумма намагничивающих сил всех обмоток равна намагничивающей силе холостого хода. Намагничивающая сила первичной обмотки создает магнитный поток и компенсирует размагничивающее действие всех остальных обмоток.

Рассмотрим трехобмоточные трансформаторы, имеющие широкое распространение. Опыт холостого хода трехобмоточного трансформатора, когда обе вторичные обмотки разомкнуты, ничем не отличается от опыта холостого хода обычного двухобмоточного трансформатора и позволяет определить ток холостого хода I_0 , потери холостого хода P_0 и коэффициенты трансформации.

В данном случае мы получим два коэффициента трансформации R_{12} и R_{13} между первичной и первой вторичной обмотками и между первичной и второй вторичной (часто называемой третичной) обмотками трансформатора.

По общему правилу

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} \quad \frac{E_1}{E_3} = \frac{w_1}{w_3}$$

По известным двум коэффициентам трансформации можно определить

третий — k_{23} между второй и третьей обмотками:

$$\begin{array}{ccc} u_{23} & \frac{E_1}{23} & \frac{w_2}{w_3} \\ & \frac{w_1}{w_3} & \frac{k_{12}}{k_{13}} \end{array} \quad \begin{array}{c} *13 \\ * \\ * \end{array}$$

Чтобы определить параметры короткого замыкания, производят три опыта короткого замыкания, а именно:

- а) между обмотками 1 и 2
при разомкнутой обмотке 3;
- б) между обмотками 1 и 3
при разомкнутой обмотке 2;
- в) между обмотками 2 и 3
при разомкнутой обмотке 1.

Пусть r_1, r_2, r_3 — активные сопротивления и x_1, x_2, x_3 — индуктивные сопротивления соответствующих обмоток. В двухобмоточных трансформаторах индуктивные сопротивления обмоток определяются потоками рассеяния этих же обмоток. В трехобмоточных трансформаторах индуктивные сопротивления обмоток определяются некоторым эквивалентным потоком рассеяния, состоящим из потока рассеяния данной обмотки и двух других обмоток.

Обозначим через r_2, r_3, x_2, x_3 активные и индуктивные сопротивления обмоток 2 и 3, приведенные к первичной; через $r_{k12}, r_{k13}, r_{k23}, x_{k12}, x_{k13}, x_{k23}$ — активные и индуктивные сопротивления короткого замыкания, полученные из трех опытов короткого замыкания.

Для трехобмоточного трансформатора, так же как и для двухобмоточного, можно построить эквивалентную схему (рис. 46).

Наиболее широко распространены трехобмоточные трансформаторы, имеющие одну первичную и две вторичные обмотки. Как видно из эквивалентной схемы такого трансформатора, характерной его особенностью является взаимное влияние вторичных обмоток. Если изменяется нагрузка в одной из обмоток (например, первой вторичной), то изменяется напряжение не только этой обмотки (U_2), но и напряжение на другой вторичной обмотке (U_3). Это объясняется тем, что изменение тока в какой-либо одной вторичной обмотке вызывает соответствующее изменение тока в первичной обмотке и в результате изменения падения напряжения в полном сопротивлении первичной обмотки меняются как э. д. с., так и напряжения всех вторичных обмоток.

В конструктивном отношении трехобмоточные трансформаторы подобны двухобмоточным. На магнитопроводе трехобмоточного трансформатора помещены три обмотки—высшего напряжения, среднего напряжения и низшего напряжения. На стержне магнитопровода обмотки могут располагаться различным образом.

Ближе к стержню может быть расположена обмотка НН, СН или ВН (рис. 47, *а, б, в*). Расположение обмотки ВН около стержня нецелесообразно, так как очень сложно осуществить изоляцию ее от магнитопровода. Также из конструктивных соображений ее располагают обмотки ВН между обмотками СН и НН (рис. 47, *г*), так как при таком расположении нужно 'было бы изолировать обмотку ВН от двух обмоток. При расположении обмотки ВН на периферии (рис. 47, *а* и *б*) индуктивные сопротивления рассеяния и напряжения короткого замыкания между обмотками ВН и какой-либо другой (СН и НН) будут меньше для той обмотки, которая расположена ближе к обмотке ВН.

Номинальной мощностью трехобмоточного трансформатора называется мощность его наиболее мощной обмотки, которой всегда является обмотка ВН. Если мощность одной из вторичных обмоток трехобмоточного трансформатора невелика, изготавливать его неэкономично. Поэтому мощности обмоток ВН, СН и НН в процентах от номинальной мощности трехобмоточного трансформатора обычно составляют: 1) 100, 100, 100; 2) 100, 100, 66,7; 3) 100, 66,7, 100; 4) 100, 66,7, 66,7.

Трехфазные трансформаторы также выполняют трехобмоточными либо с соединением обмоток ВН и СН в звезду, а обмотки НН в треугольник, либо с соединением обмотки ВН в звезду, а обмоток СН и НН в треугольник. Схемы соединения обмоток,

Схе соединения			Диаграммы			Условны е
ВН	СН	НН	ВН	сн	НН	
	1	1	А	А	>	
	I	I	Л	t>	D>	1 1 "H"

Рис. 48. Схемы соединения обмоток, диаграммы векторов фазных э. д. с. и условные обозначения трехфазных трехобмоточных стандартных трансформаторов

диаграммы векторов фазных э. д. с. и условные обозначения трехфазных трехобмоточных трансформаторов показаны на рис. 48.

Трехобмоточные трансформаторы обычно строят на большие мощности: трехфазные на 5600—31 500 *кв*а и однофазные на 5000—40 000 *кв*а при напряжении обмоток ВН—110—121 *кв*, СН—34,5 —38,5 *кв* и НН—3,15 — 15,75 *кв*.

В некоторых случаях применяют трехобмоточные трансформаторы с двумя первичными и одной вторичной обмотками. Такие трансформаторы используют на крупных электрических станциях, когда возникает необходимость в работе двух или трех генераторов на общую линию электропередачи через один мощный повышающий трансформатор. Иногда также трансформаторы имеют две первичные обмотки с различными номинальными напряжениями.

9. ТРАНСФОРМАТОРЫ С РЕГУЛИРУЕМЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

Напряжение, получаемое от трансформатора, приходится изменять в некоторых пределах, т. е. регулировать в распределительных сетях, выпрямительных устройствах, в схемах работы нескольких сетей, для пуска в ход и регулирования скорости вращения асинхронных двигателей и во многих других случаях. Часто наоборот надо получить постоянное по величине вторичное напряжение при меняющемся первичном. В обоих случаях требуется менять коэффициент трансформации.

Наиболее простым способом изменения коэффициента трансформации трансформатора или автотрансформатора является изменение числа витков соответствующей обмотки, для чего выполняют несколько отводов на ней. С помощью переключателя изменяют число витков обмотки, а следовательно, и вторичное напряжение трансформатора или автотрансформатора (см. § 19).

Недостатком такого способа изменения напряжения является

необходимость отключения трансформатора от сети. Если бы начали регулировать напряжение под нагрузкой, то при изменении числа витков обмотки трансформатора ^{Рис. 49.} ^{ПРИН-} либо происходил бы на некоторое время разрыв ма[^]лаборатор- цепи в переключателе (что являлось бы аварий- **ного автотранс-** ным состоянием ввиду большой мощности дуги, **форматора** возникшей в месте разрыва), либо часть витков (ЛАТР) оказалась «бы замкнутой накоротко (что повело бы >к созданию чрезмерно больших токов и выходу трансформатора из строя).

Так как разрыв цепи недопустим, то для ограничения токов короткого замыкания на время переключения витков в цепь короткозамкнутых витков вводят активные или реактивные сопротивления. Существуют схемы, позволяющие ограничить токи короткозамкнутых витков. Однако такие регуляторы, естественно, приводят к усложнению конструкции трансформатора, а следовательно, и к его удорожанию.

Автотрансформаторную схему с регулируемым напряжением применяют в лабораторных автотрансформаторах (ЛАТР) небольшой (0,5—5 *кВа*) мощности для получения напряжения 0—250 *В* при напряжении сети 127 или 220 *В*. Напряжение на выходе у этих трансформаторов меняется плавно в результате передвижения контактного угольного ролика непосредственно по виткам обмотки, намотанной в один слой на тороидальный магнитопровод.

Таким образом, ЛАТР представляет собой автотрансформатор, часть витков обмотки которого оголена (рис. 49). По оголенным проводам перемещается угольная щетка (ролик). Угольную щетку делают такой ширины, чтобы она могла перекрывать не более двух-трех проводов, т. е. чтобы не более одного-двух витков замыкалось щеткой накоротко. Большое переходное сопротивление между проводами обмотки ЛАТР и угольной щеткой ограничивают ток короткозамкнутого витка. ЛАТР широко

используют в схемах электропитания радиоустройств, в лабораторном оборудовании и т. д.

Регулировать вторичное напряжение ($U_2 — E_2 = 4,44 \omega_2 f \Phi_m$) трансформатора можно не только путем изменения числа витков обмотки (первичной или вторичной), но также и изменением магнитного потока. Для изменения магнитного потока, а следовательно, и вторичного напряжения под нагрузкой используют или перемещаемые катушки, или подвижные магнитопроводы трансформаторов. Наиболее часто используют трансформатор с подвижной короткозамкнутой катушкой (трансформатор Норриса),

который позволяет плавно изменять напряжение на выходе в широких пределах без отключения нагрузки.

Трансформатор с короткозамкнутой катушкой имеет удлиненный стальной магнитопровод с узким длинным окном (рис. 50). Чаще трансформатор выполняют по схеме автотрансформатора (рис. 51). На магнитопроводе размещена обмотка трансформатора, состоящая из двух катушек **1** и **2** с одинаковым числом витков. Одна из катушек (катушка **1**) является и вторичной обмоткой трансформатора. Катушки **1** и **2** намотаны так, что магнитные потоки (Φ_1 и Φ_2), создаваемые н. с. этих катушек, в любой момент времени равны и направлены навстречу. Поэтому по магнитопроводу они замкнуться не могут и вынуждены замыкаться через воздушное пространство в средней части окна магнитопровода. Поверх обмоток **1** и **2** намотана короткозамкнутая катушка **К**, которая может перемещаться по высоте стержня от крайнего нижнего до крайнего верхнего положения.

Если катушка **К** находится в средней части между катушками **1** и **2**, то она не оказывает никакого влияния на них, так как находится между двумя равными и противоположно направленными магнитными потоками Φ_1 и Φ_2 и имеет с ними весьма слабое сцепление. Таким образом, в этом случае приложенное напряжение уравнивается противо- э. д. с. катушек **1** и **2** (если пренебрегать падением напряжения в сопротивлениях этих катушек), т. е.

$$U_1 \approx -E_1 - E_2$$

Катушки **1** и **2** находятся в одинаковых магнитных условиях, следовательно, равны их э. д. с., т. е.

$$E_1 = E_2 \quad E_1 =$$

Вторичное напряжение, примерно равное э. д. с. катушки **1**, в рассматриваемом случае вдвое меньше приложенного напряжения, т. е.

Если мы переместим короткозамкнутую катушку в крайнее нижнее положение, витки этой обмотки будут сцеплены со всем потоком Φ_2 , что значительно его уменьшит, э. д. с. катушки **2** также уменьшится до малой величины. Для упрощения дальнейшего рассмотрения будем считать, что э. д. с. катушки **2** при крайнем положении короткозамкнутой катушки уменьшится до 0, т. е. $E_2 = 0$. Тогда $U_1 \approx -E_1$, т. е. вторичное напряжение равно первичному:

$$U_2 = E_1 \approx U_1$$

При положении короткозамкнутой катушки в какой-либо промежуточной точке между средним и крайним нижним положениями нет полной компенсации потока Φ_2 и э. д. с. катушки **2** не равна нулю, так что вторичное напряжение меньше напряжения сети. Изменяя положение короткозамкнутой катушки от среднего по высоте стержня до крайнего

нижнего, можно получить на выходе регулятора любое напряжение от $0,5 U_1$ до U_1 . Если короткозамкнутая катушка находится в крайнем верхнем положении и сцеплена со всем потоком Φ , то э. д. с. катушки **1** уменьшается примерно до нуля, так что вторичное напряжение примерно равно нулю, т. е.

$$U_2 \approx E_1 \approx 0.$$

При положении короткозамкнутой катушки в какой-либо промежуточной точке между средним и крайним верхним положениями нет полной компенсации потока Φ_1 и выходное напряжение не равно нулю. Таким образом, перемещая короткозамкнутую катушку от среднего до крайнего верхнего положения по высоте стержня на выходе регулятора можно получить любое напряжение от $0,5 U_1$ до 0.

Следовательно, в зависимости от положения короткозамкнутой катушки, вторичное напряжение трансформатора может быть изменено от 0 до U_1 . Перемещение катушки **К** по сердечнику осуществляется с помощью червячной передачи.

Достоинством регулятора является плавное и практически равномерное изменение выходного напряжения. Такие трансформаторы широко применяют в электропитающих устройствах радиосвязи для регулирования напряжения накала ламп, регулирования анодного напряжения выпрямительных устройств, а также в специальных электроустановках. Так, например, трансформаторы с подвижной короткозамкнутой катушкой используют для регулирования напряжения накала ламп звезд Московского Кремля.

Недостатком такого трансформатора является большой намагничивающий ток (так как магнитный поток замыкается через значительный воздушный промежуток), большие индуктивные сопротивления обмоток (так как здесь велики потоки рассеяния) и низкий коэффициент мощности.

Для регулирования напряжения в высоковольтных сетях применяют вольтодобавочные трансформаторы (рис. 52). Первичная обмотка таких трансформаторов получает электроэнергию от особого регулируемого • трансформатора, вторичное напряжение которого изменяется каким-либо способом (например, переключением витков). Вторичная обмотка вольтодобавочного трансформатора должна быть изолирована на полное напряжение линии. В зависимости от фазы вторичного напряжения вольтодобавочного трансформатора напряжение сети U_1 может быть увеличено или⁸⁷ уменьшено на величину напряжения вторичной обмотки U_2 трансформатора.

Достоинство вольтодобавочных трансформаторов заключается в том, что процесс регулирования напряжения производится в сети низкого напряжения и это позволяет снизить стоимость аппаратуры, необходимой для регулировки напряжения.

10. СВАРОЧНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Сварочные трансформаторы применяют для контактной и дуговой электросварки. Короткое замыкание вторичной обмотки трансформатора является нормальным режимом работы при контактной сварке (при соприкосновении электродов) и часто возникает при дуговой сварке. Сварочные трансформаторы строятся с целью ограничения токов короткого замыкания с большим индуктивным сопротивлением и поэтому имеют сравнительно низкий коэффициент мощности.

Индуктивное сопротивление обмоток сварочного трансформатора может быть увеличено либо применением специальной конструкции обмоток, либо включением дополнительной индуктивности в цепь вторичной (или первичной) обмотки. Увеличение индуктивных сопротивлений обмоток в самом трансформаторе достигается увеличением потоков рассеяния, для чего обмотки трансформатора размещают или на разных стержнях магнитопровода, или в различных местах по высоте стержня. Включение магнитных шунтов в магнитопровод (рис. 53) также резко увеличивает потоки рассеяния и индуктивное сопротивление обмотки.

Трансформаторы для контактной сварки делают со вторичной обмоткой, состоящей из одного витка, напряжение на которой 1—14 в. Для регулирования тока, протекающего через свариваемую деталь, первичная обмотка сварочного трансформатора имеет несколько выводов; их переключение позволяет изменять число витков обмотки.

В настоящее время наиболее широко распространены сварочные трансформаторы, предназначенные для дуговой электросварки. Такие трансформаторы строят на вторичное напряжение 60—70 в (напряжение зажигания дуги). Особенностью работы этих трансформаторов является прерывистый режим работы с резкими переходами от холостого хода к короткому замыканию и обратно. Для устойчивого и непрерывного горения дуги необходимы незначительные изменения тока и значительная индуктивность в сварочной цепи.

Для регулирования тока в сварочной цепи последовательно со

вторичной обмоткой трансформатора включают индуктивную катушку со стальным сердечником (рис. 54). Величина сварочного тока зависит от диаметра электрода и регулируется реактивным сопротивлением индуктивной катушки, которое, в свою очередь, зависит от величины воздушного зазора б. Увеличение воздушного зазора в магнитопроводе индуктивной катушки вызывает уменьшение ее реактивного сопротивления, вследствие чего ток сварочной цепи увеличивается. Иногда индуктивные катушки совмещаются в одно целое со сварочным трансформатором.