

С.С. ПОПОВИЧ, студент (КузГТУ)

Научный руководитель Т.Л. ДОЛГОПОЛ, старший преподаватель
(КузГТУ)
г. Кемерово

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ СО СХЕМОЙ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК «ЗИГЗАГ»

В системах электроснабжения бытовых потребителей преобладает однофазная нагрузка, что обуславливает несимметричные режимы работы электрических сетей и электрооборудования. Несимметричные режимы в электрических сетях возникают по следующим причинам:

- неравномерное распределение нагрузки по фазам;
- случайный характер однофазных нагрузок.

Различают два вида несимметрии: систематическую и вероятностную, или случайную. Систематическая несимметрия обусловлена неравномерной постоянной перегрузкой одной из фаз, вероятностная несимметрия соответствует непостоянным нагрузкам, при которых в разное время перегружаются разные фазы в зависимости от случайных факторов (перемежающаяся несимметрия).

Наличие несимметрии приводит к появлению токов нулевой последовательности (уравнительных токов), которые протекают по обмоткам трансформаторов вместе с токами нагрузки и вызывают дополнительные потери электроэнергии в них.

Для уменьшения несимметрии нагрузки фаз в системах электроснабжения с преобладающей однофазной нагрузкой целесообразно использовать трансформаторы со схемой соединения обмотки «зигзаг», которая обозначается буквой – Zn и используется только на низшей стороне (НН) распределительных трансформаторов.

Рассмотрим подробнее конструкцию данного вида обмотки. Для выполнения соединения зигзаг каждую фазу обмотки делят на две части, располагая их на разных стержнях магнитной системы трансформатора. Указанные части обмоток соединяют так, чтобы конец одной половины фазной обмотки был присоединен к концу другой части этой же обмотки, расположенной на другом стержне (рисунок 1). Так при режиме однофазного короткого замыкания токи нулевой последовательности протекают лишь по вторичной обмотке трансформатора, однако магнитного потока нулевой последовательности они не создают, что объясняется особенностью схемы «зигзаг».

Эта особенность состоит в том, что на каждом стержне трансформатора расположено по одной вторичной полуобмотке двух разных фаз.

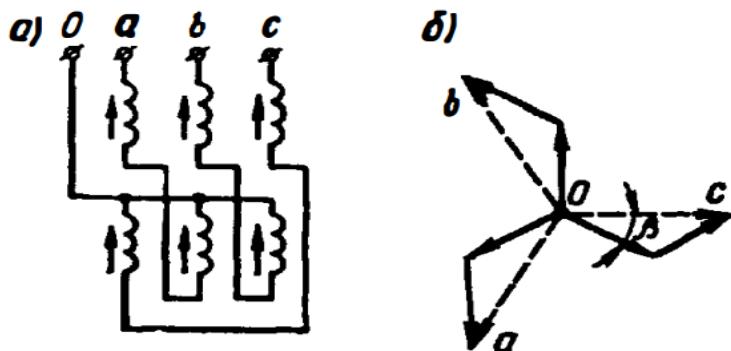


Рис. 1. Соединение обмоток по схеме зигзаг

Соединение вторичной обмотки понижающего трансформатора в зигзаг обес печивает более равномерное распределение несимметричной нагрузки НН между фазами первичной сети высшего напряжения (ВН). При этом обеспечиваются наиболее благоприятные условия работы трансформатора.

Поясним это на следующем примере. Если на одной из фаз (например, фазе А) возникает повышенный ток из-за несимметрии нагрузки происходит образование магнитодвижущей силы (МДС) причём не только на своей фазе ВН, но и на соседней фазе ВН, потому что вторая часть обмотки (фазы А) находится на другом стержне (например, фазе В). Это в свою очередь означает что несимметрия нагрузки распределяется между двумя фазами обмотки ВН, а не концентрируется на одной.

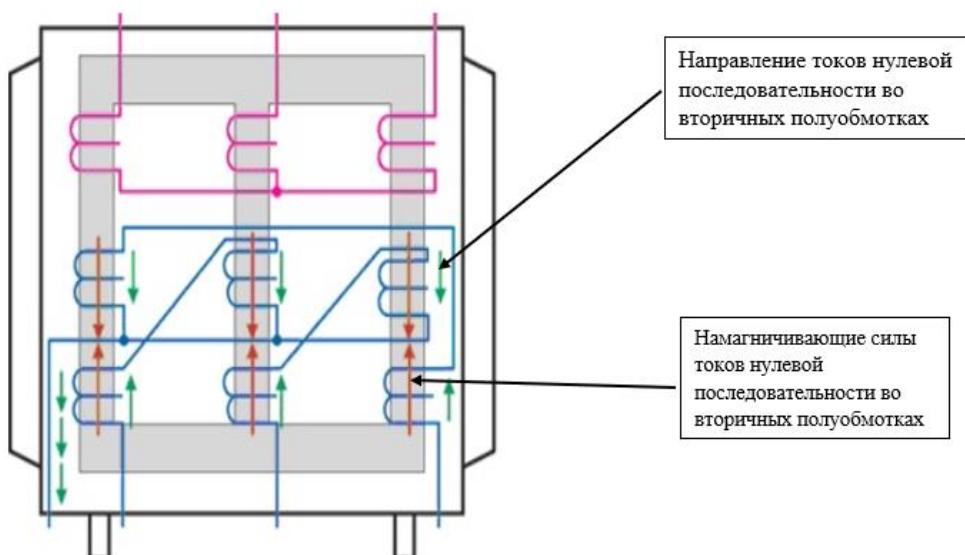


Рис. 2. Направления токов и магнитных потоков нулевой последовательности в трансформаторе со схемой соединения обмоток «звезда-зигзаг»

В настоящее время трансформаторы со схемой соединения обмоток «зигзаг» не являются широко распространённым видом электрооборудования ввиду некоторых факторов, таких как:

- сложность конструкции и изготовления. Сложность заключается в том, что такая обмотка состоит из двух половинок на каждом стержне магнитопровода, соединённых между собой, а это в свою очередь требует более сложной намотки и более точного соблюдения геометрии, что увеличивает стоимость производства;

- больше затраты активного металла (меди или алюминия), т.к. для получения такого же уровня напряжения необходимо на 15% увеличивать число витков обмотки низшего напряжения;

- трансформаторы со схемой зигзаг имеют большие потери короткого замыкания (потери в обмотках), чем трансформаторы с традиционной схемой соединения обмоток (звезда-звезда) из-за большего числа витков в их конструкции.

В качестве примера приведено сравнение трансформаторов с традиционной схемой соединения обмоток и схемой «зигзаг» в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики трансформаторов

Обозначения	ТМГ-40		ТМГ-63		ТМГ-100	
S_H , кВА	40		63		100	
U , кВ	6; 10/0,4	6; 10/0,4	6; 10/0,4	6; 10/0,4	6; 10/0,4	6; 10/0,4
P_{xx} , кВ	260	260	340	340	400	400
P_{k3} , кВ	980	1200	1480	1600	2400	2500
U_{k3} , %	4,5	5,0	4,5	5,2	4,5	5,2
I_{k3} , %	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Схема и группы со- единения об- моток	Y/Y_H -0 Δ/Y_H -0	Y/Z_H -11	Y/Y_H -0 Δ/Y_H -0	Y/Z_H -11	Y/Y_H -0 Δ/Y_H -0	Y/Z_H -11

По данным параметров трансформаторов видно, что у трансформаторов со схемой «зигзаг» значения потерь короткого замыкания больше, чем у трансформаторов с традиционной схемой соединения обмоток.

Эту зависимость можно представить виде диаграммы (Рис. 3).

Приведём значения потерь короткого замыкания в процентном соотношении:

- для трансформатора ТМГ-40 потери короткого замыкания со схемой соединения «зигзаг» превышает потери короткого замыкания в трансформаторах с традиционной схемой соединения обмоток примерно на 22,5%;

- для трансформатора ТМГ-63 потери короткого замыкания со схемой соединения «зигзаг» превышает потери короткого замыкания в трансформаторах с традиционной схемой соединения обмоток примерно на 8,1%;

- для трансформатора ТМГ-100 потери короткого замыкания со схемой соединения «зигзаг» превышает потери короткого замыкания в трансформаторах с традиционной схемой соединения обмоток примерно на 4,2%.

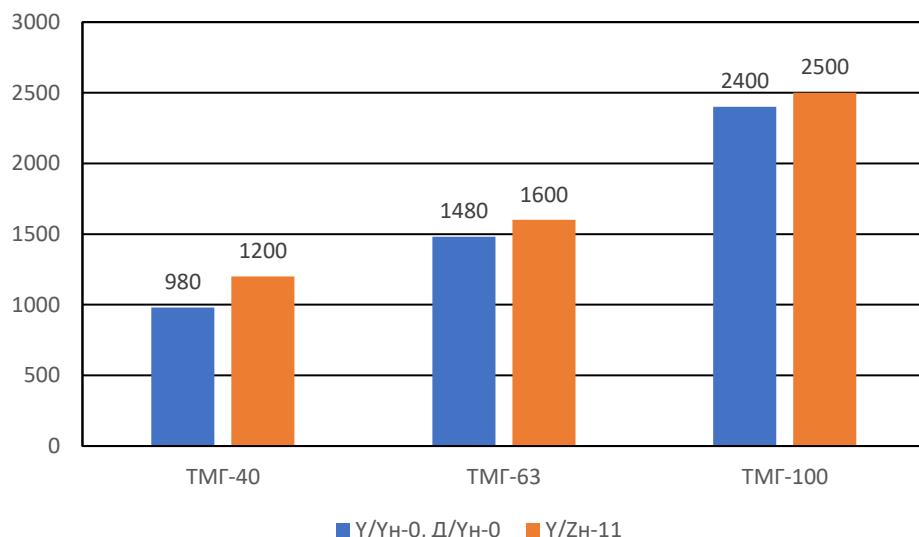


Рис. 3. Разница потерь короткого замыкания в трансформаторах с традиционной схемой соединения обмоток и схемой «зигзаг»

По полученным данным видно, что с ростом номинальной мощности трансформатора разница потерь короткого замыкания всё также остается, однако их превышение значительно уменьшается. Это говорит о том, что трансформаторы со схемой соединения обмоток «зигзаг» следует выполнять с большой мощностью, где относительный прирост потерь минимален.

Безусловно целесообразность использования трансформаторов со схемой зигзаг напрямую зависит от степени несимметрии нагрузки фаз и времени ее существования, которая обусловит величину дополнительных потерь в обмотках. Несмотря на минусы данной обмотки ее можно считать узкоспециализированным решением, которое оправдано только в тех системах электроснабжения, в которых преобладает однофазная нагрузка.

Список литературы:

1. Кацман, М.М. Электрические машины: Учеб. для студентов сред. проф.учебных заведений. – 3-е изд., испр. – М.: Высш. шк.; Издательский центр «Академия»; 2001. – 463с.: ил.

**VIII Международная молодежная научно-практическая
конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

241-5

21-22 ноября 2025 г.

2. Филатова, А.А. Обслуживание электрических подстанций оперативным персоналом. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 304 с.: ил.

Информация об авторах:

Попович Степан Сергеевич, студент, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, stepaaz123546769@gmail.com

Долгопол Татьяна Леонидовна, старший преподаватель, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, dtl.egpp@kuzstu.ru