

ние тому, как влияет «планетарная механика» на нашу земную жизнь. И мой отец, твёрдо стоящий ногами на земле и занимающийся сельским хозяйством, смело посмотрел со мной в небо. Он внимательно слушал мои научные идеи, вселяя уверенность, и оказался тем близким по духу человеком, который принял и поддержал мои дерзновения. И мне пришлось в какой-то мере начать утверждать «новый путь» в науке, защитив диссертацию, как когда-то в молодости мой отец формировал новую специальность.

Наука – это заразительный способ существования, когда в сердце живёт любимый и добрый образ масштабной личности, которой был мой отец. И этот его юбилей – 100 лет неодинокства.

**Прищепов М.А., д.т.н., доцент,
Протосовицкий И.В., к.т.н., доцент,
Збродыга В.М., к.т.н., доцент, Зеленькевич А.И., к.т.н.
УО «Белорусский государственный аграрный технический
университет», Минск, Республика Беларусь**
**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
В АПК ПРИМЕНЕНИЕМ ТРАНСФОРМАТОРОВ
СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ СХЕМАМИ СОЕДИНЕНИЯ
ОБМОТОК**

В системах электроснабжения электрооборудование, аппараты и другие технические средства находятся в общей для них электромагнитной среде. Одновременно с производством, трансформированием и передачей электрической энергии происходит генерирование, распространение и воздействие электромагнитных помех. Все технические средства, находящиеся в общей электромагнитной среде, могут являться источниками электромагнитных помех, и одновременно на них влияют помехи, создаваемые другими источниками. Поэтому возникает задача их электромагнитной совместимости, под которой понимается способность технического средства функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам.

В электроснабжающих сетях предприятий АПК особое значение имеют кондуктивные помехи, которые обуславливаются искаже-

ниями синусоидальной формы кривых напряжения и тока, провалами напряжения и импульсными напряжениями. Показателями, характеризующими степень электромагнитной совместимости или показателями качества электроэнергии (ПКЭ), называются значения этих электромагнитных помех.

Наиболее сложно технически и дорого экономически поддерживать уровни таких ПКЭ, как несимметрия и несинусоидальность напряжения. Основными источниками ухудшения ПКЭ в части несимметрии и несинусоидальности напряжения являются потребители с электрическими нагрузками, создающими токи высших гармоник и токи обратной и нулевой последовательности, которые, распространяясь по всей электрически связанной сети, ухудшают ПКЭ на вводах других электропотребителей.

Нормализация качества электрической энергии повысит эффективность производства, создаст комфортные условия жизни для населения. При решении задачи обеспечения требуемого уровня качества электроэнергии необходима техническая и экономическая оценка эффективности от применения мероприятий и технических средств для улучшения качества электроэнергии.

Проблеме обеспечения ПКЭ в системах общего электроснабжения посвящены многочисленные работы отечественных и зарубежных ученых.

В сельскохозяйственных электрических сетях для обеспечения симметрии и синусоидальности напряжений рационально использование силовых трехфазных трансформаторов со специально разработанными схемами соединения обмоток, обладающими более высоким уровнем невосприимчивости к искажающим воздействиям со стороны потребителей с несимметричным и несинусоидальным характером нагрузок.

В рамках научной школы, основанной на кафедре электроснабжения БГАТУ Сердешновым А.П. и Януковичем Г.И. [1-2] и получившей развитие в работах Шевчика Н.Е., Счастливого В.П., Протоусовицкого И.В., Збродыги В.М., Зеленкевича А.И. [3-7], разработаны рекомендации о применении силовых трансформаторов, компенсирующих в магнитопроводе магнитные потоки нулевой последовательности и высших гармоник. Для сельских электрических сетей это наиболее целесообразно вследствие малой капиталоемкости и низких текущих издержек на эксплуатацию.

Схема соединения обмоток «звезда-звезда-нуль-разомкнутый треугольник» содержит дополнительные компенсирующие витки, расположенные на всех трех стержнях магнитопровода трансформатора и соединенные в разомкнутый треугольник. Один из свободных концов разомкнутого треугольника подключен к нейтрали обмотки низшего напряжения, другой через фарфоровый ввод, закрепленный на крышке трансформатора, выведен наружу (рисунок 1).

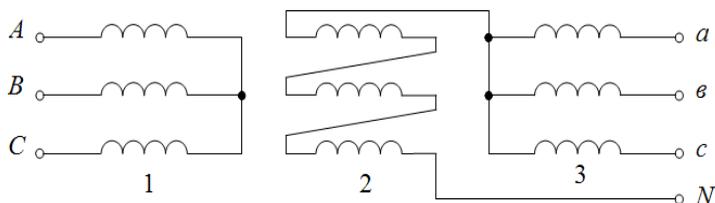


Рисунок 1 – Схема соединения обмоток трансформатора «звезда-звезда-нуль-разомкнутый треугольник»: 1 – обмотка высшего напряжения трансформатора; 2 – компенсирующие витки; 3 – обмотка низшего напряжения трансформатора.

Компенсирующие витки уложены и включены таким образом, чтобы ток нулевого провода, равный утроенной величине тока нулевой последовательности, проходя по виткам, создавал встречные компенсирующие потоки нулевой последовательности в той же магнитной цепи, в которой протекают потоки нулевой последовательности, создаваемые токами рабочих обмоток. При равенстве потоков от компенсирующих витков и рабочих обмоток будет иметь место полная компенсация.

Трансформатор со схемой соединения обмоток «звезда-звезда-нуль с симметрирующим устройством» (Y/Y_nCY) содержит обмотки высшего напряжения 1, обмотки низшего напряжения 2 и компенсационную обмотку 3, охватывающую все основные обмотки. Один конец компенсационной обмотки подключен к нейтрали обмоток низшего напряжения, а другой конец выведен наружу (рисунок 2).

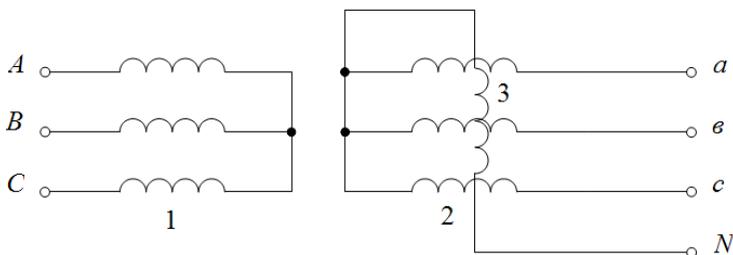


Рисунок 2 – Схема соединения обмоток трансформатора «звезда-звезда-нуль с симметрирующим устройством»: 1 – обмотка высшего напряжения трансформатора; 2 – обмотка низшего напряжения трансформатора; 3 – компенсационная обмотка

Компенсационная обмотка уложена и включена таким образом, чтобы ток нулевого провода, равный утроенной величине тока нулевой последовательности, проходя по виткам, создавал бы встречные компенсирующие потоки нулевой последовательности в той же магнитной цепи, в которой протекают потоки нулевой последовательности, создаваемые токами рабочих обмоток. Полная компенсация потоков выполняется при равенстве ампервитков рабочей обмотки и дополнительных компенсирующих витков.

Сопротивление нулевой последовательности данного трансформатора уменьшается более чем в десять раз, при этом существенно улучшается качество напряжения.

Трансформатор со схемой соединения обмоток «звезда-звезда-нуль с симметрирующим устройством» обладает всеми достоинствами трансформатора со схемой «звезда-звезда-разомкнутый треугольник с нулем». Однако он более удобен при изготовлении. Данный трансформатор улучшает также форму кривой напряжения, так как компенсирует высшие гармонические напряжения кратные трем, имеющие нулевую последовательность.

Способностью улучшать качество напряжения обладает также предложенная и разработанная схема соединения обмоток трансформатора «звезда-треугольник с зигзагом» (рисунок 3).

Первичные фазные обмотки 1 трансформатора соединены в звезду без нулевого провода. Вторичные обмотки состоят из двух одинаковых половин 2 и 3. Причём на каждом из стержней магнитопровода 4 размещены половины вторичных обмоток двух разных фаз. Вторичная обмотка фазы «а» состоит из двух половин a_3 и b_2 ,

фазы «b» – b_3 и c_2 , фазы «с» – c_3 и a_2 . Вторичные обмотки соединены в треугольник.

Трансформатор с такой схемой компенсирует магнитные потоки нулевой последовательности в стержнях его магнитопровода при несимметричной нагрузке и магнитные потоки высших гармоник при нелинейном характере нагрузки.

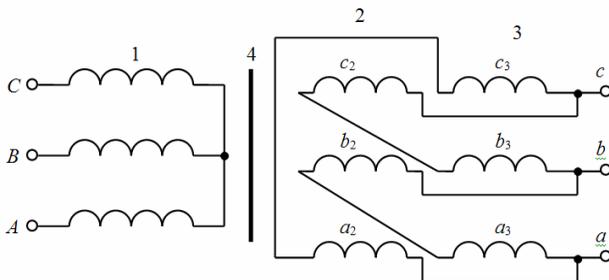


Рисунок 3 – Схема соединения обмоток трехфазного трансформатора «звезда-треугольник с зигзагом»: 1 – первичные фазные обмотки; 2, 3 – половины вторичных обмоток; 4 – магнитопровод

При этом компенсация будет практически полной, так предлагаемая схема сочетает в себе компенсирующие свойства схем соединения обмоток «зигзаг» и «треугольник».

Трансформатор со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» состоит из магнитной системы, обмоток высшего (ВН) и низшего (НН) напряжения с их изоляцией, бака и арматуры. Обмотки ВН 1, расположены на стержнях трехстержневого магнитопровода 2 и соединены по схеме «звезда» (рисунок 4). Обмотки НН состоящие из трех частей 3, 4 и 5, которые размещены на стержнях разных фаз и соединенных последовательно. При этом одна половина фазной вторичной обмотки 5 располагается на том же стержне трехстержневого магнитопровода трансформатора, что и первичная обмотка этой же фазы, а другая половина, которая состоит из одинаковых частей 3 и 4 – на двух других стержнях трехстержневого магнитопровода. Соотношение числа витков в частях фазных обмоток $a_1/a_2/a_3$, $b_1/b_2/b_3$, $c_1/c_2/c_3$ будет – 0,5/0,25/0,25. Вторичное напряжение трансформатора будет равно векторной сумме напряжений трех частей вторичной обмотки, которые находятся на разных стержнях магнитопровода трансформатора.

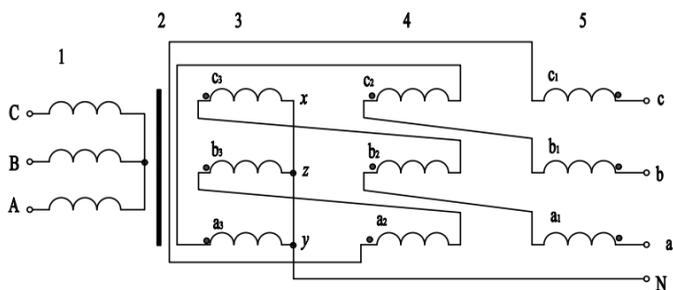


Рисунок 4 – Схема соединения обмоток силового трансформатора «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом»: 1 – обмотки высокого напряжения, 2 – трехстержневой магнитопрод, 3, 4 – четверти обмотки низкого напряжения, 5 – половины обмотки низкого напряжения

Данный силовой трансформатор является устойчивым к воздействиям со стороны нагрузки искажающим качество напряжения и способен обеспечить высокий уровень симметрии и синусоидальности напряжения, что обеспечивается эффективной компенсацией магнитных потоков нулевой последовательности и высших гармоник, кратных трем, в магнитоприводе.

Использование разработанного силового трансформатора со схемой соединения «звезда – двойной зигзаг с нулевым проводом» ($Y/2Z_n$) с нулевой группой соединения обмоток, позволяет также параллельную работу с серийно выпускаемыми трансформаторами марок ТМГ и ТМГСУ.

Работа выполнена в соответствии с программой «Повышение эффективности сельского электроснабжения путем улучшения качества и надежности сельских электроустановок» (№ госрегистрации 20220341).

Выводы. В распределительных сельских электрических сетях сравнительно низкая плотность электрических нагрузок, большая протяженность и разветвленность ЛЭП 0,4 и 10 кВ. В таких условиях для повышения ПКЭ рационально применение простых и надежных по конструктивному исполнению устройств с невысокой стоимостью, которые не предъявляют высоких требований при текущей эксплуатации. К таким устройствам относятся трехфазные трансформаторы со специальными схемами соединения обмоток, особенностью которых является практически полная компенсация магнитных потоков нулевой последовательности и магнитных потоков высших гармоник, кратных трем, в стержнях магнитоприводе.

Список использованных источников

1. Сердешнов, А.П. Нагрузочная способность потребительских трансформаторов при несимметричной нагрузке фаз в сельских электрических сетях: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03/ А.П. Сердешнов; ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1969. – 25 с.

2. Янукович, Г.И. Исследование трансформатора со схемой соединения обмоток Y/Y -разомкнутый треугольник с целью использования его в сельских электрических сетях 380/220 В для повышения качества напряжения: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02/ Г.И. Янукович; ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1975. – 20 с.

3. Протосовицкий, И.В. Использование трансформаторов Y/Y_n с общестержневой симметрирующей обмоткой в сельских электрических сетях: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02/ И.В. Протосовицкий. – Минск, 1995. – 156 л.

4. Счастный, В.П. Обеспечение качества напряжения в сельскохозяйственных электроустановках с трёхфазными однотактными выпрямителями: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02/ В.П. Счастный. – Минск, 1987. – 185 л.

5. Шевчик, Н.Е. Повышение качества напряжения в сельских сетях путём использования в них трансформаторов с дополнительными обмотками: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03/ Н.Е. Шевчик; ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1985. – 16 с.

6. Збродыга, В.М. Улучшение показателей несинусоидальности и несимметрии напряжений в электроустановках сельскохозяйственного назначения применением трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-треугольник с зигзагом»: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02/ В.М. Збродыга. – Минск, 2010. – 20 с.

7. Зеленькевич, А.И. Снижение несинусоидальности и несимметрии напряжений в сельских электрических сетях применением трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом»: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02/ А.И. Зеленькевич. – Минск, 2022. – 25 с.