

УДК 621.316.1

## **ВЛИЯНИЕ СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЯ ОБМОТОК ТРАНСФОРМАТОРА НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

## **THE INFLUENCE OF THE TRANSFORMER WINDING CONNEC- TION CIRCUIT ON THE POWER QUALITY**

Р.С. Борисюк

Научный руководитель – В.П. Счастный, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический  
университет, Минск, Республика Беларусь

R. Borisyuk

Supervisor – V. Schastny, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

**Аннотация.** В статье рассмотрено влияние трансформаторов с различными схемами соединения обмоток на несинусоидальность напряжения в низковольтных электрических сетях.

**Annotation.** The article considers the influence of transformers with different winding connection circuits on the non-sinusoidality of voltage in low-voltage electrical networks.

**Ключевые слова:** трансформаторная подстанция, трансформатор с обшестержневой компенсирующей обмоткой, несинусоидальность напряжения.

**Key words:** transformer substation, transformer with a single compensating winding, voltage non-sinusoidality.

### **Введение**

На потребительских подстанциях промышленных предприятий широко используются трансформаторы со схемой соединения обмоток «звезда-звезда ноль» (У/Ун). Они имеют ряд преимуществ и предназначены для питания трехфазных потребителей с преимущественно линейной нагрузкой. Однако с ростом потребителей с нелинейной нагрузкой, таких как сварочные аппараты, регулируемый электропривод с управляемыми тиристорными устройствами, современные аппараты дуговых электрических печей, установки индукционного нагрева, газоразрядные источники излучения и другие, приводят к изменению характера и баланса нагрузок в электрических сетях. Появляются в сети большие уровни высших гармонических составляющих тока и напряжения, уменьшается пропускная способность электрических сетей, все это ведет к ухудшению качества электроэнергии, надежности электроснабжения и дополнительным потерям.

Для обеспечения качества электроэнергии, обеспечения нормальных условий работы электроприемников, повышения надежности и экономичности системы электроснабжения предприятия необходимо проводить ряд технических мероприятий. Одним из них может быть замена трансформаторов с другими схемами соединения обмоток на потребительской трансформаторной подстанции.

### **Основная часть**

В качестве альтернативы можно использовать трансформаторы со схемой соединения обмоток «звезда-зигзаг ноль» (У/Зн). Обмотки низшего напряжения трансформатора разделены на две части, которые расположены на различных стержнях магнитопровода. Это позволяет компенсировать вынужденные намагничивания от токов нулевой последовательности, токов третьей и кратных трем гармонических составляющих. Данные трансформаторы имеют малое сопротивление нулевой последовательности, что обуславливает низкий уровень третьей и кратных трем высших гармоник. Однако, у него более высокое, чем у трансформатора У/Ун сопротивление короткого замыкания, от которого зависят уровни гармонических составляющих прямой и обратной последовательности, а значит и увеличение потерь электроэнергии. Кроме того, на изготовление обмоток трансформатора требуется повышенный расход цветного металла. Существует также ряд других трансформаторов с компенсирующими обмотками. Рассмотрим трансформатор со схемой соединения обмоток «звезда-звезда с общестержневой компенсирующей обмоткой» (У/Ук.о) [1, 2].

Трансформатор имеет компенсирующую обмотку, находящуюся на трех стержнях магнитопровода намотанную поверх всех обмоток встречно вторичной обмотке и имеющей число витков, равное  $1/3$  числа витков одной фазы этой обмотки. У данного трансформатора такие параметры как напряжение короткого замыкания, мощность холостого хода и короткого замыкания, сопротивление короткого замыкания аналогичны как у трансформатора У/Ун. Сопротивление нулевой последовательности близкое к значению как у трансформатора У/Зн, что существенно меньше, чем у трансформатора У/Ун.

Для проведения эксперимента и сопоставления результатов рассматриваемых трансформаторов возьмем стандартный трансформатор типа ТСЗ-2,5/0,38. Используем для всех трансформаторов один магнитопровод, меняя на нем обмотки. В качестве нелинейной нагрузки - однофазный выпрямитель. Будем производить загрузку трансформатора от 0,1 до 1,0 мощности трансформатора. На рисунке 1 представлены зависимости значений суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения ( $K_U\%$ ) от загрузки трансформаторов.

Анализ полученных результатов показывают, что трансформатор со схемой соединения У/Ун не обеспечивают требуемые уровни качества напряжения. Значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения у данного трансформатора выходят за допустимые пределы 8%, а уровень коэффициента третьей гармонической составляющей при номинальной загрузке трансформатора составляет более 7%, при предельно допустимых значениях для сети 0,38 кВ 5%. Девятой гармонической составляющей – 1,8%, при допустимых 1,5%. Если в качестве нелинейной нагрузки использовать управляемые выпрямители, сварочные агрегаты и ряд комбинаций нагрузок, то показатели увеличиваются в 2-3 раза (рисунок 1).

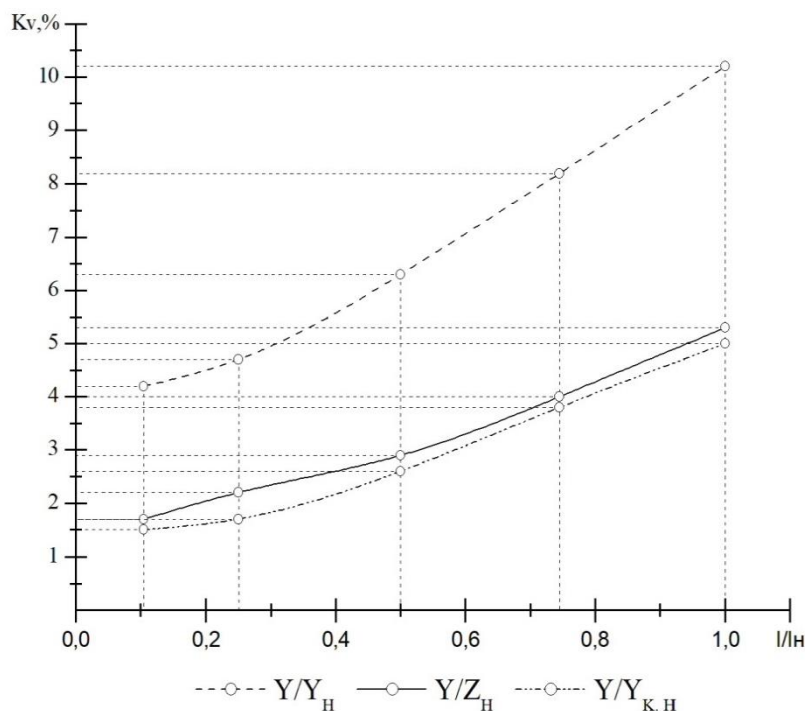


Рисунок 1. Зависимость суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения для различных схем соединения обмоток трансформатора.

Две другие схемы соединения обмоток трансформатора обеспечивают требуемый уровень качества напряжения. При различных комбинациях за грузки трансформаторов, значения суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения не выходит за допустимые пределы 8%. А уровень значения коэффициента третьей, девятой гармонической составляющей при номинальной нагрузке трансформатора приблизительно одинаковы и находятся в допустимых значениях. Уровень значения коэффициента пятой, седьмой гармонической составляющей при номинальной нагрузке трансформатора несколько выше у трансформатора  $Y/Z_H$ , хотя и находятся в допустимых пределах.

### Заключение

Использование трансформатора с компенсирующей обмоткой в электрических сетях 0,38 кВ позволяет обеспечить требуемый уровень качество электроэнергии у потребителей при различных характерах нагрузки, повысить надежность электроснабжения, а также улучшить экономичность работы системы электроснабжения предприятия.

### Литература

1. Готенко, О.Д. Адаптивная система управления двухтрансформаторной потребительской подстанцией с схемой соединения обмоток трансформаторов  $Y/Y_{к.о} / O.D.$  Готенко, Т.А. Санец; науч. рук. В.П. Счастный // Актуальные проблемы энергетики [Электронный ресурс]: материалы 78-й научно-техн. конференции студентов и аспирантов, апрель 2022 г. / редкол.: Е.Г. Пономаренко [и др.]; сост. Т.Е. Жуковская. – Минск: БНТУ, 2022. – С. 47-51.

2. Патент полезной модели №4534 Устройство управления техническими средствами трансформаторной подстанции / В.П. Счастный, А.И. Зеленкевич, А.И. Жуковский; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» - заявл. 2007.12.29; опубл. 15.04.2008 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2008.