

Кузнецов В. А., д-р техн. наук, проф.,  
Рошубкин П. В., ассистент,  
Сингатулин Р. С., ассистент,

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова

## ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ. ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛЬТОДОБАВОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

qwerty315@yandex.ru

В работе произведено исследование показателей качества электрической энергии в распределительных сетях 0,4-10кВ, представлены основные источники искажений и их влияние на качество электрической энергии и работу электроприёмников. Проведен анализ использования вольтодобавочных трансформаторов в распределительных сетях 0,4 кВ.

**Ключевые слова:** качество электрической энергии, несинусоидальность, несимметрия, источник искажения, электроприемники, вольтодобавочный трансформатор, катушка индуктивности.

Под термином "качество электрической энергии" понимается соответствие основных параметров энергосистемы установленным нормам производства, передачи и распределения электрической энергии.

Количественная характеристика качества электроэнергии выражается отклонениями напряжения и частоты, размахом колебаний напряжений и частоты, коэффициентом несинусоидальности формы кривой напряжения, коэффициентом несимметрии напряжения основной частоты.

*Отклонение частоты* - разность усредненная за 10 мин. между фактическим значением основной частоты и номинальным её значением. Отклонение частоты от номинального значения в нормальном режиме работы допускается в пределах  $\pm 0,1$  Гц. Кратковременные отклонения могут достигать  $\pm 0,2$  Гц.

*Колебание частоты* - разность между наибольшим и наименьшим значениями основной частоты в процессе достаточно быстрого изменения параметров режима, когда скорость изменения частоты не меньше 0,2 Гц в секунду. Колебания частоты не должны превышать 0,2 Гц сверх допустимых отклонений 0,1 Гц.

$$\Delta f = f_{нб} - f_{нм} *$$

$$\Delta f \% = \frac{f_{нб} - f_{нм}}{f_{ном}} 100\% \quad (1)$$

*Отклонения напряжения* - разность между фактическим значением напряжения и его номинальным значением для сети, возникающая при сравнительно медленном изменении режима работы, когда скорость изменения напряжения меньше 1% в секунду.

$$\Delta U = U - U_n \text{ или } \Delta U \% = \frac{U - U_n}{U_n} 100\% \quad (2)$$

В условиях нормальной работы допускается отклонение напряжения в следующих пределах:

-5÷+10% - на зажимах электродвигателей и аппаратов для их пуска и управления

-2.5÷+5% - на зажимах приборов рабочего освещения

±5% - на зажимах остальных приемников электрической энергии

В после аварийных режимах допускается дополнительное понижение напряжения на 5%.

*Колебание напряжения* оценивается следующими показателями:

1. Размахом изменения напряжения  $\delta U$  т.е. разностью между наибольшим и наименьшим действующими значениями напряжения в процессе достаточно быстрого изменения параметров режима, когда скорость изменения напряжения не менее 1% в секунду:

$$\delta U \% = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_n} 100\% \quad (3)$$

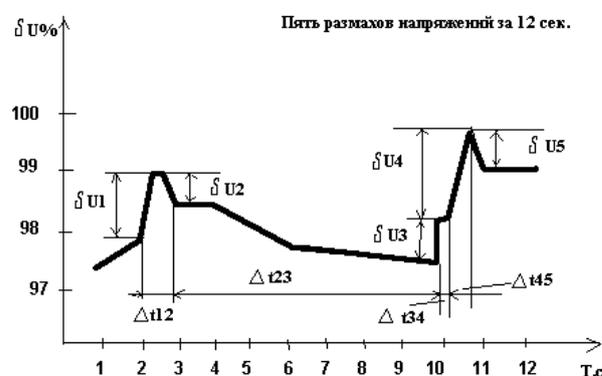


Рис. 1. Колебание напряжения

2. Частотой изменений напряжения (1/с, 1/мин., 1/ч.)

$$F = m/T \quad (4)$$

где m- количество изменений напряжения со скоростью изменения более 1% в секунду за время T.

3. Интервал между следующими друг за другом изменений напряжения  $\Delta t_{kj}$ .

Несинусоидальность напряжения сети характеризуется коэффициентом несинусоидаль-

$$K_{нс} = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^{\infty} U_v^2}}{U_1} 100\% \approx \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^{\infty} U_v^2}}{U_{ном}} 100\%, \quad (5)$$

где  $U_v$  - действующее значение напряжения  $v$ -й гармоники;  $U_1$  - действующее значение первой или основной гармоники.

Коэффициент несинусоидальности напряжения не должен превышать 5% на зажимах любого приемника электроэнергии.

Под несимметрией напряжений понимают неравенство фазных или линейных напряжений по амплитуде и углам сдвига между ними.

Нормируемым показателем несимметрии является коэффициент обратной последовательности напряжения, равный отношению напряжения обратной последовательности  $U_2$  к номинальному линейному напряжению  $U_{ном}$ .

$$\varepsilon_2 = \frac{U_2}{U_{ном}} 100\% \quad (6)$$

Допустимое значение коэффициента  $\varepsilon_2$  составляет 2%.

При выходе показателей качества за установленные пределы увеличиваются расход и потери электроэнергии в системах электроснабжения, снижается уровень надежности работы электрооборудования, возникают нарушения технологических процессов и снижается выпуск продукции [1,2].

Для того чтобы снизить данные показатели сетевые компании ведут реконструкцию электрических сетей. Рассмотрим это на примере распределительных сетей 0,4-10 кВ.

Построение распределительных электрических сетей 0,4-10 кВ в ОАО «МРСК Центра» ведется концептуально по трем направлениям:

- реконструкция распределительных сетей 0,4-10 кВ путем разукрупнения центров питания и построения разветвленной сети 0,4 кВ с небольшими длинами фидеров для сетей с фиксированной распределенной по территории нагрузкой;
- построение сети 6-10 кВ со столбовыми ТП (СТП) 6-10 кВ и питанием ограниченного числа потребителей от каждой СТП для сетей с перспективой территориального развития, дальнейшего увеличения и распределения нагрузки;
- применение вольтодобавочных трансформаторов 0,4 кВ для быстрого реагирования на жалобы населения на качество электроэнергии

(искажения) кривой напряжения, который определяется по формуле:

гии и выполнение технологического присоединения потребителей [3].

Первые два направления составляют основу системы реконструкции и нового строительства всего электросетевого хозяйства 0,4-10 кВ. Применение вольтодобавочных трансформаторов не является основным направлением в построении распределительной сети 0,4-10 кВ, но занимает свой сегмент в общем объеме. По оценки ВЛ-0,4 кВ с ВДТ могут занимать 1-2 % от всего количества ВЛ-0,4 кВ [4]. Исходя из накопленного опыта эксплуатации, данное техническое решение является крайне необходимым в определенных случаях работы эксплуатирующей организации, каковыми являются:

- временное оперативное решение проблемы низкого напряжения на ВЛ-0,4 кВ протяженности более 1 км, если привычные меры, такие как перераспределение нагрузки по фазам не дали результат, а разукрупнение ВЛ связано с крупными материальными затратами и не может быть выполнено в короткие сроки;
- постоянное решение для ВЛ-0,4 кВ с отсутствием возможности реконструкции ввиду особенностей ландшафта местности и других ограничений.

По итогам анализа имеющихся на рынке серийно выпускаемых вольтодобавочных аппаратов, работающих на различных принципах (электромеханический, ступенчатое регулирование, феррорезонансный, трансформаторы с подмагничиванием, трансформаторы с двойным преобразованием энергии, с высокочастотным транзисторным регулированием и магнитный принцип), был сделан вывод о возможности применения в распределительных сетях 0,4 кВ ВДТ с магнитным принципом работы (ВДТ компании Magtech (Норвегия)). Данное техническое решение было принято к реализации как наиболее перспективное по причине автономности работы, наличия элементов интеллектуального поведения (режим байпас и восстановление режима компенсации после ликвидации аварийного режима), отсутствия необходимости эксплуатации и минимальные капитальные затраты при вводе в эксплуатацию.

Экономическая целесообразность применения данного типа оборудования обосновывается нулевой стоимостью владения (отсутствие эксплуатационных и ремонтных затрат в течении всего срока службы).

С целью определения уровня качества стабилизированного напряжения были реализованы «пилотные» проекты и произведены измерения показателей качества электрической энергии (далее ПКЭ):

- установившегося отклонения напряжения;
- коэффициента  $n$ -ой гармонической составляющей напряжения;
- коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения;
- коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности;
- коэффициента несимметрии напряжений по нулевой последовательности;
- отклонения частоты;
- длительности провалов напряжения.

Измерения проведены в соответствии с действующими методиками измерения и существующими стандартами, с использованием специализированных приборов измерения ПКЭ (Ресурс UF).

#### Конструкций и способы установки ВДТ

Масляные вольтодобавочные трансформаторы ТВМГ, произведенные на основе технологии МСИ, в герметичном исполнении, предназначены для обеспечения качества электрической энергии в соответствии с требованиями ГОСТ. Вольтодобавочные трансформаторы ТВМГ обеспечивают повышение и стабилизацию напряжения, компенсацию асимметричности нагрузки в трехфазной сети потребителей

переменного тока, напряжением 0,4 кВ, частотой 50 Гц. Вольтодобавочный трансформатор устанавливается в разрыв линии электропередач и является оборудованием наружной установки с длительным режимом работы в умеренных климатических условиях по ГОСТ 15150. Условия работы устройства:

Высота установки над уровнем моря не более 1000 м

Вольтодобавочный трансформатор предназначен для работы во взрывобезопасной окружающей среде, не содержащей токопроводящей пыли.

Вольтодобавочный трансформатор не предназначен для работы в химически активной среде, а также в условиях тряски, вибрации, ударов.

Температура окружающего воздуха для вольтодобавочного трансформатора от  $-45^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$

В цепь первичной обмотки автотрансформатора включена катушка с изменяемой индуктивностью, состоящая из основной обмотки. Регулировка напряжения происходит за счет изменения индуктивности катушки управления. При изменении индуктивности происходит изменение напряжения на ее выводах. При этом изменяется значение напряжения на первичной обмотке автотрансформатора, и, следовательно, на вторичной.

Схема управления анализирует напряжение в сети и увеличивает ток в обмотке управления. Индуктивность катушки МСИ уменьшается, и напряжение на ней снижается, напряжение на первичной обмотке автотрансформатора повышается, происходит повышение напряжения на выходе ВДТ.

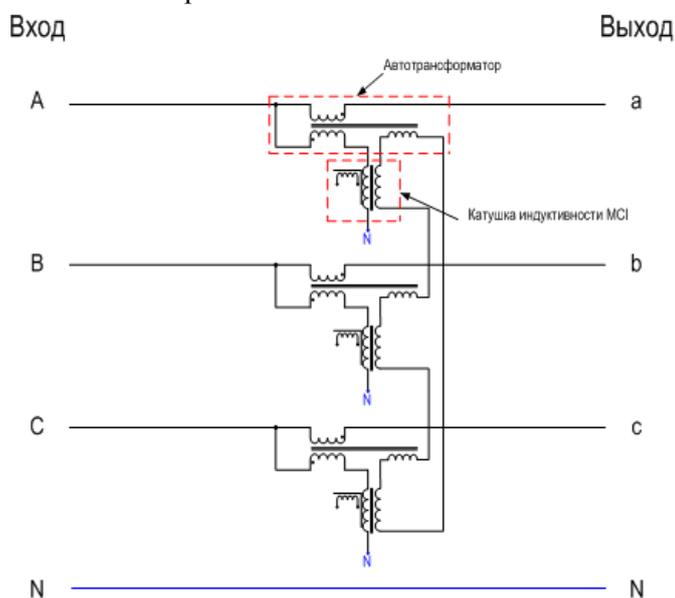


Рис. 2. Схема соединений активной части вольтодобавочного трансформатора

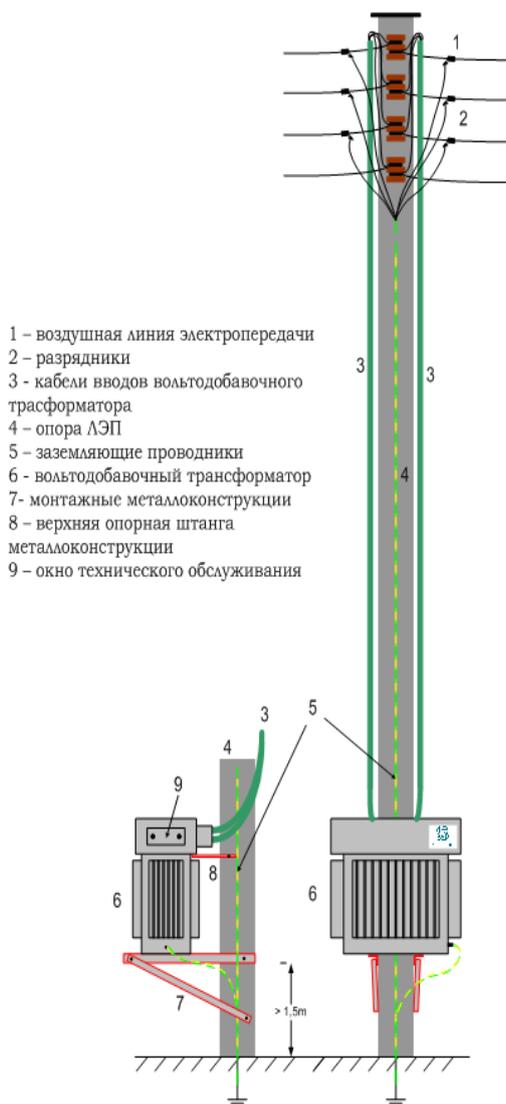


Рис.3 Монтаж вольтодобавочного трансформатора на опору ЛЭП

Применение ВДТ в распределительных сетях не ведет к решению всех проблем. Основная задача ВДТ заключается в поддержке районов с удаленными потребителями которых не затраги-

вает реконструкция сетей, не возможность реконструкции из за сложного ландшафта, предварительное электроснабжение строительных площадок, повышение стабильности напряжения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Надежность электроснабжения : метод. указания к выполнению практ. работ для студентов очной и заоч. форм обучения специальности 140211-Электроснабжение и направления бакалавриата 140200 "Электроэнергетика" / БГТУ им. В. Г. Шухова, каф. электроэнергетики ; сост.: М. Н. Нестеров, Р. С. Сингатулин, С. В. Килин. - Белгород : Изд. БГТУ им. В. Г. Шухова, 2012. 34 с.

2. Анализ показателей качества электроэнергии в системах электроснабжения [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студентов электроэнергет. и электромехан. специальностей вузов / А. А. Виноградов, О. Г. Гриб, О. Н. Довгалюк, С. В. Килин, С. А. Духанин, М. Ю. Михайлова, М. Н. Нестеров, А. М. Нестеров, А. В. Сапрыка, В. А. Сапрыка ; БГТУ им. В. Г. Шухова. - Электрон. текстовые дан. - Белгород : Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2012. 271 с.

3. Рыбников Д.А. Применение вольтодобавочных трансформаторов в распределительных сетях 0,4 кВ ОАО «МРСК Центра» // ЭНЕРГОЭКСПЕРТ. 2011. № 3.

4. Виноградов А.А., Нестеров А.М., Нестеров М.Н. Энергостабильность региона // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010. №4. С. 124 -127.