

Т.Л. Долгопол, доцент  
(КузГТУ, г. Кемерово)

## **ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Качество электроэнергии (КЭ) оказывает существенное влияние на энергоэффективность систем электроснабжения, так как отклонения показателей качества электроэнергии (ПКЭ) от нормативных значений приводят к значительному увеличению потерь электрической энергии в различных функциональных частях этих систем.

С 1 июля 2014 года в России введен в действие новый стандарт, устанавливает показатели и нормы качества электрической энергии (КЭ) в точках передачи электрической энергии пользователям электрических сетей низкого, среднего и высокого напряжения систем электроснабжения общего назначения переменного тока частотой 50 Гц (ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная).

До этого времени в РФ действовали одновременно два стандарта, регламентирующие требования к качеству электроэнергии, на усмотрение поставщиков электроэнергии: ГОСТ 13109-97 и ГОСТ Р 54149-2010. Это было обусловлено необходимостью создания новых анализаторов качества электроэнергии и модернизации большого количества старых приборов, чтобы их можно было использовать для оценки КЭ в соответствии с новыми требованиями.

Фактически ГОСТ Р 54149-2010 так и не вступил в силу, но требования к качеству электроэнергии в действующем стандарте практически не изменились при его сравнении с ГОСТ Р 54149. Незначительно изменились значения коэффициента гармонических составляющих некоторых гармоник и классификация провалов напряжения по остаточному напряжению и длительности.

Основным отличием ГОСТ 13109-97 и новых стандартов является точка нормирования и контроля ПКЭ. В ГОСТ 32144-2013 требуемые значения ПКЭ нормируются в точке передачи электрической энергии (на границе балансовой принадлежности) вместо точки общего присоединения.

Таким образом, новый ГОСТ обязывает потребителей в своих системах электроснабжения обеспечивать требуемое качество электроэнергии. Например, отклонения напряжения в точке передачи электрической энергии не должно превышать 10% в течение 100% времени интервала измерения, а допустимые отклонения напряжения на зажимах электроприемников составляет  $\pm 5\%$ , т.е. в два раза меньше.

В системах электроснабжения с низким уровнем КЭ дополнительные потери электроэнергии могут иметь значительные значения.

Несимметрия трехфазной системы токов возникает в результате наложения на систему прямой последовательности системы обратной и нулевой последовательностей. Это обуславливает протекание по электрическим сетям токов симметричных составляющих (обратной и нулевой последовательностей), которые не

переносят активной мощности, но увеличивают полную мощность цепи и вызывают дополнительные потери электроэнергии.

Искажение синусоидальности кривой тока приводит к протеканию по электрической сети токов высших гармоник. При увеличении частоты под действием поверхностного эффекта и эффекта близости увеличивается активное сопротивление проводников, что вызывает дополнительные потери мощности в проводниках. Например, полное сопротивление проводника сечением  $25 \text{ мм}^2$  на частоте 350 Гц (7-ая гармоника) возрастает на 60% по сравнению с его сопротивлением постоянному току. Кроме того, высшие гармоники также вызывают дополнительные потери на вихревые токи в металлических оболочках и броне кабелей.

Например, дополнительные потери электроэнергии в системах электроснабжения бытовых потребителей из-за низкого качества электрической энергии могут превышать 100 %. Только за счет выравнивания нагрузки по фазам можно снизить потери электроэнергии в сетях бытовых потребителей более, чем на 50 %.

Дополнительные потери электроэнергии и снижение срока службы силовых трансформаторов происходит из-за дополнительного нагрева их изоляции под действием токов обратной последовательности и токов высших гармоник.

Потери мощности в трансформаторе при симметричном и синусоидальном режиме определяются по формуле:

$$\Delta P_{mp} = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} R + \Delta P_{xx} = \beta \cdot \Delta P_{K3} + \Delta P_{xx}, \quad (1)$$

где  $\beta$  – коэффициент загрузки трансформатора,  $\Delta P_{K3}$  – потери короткого замыкания трансформатора,  $\Delta P_{xx}$  – потери холостого хода трансформатора.

Дополнительные потери в трансформаторе при несимметричной нагрузке:

$$\Delta P'_{mp} = \varepsilon_U^2 \left( \Delta P_{xx} + \frac{\Delta P_{K3}}{u_{K3}^2} \right), \quad (2)$$

где  $\varepsilon_U^2$  – коэффициент обратной последовательности напряжения;  $u_{K3}$  – напряжение КЗ.

Дополнительные потери в трансформаторе от несинусоидальности напряжения:

$$\Delta P''_{mp} = \Delta P_{xx} \sum_{v=2}^n \left( \frac{U_{v*}^2}{v^{2,6}} \right) + 1,291 \frac{\Delta P_{K3}}{u_{K3}^2} \sum_{v=2}^n \left( \frac{1 + 0,05 v^2}{v \sqrt{v}} U_{v*}^2 \right), \quad (3)$$

где  $U_{v*} = U_v / U_{ном}$  – относительное значение напряжения  $v$ -й гармоники.

Основные потери в трансформаторах при номинальной нагрузке и  $\cos \varphi = 0,95$  составляют около 5% от номинальной мощности. Дополнительные потери, обусловленные несинусоидальностью, т.е. наличием высших гармоник, могут значительно превышать основные потери. Например, для трансформатора марки ТМ 25-10/0,4 дополнительные потери, вызванные несинусоидальностью кривых напряжения и тока, превышают в 2 раза основные потери. При увеличении номинальной мощности трансформаторов, увеличивается мощность дополнительных потерь, однако в процентном отношении к номинальной мощности дополнительные потери уменьшаются.

Дополнительные потери в трансформаторах от несимметрии нагрузки более значительны, чем от искажения синусоидальности формы кривой напряжения.

Снижение дополнительных потерь в трансформаторах возможно за счет реализации как организационных, так и технических мероприятий. К организационным мероприятиям относится равномерное распределение нагрузки по фазам. К техническим – применение трансформаторов со встроенным симметрирующим устройством (ТМГСУ).

#### Список литературы

1. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014 – 17 с.

2. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 31 с.

3. ГОСТ Р 54149-2010. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2012. – 15 с.

