

нейтралі буде невелика. При значних тривалостях ($\tau_{50\%}$) перенапруги можуть бути значними (близько $2E$).

При дії тільки на одну з фаз високовольтної обмотки трансформатора з розземленою нейтраллю струм ураженої фази проходить через неуразені фази і далі по дротах повітряної лінії (ПЛ). За цієї умови для отримання оцінок максимальних перенапруг на нейтралі можна вважати $U_B(t) = U_C(t) = 0$. Якщо напруги $U_A(t) = U_B(t)$ прикладені до двох фаз трансформатора, то можна спрощено вважати $U_C(t) = 0$. З урахуванням цього

$$U_N = \frac{nU}{3} \times \left[1 - K_C \times \frac{p^2}{p^2 + \omega_{екв}^2} \right],$$

де n - число фаз трансформатора, до яких одночасно була прикладена напруга.

Отримуємо вираз

$$U_N = \frac{nE}{3} \times (1 + K_C) \times e^{\left[\frac{T_{екв}}{4\tau_{имп}} \right]}, \quad U(t) = E \times e^{\frac{\tau_{50\%}}{\tau_{имп}}}.$$

Найбільші перенапруги на нейтралі трансформатора будуть при дії хвиль грозових перенапруг одночасно на три фази високовольтної обмотки трансформатора, а мінімальні перенапруги - при дії лише на одну фазу.

Таким чином, отримані аналітичні вирази дозволяють оцінити максимальні грозові перенапруги на ізоляції розземленої нейтралі силових трансформаторів 110-220 кВ.

Література

1. В.В. Базуткин, К.П. Кадомская, М.В. Костенко, Ю.А. Михайлов. Перенапряжения в электрических системах и защита от них. – СПб.: Энергоатомиздат, Санкт-Петербургское отделение, 1995. – 209 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА НАРУШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

О.Г. Гриб, д.т.н., Д.В. Бородин

Харьковская национальная академия городского хозяйства

Качество электрической энергии (КЭЭ) является одним из важнейших факторов, определяющих возможность экономичной и длительной эксплуатации электрооборудования как у потребителей, так и на электроснабжающих предприятиях является нормальное КЭЭ, требования к которому в Украине определены [1]. Низкое КЭЭ вызывает дополнительные потери в оборудовании, неправильный учёт электроэнергии, преждевременный износ, отключения и от-

казы оборудования, что приводит к значительным финансовым убыткам, в т.ч. к штрафам за срыв поставок и обязательств. В Украине по данным Института электродинамики НАН Украины снижение качества электроэнергии увеличивает её расход на 10-12%.

В России и в Украине в последние годы проведены теоретические исследования проблемы определения ответственности за ухудшение КЭЭ [2], которые дают математический аппарат, позволяющий решить проблему на базе измерений показателей КЭЭ (ПКЭ).

Хотя проблеме КЭЭ посвящены многие научные работы [3-8], однако пока ещё не наработан опыт практического применения разработанных методов, в Украине отсутствуют публикации, касающиеся практического приборного определения виновности за «плохое» КЭЭ, не соответствующее [1].

В статье приведен практический опыт приборного определения ответственности за ухудшение КЭЭ на границе балансовой принадлежности между потребителем (стеклозавод) и поставщиком электроэнергии (АК «Харьковоблэнерго»).

На недавно построенном, оснащённом современным технологическим оборудованием Малиновском стеклозаводе возникали сбои в работе основного оборудования, что вызвало необходимость в проверке КЭЭ.

Малиновский стеклозавод вступил в строй в 2007 г. и выпускает стекло-тару. Играющая ключевую роль в технологическом цикле стеклоплавильная печь работает непрерывно круглосуточно. К оборудованию предъявляются высокие требования по надёжности.

Электроприёмники завода запитаны от 3-фазной электрической сети переменного тока, включающей распределительную сеть 0,4 кВ (кабели, силовые щиты и распределительные шкафы), 3 трансформаторных подстанции 6/0,4 кВ с 6 трансформаторами суммарной мощностью 9600 кВА и РП-6 кВ, получающий питание от ПС-110 кВ «Малиновка» по 4 кабельным ЛЭП. Оборудование РП, ТП, силовых щитов и распределительных шкафов произведено корпорацией АВВ. Конденсаторные батареи обеспечивают на вводах ТП коэффициент мощности 0,98-0,99.

Измерения КЭЭ проводились как в 4-проводной сети предприятия 0,4 кВ, так и на границе балансовой принадлежности (ГБП) – на вводах 6 кВ заводского РП, в сети с изолированной нейтралью (3 точки контроля). Измерения осуществлялись анализатором ПКЭ «Ресурс UF2M» (НПП «Энерготехника», Россия), измерялись параметры как системы напряжений, так и системы токов во всех 3 фазах.

Измерения КЭЭ в сети 0,4 кВ выполнялись в 14 точках контроля.

Анализ результатов измерений во внутренней сети предприятия показал, что по основным показателям качества электроэнергии отклонений от норм, за исключением несинусоидальности, не зафиксировано.

Обращают на себя внимание на следующие результаты измерений (см. рис.1 и рис.2 – примеры полученных графиков).

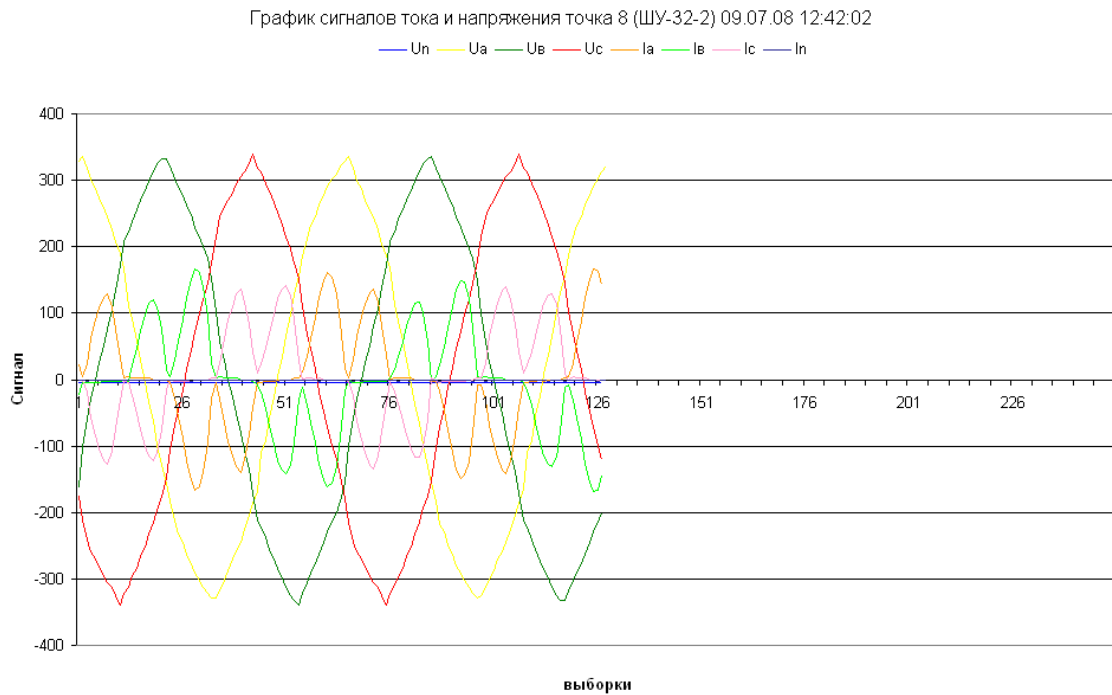


Рис.1 - Огибающие токов и напряжений в точке 8 (вентиляторы обдува)

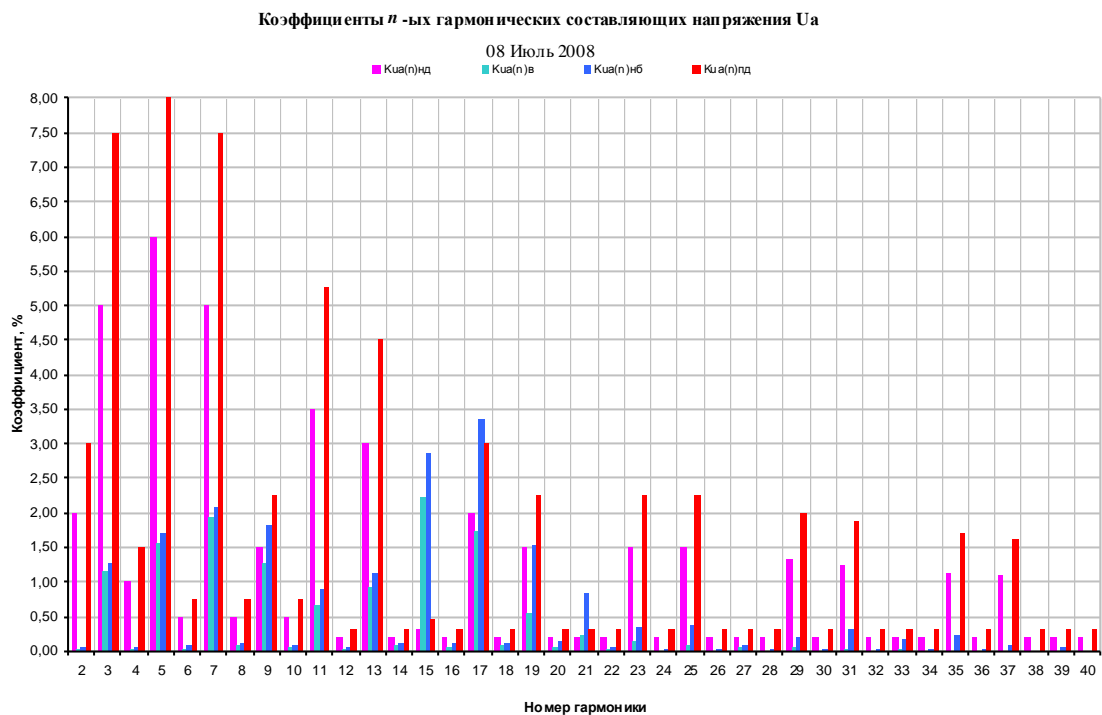


Рис.2 - Спектр высших гармоник напряжения в точке 5 фазы «А»

Мощная нелинейная нагрузка в точках контроля №2 (коэффициент несинусоидальности кривой тока $KI = 37\%$), №5 (резкопеременный, до 200%), №6 (77%) №7 (70%), №8 (67%), №9 (65%), №14 (128%) создаёт недопустимый уровень высших гармоник в сети 0,4 кВ, которые отрицательно влияют как на сетевое оборудование, так и на работу электроприёмников.

Таким образом, к наиболее существенным выявленным факторам ухуд-

шения КЭЭ относятся несимметрия и несинусоидальность.

В части соответствия КЭЭ нормам [1] на ГБП установлено, что:

- 1) на всех вводах напряжение выше нормы, однако это не является нарушением КЭЭ;
- 2) по частоте, коэффициенту искажения синусоидальности формы кривой напряжения и несимметрии нарушений не зафиксировано;
- 3) на вводах зафиксированы нарушения по высшим гармоникам напряжения (ввод 1 – 15 (во всех фазах) гармоническая составляющая, ввод 2 – 6-я (U_{AB}) гармоническая составляющая, ввод 4 – 9-я (U_{CA}) и 15-я (U_{BC}) гармонические составляющие).

Определение ответственности по несимметрии напряжения ввиду отсутствия нарушений по несимметрии не является необходимым, однако соответствующие расчёты были выполнены с целью практической апробации теории. На основе симметричных составляющих напряжений и токов и фазовых сдвигов между ними были вычислены и проанализированы симметричные составляющие мощности $P_0^k = U_0^k \cdot I_0^k \cdot \cos \varphi_0^k$ и $P_2^k = U_2^k \cdot I_2^k \cdot \cos \varphi_2^k$. В различных интервалах усреднения источники нулевой последовательности находились по обе стороны ГБП, источник обратной последовательности находился на стороне ХОЭ.

Определение ответственности по несинусоидальности напряжения выполнялось на основе следующих исходных данных, измеренных прибором:

- матрица действующих значений напряжения (j -индекс фазы, k – индекс интервала усреднения длительностью 1 мин);
- матрица действующих значений тока I_j^k (j -индекс фазы, k – индекс интервала усреднения длительностью 1 мин);
- матрица коэффициентов n -й гармонической составляющей напряжения $K_{Uj(n)}^k$;
- матрица коэффициентов n -й гармонической составляющей тока $K_{Ij(n)}^k$;
- матрица фазовых сдвигов $\varphi_{UIj(n)}^k$ между гармониками тока $I_{j(n)}$ и гармониками напряжения $U_{j(n)}$

Поскольку по показателю K_U нарушений не зафиксировано, данный показатель в определении ответственности не участвует.

Для определения источника высших гармоник были рассчитаны гармонические составляющие мощности [2]:

$$P_{j(n)}^k = K_{Uj(n)}^k \cdot U_j^k \cdot K_{Ij(n)}^k \cdot I_j^k \cdot \cos \varphi_{UIj(n)}^k \quad (1)$$

Определение источника высших гармоник дало следующие результаты:

по вводу 1 – источники 15 гармоники расположены со стороны МСЗ относительно границы балансовой принадлежности;

- по вводу 2 – источник 6 гармоники расположен со стороны МСЗ относительно границы балансовой принадлежности;

- по вводу 4 – источник 9 гармоники расположен со стороны поставщика относительно границы балансовой принадлежности, источники 15 гармоники расположены по обе стороны границы балансовой принадлежности.

Количественной мерой ответственности по отдельным гармоникам для случая, когда источники гармоники расположены по обе стороны ГБП предлагается считать долю принятой энергии гармоники по отношению к общей энергии гармоники:

$$K_{P_{j(n)}} = \frac{\sum_k P_{j(n)}^{k+}}{\sum_k P_{j(n)}^{k+} + \sum_k P_{j(n)}^{k-}}, \quad (2)$$

где индексы «+» означает совпадение знака гармоники мощности на интервале со знаком первой гармоники мощности и «-» означает противоположный знак.

Для всех случаев нарушения предельных значений высших гармоник напряжения $K_{P_{j(n)}}=100\%$, за исключением 4 ввода, где $K_{PC(15)} = 93 \%$. Данный коэффициент позволяет количественно оценить степень ответственности в тех случаях, когда невозможно применение алгоритмов [2]. Аналогичным образом возможно оценить степень ответственности по несимметрии и другим ПКЭ.

Выводы:

Прибор «Ресурс UF2M» позволяет измерять все параметры, необходимые для определения ответственности за нарушение КЭЭ по несимметрии и несинусоидальности напряжения. При этом требуется обработка данных измерений по алгоритмам, указанным в [2], наиболее удобно оказалось использовать электронные таблицы MS EXCEL и среду программирования MS Visual Basic for Applications.

На подопытном предприятии применение алгоритмов [2] позволило определить расположение источников высших гармоник.

Предложен способ количественной оценки степени ответственности за нарушение в случаях, когда источники нарушений находятся по обе стороны ГБП.

В соответствии с п.3.6 «Організаційних та технічних заходів НЕК «Укрэнерго», затверджених Міністром палива та енергетики України, спрямовані на створення умов для інтеграції ОЕС України до об'єднання енергосистем європейських країн УСТЕ» на ПС-330 кВ НЭК «Укрэнерго» будет внедрена система контроля качества электроэнергии. Материалы данной статьи целесообразно использовать при внедрении этой системы, что поможет определить подходящие средства измерительной техники, а также позволит детерминированно определить степень ответственности поставщика (в данном случае – НЭК «Укрэнерго») и потребителей электроэнергии за нарушение допустимых значений ПКЭ.

Литература

1. ГОСТ 13109-97 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».
2. А.Г. Баталов, О.Г. Гриб, Г.А. Сендерович и др. Качество электрической энергии в системах электроснабжения/ Уч. пособие, Харьков, ХНАГХ, 2006. - 272 с.
3. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. - М.: Энергоатомиздат, 2005. - 261 с.
4. Суднова В.В. Качество электрической энергии. <http://www.test-electro.ru/publ.php>.

5. Д.Чэпмэн. Цена низкого качества электроэнергии. Энергосбережение. - 2004. - №1. - 112 с.
6. Бородин Д.В. Экспериментальные результаты исследования несинусоидальности напряжения на объектах водопроводно-канализационного хозяйства. Матеріали II Всеукраїнської науково-практ. конф. „Проблеми та перспективи енерго-, збереження житлово-комунального господарства”, Алушта, АР Крим. - 2006. - с. 94.
7. О.Г. Гриб, А.В. Сапрыка, Д.В. Бородин. Анализ качества электрической энергии в сетях общего пользования 0,4 кВ. - Світлотехніка та електроенергетика. - №1. - 2007. - с. 53.
8. О.Г. Гриб и др. Качество электрической энергии в системах электроснабжения. - Харьков: ХНАГХ, 2006. - 272 с.

МЕТОДИКА И АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ СИСТЕМ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПО ТОКОВЫМ ЦЕПЯМ

Д.Н. Калюжный, к.т.н.

Харьковская национальная академия городского хозяйства

Ошибка в схеме включения, преднамеренное или непреднамеренное изменение схемы включения систем учета электрической энергии в большинстве случаев может приводить к некорректному учету в широком диапазоне. На сегодняшний день определение схем включения и устранение ошибок включения систем учета электроэнергии проводится на основе анализа векторных диаграмм. При этом, несмотря на значительные качественные изменения, произошедшие на уровне элементной базы, даже современные устройства не в полной мере защищены от данного вида ошибок [1, 2]. Учитывая постоянное увеличение стоимости электроэнергии и значительное количество выявляемых ошибок включения, задача по выявлению неправильных схем включения систем учета электроэнергии является актуальной.

Определение схемы включения систем учета электроэнергии заключается в идентификации схем включения по токовым цепям, цепям напряжения и по правильному их совместному включению. Рассмотрим методику определения схемы включения по токовым цепям, которая основывается на анализе модулей и фаз токов, измеряемых системами учета электроэнергии, с учетом несимметрии параметров режима работы [3, 4].

В качестве критериев определения схем включения с отсутствием или обрывом токового измерительного канала выступает модуль измеряемого тока [4]. При этом логическое выражение для данного вида ошибок относительно метода трех ваттметров будет иметь следующий вид

$$(I_A < \varepsilon_I) \vee (I_B < \varepsilon_I) \vee (I_C < \varepsilon_I) = true . \quad (1)$$

Для метода двух ваттметров - такой вид:

$$(I_I < \varepsilon_I) \vee (I_{II} < \varepsilon_I) = true , \quad (2)$$