

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меркулов В.И., Почивалова А.В. Особенности разряда на границе раздела твердых слоистых диэлектриков // Известия Томского политехнического университета. — 2008. — Т. 313. — № 2. — С. 91–94.
2. Лысенко А.Н. Электрическая прочность границы раздела полимерной композиционной изоляции: дис. ... канд. техн. наук. — Томск, 1986. — 168 с.
3. Электроизоляционные материалы // Каталог электроизоляционных материалов компании «Миг Сервис». 2010. URL: <http://migservice-spb.ru/index.php?id=197> (дата обращения: 02.10.2012).
4. Гефле О.С., Лебедев С.М., Похолков Ю.П. Барьерный эффект в диэлектриках. — Томск: Изд-во «ТМЛ-Пресс», 2007. — 172 с.
5. Резвых К.А. Расчет электростатических полей. — М.: Энергия, 1967. — 120 с.
6. ELCUT® Программа моделирования электромагнитных, тепловых и механических задач. Производственный кооператив ТОО, г. Санкт-Петербург, URL: <http://www.elcut.ru> (дата обращения: 02.10.2012).

Поступила 10.11.2012 г.

УДК 621.311.1.016

О НЕОБХОДИМОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ ДОБАВОЧНЫХ ПОТЕРЬ ОТ ВЫСШИХ ГАРМОНИК ТОКА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В.С. Боровиков, Н.Н. Харлов, Т.Б. Акимжанов

Томский политехнический университет
E-mail: rcr@tpu.ru

Установлено, что в линиях электропередачи 110 кВ в условиях высокого искажения синусоидальности тока имеют место добавочные потери активной мощности и энергии от действия высших гармонических составляющих. Добавочные потери во многих случаях составляют значительную часть от основных потерь, но не учитываются в расчете технологических потерь электроэнергии. Сделан вывод о том, что добавочные потери активной мощности и энергии от действия высших гармонических составляющих необходимо рассчитывать для каждой конкретной линии на основе инструментального обследования параметров режима и утверждать как технологические потери.

Ключевые слова:

Основные и добавочные потери, эффективность транспорта электрической энергии, технологические потери.

Key words:

Main and stray-load losses, efficiency of electric power transport, process losses.

Введение

Многочисленные измерения параметров режима работы электрических сетей 110 кВ Сибири и энергосистем Юга показали, что токи большинства обследованных линий имеют высокий коэффициент искажения синусоидальности [1]. Искажения коэффициента синусоидальности тока в линиях электропередачи (ЛЭП), начиная уже с 10 %, вызывают негативные последствия, такие как искажения синусоидальности напряжения в узлах нагрузки, возникновение перенапряжений вдоль трассы линии, увеличение потерь активной мощности и энергии, ложную работу релейной защиты и автоматики энергосистемы [2, 3].

Влияние искажений синусоидальности тока на эффективность транспорта электрической энергии

Эффективность транспорта электрической энергии определяется такими основными показателями, как качество электрической энергии и ее потери.

Качество электрической энергии регламентируется ГОСТ Р 54149-2010 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электро-

магнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

Потери электрической энергии можно разделить на две группы (рис. 1).

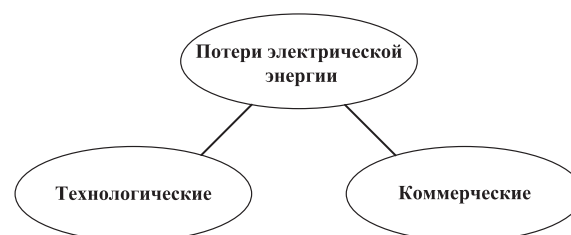


Рис. 1. Структура потерь электрической энергии

К технологическим потерям относятся все технические потери, расход на собственные нужды и недоучет электроэнергии, связанный с погрешностью приборов учета. К коммерческим потерям относятся разность между отпущенной в сеть электроэнергией и полученной потребителем с учетом технологических потерь.

Потери электрической энергии при протекании несинусоидальных токов по ЛЭП (токов высших

гармонических составляющих) относятся к так называемым «добавочным потерям». Добавочные потери от токов высших гармонических составляющих считаются переменными, как так зависят от характера нагрузки потребителей и должны учитываться в группе «технологические потери». В настоящее время технологические потери рассчитываются на основе приказа № 326 от 30.12.2008 г. «Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям» и ежегодно утверждаются в Министерстве энергетики Российской Федерации.

Добавочные потери от токов высших гармонических составляющих в расчете технологических потерь на основе приказа № 326 в настоящее время не учтены. Учитываются потери только от первой гармоники (основной частоты 50 Гц).

Целью настоящей работы является оценка значимости величины добавочных потерь активной мощности и энергии от высших гармоник тока и необходимости их учета при расчете технологических потерь.

Согласно математической модели режима для расчета основных потерь и добавочных потерь мощности от действия высших гармонических составляющих, описанной в [4], полные потери активной мощности в проводах многопроводной ЛЭП определяются по формуле:

$$P = \sum_{i=1}^m \sum_{n=1}^N \int_0^l I_{i,n}^2(x) r_{01i} \sqrt{n} dx, \quad (1)$$

где $I_{i,n}(x)$ — действующее значение тока n -й гармоники в i -м проводе на расстоянии x от места проведения измерений; r_{01i} — погонное сопротивление i -го провода на основной частоте; \sqrt{n} — коэффициент, учитывающий увеличение активного сопротивления провода вследствие явления поверхностного эффекта.

Потери от протекания первой гармоники являются основными потерями и определяются по формуле:

$$P_1 = \sum_{i=1}^m \int_0^l I_{i,1}^2(x) r_{01i} dx, \quad (2)$$

Потери, обусловленные протеканием токов высших гармонических составляющих, определяются по формуле:

$$P_{\text{доб}} = \sum_{i=1}^m \sum_{n=2}^N \int_0^l I_{i,n}^2(x) r_{01i} \sqrt{n} dx. \quad (3)$$

В качестве примера линии с высоким коэффициентом искажения синусоидальности взята линия ОКК-120 (Окино–Ключи–Кяхта) «Бурятэнерго» длиной 63,7 км, выполненная проводом АС-120/19 на опорах типа П110-5 со стальным тросом марки С50. Изменение коэффициентов искажения синусоидальности тока K_1 % в начале линии ОКК-120 в течение суток представлено на рис. 2.

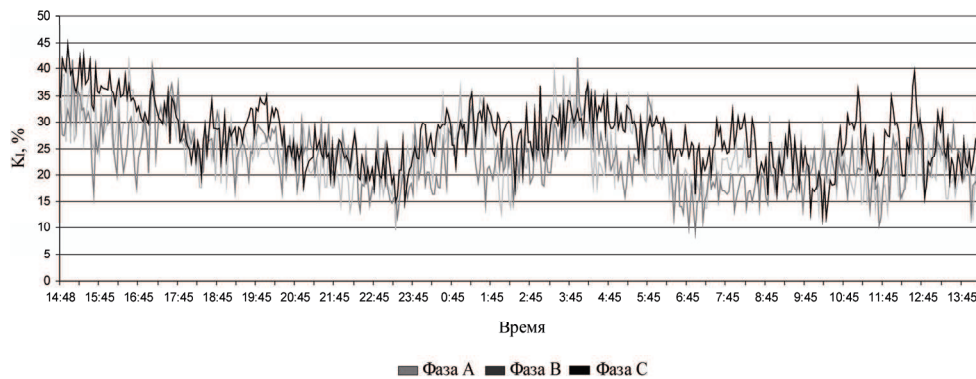


Рис. 2. Суточные графики изменения коэффициентов искажения синусоидальности тока в начале линии 110 кВ ОКК-120

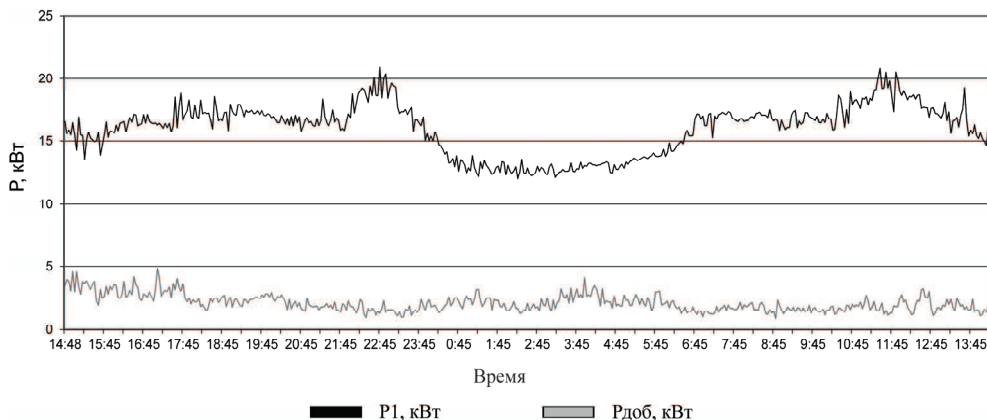


Рис. 3. Суточные графики изменения основных и добавочных потерь в линии ОКК-120

Результаты расчета основных и добавочных потерь активной мощности от высших гармонических составляющих тока, выполненного на основе уравнений (2, 3) для линии ОКК-120, представлены на рис. 3.

Расчеты потерь активной энергии за сутки показывают, что основные и добавочные потери в данном случае составляют 378,2 и 49,7 кВтч, соответственно. Уровень добавочных потерь электроэнергии достигает 13,1 % от основных потерь энергии.

Несмотря на их значительную величину, в настоящее время они «автоматически» попадают в разряд «коммерческие потери», не включаются в тариф и, соответственно, не оплачиваются потребителем.

Таблица. Структура потерь активной мощности в линиях 110 кВ ОАО «МРСК Юга»

Наименование ЛЭП	Потери мощности от токов первой гармоники, %	Добавочные потери мощности от токов высших гармонических составляющих, %
Промзона-Сулин	84,6	15,4
Койсуг-Кугей	82,3	17,7
Т-15- М.Курган	88,6	11,4
Погорелово-Промзона	92,9	7,1
Погорелово-Чеботовская	95,1	4,9
Сальская-Сальская тяговая	93,4	6,6
Линия № 22	97,5	2,5
Линия № 64	87,4	12,6
Линия № 66	98,5	1,5
Суворикино-Песковатка	81,9	18,1

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровиков В.С., Волков М.В., Иванов В.В., Литвак В.В., Мельников В.А., Погонин А.В., Харлов Н.Н. Опыт корпоративного обследования электрических сетей Сибири. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 228 с.
2. Аррилага Дж., Брэдли Д., Боджер П. Гармоники в электрических системах / пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с., ил.

Результаты проведенного инструментального обследования линий 110 кВ энергосистем Юга также позволяют сделать выводы о значительных искажениях синусоидальности тока в большинстве линий. На основе проведенных расчетов по формуле (1) была оценена структура основных и добавочных потерь активной мощности от токов высших гармонических составляющих. Результаты представлены в таблице.

Наибольшая величина добавочных потерь характерна для линий, питающих тяговые подстанции железной дороги, и в ЛЭП, в которых развиваются резонансные процессы на высших гармониках.

Выводы

1. Фактические технологические потери электрической энергии при ее транспортировке в условиях несинусоидальных токов выше, чем потери, рассчитанные на основе инструкции, утвержденной приказом № 326.
2. Определение величины добавочных потерь от высших гармонических составляющих тока возможно только расчетным путем на основе результатов инструментального исследования параметров режима работы электрической сети.
3. Необходимо разработать и утвердить в установленном порядке методику расчета добавочных потерь электрической энергии от действия высших гармонических составляющих, включить ее в расчет технологических потерь электрической энергии.
4. Установить периодичность обязательного инструментального обследования сети 110 кВ для оценки уровня добавочных потерь от несинусоидальных токов.

3. Харлов Н.Н. Энергетические спектры напряжений и токов узлов нагрузки // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 7. – С. 75–79.
4. Харлов Н.Н., Боровиков В.С., Литвак В.В. Энергетическое обследование несинусоидальных режимов многопроводных линий электропередачи // Электричество. – 2011. – № 12. – С. 12–15.

Поступила 28.01.2013 г.