

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ В СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Г.И. Янукович, канд. техн. наук, профессор, В.М. Збрадыга, ст. препод., Н.Г. Королевич, канд. экон. наук, доцент, Е.А. Тюнина, магистр техн. наук, ассистент (УО БГАТУ); А.Н. Горновская, магистр техн. наук, инженер (ОАО «Лакокраска», г. Лида)

Аннотация

В статье приведены результаты исследований несинусоидальности напряжения в сельских электрических сетях Логойского и Слуцкого районов. Показано, что коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения в данных сетях находится в допустимых стандартом пределах. Однако, учитывая отрицательное влияние качества напряжения на работу потребителей, требуются дальнейшие исследования несинусоидальности напряжения в электрических сетях.

Введение

В связи с дальнейшим развитием электрификации сельскохозяйственного производства, повышением интенсивности использования электротехнического оборудования и применением новых электротехнологических процессов все более остро встает вопрос повышения качества электроэнергии.

Качество электрической энергии характеризуется соответствием её параметров их установленным значениям. Одной из характеристик качества электроэнергии является несинусоидальность напряжения. Согласно действующему в Республике Беларусь стандарту ГОСТ 13109-97 [1] несинусоидальность напряжения характеризуется показателями: коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения и коэффициентом n -ой гармонической составляющей напряжения.

Причиной искажения синусоидальности кривой напряжения в системах электроснабжения потребителей являются токи высших гармоник, которые протекают по элементам системы и приводят к появлению высших гармоник напряжения [2, 3-7]. Значения высших гармоник напряжения зависят от величин токов высших гармоник и от частотных характеристик элементов сети. Высшие гармоники напряжения накладываются на синусоиду напряжения основной частоты и приводят к искажению ее формы.

Источниками токов высших гармоник являются элементы электрических сетей и электроприемники с нелинейными вольт-амперными характеристиками: полупроводниковые преобразователи частоты, установки однофазной и трехфазной электросварки, вентильные преобразователи, электродуговые печи, электрические машины, силовые трансформаторы и другие устройства, выполненные на базе полупроводниковых элементов [2, 3-8].

Высшие гармоники вызывают перегрев асинхронных электродвигателей и трансформаторов, обусловленный дополнительными потерями вследствие эффекта увеличения активного сопротивления обмо-

ток с ростом частоты тока и повышением потерь на гистерезис и вихревые токи в магнитопроводе [2, 5, 6, 8, 9]. Дополнительные потери вызывают дополнительный нагрев и уменьшение срока службы трансформатора. При нагрузках, близких к максимальным, дополнительные потери могут привести к выходу трансформатора из строя в результате перегрева и прогара изоляции обмоток [2, 5, 9].

Гармоники тока в линиях электропередач приводят к дополнительным потерям электроэнергии и напряжению, к ухудшению характеристик изоляции кабелей [2, 5]. При значительных составляющих высших гармоник в кабельных сетях чаще возникают однофазные короткие замыкания, которые даже при резонансной их настройке часто переходят в двухфазные и трёхфазные, вследствие прожигания кабеля.

Высшие гармоники напряжения и тока затрудняют компенсацию реактивной мощности с помощью батарей конденсаторов, так как могут наблюдаться резонансные явления на частотах высших гармоник, что приводит к выходу из строя конденсаторов [2, 3, 5]. Из всех видов электрооборудования конденсаторы являются наиболее чувствительными к воздействию высших гармоник.

Высшие гармоники неблагоприятно влияют на работу устройств контроля, автоматики, телемеханики, связи. При несинусоидальных режимах учёт электроэнергии сопряжён со значительными погрешностями, которые зависят от измерительной системы счётчика, его частотной характеристики, места установки. Наблюдаются сбои в работе и выход из строя компьютерного оборудования. Когда телекоммуникационные или управляющие сети проходят вблизи силовых сетей, по которым протекают токи высших гармоник, в них могут наводиться помехи и искажения информационного сигнала [9].

Высшие гармоники вызывают ложное срабатывание предохранителей и автоматических выключателей из-за их внутреннего дополнительного нагрева за счет явления поверхностного эффекта и эффекта близости [3].

Высшие гармоники напряжения и тока могут вызывать искажения изображения и изменение яркости телевизоров. В светильниках с газоразрядными лампами, укомплектованными балластными устройствами, содержащими конденсаторы, при определённых условиях может возникнуть резонанс, приводящий к выходу ламп из строя [9].

Основная часть

Вопросы состояния качества электроэнергии и его влияния на работу элементов сети и электроприемников применительно к сетям сельскохозяйственного назначения являются наименее изученными. Для анализа проблемы необходимо накопление экспериментальных данных о значениях показателей качества электроэнергии в сетях и наличии нагрузок, которые снижают эти показатели. Решение вопросов, связанных с прогнозированием качества электроэнергии, требует обширного материала о динамике изменения электрических нагрузок, об изменении удельного веса отдельных элементов электрической сети (в том числе и электроприемников).

Авторы статьи провели ряд исследований состояния несинусоидальности напряжения в сельских электрических сетях напряжением 380 В Логойского и Слуцкого РЭС. Поэтому при проведении исследований и анализе качества напряжения необходимо было исследовать структуру электроприемников сельскохозяйственных потребителей для выявления удельного веса электроприемников, искажающих синусоидальность формы кривой напряжения, и исследовать динамику ее изменения. Для получения информации о фактических значениях качества напряжения в настоящее время были проведены экспериментальные исследования уровней несинусоидальности напряжений.

Все экспериментальные исследования и сбор информации проводились в период с сентября 2008 г. по март 2009 г.

Исследования структуры электроприемников и динамики ее изменения проводились отдельно для производственного и коммунально-бытового характера нагрузки. Для производственного характера нагрузки структура электроприемников определялась для всего предприятия в целом. Для коммунально-бытового характера нагрузки структура электроприемников определялась как средняя величина на один многоквартирный жилой дом (или на одну квартиру в многоквартирном жилом доме). Замеры проводились в сетях с напряжением 380/220 В, питающих производственную и коммунально-бытовую нагрузку. Для измерения показателей качества был использован прибор УК1 (производства УП «НИИСА», г. Минск).

Измерения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения проводились на шинах

ТП 10/0,4 кВ, питающих производственную нагрузку, а также коммунально-бытовую нагрузку, в тех же хозяйствах, где проводились исследования структуры электроприемников.

В последние годы в коммунально-бытовом и производственном секторе увеличилось количество трансформаторов (10/0,4 кВ) с максимальной загрузкой менее 50 %. Это связано с тем, что в некоторых хозяйствах выведены из эксплуатации отдельные электроприемники и даже целые объекты в производственном секторе, а также уменьшилось население и соответственно количество электроприборов, которое оно использует в коммунально-бытовом секторе. И если мощность трансформаторов на потребительских подстанциях при этом осталась прежней, то и снизилась степень загрузки. В распределительных сетях таких трансформаторов среднесуточные и даже максимальные значения исследуемых показателей качества электроэнергии в подавляющем большинстве случаев не превышают установленных ГОСТ 13109-97 нормально допустимых значений, потому что мощности искажающих электроприемников слишком малы по сравнению с мощностями питающих их трансформаторов.

На рис. 1 приведены характерные суточные графики коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения на шинах одной из ТП 10/0,4 кВ Логойского РЭС с низким коэффициентом загрузки

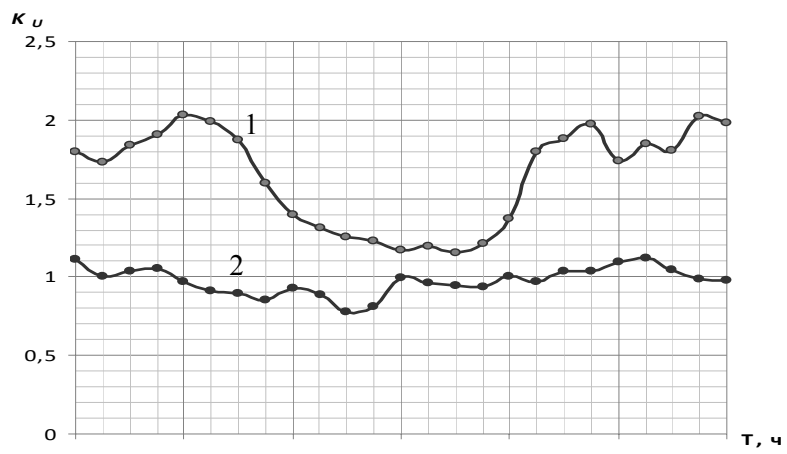


Рисунок 1. График изменения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения для жилого сектора в электрических сетях Логойского района: 1 - д. Метличицы; 2 - д. Буда

(менее 50 %), питающей жилой сектор.

Из графиков видно, что значения коэффициента искажения синусоидальности напряжения в течение суток находятся в пределах от 0,79 до 2,1, что не превышает нормально допустимых значений. В ночное время суток значения коэффициента принимают минимальные значения. В дневное время, с ростом нагрузки, происходит незначительное его увеличение.

Следует отметить, что значительное количество трансформаторов 10/0,4 кВ в сельских электрических сетях имеют максимальную загрузку от 50% до 70 %

и выше. Это характерно для трансформаторов, питающих коммунально-бытовой сектор нагрузки в крупных сельских населенных пунктах (особенно в центральных усадьбах хозяйств), а также для трансформаторов, питающих производственные потребители рентабельных хозяйств, где не наблюдается снижения объемов производства и вывода из эксплуатации электроприемников. Высокая степень загрузки в совокупности с наличием нелинейных и несимметричных электроприемников приводит к значительному снижению качества электроэнергии, так как мощности искажающих электроприемников могут быть соизмеримы с мощностями питающих трансформаторов. Токи высших гармоник довольно велики и вызывают существенные падения напряжений на элементах системы, искажая синусоидальность сетевых напряжений. К тому же при высокой степени загрузки, сопровождающейся насыщением магнитной системы, трансформаторы сами являются источниками высших гармоник, что приводит к еще более значительному искажению синусоидальности формы кривых напряжений.

Характерные суточные графики изменения коэффициента искажения синусоидальности напряжения для более загруженных трансформаторов приведены на рис. 2-4.

На рис. 2 приведен график изменения коэффициента искажения синусоидальности напряжения на шинах трансформатора, питающего пилораму в г.п. Плещеницы Логойского района. Он практически повторяет график рабочего времени объекта. Так как пилорама работает круглосуточно, с неполной загрузкой в ночное время, коэффициент искажения синусоидальности напряжения меняется незначительно. Значения коэффициента лежат в пределах от 0,82 до 1,3. В ночное время, когда пилорама загружена не полностью, коэффициент наименьший.

График изменения коэффициента искажения синусоидальности напряжения на шинах трансформатора, питающего свиноферму в Слуцком районе, представлен на рис. 3. Из графика видно, что коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения лежит в пределах от 1,2 до 4,6. Скачок коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения произошел в те часы нагрузок, когда использовалось сварочное оборудование, влияющее на изменение этого коэффициента.

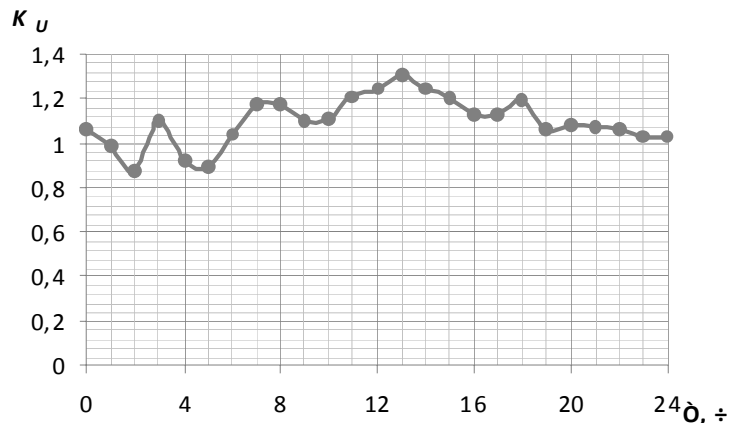


Рисунок 2. График изменения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения для пилорамы г.п. Плещеницы Логойского района.

Изменение коэффициента искажения синусоидальности напряжения на шинах трансформатора, питающего котельную в этом же районе, представлен на рис. 2, 3. Из графика видно, что коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения лежит в пределах от 0,7 до 3,3.

Значительное количество трансформаторов 10/0,4 кВ в сельских электрических сетях имеют максимальную загрузку от 50% до 70 % и выше. Это характерно для трансформаторов, питающих коммунально-бытовой сектор нагрузки в крупных сельских населенных пунктах (особенно в центральных усадьбах хозяйств), а также для трансформаторов, питающих производственные потребители рентабельных хозяйств, где не наблюдается снижения объемов производства и вывода из эксплуатации электроприемников. Как показали исследования, проведенные в жилом секторе г. Слуцка, значение коэффициента

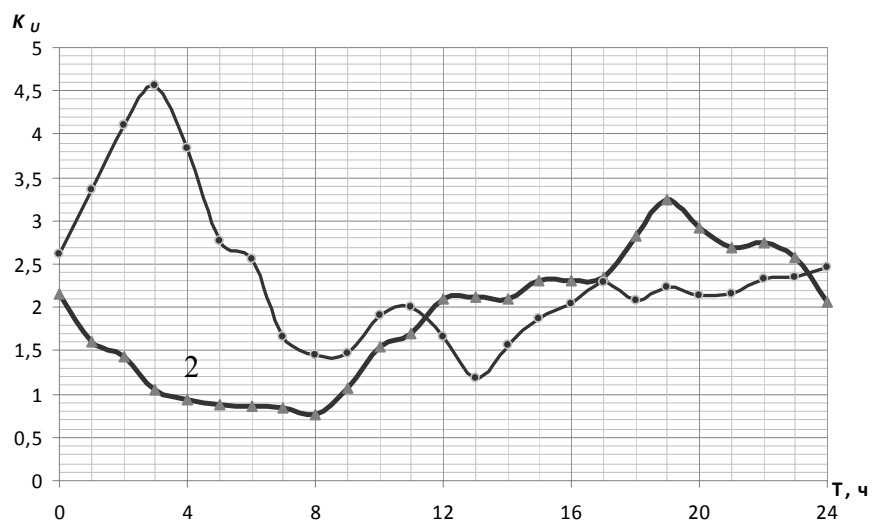


Рисунок 3. График изменения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения в электрических сетях Слуцкого района: 1 - свиноферма д.Козловичи; 2 - котельная г. Слуцка

искажения синусоидальности напряжения лежит в пределах от 0,55 до 2,9 (рис. 4).

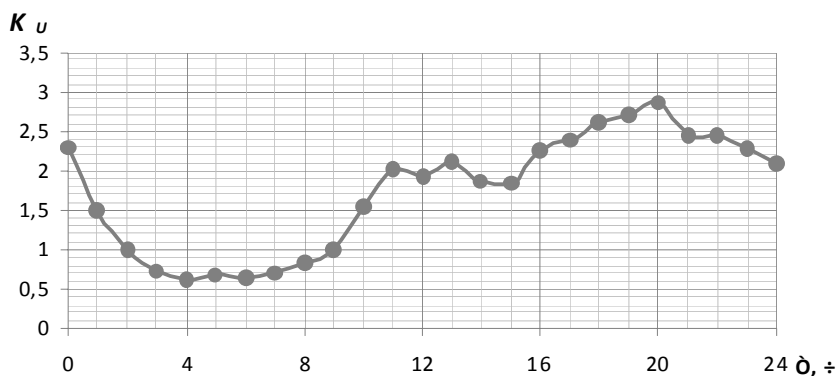


Рисунок 4. График изменения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения в электрических сетях жилого сектора г. Слуцка

Несинусоидальность напряжений вызвана в этом случае включением осветительных и бытовых электроприборов с нелинейными вольт-амперными характеристиками, а также увеличением загрузки питающего трансформатора.

В целом результаты исследований показали, что среднесуточные значения коэффициента искажения синусоидальности напряжения не выходят за пределы нормально допустимых стандартом значений. В сетях с высокой степенью загрузки питающих трансформаторов они значительно выше, чем в сетях с низкой нагрузкой.

Анализ спектра высших гармоник в сетях, питающих производственную и коммунально-бытовую нагрузку, показывает, что преобладающими являются третья, пятая, седьмая и девятая гармоники. Пятая, седьмая и девятая гармоники достигают иногда до 3...4 % от уровня основной гармоники, а третья – до 5...6 %, что превышает нормально допустимые значения. Необходимо снижение уровней этих гармоник, особенно третьей и девятой. Замечены такие нечетные гармоники до 23-й включительно, но их значения не превышают допустимых значений. Соседние четные гармоники на порядок ниже. Гармоники с 24-й по 40-ю практически незаметны.

Выводы

В результате экспериментальных исследований установлено наличие в структуре нагрузок сельскохозяйственного сектора потребителей с нелинейными характеристиками, что приводит к искажению формы кривой напряжения в сельских электрических сетях 0,38 кВ.

Показано, что степень искажения синусоидальности формы кривой напряжения зависит от загрузки питающих трансформаторов и характера структуры нагрузок. При загрузке трансформаторов более 50 % коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения достигает значительных величин.

В целом результаты исследований показали, что среднесуточные значения коэффициента искажения синусоидальности напряжения в данных сетях не выходят за пределы нормально допустимых стандартом значений.

Величина коэффициента искажения формы кривой напряжения изменяется в течение суток в зависимости от изменения величины нагрузки. С целью получения полной информации о качестве напряжения во всех электрических сетях необходимы дальнейшие исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13109-97. – Введ. 08.01.1999. – Москва: Изд-во стандартов, 1998. – 31 с.
2. Жежеленко, И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промышленных предприятий/ И.В. Жежеленко. – 5-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 2004. – 358 с.
3. Управление качеством электроэнергии/ И.И. Карташов [и др.]; под ред. Ю.В. Шарова. – М.: Издат. дом МЭИ, 2006. – 320 с.
4. Вагин, Г.Я. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике/ Г.Я. Вагин, А.Б. Лоскутов, А.А. Севостьянов. – Нижний Новгород: Изд-во НГТУ, 2004. – 216 с.
5. Жежеленко, И.В. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях/ И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко. – 4-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 261 с.
6. Электромагнитная совместимость электроприёмников промышленных предприятий / А.К. Шидловский [и др.]; под ред. А. К. Шидловского. – Киев: Наукова думка, 1992. – 236 с.
7. Прокопчик, В.В. Повышение качества электроснабжения и эффективности электрооборудования предприятий с непрерывными технологическими процессами/ В.В. Прокопчик. – Гомель: Изд-во ГГТУ, 2002. – 283 с.
8. Жежеленко, И.В. Электромагнитная совместимость в системах электроснабжения промышленных предприятий/ И.В. Жежеленко// Электрика. – 2008. – № 10. – С. 3–11.
9. Шидловский, А.К. Повышение качества энергии в электрических сетях/ А.К. Шидловский, В.Г. Кузнецов. – Киев: Наукова думка, 1985. – 267 с.