

ший с элемента *И 10*, запомнится элементом «Память» *И 11* и поступит на вход элемента «Задержка» *И 12*, с выхода которого сигнал появится через время, равное времени выдержки АПВ секционированного выключателя *Q3*. По истечении этого времени сигнал с элемента «Задержка» *И 12* поступит на вход «Одновибратора» *И 13*. Он выдаст однократный импульс, который сбросит память с элемента *И 11* и поступит на входы элементов *И 14* и *ИЛИ 6*, сигнал с которых сбросит память с элемента *З*.

В момент времени t_3 (рис. 2) при исправном и правильном действии средств автоматики должно произойти включение сетевого выключателя *Q3* на устойчивое к. з. с последующим его отключением. Однако при наличии какой-либо неисправности включение выключателя *Q3* не произойдет. Это обеспечит наличие второго сигнала на элемен-

те *И 14*, поступающего с элемента *ИЛИ-НЕ 9*. Наличие всех входных сигналов приведет к срабатыванию *И 14* и на его выходе появится сигнал. Этот сигнал поступит в *РУ 15* и там появится информация об отказе АПВ выключателя *Q3*.

Если же средства АПВ секционированного выключателя *Q3* исправны, то в момент времени t_3 (рис. 2) произойдет его повторное включение. При этом сработает *ДРТ 8*, на его выходе появится сигнал, который поступит на вход элемента *ИЛИ-НЕ 9* и обеспечит исчезновение сигнала с этого элемента. Поэтому схема вернется в первоначальное положение — режим контроля.

Таким образом, при помощи разработанной структурной схемы можно своевременно получать информацию об отказе АПВ однократного действия секционированного выключателя линии.

УДК 621.311:64

М.М. Таранов, аспирант

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина»

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СЕЛЬСКИХ КОММУНАЛЬНО-БЫТОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ НА ИСКАЖЕНИЕ СИНУСОИДАЛЬНОСТИ КРИВЫХ НАПРЯЖЕНИЯ/ТОКА И ПОЯВЛЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОТЕРЬ В СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Современный сельский дом оснащен большим количеством различного электрооборудования. На сегодняшний день, по данным [1], наличие электроприборов длительного пользования в домашних хозяйствах (на 100 домохозяйств по Ростовской обл.) составляет:

Электроприборы	Число на 100 домохозяйств
Телевизоры	131
Видео	63
Магнитофоны	54
Компьютеры	22
Музыкальные центры	29
Холодильники	114
Стиральные машины	99
Пылесосы	83
Швейные машинки	67

Электрическое освещение жилых домов осуществляется с помощью бытовых светильников общего освещения. Как правило, жилые дома освещаются лампами накаливания или энергосберегающими лампами мощностью 20...120 Вт.

Бытовые электроприборы можно условно разделить на следующие группы: хозяйственные элект-

роприборы (стиральные машины, утюги, пылесосы, и т. п.); электроприборы для обработки и хранения продуктов (холодильники, универсальные кухонные машины, миксеры и т. п.); нагревательные электроприборы для приготовления пищи (электроплиты, электрочайники, микроволновые печи и т. п.); культурно-бытовые электроприборы (телевизоры, персональные компьютеры, аудиосистемы, DVD-плееры, т. п.); санитарно-гигиенические электроприборы (вентиляторы, фены, щипцы для завивки волос и т. п.); электроприборы для кондиционирования и отопления помещений (системы климат-контроля, электрорадиаторы и т. п.) и т. д.

Значительная часть электроприемников жилого дома оснащена импульсными блоками питания или имеет электронное управление режимом работы. Такие электроприемники имеют нелинейную вольтамперную характеристику и называются нелинейными электроприемниками.

Основными нелинейными электроприемниками в коммунально-бытовых сетях 0,38 кВ являются: персональные компьютеры, блоки бесперебойного питания (UPS); энергосберегающие лампы; электродвигатели переменной частоты вращения, кон-

диционеры, телевизоры, видеоманитофоны, микроволновые печи и т. д.

Электропотребление нелинейных электроприемников составляет существенную долю от общего электропотребления жилого дома. Так, согласно формуле (1), доля электропотребления нелинейными электроприемниками представленного в работе [2] перечня электроприборов сельского жилого дома, составляет 66,5%:

$$K_{н.э} = \frac{\sum P_{н.эп}}{\sum P_{н.эп} + \sum P_{л.эп}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $K_{н.э}$ — доля электропотребления нелинейными электроприемниками; $\sum P_{л.эп}$ — общая установленная мощность линейных электроприемников; $\sum P_{н.эп}$ — общая установленная мощность нелинейных электроприемников.

Существенно, что приборами длительного использования, как правило, являются нелинейные электроприемники (телевизор, компьютер, аудиосистемы и т. д.). В случае, когда электроосвещение выполнено люминесцентными или энергосберегающими лампами, осветительная нагрузка также имеет нелинейный характер.

Экспериментальные исследования, проведенные при помощи электронного осциллографа АСК-4166, подключенного на вводе в жилой дом по схеме, представленной на рис. 1, и пакета прикладных программ, позволили получить амплитудно-частотные характеристики основных нелинейных электроприемников сети 0,38 кВ.

Попеременно подключая к сети электроприемники и фиксируя изменение мгновенных значений потребляемого тока и напряжения, получили осциллограммы, представленные на рис. 2.

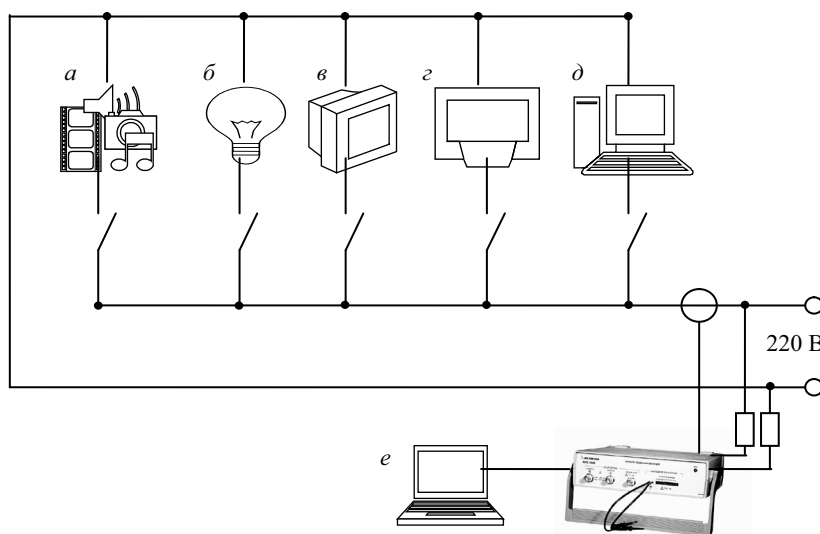


Рис. 1. Схема проведения эксперимента:

а — музыкальный центр; б — энергосберегающая лампа; в — телевизор; г — микроволновая печь; д — персональный компьютер; е — осциллограф с подключенным ПК

Согласно ГОСТ 13109–97 [3], искажение синусоидальности кривых напряжения и тока характеризуется двумя показателями:

коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения/тока

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_{(n)}^2}}{U_{ном}} \cdot 100; \quad K_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} I_{(n)}^2}}{I_{(1)}} \cdot 100,$$

где $I_{(1)}$ — действующее значение тока основной частоты; $U_{ном}$ — номинальное напряжение сети; $U_{(n)}$, $I_{(n)}$ — действующие значения напряжения и тока n -й гармонической составляющей;

коэффициентом n -й гармонической составляющей напряжения/тока

$$K_{U(n)} = \frac{U_{(n)}}{U_{(1)}} \cdot 100; \quad K_{I(n)} = \frac{I_{(n)}}{I_{(1)}} \cdot 100,$$

где $U_{(1)}$, $I_{(1)}$ — действующие значения напряжения и тока основной частоты; $U_{(n)}$, $I_{(n)}$ — действующие значения напряжения и тока n -й гармонической составляющей.

Исследования по контролю КЭ, проведенные на трехфазном вводе в сельский жилой дом с помощью анализатора КЭ типа ЭРИС-КЭ 02, показали, что нелинейная нагрузка отдельно жилого дома вносит существенный вклад в искажение синусоидальности кривой тока. Спектральный состав тока в фазных и нулевом проводе представлен на рис. 3.

Из работы [4] известно, что гармоники, создаваемые нелинейными электроприемниками, суммируются различными способами в зависимости от порядка гармоники: для 3, 5, 7-й гармоник — арифметически; для 11, 13-й гармоник — в степени 1, 4; для гармоник более высоких порядков — во второй степени. Также известно, что гармоники, кратные трем, замыкаются по контуру нулевой провод-фазный провод. Следовательно, как видно из рис. 4, наивысший уровень токов высших гармонических составляющих наблюдается в нулевом проводе. Коэффициент искажения синусоидальности кривой тока, в нулевом проводе, за сутки измерений достигает 436,99%.

Из представленного графика видно, что пик эмиссии токов ВГС совпадает с пиком среднего графика нагрузки жилых зданий с газовыми плитами (рис. 5) [5].

Хотя пиковые значения коэффициента искажения синусоидальности кривой тока скорее все-

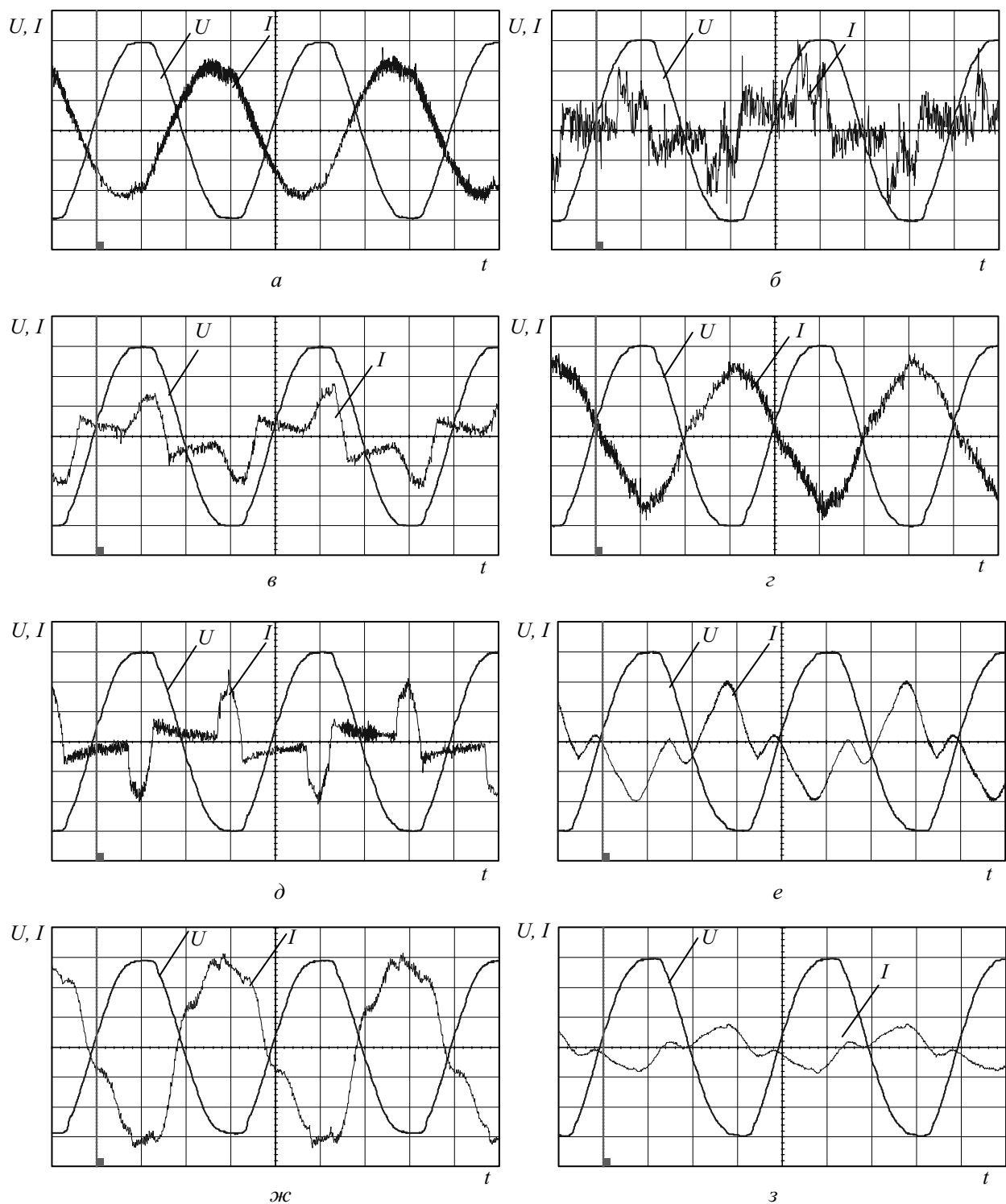


Рис. 2. Осциллограммы кривых тока и напряжения:

а — люстры с лампами накаливания; б — энергосберегающей лампы; в — телевизора; г — холодильника; д — персонального компьютера (процессор и монитор); е — микроволновой печи; ж — системы климат-контроля; з — персонального компьютера, микроволновой печи, музыкального центра, телевизора и лампы накаливания мощностью 200 Вт, работающими одновременно

го связаны с коммутациями электрооборудования, уровень высокочастотных токов существенный. Экспериментальные исследования показали, что уровень высокочастотных токов в нулевом и фазных проводах, в некоторые получасовые интерва-

лы суток измерений, превосходит значения тока основной частоты.

Отдельно стоящий сельский жилой дом в период максимума нагрузки потребляет ток основной частоты 10...12 А. Высокочастотные токи, генерируемые

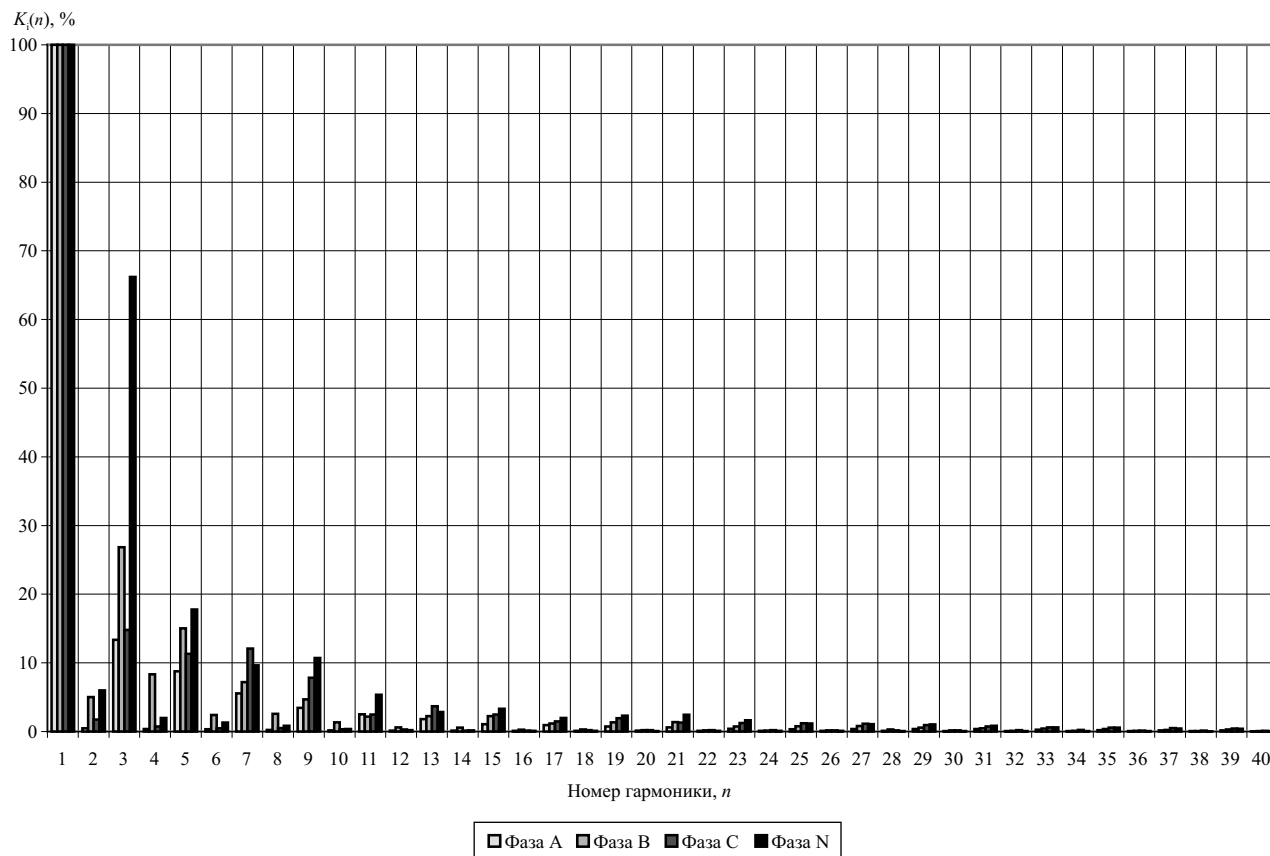


Рис. 3. Спектральный состав токов на трехфазном вводе в сельский жилой дом, в среднем, за сутки измерений

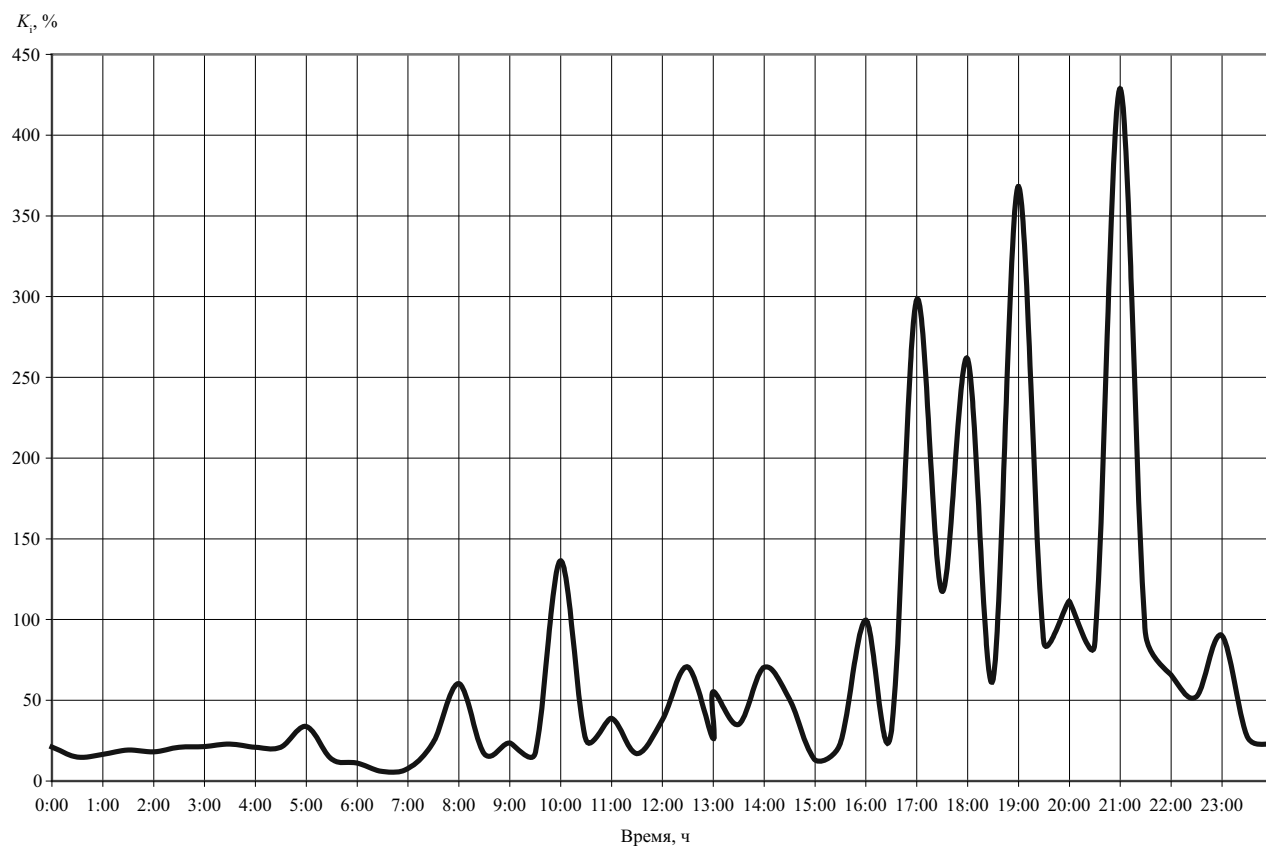


Рис. 4. Изменение коэффициента искажения синусоидальности кривой тока в нулевом проводе за сутки измерений

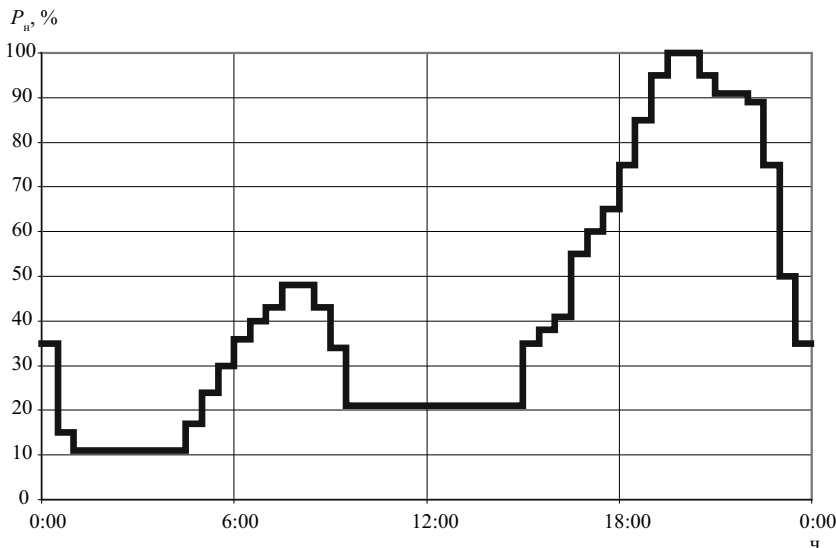


Рис. 5. Средний суточный график нагрузки жилого дома с газовой плитой

нелинейными электроприемниками отдельно стоящего жилого дома, не вызывают существенного падения напряжения на элементах сети электроснабжения, а следовательно, не приводят к существенному искажению синусоидальности кривой напряжения. При этом одна сельская трансформаторная подстанция может питать большое число жилых домов.

Контроль качества электроэнергии, проведенный в муниципальных сетях Московской обл. [6], напряжением 0,38 кВ, показал, что КЭ по коэффициенту *n*-й гармонической составляющей напряжения не соответствует требованиям ГОСТ на каждой третьей трансформаторной подстанции.

Присутствие высокочастотных составляющих тока становится не только причиной ухудшения электромагнитной обстановки в электрической сети, но и ведет к снижению надежности и долговечности основного оборудования электрических сетей.

Исследования, проведенные совместно с научно-исследовательской лабораторией ИЛ КЭ МЭИ в сетях Московской обл., показали, что при наличии большой доли коммунально-бытовой нагрузки от общей нагрузки потери электроэнергии, вызванные высшими гармоническими составляющими тока, могут составлять значительную долю от общих потерь.

Так, потери активной мощности в линиях электропередачи и в обмотках трансформатора от тока основной частоты будут составлять [7]:

$$\Delta P = 3I_{(1)}^2 r,$$

потери, вызванные ВГС тока [8]:

$$\Delta P_{\text{ВГС}} = 3 \sum_{n=2}^{40} I_n^2 r \sqrt{n}.$$

Следовательно, отношение потерь может быть найдено:

$$K_{\Delta P} = \frac{\sum_{n=2}^{40} I_{(n)}^2 \sqrt{n}}{I_{(1)}^2}, \quad (2)$$

где $I_{(1)}$ — ток основной частоты; $\sum_{n=2}^{40} I_n$ — сумма высокочастотных токов; $K_{\Delta P}$ — коэффициент отношения потерь электроэнергии, вызванных ВГС тока, к потерям, вызванным током основной частоты; n — номер гармоники.

В результате расчетов отношения потерь электроэнергии, вызванных эмиссией токов ВГС нелинейных электроприемников сельского жилого дома, к потерям на основной частоте в нулевом

проводе, установлено, что в среднем за сутки измерений потери, вызванные высокочастотными токами, превышают потери на основной частоте в 2,64 раза. Коэффициент отношения потерь изменяется в широких пределах в течение суток, причем характер изменения совпадает со средним графиком нагрузки жилого дома с газовой плитой.

Дополнительные потери в трансформаторах, питающих коммунально-бытовую нагрузку, составляют 5...15%. Кроме того, появляется риск перегрузки трансформатора высокочастотными токами, не учтенной на этапе проектирования.

Результаты измерений на подстанции, питающей общественную коммунально-бытовую нагрузку (офисный центр), приведены на рис. 6.

Дополнительные потери электроэнергии этой трансформаторной подстанции, найденные по выражению (2), за сутки измерений составили 15,28% от общих потерь.

Выводы

Обработка статистических данных показала, что в современном сельском жилом доме доля установленной мощности нелинейных электроприемников может достигать 66,5% от общей.

Доля дополнительных потерь электроэнергии в трансформаторе от токов высших гармонических составляющих, генерируемых общественной коммунально-бытовой нагрузкой, достигает 15,3%.

Потери от токов ВГС, вызванные эмиссией нелинейных электроприемников трехфазного жилого дома, в нулевом проводе в среднем за сутки превышают потери на основной частоте в 2,6 раза.

Значительная доля потерь электроэнергии в линиях электропередачи и трансформаторах может быть выделена в отдельную составляющую техно-

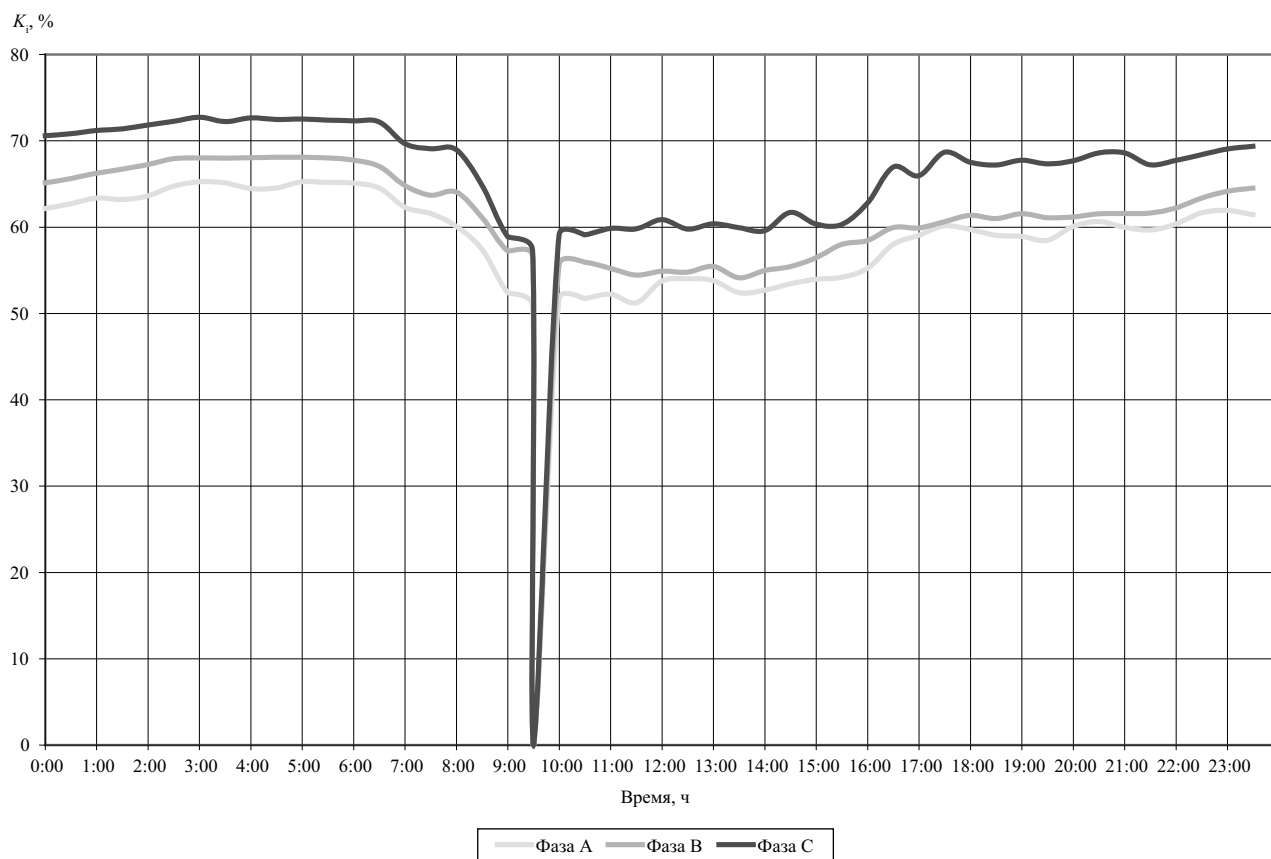


Рис. 6. Изменение коэффициента искажения синусоидальности кривой тока на подстанции с общественной коммунально-бытовой нагрузкой (офисный центр)

логических потерь и из-за возможности перегрузки электрооборудования должна быть учтена на этапе проектирования.

Список литературы

1. Регионы России (соц. эконом. показ.): стат. сборник. — М.: Росстат, 2007. — 991 с.
2. Харченко, В.Н. Электроустановки индивидуальных жилых домов: справочник. / В.Н. Харченко. — М.: ЗАО «Энергосервис», 2004. — 496 с.
3. ГОСТ 13109–97. «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

4. Equipment producing harmonics and conditions governing their connection to the mains power supply — Electra, 1989, № 123.

5. Тарнижевский, М.В. Электрооборудование жилищно-коммунального хозяйства: справочник / М.В. Тарнижевский, Е.И. Афанасьева. — М.: Стройиздат, 1987. — 368 с.

6. Карташев, И.И. Качество электроэнергии в муниципальных сетях Московской обл. / И.И. Карташев, И.С. Пономаренко [и др.] // Промышленная энергетика. — 2003. — № 5. — С. 43–45.

7. Железко, Ю.С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях / Ю.С. Железко, А.В. Артемьев, О.В. Савченко. — М.: НЦ ЭНАС, 2002. — 280 с.

8. Жежеленко, И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И.В. Жежеленко. — М.: Энероатомиздат, 2000. — 331 с.