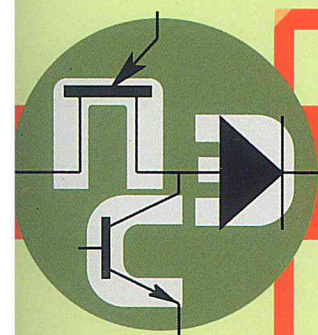
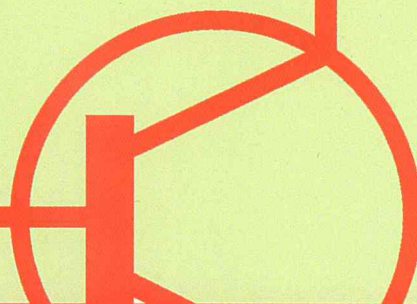
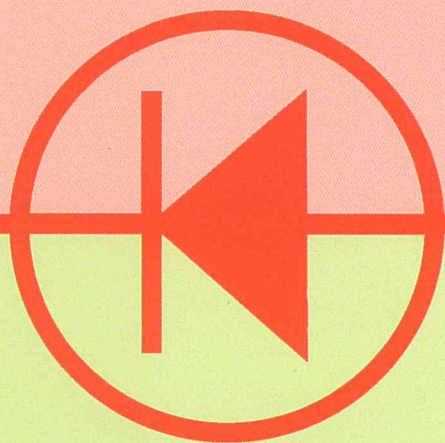


ПРАКТИЧЕСКАЯ СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА



№ 82 2021

Р. Х. Тукшаитов, О. Д. Семенова, В. Ю. Корнилов

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ НА СИНУСОИДАЛЬНОСТЬ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОСЕТИ ЖИЛОГО СЕКТОРА ЖКХ И ОРГАНИЗАЦИИ

R. Kh. Tukshaitov, O. D. Semenova,
V. Yu. Kornilov

Power Electronics Impact Estimation on Voltage Sinusoidality
of Residential Sector of Municipal Housing Economy
and Organizations

Разработана одна из методик определения и контроля уровня искажения синусоидальности напряжения электросети на основе использования широкодоступного измерителя качества электроэнергии TS-836 совместно с нелинейной нагрузкой, имеющей коэффициент мощности менее 0,50 и $\cos \varphi$, равный 1,0. Она позволила изучить уровень искажения формы напряжения электросети в жилом секторе ЖКХ и организации в течение нескольких суток.

Показано, что наибольшее значение уровня нелинейных искажений начинает проявляться в условиях жилого сектора ЖКХ с 9–10 часов и сохраняется до 23–24 часов, а наименьшее – с 3 до 7 часов утра. В условиях учебных корпусов вуза отклонение уровня нелинейного искажения и напряжения электросети от паспортного и номинального значений незначительны.

Ключевые слова: силовая электроника, электросеть, высшие гармоники, коэффициент мощности, уровень искажения, нелинейная нагрузка.

The article presents one of the techniques developed by the authors for determining and managing the level of the mains sinusoidal voltage distortion based on employing of widely accessible TS-836 electric power quality measurer in combination with nonlinear load with power factor less than 0,5 and $\cos \varphi$ equal to 1,0. This technique allowed studying the level of mains voltage shape distortion in residential sector of the municipal housing economy and organization within the space of several days.

The results of the study demonstrate that the greatest value of nonlinear distortions starts manifesting itself under conditions of residential sector from 9 to 10 a. m. and is being kept until 11–12 p. m., while the least value was obtained from 3 to 7 a. m. Under conditions of academic buildings the nonlinear distortions deviation and mains voltage from the certified and rated values is insignificant.

Key words: power electronics, power grid, high order harmonics, power factor, distortion level, nonlinear load.

Широкое внедрение силовой электроники в промышленности сопровождается снижением качества электроэнергии, в том числе, наличием в спектре сетевого напряжения высших гармоник. Поэтому эта проблема оказывается предметом постоянного изучения в литературе [1–3]. Ранее, при апериодическом наблюдении были приведены первые результаты по изучению уровня искажения синусоидальности напряжения электросети в жилом секторе [4, 5]. Наличие повышенного уровня высших гармоник в электросети жилого сектора позволяет провести более детальное изучение этого вопроса, а также рассмотреть характер проявления кондуктивной электромагнитной помехи и уровень ослабления высших гармоник напряжения электросети по мере удаления от основного его источника в течение суток.

Выпускаемые промышленностью измерители качества электроэнергии (Fluke 438, ПКЭ-А, LPW-305 и т. п.) предназначены для контроля качества электроэнергии в точках присоединения к электросетям энергосистемы при значительном уровне силы тока. Минимальные значения силы тока, регистрируемые этими приборами, начинаются от десятков до сотен и тысяч ампер. Кроме того, предел измерения коэффициента гармонических составляющих ограничен у них 20–50%, тогда как у целого ряда нагрузок он имеет значения более 100–150%. Да и цена таких приборов

малодоступна и находится в пределах 900–1000 тысяч рублей. По этим причинам они не только непригодны для контроля качества напряжения электросети непосредственно на рабочем месте, но и недоступны в широкой практике для изучения степени искажения синусоидальности тока во входных цепях маломощных нагрузок при его силе менее 1 А. Вместе с тем, имеется необходимость определения коэффициента мощности целого ряда приборов, качества напряжения сети и технических характеристик нагрузок непосредственно на рабочем месте, при их мощности 10–100 Вт (телевизоры, светодиодные лампы и т. п.). Это побудило к поиску дополнительных приемов оценки качества искажения напряжения в низковольтных электросетях, приемлемых для лабораторной практики [6, 7].

В работе поставлена задача продолжить разработку широкодоступной методики определения уровня искажения напряжения в электросетях жилого сектора и организаций и изучить характер его динамики в течение нескольких суток.

Методика исследований

В ходе выполнения работы в течение нескольких суток определялся уровень искажения формы напряжения электросети в жилом секторе г. Казани и помещениях Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Для проведения ис-

титактный счетчик импульсов (4), драйвер управления ШД (5), который распределяет импульсы управления по разным обмоткам ШД (6), и источник постоянного тока ИП (7). Управляющий блок состоит из коммутатора запуска генераторов частот (ДС), двухбитового регистра хранения (RG) и дешифратора (DCI). На управляющий блок поступают внешние сигналы управления ШД: “пуск”, “стоп”. По сигналу “пуск” коммутатор формирует сигнал запуска генератора с частотой f_1 . При поступлении сигнала с DCI включается второй генератор частот f_2 , а затем генератор f_3 , который работает до момента появления внешнего сигнала “стоп”, определяющий обнуление регистра хранения управляющего блока.

Следует отметить, что при изменении моментов нагрузки может быть недостаточно трех генераторов частот запуска ШД для выхода на предельную скорость привода. В этом случае потребуются увеличение числа генераторов блока двухступенчатого разгона ШД.

Литература

1. Дискретный электропривод с шаговыми двигателями. Под ред. Чимкина М.Г., М., Энергия, 1981.

2. М. Г. Чимкин и др. Основы автоматизированного электропривода. — М., Энергия, 1974.
3. Ходнев Н. Н., Климов В. Т. Программированный ступенчатый способ разгона шагового электропривода. В сб.: Устройства генерирования и преобразования электроэнергии на летательных аппаратах. — М., МАИ, 1983.
4. Фролкин В. Т., Попов Л. Н., Импульсные устройства. — М., Сов. радио, 1980.
5. Алексенко А. Г., Современная микросхемотехника. — М. Энергия, 1979.
6. В. П. Климов. Современные направления развития силовых преобразователей переменного тока. — Практическая силовая электроника, 2007, № 25.

Климова Светлана Ростиславовна, старший преподаватель; кафедры “Теоретическая электротехника” Московского авиационного института (национального исследовательского университета), тел. +7(916) 686-49-07.

следований использовался портативный и доступный измеритель качества электричества TS-836. Ранее было установлено, что при измерении коэффициента мощности нелинейных нагрузок с паспортным значением менее 0,50 и при повышенных уровнях искажения синусоидальности напряжения непосредственно электросети с коэффициентом нелинейных искажений более (10–15%) вносится существенная погрешность [5]. Причем, чем больше уровень гармоник в напряжении питания, тем больше погрешность показаний прибора. В жилом секторе погрешность определения коэффициента мощности, например, светодиодных ламп и отдельных персональных компьютеров, достигает 50–55%. Механизм этого явления заключается в том, что высшие гармоники электросети направлены в противофазе к высшим гармоникам входного тока генерируемой нагрузкой, приводя к соответствующему завышению результатов измерения. Этим явлением решили воспользоваться для косвенного определения уровня искажения напряжения электросети по показаниям прибора TS-836. При этом, результат измерения получали по шкале “коэффициент мощности”, но по вышеописанной причине, его называли “уровнем искажения” (УИ) и выражали в условных единицах (ус. ед.).

Измерение УИ проводилось в течение первых двух суток с периодом наблюдения в 1 ч, а в последующие семь суток – аperiodично, лишь для уточнения выявленных закономерностей. Одновременно, в те же часы и тем же прибором, измерялось напряжение в электросети. По значению напряжения электросети оценивался уровень ее загрузки в разные периоды суток. В качестве нелинейной контрольной нагрузки применялась, предварительно поверенная в аттестованной лаборатории “АРХИЛАЙТ” (г. Москва), светодиодная лампа Camelion-10 Вт с коэффициентом мощности 0,45 при $\cos\varphi$, равном 1,0.

Показания УИ и напряжения электросети параллельно контролировались также на разнесенных этажах в четырех учебных корпусах вуза (А, Б, В, Д) и расположенном рядом высотном студенческом общежитии с целью выяснения участка перегрузки по напряжению в локальной электросети и места формирования в ней высших гармоник.

Результаты исследований

На рис. 1 представлена динамика величины УИ синусоидальности напряжения электросети в течение двух суток в жилом секторе и в одном из помещений вуза. Наибольшие искажения формы напряжения электросети, регистрируемые по УИ, наблюдаются в условиях жилого сектора.

С начала первых суток УИ в жилом секторе начинает уменьшаться со значения, равного 0,65. Приблизительно к трем часам ночи он достигает минимального значения 0,47, которое в последующем, начиная с семи часов утра, возрастает, что свидетельствует о начале снижения качества электроэнергии в сети. Сравни-

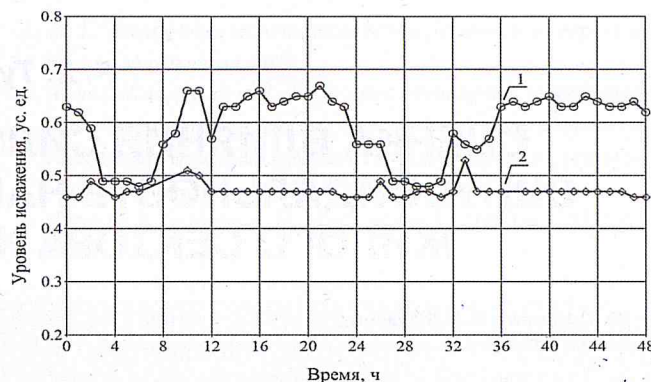


Рис. 1. Характер изменения уровня искажения формы напряжения электросети в течение двух суток в условиях жилого сектора (1) и вуза (2)

тельный анализ полученных результатов показывает, что в зимний период повышенный уровень качества напряжения сохраняется в утренние часы на два часа дольше, по сравнению с летним периодом [5].

Значение УИ в течение дня находится в пределах 0,65–0,67. К двадцати трем часам он начинает снижаться и снова достигает минимального значения к трем часам утра ночи. В течение вторых суток характер изменения УИ повторялся аналогично первым суткам.

В рабочие дни также проводились измерения УИ, в том числе в ряде корпусов вуза, но аperiodически, для подтверждения его динамики и выявления некоторых отличий. Особенность изучаемой динамики в жилом секторе заключается в том, что в субботу УИ возрастает до максимального уровня к десяти часам дня, в воскресенье – только к одиннадцати часам, а в рабочие дни он принимает максимальное значение уже к девяти часам. По этому признаку можно косвенно судить не только о качестве электроэнергии, но и о начале роста энергопотребления в рабочие и выходные дни.

Параллельно с регистрацией УИ в жилом секторе определялась и его динамика в условиях вуза. В районе второго часа первых суток наблюдается некоторое кратковременное повышение УИ. К четырем часам он понижается до минимально достижимого уровня, а снова он повышается до 0,51 к десяти часам. Уже по истечении двух часов УИ вновь принимает минимальный уровень, который сохраняется до 22 часов. С 23 часов до двух часов ночи следующих суток УИ незначительно снижается (на 2%). Во вторые сутки выявленная закономерность УИ в целом повторяется. Из рис. 1 следует, что УИ в вузе практически в 1,5 раза меньше, чем в жилом секторе, что свидетельствует о сравнительно более высоком качестве электроэнергии в вузе. При одновременном измерении УИ в двух разнесенных по этажам здания точках питания наблюдаются одинаковые его значения. В одних аудиториях каждого корпуса УИ в вечерние часы равен 0,47 ус. ед., а в других может периодически возрастать до 0,51 ус. ед.

Что касается УИ напряжения электросети одного из помещений вуза то видно, что он в течение суток изменяется, но в сравнительно небольших пределах

(0,46–0,51). В районе двух часов ночи УИ повышается с 0,46 до 0,53, что указывает на определенное снижение качества электроэнергии. Это может быть вызвано изменением соотношения между силой тока нелинейных и линейных нагрузок, что было рассмотрено ранее в [8]. Вероятно, это обусловлено прекращением работы электроплит на кухнях соседнего высотного студенческого общежития при сохранении работы дуговых натриевых ламп уличного освещения. Начиная с 14 часов, УИ уменьшается до практически своего предельного уровня, о чем косвенно свидетельствует его значение, равное 0,46–0,47. Наименьшее значение УИ отмечается в час ночи.

Параллельно с регистрацией УИ определялась динамика напряжения электросети в жилом секторе и в корпусе вуза. Наибольшие относительные колебания напряжения наблюдаются в жилом секторе (рис. 2). В субботу напряжение возрастает с двух до восьми часов утра, что свидетельствует о снижении энергопотребления. В рабочие дни и в субботу в районе 8–10 часов утра наблюдается небольшой провал напряжения. Последнее очевидно вызвано тем, что еще немало людей трудятся и в субботу.

Наибольшее повышение напряжения относительно среднего его значения достигает 5%. Практически аналогичная динамика имела место в воскресный день. Отличие заключается лишь в том, что напряжение практически оставалось повышенным до десяти часов утра.

Только в вечернее время с 18 до 22 часов наблюдается небольшой провал напряжения, причем в субботний вечер в большей степени на 4%. Следует отметить, что динамика изменения напряжения в жилом секторе частично коррелирует с динамикой УИ. Вместе с тем, более информативным показателем уровня энергопотребления служит УИ.

Значения напряжения в помещениях вуза в течение суток остаются несколько повышенными (на 2–3%) в силу недозагрузки локальной электросети. При этом

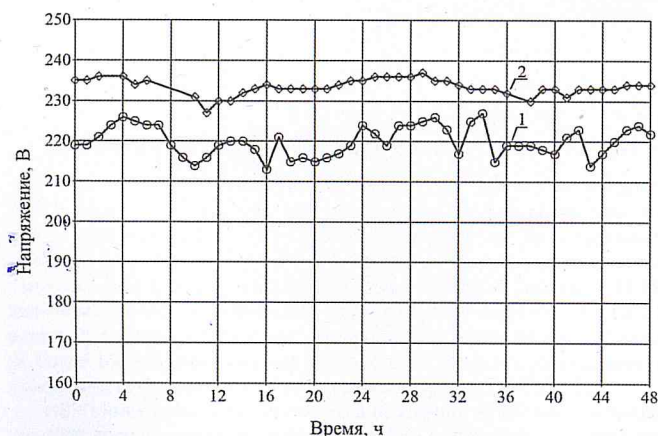


Рис. 2. Характер изменения напряжения питания в течение двух суток в условиях жилого сектора (1) и вуза (2)

закономерные изменения напряжения в ночное и дневное время не выявляются. В ночные часы коэффициент мощности лишь на одну сотую долю меньше, чем в дневное время, то есть всего на 2% меньше паспортного значения. В опытах отмечалось кратковременное незначительное повышение нагрузки на электросеть в период с 8 до 12 часов и далее с 18 до 23 часов как в рабочие дни, так и в выходные.

С повышением нагрузки уровень высших гармоник достигает максимума, что свидетельствует о достижении предельного значения уровня искажения синусоидальности. Имеется небольшая корреляция между УИ и напряжением сети, однако визуально она четко не просматривается.

Установлено, что уровень искажения регистрируется в меньшей степени в точке ввода напряжения в квартиру, чем в удаленной ее комнате. Вероятно, некоторое ослабление высших гармоник происходит в подводящих проводах.

Заключение

Предложенная методика оценки качества и установка, состоящая из доступного прибора TS-836 и нелинейной нагрузки с коэффициентом мощности менее 0,50, позволяют проводить изучения уровня искажения синусоидальности напряжения электросети и уровня кондуктометрических помех в условиях жилого сектора, а также предприятий и организаций. Она может быть успешно использована в учебных целях для изучения и демонстрации уровня искажений электросети в разных точках подключения нагрузок и уровня электромагнитной совместимости различных приборов.

Предложенная методика позволила выявить характер изменения качества электроэнергии в помещениях жилого сектора ЖКХ и вуза в течение ряда суток. Она позволяет выявлять наличие разного качества электроэнергии даже в пределах одной комнаты или аудитории и оперативно отслеживать уровень загрузки электросети.

Литература

1. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 2004. 358 с.
2. И. И. Карташев, В. Н. Тульский, Р. Г. Шамонов и др. Управление качеством электроэнергии. Под ред. Ю. В. Шарова. — М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 320 с.
3. Шаров Ю. В., Тульский В. Н., Иноятов Б. Д. Разработка методики оценки состояния системы электроснабжения по изменению показателей качества электроэнергии. Управление качеством электричества. Сб. докл. — М.: МЭИ, 2018. с.
4. Туксаштов Р. Х., Нигматуллин Р. М., Айхайти Исыхакафу, Салимуллин М. Ф. Оценка качества электрической энергии по уровню коэффициента искажения напряжения электросети. — Успехи современной науки. 2016. Т. 2. № 10. С. 105–108.

5. Тукшаитов Р. Х., Корнилов В. Ю., Салимуллин М. Ф. О величине погрешности измерения коэффициента мощности светодиодных ламп в течение суток в зависимости от коэффициента искажения напряжения электросети. В сборнике: Фундаментальные и прикладные проблемы физики. — Материалы X Международной научно-технической конференции, 2017. С. 18–22.
6. Тукшаитов Р. Х. Определение уровня нелинейных искажений входного тока разных типов нагрузок на основе измерения коэффициента мощности и его сомножителя $\cos \phi$. — Практическая силовая электроника. 2018. № 4. С. 30–35.
7. Тукшаитов Р. Х. О коэффициенте мощности и $\cos \phi$ выпрямительного устройства при разных активно-емкостных нагрузках и уровне эмиссии в электросеть высших гармоник. — Практическая силовая электроника. 2019. № 3. С. 53–55.
8. Тукшаитов Р. Х., Семенова О. Д. Об одном способе подключения “нелинейных” нагрузок для снижения уровня их влияния на

качество напряжения электросети. В сборнике: Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники: матер. III Всерос. науч.-практ. конф. — Казань: Казанский гос. энерг. ун-т, 2021. С. 247–251.

Тукшаитов Рафаил Хасьянович, д. б. н., профессор, профессор кафедры “Электрооборудование и электрохозяйства предприятий, организаций и учреждений”, академик РАЕ. тел.: +7 (987) 184-03-15; e-mail: trh_08@mail.ru;

Семенова Ольга Дмитриевна, инженер кафедры “Электрооборудование и электрохозяйства предприятий, организаций и учреждений”, тел.: +7(917)8978457 ; e-mail: ollivka5001@mail.ru;

Корнилов Владимир Юрьевич, д. т. н., профессор, профессор кафедры “Приборостроение и механотроника”, академик ПАНИ, тел.: +7(917)269-91-99; e-mail: vkstbrus@gmail.com.