

ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ И КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В НИЗКОВОЛЬТНЫХ СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

М.В. Загирняк, докт.техн.наук, **В.В. Прус**, канд.техн.наук, **А.В. Никитина**
Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, Кременчуг, 39600, Украина.
e-mail: mzagirn@kdu.edu.ua

Исследованы особенности процессов энергопотребления и энергопреобразования в низковольтных электрических сетях 0,4 кВ для условий различной относительной величины и вида нагрузки. Получены диапазоны изменения коэффициента нелинейных искажений. Обоснован достаточный набор информативных параметров для оценки степени влияния отдельных потребителей на качество электрической энергии, который включает коэффициент нелинейных искажений, отдельные спектральные составляющие сигнала мгновенной мощности и коэффициенты, характеризующие особенности энергопреобразования, рассчитываемые в соответствии с р-q-r-теорией мгновенной мощности. Рассмотрены пути применения полученных результатов при оценке энергетической эффективности работы отдельных потребителей в составе систем технического учета электрической энергии в низковольтных сетях. Библ. 6, табл. 1, рис. 4.

Ключевые слова: низковольтная сеть, несимметрия, нелинейные искажения, мгновенная мощность, р-q-r теория.

Введение. Проблема энергосбережения, особенно актуальная в последние годы, ставит одной из основных задач повышение энергетической эффективности промышленного производства и коммунального сектора при общем снижении их энергопотребления. Для электрической энергии это, в первую очередь, означает внедрение современных технологий, обеспечивающих непосредственное энергосбережение наряду с высоким уровнем электромагнитной совместимости потребителей и сети. Как правило, решить такую задачу на уровне промышленных и коммунальных предприятий часто не представляется возможным по причине недостаточного применения систем учета электрической энергии в сетях низкого напряжения 0,4 кВ. Как известно, именно эти сети характеризуются самым низким качеством электрической энергии, что чаще всего объясняется влиянием самих потребителей [4].

Процесс ухудшения качества электроэнергии в промышленных сетях 0,4 кВ имеет свои особенности и обусловлен влиянием потребителей разного вида и мощности, которые могут быть в общем случае представлены как линейная симметричная и несимметричная нагрузка (осветительные и маломощные нагревательные приборы), нелинейная статическая симметричная и несимметричная нагрузка (силовые дроссели, импульсные блоки питания бытовых устройств), резкопеременная динамическая нелинейная нагрузка (чаще всего – управляемые электромеханические преобразователи, включающие в свой состав электрическую машину и силовую часть полупроводникового преобразователя). В условиях насыщенности сетей нелинейными потребителями доминирующим фактором ухудшения качества электроэнергии становится несинусоидальность токов, а в целом ряде случаев – и напряжений на фоне достаточно высокого уровня их несимметрии [6].

Цель работы. Экспериментальная оценка показателей качества электрической энергии в реальных режимах работы потребителей типовых промышленных и коммунальных предприятий с дальнейшей систематизацией результатов по видам и уровням нагрузки, а также разработка эффективного механизма разделения влияния отдельных групп потребителей на качество электрической энергии в низковольтных сетях.

Материал и результаты исследований. Анализируя энергопотребление в электрических сетях низкого напряжения 0,4 кВ, следует учитывать тот факт, что основной их проблемой является достаточно ограниченная мощность трансформатора (0,5 – 1 МВА), соизмеримая с эквивалентными мощностями групп потребителей, а также высокая его загруженность по мощности, достигающая 1,1 номинала. В таких условиях влияние однотипной нелинейной нагрузки способно вызвать искажение сигнала напряжения питания. Оценивая влияние несимметрии и несинусоидальности на характер протекания энергообменных процессов в низковольтных сетях, нужно учитывать, что оба вида изменения характеристик приводят к возникновению колебаний суммарной мгновенной мощности трехфазной сети, что не может быть описано с использованием классических представлений об энергообменных процессах [3].

Экспериментальные исследования энергетических процессов в сетях низкого напряжения проводились с использованием компьютеризированной системы учета энергопотребления и качества электроэнергии, реализованной на базе сертифицированного внешнего измерительного модуля LCard E14-440 [2].

В ходе исследований были проведены измерения потребляемой мощности и показателей качества электрической энергии в сетях низкого напряжения 0,4 кВ ПАО Еристовский ГОК (г. Комсомольск), ПАО «Кременчугский вагоностроительный завод», Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского и жилого многоэтажного дома, находящегося в собственности коммунального предприятия г. Кременчуга, далее по тексту обозначенных как объекты 1 – 4, соответственно. С целью исследования различных режимов нагрузки измерения проводились многократно в различное время суток, что позволяло варьировать количество и суммарную мощность подключаемых потребителей для коммунальных объектов, а

для промышленных – дополнительно учитывать тип и характер потребителей. Первичными измеряемыми параметрами были напряжение $u(t)$ и ток $i(t)$ по каждой из фаз. Их форма для одной из фаз на участках сети объектов 1 – 4 в случае произвольной нагрузки показана соответственно на рис. 1–4.

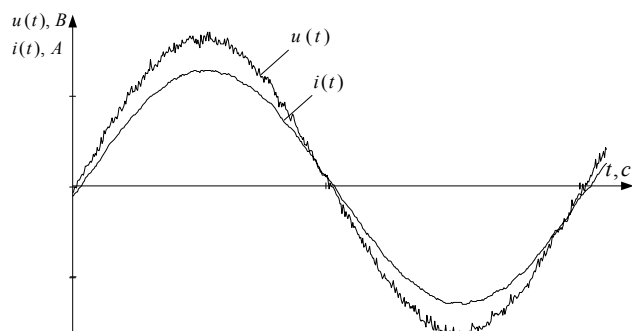


Рис. 1

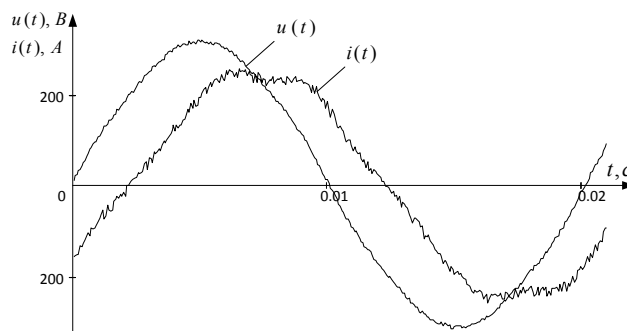


Рис. 2

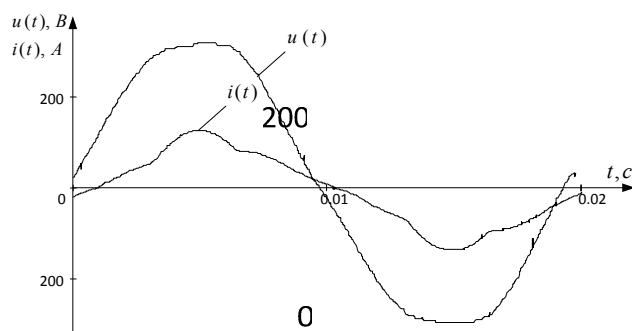


Рис. 3

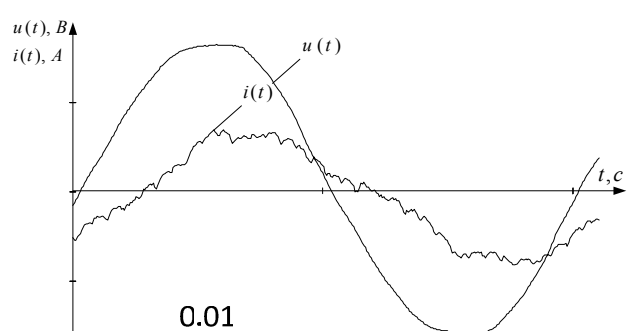


Рис. 4

Как видно из приведенных зависимостей, искажения формы напряжения и тока имеют различный характер для промышленных и коммунальных объектов, что проявляется в разном спектральном составе измеряемых сигналов. Кроме этого, для коммунальных объектов более характерна неравномерная нагрузка фаз. В результате обобщения данных измерений получены диапазоны изменения основных показателей качества электрической энергии, характерных для рассматриваемых сетей – коэффициентов нелинейных искажений фазных напряжений THD_U и токов THD_I , что отражено в таблице. Из полученных результатов видно, что более низкие значения искажений соответствуют объекту 1 и объясняются большей мощностью трансформаторной подстанции и линейным характером нагрузки. Рост искажений тока и напряжения для объектов 3 и 4 вызван суммарным влиянием независимых импульсных источников питания и прочей нелинейной нагрузки, а высокие искажения тока на объекте 2 – влиянием нелинейной динамической нагрузки.

Измеряемый показатель	Активная мощность нагрузки на фазу P , кВт	THD_U , %	THD_I , %
Объект 1	44,9 – 61,2	7,04 – 9,23	8,12 – 15,4
Объект 2	16,4 – 38,7	5,17 – 17,6	10,7 – 24,8
Объект 3	6,2 – 31,6	3,28 – 15,7	9,74 – 21,7
Объект 4	3,7 – 26,1	3,84 – 11,25	8,33 – 17,4

В процессе оценки информативности показателей, представленных в таблице, была подтверждена возможность идентификации с их помощью однофазных и трехфазных потребителей, искажающих качество энергетических процессов в низковольтной сети 0,4 кВ. Такая идентификация наиболее эффективна в составе систем технического учета электрической энергии при условии контроля ее отдельных показателей в ключевых узлах электрической сети. Доказано повышение достоверности идентификации при дополнительном учете отдельных спектральных составляющих сигнала мгновенной мощности, несущих основную информацию о форме такого сигнала, а также коэффициентов, характеризующих особенности энергопреобразования, и рассчитываемых в соответствии с $p-q-r$ -теорией мгновенной мощности таких, как коэффициент K_{disp} сдвига, коэффициент K_{dist} –искажения и коэффициент K_{pow} мощности [5]. Совместное использование указанных показателей, характеристик и коэффициентов позволяет точно определять потребителей, искажающих качество энергетических процессов для любой топологии и распределения нагрузки в низковольтной сети 0,4 кВ. Для этого обосновано использование предварительно обученной на контрольных выборках рекуррентной нейронной сети Элмана [1].

Вывод. Проведенная систематизация результатов экспериментальных исследований особенностей энергопотребления типовых потребителей промышленных и коммунальных объектов по видам и уровням нагрузки позволила получить диапазоны изменения основных показателей качества электрической энергии, а также разработать механизм разделения влияния отдельных групп потребителей на качество электрической энергии в низковольтных сетях.

1. Применение нейронных сетей для решения задач прогнозирования. – <http://neural-networks.ru/>
2. Прус В.В., Никитина А.В. Учет энергопотребления и оценка качества электрической энергии в промышленных сетях низкого напряжения // Техн. электродинамика. Тем. вып. "Проблемы сучасної електротехніки". – 2010. – Ч. 2. – С. 61–66.
3. Родькин Д.И. Комментарий к теории энергопроцессов с полигармоническими сигналами // 36. наук. праць Кіровоградського національного технічного університету. – 2004. – Вип. 15. – С. 10-18.
4. Шидловский А.К., Жаркин А.Ф. Высшие гармоники в низковольтных электрических сетях. – Киев: Наукова думка, 2005. – 210 с.
5. Kim H., Blaabjerg F., Bak-Jensen B., Choi I. Instantaneous power compensation in three-phase systems using p-q-r theory // IEEE Trans. Power Electronics. – 2002. – Vol. 17. – No 5. – Pp. 701-710.
6. Zagirnyak M., Prus V., Nikitina A. Method of low-voltage electric network power processes control and their quality assurance on the basis of p-q-r theory // Acta Technica. – 2013. – Vol. 58. – No 4. – Pp. 367–380.

УДК 621.316.176: 621.317.382

ОСОБЛИВОСТІ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ У НИЗЬКОВОЛЬТНИХ МЕРЕЖАХ ПРОМИСЛОВИХ І КОМУНАЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ

М.В. Загірняк, докт.техн.наук, **В.В. Прус**, канд.техн.наук, **А.В. Нікітіна**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, Кременчук, 39600, Україна.

e-mail: mzagirn@kdu.edu.ua

Досліджено особливості процесів енергоспоживання та енергоперетворення у низьковольтних електричних мережах 0,4 кВ для умов різної відносної величини й виду навантаження. Отримано діапазони зміни коефіцієнта нелінійних викривлень. Обґрунтовано достатній набір інформативних параметрів для оцінки ступеня впливу окремих споживачів на якість електричної енергії, який включає коефіцієнт нелінійних викривлень, окремі спектральні складові сигналу миттєвої потужності й коефіцієнти, що характеризують особливості енергоперетворення, які розраховуються відповідно до q-r-теорії миттєвої потужності. Розглянуто шляхи застосування отриманих результатів при оцінці енергетичної ефективності роботи окремих споживачів у складі систем технічного обліку електричної енергії у низьковольтних мережах.

Бібл. 6, табл. 1, рис. 4.

Ключові слова: низьковольтна мережа, несиметрія, нелінійні викривлення, миттєва потужність, p-q-r теорія.

SPECIAL FEATURES OF ENERGY CONSUMPTION AND QUALITY OF ELECTRICITY IN LOW-VOLTAGE NETWORKS OF INDUSTRIAL AND UTILITY ENTERPRISES

M. Zagirnyak, V. Prus, A. Nikitina

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University,

20, Pershotravneva str., Kremenchuk, 39600, Ukraine.

e-mail: mzagirn@kdu.edu.ua

Special features of the processes of energy consumption and conversion in low-voltage electric networks 0.4 kV are researched for conditions of different relative value and types of load. The ranges of variation of the nonlinear distortion coefficient. A sufficient set of informative parameters for assessment of the degree of particular consumers influence on the quality of electricity is substantiated. It includes the coefficient of nonlinear distortions, separate spectral components of instantaneous power signal and coefficients, characterizing energy conversion special features, calculated according to p-q-r-theory of instantaneous power. The ways of application of the obtained results to assessment of power efficiency of operation of particular consumers as a part of a system of electricity technical record in low-voltage networks are considered. References 6, tables 1, figures 4.

Key words: low-voltage network, asymmetry, nonlinear distortions, instantaneous power, p-q-r theory.

1. Application of neural networks to solution of forecasting problems. Available at: <http://neural-networks.ru/> (Rus.)
2. Prus V.V., Nikitina A.V. The calculation of power consumption and an estimation of quality of electrical energy in industrial mains with a low voltage // Tekhnichna elektrodynamika. Tematychnyj vypusk "Problemy suchasnoi elektrotekhniki". – 2010. – Part 2. – Pp. 61–66. (Rus.)
3. Rodkin D.I. The comment to the theory of power processes with polyharmonic signals // Zbirnyk naukovykh prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu, 2004. – Vyp. 15. – Pp. 10-18. (Rus.)
4. Shidlovskiy A.K., Zharkin A.F. High harmonics in low voltage industrial mains. – Kyiv: Naukova dumka, 2005. – 210 p. (Rus.)
5. Kim H., Blaabjerg F., Bak-Jensen B., Choi I. Instantaneous power compensation in three-phase systems using p-q-r theory // IEEE Trans. Power Electronics. – 2002. – Vol. 17. – No 5. – Pp. 701-710.
6. Zagirnyak M., Prus V., Nikitina A. Method of low-voltage electric network power processes control and their quality assurance on the basis of p-q-r theory // Acta Technica. – 2013. – Vol. 58. – No 4. – Pp. 367–380.

Надійшла 27.01.2016
Остаточний варіант 17.05.2016