

УДК 621.317.619

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НА КОЭФФИЦИЕНТ ИСКАЖЕНИЯ СИНУСОИДАЛЬНОСТИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Павлов Н.В., Лейзгольд К.А., Ромодин А.В.

*Пермский национальный исследовательский политехнический институт, Пермь,
e-mail: lka@mail.msa.pstu.ru*

В статье рассмотрено влияние коэффициентов гармонических составляющих на коэффициент искажения синусоидальности в системе электроснабжения промышленного предприятия. Целью работы являлось создание алгоритма определения зависимости между коэффициентами. Расчеты производились на основе показаний регистратора показателей качества электроэнергии (ПКЭ) системы электроснабжения месторождения нефти и газа, а именно показаний коэффициента искажения синусоидальности и коэффициента 3-ей гармоники. Было установлено, что выборка значений этих коэффициентов не удовлетворяет закону нормального распределения. Для пары коэффициентов была произведена оценка корреляции с помощью критерия Кенуя, что подтвердило гипотезу о наличии корреляционной связи. Также была проведена проверка данной пары коэффициентов на соответствие линейному закону методом наименьших квадратов. Точность построения функции непропорциональна количеству значений, учтенных при расчетах. Учитывая все особенности выборок, в итоге был сформулирован алгоритм определения зависимости между коэффициентами.

Ключевые слова: корреляционный анализ, коэффициент гармонической составляющей напряжения, коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения

ASSESSMENT OF THE HARMONIC COMPONENTS INFLUENCE ON A VOLTAGE DISTORTION FACTOR IN THE INDUSTRIAL ENTERPRISE POWER SUPPLY SYSTEM

Pavlov N.V., Leyzgold K.A., Romodin A.V.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: lka@mail.msa.pstu.ru

The article deals with the harmonious components factors influence on the voltage distortion factor in the industrial enterprises power system. The aim of the work was to create a determining algorithm of dependence between factors. Calculations were made on the basis of power quality indicators (PQI) registrar indications of oil and gas power supply system, namely the voltage distortion factor and the third harmonic factor. It has been established that the sample values of these factors does not satisfy the normal distribution law. The correlation assessment by means of Kenui criterion has been made for couple of factors that has confirmed a hypothesis of correlation existence. Also an inspection of this factors couple on compliance to the linear law has been carried out by the method of smallest squares. Accuracy of function creation is disproportionate to amount of values taken into account when calculating. Considering all the features of the samples, the determining algorithm of dependence between factors was eventually formulated.

Keywords: correlation analysis, voltage harmonious component factor, voltage waveform distortion factor

Математические методы широко используются для исследования зависимостей в медицине, экономике и других областях деятельности человека. Универсальный математический аппарат позволяет применять корреляционный и регрессионный анализ в любой предметной области, таким образом, возможно его использование в электроэнергетике, например, для определения зависимостей с целью эффективного управления процессами. В работах [3, 7] рассматриваются подходы к минимизации потерь активной мощности, зависящей от показателей качества электроэнергии (ПКЭ), однако они рассматривают лишь методы управления отдельными показателями, но не улучшение показателей качества в комплексе. В работах [4–6] приводились комплексные аспекты управления в электроэнергетике,

в том числе рассматривалась актуальность создания системы управления ПКЭ, приведены три основных этапа её построения и проводился корреляционный анализ нескольких пар показателей на основе малой выборки, она позволила провести лишь поверхностное исследование.

В качестве объекта исследования были использованы выборки показаний регистратора ПКЭ, полученные при измерениях в системе электроснабжения одного из месторождений нефти и газа ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ», – коэффициент третьей гармонической составляющей и коэффициент искажения синусоидальности напряжения. Показания снимались в течении 7 дней, за это время в системе происходили различные переключения, что приводило к изменению значений коэффициентов. На рис. 1

выборочно представлены результаты измерений за 2 часа коэффициента третьей гармоники и коэффициента искажения синусоидальности.

Первым этапом исследования взаимозависимости между величинами является определение их закона распределения. Анализ выборки показал, что распределение значений не соответствует закону нормального распределения и следует использовать методы непараметрического корреляционного анализа, основанные на применении порядковых статистик. Такие методы, обладая повышенной устойчивостью к отклонениям распределения от нормального, в большинстве случаев позволяют упростить вычисления, оставляя на приемлемом уровне статистические характеристики получаемых заключений по гипотезам.

Гипотеза о наличии корреляции проверялась при помощи критерия Кенуя, описанного в [2]. Наличие зависимости также возможно проверить с помощью методов ранговой корреляции, но в данном случае нас не интересует количественная характеристика связи, поэтому достаточно так называемого «быстрого» критерия Кенуя. Согласно этим методикам было проверено наличие корреляции для пары: коэффициент третьей гармонической составляющей $K_{U(3)}$ фазы А и коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения K_{UA} .

Критерий Кенуя был применен для нескольких выборок длиной от 81 до

10047 строк. Выборка длиной в 81 строку – наименьшая выборка, при которой расчеты по критерию Кенуя еще определяли, что между рассмотренной парой коэффициентов связь присутствует с доверительной вероятностью 0,99.

Далее необходимо вывести закон, которому подчиняется выбранная пара коэффициентов. В первую очередь была проведена проверка на соответствие линейному закону. Линейный регрессионный анализ исходит из наличия зависимости $y = a + bx$, где a и b – неизвестные коэффициенты регрессии, а x и y – значения переменных. Оценка коэффициентов регрессии выполняется методом наименьших квадратов, описанным в [1, 2].

В результате получается функция максимально приближенная к истинному закону. Для оценки качества построенной модели используется средняя ошибка аппроксимации, вычисленная по формуле

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{y - \bar{y}}{y} \right| \cdot 100\%,$$

где n – количество пар расчетных и фактических значений, y – фактическое значение функции, \bar{y} – расчетное значение функции. Допустимый предел значений средней ошибки аппроксимации не более 8–10%. Подобным образом возможно провести оценку влияния на коэффициент искажения синусоидальности остальных коэффициентов гармонических составляющих.

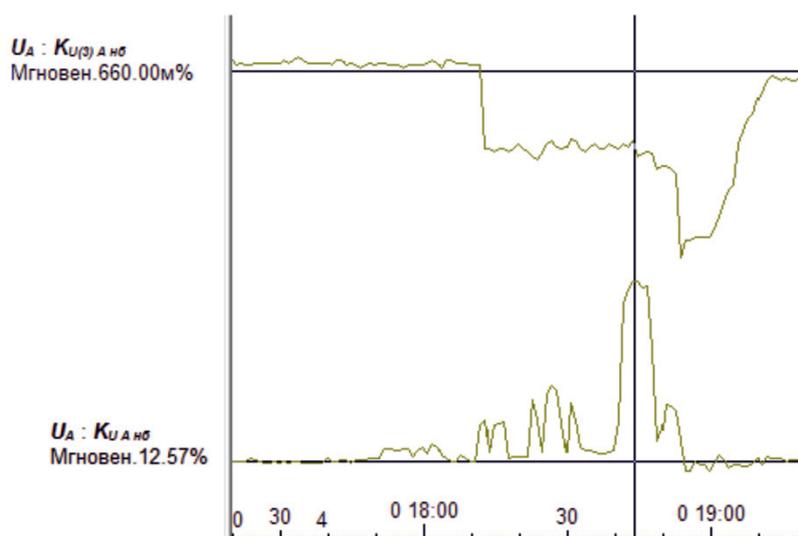


Рис. 1. Графики изменения коэффициента третьей гармоники и коэффициента искажения синусоидальности за двухчасовой период

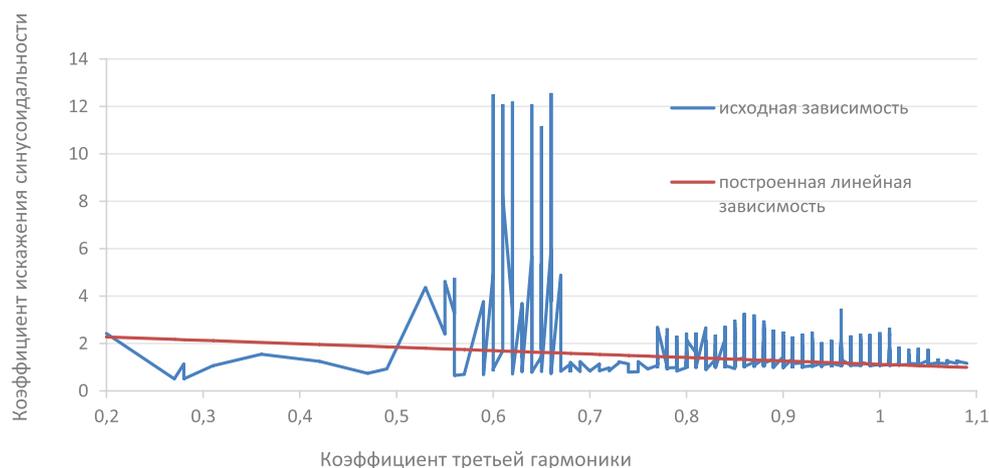


Рис. 2. График зависимости при выборке размером 10047 строк

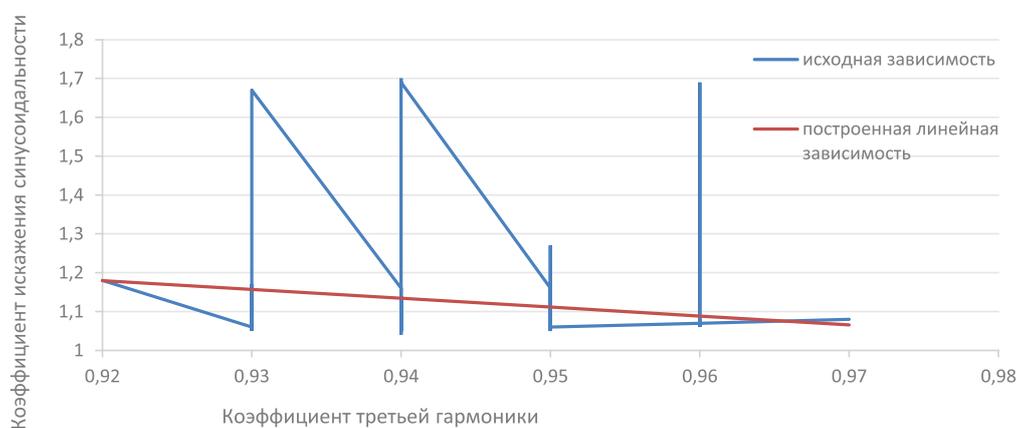


Рис. 3. График зависимости при выборке размером 81 строка

Таблица 1

Результаты проверки на соответствие линейному закону

Количество строк (время измерения)	Число n , отвечающее за наличие связи	Функция	Среднее отклонение, %
10047 (7 дней)	2245	$y = 2,56 - 1,44 x$	12,46
5030 (3,5 дня)	1249	$y = 3,73 - 2,6 x$	13,52
2520 (1,75 дня)	930	$y = 4,62 - 3,5 x$	16,2
1455 (1 день)	441	$y = 5,01 - 3,92 x$	17,73
735 (12 часов)	239	$y = 0,16 - 1,05 x$	9,67
195 (3 часа)	161	$y = 3,1 - 2,07 x$	5,21
81 (примерно 1,5 часа)	112	$y = 3,28 - 2,28 x$	6,19

Результаты проверок на наличие корреляции и соответствие линейному закону представлены в табл. 1.

Выборки, состоящие из разного количества строк, дают разную среднюю ошибку аппроксимации. Начиная с количества

1455 строк и более, среднее отклонение от линейного закона уменьшается и в итоге равняется 12,46% при 10047 строках. А при меньшем количестве строк среднее отклонение уже не имеет прямо пропорциональной зависимости от количества

строк. Предполагается, что существует оптимальное количество строк, при котором линейная функция будет наиболее точно описывать взаимодействие этих двух коэффициентов.

Графики зависимости коэффициента искажения синусоидальности от коэффициента третьей гармоники для выборок в 10047 и 81 строк представлены на рис. 2 и 3.

Если ошибка аппроксимации слишком большая, даже при достаточных размерах выборки, то влияние коэффициента гармонической составляющей следует описывать каким-нибудь более сложным законом. Для любой системы независимо от происходящих в ней переключений и вида нагрузок

алгоритм в общем виде будет выглядеть одинаково. Сами функции необходимо корректировать в каждом отдельном случае, в зависимости от вида подключаемой нагрузки. Исходя из вышесказанного алгоритм для оценки влияния гармонических составляющих на коэффициент искажения синусоидальности сформулирован следующим образом:

1. Первый этап – определение закона распределения значений коэффициентов. В случае, если значения подчиняются закону нормального распределения, то следует определять зависимость классическим коэффициентом Пирсона, в противном случае

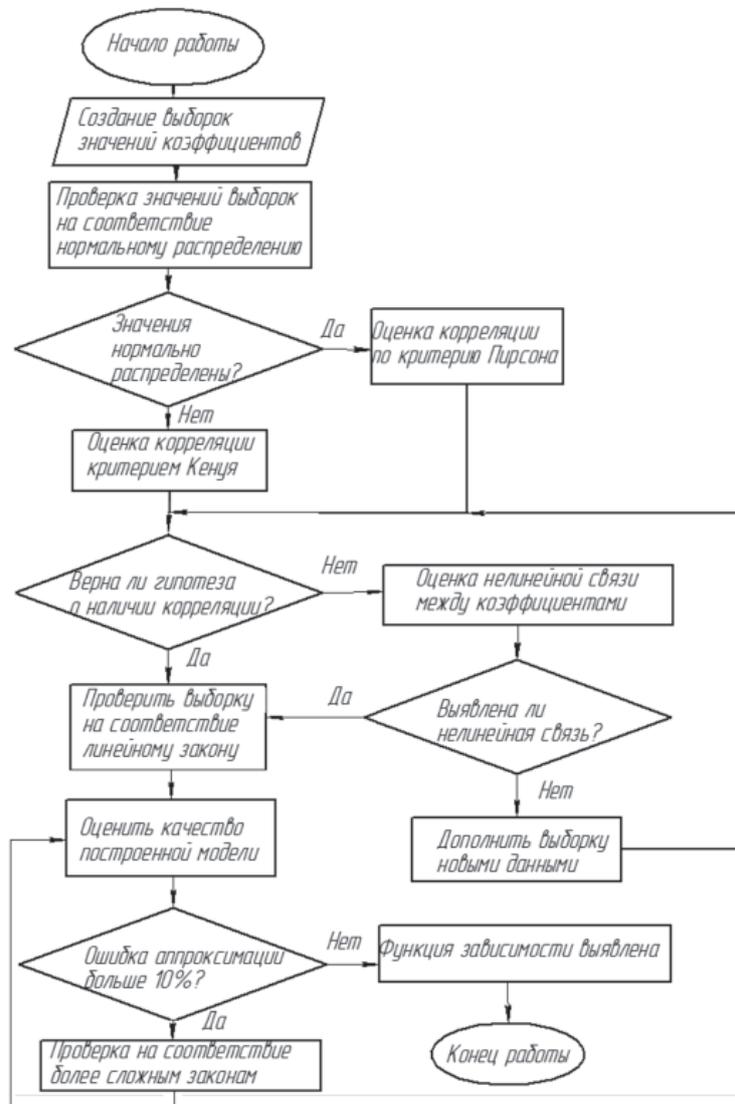


Рис. 4. Алгоритм оценки влияния гармонических составляющих на коэффициент искажения синусоидальности

2. Второй этап – корреляционный анализ. Создается первоначальная выборка значений коэффициентов попарно соотношенных между собой. Затем производится оценка корреляции с помощью критерия Кенуя. Если гипотеза о наличии корреляции верна, то происходит переход к следующему этапу – регрессионному анализу. Но выборка может иметь слишком малое количество значений для того, чтобы достоверно проверить наличие корреляционной связи, поэтому в случае отсутствия связи выборку следует проверить на наличие нелинейной корреляционной связи, либо пополнять её новыми значениями.

3. Третий этап – регрессионный анализ. Выборку необходимо оценить на соответствие линейному закону, дать оценку коэффициентов регрессии, например, обобщенным методом наименьших квадратов. Затем полученная функция должна пройти проверку адекватности, для этого следует найти среднюю ошибку аппроксимации. И если ошибка аппроксимации менее 10%, то считается, что проверка на адекватность пройдена успешно и данный линейный закон достаточно точно описывает взаимосвязь выбранной пары коэффициентов. В противном случае необходимо перейти к проверке на соответствие более сложным законам.

Данный алгоритм кратко представлен в виде блок-схемы на рис. 4.

Проверку на соответствие более сложным законам проводят с использованием линеаризующих функциональных преобразований, а затем выявленный закон аналогично проверяется на адекватность нахождением средней ошибки аппроксимации [4]. Представленный алгоритм является довольно простым, содержит в себе два цикла. В последующем предполагается проведение дополнительных исследований для нахождения оптимальной выборки данных необходимой для достоверного определения наличия корреляционной связи между парами коэффициентов.

Список литературы

1. Айвазян С.А. и др. Прикладная статистика: Исследование зависимостей: справ. изд. / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин; под ред. С.А. Айвазяна. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 487 с., ил.
2. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.
3. Лейзгольд Д.Ю., Ромодин А.В., Трушников К.П. Показатели качества электрической энергии как индикаторы эффективности управления электропотреблением // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–7. – С. 1501–1506.
4. Лейзгольд К.А., Ромодин А.В., Безгодков П.А. Корреляционный анализ взаимного влияния показателей качества электрической энергии // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 8–1. – С. 126–131.
5. Петроченков А.Б., Ромодин А.В. Комплекс «Энергооптимизатор» // Электротехника. 2010. № 6. С. 49–54.
6. Петроченков А.Б., Ромодин А.В., Хорошев Н.И. Об одном формализованном методе оценки управленческих решений (на примере управления электротехническими объектами) // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2009. – № 87. – С. 166–171.
7. Ромодин А.В., Лейзгольд Д.Ю. Модель системы ситуационного управления гибкими линиями электропередачи в нормальных режимах работы [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 193; Режим доступа: www.science-education.ru/113-11670 (дата обращения: 16.03.2016).

References

1. Ajvazjan S.A. i dr. Prikladnaja statistika: Issledovanie zavisimostej: sprav. izd. / S.A. Ajvazjan, I.S. Enjukov, L.D. Meshalkin; pod red. S.A. Ajvazjana. M.: Finansy i statistika, 1985. 487 p., il.
2. Kobzar A.I. Prikladnaja matematicheskaja statistika. Dlja inzhenerov i nauchnyh rabotnikov. M.: FIZMATLIT, 2006. 816 p.
3. Lejzgold D.Ju., Romodin A.V., Trushnikov K.P. Pokazateli kachestva jelektricheskoj jenerгии kak indikatorы jefektivnosti upravlenii jelektropotrebieniem // Fundamentalnye issledovanija. 2014. no. 11–7. pp. 1501–1506.
4. Lejzgold K.A., Romodin A.V., Bezgodov P.A. Korreljacionyj analiz vzaimnogo vlijanija pokazatelej kachestva jelektricheskoj jenerгии // Fundamentalnye issledovanija. 2015. no. 8–1. pp. 126–131.
5. Petrochenkov A.B., Romodin A.V. Kompleks «Jenergooptimizator» // Jeletrotehnika. 2010. no. 6. pp. 49–54.
6. Petrochenkov A.B., Romodin A.V., Horoshev N.I. Ob odnom formalizovannom metode ocenki upravlencheskikh reshenij (na primere upravlenija jelektrotechnicheskimi ob#ektami) // Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. 2009. no. 87. pp. 166–171.
7. Romodin A.V., Lejzgold D.Ju. Model sistemy situacionogo upravlenija gibkimi linijami jelektroperedachi v normalnyh rezhimah raboty [Jelettronnyj resurs] // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2013. no. 6. pp. 193; Rezhim dostupa: www.science-education.ru/113-11670 (data obrashhenija: 16.03.2016).