

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

В статье описано проведенное исследование на комплектной трансформаторной подстанции (КТП-2) 10/0,4 кВ. Описан способ обработки результатов исследований, полученных в ходе проведения эксперимента. Все показатели суммарных коэффициентов гармонической составляющей напряжения обработаны средствами программного продукта в среде разработки LabVIEW. Выполнен анализ соответствия данного показателя качества электрической энергии на каждой фазе требованиям ГОСТ 32144–2013.

Ключевые слова: качество электрической энергии, суммарный коэффициент гармонической составляющей, гармоники, электромагнитная помеха.

Проблема качества электрической энергии в системах электроснабжения промышленных предприятий продолжает оставаться одной из важнейших, определяющих надежность и эффективность электроснабжения потребителей. Одной из основных ее составных частей является проблема наличия высших гармоник в напряжениях сети.

В последние годы на современных промышленных предприятиях значительное распространение получили электропотребители, вольт-амперные характеристики которых нелинейны. Обычно такие нагрузки называют нелинейными. В результате возникают нелинейные искажения формы напряжения сети или, другими словами, несинусоидальные режимы [1–4].

Основной круг вопросов, составляющих содержание этой проблемы, сводится к следующему: оценке электромагнитной совместимости источников высших гармоник с другими потребителями электроэнергии, т.е. влияния высших гармоник на электроустановки и возникающего при этом экономического ущерба. ГОСТ 32144–2013 характеризует нормы показателей качества электрической энергии (ПКЭ) в системах электроснабжения общего назначения. Одним из этих показателей является

несинусоидальность напряжения как вид искажения гармоническими составляющими напряжения [5]. Также, согласно данному межгосударственному стандарту, ПКЭ, которые относятся к гармоническим составляющим напряжения, являются:

— значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения до 40-го порядка $K_{U[n]}$ в процентах от напряжения основной гармонической составляющей U_1 в точке передачи электрической энергии

$$K_{U[n]} = \left[\frac{\sum_{i=1}^N K_{U[n]i}^2}{N} \right]; \quad (1)$$

$$K_{U[n]} = \frac{U_{[n]i}}{U_i} \cdot 100, \quad (2)$$

где U_i — действующее значение напряжения основной частоты при i -м наблюдении, В; $U_{[n]i}$ — действующее значение напряжения n -й гармоники, В;

— значение суммарного коэффициента гармонических составляющих (СКГС) напряжения K_U , % в точке передачи электрической энергии [5].

Интегральным показателем искажения синусоидальности напряжения является СКГС, который учитывает все гармонические составляющие. Измерять показатель КЭ рекомендуется специально разработанным и прошедшим государственную поверку информационно-вычислительным комплексом (ИВК) [1]. В нашем случае использовался ИВК «Омск-М». Обработка полученных показателей производилась при помощи прикладываемого к комплексу программного продукта (программа Omsk-M) [6].

Абсолютная погрешность прибора не превышает 0,2 в единицах измеряемой величины по каждому показателю качества электроэнергии. Температурный диапазон работы прибора от -10°C до $+35^{\circ}\text{C}$.

Данный прибор позволяет выполнять осциллографирование и получать гистограммы показателей качества электроэнергии и значения относительного времени превышения нормального допустимого значения T_1 (%) и предельного допустимого значения T_2 (%) для каждого показателя измеряемого за сутки. При соблюдении условий $T_1 < 5\%$ и $T_2 = 0$ требования ГОСТ 32144–2013 выполняются.

Гистограмма показывает вероятность попадания значения показателя качества электроэнергии в интервал возможных изменений значений показателя за период его измерения. По данным гистограммы вычисляют вероятностные числовые характеристики показателей качества электроэнергии: математическое ожидание, дисперсию, среднее квадратическое отклонение.

Руководящий документ РД 153-34.0-15.501-01 [7] устанавливает методику по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения, проведения работ, процедуры выполнения измерений, обработки и представления результатов при различных видах контроля и испытаний электрической энергии на соответствие требованиям межгосударственного стандарта [8]. Он предназначен для персонала энергоснабжающих и энергопотребляющих организаций, аккредитованных испытательных лабораторий, органов государственного энергетического надзора за соблюдением требований [5].

Средства измерений должны обеспечивать измерения при следующих номинальных значениях напряжения на их вводах:

- фазные напряжения 380 и 220 В;
- междуфазные напряжения 100 и 380 В.

Таким образом, к средствам измерений предъявляются высокие требования. Поэтому для определения показателей КЭ в нормируемых пределах, показателей качества функционирования технических средств в электрических сетях допускаются приборы и системы средств измерения, признанные пригодными к применению органами стандартизации и метрологии, прошедшие поверку и аттестацию. Они должны иметь сертификаты Госстандарта России [9].

Экспериментальные исследования проводились на комплектной трансформаторной подстанции (КТП-2) 10/0,4 кВ. К подстанции подключены термические электропечи, токарные станки, печь трубопротяжки и другое электрооборудование. Для подключения электрооборудования и измерительных приборов была выделена вторая система шин (СШ). На рис. 1 приведена схема подключения ИВК «Омск-М» к линии КИО-3 и к линии КИО-4.

Отметим, что ГОСТом 32144–2013 установлены уровни электромагнитной совместимости техниче-

ских средств по суммарному коэффициенту гармонической составляющей напряжения в электрических сетях 0,4 кВ. В табл. 1 приведены нормально допустимые и предельно допустимые значения этого коэффициента.

Процесс возникновения кондуктивной электромагнитной помехи (ЭМП) по суммарному коэффициенту гармонической составляющей напряжения представляется математической моделью [10]

$$K_U [P(K_{U,n} \leq K_U \leq K_{U,n}) > 0,05; \\ P(K_{U,n} < K_U < \infty) \neq 0] \subset \delta K_U, \quad (3)$$

где δK_U — кондуктивная ЭМП по суммарному коэффициенту гармонической составляющей напряжения, %.

Таким образом, кондуктивная ЭМП δK_U появляется в электрической сети тогда, когда вероятность нахождения величины K_U в течение суток в пределах $(K_{U,n}; K_{U,n})$ превышает 0,05, а в пределах $(K_{U,n}; \infty)$ не равна нулю. Эта кондуктивная ЭМП появляется также при выполнении только одного условия [11].

Осциллограммы изменения суммарных коэффициентов гармонической составляющей напряжения

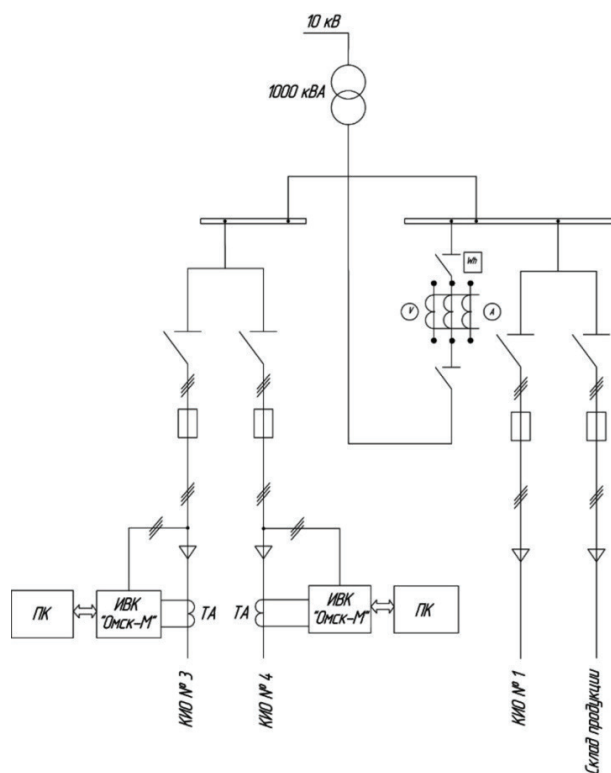


Рис. 1. Схема подключения ИВК «Омск-М» к линии КИО-3 и к линии КИО-4

Таблица 1

Значение суммарного коэффициента гармонической составляющей напряжения

Нормально допустимое значение, (%) при U_H , кВ	Предельно допустимое значение, (%) при U_H , кВ
8,0	12,0



Рис. 2. Осциллограммы изменения суммарных коэффициентов гармонической составляющей напряжения на линиях КИО-3



Рис. 3. Осциллограммы изменения суммарных коэффициентов гармонической составляющей напряжения на линиях КИО-4

на линиях КИО-3 и КИО-4 приведены на рис. 2 и рис. 3. Гистограммы распределения значений суммарного коэффициента гармонической составляющей напряжения на линиях КИО-3 и КИО-4 в течение суток приведены на рис. 4.

Сводные данные результатов испытаний, проводившихся на линиях КИО-3 и КИО-4, представлены в табл. 2–3.

Анализ данных сводных табл. 2 и 3 и гистограммы распределения значений суммарного коэффициента гармонической составляющей напряжения (рис. 2) показывает, что требования ГОСТ 32144–2013 выполняются [5]. Следовательно, на линии КИО-3 и КИО-4 не действует кондуктивная ЭМП по суммарному коэффициенту гармонической составляющей напряжения.

Результаты математической обработки показали, что эмпирическое распределение значений коэффициента K_u соответствует нормальному закону распределения случайной величины.

Для расчёта кондуктивной ЭМП по СКГС на рис. 5 и рис. 6 представлены графики нормальной плотности вероятности распределения кондуктивной ЭМП по СКГС на линиях КИО-3 и КИО-4.

Однако результаты измерений ЭЭ по коэффициенту n -ой гармонической составляющей напряжения не соответствуют требованиям стандарта.

За номинальные и допустимые пределы выходят гармоники: 14, 16, 20 и 22. В табл. 4 представлены значения коэффициентов n -х гармонических составляющих напряжения на линиях КИО-3 и КИО-4. В связи с этим существенно сокращают срок службы, приводят к преждевременному старению и выводу из строя батареи статических конденсаторов (БСК) [12].

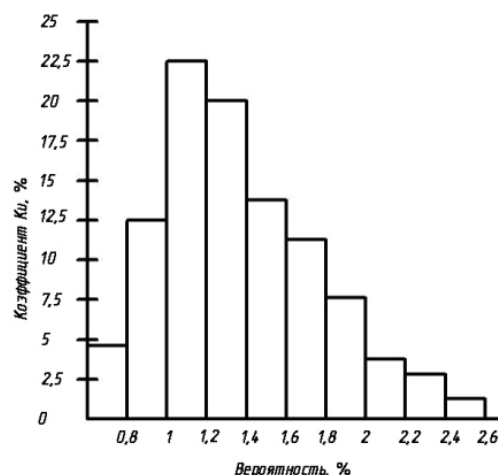


Рис. 4. Гистограммы распределения значений суммарного коэффициента гармонической составляющей напряжения на линиях КИО-3 и КИО-4

Также по результатам анализа научных работ [1–4, 13–16] выявлены и другие формы воздействия высших гармоник на электрические сети и на оборудование:

- дополнительные потери в силовых трансформаторах (вплоть до выхода из строя);
- ложное срабатывание аппаратов защиты;
- ускоренное старение изоляции проводов и кабелей;
- сбои в работе и физический выход из строя электронного оборудования;
- преждевременный выход из строя электродвигателей;

Сводные данные результатов испытаний, проводившихся на линии КИО-3

№ п/п	Параметры	Значения на фазе А	Значения на фазе В	Значения на фазе С
1	Максимальное значение суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения, K_u , max, %	2,82	2,93	2,49
2	Минимальное значение суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения, K_u , min, %	0,97	0,88	0,85
3	Математическое ожидание суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения $M [K_u]$, %	1,563	1,460	1,372
4	Среднеквадратичное отклонение $\delta[K_u]$	0,298	0,343	0,296
5	Вероятность выхода за нормально допустимое значение коэффициента K_{in}	0	0	0
6	Вероятность выхода за нормально допустимое значение коэффициента K_{ip}	0	0	0
7	Вероятность кондуктивной электромагнитной помехи ЭМП K_u , %	0	0	0
8	Вероятность кондуктивной электромагнитной помехи ЭМП K_u по нормально допустимому значению, %	0	0	0
9	Вероятность кондуктивной электромагнитной помехи ЭМП K_u по предельно допустимому значению, %	0	0	0

Таблица 3

Сводные данные результатов испытаний, проводившихся на линии КИО-4

№ п/п	Параметры	Значения на фазе А	Значения на фазе В	Значения на фазе С
1	Максимальное значение суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения, K_u , max, %	2,51	2,62	2,43
2	Минимальное значение суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения, K_u , min, %	0,88	0,85	0,82
3	Математическое ожидание суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения $M [K_u]$, %	1,498	1,388	1,304
4	Среднеквадратичное отклонение $\delta[K_u]$	0,315	0,346	0,289
5	Вероятность выхода за нормально допустимое значение коэффициента K_{in}	0	0	0
6	Вероятность выхода за нормально допустимое значение коэффициента K_{ip}	0	0	0
7	Вероятность кондуктивной электромагнитной помехи ЭМП K_u , %	0	0	0
8	Вероятность кондуктивной электромагнитной помехи ЭМП K_u по нормально допустимому значению, %	0	0	0
9	Вероятность кондуктивной электромагнитной помехи ЭМП K_u по предельно допустимому значению, %	0	0	0

— резонансные явления в электроустановках 0,4 кВ;

— снижение коэффициента мощности электроустановок.

Влияние высших гармоник на работу электрических машин, трансформаторов и ЛЭП. Основным негативным влиянием, оказываемым на электрические машины и трансформаторы, являются потери в обмотках ротора. Из-за этого фактора снижается срок службы электрической изоляции, что может привести к негативным последствиям [17–19].

Дополнительные потери электроэнергии в ЛЭП также приводят к нагреву. Этот нагрев очень существенно влияет на диэлектрик. Что, в свою очередь, увеличивает число повреждений кабельных и воздушных линий электропередач [17, 19].

Кроме потерь вследствие нагрева, высшие гармоники в электрических машинах создают моменты вращения, которые противоположно направлены к основному моменту, но, т.к. значение скольжения для токов всех гармоник практически одинаково, относительные вращающие моменты весьма

Значения коэффициентов n-ых гармонических составляющих напряжения на линиях КИО-3 и КИО-4

№ гармоники	Линии КИО-3 и КИО-4						Ku(n) _н , %	Ku(n) _п , %
	Фаза А		Фаза В		Фаза С			
	Ku(n) _н , %	Ku(n) _п , %	Ku(n) _н , %	Ku(n) _п , %	Ku(n) _н , %	Ku(n) _п , %		
2	0,04	0,06	0,03	0,05	0,05	0,07	2,00	3,00
3	0,56	0,65	0,36	0,46	0,34	0,42	2,50	3,75
4	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,05	1,00	1,00
5	1,65	1,88	1,42	1,73	1,40	1,71	6,00	9,00
6	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,50	0,75
7	0,56	0,95	0,57	1,00	0,56	1,03	5,00	7,00
8	0,14	0,18	0,12	0,15	0,12	0,14	0,50	0,75
9	0,07	0,11	0,06	0,08	0,05	0,08	0,75	1,13
10	0,12	0,20	0,09	0,19	0,13	0,26	0,50	0,75
11	1,31	1,93	1,20	1,77	0,98	1,39	3,50	5,25
12	0,03	0,05	0,05	0,07	0,04	0,07	0,20	0,30
13	0,71	1,01	1,11	1,60	1,07	1,66	3,00	4,50
14	0,25	0,49	0,23	0,62	0,22	0,46	0,20	0,30
15	0,10	0,16	0,15	0,24	0,10	0,17	0,30	0,45
16	0,18	0,45	0,21	0,58	0,28	0,55	0,20	0,30
17	0,70	1,01	0,82	1,08	0,71	0,97	2,00	3,00
18	0,03	0,05	0,06	0,11	0,05	0,06	0,20	0,30
19	0,47	0,59	0,65	0,78	0,58	0,77	1,50	2,25
20	0,21	0,33	0,22	0,34	0,23	0,27	0,20	0,30
21	0,07	0,13	0,10	0,13	0,07	0,09	0,20	0,30
22	0,16	0,30	0,18	0,38	0,17	0,38	0,20	0,30
23	0,44	0,64	0,50	0,70	0,30	0,43	1,50	2,25
24	0,02	0,04	0,05	0,07	0,04	0,06	0,20	0,30
25	0,37	0,52	0,49	0,66	0,41	0,56	1,50	2,25
26	0,12	0,22	0,11	0,31	0,12	0,19	0,20	0,30
27	0,04	0,08	0,06	0,08	0,05	0,07	0,20	0,30
28	0,09	0,25	0,10	0,28	0,09	0,26	0,20	0,30
29	0,19	0,26	0,31	0,43	0,22	0,27	1,32	1,98
30	0,01	0,03	0,04	0,06	0,03	0,06	0,20	0,30
31	0,22	0,28	0,26	0,33	0,21	0,27	1,25	1,88
32	0,08	0,12	0,07	0,20	0,08	0,18	0,20	0,30
33	0,02	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06	0,20	0,30
34	0,07	0,18	0,08	0,20	0,06	0,19	0,20	0,30
35	0,12	0,17	0,19	0,25	0,18	0,24	1,13	1,69
36	0,01	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,20	0,30
37	0,17	0,22	0,19	0,23	0,17	0,22	1,08	1,62
38	0,06	0,13	0,04	0,15	0,05	0,18	0,20	0,30
39	0,02	0,03	0,03	0,05	0,03	0,05	0,20	0,30
40	0,05	0,16	0,05	0,16	0,04	0,17	0,20	0,30

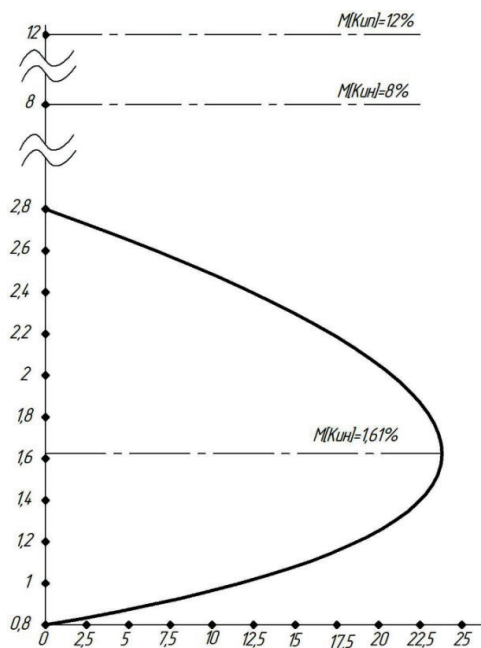


Рис. 5. Графики нормальной плотности вероятности распределения кондуктивной ЭМП по суммарному коэффициенту гармонической составляющей на линиях КИО-3

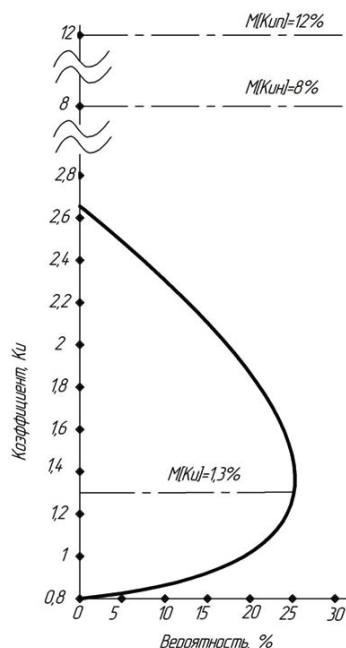


Рис. 6. Графики нормальной плотности вероятности распределения кондуктивной ЭМП по суммарному коэффициенту гармонической составляющей на линиях КИО-4

малы, к тому же они частично компенсируются вследствие различного направления. Поэтому влияние их на основной момент мало, однако гармоники воздействуют на вал различных электрических машин. Образуется вибрация, которая снижает срок службы.

Влияние качества электроэнергии на ее учёт.

Класс точности счётчиков электроэнергии, гарантируемый предприятием-изготовителем, определяется при номинальных условиях. Однако не стоит забывать, что счётчики эксплуатируются в условиях, которые существенно отличаются от нормы. Из-за это возникает вместе с основной погрешностью, заложенной в приборах, дополнительная. Исследования, представленные в работах [17–19], показывают, что данная погрешность смещается в сторону потребителей. Обслуживающие организации недоучитывают электроэнергию.

Влияние высших гармоник на предохранители и автоматические выключатели. Ложное срабатывание аппаратов защиты происходит из-за существенного нагрева внутренних элементов аппаратов защиты вследствие низкого КЭ [19].

На практике снижения КЭ является существенной проблемой. Высшие гармоники приводит к ложным срабатываниям аппаратов защиты, которые выбираются в соответствии с требованиями правил устройств электроустановок [20]. Стоит не забывать, если не уменьшать суммарный коэффициент гармонической составляющей напряжения, то вероятность ложной работы аппаратов защиты будет увеличиваться [21].

Однако существует несколько методов и способов влияния высших гармоник на электрические сети низкого напряжения. Применение силовых фильтров, которые состоят из индуктивного и емкостного сопротивления, соединённых последовательно и настроенных в резонанс на частоту фильтруемой гармоники, является наиболее перспективным способом уменьшения токов и напряжений высших гармоник в сетях 0,4 кВ, но главным

и существенным недостатком данного способа является высокая стоимость фильтров [22].

Таким образом, проблема высших гармоник в электрических сетях не теряет актуальности и требует пристального внимания со стороны научно-исследовательских структур, электротехнических служб и электроизмерительных лабораторий, занимающихся измерениями и анализом показателей качества электрической энергии.

Библиографический список

1. Иванова Е. В., Руппель А. А. Кондуктивные электромагнитные помехи в электрических сетях 6–10 кВ: моногр. / под ред. В. П. Горелова. Омск: Изд-во НГAVT, Омск. фил., 2004. 284 с.
2. Ситников Г. В., Данилов Г. А., Денчик Ю. М., Иванов М. Н. Повышение качества функционирования линий электропередачи / под ред. В. П. Горелова, В. Г. Сальникова. Новосибирск: Изд-во НГAVT, 2013. 559 с.
3. Хацевский К. В., Денчик Ю. М., Kleутин В. И., Зубанов Д. А., Бубнов А. В., Харламов В. В. Проблемы качества электроэнергии в системах электроснабжения // Омский научный вестник. 2012. № 2 (110). С. 212–214.
4. Денчик Ю. М. Методика определения кондуктивной низкочастотной электромагнитной помехи в электрической сети при гармоническом воздействии // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2013. № 2. С. 218–221.
5. ГОСТ 32144–2013. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 2014–07–01. М.: Стандартин-форм, 2014. 20 с.
6. Антонов А. И., Вишнягов М. Г., Денчик Ю. М., Зубанов Д. А., Kleутин В. И., Руппель А. А., Сидоренко А. А. Анализ определения кондуктивной низкочастотной помехи по коэффициенту несинусоидальности кривой напряжения // Омский научный вестник. 2015. № 3 (143). С. 244–247.
7. РД 153-34.0-15.501-01. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах

электроснабжения общего назначения. М.: Энергия, 2001. 190 с.

8. ГОСТ 30804.4.30. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электроэнергии. Введ. 2014–01–01. Стандартинформ, 2014. 57 с.

9. Требования к средствам измерения показателей качества электроэнергии / И. И. Карташев [и др.] // Электричество. 2000. № 4. С. 11–18.

10. Иванова Ю. М. [и др.] Кондуктивные электромагнитные помехи в промышленных электрических сетях // Энергетика, экология, энергосбережение: материалы 1-й Междунар. науч.-техн. конф., Усть-Каменогорск, Республика Казахстан, 2–4 июня 2005 г. Усть-Каменогорск, 2005. С. 153–154.

11. Иванова Ю. М. Методология исследования кондуктивных электромагнитных помех, распространяющихся по сетям // Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах / под ред. В. П. Горелова, Н. Н. Лизалека. Новосибирск: Изд-во НГАСУ, 2006. 432 с. С. 52–56. ISBN 5-8119-0201-0.

12. Коваленко Д. В. Неисправности батарей статических конденсаторов, возникающих при наличии высших гармоник в системах электроснабжения // Молодой ученый. 2016. № 19. С. 69–72. URL: <https://moluch.ru/archive/123/34022/> (дата обращения: 28.10.2018).

13. Горелов С. В., Готов А. А., Денчик Ю. М. Допустимые уровни электромагнитной совместимости для кондуктивных низкочастотных электромагнитных помех в электроэнергетической системе // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2015. № 3. С. 194–197.

14. Вишнягов М. Г., Руппель А. А. [и др.]. Особенности определения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения // Индустриально-инновационное развитие на современном этапе: состояние и перспективы: тр. Междунар. науч.-практ. конф. Павлодар, Республика Казахстан, 10–11 декабря. Павлодар, 2009. С. 9–11.

15. Асосков С. М., Вишнягов М. Г., Иванова Е. В., Клеутин В. И., Руппель А. А., Сидоренко А. А. К проблеме электроснабжения при некачественной электроэнергии // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2010. № 1. С. 333–336.

16. Вишнягов М. Г., Иванова Ю. М., Сальников В. Г. Параметры электромагнитной обстановки в сети с искажающей нагрузкой // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2008. № 2. С. 242–247.

17. Аррилага Дж., Д. Брэдли, П. Боджер. Гармоники в электрических системах: пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1990. 320 с.

18. Григорьев О. Высшие гармоники в сетях электроснабжения 0,4 кВ // Новости электротехники. 2003. № 1. С. 54–56.

19. Долингер С. Ю. Повышение эффективности технических средств обеспечения качества электроэнергии в распределительных сетях: дис. ... канд. техн. наук. Омск, 2012. 121 с.

20. Бумагин Г. И., Дед А. В., Лютаревич А. Г. Применение методов контроля и анализа качества электроэнергии при исследовании систем электроснабжения объектов Министерства здравоохранения Омской области. Омск, 2008. 9 с. Деп. в ВИНТИ РАН 22.02.08, № 151-В 2008.

21. Иванова Е. В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах / под ред. В. П. Горелова, Н. Н. Лизалека. Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. транспорта, 2006. 432 с. ISBN 5-8119-0201-0.

22. Степанов В. М., Базыль И. М. Влияние высших гармоник в системах электроснабжения предприятия на потери электрической энергии // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. № 12-2. С. 27–31.

РУДИ Дмитрий Юрьевич, ассистент кафедры «Электротехника и электрооборудование» Омского института водного транспорта (ОИВТ) (филиал) Сибирского государственного университета водного транспорта (СГУВТ).

SPIN-код: 5222-7906

AuthorID (РИНЦ): 830094

АНТОНОВ Александр Игоревич, старший преподаватель кафедры «Электротехника и электрооборудование» ОИВТ (филиал) СГУВТ.

SPIN-код: 5682-8929

AuthorID (РИНЦ): 842787

ВИШНЯГОВ Михаил Геннадиевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и электрооборудование» ОИВТ (филиал) СГУВТ.

AuthorID (РИНЦ): 517516

ГОРЕЛОВ Сергей Валерьевич, доктор технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры «Электроэнергетические системы и электротехника» Сибирского государственного университета водного транспорта (СГУВТ), г. Новосибирск.

SPIN-код: 9751-7557

AuthorID (РИНЦ): 694545

ЗУБАНОВ Дмитрий Александрович, старший преподаватель кафедры «Электротехника и электрооборудование» ОИВТ (филиал) СГУВТ.

SPIN-код: 7998-0625

AuthorID (РИНЦ): 573576

РУППЕЛЬ Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент (Россия), профессор кафедры «Электротехника и электрооборудование» ОИВТ (филиал) СГУВТ.

SPIN-код: 3386-9834

AuthorID (РИНЦ): 423886

РУППЕЛЬ Елена Юрьевна, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Высшая математика» Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета, г. Омск.

SPIN-код: 3193-1914

AuthorID (РИНЦ): 651948.

Адрес для переписки: dima_rudi@mail.ru

Для цитирования

Руди Д. Ю., Антонов А. И., Вишнягов М. Г., Горелов С. В., Зубанов Д. А., Руппель А. А., Руппель Е. Ю. Исследование высших гармоник в электрических сетях низкого напряжения // Омский научный вестник. 2018. № 6 (162). С. 119–125. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-162-119-125.

Статья поступила в редакцию 30.10.2018 г.

© Д. Ю. Руди, А. И. Антонов, М. Г. Вишнягов, С. В. Горелов, Д. А. Зубанов, А. А. Руппель, Е. Ю. Руппель