

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ДИАПАЗОНОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ МЕДЛЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЙ ПУТЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В статье представлены результаты имитационного моделирования медленных изменений напряжений в точках конечного подключения электрооборудования при регулировании уровня напряжения в центре питания 6/0,4 кВ. В среде пакета Simulink (Matlab) была сформирована модель, где изменялся уровень напряжения в центре питания и фиксировался уровень напряжения в характерных точках на зажимах электроприемников потребителей. За исходные данные принимались полученные в результате натурных испытаний временные диаграммы напряжения на стороне 6 кВ центра питания. По результатам моделирования определены допустимые границы изменения уровней напряжений для соблюдения требований к уровню отклонений напряжения у потребителей.

**Ключевые слова:** качество электрической энергии, отклонение напряжения, показатели качества, контроль качества электрической энергии.

Как известно, все электрические приборы, электрооборудование и аппараты способны нормально функционировать только при определенных условиях эксплуатации [1]. В отношении такого оборудования основным условием для их работы в номинальных условиях и соблюдения функциональных характеристик является требование о соблюдении норм качества поставляемой электрической энергии, и в первую очередь — уровня питающего напряжения. Опираясь на сведения научного сообщества и данные измерений, проведенных различными лабораториями, можно утверждать, что не всегда качество поставляемой энергии энергоснабжающими организациями является удовлетворительным [2–5]. Согласно [6, 7], по минимальной оценке, ущерб от низкого качества электроэнергии может обходиться российской экономике около 25 млрд долларов в год. В данном случае электрическую энергию следует рассматривать как товар, который, в отличие от других, обладает уникальными свойствами и выступает в процессе купли-продажи, качество которого должно соответствовать определенным нормативным документам и требованиям рынка (потребителя).

Понятие качества электроэнергии характеризуется отклонением параметров, которые возникают при постоянной эксплуатации электрических сетей. Качество электрической энергии на шинах генерирующих электростанций не может гарантировать

ее качества в точке непосредственного присоединения оборудования потребителя. Оно может изменять свои качественные показатели в зависимости от режима работы как самой системы электроснабжения, так и рабочего цикла потребителя [1].

Одним из таких показателей являются медленные изменения (отклонения) напряжения  $\delta U_{(+)}$  и  $\delta U_{(-)}$ . Данные показатели, как и отклонение частоты  $\Delta f$ , можно отнести к группе показателей качества электрической энергии, поддержание которых возможно общесистемными средствами, а не непосредственно потребителями.

Установлено значительное влияние уровня сетевого напряжения на работу электрических приемников, что, в свою очередь, приводит к необходимости уделять пристальное внимание изменению уровня питающего напряжения на зажимах у потребителя [8–11]. Определено, что уменьшение напряжения на 1 % снижает ресурс асинхронного двигателя на 11 %, синхронного двигателя — на 17 %, трансформатора — на 4 %, конденсатора — на 2 %. При снижении уровня напряжения питания на 10 % срок службы электродвигателей сокращается в 2 раза. Срок службы осветительных систем уменьшается в 4 раза, при повышении напряжения — на 10 % [12].

Кроме того, необходимость повышения качества электроэнергии возникает из-за широкого внедрения у потребителей новых прогрессивных техно-

логических процессов и систем, постоянно растущего числа мощных несимметричных, нелинейных и быстроменяющихся потребителей электрической энергии, которые значительно ухудшают различные показатели качества электроэнергии, а также режимные изменения распределения потоков в сетях энергосистем.

Помимо вышесказанного, необходимо отметить, что постановления Правительства РФ № 442 от 04.05.2012 «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии» [13], Указ Президента Российской Федерации от 4 июня 2008 года № 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики» [14], а также реализации Федерального закона от 23.11.2009 № 261 – ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» делают необходимость рассмотрения вопросов обеспечения потребителей энергоэффективным электроснабжением первоочередной задачей [15].

Авторами данной статьи рассмотрен вопрос обеспечения требований по отклонению напряжений в точке передачи электрической энергии исходя из возможности регулирования напряжения путем переключения «анцапф» устройств переключения без возбуждения трансформаторов.

Стандартные номинальные напряжения, относящиеся к трехфазным трехпроводным и четырехпроводным сетям, включая однофазные ответвления от них, определены действующей нормативной базой на уровне — 230 В (напряжение между фазой и нулем) и 400 В (напряжение между фазами) [16].

Требования ГОСТ 32144–2013 в отношении норм качества электрической энергии предъявляются к диапазонам отклонений напряжений в точках передачи электрической энергии, где электроснабжение происходит от сетей низкого и среднего напряжения [17]. В большинстве случаев данная точка передачи совпадает с границей раздела балансовой принадлежности и находится на стороне шин 0,4 кВ трансформаторных подстанций 10(6)/0,4 кВ либо на стороне среднего напряжения 10 кВ трансформаторных подстанций напряжениям 35/10 (110/10) кВ. В точке передачи электроэнергии положительные и отрицательные изменения напряжения не должны превышать 10 % согласованного или номинального значения напряжения за 100 % временного интервала в одну неделю [17]. При этом в электрической сети потребителя должны быть обеспечены условия, при которых отклонения напряжения питания на зажимах электроприемников не превышают  $\pm 5\%$  в нормальном режиме и  $\pm 10\%$  в послеаварийном режиме [18].

Кроме того, ГОСТ 32144–2013 обязует потребителя при соблюдении в точке передачи электроэнергии требований вышеуказанного стандарта выполнять условия, при которых изменения напряжения питания на выводах электрических приёмников будут соответствовать допустимым значениям [17].

Изменения мощности нагрузки потребителя, как правило, обуславливают возникновение отклонений напряжений электрической сети (в точке передачи электроэнергии) — отрицательных (1) и положительных (2), которые могут определяться в соответствии с ГОСТ 32144–2013 [14] следующим образом:

$$\delta U_{(-)} = \left[ \frac{U_0 - U_{(-)}}{U_0} \right] \cdot 100\%; \quad (1)$$

$$\delta U_{(+)} = \left[ \frac{U_{m(+)} - U_0}{U_0} \right] \cdot 100\%. \quad (2)$$

где  $\delta U_{(-)}$ ,  $\delta U_{(+)}$  — значения напряжения меньше  $U_0$  и больше  $U_0$  соответственно;  $U_0$  — стандартное номинальное напряжение.

Регулирование уровня питающего напряжения в распределительных сетях можно осуществлять следующими способами [19]:

- устройствами автоматического регулирования возбуждения (АРВ) генераторов;
- с помощью батарей статических конденсаторов (БСК);
- стандартными устройствами регулирования трансформаторов (ПБВ, РПН);
- вольтодобавочными трансформаторами.

Основным способом для регулирования и поддержания требуемого уровня напряжения на стороне напряжения низкого класса (0,4 кВ) является применение на трансформаторах встроенных устройств регулирования напряжения. Одним из них является устройство ПБВ (переключение без возбуждения), которое предназначено для переключения ответвлений обмоток трансформатора без возбуждения, то есть после отключения всех обмоток трансформатора от сети [1].

В настоящее время устройства ПБВ изготавливают с одним основным и четырьмя дополнительными ответвлениями. Основное ответвление соответствует напряжению, равному номинальному напряжению сети, в которую включён трансформатор, — на данном ответвлении коэффициент трансформации трансформатора называется номинальным. Дополнительные ответвления соответственно изменяют номинальный коэффициент трансформации на  $\pm 5\%$  и  $\pm 2,5\%$ . Согласно п. 2.1.33 [20], правильность выбора коэффициента трансформации на трансформаторах, оснащённых ПБВ, должна проверяться не менее двух раз в год — перед наступлением зимнего максимума и летнего минимума нагрузки. Такие трансформаторы применяются для системы преобразования напряжения СН-НН.

Для системы напряжения ВН-СН широкое применение получили трансформаторы с регулированием напряжения под нагрузкой (РПН). Они имеют следующие отличия от трансформаторов с ПБВ [1]:

- наличие специального переключающего устройства;
- увеличение числа ступеней регулировочных ответвлений;
- увеличение диапазона регулирования.

Авторами данной статьи в ходе исследований был рассмотрен вопрос об обеспечении требований по отклонению напряжений в точке передачи электрической энергии исходя из возможности регулирования напряжения путем переключения «анцапф» устройств переключения без возбуждения (ПБВ) трансформаторов. Для этого в программе Matlab была разработана имитационная модель участка сети электроснабжения напряжением 6/0,4 кВ, питающая нагрузку промышленного предприятия. Однолинейная схема исследуемого участка сети изображена на рис. 1. Общий вид сформированной имитационной модели в прикладном пакете программы Simulink (Matlab) и содержание

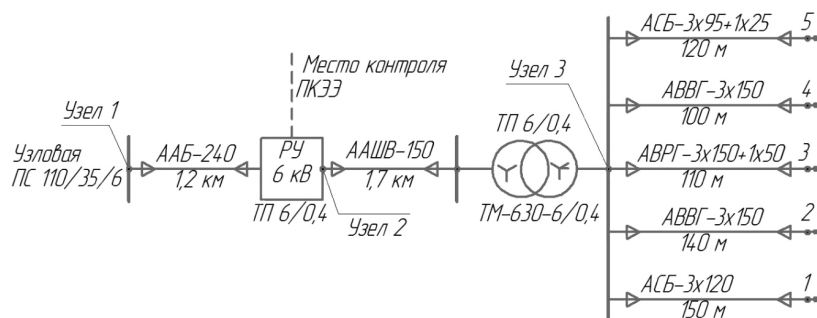


Рис. 1. Однолинейная схема участка сети 6/0,4 кВ

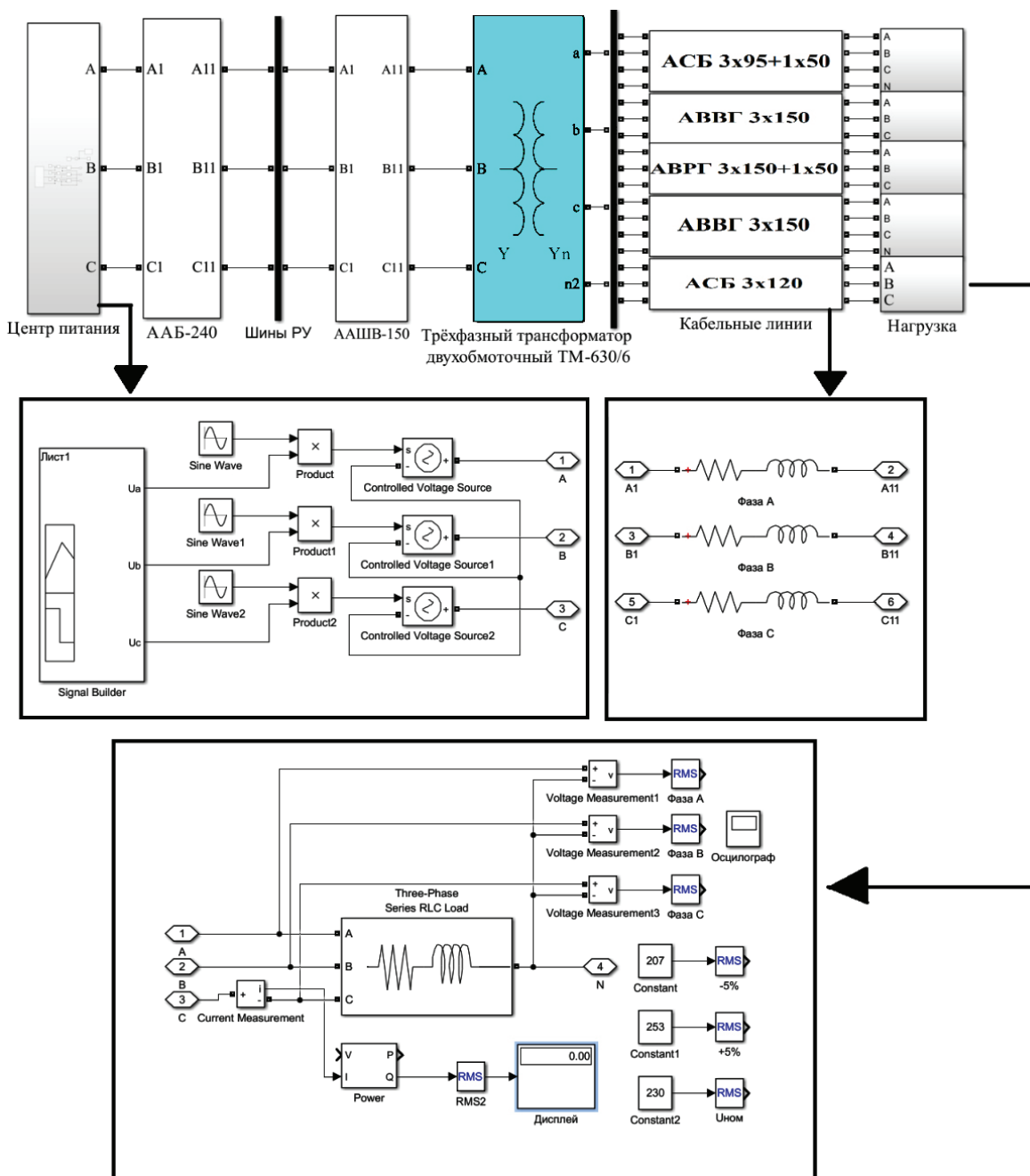


Рис. 2. Модель участка сети 6/0,4 кВ

структурных блоков созданных subsystem представлен на рис. 2.

В качестве исходных данных для моделирования уровня напряжения центра питания были использованы значения, полученные в результате измерения

показателей качества электрической энергии, проведенных по методами измерений в соответствии с ГОСТ 30804.4.30, подраздел 5.12, класс А без учёта маркировочных данных. В качестве средства измерения применялся анализатор качества электро-

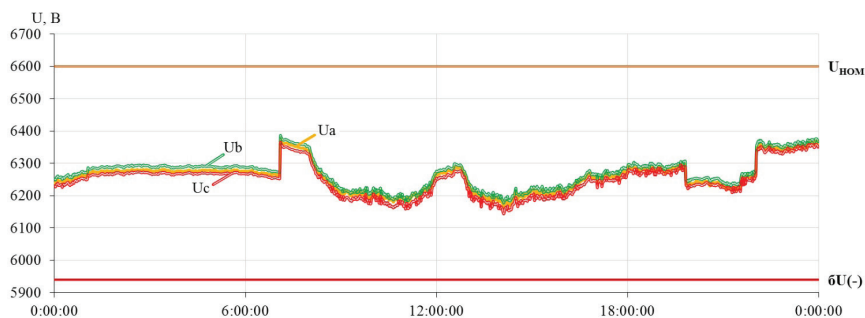


Рис. 3. График напряжений в центре питания ТП-6/0,4 кВ

энергии Metrel 2792A, зарегистрированный в госреестре под номером 52911-13.

Временная диаграмма измеренных уровней фазных напряжений центра питания 6/0,4 кВ (узел 2, рис. 1) представлена на рис. 3. Полученные в ходе измерения в узле 2 (рис. 1) значения напряжений, с учётом потерь в линии на участке узел 1 – узел 2 (рис. 1) были пересчитаны и применены в качестве исходных данных для задания с помощью Simulink-модели блока регулируемого источника напряжения уровня питающего напряжения на шинах 6 кВ узловой подстанции 110/35/6 кВ узла 1 рис. 1.

В соответствии с технической документацией трансформатор типа ТМ-630/6/0,4 кВ, установленный в узле 3 рис. 1, оснащен пятиступенчатой регулировкой напряжения с диапазоном регулирования  $\pm 2\text{Ч}2,5\%$  от номинального [21]. Для моделирования работы устройства ПБВ в имитационной Simulink-модели трансформатора изменялось напряжение высшей обмотки трансформатора в соответствии со ступенями диапазона регулирования (табл. 1).

В процессе моделирования анализировалось изменение уровня напряжения на зажимах электроприемников потребителей (т. 1 – т. 5, рис. 1) за весь период измерений в зависимости от введённого значения ступени диапазона регулирования.

На рис. 4 представлен пофазный график изменения уровней напряжений на шинах 0,4 кВ у по-

Таблица 1

## Изменение параметров напряжения трансформатора

Номер отвлечения	Величина добавки напряжения трансформатора, %	Напряжение первичной обмотки трансформатора, В
1	5	6300
2	2,5	6150
3	0	6000
4	-2,5	5850
5	-5	5700

ребителя в точке 1 с учетом выбранной величины добавки напряжения трансформатора.

Из анализа результатов моделирования (графики, численные значения) определено, что уровень напряжения в т. 1 рис. 1, при нахождении ответвления устройства ПБВ в положении 2 (+2,5%), близок к граничным условиям  $\pm 5\%$  от номинально-

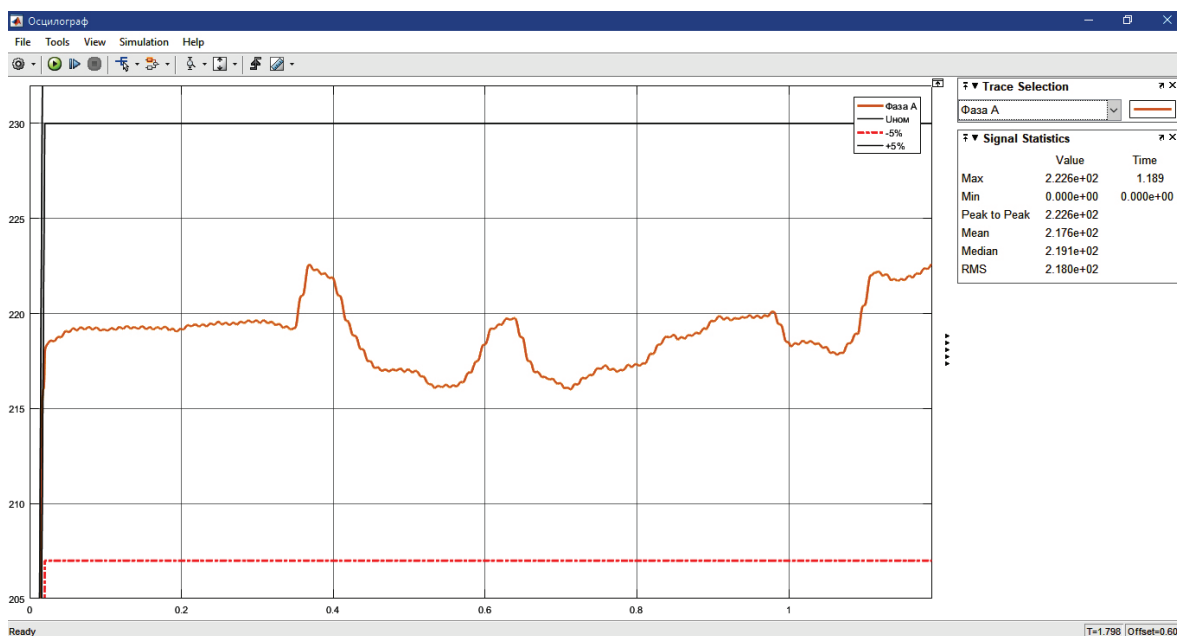


Рис. 4. Окно блока осциллографа Scope. График напряжения у потребителя № 1 (точка 1) (ПБВ +2,5 %)

Результаты моделирования и при изменении ПБВ трансформатора ТМ-630-6/0,4

Параметры напряжения потребителей	Номер ответвления ПБВ / уровень напряжения / отклонение напряжения от номинального									
	+5	$\Delta U, \%$	+2,5	$\Delta U, \%$	0	$\Delta U, \%$	-2,5	$\Delta U, \%$	-5	$\Delta U, \%$
г. 1 (0,4 кВ, потребитель № 1)										
$U_{max}'$ , В	239,4	4,09	234,4	1,91	228,7	-0,57	223,8	-2,70	<u>218,3</u>	-5,09
$U_{min}'$ , В	229	-0,43	224,6	-2,35	219,3	-4,65	<u>214,6</u>	-6,70	<u>209,6</u>	-8,87
Соответствие РД	+		+		+		-		-	
г. 2 (0,4 кВ, потребитель № 1)										
$U_{max}'$ , В	414,7	3,68	406,1	1,53	396,3	-0,92	387,7	-3,08	<u>378,4</u>	-5,40
$U_{min}'$ , В	397,1	-0,72	389	-2,75	380,1	-4,97	371,9	-7,03	<u>361,4</u>	-9,65
Соответствие РД	+		+		+		+		-	
г. 3 (0,4 кВ, потребитель № 1)										
$U_{max}'$ , В	415,1	3,77	406,6	1,65	396,7	-0,83	388,1	-2,97	<u>378,8</u>	-5,30
$U_{min}'$ , В	397,5	-0,63	389,4	-2,65	380,4	-4,90	372,3	-6,93	<u>361,8</u>	-9,55
Соответствие РД	+		+		+		+		+	
г. 4 (0,4 кВ, потребитель № 1)										
$U_{max}'$ , В	239,7	4,22	234,7	2,04	229	-0,43	224,1	-2,57	218,6	-4,96
$U_{min}'$ , В	229,3	-0,30	224,9	-2,22	219,6	-4,52	<u>214,9</u>	-6,57	<u>209,9</u>	-8,74
Соответствие РД	+		+		+		-		-	
г. 5 (0,4 кВ, потребитель № 1)										
$U_{max}'$ , В	411,9	2,97	403,4	0,85	393,6	1,6	385	-3,75	<u>375,8</u>	-6,05
$U_{min}'$ , В	394,4	-1,40	386,4	-3,40	<u>377,5</u>	-5,63	<u>369,4</u>	-7,65	<u>359,3</u>	-10,18
Соответствие РД	+		+		-		-		-	

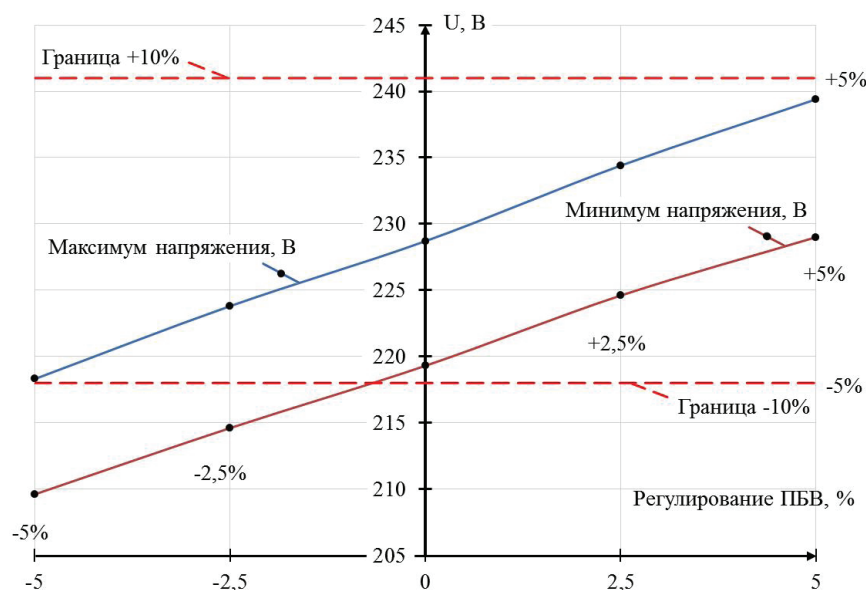


Рис. 5. График изменений напряжения в точке 1 на разных ответвлениях ПБВ

го напряжения, что соответствует требованиям РД 34.20.185-94 к отклонению напряжения у электроприёмников потребителя.

Аналогичным образом было проведено моделирование, проанализированы полученные результаты и определены диапазоны отклонений напряжения на зажимах электроприёмников для других положений ответвлений устройства ПБВ трансформатора ТП 630/6/0,4 кВ.

Полученные результаты моделирования представлены в табл. 2.

На рис. 5 представлен график усреднённых на интервале моделирования в одни сутки максимальных и минимальных значений изменения уровня питающего напряжения в т. 1 рис. 1 в зависимости от положения ответвлений ПБВ трансформатора ТМ-630-6/0,4.

На основе полученных данных определено, что в случае нахождения устройства ПБВ трансформатора в положениях № 5 (–5 %) и № 4 (–2,5 %) требования РД 34.20.185-94 в т. 1 рис. 1 не выполняются.

Проведя аналогичным образом сравнения полученных диапазонов отклонений напряжений в т. 2–т. 5 определен допустимый диапазон применения регулирования уровня питающего напряжения в узле 3 при помощи устройства ПБВ трансформатора, который составляет [+5 %; +2,5 %].

Таким образом, полученная модель позволяет проводить исследования медленных изменений напряжения в электрической сети при различных регулировочных ответвлениях устройства ПБВ трансформатора, производить оценку уровней напряжений на зажимах электроприёмников потребителей и осуществлять выбор необходимого диапазона регулирования напряжения трансформаторной подстанции, оснащённой устройством ПБВ.

#### Библиографический список

1. Карташев И. И., Тульский В. Н., Шамонов Р. Г. [и др.]. Управление качеством электроэнергии / под ред. Ю. В. Шарова. 3-е изд., перераб. и доп. М.: МЭИ, 2017. 347 с. ISBN 978-5-383-01074-7.
2. Бурчевский В. А., Бубенчиков А. А., Горюнов В. Н. [и др.]. Коррекция технологических потерь электрической энергии ВЛ 35 кВ электрических сетей ООО «Роснефть-Юганскнефтегаз» на основе учета климатических и режимных условий // Омский научный вестник. 2010. № 1 (87). С. 127–132.
3. Цапенко А. В., Тухас В. А. Системы мониторинга качества электрической энергии. Проблемы и пути контроля и управления качеством электрической энергии в электроэнергетике // Энергонадзор и энергобезопасность. 2007. № 2. С. 24–29.
4. Куско А. Качество энергии в электрических сетях / пер. с англ. А. Н. Рабодзея. М.: Додэка-XXI, 2008. 336 с. ISBN 978-5-94120-182-2.
5. Akagi H. Active Harmonic Filters // Proceedings of the IEEE. 2005. Vol. 93, Issue 12. P. 2128–2141. DOI: 10.1109/JPROC.2005.859603.
6. Жежеленко И. В., Саенко Ю. Л., Горпинич А. В. Оценка надежности электрооборудования при пониженном качестве электроэнергии // Вести в электроэнергетике. 2006. № 6.
7. Добрусин Л. А. Инвестиции в электроэнергетику России и программа повышения их эффективности: докл. // ТЭК России в XXI веке: VI Всерос. энергетический форум, 1–4 апр. 2008 г. / Государственный Кремлевский дворец. Москва, 2008. Итоговые материалы. (DVD).
8. Темербаев С. А., Боярская Н. П., Довгун В. П., Колмаков В. О. Анализ качества электроэнергии в городских рас-

пределительных сетях 0,4 кВ // Журнал СФУ. Техника и технологии. 2013. Т. 6, № 1. С. 107–120.

9. Горюнов В. Н., Осипов Д. С., Лютаревич А. Г. Определение управляющего воздействия активного фильтра гармоник // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. 2009. № 6. С. 20–24.

10. Бигун А. Я., Гиршин С. С., Петрова Е. В., Горюнов В. Н. Учет температуры проводов повышенной пропускной способности при выборе мероприятий по снижению потерь энергии на примере компенсации реактивной мощности // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 212–220.

11. Петрова Е. В., Гиршин С. С., Бигун А. Я., Горюнов В. Н. Учет температуры проводов при выборе устройств компенсации реактивной мощности в линиях электропередачи с высокотемпературными и самонесущими изолированными проводами условий // Омский научный вестник. 2016. № 4 (148). С. 99–105.

12. Шидловский А. Н., Кузнецов В. Г. Повышение качества энергии в электрических сетях. Киев: Наукова думка, 1985. 268 с.

13. Российская Федерация. Правительство. Постановление. О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии: постановление от 04 мая 2012 г., № 442 (ред. от 13 августа 2018 г.). URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_130498](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_130498) (дата обращения: 18.09.2018).

14. Российская Федерация. Президент. Указы. О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики: Указ от 4 июня 2008 г., № 889. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_112413](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_112413) (дата обращения: 18.09.2018).

15. Российская Федерация. Законы. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: федер. закон от 23 ноября 2009 г., № 261–ФЗ. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_93978](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978) (дата обращения: 18.09.2018).

16. ГОСТ 29322–2014. Напряжения стандартные. Введ. 2015-10-01. М.: Стандартинформ, 2015. 9 с.

17. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 2014–07–01. М.: Стандартинформ, 2014. 20 с.

18. Инструкция по проектированию городских электрических сетей: РД 34.20.185-1994: утв. М-вом энергетики Российской Федерации 07.07.1994: ввод в действие с 01.01.1995. М.: Энергоатомиздат, 1995. 49 с.

19. Герасимов С. Е., Меркурьев А. Г. Регулирование напряжения в распределительных сетях. СПб.: Центр подготовки кадров СЗФ АО «ГВЦ Энергетики», 1998. 76 с.

20. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Главгосэнергонадзор России. М.: Энергосервис, 2003. 610 с.

21. Трансформатор ТМ-630/10 // Русский трансформатор. URL: <http://www.rus-trans.com/?ukey=product&productID=1145> (дата обращения: 14.08.2018).

**ДЕД Александр Викторович**, старший преподаватель кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий».

SPIN-код: 5237-6697

AuthorID (РИНЦ): 512774

ORCID 0000-0001-5625-8869

Адрес для переписки: ded\_av@mail.ru

**ГОРЮНОВ Владимир Николаевич**, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафе-

дрой «Электроснабжение промышленных предприятий».

SPIN-код: 2765-2945

Author ID (SCOPUS): 7003455231

**КРОПОТИН Олег Витальевич**, доктор технических наук, доцент (Россия), декан факультета довузовской подготовки, помощник проректора по учебной работе по профориентации.

SPIN-код: 4218-4900

AuthorID (РИНЦ): 118225

ORCID: 0000-0002-6620-9945

AuthorID (SCOPUS): 6505835545

ResearcherID: H-4616-2013

**ЛАВРИКОВ Юрий Петрович**, магистрант гр. ЭЭМ-181 факультета элитного образования и магистратуры.

**СМИРНОВ Павел Сергеевич**, магистрант гр. ЭЭМ-172 факультета элитного образования и магистратуры.

#### Для цитирования

Дед А. В., Горюнов В. Н., Кропотин О. В., Лавриков Ю. П., Смирнов П. С. Определение допустимых диапазонов регулирования медленных изменений напряжений путем имитационного моделирования // Омский научный вестник. 2018. № 5 (161). С. 90–96. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-161-90-96.

Статья поступила в редакцию 25.09.2018 г.

© А. В. Дед, В. Н. Горюнов, О. В. Кропотин, Ю. П. Лавриков, П. С. Смирнов

УДК 621.311

DOI: 10.25206/1813-8225-2018-161-96-101

**Д. В. КОВАЛЕНКО**  
**П. С. СМОРНОВ**

Омский государственный  
технический университет,  
г. Омск

## УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК ПРИ РАСЧЕТАХ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ, ВОЗНИКАЮЩИХ В КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ, ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ К СЕТИ ГРУППЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

В настоящей работе были произведены физические замеры показателей качества электрической энергии (ПКЭ) для электрической сети, питающей компьютерный класс одного из учебных заведений города Омска. На основе данных, полученных в ходе эксперимента, был определен амплитудно-частотный спектр гармоник. Установлено, что при работе персональных компьютеров нарушаются ПКЭ, которые в отдельных случаях выходят за рамки ГОСТ 32144–2013. Произведен расчет потерь мощности и активной энергии, возникающих в кабельной линии электропередачи при наличии высших гармоник в сети. Потери определялись как для каждой из гармоник в отдельности, так и суммарные. Показано, что потери, возникающие на частотах высших гармоник, необходимо учитывать в расчетах. Предложена установка фильтров высших гармоник для улучшения ПКЭ (чтобы они соответствовали требованиям ГОСТ 32144-2013).

**Ключевые слова:** показатели качества электрической энергии, высшие гармоники, потери мощности и энергии, несинусоидальный нестационарный режим.

**Введение.** Высшие гармоники в системах электроснабжения. За последние 20 лет в связи с бурным развитием компьютеризации произошло проникновение компьютерной техники и различных электронных устройств во все сферы жизни общества. На производстве это частотно-регулируемый электропривод, станки с программным управлением, дуговые сталеплавильные печи, различные пре-

образовательные установки. Кроме того, произошло повсеместное распространение персональных компьютеров (ПК) и различной оргтехники в связи с автоматизацией рабочих процессов, открытием большого количества представительств и офисов различных компаний, торговых центров. Отдельного внимания заслуживает проблема обеспечения требуемого качества электрической энергии при