

7. Казанский В.В. Исследование диэлектрических свойств, методов и средств измерения влажности хлопка-сырца: Автореф. дисс....тех.наук. - Т,1970. - 17 с.

8. Искандаров П.И., Каландаров П.И. Анализ влияния факторов на результат измерений влажности материала на высоких частотах // Журнал. Измерительная техника. №7. – 2013. – с. 64-66.

УДК 621.311

## **О РЕЗОНАНСАХ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

*Д.А. Силкин*

*Национальный Исследовательский Университет «МЭИ»,  
Россия, г. Москва  
espp@mpei.ru*

### ***Аннотация***

Описано влияние резонансных условий на общий уровень несинусоидальности напряжения электрической сети. Выявлены основные причины возникновения резонансов высших гармоник при питании оборудования от подстанций с установками компенсации реактивной мощности. Теоретические выкладки проиллюстрированы данными экспериментальных измерений.

**Ключевые слова:** резонанс высших гармоник, установки компенсации реактивной мощности, нелинейные электроприемники

## **ON HARMONIC RESONANCES IN POWER SYSTEMS**

*D.A. Silkin*

*National Research University «MPEI», Russia, Moscow  
espp@mpei.ru*

### ***Abstract***

The effect of resonant conditions on grid voltage distortion is described. Main reasons for harmonic resonance occurrence while supplying from substations with compensating installations are considered. Theoretical implications are illustrated with the grid measurement results.

**Key words:** harmonic resonance, compensating installations, nonlinear electrical devices

В современных бытовых электросетях наблюдается рост использования нелинейных нагрузок. Такие устройства, как энергосберегающие источники света, бытовая электроника обладают нелинейной вольт-амперной характеристикой и генерируют токи высших гармоник (ВГ), тем самым искажая напряжение питания [1, 2]. Принято считать, что проблема несинусоидальности актуальна только для крупных нелинейных нагрузок - отдельных мощных нелинейных электроприемников или больших совокупностей маломощных электроприборов [3]. В то же время достаточно распространены случаи «спонтанного» увеличения отдельных ВГ высоких порядков в электросетях без явных источников несинусоидальности [4]. Это увеличение обычно сопровождается изменением мощности, характера подключенных нагрузок, а также структуры системы электроснабжения и вызвано появлением резонансных условий в электросети на частоте одной из ВГ. В [5] в качестве примера резонансного увеличения ВГ рассматривается случай питания мощного источника бесперебойного питания (ИБП), имеющего в спектре входного тока высокий уровень 11-й ВГ, от трансформаторной подстанции (ТП) с присоединенной установкой компенсации реактивной мощности (УКРМ). При изменении количества подключенных ступеней конденсаторных батарей индуктивная (сопротивление трансформатора) и емкостная (сопротивление УКРМ) составляющие сопротивления сети приобретают значения, создающие резонанс на частоте 11-й ВГ. В результате уровень 11-й ВГ тока питания ИБП увеличивается в 2,5 раза, что вызывает превышение норм несинусоидальности напряжения соответствующей ВГ напряжения электросети.

В результате резонансных явлений на шинах низкого напряжения ТП резко ухудшается синусоидальность питающего напряжения, за счет протекания несинусоидальных токов по обмоткам трансформатора резко возрастают тепловые потери, вызванные поверхностным эффектом и эффектом близости, происходит перегрев и выход из строя конденсаторных батарей, характеризующихся пониженным сопротивлением токам ВГ.

Опыт проведения энергообследований в различных жилых и административных зданиях Москвы позволяет утверждать об актуальности проблемы резонанса ВГ в бытовых электросетях. В качестве примера на рис. 1 приведен суточный график изменения амплитуды 35-й ВГ напряжения на шинах ТП, питающей жилые и административные здания. Уровень 35-й ВГ четко соответствует времени суток, несмотря на ожидаемый случайный для такого высокого порядка гармоники характер ее изменения. Так, в дневное время амплитуда ВГ соответст-

вует нормам, в то время как в ночной период происходит ее резкое увеличение. Учитывая все вышесказанное о резонансе ВГ, можно утверждать, что подобное увеличение может быть вызвано как спадом ночного электропотребления и отсутствием линейной нагрузки, подавляющей резонансный рост ВГ тока, так и переключением ступеней УКРМ или включением некоего силового оборудования, меняющего соотношение индуктивной и емкостной составляющей сопротивления сети. Тем не менее, для более подробного исследования причин наличия резонансного режима требуется анализ схемы электроснабжения потребителей ТП с выявлением типов подключенной нагрузки.

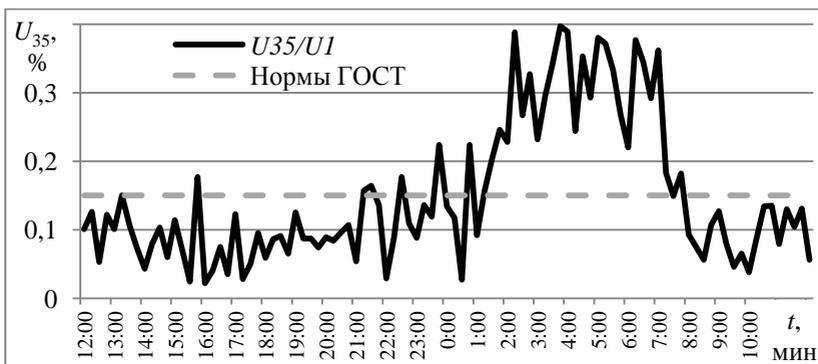


Рис. 1. Суточный график изменения 35 ВГ напряжения на шинах ТП

Являясь малоизученным, эффект резонансного увеличения ВГ широко распространен в бытовых электросетях и часто приводит к негативным последствиям для функционирования электрооборудования. Для минимизации его последствий необходимо проводить исследования режимов работы трансформаторов ТП, на шинах которых установлены УКРМ, и выявлять потенциальные резонансные условия работы подключенных электрических нагрузок с последующей дачей рекомендаций по подавлению резонанса.

### Список литературы

1. Цырук С.А.; Янченко С.А.; Рыжкова Е.Н. Моделирование основных источников несинусоидальности в бытовых электросетях // Вестник МЭИ. – №3. – 2013. – С. 67-71.
2. Цырук С.А.; Янченко, С.А. Гармонический анализ нелинейных электроприемников офисных центров // Промышленная энергетика. – №3. – 2012. – С. 54-61.
3. Анчарова Т.В.; Бодрухина С.С.; Цырук С.А.; Янченко С.А.

Оценка влияния эмиссии высших гармонических составляющих напряжения и тока от бытовых электроприемников на питающую сеть // Промышленная энергетика. – №9. – 2012. – С. 36-42

4. Koch A.S., Myrzik J. M A; Wiesner T.; Jendernalik L. Harmonics and resonances in the low voltage grid caused by compact fluorescent lamps // Harmonics and Quality of Power (ICHQP). 2010 14th International Conference on , vol., no., pp.1,6, 26-29 Sept. 2010

5. Петухов В., Красилов И. Резонансные явления в электроустановках зданий как фактор снижения качества электроэнергии // <http://www.tesla.ru/publications/files/020.pdf>.

УДК 629.423.1

## **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

*А.И. Юлдашева, А.В. Малафеев*

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г.И. Носова», Россия, г. Магнитогорск  
letoalina@mail.ru*

### ***Аннотация***

В статье рассмотрена методика определения эквивалентных показателей надежности систем электроснабжения: интенсивности отказов, времени восстановления, вероятности безотказной работы. Предлагаемый алгоритм расчета предполагает использование сочетания метода последовательного эквивалентирования и метода Ньютона. Произведен анализ сходимости и оценка вычислительной сложности разработанного алгоритма.

***Ключевые слова:*** надежность электроснабжения, показатели надежности, структурная надежность, время восстановления, интенсивность отказов, вероятность безотказной работы, ущерб от перерыва электроснабжения.