

УДК 681.3:620.10

Маннанов Эмиль Рамилевич, аспирант кафедры электротехнологической и преобразовательной техники Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В. И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург, Россия, ул. Торжковская 15, г. Санкт-Петербург, Россия, 197343. Тел. +7-911-113-33-59. E-mail: emil-mannanov@mail.ru

Галунин Сергей Александрович, канд. тех. наук, доцент кафедры электротехнологической и преобразовательной техники

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В. И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург, Россия, ул. Молодежная, 7-32, г. Сертолово, Лен. обл., Россия 188650

Балабанов Михаил Станиславович, главный инженер

ООО «Международная Энергосберегающая Корпорация».

Козулина Татьяна Павловна, магистрант кафедры электротехнологической и преобразовательной техники Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В. И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург, Россия, ул. Сикейроса, 15-1-157, г. Санкт-Петербург, Россия, 194354.

Маннанов Марсель Рамилевич, студент 5 года обучения

Институт экономики, управления и права, г. Нижнекамск, Респ. Татарстан, Россия, ул. Сююмбике 30-19, г. Нижнекамск, Респ. Татарстан, Россия 423570

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ГЕНЕРАТОРА НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ

В этой статье было исследовано влияние высокочастотных генераторов на питающую сеть. Это необходимо для изучения того, как оборудование влияет на качество электроэнергии. Во время работы был проведен анализ показателей электроэнергии высокочастотного генератора. Были найдены методы решения проблем, связанных с ухудшением качества электроэнергии.

Ключевые слова: контроль качества электрической энергии, характеристики, стандарт, фильтр, гармоники, зависимость, методы, питающая сеть.

Mannanov Emil Ramilevich, PhD student of Department Of Electrotechnology and Converter Engineering Saint-Petersburg Electrotechnical University "LETI", St. Petersburg, Russia, ul. Torzhkovskaya 15, St. Petersburg, Russia, 197343. Tel. + 7-911-113-33-59. E-mail: emil-mannanov@mail.ru

Galunin Sergei Aleksandrovich, PhD, associate of Department Of Electrotechnology and Converter Engineering Saint-Petersburg Electrotechnical University "LETI", St. Petersburg, Russia, ul. Youth, 7-32, Sertolovo, Len. reg., Russia 188650

Balabanov Michail Stanislavovich, chief Engineer

LLC "International Energy Corporation".

Kozulina Tatyana Pavlovna, student of Department Of Electrotechnology and Converter Engineering Saint-Petersburg Electrotechnical University "LETI", St. Petersburg, Russia, ul. Siqueiros, 15-1-157, St. Petersburg, Russia, 194354.

Mannanov Marsel Ramilevich, student

Institute of Economics, Management and Law, Nizhnekamsk, Rep. Tatarstan, Russia, ul. Syuyumbike 30-19, Nizhnekamsk, Rep. Tatarstan, Russia 423570

STUDY OF THE HIGH-FREQUENCY GENERATOR INFLUENCE ON POWER QUALITY OF SUPPLY NETWORK

In this paper was researched of the high-frequency generator influence on supply network. It is necessary for studying of how the equipment influences quality of the electric power. The analysis of indicators of the electric power was carried out during the operation of the high-frequency generator. Methods of the solution of problems with deterioration of quality of the electric power were found.

Keywords: control of electric power quality, characteristics, standard, filter, harmonics, dependence, methods, supply network.

Контроль качества электрической энергии подразумевает оценку соответствия показателей установленным нормам, а дальнейший анализ качества электроэнергии — определение стороны виновной в ухудшении этих показателей. Энергоэффективность напрямую зависит от качества электроэнергии [1].

Характеристики электрической энергии подвержены изменениям из-за изменений нагрузки, влияния кондуктивных электромагнитных помех, создаваемых отдельными видами оборудования, и возникновения неисправностей, вызываемых, главным образом, внешними

событиями. В результате возникают изменения и отклонения характеристик во времени в любой отдельной точке передачи электрической энергии пользователю.

Для исследования был взят анализатор электрической энергии Oscillostore P513, токовые клещи, набор проводов. Исследовалось влияние мобильной установки индукционного нагрева MINAC 12/18 производства компании EFD Induction выходная мощность которого при повторно-кратковременном режиме находится в пределах от 10 до 220 кВт, при непрерывной работе от 6 до 140 кВт. Рабочий диапазон частот от 10 до 25 кГц [2].

Измерения проводились при постепенном увеличении мощности с шагом 10%. Средние показатели мощностей и Cos (φ) приведены в табл. 1 и построенные графики зависимостей от времени представлены на рис. 1, и рис. 2.

Таблица 1

Средние показатели

Мощность, %	P, кВт	Q, кВар	S, кВА	Cos (φ)
10	1,35	1,9	2,94	0,58
20	1,92	2,44	3,16	0,62
30	5,58	3,79	6,77	0,83
40	11,67	5,3	12,84	0,91
50	16,44	7,2	18,05	0,90
60	18,34	7,06	19,65	0,93
70	18,35	7,03	19,65	0,93
80	18,35	6,99	19,65	0,93

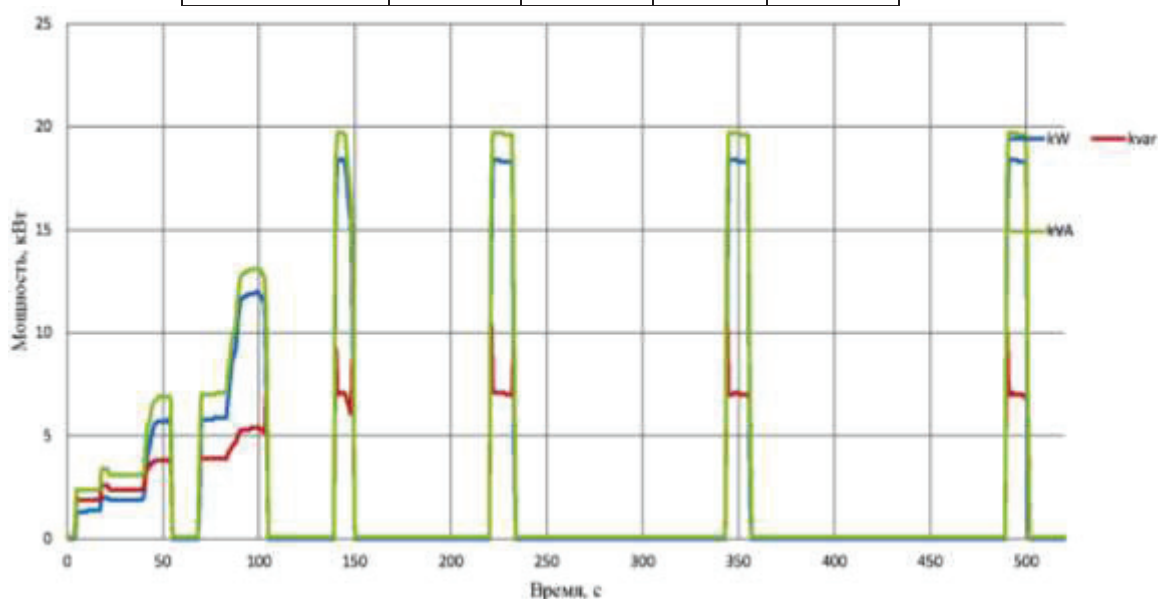


Рис. 1. Зависимости изменения мощности от времени

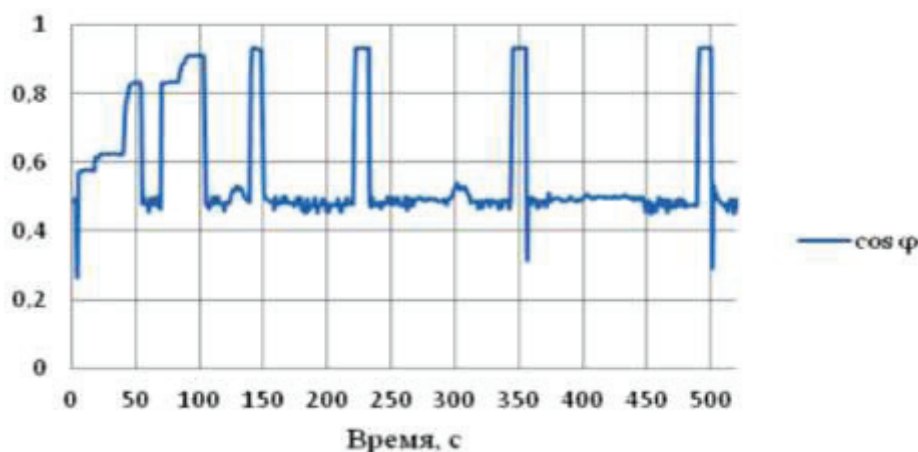


Рис. 2. Зависимость изменения $\cos(\varphi)$ от времени

Показателем потребления реактивной мощности является $\cos(\varphi)$ и из полученных графиков видно, что $\cos(\varphi)$ уменьшается, когда потребление реактивной мощности нагрузкой увеличивается. Поэтому необходимо стремиться к повышению $\cos(\varphi)$, поскольку низкий $\cos(\varphi)$ приводит к перегрузке трансформаторов, нагреву проводов и кабелей и другим проблемам в работе электрических сетей потребителей.

Фазные токи при увеличении мощности возрастают и это подтверждается полученной зависимостью представленной на рис. 3.

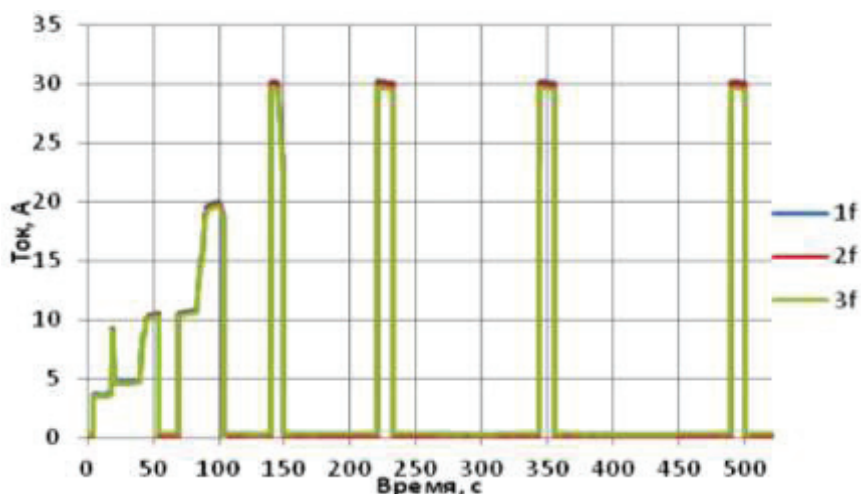


Рис. 3. Зависимость изменения фазных токов от времени

Выходная мощность установки на 150-й секунде работы достигла 50 % от максимальной. И как видно из полученного графика, начиная с этого момента, ток не увеличивается. Объясняется это тем, что установка начинает в автоматическом режиме менять частоту для достижения наивысшего КПД и заданной мощности. При этом фазные напряжения генератора немного проседают, что можно увидеть на рис. 4. По полученным осциллограммам тока и напряжения, на рис. 5 и рис. 6, видны воздействия высших гармоник.

Нагрузки, у которых при синусоидальном питающем напряжении форма кривой потребляемого тока заметно отличается от синусоидальной, называют нелинейными.

Гармоники это синусоидальные волны суммирующиеся с фундаментальной (основной) частотой 50 Гц (частота 1-й гармоники равна 50 Гц, частота 5-й гармоники равна 250 Гц). Любая комплексная форма синусоиды может быть разложена на составляющие частоты, как показано на рис. 7, таким образом, комплексная синусоида есть сумма определенного числа четных или нечетных гармоник с меньшими или большими величинами.

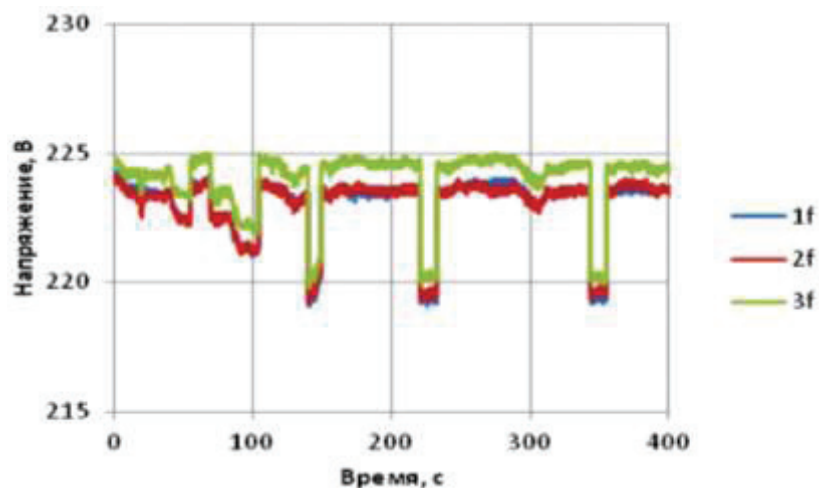


Рис. 4. Зависимость изменения фазных напряжений от времени

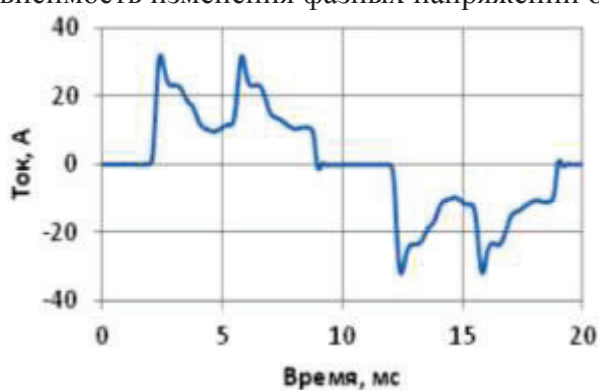


Рис. 5. Осциллограмма тока

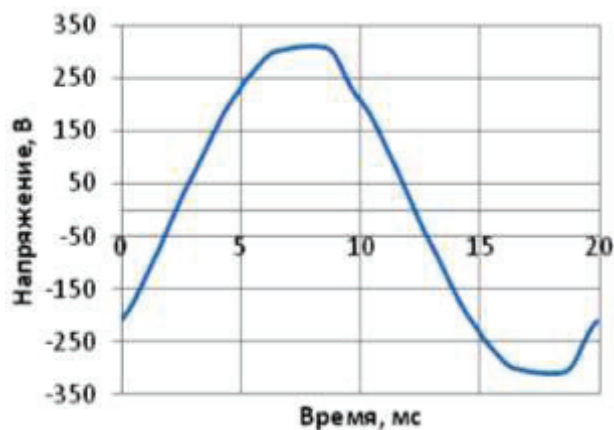


Рис. 6. Осциллограмма напряжения

Как видно из гармонического состава тока изображенного на рис. 8, в токе потребления присутствуют нечетные гармоники. Это является признаком перегрузки электрической сети нелинейными нагрузками. По заострению вершины синусоиды с уверенностью можно сказать, что присутствует 5-я гармоника и сеть перегружена нелинейными нагрузками. Именно это видно при гармоническом анализе потребляемого тока. Кроме того, присутствует и 7-я гармоника, которая объясняет появление «волн» на синусоиде. В таком случае необходимо принимать меры по борьбе с высшими гармониками. Их постоянное воздействие грозит серьезными последствиями. Увеличение общего действующего значения тока, при наличии высших гармоник в системе, приводит к перегреву всего оборудования сети электропитания, снижению коэффициента мощности, снижению электрического и

механического КПД нагрузок, ухудшению характеристик защитных автоматов и завышению требуемой мощности автономных электроэнергетических установок.

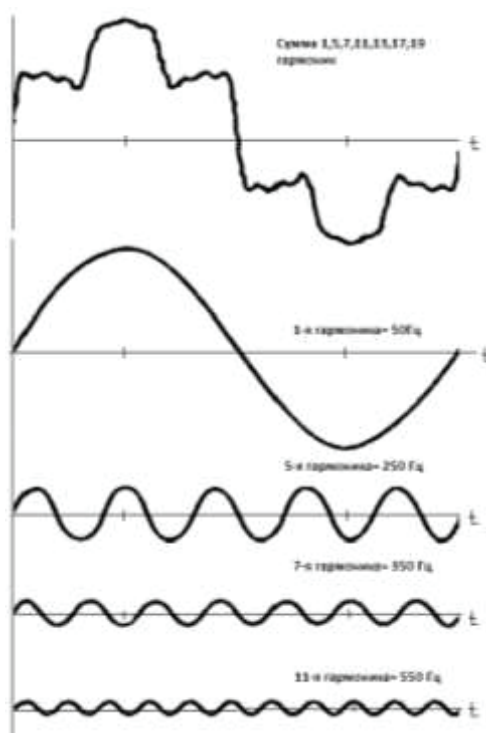


Рис. 7. Разложение формы кривой тока на гармонические составляющие

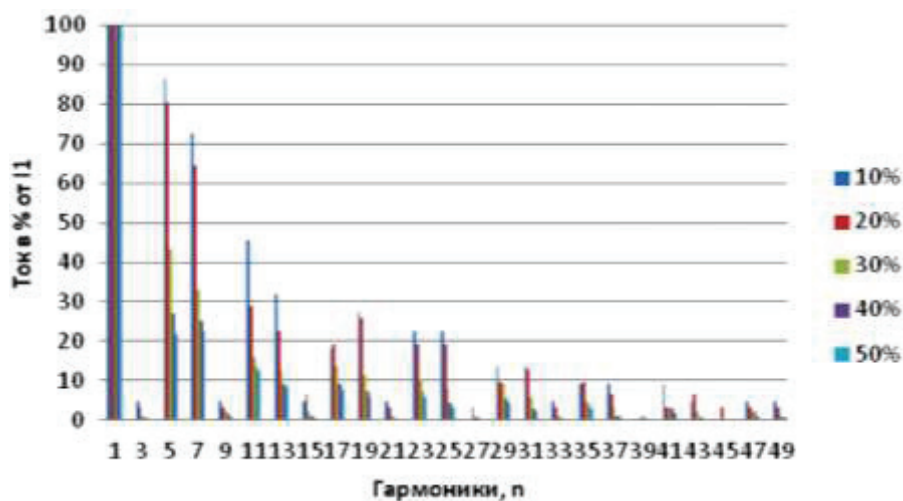


Рис. 8. Гармоники тока при различных мощностях, в процентном соотношении от первой гармоники

Следствием характера тока, потребляемого нагрузкой, является деформация синусоиды напряжения, действующей на зажимах нагрузки. Синусоида напряжения становится «плоской», так как в момент импульса тока увеличивается падение напряжения на внутреннем сопротивлении сети. Эти падения видны на осциллограмме напряжения. На рис. 9 представлен гармонический состав напряжения.

Снижение уровня высших гармоник в электрических сетях является важной частью проблемы качества электрической энергии (КЭ). В электрических сетях напряжением до 1 кВ основными источниками высших гармоник (ВГ) являются газоразрядные лампы, сварочные аппараты, вычислительная техника, вентильные преобразователи. Суммарная мощность нелинейных нагрузок может составлять от 60 до 80 % от мощности всей нагрузки.

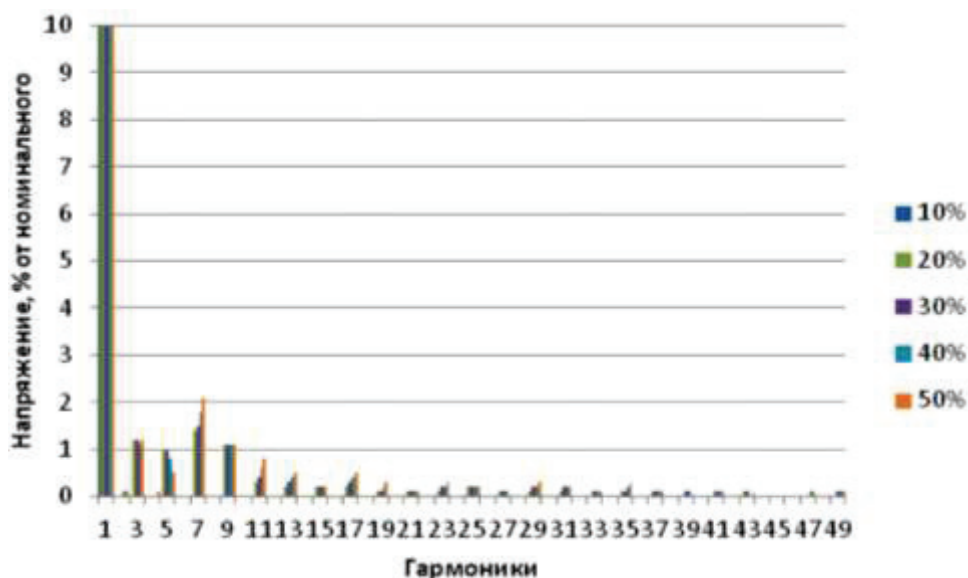


Рис. 9. Гармоники напряжения при различных мощностях, в процентном соотношении от номинального значения

Непрерывный рост установленной мощности нелинейных, несимметричных и резкопеременных нагрузок не сопровождается своевременным внедрением решений, направленных на коррекцию качества электрической энергии.

Согласно полученным данным в гармонических составляющих напряжения и тока преобладают нечетные гармоники. Особенно искажается кривая тока. Величина 5-й гармоники тока достигает 80 % от основной частоты тока. Величина 3-й гармоники напряжения не превышает нормально допустимых значений 5 % в сети напряжением 0,38 кВ. Однако тенденция вызывает опасения [3].

Методы борьбы с высшими гармониками

Основные способы подавления высших гармоник тока путем применения:

- линейных дросселей;
- пассивных фильтров;
- разделительных трансформаторов;
- магнитных синтезаторов;
- активных кондиционеров гармоник;

Простейшим способом снижения уровня генерируемых нелинейными нагрузками высших гармоник тока во внешнюю сеть является последовательное включение линейных дросселей, но их применение в ряде случаев не позволяет уменьшить гармонические искажения тока до желаемых пределов. В этом случае целесообразно использовать пассивные LC-фильтры, настроенные на определенный порядок гармоник. Для улучшения гармонического состава потребляемого тока такие фильтры нашли широкое применение в системах с источниками бесперебойного питания (UPS). Подключение фильтра на входе шестиполупериодного выпрямителя при 100 % нагрузке UPS обеспечивает снижение коэффициента искажения тока до величины 8–10 %. Значения этого коэффициента в системе без фильтра может достигать 30 % и более. На рисунке 10 приведена реализация трехфазного LC-фильтра, применяемого, как опциональное устройство в трех фазных UPS.

Различают следующие разновидности пассивных фильтров:

- некомпенсированный LC-фильтр;
- скомпенсированный LC-фильтр;
- некомпенсированный LC-фильтр с коммутатором.

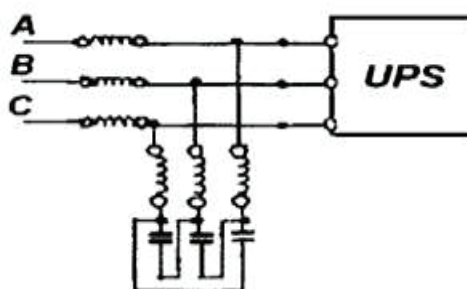


Рис. 10. Вариант трехфазного LC-фильтра

Представленный на рис. 11 некомпенсированный фильтр содержит продольную индуктивность «Др1» и поперечную цепь, состоящую из последовательно включенных индуктивности «Др2» и емкости «С», настроенных на определенную гармонику. Если фильтр настроен на 5-ю гармонику, то сопротивление поперечной цепи близко к нулю и ток, потребляемый от источника, не будет содержать эту гармонику. Недостатком такого фильтра является следующее. При использовании в качестве первичного источника питания, к примеру, дизель-генераторную установку (ДГУ) с ограниченной установочной мощностью, последний может обеспечить относительно низкое значение емкостной составляющей тока нагрузки (10–30 %).

При включении UPS на ДГУ, когда осуществляется "мягкий" старт выпрямителя, активная мощность, потребляемая нагрузкой, равна нулю и генератор ДГУ оказывается нагруженным только на емкостное сопротивление фильтра. Значительная емкостная составляющая потребляемого от генератора тока может привести к нарушению нормальной работы генераторной системы и отключению ДГУ. Следовательно, возможность использования некомпенсированных LC-фильтров должна быть проанализирована с точки зрения согласования характеристик генератора и параметров фильтра.

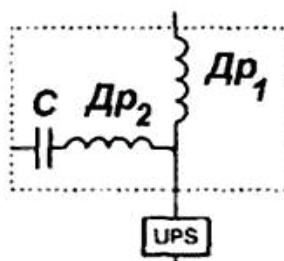


Рис. 11. Некомпенсированный LC-фильтр

На рис. 12 представлен скомпенсированный фильтр содержащий дополнительную поперечную индуктивность «Др3», способствующую тому, что фильтр по отношению к генератору имеет индуктивный характер. Это снижает емкостную составляющую потребляемого тока и облегчает работу генератора в пусковом и установившемся режимах. Однако наличие «Др3» приводит к снижению коэффициента мощности системы в целом.

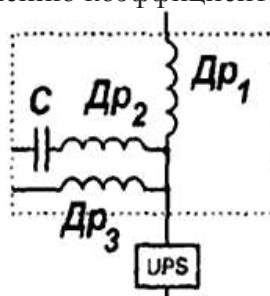


Рис. 12. Скомпенсированный LC-фильтр

Некомпенсированный фильтр с коммутатором, представленный на рис. 13, удобен при

использовании ДГУ ограниченной мощности, соизмеримой с мощностью UPS. Поперечная цепь фильтра подключается автоматически только после выхода UPS на номинальный режим. Таким образом, не требуется применение ДГУ повышенной мощности и не снижается коэффициент мощности системы.

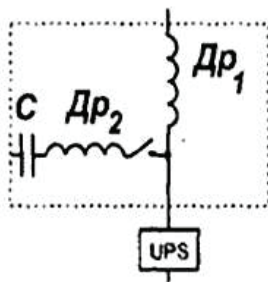


Рис. 13. Нескомпенсированный LC-фильтр с коммутатором

Эффективно применение специальных разделительных трансформаторов с обмотками "треугольник-звезда" позволяющие бороться с гармониками, кратными третьей, при сбалансированной нагрузке. Для ослабления влияния несимметрии нагрузки и уменьшения тока нейтрали применяют "перекрестную" систему обмоток, где вторичная обмотка каждой фазы разбита на две части и размещена на разных стержнях магнитопровода трансформатора.

Гармоники, генерируемые источниками не остаются в системе, а проявляются в соседних связанных электросетях и могут приводить к катастрофическим последствиям в других системах к таким как:

- перегрев и выход из строя трансформаторов
- увеличение тока, или перегрузка током конденсаторов и шум
- сбои в работе систем контроля
- изменение напряжения
- перегрузка вращающихся устройств
- ошибки срабатывания автоматических выключателей
- ошибки в коммуникационном оборудовании
- большой ток в нейтрали и низкое напряжение между фазой и защитным проводником РЕ.

Эффективным решением проблем связанных с появлением в сети высших гармоник, является фильтр гармоник.

Фильтр гармоник – устройство, которое подавляет и потребляет гармоники, генерируемые различным оборудованием. Он состоит из резистора, катушки индуктивности (реактора) и конденсатора.

Типовой фильтр гармоник состоит из одиночных шунтирующих фильтров для гармоник низкого порядка. Эти фильтры настроены на частоту гармоники, которую они подавляют. Для гармоник более высокой частоты, устанавливаются дополнительные фильтры.

Список использованной литературы:

1. ГОСТ 32144-2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. Официальный сайт EFD Induction [Электронный ресурс]. URL: <http://www.efd-induction.com/> (Дата обращения 22.11.2014)
3. Harmonic Disturbances in Networks and Their Treatment // Cahier Technique Schneider Electric, 152. – 25 p.

References:

1. The GOST 32144 - 2013 quality standards of electrical energy in power systems for general use.
2. Official Website EFD Induction [electronic resource]. URL: <http://www.efd-induction.com/> (date 11.22.2014)
3. Harmonic Disturbances in Networks and Their Treatment // Cahier Technique Schneider Electric, 152. –25 p.

Поступила в редакцию 10.12 2014 г.