

КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Улучшение качества электроэнергии в трехфазных сетях с нелинейными нагрузками

Нозик А. А., Сазонов А. С., кандидаты техн. наук, Шехтель Л. П., инж.

ОАО «СПИК СЗМА», Санкт-Петербург

Приведены результаты испытаний фильтра сетевых гармоник типа RAUHF, предназначенного для использования в составе частотно-регулируемого привода (ЧРП), подключенного к системе питания с фоновым искажением напряжения до 12 %.

Ключевые слова: частотно-регулируемый привод, фильтр сетевых гармоник, гармонические составляющие тока и напряжения, коэффициенты искажения синусоидальности кривых тока и напряжения, точка общего присоединения (ТОП).

Одним из основных путей решения проблемы энергосбережения в промышленных установках является применение ЧРП. Однако в этом случае возможно возникновение другой проблемы, связанной с тем, что при работе электроустановок с нелинейными электромагнитными характеристиками (выпрямителей, инверторов, частотных преобразователей и т. д.) в питающую сеть генерируются гармонические составляющие тока. Это приводит к ухудшению качества электроэнергии, вызывающему негативные последствия [1 – 3]:

искажение питающего напряжения, а следовательно, преждевременный отказ блоков электропитания и двигателей;

ложные срабатывания автоматических выключателей и другой защитной аппаратуры; перегрев электродвигателей и генераторов; перегрев оборудования распределительной сети (кабелей, трансформаторов);

ошибки при измерениях;

понижение коэффициента мощности, что обуславливает необходимость повышения мощности питающих трансформаторов;

проблемы, связанные с регулированием напряжения на дизель-генераторах;

ложные срабатывания и отказы в работе критических нагрузок.

Для ограничения отрицательных воздействий гармонических составляющих тока разработаны различные способы их уменьшения и введены стандарты, ограничивающие индивидуальные и общие гармоники тока и напряжения, принятые исходя из обеспечения нормальной безаварийной работы электрооборудования при разном его применении. Рекомендуемые в нормативных документах пределы искажения синусоидальности кривой напряжения для систем электропитания общего назначения приведены в табл. 1.

В табл. 2 даны результаты проведенного в 2010 г. обследования качества электроэнергии в сетях одного из месторождений компании «Роснефть», где используется большое количество ЧРП для управления погружными насосами. Эти данные свидетельствуют о том, что ЧРП устанавливаются без устройств, ограничивающих отрицательное влияние гене-

Таблица 1

Стандарты и требования	Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения на входе ЧРП, %
IEEE Standard 519–1992	5
ГОСТ 13109–97	8 – 12
Технические требования ТНК-ВР к станциям управления погружных электроцентробежных насосов (редакция № 2), 2010 г.	5

Таблица 2

Номер куста	Количество наружных комплектных трансформаторных подстанций (КТПН)	Количество нагрузок (ЧРП) на кусте	Количество КТПН с критическими гармониками	Пределы гармоник, %	
				От	До
201	4	9	3	7,4	10,6
207	6	7	5	3,5	10,5
213	9	13	2	4,2	10,4
217	5	8	Нет	6,5	7,9
217бис	6	17	4	3,9	10,5
253	7	20	3	2,8	13,8
255	7	20	1	2,1	8,2

рируемых в питающую сеть гармонических составляющих тока на качество электроэнергии. В западных странах при использовании ЧРП в обязательном порядке предусматривается применение соответствующих технических средств для подавления гармоник. Их эффективность показана в [2].

При расчете и выборе устройств подавления гармоник тока следует учитывать, что состав генерируемых гармоник различается в зависимости от типа преобразовательных устройств (диодного выпрямителя, управляемого выпрямителя с фазовым регулированием напряжения или инвертора, осуществляющего рекуперацию энергии в сеть, и т. д.), следовательно, и параметры фильтров должны быть разными.

В данной статье рассмотрено использование пассивных LC-фильтров как наиболее эффективных устройств по соотношению цена/качество, обеспечивающих подавление всех основных гармонических составляющих тока.

Тестирование пассивного LC-фильтра

Пассивные LC-фильтры отличаются простотой исполнения и позволяют достичь результатов, сопоставимых с эффективностью некоторых типов активных фильтров или многопульсных схем в ЧРП. Один из мировых лидеров в производстве таких фильтров — фирма “Mirus International Inc.” (Канада), которая разрабатывает и поставляет их с 1999 г. Поэтому они и были выбраны для проведения тестирования.

На испытательном стенде ФГУП “ЦНИИ-СЭТ” (Санкт-Петербург) проверяли стандарт-

ный фильтр AUNF-250-380-50-D-E1 с входной мощностью 225 кВт·А и током 330 А при работе с ЧРП типа SCD-439 (309 кВт·А, 469 А), выпускаемым заводом ОАО “СПИК СЗМА” (Санкт-Петербург) по лицензии фирмы “Toshiba International Corporation” (США). Его тестировали на эффективность подавления гармоник тока, нагрев и электрическую прочность изоляции. На рис. 1 показана электрическая схема подключения элементов установки. Питание ЧРП с подключенным на входе фильтром гармоник осуществлялось от промышленной сети

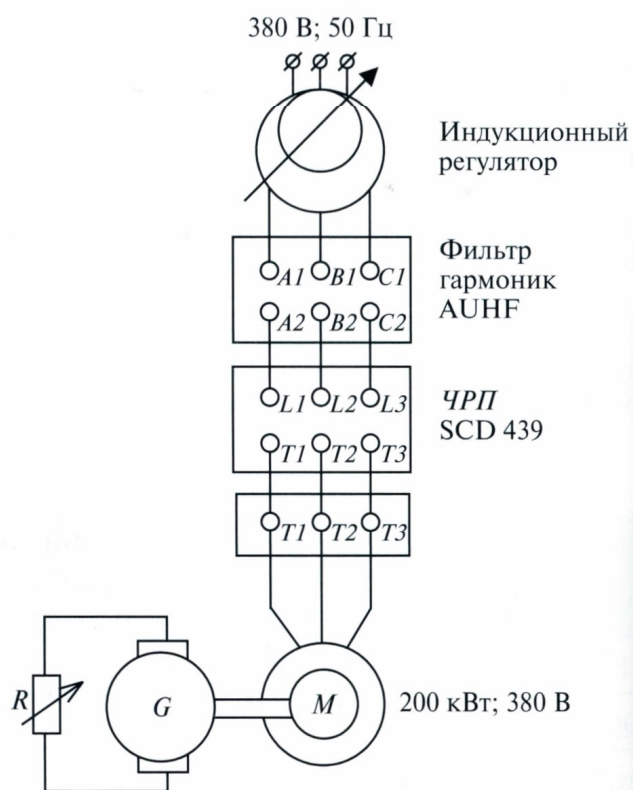


Рис. 1

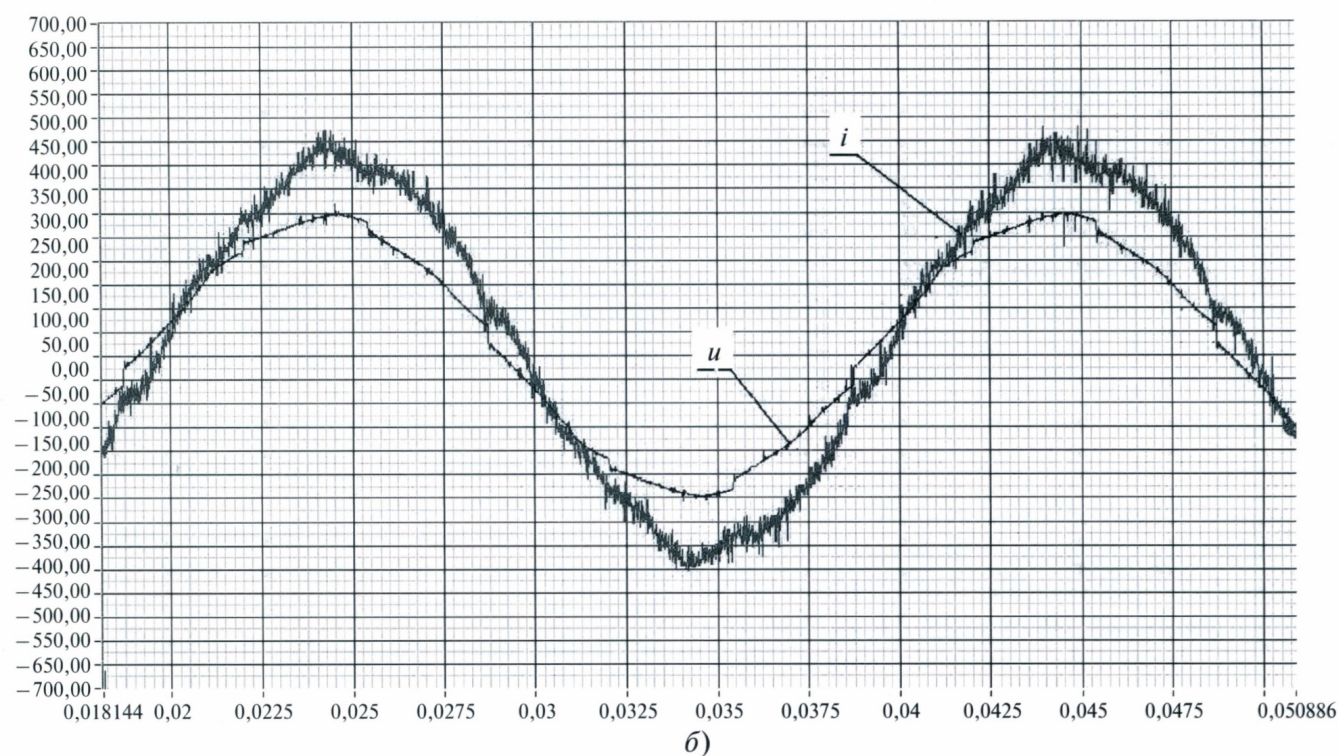
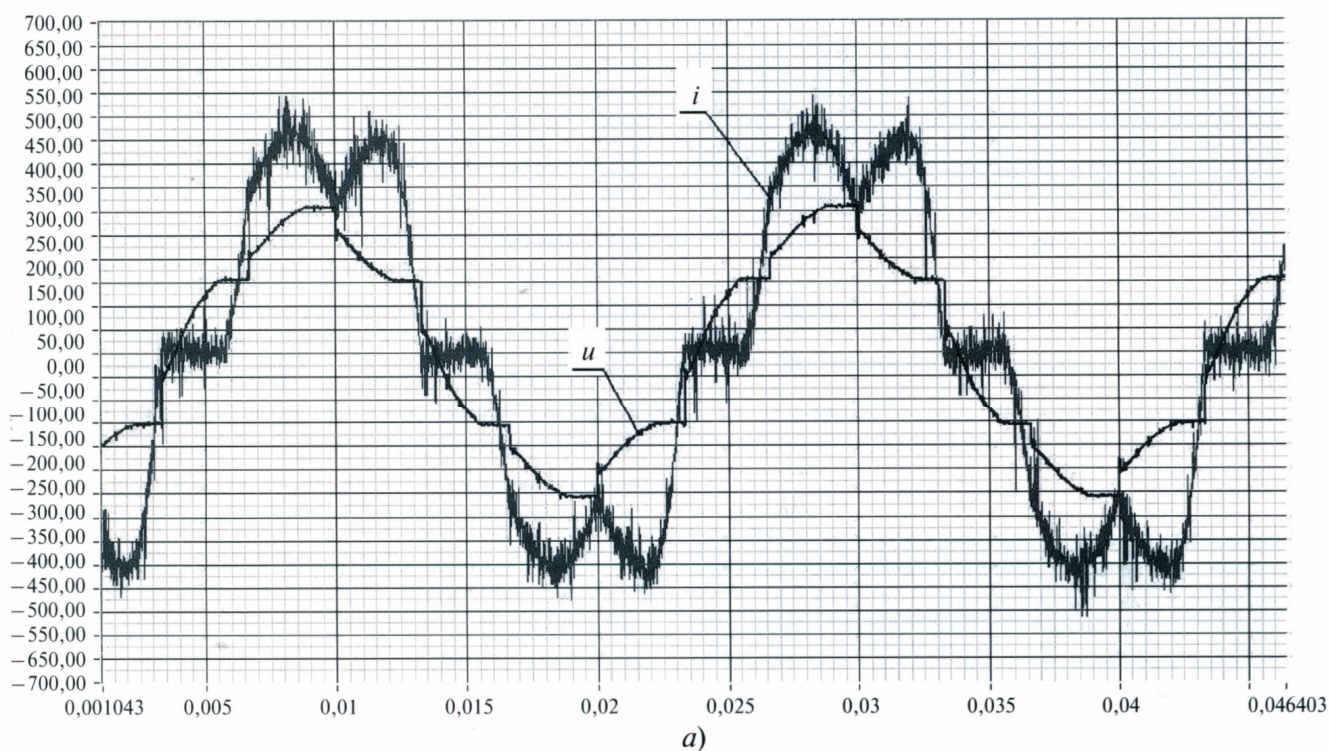


Рис. 2

380 В, 50 Гц через индукционный регулятор (для получения наибольших искажений напряжения сети) с практически синусоидальной формой кривой напряжения 380 В и отношением короткого замыкания $OKЗ = 19,6$. ЧРП работал на асинхронный двигатель M с короткозамкнутым ротором мощностью 200 кВт с установленной на валу машиной постоянного тока G , нагруженной на активные сопротивления R . На рис. 2 приведены осцил-

лограммы входного тока i и напряжения u при работе ЧРП без сетевого фильтра (а) и с ним (б), а в табл. 3, 4 указаны значения коэффициентов искажений гармонических составляющих соответственно тока и напряжения. Измерения выполнены с помощью электроизмерительного регистрирующего прибора "След" и обработаны с помощью программы LabVIEW. Полученные результаты испытаний показали эффективность подавле-

Таблица 3

Нагрузка, %	Значения коэффициентов искажения синусоидальности кривой тока, %	
	ЧРП без входного фильтра	ЧРП с входным фильтром
100	27,7	8
70	31,1	10,2
40	37,3	15,4
25	53,5	29,7

Таблица 4

Гармоника	Значения коэффициентов искажения синусоидальности кривой напряжения, %		
	По ГОСТ 13109–97	ЧРП без входного фильтра	ЧРП с входным фильтром
5-я	6	11,12	1,42
7-я	5	4,5	1,96
11-я	3,5	284	1,09
13-я	3	2,4	0,85
17-я	2	1,5	0,64
19-я	1,5	1,69	0,85
23-я	1,5	1,25	0,33
25-я	1,5	1,1	0,59

ния гармонических составляющих тока и существенное уменьшение влияния ЧРП с фильтром на искажения синусоидальности кривой напряжения питающей сети, что позволяет обеспечивать качество электроэнергии в пределах норм, регламентируемых ГОСТ 13109–97.

Фильтр гармоник RAUNF

Следует отметить, что приведенные выше результаты тестирования получены при условии, когда форма кривой входного напряжения была практически синусоидальной. Применяемые на Западе устройства подавления гармоник рассчитываются исходя из условий, что коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения на входе не превышает 5%. Системы электроснабжения в России характеризуются более разветвленными сетями и зачастую большей несинусоидаль-

ностью кривой напряжения, особенно в добывающих отраслях промышленности (чаще всего из-за множества подключенных мощных нелинейных нагрузок без фильтров). Для нормальной работы ЧРП от таких сетей требуется установка фильтров специального исполнения. Особенностью их работы является компенсация гармонических составляющих тока, генерируемых собственным ЧРП и поступающих от других нелинейных нагрузок, подключенных к общей ТОП.

В соответствии с техническим заданием ОАО «СПИК СЗМА» фирмой «Mirus International Inc.» была разработана новая конструкция линейки фильтров RAUNF, рассчитанная для подключения к питающей сети с фоновым уровнем искажения синусоидальности кривой напряжения до 12%. Линейка мощностей этих фильтров в зависимости от напряжения питающей сети составляет 4 – 2600 кВт для напряжений 660/690 В и 380/400 В, а также 4 – 110 кВт для напряжения 220/240 В.

Существуют различные схемы подключения рассматриваемого фильтра. При использовании одного такого фильтра для работы с группой ЧРП его номинальный ток должен быть рассчитан на суммарный входной ток ЧРП. В случае работы ЧРП в качестве пускового устройства с последующим переключением двигателя на работу непосредственно от сети (схема байпаса) фильтр гармоник шунтируется вместе с ЧРП.

На Западе для соответствия требованиям IEEE Standard 519–1992 каждый частотный привод, как правило, используется в комплекте с устройствами компенсации. В связи с отсутствием аналогичной практики в России для приведения искажений гармонических составляющих напряжения питающей сети в точке общего присоединения в соответствие с нормами ГОСТ 13109–97 возможно применение фильтров гармоник для отдельных ЧРП, доля которых в искажении синусоидальности кривой напряжения в ТОП наибольшая (обычно это ЧРП с наибольшими токами нагрузки). Такое решение с экономической точки зрения также оправданно.

Тестирование фильтра гармоник RAUNF

Изготовленные на заводе ОАО «СПИК СЗМА» промышленные образцы моделей фильтров, предназначенных для работы в условиях фоновых искажений синусоидальности кривой напряжения питающей сети, проверяли на нагрузку, нагрев и устойчивость

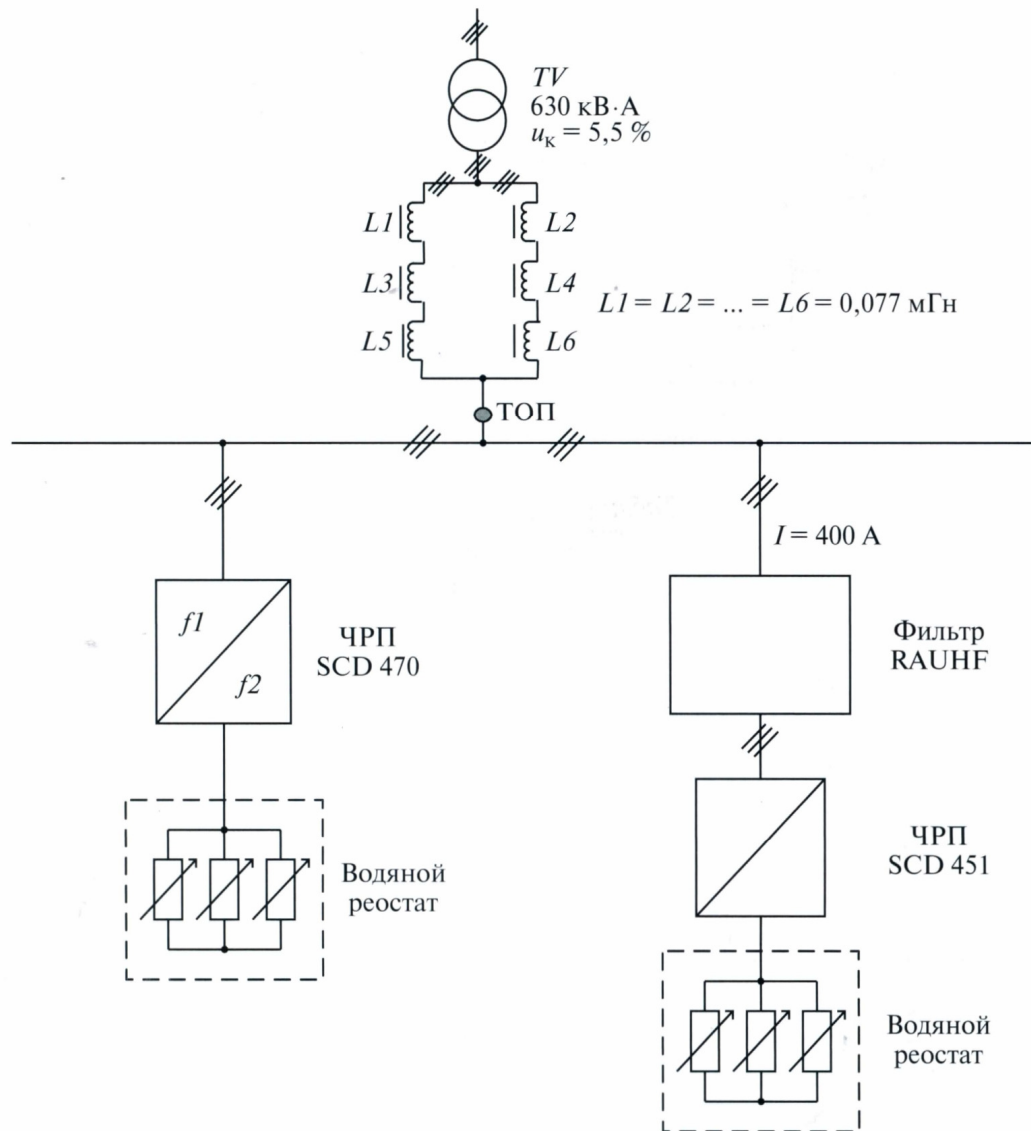


Рис. 3

работы в сетях, где уровень этих искажений достигал 12%. В частности, на испытательном стенде ООО «ИЦ ВИТУ» (Санкт-Петербург) испытывали фильтр гармоник RAUNF 200 кВт, 410 А, работающий совместно с ЧРП модели SCD-451 (410 кВт·А, 623 А), нагруженным на активную нагрузку — водяной реостат (рис. 3). Для создания фоновых искажений напряжения питания использовали ЧРП модели SCD-470 (554 кВт·А, 842 А), подключенный к сети через вспомогательные трехфазные дроссели и нагруженный также на активную нагрузку. Для измерений применяли прибор «FLUKE 31В». Общий коэффициент мощности на входе фильтра достигал 0,98 при номинальном токе нагрузки, а КПД фильтра — 0,99. Испытания подтвердили полную работоспособность фильтра гармоник в условиях фоновых искажений синусоидальной кривой напряжения источника питания, уровень которых достигал 11–13%.

В режиме холостого хода фильтр также компенсировал гармонические составляющие тока, поступающие из питающей сети, улучшая таким образом качество напряжения питания.

Включив сетевой фильтр RAUNF на входе ЧРП, можно не только уменьшить искажение напряжения питающей сети, но и снизить потребление активной и реактивной мощностей установки путем уменьшения потерь от высших гармоник тока в элементах электроустановки и исключить их вредное влияние на оборудование.

Фильтр гармоник RAUNF имеет следующие особенности:

конструкция адаптирована для работы в сетях с высоким (12%) фоновым уровнем искажения напряжения (учтены требования российских нефтеперерабатывающих компаний);

корпус предназначен для наружной установки и эксплуатации в жестких климатических условиях России.

Кроме того, фильтр работает в режиме линейного фильтра-реактора даже при отказе части (или всех) конденсаторов и предохранителей; в нем нет вентиляторов, и используемые материалы имеют высокий класс по нагревостойкости.

По результатам испытаний фильтров RAUNF фирмой "Mirus International Inc." и ОАО "СПИК СЗМА" было заключено OEM-соглашение об их производстве на заводе этого ОАО.

Выводы

1. Фильтры RAUNF удовлетворяют всем требованиям и нормам по ограничению искажений синусоидальности кривых тока и напряжения питающей сети, принятым как в стандартах IEEE Std 519, так и ГОСТ 13109-97.

2. Блок конденсаторов внутри фильтра RAUNF в 2 – 3 раза меньше, чем в традиционных пассивных LC-фильтрах. Это обусловлено тем, что номинальные значения его параметров составляют менее 15 % мощности нагрузки, $kB \cdot A$, на которую подбирался фильтр.

3. Используемые в фильтрах конденсаторы в случае выхода их из строя не приводят к КЗ и остановке ЧРП благодаря тому, что снабжены внутренним ограничителем давления с "разрывным" плавким предохранителем. При возрастании внутреннего давления в конденсаторе (вследствие выделения газов при повреждении изоляции диэлектрика)

крышка его корпуса вздувается и разрывает внутренний плавкий предохранитель.

4. Добавочное напряжение холостого хода на выходе фильтра составляет менее 1,5 %, в то время как у аналогичных фильтров других производителей оно варьируется от 5 до 10 %.

5. Благодаря специальной конструкции фильтра RAUNF обеспечивается его совместимость с генератором при установке на двигателе-генераторе, в связи с чем не требуется применение контакторов для коммутации емкостной нагрузки, которые следует добавлять к фильтрам, генерирующим большие емкостные реактивные токи, обуславливающие нестабильность автоматического регулятора напряжения.

6. В рассматриваемом фильтре потерь активной мощности на 50 % меньше, чем в аналогичных фильтрах, поэтому в нем предусмотрена естественная система охлаждения, что позволяет исключать использование стандартных вентиляторов принудительного охлаждения.

Список литературы

1. Аррилага Дж., Брэдли Д., Боджер П. Гармоники в электрических системах / Пер. с англ. — М: Энергоатомиздат, 1990.
2. Mirus International Inc / Lineator (AUHF) Advanced Universal Harmonic Filter for VFD's. Questions and Answers / Tony Hooevenaars, 2003.
3. Кондаков Ю. В. Электромагнитная совместимость электрооборудования. Ч. 2. — Электрик, 2007, № 1 – 2.

Arefy_Sazonov@szma.com

Вниманию руководителей предприятий!

Журнал "Промышленная энергетика" предлагает присылать материалы в раздел "Из истории промышленной энергетики". Статьи этого раздела — об истории становления и путях развития энергетического хозяйства крупных промышленных предприятий страны и создания заводов, выпускающих энергетическое оборудование, о внедрении систем управления энергопотреблением, о людях, сыгравших важную роль в развитии своего предприятия, его техническом совершенствовании.

Телефоны для справок: (495) 234-74-49, 234-74-18, 234-74-20.