

1743

**И.В. ЖЕЖЕЛЕНКО, Ю.Л.САЕНКО, Т.К. БАРАНЕНКО,  
А.В. ГОРПИНИЧ, В.В. НЕСТЕРОВИЧ**

**Избранные вопросы несинусоидальных  
режимов в электрических сетях  
предприятий**

Под редакцией доктора технических наук,  
профессора И.В.Жежеленко

Москва  
Энергоатомиздат, 2007

УДК 621.316.176  
ИЗ 328  
ББК 31.280.7  
Ж 43

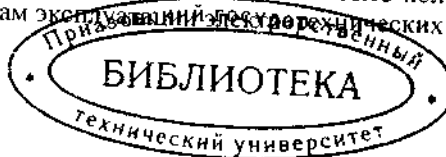
Рецензенты: доктор техн. наук Ю.С. Железко,  
доктор техн. наук В.В. Зорин

**Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л., Бараненко Т.К.,  
Горпинич А.В., Нестерович В.В.**  
Ж 43 Избранные вопросы несинусоидальных режимов в электрических сетях предприятий / Под ред. И.В. Жежеленко.  
— М.: Энергоатомиздат, 2007.— 296 с., 140 ил.  
ISBN 978-5-283-00810-3

Дано изложение актуального вопроса электромагнитной совместимости, теории и практики комплексного анализа несинусоидальных режимов в промышленных электрических сетях.

Рассмотрены и проанализированы вопросы оценки реактивной мощности в устройствах энергоэлектроники; представлен подробный анализ интергармоник сетевых токов непосредственных преобразователей частоты и со звеном постоянного тока. Представлен также анализ надежности электрооборудования, работающего в условиях несинусоидальности. Изложены вопросы расчета и экспериментальных частотных характеристик электрических сетей.

Для научных работников, студентов и аспирантов электротехнических вузов и факультетов; может быть полезна проектировщикам и работникам эксплуатационно-технических служб предприятий.



ISBN 978-5-283-00810-3

©Энергоатомиздат, 2007

566810

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В предлагаемой вниманию заинтересованного читателя книге рассмотрен ряд актуальных вопросов теории и практики несинусоидальных режимов в системах электроснабжения (СЭС) промышленных предприятий. Возникновение и развитие этих режимов определяется интенсивным внедрением различного рода нелинейных нагрузок, в первую очередь, устройств силовой преобразовательной техники, являющихся мощным концентрированным источником высших гармоник (ВГ). Это обусловлено достоинствами этих устройств, энергосберегающих по своей природе, позволяющих облегчить решение проблемы энергетической безопасности без увеличения генерирующих мощностей. Использование устройств силовой преобразовательной техники (энергоэлектроники) способствует также решению экономических проблем благодаря снижению влияния техногенной нагрузки на окружающую среду, вносит значительный вклад в энергосбережение. Поэтому в различных отраслях промышленности доля преобразуемой электроэнергии составляет 60 – 80 %, а в металлургической промышленности достигает 90 %.

В мировой электротехнической практике интенсивно развиваются исследования, посвященные теории и практике несинусоидальных режимов как составной части проблемы электромагнитной совместимости (ЭМС). К настоящему времени сформировалось целостное представление и научные основы нормирования уровней гармоник, разработки других нормативных документов, в частности, в ряде стран СНГ – технических регламентов по ЭМС. В то же время все возрастающая интенсивность внедрения в промышленность различного рода частотных преобразователей, заметно проявляющееся ухудшение надежности электрооборудования, необходимость определения "виновника" появления недопустимого уровня несинусоидальности, ряд других вопросов привели к необходимости дополнительных исследований, а в ряде случаев и более глубоких исследований, казалось бы, хорошо изученных вопросов. Эти обстоятельства подвигли авторов к написанию настоящего труда.

В книге представлены результаты подробного анализа во-

проса реактивной мощности при несинусоидальных режимах. При этом значительное внимание уделено задачам расчета и компенсации реактивной мощности в различного рода устройств энергоэлектроники, широко применяемых на практике. Подробно рассмотрено генерирование гармоник в питающую сеть преобразователями частоты – как непосредственными, так и преобразователями со звеном постоянного тока и, соответственно, вопросам коррекции режимов, обусловленных ВГ и интергармониками.

Отдельная глава посвящена анализу влияния гармоник на сокращение срока службы изоляции электрооборудования, оценке его надежности. В заключительной главе книги представлены анализ частотных характеристик электрических сетей (ЭС) и практических методов их расчета.

В основу книги положены материалы диссертационных работ, выполненных на кафедре электроснабжения промышленных предприятий Приазовского государственного технического университета в 80-90-е годы минувшего столетия под руководством И.В. Жежеленко и Ю.Л. Саенко. Для книги были выбраны, в первую очередь, материалы, имеющие, наряду с теоретическим, серьезное практическое значение.

Авторы выражают признательность рецензентам Ю.С. Железко и В.В. Зорину, весьма ценные и полезные замечания которых по книге способствовали существенному улучшению ее содержания.

Авторы надеются, что предлагаемая монография будет полезна научным работникам, проектировщикам и работникам эксплуатации энергетических служб предприятий, а также аспирантам и студентам электротехнических вузов и факультетов.

В монографии представлены не только результаты исследований отечественных и зарубежных специалистов, но и результаты, полученные авторами книги в последние годы. Естественно, что книга не свободна от недостатков. Замечания и пожелания будут приняты с благодарностью. Их просьба направлять по адресу: Украина, 87500, г. Мариуполь, ул. Университетская, 7, Приазовский государственный технический университет.

*Авторы*

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	5
<b>Глава первая. Реактивная мощность при несинусоидальных режимах</b>	
1.1. Методы определения реактивной мощности при несинусоидальных режимах.....	7
1.2. Реактивная мощность в трехфазных электрических сетях.....	21
1.3. Электромагнитная теория реактивной мощности при несинусоидальных режимах.....	26
1.4. Реактивная мощность однофазных вентильных преобразовательных установок.....	33
1.5. Реактивная мощность трехфазных мостовых преобразователей.....	43
1.6. Реактивная мощность в сетях дуговых сталеплавильных печей.....	51
1.7. Компенсация реактивной мощности в сетях с высшими гармониками.....	60
1.8. Расчет параметров фильтро-компенсирующих устройств в сетях с высшими гармониками.....	74
1.9. Средства компенсации реактивной мощности.....	77
1.10. Сравнение методов расчета реактивной мощности на примере вентильных преобразователей и ДСП.....	83
Список литературы.....	93
<b>Глава вторая. Интергармоники в системах электроснабжения промышленных предприятий</b>	
2.1. Причины появления и влияние.....	95
2.2. Интергармоники в электрических сетях с электротехнологическими установками.....	98
2.3. Физическая картина возникновения интергармоник при работе непосредственных преобразователей частоты.....	115
2.4. Расчет спектрального состава входного тока непосредственных преобразователей частоты.....	121
2.5. Расчет и анализ интергармоник входного тока непосредственных преобразователей частоты.....	134
2.6. Высшие гармоники и интергармоники сетевого тока преобразователей частоты со звеном постоянного тока.....	150

2.7. Сетевой ток преобразователей частоты с различными законами управления.....	161
Список литературы.....	164
<b>Глава третья. Сокращение срока службы и снижение надежности электрооборудования при пониженном качестве электроэнергии</b>	
3.1. Силовые трансформаторы.....	166
3.2. Асинхронные двигатели.....	181
3.3. Силовые кабели.....	191
3.4. Влияние амплитуды несинусоидального напряжения на сокращение срока службы и снижение надежности электрооборудования.....	200
Список литературы.....	209
<b>Глава четвертая. Частотные характеристики электрических сетей</b>	
4.1. Математические модели элементов электрических сетей, используемые при определении частотных характеристик..	211
4.2. Несимметрия сопротивлений и проводимостей электрических сетей на частотах высших гармоник.....	216
4.3. Экспериментальное определение частотных характеристик	235
4.4. Экспериментальное определение частотных характеристик электрических сетей на основе анализа переходных процессов.....	243
4.5. Применение вейвлет-преобразования при экспериментальной идентификации параметров электрических сетей.....	258
4.6. Определение частотных характеристик электрических сетей с использованием корреляционных моментов токов и напряжений.....	263
4.7. Экспериментальное определение частотных характеристик на основе применения спектрального анализа случайных процессов.....	274
4.8. Использование фильтров высших гармоник.....	280
Список литературы .....	290