

**На правах рукописи**

**ГУЛЯЕВ Евгений Николаевич**

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ  
С СЕТЬЮ И НАГРУЗКОЙ**

**Специальность:**

**05.09.03 - Электротехнические комплексы и системы**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертация на соискателя ученой степени  
кандидата технических наук**

**Уфа - 2010**

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» на кафедре электромеханики

**Научный руководитель:**

доктор технических наук, профессор  
**Рогинская Любовь Эммануиловна**  
проф. кафедры электромеханики  
Уфимского государственного

авиационного

технического университета

**Официальные оппоненты:**

доктор технических наук профессор  
**Шапиро Семен Валентинович**  
проф., зав. кафедрой физики  
Уфимской государственной академии  
экономики и сервиса

кандидат технических наук, профессор  
**Шабанов Виталий Алексеевич**  
проф., зав. кафедрой электротехники и  
электрооборудования предприятий  
Уфимского государственного нефтяного  
технического университета

**Ведущая организация:**

**ФГУП НКТБ «Вихрь»**

Защита состоится 28 декабря 2010 г. в 10<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д – 212.288.02 при Уфимском государственном авиационном техническом университете по адресу:  
450000, г.Уфа, ул. К. Маркса, 12.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Уфимского государственного авиационного технического университета.

Автореферат разослан 25 ноября 2010 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор техн. наук, профессор

Г.Н. Утляков

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность** темы диссертационного исследования. Совместимость субъектов различных видов деятельности, процессов, популяций - это комфортное существование каждого из них при отсутствии недопустимого влияния на другие субъекты. В системах электроснабжения электрооборудование, приборы, аппараты и другие устройства находятся в общей для них электромагнитной среде, причём любое из устройств является источником (генератором) электромагнитных помех, в то же время на него воздействуют электромагнитные помехи, создаваемые другими источниками. В общем случае электромагнитная помеха характеризуется как воздействие, искажающее основной сигнал и нежелательно влияющее (или могущее влиять) на него.

Проблема электромагнитной совместимости, ставшая актуальной в 1940-х годах для систем передачи информации, выдвигается на первый план во всех областях производства, передачи и распространения электроэнергии. Усложнение электрических систем, введение в эксплуатацию мощных электроприводов, вентильных преобразователей, высокая степень автоматизации производства резко обостряют проблему электромагнитной совместимости. Её значимость соизмерима со значимостью проблем энергосбережения, надёжности и энергетической безопасности.

В системах электроснабжения промышленного предприятия особое внимание уделяется кондуктивным помехам, которые в сетях трёхфазного переменного тока определяются различного рода искажениями синусоидальной формы кривых напряжений и тока и действующего значения напряжения (отклонения напряжения). Эти электромагнитные помехи не исчерпывают все виды помех, указанных в ГОСТ 13109–97, однако они являются преобладающими, так как оказывают наибольшее влияние на электроприёмники. Значения их принято называть показателями электромагнитной совместимости или показателями качества электроэнергии. Проблема качества электроэнергии является одной из важнейших составных частей общей проблемы электромагнитной совместимости.

Качество электроэнергии в значительной мере зависит от технологических процессов в электроэнергетической системе. Один из распространенных видов электромагнитных кондуктивных помех представляют высшие гармоники тока, источниками которых являются как электроприемники с нелинейной вольтамперной характеристикой, так и элементы электроэнергетической системы.

Исследования в области обеспечения качества электроэнергии широко освещены и представлены на международных конференциях *CIGRE*, *CIREN*, *PSCC*, *IEEE*. Большой вклад в решении этих проблем внесли российские ученые Железко Ю.С., Жежеленко И.В., Зиновьев Г.С., Курбацкий В.Г., Кучумов Л.А., Смирнов С.С., Бердин А.С., Салтыков В.М. и др.

Проблема обеспечения качества электроэнергии, как в России, так и за рубежом остается актуальной для современной электроэнергетики. Объясняется это растущим внедрением силовой электроники, что способствует возрастающему влиянию высших гармоник тока на работу как промышленных и бытовых электроприемников, так и на электрооборудование систем электроснабжения и электрических сетей высокого напряжения. На сегодняшний день недостаточно изучен спектральный состав токов и напряжений, генерируемый различными электротехнологическими нагрузками. В литературе вопросу генерирования высших гармоник электротехнологическими нагрузками и их влиянию на потребители и питающую сеть уделено мало внимания.

Высшие гармоники в системах электроснабжения нежелательны по ряду причин: появляются дополнительные потери в электрических машинах, трансформаторах и сетях; затрудняется компенсация реактивной мощности с помощью батарей конденсаторов; сокращается срок службы изоляции электрических машин и аппаратов; ухудшается работа устройств автоматики, телемеханики и связи. При работе асинхронного двигателя в условиях несинусоидального напряжения снижается его коэффициент мощности и вращающий момент на валу. Искажение формы кривой напряжения заметно сказывается на возникновении и протекании ионизационных процессов в изоляции электрических машин и трансформаторов.

Также следует отметить, что на сегодняшний день проблема энергосбережения рассматривается на правительственном уровне.

Ввиду негативного влияния высших гармонических составляющих на электрическую сеть и потребителей электроэнергии необходимы мероприятия, способствующие улучшению электромагнитной обстановки.

Имеется ряд способов снижения несинусоидальности кривой тока и напряжения при наличии нелинейной нагрузки. Однако вопрос повышения качества электроэнергии, потребляемой полупроводниковыми преобразователями, питающими нагрузку с нелинейной вольт – амперной характеристикой, освещен недостаточно.

Таким образом, исследование спектрального состава токов, генерируемых различными нелинейными потребителями, и разработка схемотехнических решений снижения искажения кривых тока и напряжения являются актуальными задачами современной электроэнергетики, особенно на фоне растущей мощности нелинейной нагрузки и в первую очередь полупроводниковых преобразователей.

**Целью** диссертационной работы является разработка схемотехнических решений для снижения высокочастотных составляющих тока, генерируемых в электрическую сеть нелинейными потребителями, и повышение энергетических показателей автономных источников питания на базе исследования электромагнитной совместимости полупроводниковых преобразователей с сетью и нагрузкой путем моделирования электромагнитных процессов электротехнологических установок.

### **Основные задачи исследования:**

1. Разработка математических моделей установок с полупроводниковыми преобразователями для исследования влияния последних на питающую сеть и нагрузку.

2. Определение наиболее рационального способа уменьшения кондуктивных помех, генерируемых в питающую сеть полупроводниковыми преобразователями совместно с нелинейной нагрузкой, и повышение энергетических показателей автономных источников питания.

3. Исследование эффективности принятых схемотехнических решений для обеспечения электромагнитной совместимости электротехнологических установок с полупроводниковыми преобразователями при питании либо от энергосистемы, либо от автономного источника электропитания.

4. Разработка методики расчета специальных трансформаторов для обеспечения электромагнитной совместимости полупроводниковых преобразователей с сетью и нагрузкой.

5. Исследование влияния высших гармоник тока, генерируемых полупроводниковыми преобразователями с нелинейной нагрузкой, на увеличение потерь активной мощности в электрической сети на примере одного из энергоузлов Башкирской энергосистемы.

**Методы исследования.** В работе использованы основные положения теории цепей. Перечисленные задачи решены с помощью численно – аналитических и численных методов решения, а также имитационного моделирования в среде OrCAD 9.2 и MatLab 6.5.

### **На защиту выносятся:**

1. Модели электротехнологических установок с полупроводниковыми преобразователями, подключенными как к сети, так и к автономному источнику питания.

2. Модель и методика расчета трансформатора многофазного преобразователя для компенсации высших гармонических составляющих, генерируемых в сеть нелинейной нагрузкой.

3. Обоснование целесообразности применения модульной конструкции согласующего высокочастотного трансформатора с коэффициентом усиления по напряжению  $10^4$  для электротехнологических установок автономного питания.

4. Методика расчета согласующего высокочастотного трансформатора с коэффициентом усиления по напряжению  $10^4$ , с учетом эффекта вытеснения тока и модульной конструкции.

5. Математическая модель Сибайского энергоузла для определения потерь от высших гармонических составляющих.

### **Научная новизна:**

1. Определено влияние полупроводниковых преобразователей с нелинейной индуктивной и емкостной нагрузкой на питающую сеть на базе созданных математических моделей.

2. Разработана математическая модель системы преобразовательный трансформатор – нелинейная нагрузка, построенная на основе предложенного схмотехнического решения для компенсации высших гармонических составляющих тока на базе трансформаторных преобразователей числа фаз.

3. Предложено применение модульной конструкции трансформаторной ячейки емкостного накопителя энергии и установлена зависимость изменения потерь в трансформаторе от числа применяемых модулей.

#### **Практическая ценность:**

1. Предложена схема, разработаны математическая модель и методика расчета многофазного трансформаторного преобразователя числа фаз для компенсации высших гармонических составляющих, генерируемых в сеть нелинейной нагрузкой.

2. Доказано, что с помощью предложенных схмотехнических решений достигается снижение искажения кривой потребляемого тока и уменьшение пульсаций выходного напряжения.

3. Представлена методика расчета высокочастотного согласующего трансформатора для емкостного накопителя энергии с учетом дополнительных потерь мощности, определяемых условием работы и модульной конструкцией.

4. Определено оптимальное количество модулей, характеризующихся высоким КПД емкостного накопителя энергии, при неизменных массогабаритных показателях.

5. Установлена зависимость добавочных потерь (в процентах от общих потерь), вызванных протеканием в сети токов высших гармонических составляющих, от коэффициента искажения по току, определяемого на шинах источника питания.

**Реализация результатов работы.** Материалы диссертационной работы внедрены в производственный процесс ООО «РЭДКОМ» и в учебный процесс на кафедре электромеханики ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет».

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на всероссийских, республиканских научно – технических конференциях «Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий» (Уфа, 2007), «Мавлютовские чтения» (Уфа, 2007), «III Слет молодых энергетиков Республики Башкортостан» (Уфа, 2008), «Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий» (Уфа, 2009).

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 14 печатных работ, в том числе 1 статья в журнале рекомендованном ВАК, получены 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ и 1 патент на полезную модель.

#### **Структура и объем работы.**

Диссертация состоит из введения – 9 стр., четырех глав основного текста – 128 стр., списка литературы, включающего 104 наименования – 10 стр. и приложений – 17 стр.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы выбранного направления исследований, дана общая характеристика, сформированы цели и задачи научной работы.

**В первой главе** дан обзор основных потребителей, вносящих искажения в кривую питающего напряжения и тока. Рассмотрены негативные влияния высших гармонических составляющих тока на элементы электрической сети и разного рода потребителей электрической энергии. Произведен обзор различных способов согласования нагрузки с питающей сетью при питании от внешнего источника (энергосистемы) и автономного источника питания. Учтены их преимущества и недостатки. Произведен анализ современных методов расчета электрических цепей при наличии потребителей с нелинейной вольт – амперной характеристикой.

**Во второй главе** исследовано влияние электротехнологических нагрузок на питающую сеть с помощью созданных в программном комплексе MatLab 6 имитационных моделей индукционной установки (с фильтровой и без фильтровой емкости) и установки генератора озона, подключенных к внешней сети (энергосистеме).

Получены основные электромагнитные зависимости, характеризующие работу данных электротехнологических установок совместно с питающей сетью (рис. 1, 2,3), и диаграммы спектрального состава сетевого тока (рис. 4,5).

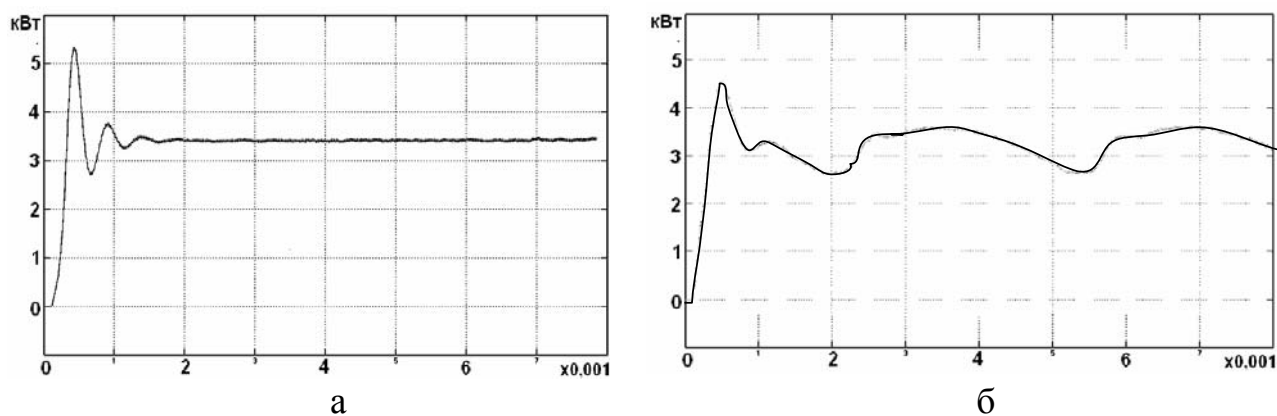


Рисунок 1 – Активная мощность на нагрузке установки индукционного нагрева  
а – с фильтровой емкостью, б – без фильтровой емкости

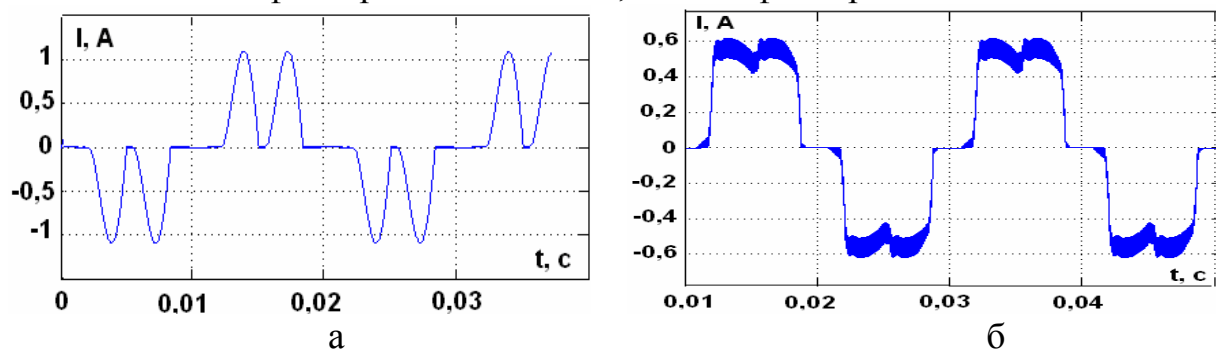


Рисунок 2 – Осциллограмма сетевого тока установки индукционного нагрева  
а – с фильтровой емкостью, б – без фильтровой емкости

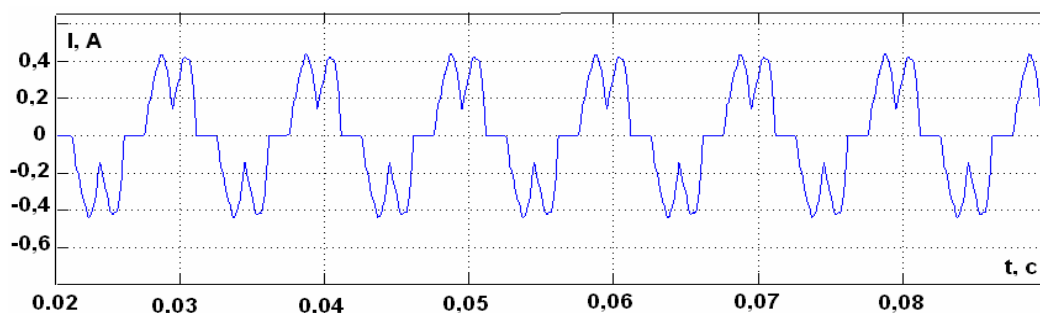


Рисунок 3 – Осциллограмма сетевого тока генератора озона

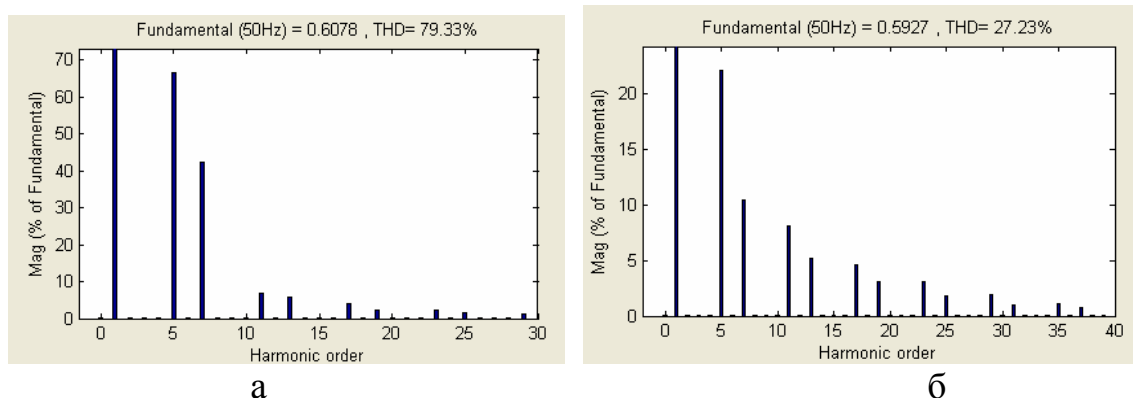


Рисунок 4 – Диаграмма спектрального состава сетевого тока установки индукционного нагрева а – с фильтровой емкостью, б – без фильтровой емкости

В результате исследования предложенных моделей было установлено, что установки индукционного нагрева и генератора озона искажают кривую питающего напряжения, при этом коэффициенты искажения по току соответственно равны 79,33% (27,23 без сглаживающей емкости) и 38,45%. В рассматриваемых случаях спектральный состав тока содержит только нечетные гармоники не кратные трем. При этом доминирующими по амплитуде являются 5-я, 7-я, 11-я и 13 –я гармоники. В установке индукционного нагрева применение сглаживающего конденсатора на выходе с выпрямителя ухудшает спектральный состав питающего тока (коэффициент искажения по току увеличивается в 2,9 раза), но способствует поддержанию постоянной активной мощности на нагрузке без значительных колебаний.

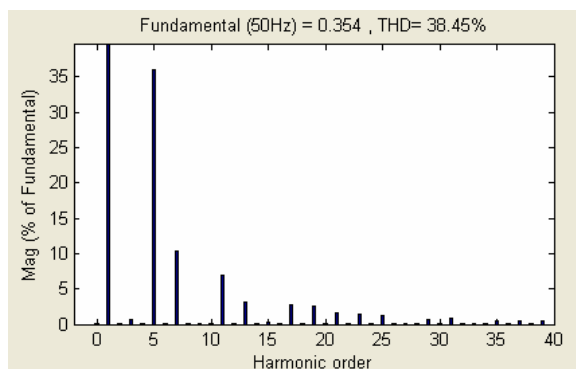


Рисунок 5 – Диаграмма спектрального состава сетевого тока генератора озона

Для уменьшения времени, затрачиваемого на моделирование электромагнитных процессов, происходящих в емкостном накопителе энергии (ЕНЭ), определим зависимость времени заряда накопительного конденсатора от параметров схемы. Схема замещения ЕНЭ приведена на рис. 6.

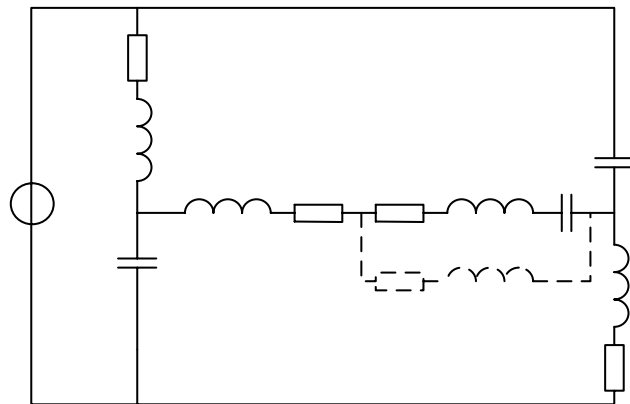


Рисунок 6 – Схема замещения емкостного накопителя энергии  $r_k$

$$I_C = \frac{U_{23}}{Z} = U j \omega_o C_k \quad (1)$$

$$\Delta U_{C_N} = I \cdot \left( -j \frac{1}{\omega_o C'_N} \right) = U \cdot j \omega_o C_k \cdot \left( -j \frac{1}{\omega_o C'_N} \right) = U \frac{C_k}{C'_N} \quad (2)$$

$$N = \frac{U}{\Delta U_{C_N}} = \frac{C'_N}{C_k} \quad (3)$$

Из полученных выражений (1)-(3) видно, что ток через трансформатор и накопительную емкость не зависит от  $C_N$ . Так же следует отметить, что при уменьшении  $C_N$  мощность, передаваемая через трансформатор, остается неизменной. Учитывая вышесказанное, можно сделать вывод, что изменение  $C_N$  приводит к изменению времени протекания переходных процессов в емкостном накопителе энергии при неизменных электромагнитных зависимостях.

Приведена имитационная модель емкостного накопителя энергии в пакете OrCAD 9.2 и сняты основные электромагнитные зависимости, характеризующие работоспособность установки.

**В третьей главе** произведен анализ существующих схмотехнических решений многофазных преобразователей и выявлены их недостатки. Предложено новое схмотехническое решение многофазного преобразования для питания потребителей с нелинейной вольт – амперной характеристикой. На рис. 7 представлена принципиальная электрическая схема преобразователя.

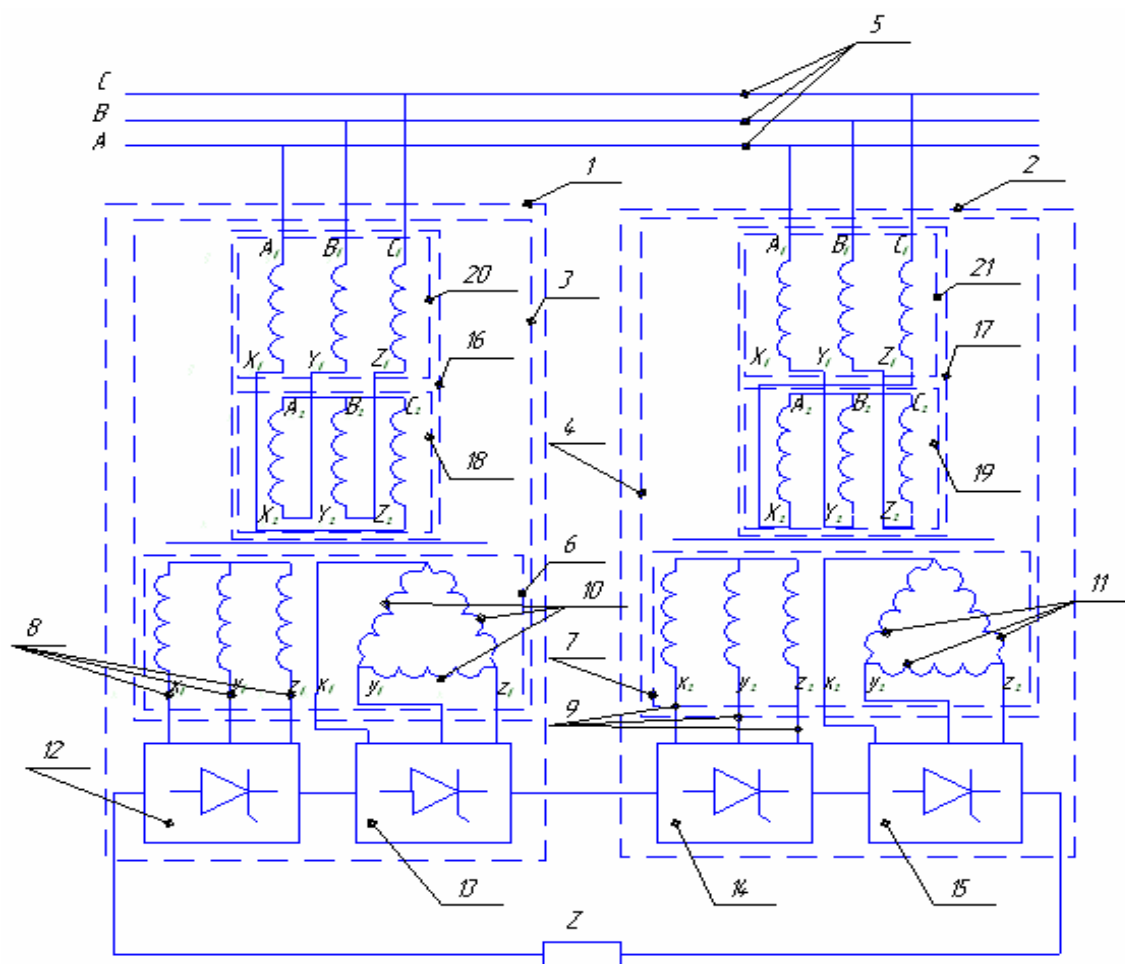


Рисунок 7 – Принципиальная электрическая схема преобразователя  
 1, 2 – модули преобразователя, 3, 4 – трансформатор, 5 – шины высокого напряжения (питающая сеть), 6 – 11 – вторичные обмотки трансформатора, 12 – 15 – выпрямители, 16, 17 – первичная обмотка трансформатора, 18, 19 – фазосдвигающая обмотка, 20, 21 – сетевая обмотка

За счет соединения первичной обмотки, фазосдвигающей и сетевой части в «неравноплечий зигзаг», как указано выше, в первом трансформаторе фазные напряжения сдвинуты относительно фазных напряжений соответствующих фаз питающей сети на угол  $+7^{\circ}30'$ , а во втором на угол  $-7^{\circ}30'$ . Фазные напряжения во вторичных обмотках сдвинуты аналогично первичным обмоткам. Нагрузка через выпрямительные мосты включена на линейные напряжения. Во вторичных обмотках, соединенных по схеме «треугольник», фазные (линейные) напряжения сдвинуты относительно соответствующего фазного напряжения питающей сети в первом трансформаторе на угол  $+7^{\circ}30'$ , во втором на угол  $-7^{\circ}30'$ . Во вторичных обмотках, соединенных по схеме «звезда», линейные напряжения сдвинуты относительно соответствующего фазного напряжения питающей сети в первом трансформаторе на угол  $+37^{\circ}30'$ , во втором на угол  $+22^{\circ}30'$ . Благодаря такому соединению обмоток преобразовательных трансформаторов получаем 24 фазный преобразователь. Линейные напряжения вторичных обмоток прикладываются к выпрямительным

мостам. В результате получаем в нагрузке выпрямленное напряжение со сниженным коэффициентом пульсаций.

Благодаря тому, что преобразовательные трансформаторы абсолютно идентичны, равны их коэффициенты трансформации и напряжения короткого замыкания, токовая нагрузка преобразователей одинакова. При такой схеме соединения преобразовательных трансформаторов эквивалентная фазность выпрямителя равна 24, в результате чего уменьшается коэффициент искажения напряжения питающей сети. К обмоткам, соединенным в зигзаг, приложено фазное напряжение, а не сочетание фазного и линейного напряжений. По ним протекает одинаковый ток. Это предполагает уменьшение арифметической суммы витков по сравнению с геометрической и, следовательно, уменьшение габаритов преобразователя и потерь в нем (увеличение КПД).

Исследовано влияние данного преобразователя на сеть и нагрузку с помощью имитационных моделей электротехнологических установок индукционного нагрева и генератора озона. Одна из моделей представлена на рисунке 8. Произведен сравнительный анализ эффективности применения многофазного преобразователя с помощью полученных электромагнитных зависимостей и диаграмм спектрального состава питающего тока (рис. 9, 10, 11).

По полученным данным видно, что применение многофазного преобразователя в системах питания электротехнологических установок с нелинейной вольт – амперной характеристикой, либо связанных с преобразованием электроэнергии (содержащие полупроводниковые комплексы), улучшает кривую питающего тока и напряжения, в частности: для установки индукционного нагрева коэффициент искажения по току  $k_I$  снижается в 63 раза и составляет 1,26%, для установки генератора озона в 13,7 раза ( $k_I=1,62\%$ ). При применении многофазного трансформатора с эквивалентной фазностью 24 амплитуда 5-ой и 7-ой гармоники практически равна нулю.

Для источника питания емкостного накопителя энергии рассмотрено влияние модульной конструкции согласующего трансформатора на энергетические показатели (рис. 12).

Предложена методика расчета высокочастотного согласующего трансформатора для емкостного накопителя энергии с учетом добавочных потерь (вытеснение тока собственным полем и полем соседних проводников). При этом ориентировочный объем магнитопровода определяется как

$$V_m = 1,5 \cdot \sqrt{\frac{A_u \cdot k_{доб}}{k_m}} \cdot \frac{P_u}{f_u^{1/4} \cdot \Delta T} \cdot \frac{1 + 3 \cdot e^{1-q}}{4} \quad (4)$$

где  $A_u$  - коэффициент, представляющий собой потери в единице объема;  $k_{доб}$  - коэффициент добавочных потерь;  $k_T$  - температурный коэффициент;  $k_m$  - коэффициент заполнения окна магнитопровода медью;  $f_u$  - частота следования импульсов, Гц;  $\Delta T$  - допустимый перегрев,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $q$  – скважность

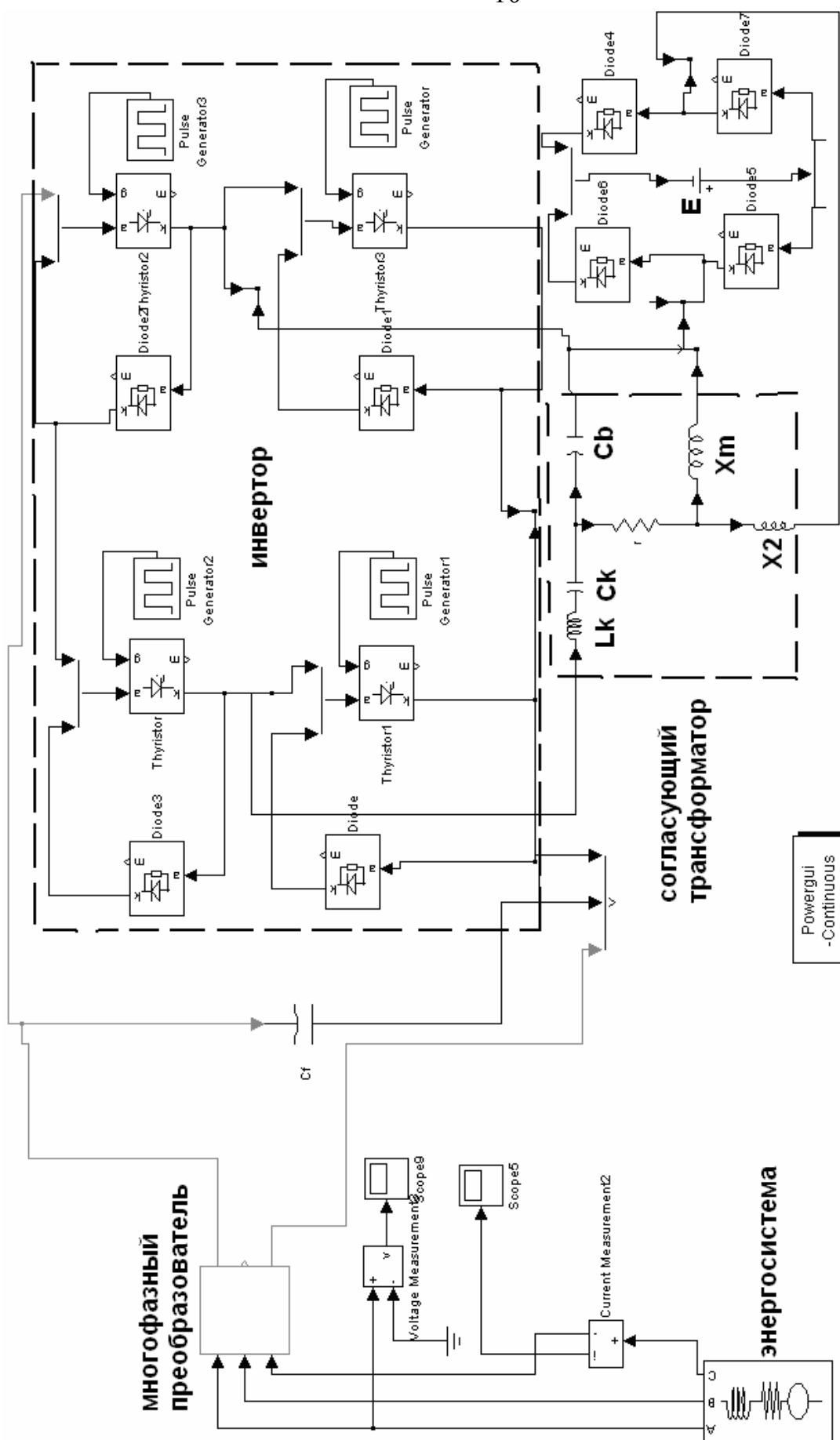
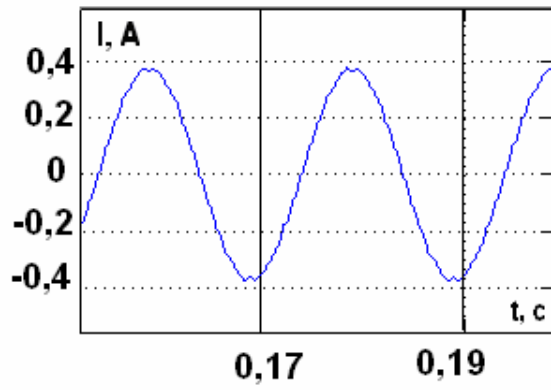
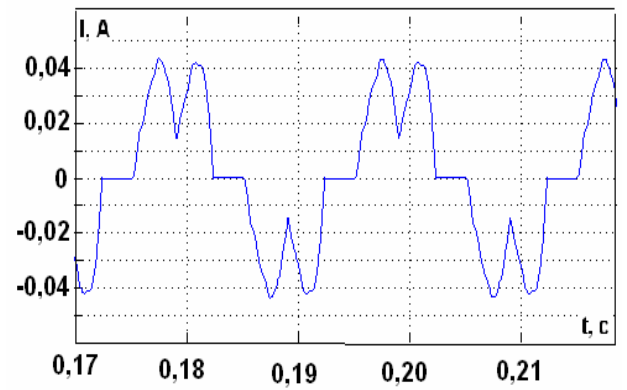


Рисунок 8 - Имитационная модель генератора озона при питании от многофазного преобразователя

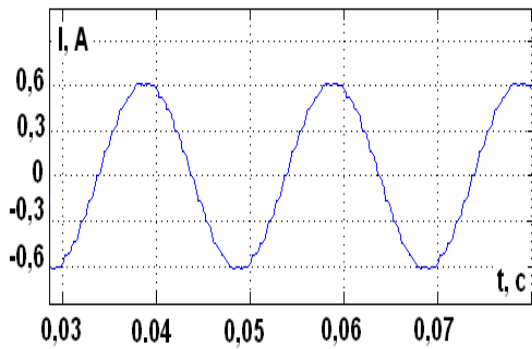


а

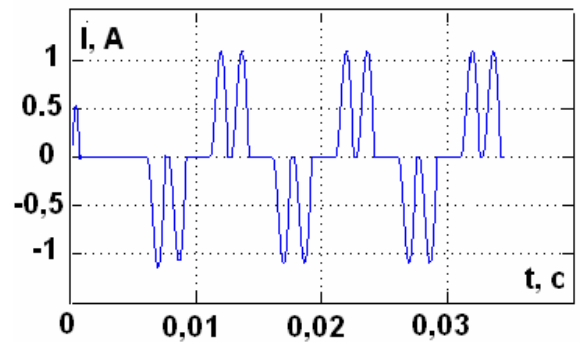


б

Рисунок 9 – Ток питающей сети генератора озона при использовании а - многофазного трансформатора, б – обычного трансформатора



а



б

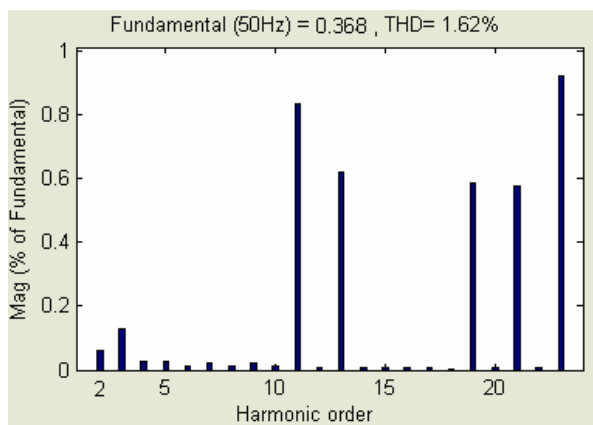
Рисунок 10 – Ток питающей сети установки индукционного нагрева при использовании а - многофазного трансформатора, б – обычного трансформатора

$$A_u = p_o \cdot f_u^{\alpha-3/2} \cdot B_m^{\beta-2} \cdot (f^*)^{-\alpha} \cdot (B_m^*)^{-\beta} \quad (5)$$

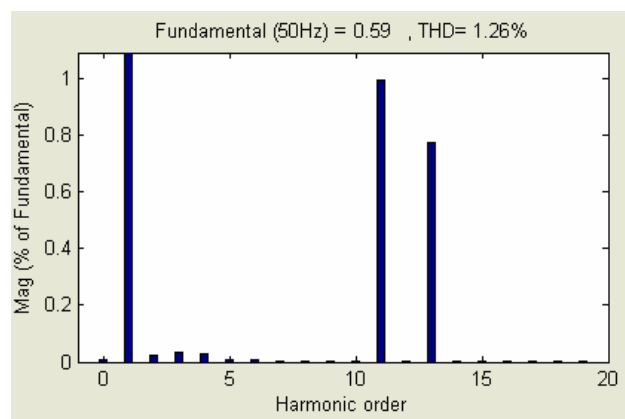
$$k_{доб1} = 1 + \frac{(m \cdot n_{1p})^2}{5} \cdot \chi^2 - \frac{(m \cdot n_{1p})^2}{60} \cdot \chi^4, \quad (6)$$

где  $m$  - число слоев обмотки,  $n$  - число проводников в радиальном направлении при замене круглого многожильного провода эквивалентным по сечению квадратным

$$\chi = d_s \cdot \sqrt{\mu_a \cdot \gamma \cdot \alpha} = d_s \cdot \sqrt{\frac{\mu_a \cdot \alpha}{\rho}} \quad (7)$$



а



б

Рисунок 11 – Диаграмма содержания высших гармонических составляющих в кривой питающего тока а – генератора озона, б - установки индукционного нагрева

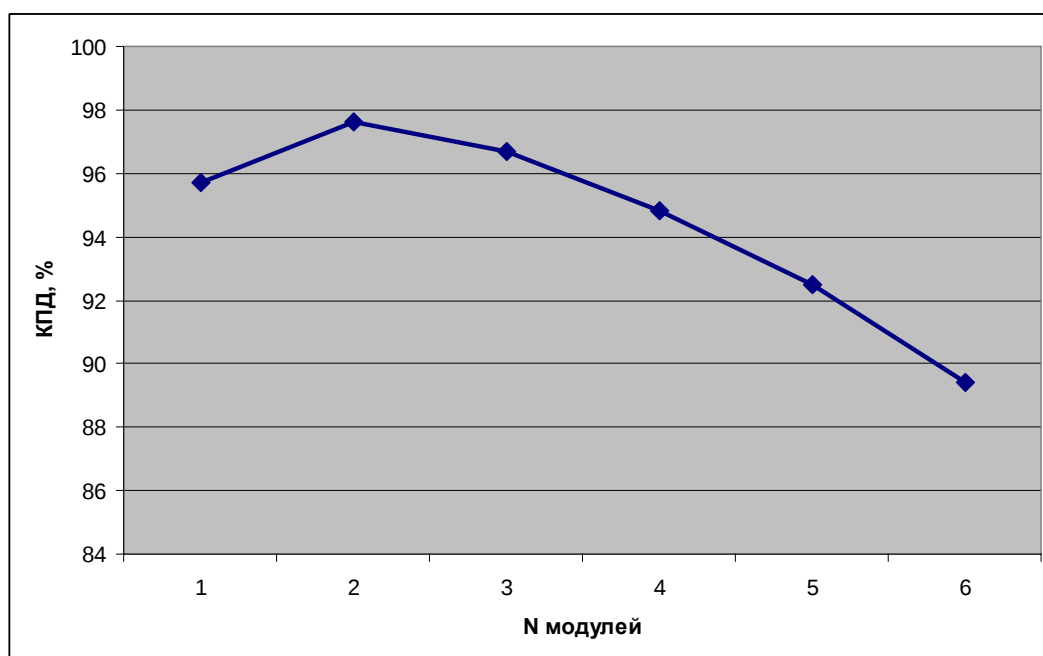


Рисунок 12 – Зависимость КПД трансформатора от количества применяемых модулей

В четвертой главе приведена математическая модель электрической сети и на основе проведенных исследований определено влияние высших гармонических составляющих на режим работы сети.

В качестве примера на рис.13 приведена зависимость потерь на участке сети 35-110 кВ Сибайских распределительных электрических сетей от высших составляющих тока (в процентах от общих потерь) от коэффициента искажения по току.

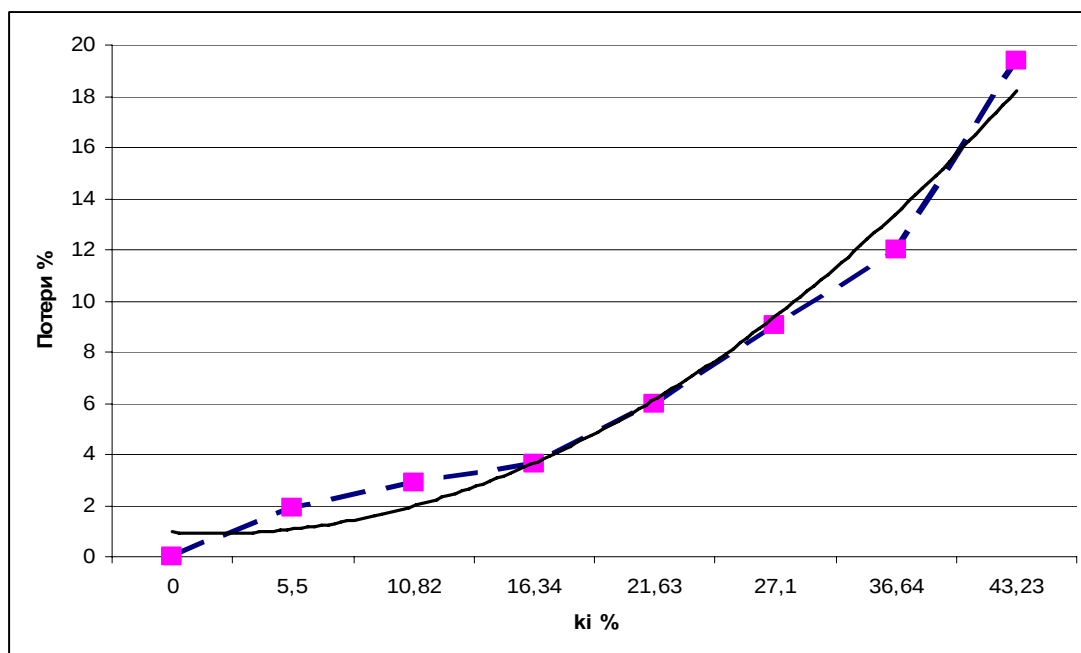


Рисунок 13 - График зависимости потерь, на участке сети 35-110 кВ СРЭС от высших составляющих тока (в процентах от общих потерь) от коэффициента искажения по току

Согласно полученным данным при коэффициенте искажения по току  $k_i = 22\%$ , потери в рассматриваемой сети 35-110 кВ составляют приблизительно 6,5 – 7 % от общих потерь.

Произведен расчет экономического ущерба от увеличения потерь, вызванных протеканием токов с частотой отличной от основной. Предложена методика расчета трансформатора многофазного преобразователя.

**В заключении** изложены основные выводы и результаты диссертационной работы.

**В приложениях** приведен расчет энергетических показателей высокочастотного согласующего трансформатора емкостного накопителя энергии; приведены отчеты ООО «Энергоучет» по замерам КЭ на Сибайском переключательном пункте.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработаны математические модели систем источник питания – полупроводниковый преобразователь – нелинейная нагрузка. В результате их исследования был установлен уровень, генерируемых ими в питающую сеть, высших гармонических составляющих тока. Например, установки индукционного нагрева и генераторы озона искажают кривую потребляемого тока, при этом коэффициенты искажения по току соответственно равны 79,33% (27,23 без сглаживающей емкости) и 38,45%. Спектральный состав тока содержит только нечетные гармоники не кратные трем. При этом доминирующими по амплитуде являются 5-я, 7-я, 11-я и 13-я гармоники.

2. Наиболее рациональным способом по уменьшению кондуктивных помех генерируемых в сеть полупроводниковыми преобразователями является увеличение эквивалентной фазности системы. Для реализации данного метода улучшения спектрального состава тока предложена схема многофазного преобразователя числа фаз, защищенная патентом на полезную модель № 91486.

3. Разработаны математические модели предлагаемого многофазного преобразователя с 12 и 24 эквивалентной фазностью и программы расчета согласования полупроводникового выпрямителя с сетью и нагрузкой №2009614599, №2009614600. Применение многофазного преобразователя в системах питания, связанных с преобразованием параметров электроэнергии, в том числе содержащих полупроводниковые комплексы, а также в электротехнологических установках с нелинейной вольт – амперной характеристикой, улучшает кривую питающего тока и напряжения. Для установки индукционного нагрева коэффициент искажения по току  $k_I$  снижается в 63 раза и составляет 1,26%, для установки генератора озона в 13,7 раза ( $k_I=1,62\%$ ). Также применение многофазного преобразователя для питания установки индукционного нагрева позволяет использовать на выходе с выпрямителя фильтровой емкости для поддержания постоянной мощности на нагрузке, при отсутствии негативного влияния на питающую сеть.

4. Установлено, что применение модульной конструкции высоковольтного высокочастотного согласующего трансформатора для зарядного устройства с количеством модулей 2 и 3 уменьшает добавочные потери и тем самым увеличивает КПД трансформатора при условии сохранения массогабаритных показателей. Предложена методика расчета специального высокочастотного трансформатора для электротехнологических комплексов с высоковольтным выходом с учетом добавочных потерь и применения модульной конструкции.

6. Разработана математическая модель Сибайского энергоузла Башкирской энергосистемы для анализа величины потерь электроэнергии в сети 35 – 110 кВ, вызванных протеканием токов высших гармоник. В результате моделирования и исследования части энергосистемы Республики Башкортостан – Сибайского энергоузла установлено, что для данного энергорайона величина добавочных потерь, вызванных протеканием тока высших гармонических составляющих, без принятия мер по их компенсации составляет до 7% от общих нагрузочных потерь.

## **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **В рецензируемом журнале из списка ВАК:**

1. Электромагнитная совместимость полупроводниковых преобразователей с сетью при питании нагрузки с нелинейной вольт-амперной характеристикой / Рогинская Л.Э., Гуляев Е.Н. // Вестник Чувашского университета. 2010. N 3. Чебоксары: Изд – во ЧГУ, С. 244-251.

## **В других изданиях:**

2. Выбор рациональных параметров взаимоиндуктивных модулей при проектировании электротехнологических установок / Гайнетдинов Т.А., Гуляев Е.Н. // Известия: Межвуз. научный сб. – Москва – Н.Новгород: Изд – во НГТУ, 2005. – С. 135–138.
3. Выбор параметров модулей при проектировании электротехнологических установок / Рогинская Л.Э., Гайнетдинов Т.А., Гуляев Е.Н. // Электротехнологические системы и комплексы: Межвуз. сб. научных трудов №11. – Магнитогорск: Изд – во МГТУ, 2005. – С. 123–130.
4. Особенности расчета высокочастотных трансформаторов для электротехнологии / Гайнетдинов Т.А., Гуляев Е.Н., Рахманова Ю.В. // Электротехнические комплексы и системы: Межвуз. научный сб. – Уфа: Изд – во УГАТУ, 2007. – С. 252–255.
5. Исследование электромагнитных процессов в емкостном накопителе энергии / Гуляев Е.Н., Рахманова Ю.В. // Электротехнические комплексы и системы: Межвуз. научный сб. – Уфа: Изд – во УГАТУ, 2007. – С. 229–232.
6. Методы анализа электромагнитных процессов электрической сети при наличии высших гармоник / Гуляев Е.Н. // Мавлютовские чтения: Всероссийская молодежная научная конференция. - Уфа: Изд – во УГАТУ, 2007. – С. 30–32.
7. Влияние высших гармоник на энергетические параметры сети ограниченной мощности / Гуляев Е.Н. // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий: сборник научных трудов Всероссийской научно – технической конференции – Уфа: Изд – во УГНТУ, 2007. – 286 с. – С. 49-51.
8. Способы уменьшения кондуктивного обратного влияния нелинейных нагрузок на питающую сеть / Гуляев Е.Н. // Электронные устройства и системы: Межвуз. научный сб. – Уфа: Изд – во УГАТУ, 2007. – С. 54–58.
9. Высшие гармоники в сетях с нелинейной нагрузкой и методы их уменьшения / Гуляев Е.Н. // III Слет молодых энергетиков Республики Башкортостан: Сборник докладов молодежной научно – технической конференции. – Уфа: Издательство «Скиф», 2008 – 624 с. – С. 26-32.
10. Полупроводниковая индукционная установка с высокочастотным транзисторным модулем / Гуляев Е.Н., Неугодинов Е.В., Рогинская Л.Э. // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий: сборник научных трудов Всероссийской научно – технической конференции – Уфа: Изд – во УГНТУ, 2008. – 286 с. – С. 3-9.
11. Программа расчета согласования полупроводникового выпрямителя с сетью и нагрузкой с помощью двадцатичетырехфазного трансформатора/ Гуляев Е.Н., Рогинская Л.Э., Рахманова Ю.В. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2009614599 от 27.08.2009.

12. Программа расчета согласования полупроводникового выпрямителя с сетью и нагрузкой с помощью двенадцатифазного трансформатора/ Гуляев Е.Н., Рогинская Л.Э., Рахманова Ю.В. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2009614600 от 27.08.2009.

13. Определение устойчивого решения при моделировании емкостного накопителя энергии с малым временем заряда. / Гуляев Е.Н., Листова Н.В. // Электронные устройства и системы: Межвуз. научный сб. – Уфа: Изд – во УГАТУ, 2010. – С. 52–56.

14. Пат. 91486 Российская Федерация, МПК Н 02 М7/08. Многофазный преобразователь / Л.Э. Рогинская, Е.Н. Гуляев, Ю.В. Рахманова; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уфимский государственный авиационный технический университет" - № 2009136848/22; заявл. 05.10.09; опубл. 10.02.10, Бюл. №4. - 9 с. : ил.

Диссертант

Е.Н. Гуляев

ГУЛЯЕВ Евгений Николаевич

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ  
С СЕТЬЮ И НАГРУЗКОЙ

Специальность:

05.09.03 - Электротехнические комплексы и системы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертация на соискателя ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать 25.11.2010. Формат 60x84 1/16.  
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.  
Усл. печ. л. 1,0. Усл. кр.-отт. 1,0. Уч.-изд. л. 0,9.  
Тираж 100 экз. Заказ № 485

ГОУ ВПО Уфимский государственный авиационный  
технический университет  
Центр оперативной полиграфии УГАТУ  
450000, Уфа-центр, ул.К.Маркса, 12