

На правах рукописи

Кузнецов Кирилл Юрьевич

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИМПУЛЬСНОГО
ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ
ОЗОНАТОРОВ

Специальность 05.09.12 - Силовая электроника

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Нижний Новгород - 2008

Работа выполнена на кафедре «Электрооборудование судов» Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева.

Научный руководитель: Доктор технических наук,
профессор Титов Владимир
Георгиевич

Официальные оппоненты: Доктор технических наук,
профессор Белов Геннадий
Александрович

Кандидат технических наук, доцент
Бурда Евгений Мордкович

Ведущая организация: ФГУП НКТБ «Вихрь», г.Уфа

Защита состоится «26» июня 2008 года в 14:00 на заседании диссертационного совета Д212.165.02 при Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева по адресу: 603950, ГСП-41, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24.

Отзывы на авторефераты, заверенные печатью организации, просим направить по адресу: 603950, ГСП-41, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24, НГТУ, ученому секретарю диссертационного совета Д212.165.02 или по факсу (831) 436-93-79

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат диссертации размещен на сайте:

http://www.nntu.ru/rus/aspir_doktor/avtoreferat

Автореферат разослан «24» мая 2008 года

Ученый секретарь

диссертационного совета _____ В.В. Соколов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время наблюдается значительный рост интереса к применению озона в различных областях. Озон применяется для очистки питьевой и сточных вод, увеличения сроков хранения продуктов, при обработке овощей и фруктов, в технологиях уничтожения паразитов и грызунов и др. Озонные технологии используются в военно-полевой хирургии, в медицине катастроф.

Разработка источников питания (ИП) озонаторов сопряжена с необходимостью расчета специализированных полупроводниковых устройств, преобразующих параметры электрической энергии, высоковольтных разделительных трансформаторов, имеющих повышенные относительные значения магнитных потоков рассеяния, а также с разработкой математических моделей разрядной камеры озонатора. Вместе с тем, в области стационарных и динамических режимов остаются недостаточно исследованными электромагнитные процессы в системе, образованной каскадным соединением первичного источника питания, трехфазного выпрямителя, электрического фильтра выпрямленного напряжения, резонансного инвертора, канала циркуляции энергии, высоковольтного трансформатора, генератора озона. Не изучено влияние структуры и параметров канала, обеспечивающего циркуляцию энергии между нелинейными емкостными элементами генератора озона и индуктивными элементами высоковольтного трансформатора и частотного фильтра выпрямителя. В области регулировочных свойств не исследованы процессы при частотном регулировании производительности озонатора.

Учитывая высокую стоимость экспериментальных исследований, электрических и осциллографических измерений, изучения свойств системы на физических моделях, актуальными являются научные исследования в области создания высокоэффективных и адекватных математических моделей электрической части генераторов озона, каскадов импульсного источника питания, имитационных математических моделей всей системы, а также разработка тактики вычислительного эксперимента.

Актуальность работ в области создания генераторов озона медицинского назначения также подтверждается действующим приоритетным национальным проектом «Современное здравоохранение», Постановлениями Правительства РФ, приказами и распоряжениями Министерств здравоохранения РФ и сельского хозяйства Нижегородской области.

Цель работы заключается в разработке и создании новых алгоритмов работы источников питания и схемотехнических решений для отдельных блоков комплекса, базирующихся на исследовании динамических и стационарных режимов работы полупроводникового преобразователя для импульсного электропитания частотно-регулируемых озонаторов, позволяющих улучшить массогабаритные и энергетические показатели источника питания генератора озона.

Для достижения цели работы решались следующие **задачи**:

1. Исследование электромагнитных процессов в полупроводниковом преобразователе, содержащем каскадно-соединенные первичный источник питания, выпрямитель, частотный фильтр, тиристорный резонансный инвертор, высоковольтный трансформатор и генератор озона в установившихся и переходных режимах при регулировании амплитуды и частоты импульсов напряжения на входе генератора озона.
2. Разработка и исследование способов стабилизации режима генератора озона, разработка математической модели датчика производительности генератора озона, программ компьютерного имитационного моделирования силовой электрической части источника питания генератора озона и комплекса, снабженного датчиком.
3. Оценка влияния характеристик канала циркуляции энергии в контуре «генератор озона – электрический фильтр» на условия перемагничивания высоковольтного трансформатора и разработка уточненной методики его расчета.
4. Реализация результатов и полученных практических рекомендаций при разработке и внедрении опытных и промышленных образцов генераторов озона различного назначения.

Методы исследования. Исследования выполнены на основе теории нелинейных электрических цепей, теории полупроводниковых преобразователей. Использован математический аппарат дифференциального и интегрального исчисления, матричных вычислений, программирования в интегрированной среде MATLAB. Экспериментальные исследования проведены на опытных образцах озонаторов в лабораторных и производственных условиях.

На защиту выносятся следующие результаты:

- математические модели генератора озона, датчика производительности генератора озона, высоковольтного трансформатора и систем озонаторов;
- программы компьютерного имитационного моделирования систем

озонаторов;

- новые схемы электрической части озонаторов с регулируемыми каналами циркуляции энергии;
- алгоритм расчета высоковольтного трансформатора озонатора.

Научная новизна заключается в следующем:

1. Выполнены исследования свойств системы при амплитудном и частотном способах регулирования производительности озонатора с импульсным источником питания, а также определено влияние структуры и параметров каналов циркуляции энергии между фильтром и емкостными элементами генератора озона.
2. Разработаны имитационные математические модели системы и программы их компьютерного анализа, адаптированные к условиям работы с постоянной составляющей магнитного потока высоковольтного трансформатора и позволяющие в явной форме задавать и варьировать величину немагнитного зазора в магнитопроводе трансформатора, с помощью которых в дальнейшем исследованы динамические и стационарные режимы работы озонатора при амплитудном и частотном регулировании.
3. Разработана математическая модель датчика электрохимического преобразования входной удельной электрической энергии в удельную производительность генератора озона, позволяющая проводить поиск критериев номинального режима работы генератора озона и проведение оптимизационных расчетов.
4. Разработаны алгоритмы и оригинальные схемы силовой электрической части озонатора с каналами циркуляции энергии, защищенные патентом РФ, позволяющие уменьшить массу вторичной обмотки и магнитопровода высоковольтного трансформатора и улучшить массогабаритные показатели.

Практическая ценность диссертационной работы заключается в следующем:

1. созданы электрические блоки силовой части и системы управления для озонаторов серии ТМ и ТС мощностью от 5 до 50 кВт;
2. разработаны программы компьютерного имитационного моделирования системы, ориентированные на использование на стадии НИиОКР при создании серии озонаторов;
3. внедрены научно обоснованные алгоритмы работы, а также методики расчета и выбора полупроводниковых приборов и

электромагнитных элементов электрической силовой части серийных озонаторов.

Реализация результатов работы. Результаты работы реализованы:

- при разработке и проектировании электрической части озонаторов серий ТМ и ТС мощностью от 5 до 50 кВт;
- в учебном процессе в виде инженерных методик расчета электрической части озонаторов с частотно-регулируемым импульсным источником питания в НГТУ и в Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии (НГСХА) г. Нижний Новгород.

Публикация и апробация работы. По теме диссертации опубликовано 17 работ, в том числе получен патент РФ на полезную модель и 2 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ.

Основные положения, результаты и выводы диссертационной работы были **доложены и обсуждены на:**

- Всероссийской научно-технической конференции Н.Новгород-Арзамас: НГТУ-АПИ НГТУ, 2004.
- на научно-технических конференциях «Актуальные проблемы электроэнергетики», НГТУ, 2004, 2005 и 2006 годах.
- В Ивановском государственном энергетическом университете в 2005 на Международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электротехнологий».
- В 2005 году на Международном конгрессе «Великие реки 2005» в Нижегородской архитектурно-строительной академии.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и списка использованных источников. Общий объем работы составляет 175 страниц, в том числе 157 страниц основного текста, включая 81 рисунок и 1 таблицу. Библиографический список содержит 105 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы. Сформулирована цель работы, определен круг исследовательских задач, их научная новизна и практическая значимость, положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены свойства озона и области его применения. На примере генератора озона трубчатого типа рассмотрен процесс работы генератора озона и физико-химические процессы, возникающие при синтезе озона. Выявлены наиболее перспективные направления техники производства озона и причины, в значительной

степени сдерживающие дальнейший рост производительности высокочастотных генераторов озона. Изучены различные конструкции генераторов озона.

Дан обзор исследований и разработок в области озонаторостроения. Подробно рассмотрена конструкция трубчатого генератора озона. В работах Пичугина Ю.П., Филиппова В.Г., Перунова А.А., и др. рассмотрены безбарьерные генераторы озона. Исследования Соломонова Ю.С., Карягина Н.В., Кулюкина В.М. и др. посвящены генераторам озона с плоскими электродами. Различные варианты генераторов озона с подвижным барьером предложены в работах Ю.П. Пичугина и М.И. Воронина, В.М. Руденка и А.М. Парамонова, а генераторы озона на поверхностном разряде – в трудах Калинина А.В., Козлова М.В. и Панюшкина В.В.

Особое внимание в главе уделено рассмотрению электрических характеристик и электрических схем замещения генераторов озона. Учитывая непосредственное влияние ИП как на энергетические характеристики технологического процесса производства озона, так и на производственные показатели весьма важным и необходимым признан вопрос разработки и анализа специализированных ИП.

Автором диссертации предложена усовершенствованная схема ИП генератора озона, в которой между выводом анодной группы диодного моста и катодной шиной инвертора схемы подключен источник постоянного напряжения E_p (рис. 1).

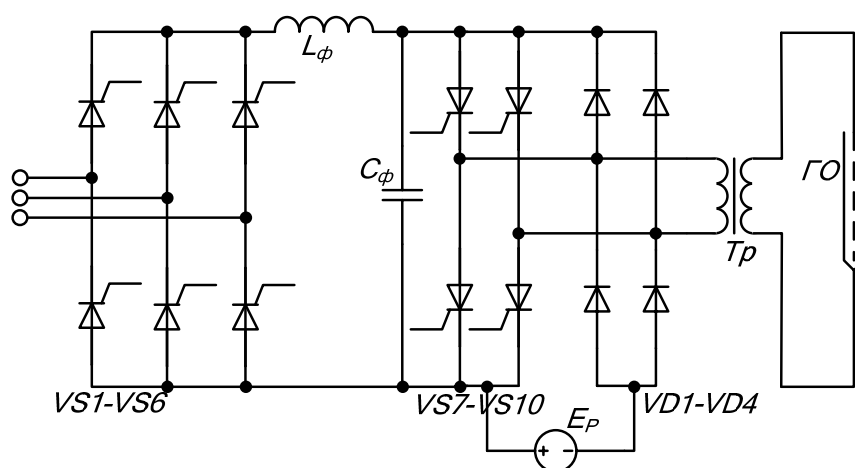


Рис. 1 Структурная электрическая схема ИП с преобразователем частоты с регулируемым возвратом энергии

По мнению автора, введение вспомогательного источника позволяет уменьшить амплитуду обратного тока, возвращаемого посредством диодного моста в конденсатор фильтра. Поскольку обратный ток является приведенным к первичной стороне высоковольтного трансформатора током генератора озона, снижается и ток разряда емкостных элементов.

Вследствие чего на входе генератора озона повышается напряжение, что вызывает, увеличение амплитуды токов перезаряда его емкостных элементов и разрядного промежутка, а также выделяемой в разрядной камере энергии. Это позволяет уменьшить массу вторичной обмотки и магнитопровода высоковольтного трансформатора, улучшить массогабаритные и энергетические показатели озонатора.

На эту схему автором диссертации получен патент на полезную модель.

Вторая глава посвящена разработке имитационных математических моделей частотно-регулируемых озонаторов на базе резонансных инверторов напряжения. Исследование режимов, расчет электромагнитных состояний и проектирование ИП озонаторов в диссертационной работе выполнено с использованием программного обеспечения MATLAB Simulink.

Используя метод структурного моделирования, общая схема «ИП – генератор озона» была представлена в виде типовых динамических звеньев и являлась математической моделью реального объекта.

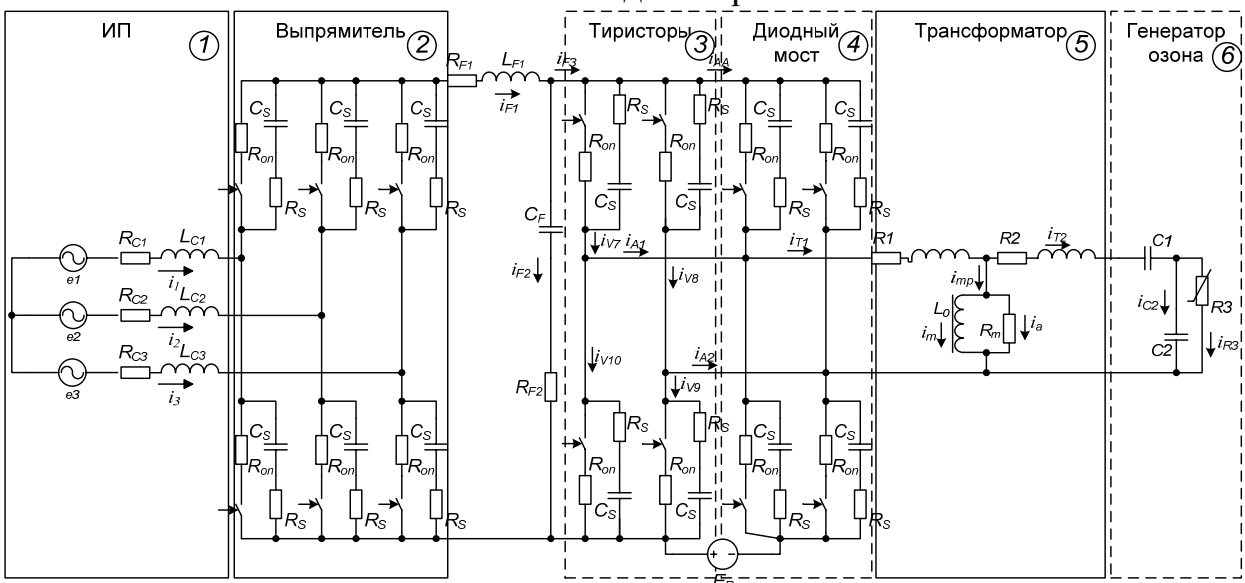


Рис. 2 Электрическая схема замещения озонатора

Полная электрическая схема замещения ИП с преобразователем частоты (ПЧ) на базе резонансного инвертора напряжения (РИН) состоит из схем замещения основных блоков: источника питания (1), тиристорного управляемого выпрямителя (2), пассивного частотного фильтра, однофазного мостового инвертора напряжения (3), диодного моста (4), к выходу которого через высоковольтный трансформатор (5) подключен генератор озона (6) и представлена на рис. 2.

На основании принятой электрической схемы замещения озонатора была разработана имитационная математическая модель электромагнитных процессов в озонаторах с полным возвратом энергии

генератора озона. Для этого уравнения, представляющие математическую модель каждого из элементов ИП, последовательно сведены в общую систему уравнений

На основании системы уравнений в среде программного обеспечения MATLAB разработана имитационная математическая модель озонатора, составленная из стандартных математических блоков (питающая сеть, трехфазный управляемый выпрямитель, фильтр, однофазный инвертор с регулируемой частотой, мост обратных диодов, трансформатор) и подсистемы «генератор озона», созданной специально для моделирования озонатора.

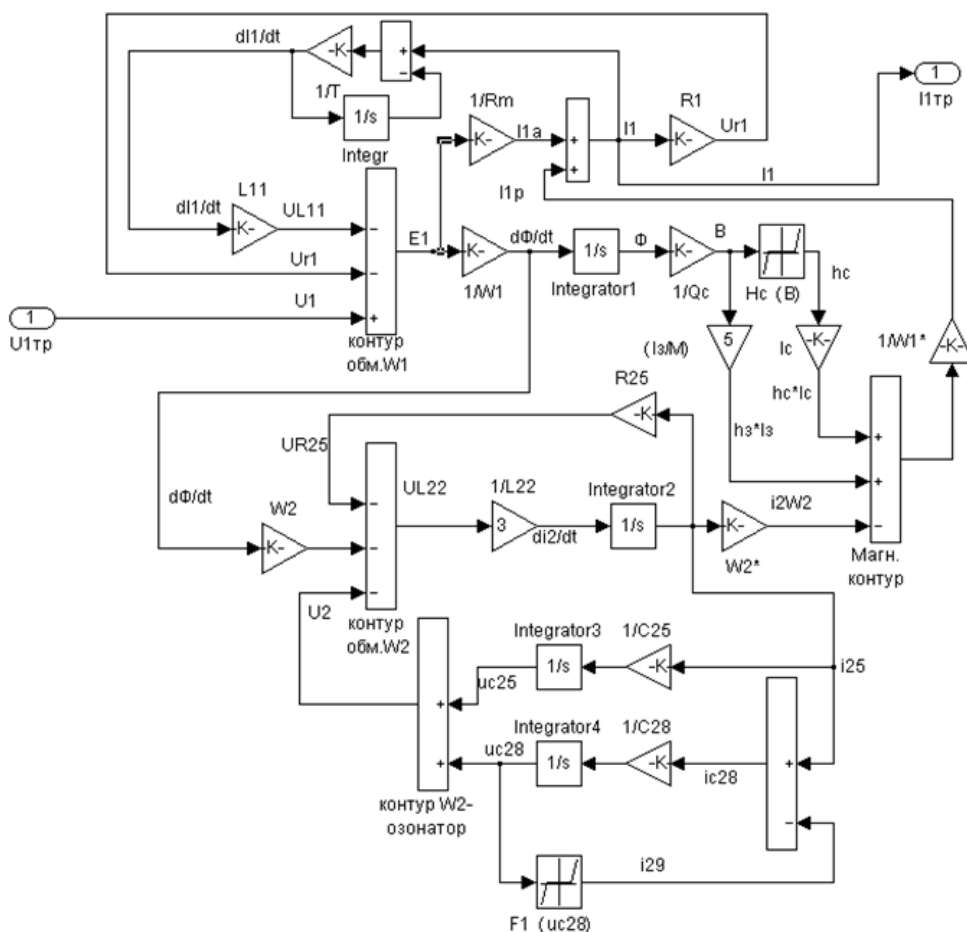


Рис. 3 Структурная схема имитационной математической модели электромагнитных процессов подсистемы «Высоковольтный трансформатор – генератор озона»

Как показали результаты имитационного моделирования, применение блока «Нелинейный трансформатор» из библиотеки SIMULINK в математической модели озонатора с импульсным электропитанием при широком диапазоне регулирования частоты инвертора приводит к недостаточной устойчивости вычислительного процесса. Этот стандартный блок не адаптирован к условиям работы с постоянной составляющей магнитного потока, что имеет место в озонаторах. Кроме того, модель не

предусматривает возможность в явной форме задавать и варьировать величину немагнитного зазора в магнитопроводе трансформатора.

При разработке системы моделирования озонаторов использовалась SIMULINK-схема трехобмоточного трансформатора для макро моделирования тиристорных переключающих устройств силовых и преобразовательных трансформаторов, применяемая для исследований, проводимых на кафедре «Теоретическая и общая электротехника» НГТУ им Р.Е. Алексеева.

Данная схема позволила провести имитационное моделирование установок, получающих питание от источников низкочастотного гармонического напряжения, а математическая модель трансформатора позволила ввести параметры кривой намагничивания. В математическую модель введены элементы, более точно учитывающие потери в магнитопроводе, и установлены звенья, позволяющие в явной форме задавать величину немагнитного зазора в сердечнике трансформатора. Математическая модель трансформатора и модель генератора озона, построенные с учетом данных элементов и звеньев, представлены на рис. 3 структурной SIMULINK-схемой.

Структурная схема имитационной математической модели озонатора, которая содержит подсистему «высоковольтный трансформатор – генератор озона», приведена на рис. 4.

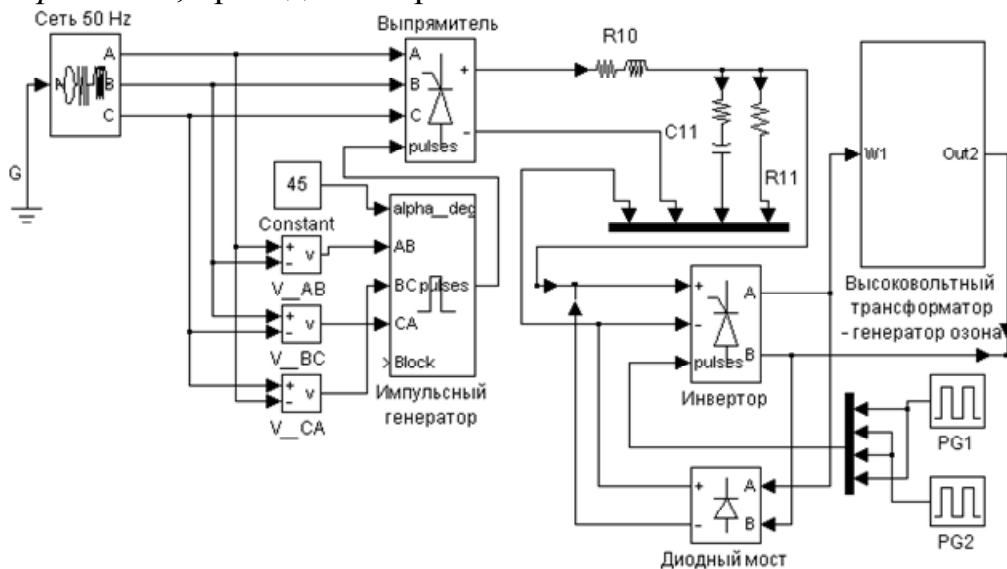


Рис. 4 Структурная схема имитационной математической модели в озонаторах с нерегулируемым возвратом энергии

На программу моделирования этой системы получено свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ №2005611472, Реестр программ для ЭВМ, 17 июня 2005 года.

Основной целью математического моделирования озонаторных установок является оптимизация режимов электрической части системы «ПЧ

– генератор озона», при этом наиболее достоверными критериями рациональной организации режима работы озонатора в целом признается одновременное достижение оптимальности электрического режима и производительности озонатора. В связи с этим возникла необходимость разработки имитационной модели, содержащей математический блок, имеющий выходной сигнал, пропорциональный производительности генератора озона.

Кинетика электросинтеза озона с учетом процесса его образования и реакции разложения описывается дифференциальным уравнением

$$dx / dt = k_0 - k_1 x, \quad (1)$$

где x – концентрация озона (объемный процент);

k_0, k_1 - константы образования и разложения озона, соответственно.

Решение уравнения (1) дает аналитическое выражение производительности озонатора:

$$x = \frac{k_0 \cdot a}{k_0 + k_{1,T1} \cdot e^{\frac{E}{R} \frac{T_2 - T_1}{T_2 \cdot T_1}}} \cdot \left[1 - \exp \left(- \frac{p}{V} \cdot \left(k_0 + k_{1,T1} \cdot e^{\frac{E}{R} \frac{T_2 - T_1}{T_2 \cdot T_1}} \right) \right) \right], \quad (2)$$

где p – активная мощность разряда, Вт;

V – объемная скорость потока газа, л/час;

a – эмпирическая константа образования озона;

T_1 – температура жидкости, охлаждающей электроды (20 °С);

T_2 – температура газа в зоне реакции;

$k_{1,T1}$ – константа разложения озона при температуре 20°С;

$E = 2100$ кал/моль – энергия активации реакции разложения озона;

$R = 1180$ – число Рейнольдса.

Структурная схема имитационной математической модели физико-химических процессов в озонаторах учтена в рис. 5, и отражает соотношение между электрической энергией, затрачиваемой в единице объема исходного газа в генераторе озона, и производительностью

Здесь блок «*Внешние воздействия*» является источником сигналов, величины которых задают коэффициенты $k_0, a, k_1, E/R, T_1, T_2$, входящие в формулу Рейнольдса, и изменяющиеся во времени в соответствии с заданными функциями.

Таким образом, имитационная модель, позволяющая исследовать электромагнитные режимы ИП и генераторов озона, а также одновременно физико-химические процессы в разрядной камере генератора озона, определяющие производительность озонатора, принимает вид рис. 5.

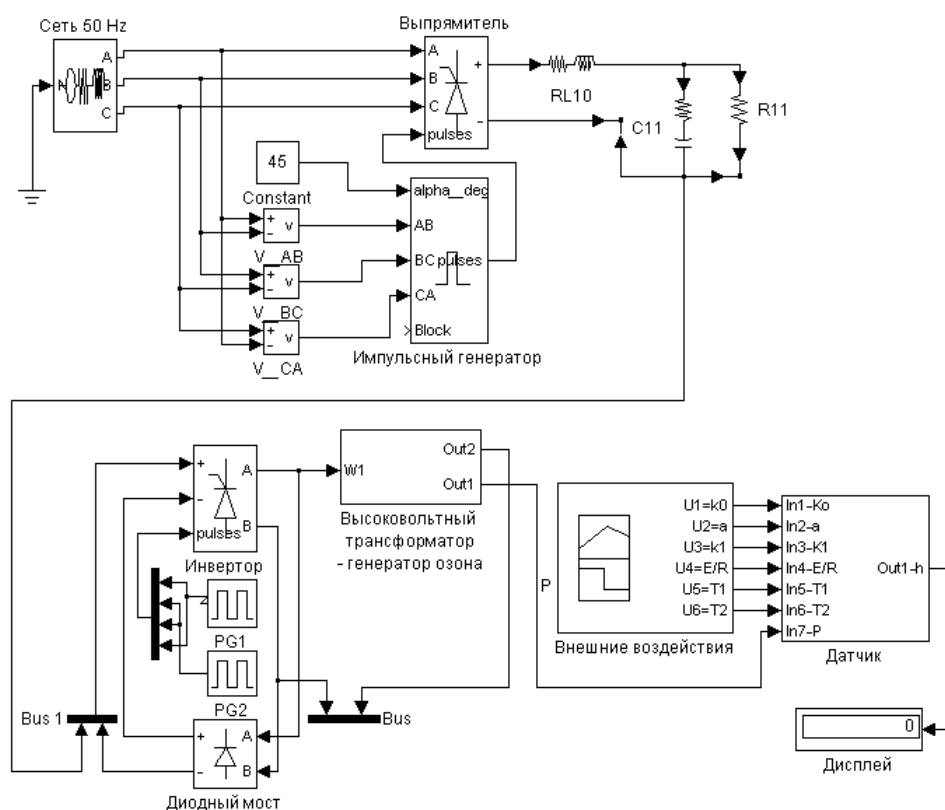


Рис. 5 Структурная схема имитационной математической модели электромагнитных и физико-химических процессов в озонаторе

Программа имитационного моделирования электротехнологической озонаторной установки с датчиком производительности зарегистрирована Федеральной службой по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам.

Третья глава посвящена исследованию переходных процессов и стационарных режимов работы озонатора, а также анализу энергетических процессов на базе разработанной имитационной математической модели.

Исследование переходных режимов работы трансформатора позволило сформулировать требования к системам управления выпрямителя в части звеньев, корректирующих степень «перерегулирования» выходного напряжения выпрямителя в процессе пуска озонатора.

При исследовании стационарных режимов трансформатора было выявлено увеличение магнитного потока трансформатора, что следует учитывать при выборе расчетных значений амплитуды магнитной индукции. Автором были исследованы также стационарные режимы работы генератора озона при амплитудном и частотном регулировании производительности.

Для оценки критериев номинального режима и проведения оптимизационных расчетов необходимо рассматривать не только электрические показатели, но также учитывать и эффективность синтеза озона в генераторе озона. Основной характеристикой процесса

преобразования электрической энергии в газ озон является удельная производительность генератора озона

С помощью имитационной модели были получены зависимости мощности, передаваемой в генератор озона (рис. 6) и удельной производительности генератора озона (рис. 7) от напряжения и частоты.

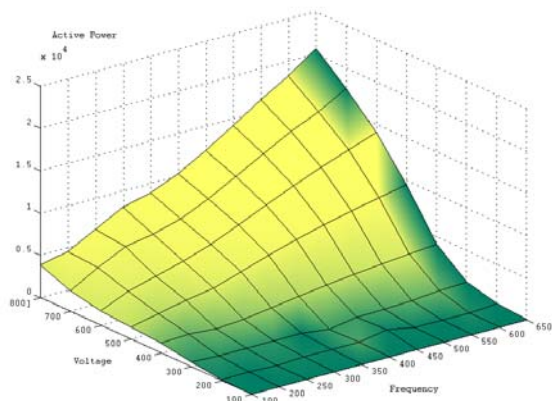


Рис. 6 Зависимость активной мощности от амплитуды напряжения и его частоты

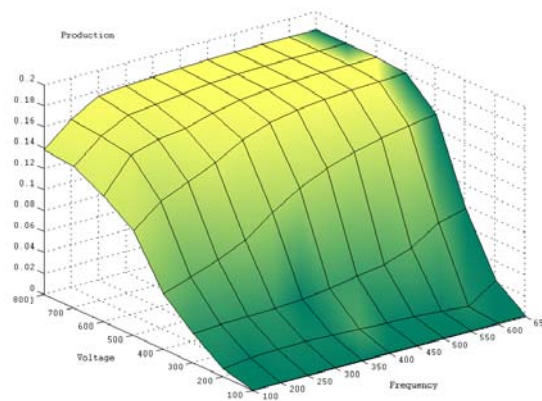


Рис. 7 Зависимость удельной производительности от амплитуды напряжения и его частоты

Анализ данных зависимостей позволил выявить номинальные значения напряжения - 500 В и частоты – 500 Гц для разработки и организации промышленного производства генераторов озона ООО НПП «ТЕХОЗОН» г.Дзержинск. Как видно из графиков дальнейшее повышение амплитуды напряжения и его частоты не приводит к значительному росту производительности озонатора при значительном росте мощности.

В четвертой главе рассмотрены вопросы практической разработки электрической части промышленных озонаторов.

Значения индуктивности и сопротивления потерь дросселя, сопротивления потерь и емкости конденсатора электрического частотного фильтра вычисляются на основании предварительной экспертной оценки, и заносятся в соответствующие блоки имитационной модели озонатора. Так в математических блоках подсистемы «*Высоковольтный трансформатор-генератор озона*» задаются числа витков первичной и вторичной обмоток, активные сопротивления провода обмоток трансформатора, индуктивности рассеяния первичной и вторичной обмоток, сечение стержня, длина средней силовой магнитной линии, приведенная длина немагнитного зазора в сердечнике, ёмкости барьерного слоя и разрядного промежутка генератора озона; основная кривая намагничивания стали магнитопровода, вольтамперная характеристика генератора озона. В результате многовариантного имитационного моделирования находятся близкие к оптимальным значениям параметры электрического частотного фильтра, индуктивности рассеяния и коэффициент трансформации высоковольтного

трансформатора, мгновенные, средние и действующие значения токов, скорости нарастания токов и напряжений тиристорov и диодов выпрямителя и инвертора, входящих в источник питания озонатора. Найденные параметры и образуют массив базы данных, необходимый для последующего выполнения тепловых расчетов и выбора комплектующих изделий: тиристорov, диодов, конденсаторов, цепочек для формирования траектории переключения тиристорov инвертора.

Одним из ключевых разделов диссертационной работы является методика расчета геометрических параметров высоковольтного трансформатора озонатора.

При нахождении соотношений между электромагнитными и геометрическими параметрами трансформатора принято допущение, что напряжение на выходе фильтра выпрямителя стабильно и уровень пульсаций весьма мал.

Основываясь на предположении, что при расчете электромагнитных параметров высоковольтного трансформатора и его геометрических показателей используются интегральные характеристики - действующие значения токов и напряжений, принимаем более простые схемы замещения инвертора, диодного моста, высоковольтного трансформатора и генератора озона – схему идеальный ключ, управляющий логический блок которого определяет одностороннюю проводимость тока в направлении от анода к катоду.

Выбор рациональной схемы замещения трансформатора производится с учетом того, что величина намагничивающего тока не превышает значений $(0,1 - 0,2) I_{2H}$, где I_{2H} – номинальный ток вторичной обмотки. Для упрощения расчета электромагнитных параметров током намагничивания пренебрегаем. Цепи протекания тока намагничивания могут быть изъяты.

Особенности высоковольтного трансформатора генератора озона – наличие нелинейной нагрузки, несинусоидальное питающее напряжение и токи, совмещение в одном устройстве идеализированного нелинейного трансформатора и линейного дросселя, индуктивность которого равна индуктивности рассеяния высоковольтного трансформатора. Индуктивность рассеяния и необходимые значения коэффициента трансформации определены в результате оптимизационных исследований установившихся режимов на имитационной математической модели озонатора.

Принятые допущения позволяют свести схему рис. 2 к схеме замещения идеализированного высоковольтного трансформатора (рис. 8), имеющего только индуктивность рассеяния L_S и идеальный высоковольтный трансформатор, для которого $u_1 \cong e_1$, $e_2 = e_1 n_{21}$, где e_1 , e_2 , n_{21} - соответственно ЭДС первичной и вторичной обмоток, коэффициент трансформации.

Составленные с учетом всех принятых выше допущений схемы замещения озонатора в различные интервалы времени принимает виды рис. 8, где а) включены тиристоры V_{S1} , V_{S3} ; б) включены диоды V_{D1} , V_{D3} ; в) включены тиристоры V_{S2} , V_{S4} ; г) включены диоды V_{D2} , V_{D4} ; д) все тиристоры и диоды выключены.

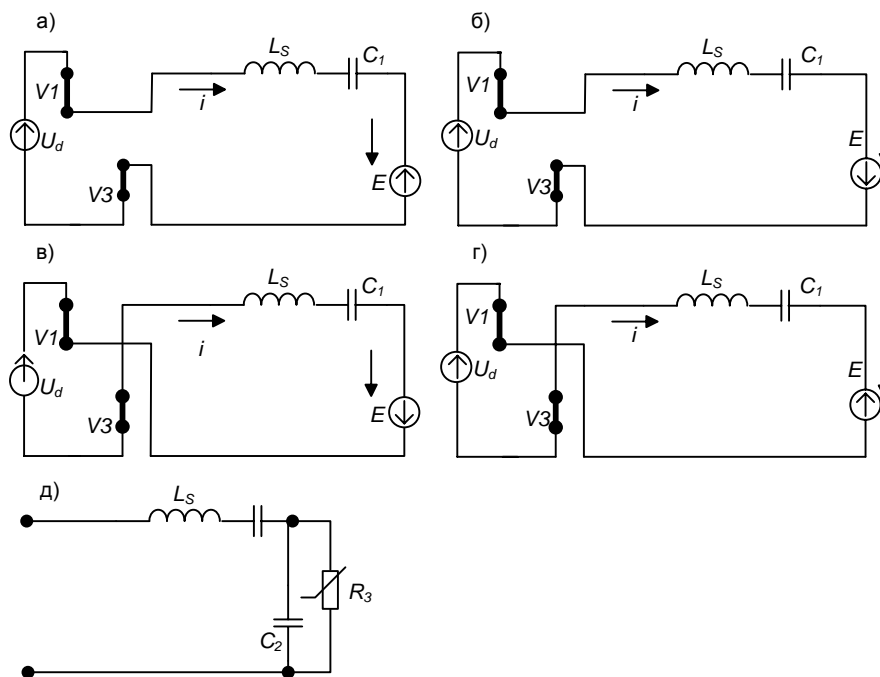


Рис. 8 Схемы замещения озонатора на различных интервалах

В приведенных далее в работе математических выкладках доказано, что для расчета и проектирования трансформатора в техническом задании на расчет трансформатора достаточно указать: производительность озонатора, связанную с активной потребляемой мощностью, питающее напряжение сети и тип выпрямителя, т.е. выпрямленное напряжение.

Полученные результаты исследований были использованы при производстве источников питания для промышленных озонаторов, выпускаемых ООО НПП «Техозон» (рис. 9 и рис. 10).

Разработанные при участии автора диссертационной работы озонаторы имеют производительность от 0,3 до 3,5 кг/час. Потребляемая мощность озонаторов находится в пределах от 5 до 50 кВт. В качестве вторичных источников питания применены преобразователи частоты с выходным напряжением 9 – 10 кВ и частотой 500 – 600 Гц.



Рис. 9 Внешний вид озонаторов ТМ-600

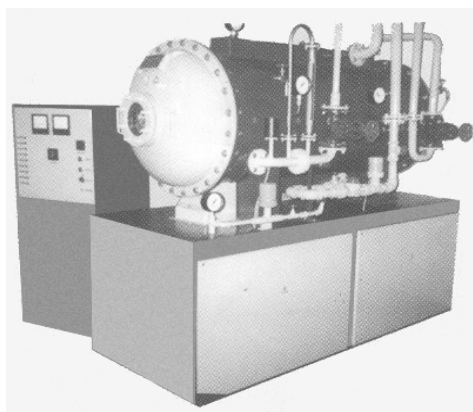


Рис. 10 Внешний вид озонаторов ТМ-600 и ТС-1,7

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации благодаря комплексным системным исследованиям решены актуальные задачи проектирования источников питания для генераторов озона. Проведенные исследования позволили получить следующие результаты:

1. Предложенная автором новая схема инвертора с усовершенствованным каналом циркуляции потоков энергии между электротехнологической установкой и накопительным элементом фильтра выпрямителя позволяет улучшить массогабаритные и энергетические показатели источников питания генераторов озона.
2. Использование математической модели датчика производительности и программы его компьютерного моделирования при оптимизации режимов электрической части озонаторов позволили достичь оптимальности электрического режима и производительности озонатора.
3. Разработанные компьютерные программы анализа и технология имитационного моделирования в среде MATLAB Simulink позволили ускорить процесс расчета электрических параметров выпрямителя, электрического частотного фильтра, преобразователя частоты и трансформатора при заданных параметрах генераторов озона, и в дальнейшем использовать их при внедрении в промышленное производство.
4. Разработана методика расчета геометрических параметров высоковольтного трансформатора озонатора с полным возвратом энергии. Осуществлена разработка макетных, опытных и реально эксплуатируемых образцов генераторов озона малой и средней производительности серий ТМ и ТС.
5. Результаты НИиОКР использованы при разработке и организации промышленного производства генераторов озона. Также в ООО НПП

«ТЕХОЗОН» г.Дзержинск передан вариант ИП генератора озона с регулируемым возвратом энергии для совершенствования выпускаемых в настоящее время серий озонаторов ТМ и ТС.

Основные публикации, отражающие содержание диссертации:

Научные работы, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Титов В.Г., Блинов И.В., Кузнецов К.Ю. Компьютерное моделирование при проектировании источников питания озонаторов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. №3-2' 2007 – с. 129-133.

2. Титов В.Г., Кузнецов К.Ю., Блинов И.В., Кузнецова М.В. источники электропитания озонаторов сельскохозяйственного назначения // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. №10. – с. 25-27.

Статьи, опубликованные в других изданиях

3. Кузнецов К.Ю., Ларионов Н.П., Блинов И.В. Источники питания промышленных озонаторов. XXII научн.-техн.конференции «Актуальные проблемы электроэнергетики» Тезисы докладов/ НГТУ, 2003 г – с. 67-69.

4. Блинов И.В., Кузнецов К.Ю., Махин Ю.И. Особенности частотного регулирования производительности озонатора. Тезисы докл. Сб. XXIII научн.-техн.конференции «Актуальные проблемы электроэнергетики», НГТУ, 2004 г.

5. Кузнецов К.Ю., Блинов И.В., Махин Ю.И. Переходные процессы в системе ПЧ-озонатор. Межвузовский сб. научн. трудов «Электрооборудование промышленных установок» НГТУ, Н. Новгород 2004г – с. 78-81.

6. Кузнецов К.Ю. Анализ переходных процессов в системе «преобразователь частоты – озонатор». Межвузовский сборник статей по материалам Всероссийской научно-техн. Конференции. – Н.Новгород-Арзамас: НГТУ-АПИ НГТУ, 2004 – с. 364-367.

7. Блинов И.В., Кузнецов К.Ю., Махин Ю.И. Частотное регулирование производительности установок для синтеза озона. Межвузовский научный сборник. «Электромеханика, электротехнические комплексы и системы». УГАТУ. Уфа, 2005 г.

8. Кириенко В.П., Кузнецов К.Ю., Махин Ю.И., Семенов В.И. Промышленные озонаторы серий ТМ и ТС с источниками питания повышенной частоты. Известия Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова. Юбилейный 15 том./под ред.Ю.В. Гуляева. – Москва - Н.Новгород: НГТУ, 2005. Т.15. – с. 93-97.

9. Кузнецов К.Ю. Режимы работы трансформатора в системе «преобразователь частоты – озонатор». Тезисы докладов Международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электротехнологий», Ивановский государственный энергетический

университет. – Иваново: ОМТ МИБИФ, 2005. т.1 – с. 64-65.

10. Пузиков Н.А., Блинов И.В., Кузнецов К.Ю., Махин Ю.И. Снижение энергозатрат озонных технологий. Тезисы докладов между. Конгресса «Великие реки 2005», том 1. Н.Новгород. -ННГАСУ, 2005. т.1 – с. 196-198.

11. Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2005611472. Система моделирования полупроводникового преобразователя частоты с нелинейной импульсной нагрузкой / Кириенко В.П., Кузнецов К.Ю., Захаров И. А. // Заяв. 26.04.2005; Зарег. 17.06.2005, Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем. ФГУ ФИПС. 2005. №3. с.167.

12. Титов В.Г., Кузнецов К.Ю., Махин Ю.И. Имитационное моделирование электрической части озонатора. Известия Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова. Юбилейный 15 том./под ред.Ю.В. Гуляева. – Москва - Н.Новгород: НГТУ, 2005. Т.15. – с. 53-60.

13. Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2005612589. Имитационная математическая модель электротехнологической установки «Генератор импульсного напряжения – электрохимический преобразователь» / Кириенко В.П., Кузнецов К.Ю., Ваняев С.В. // Заяв. 09.08.2005; Зарег. 05.10.2005, Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем. ФГУ ФИПС. 2006. №1. с.10.

14. Патент на полезную модель № 58524, С 01 В 13/11. Озонатор с импульсным источником электропитания / Кириенко В.П., Кузнецов К.Ю., Ваняев С.В. // Заяв. 20.06.2006; Опубл. 27.11.2006. - 1 с.: ил

15. Блинов И.В., Ваняев С.В., Кузнецов К.Ю. Анализ энергетических процессов в высокочастотном озонаторе. Межвузовский сб. научн. трудов Электрооборудование промышленных установок». НГТУ, Н. Новгород, 2006г.

16. Блинов И.В., Кузнецов К.Ю., Махин Ю.И. Имитационная модель системы преобразователь частоты – озонатор. Совершенствование технико-эксплуатационных процессов энергетических средств в сельском хозяйстве и на транспорте: Сборник научных трудов/ Нижегород. гос. с.-х. академия. – Н.Новгород, 2007. – с. 309-313.

17. Кузнецов К.Ю., Блинов И.В., Махин Ю.И. Озонаторные установки с источниками питания повышенной частоты. Совершенствование технико-эксплуатационных процессов энергетических средств в сельском хозяйстве и на транспорте: Сборник научных трудов/ Нижегород. гос. с.-х. академия. – Н.Новгород, 2007. – с. 314-318.

Личный вклад. В работах, написанных в соавторстве, автору принадлежат расчеты /3, 4, 5, 7, 14/, математические модели /1, 11, 12, 13, 15, 16/ и обобщенные результаты /2, 8, 10, 17/.