

На правах рукописи

ГАБИДУЛЛИНА Зульфия Газинуровна

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЯДНЫХ
ПРОЦЕССОВ В ЕМКОСТНЫХ
СИСТЕМАХ ЗАЖИГАНИЯ**

Специальность:

05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Уфа - 2009

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» на кафедре электрооборудования летательных аппаратов и наземного транспорта

Научный руководитель:

доктор технических наук
Гизатуллин Фарит Абдулганеевич
проф., зав. кафедрой
электрооборудования летательных
аппаратов и наземного транспорта
ГОУ ВПО УГАТУ

Официальные оппоненты:

доктор технических наук
Хайруллин Ирек Ханифович
профессор кафедры электромеханики
ГОУ ВПО УГАТУ

кандидат технических наук
Конесев Сергей Геннадьевич
доцент, зам. зав. кафедрой
электротехники и
электрооборудования предприятий
ГОУ ВПО УГНТУ

Ведущее предприятие:

ФГУП «Уфимское агрегатное
производственное объединение»

Защита состоится 23 декабря 2009 г. в 10.00 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 « ____ » _____ 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р. техн. наук, проф.

Г.Н. Утляков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Одной из наиболее ответственных частей комплекса электрооборудования двигателей летательных аппаратов являются электрические системы зажигания. Повышение требований к характеристикам запуска ГТД обуславливает необходимость постоянного совершенствования систем зажигания и поиска новых решений, направленных на повышение их энергетической эффективности.

В настоящее время наиболее широкое распространение получили емкостные системы зажигания (ЕСЗ) с полупроводниковыми свечами зажигания. ЕСЗ могут иметь колебательный или апериодический характер разрядных процессов. Системы зажигания апериодического разряда (системы с однополярным разрядным импульсом) широко используются на многих зарубежных ГТД. Эффективность таких систем зажигания в полной мере не исследована.

Показатели эффективности систем зажигания на стадиях исследования и разработки систем зажигания могут определяться на основе физических моделей одним из возможных экспериментальных методов определения параметров быстротекущих импульсных процессов. Однако на различных этапах жизненного цикла систем зажигания возникает задача оценки и прогнозирования энергетической эффективности без использования встраиваемых в разрядную цепь датчиков.

Вопросы повышения эффективности авиационных систем зажигания освещены во многих работах отечественных и зарубежных авторов. Среди них следует особо выделить труды А.А. Натана, В.М. Смушковича, И.М. Синдеева, В.А. Балагурова, Я.Б. Зельдовича, Н.Н. Зенгера, Г. Эльбэ, А. Лефевра, Д. Баллала, В.П. Ураева, Р.Ш. Вахитова, В.А. Прохорова, В.Н. Гладченко, Ф.А. Гизатуллина, В.Д. Опескина, А.В. Краснова, А.Н. Мурысева, О.А. Попова, Н.С. Кюрегяна, Л.И. Алимбекова, В.Н. Зайцева, В.Х. Абдрахманова, И.Х. Байбурина, К.В. Зиновьева и др. Тем не менее, необходимо отметить, что известные модели процессов в разрядных цепях систем зажигания газотурбинных двигателей основаны на упрощенных представлениях, вследствие чего нуждаются в дальнейшем совершенствовании. Помимо этого существует еще одна проблема: отсутствие компьютерных моделей емкостных систем зажигания. Их наличие позволит упростить и сделать более наглядным процесс исследований, свести к минимуму объем стендовых испытаний, существенно сократить затраты времени и материальных средств на разработку и оценку эффективности систем зажигания.

Таким образом, проведение исследований, направленных на разработку и совершенствование моделей разрядных процессов и создание достоверных

методик оценки и прогнозирования эффективности емкостных систем зажигания, в настоящее время продолжает оставаться актуальным.

В соответствии с обозначенной проблематикой сформулированы цель и задачи настоящей работы.

Цель работы: Разработка моделей для исследования и оценки эффективности емкостных систем зажигания газотурбинных двигателей.

Задачи:

1. Моделирование разрядных процессов в емкостных системах зажигания колебательного разряда с учетом нелинейных свойств полупроводниковых свечей.

2. Моделирование разрядных процессов в перспективных емкостных системах зажигания с однополярным импульсом.

3. Экспериментальное подтверждение адекватности разработанных моделей.

4. Обоснование закономерностей разрядных процессов на основе созданных моделей.

5. Разработка методик оценки энергетической эффективности емкостных систем зажигания на основе результатов моделирования и исследования.

6. Разработка новых схемотехнических решений на основе выполненных исследований.

Методы исследований. При выполнении работы для решения поставленных задач использовались методы математического анализа, методы математического и компьютерного моделирования, осциллографический метод экспериментальных исследований. Моделирование на ЭВМ производилось в программных средах Matlab 6.5, Mathematica.

На защиту выносятся:

1. Компьютерные аналитические модели разрядных процессов в емкостной системе зажигания колебательного разряда и системе зажигания с однополярным импульсом.

2. Результаты сравнительных исследований энергетической эффективности разрядных цепей систем зажигания на основе созданных моделей.

3. Методики оценки энергетической эффективности емкостных систем зажигания.

4. Новые схемотехнические решения в области совершенствования емкостных систем зажигания.

Научная новизна:

1. Разработана компьютерная аналитическая модель разрядных процессов в системах зажигания колебательного разряда, в отличие от известных более точно учитывающая нелинейные свойства полупроводниковых свечей и

позволяющая осуществлять проектирование и оценку потенциальных возможностей емкостных систем зажигания при минимальном объеме стендовых испытаний.

2. Впервые создана компьютерная аналитическая модель разрядных процессов в перспективных емкостных системах зажигания апериодического разряда, учитывающая нелинейные свойства полупроводниковых свечей.

3. Выявлены и подтверждены закономерности изменения энергетических параметров искровых разрядов в зависимости от параметров разрядных цепей емкостных систем зажигания различных типов; доказана повышенная энергетическая эффективность ЕСЗ с однополярным разрядным импульсом по сравнению с системами зажигания колебательного разряда.

Практическая значимость:

1. Применение компьютерных моделей разрядных процессов в емкостных системах зажигания позволит более точно определять параметры искровых разрядов в полупроводниковых свечах при минимальном объеме стендовых испытаний. Расхождение между теоретическими и экспериментальными данными при определении параметров не превышает 15% для ЕСЗ колебательного разряда и 20% для ЕСЗ с однополярным разрядным импульсом.

2. Использование разработанных компьютерных моделей, методик оценки энергетической эффективности позволит сократить в 1,5-2 раза затраты времени и средств на разработку, исследование и оценку эффективности проектируемых систем зажигания.

3. Новые схемотехнические решения расширяют функциональные возможности емкостных систем зажигания.

Реализация результатов работы. Результаты работы внедрены в учебный процесс в УГАТУ на кафедре электрооборудования летательных аппаратов и наземного транспорта на специальности 140609 – «Электрооборудование летательных аппаратов».

Апробация работы. Основные результаты исследований представлялись на следующих научно-технических конференциях:

1. XXXI Гагаринские чтения, Москва, 2005.
2. Наука. Технологии. Инновации, Новосибирск, 2006.
3. Актуальные проблемы в науке и технике, Уфа, 2007.
4. Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий, Уфа, 2007.
5. I Мавлютовские чтения, Уфа, 2007.
6. II Мавлютовские чтения, Уфа, 2008.

Публикации по теме диссертации. Результаты диссертационной работы отражены в 14 публикациях: в 12 научных статьях и материалах конференций,

из которых 1 статья опубликована в издании, рекомендованном ВАК Рособнадзора, имеются 2 патента РФ на полезные модели.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения. Основная часть содержит 128 страниц, 44 рисунка и 5 таблиц. Список литературы включает 93 наименования и занимает 11 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность разработки моделей разрядных процессов в ЕСЗ колебательного и апериодического разряда, сформулированы цели и задачи исследования.

В первой главе рассмотрены подходы, используемые при моделировании ЕСЗ. Проведен анализ видов моделирования и основных качественных закономерностей разрядных процессов в системах зажигания, которым должны соответствовать результаты моделирования. В результате анализа выявлено, что предпочтителен учет нелинейных свойств полупроводниковых свечей на основе аппроксимации их вольтамперных (ВАХ) и вольт-секундных характеристик.

Проведен анализ схем построения перспективных ЕСЗ, в том числе систем с однополярным разрядным импульсом, эффективность которых в достаточной степени не исследована.

Рассмотрены существующие математические модели разрядных процессов в системах зажигания колебательного разряда, показано, что известные модели не учитывают в полной мере нелинейные свойства полупроводниковых свечей и неприменимы для теоретического исследования зависимостей показателей эффективности искровых разрядов от параметров емкостных систем зажигания.

Проведенный анализ подтвердил актуальность проблемы и позволил сформулировать основные задачи работы.

Во второй главе разработаны модели разрядных процессов в ЕСЗ колебательного и апериодического разрядов.

Модели ЕСЗ колебательного разряда разрабатывались для одной из широко применяемых схем емкостных систем зажигания (рис. 1а). Схема замещения разрядной цепи моделируемой системы зажигания приведена на рис. 1б. При моделировании использовались следующие допущения: 1) длительность подготовительной стадии разряда в полупроводниковой свече равна нулю; 2) разрядник представляет собой идеальный ключ; 3) разрядный ток в цепи и напряжение на конденсаторе меняются по законам, справедливым для разряда конденсатора на линейную цепь $R - L$, нелинейные свойства свечи учитываются при описании закона изменения падения напряжения в свече. Справедливость этого допущения обосновывается тем, что сопротивление

пробитой свечи существенно ниже эквивалентного активного сопротивления разрядной цепи.

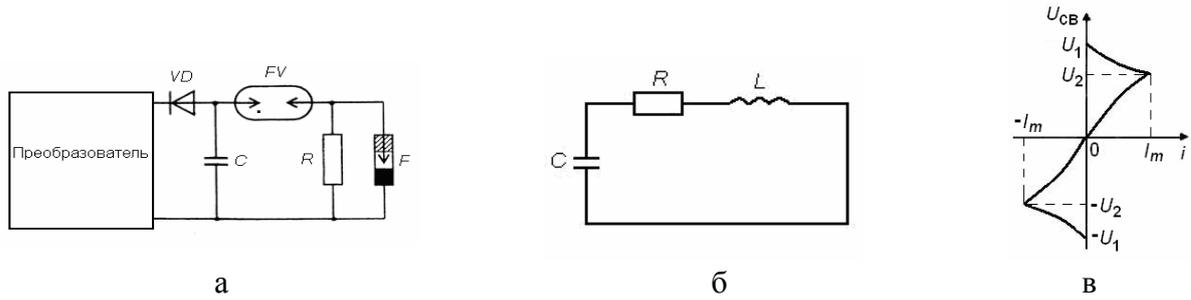


Рисунок 1 – Емкостная система зажигания колебательного разряда
 а - принципиальная схема ЕСЗ, б - схема замещения разрядной цепи ЕСЗ,
 в - ВАХ полупроводниковой свечи

Первая модель разрабатывалась на основе аналитического описания ВАХ полупроводниковых свечей зажигания (рис. 1в).

Очевидно, что использование динамической ВАХ, соответствующей периоду изменения тока при переходе к временной зависимости падения напряжения в свече, приведет к разрывности кривой $U_{cb}(t)$ (рис. 4), т.к. процесс изменения тока во времени является затухающим, и для адекватного описания кривой $U_{cb}(t)$ в течение всего разрядного процесса необходимо оперировать семейством динамических ВАХ, что связано с серьезными осложнениями при разработке модели системы зажигания.

Для решения этого вопроса предложен следующий подход. Вместо семейства динамических ВАХ при разработке аналитической модели используются усредненные прямая и обратная ветви ВАХ, причем для избежания разрывности кривой $U_{cb}(t)$ в течение каждого полупериода изменения тока прямая ветвь ВАХ аппроксимируется убывающей линейной функцией, а обратная ветвь – квадратичной зависимостью.

На основании изложенного для прямой и обратной ветвей динамической ВАХ запишем:

$$\begin{aligned} i > 0, \frac{di}{dt} > 0 \quad U_{cb} = U_1 - ki, & \quad i > 0, \frac{di}{dt} < 0 \quad U_{cb} = -(i + I_m)^2 a + U_2, \\ i < 0, \frac{di}{dt} < 0 \quad U_{cb} = -U_1 - ki, & \quad i < 0, \frac{di}{dt} > 0 \quad U_{cb} = (i - I_m)^2 a - U_2, \end{aligned} \quad (1)$$

где U_1 – напряжение на свече в начале полупериода разрядного процесса;

U_2 – напряжение на свече в конце полупериода разрядного процесса;

I_m – амплитуда разрядного тока;

a – коэффициент, определяемый на основе экспериментальных данных;

$$k = \frac{U_1 - U_2}{I_m}.$$

Применительно к уравнениям (1) с учетом законов изменения напряжения на конденсаторе и разрядного тока при разряде конденсатора на

линейную цепь $R-L$ разработана компьютерная аналитическая модель ЕСЗ в среде *MATLAB* 6.5, приведенная на рис. 2. Характерные результаты моделирования приведены на рис. 3.

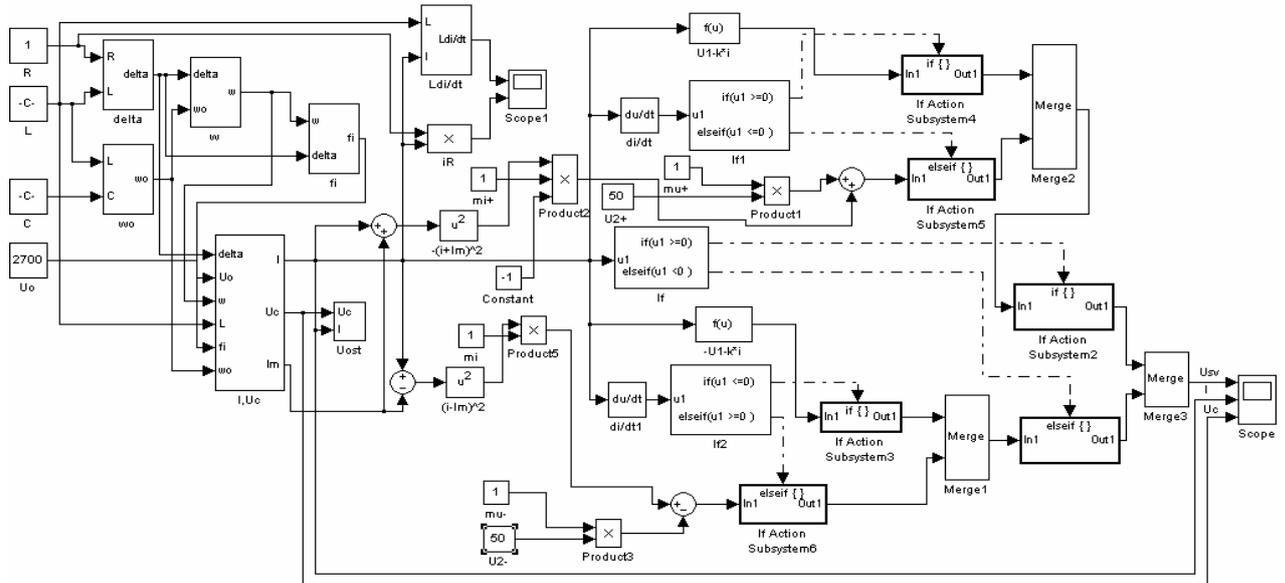


Рисунок 2 – Структурная схема модели ЕСЗ колебательного разряда на основе аналитического описания ВАХ полупроводниковых свечей

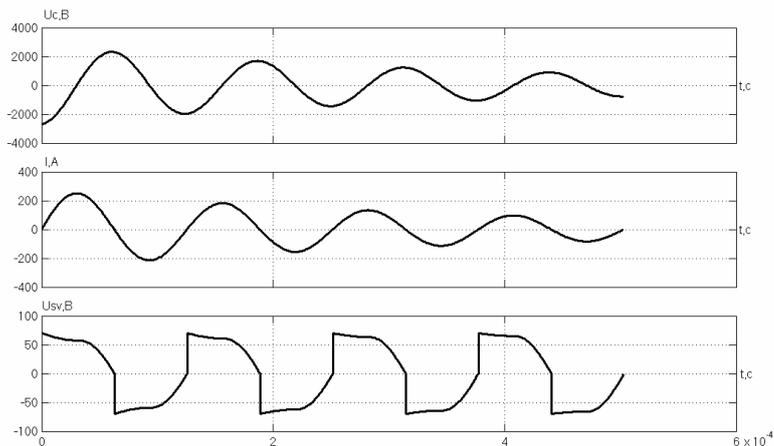


Рисунок 3 – Характерные результаты моделирования с учетом аналитического описания ВАХ полупроводниковых свечей

Учет нелинейных свойств свечи зажигания на основе аппроксимации динамических ВАХ ограничивает область использования данной модели разрядных процессов, т.к. для новых серийных свечей зажигания ВАХ не известны, и их получение сопряжено с испытаниями, не допустимыми для свечей.

Поэтому следующим этапом явилась разработка модели емкостной ЕСЗ на основе аппроксимации вольт-секундных характеристик разрядной цепи, полученных экспериментально.

Падение напряжения в полупроводниковой свече аппроксимировано выражением вида (рис. 4):

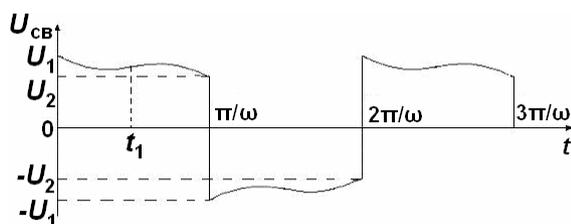


Рисунок 4 – Кривая падения напряжения в полупроводниковой свече зажигания

$$U_{cb} = \text{sign}(i(t)) [U_1 - At + (n-1)(U_1 - U_2)] - U' \sin 2\omega t. \quad (2)$$

где U' – амплитуда синусоидальной составляющей напряжения, $U' = 1 \div 5$ В.

n – число полупериодов разрядного процесса;

$$\text{sign}(i(t)) = \begin{cases} 1, & \text{если } i(t) > 0, \\ 0, & \text{если } i(t) = 0, \\ -1, & \text{если } i(t) < 0; \end{cases}$$

$$A = \frac{U_1 - U_2}{\pi/\omega}.$$

На основе уравнения (2) с учетом законов изменения напряжения на конденсаторе и разрядного тока при разряде конденсатора на линейную цепь $R-L$ в среде *MATLAB* 6.5 разработана компьютерная аналитическая модель ЕСЗ колебательного разряда (рис. 5).

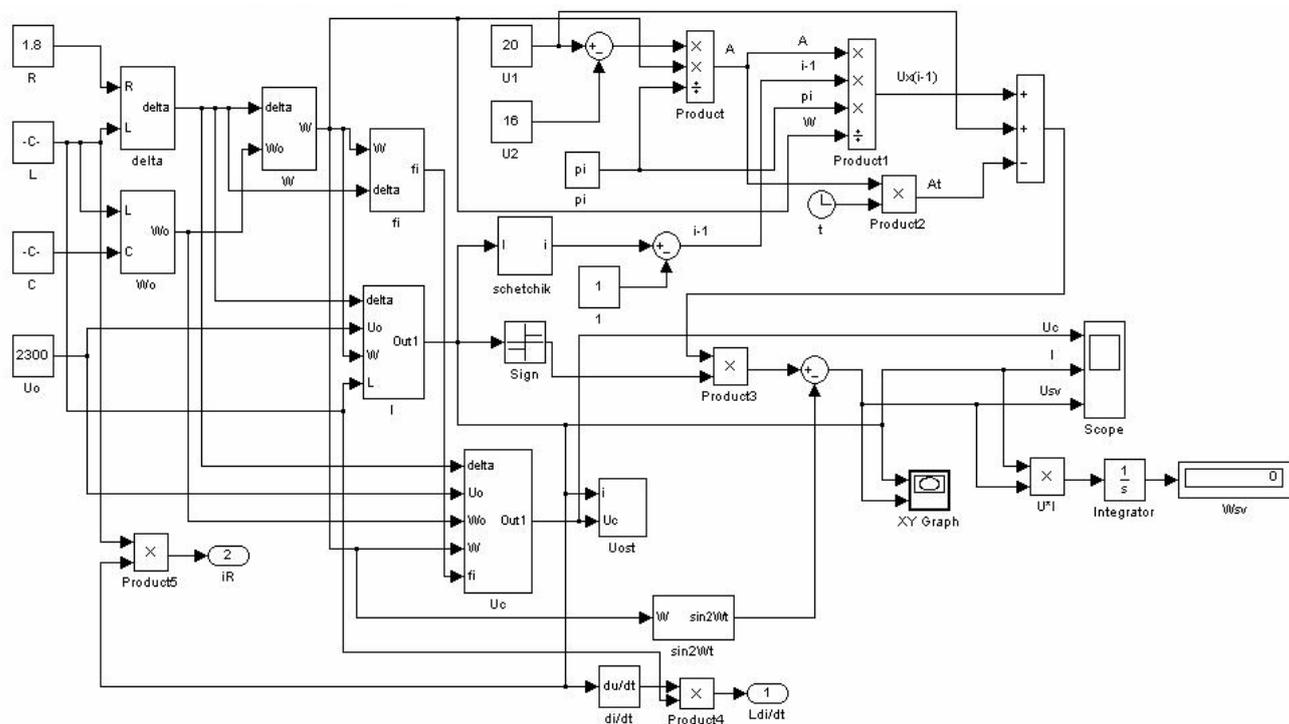


Рисунок 5 – Структурная схема модели ЕСЗ колебательного заряда на основе аналитического описания вольт-секундных характеристик полупроводниковых свечей

Во второй главе также представлена впервые разработанная модель разрядных процессов в ЕСЗ с однополярным импульсом, принципиальная схема которой приведена на рис. 6а.

Апериодический разряд состоит из двух этапов. Первый этап ($0 < t < t_1$, рис. 6б) характеризует процесс разряда накопительного конденсатора на цепь, состоящую из разрядника, свечи и катушки индуктивности, в течение второго этапа ($t_1 < t < t_2$, рис. 6в) разрядный ток замыкается в цепи, состоящей из катушки индуктивности, вентиля и свечи. Законы изменения разрядного тока и падения напряжения в свече для первого и второго этапов соответственно описаны аналитическими выражениями:

$$i(t) = -\frac{U_{\text{н}}}{\omega L} \cdot e^{-\delta t} \cdot \sin(\omega t), \quad U_{\text{св}} = U_1 - At - U' \sin 2\omega t, \quad 0 < t < t_1; \quad (3)$$

$$i(t) = -\frac{U_{\text{н}}}{\omega L} \cdot e^{-\delta t_1} \cdot \sin(\omega t_1) \cdot e^{-\alpha(t-t_1)}, \quad U_{\text{св}} = \frac{U_1 + U_2}{2}, \quad t_1 < t < t_2 \quad (4)$$

где $\delta = \frac{R_1}{2L}$, $\alpha = \frac{R_2}{L}$, R_1 – эквивалентное активное сопротивление разрядной цепи для схемы замещения первого этапа разряда; R_2 – эквивалентное активное сопротивление разрядной цепи для схемы замещения второго этапа разряда.

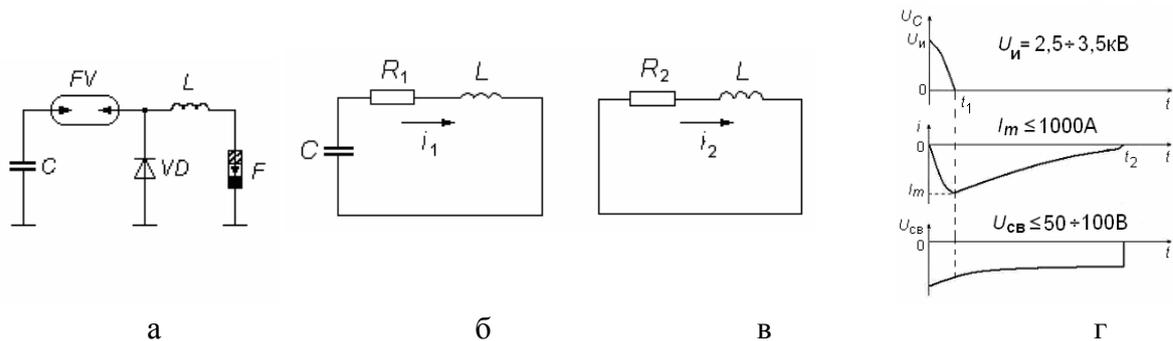


Рисунок 6 – Емкостная система зажигания аperiodического разряда
 а - принципиальная схема ЕСЗ, б и в - схемы замещения разрядной цепи ЕСЗ для первого и второго этапов разрядного процесса соответственно,
 г - осциллограммы разрядных процессов в ЕСЗ

Применительно к системе уравнений (3)-(4) разработана компьютерная аналитическая модель (рис. 7).

Для подтверждения адекватности разработанных моделей проведены экспериментальные исследования процессов, происходящих в разрядных контурах ЕСЗ. Электрическая схема макета системы зажигания приведена на рис. 8.

Характерные результаты моделирования ЕСЗ колебательного и аperiodического разрядов и их сравнение с экспериментальными данными приведены на рис. 9 и 10. Расхождение не превышает при колебательном разряде 15%, при аperiodическом разряде – 20%.

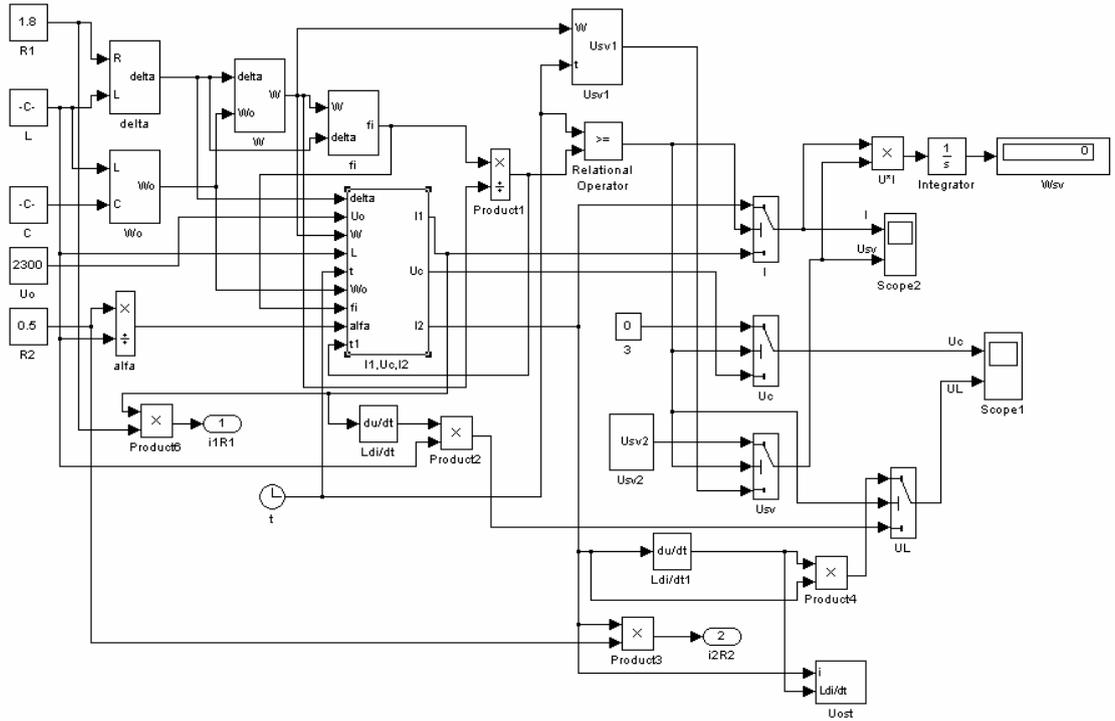


Рисунок 7 – Структурная схема модели ЕСЗ с однополярным разрядным импульсом

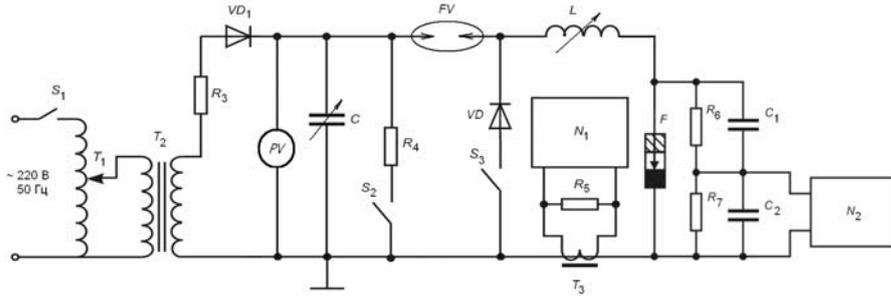


Рисунок 8 – Электрическая схема макета системы зажигания

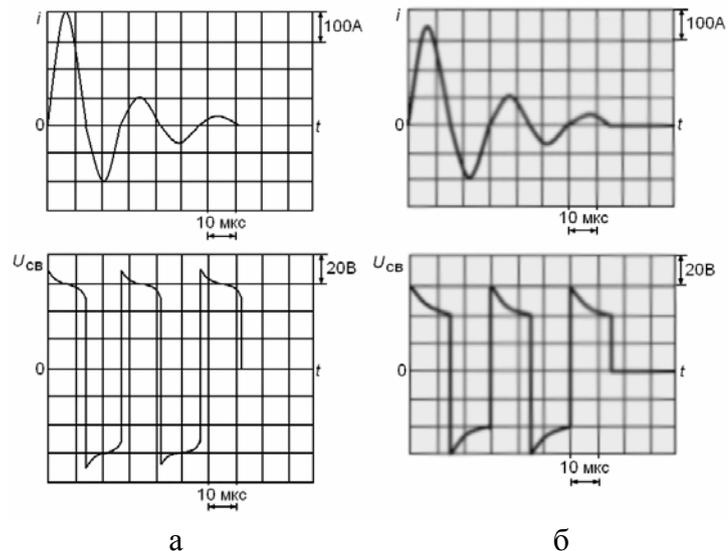


Рисунок 9 - Характерные результаты исследования ЕСЗ колебательного разряда ($C = 2 \text{ мкФ}$, $L = 20 \text{ мкГн}$)

а – теоретические кривые, *б* – экспериментальные осциллограммы

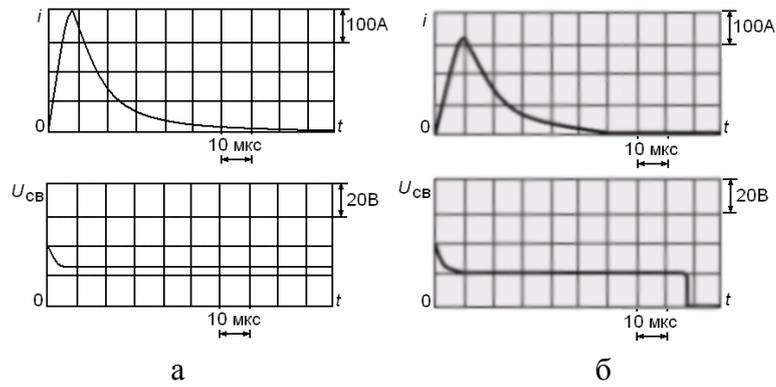


Рисунок 10 – Характерные результаты исследования ЕСЗ с однополярным разрядным импульсом ($C = 1$ мкФ, $L = 5$ мкГн)

a – теоретические кривые, *б* – экспериментальные осциллограммы

В третьей главе приведены результаты исследования разрядных процессов в ЕСЗ на основе созданных моделей разрядных процессов в ЕСЗ колебательного и апериодического разрядов.

Для оценки энергетической эффективности систем зажигания на основе законов изменения разрядного тока и падения напряжения в свече были получены выражения для определения энергии разрядов в полупроводниковой свече зажигания. Расчет энергии искрового разряда основывается на известном соотношении:

$$W_{св} = \int_0^{t_{и}} U_{св}(i) \cdot i(t) dt, \quad (5)$$

где $t_{и}$ – длительность искровой стадии разряда.

С учетом (2)-(4) и на основании упрощений окончательные выражения для расчета энергии искровых разрядов имеют вид:

1) для системы зажигания колебательного разряда

$$W_{св} = \frac{U_{ост}}{2\omega L(\delta^2 + \omega^2)} \left[\omega \left(1 - \frac{U_{ост}\omega}{U_{и}\omega_0} \right) (D_1 - D_2 + D_3) + D_4 \right], \quad (6)$$

где $U_{и}$ – начальное напряжение на накопительном конденсаторе в момент пробоя разрядника;

$U_{ост}$ – остаточное напряжение на накопительном конденсаторе после погасания разряда;

$$D_1 = \frac{4\omega\delta(U_1 - U_2)}{\pi(\delta^2 + \omega^2)}, \quad D_2 = \frac{8\delta\omega k}{\delta^2 + 9\omega^2}, \quad D_3 = 2 \left(\frac{\omega}{\pi} \cdot \frac{1}{\delta} \cdot \ln \frac{U_{и}\omega_0}{U_{ост}\omega} \omega (U_1 - U_2) + U_2 \right),$$

$$D_4 = 2\omega(U_1 - U_2) \frac{\omega}{\pi} \cdot \frac{1}{\delta} \cdot \ln \frac{U_{и}\omega_0}{U_{ост}\omega}.$$

2) для системы зажигания апериодического разряда

$$W_{св} = \frac{U_{и} \cdot e^{-\frac{\pi\delta}{2\omega}}}{2} \cdot \left(\frac{\pi}{\omega} (e^{H_1} - 1) - \frac{1}{\pi(\delta^2 + \omega^2)} \left(\frac{4U' \pi \omega H_2}{\delta^2 + 9\omega^2} + \frac{H_3 - H_4}{\delta^2 + \omega^2} \right) \right), \quad (7)$$

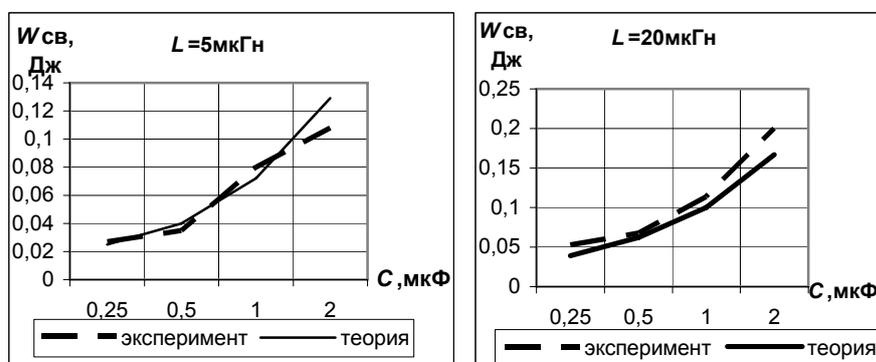
где U_{Lmin} – минимальное напряжение на индуктивности;

$$H_1 = \alpha \left(1 - 2 \frac{\omega}{\pi} \left(1 - \frac{\delta}{\alpha} \right) t_1 \cdot \ln \left(\frac{U_n \alpha}{U_{Lmin} \omega} \right) \right), \quad H_2 = \delta^2 + 2e^{\frac{\pi\delta}{2\omega}} \delta \omega + 3\omega^2,$$

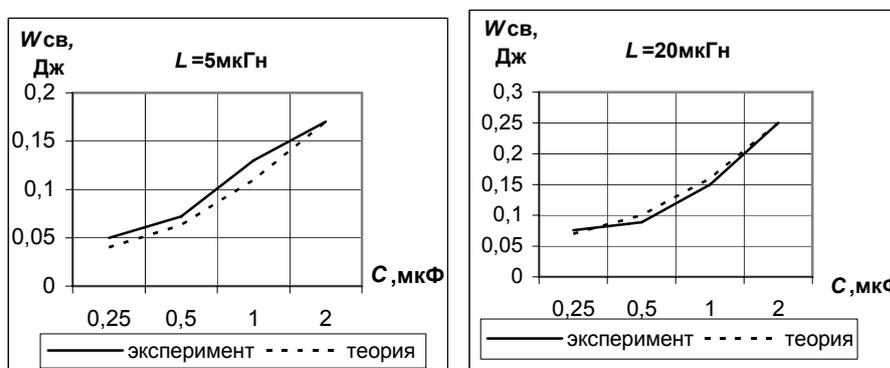
$$H_3 = U_1 \left((-2\delta\omega + \pi(\delta^2 + \omega^2)) \left(2e^{\frac{\pi\delta}{2\omega}} \omega - \delta \right) - 2\omega^3 \right),$$

$$H_4 = U_2 \left(\pi\delta(\delta^2 + \omega^2) - 2\omega \left(-\delta^2 + 2e^{\frac{\pi\delta}{2\omega}} \delta \omega + \omega^2 \right) \right).$$

Результаты расчетов энергии разрядов по выражениям (6) и (7) были сравнены со значениями энергии, полученными на основе экспериментальных исследований, с использованием метода графического перемножения мгновенных значений i и $U_{св}$ с последующим графическим интегрированием. Результаты сравнения приведены на рис. 11.



а

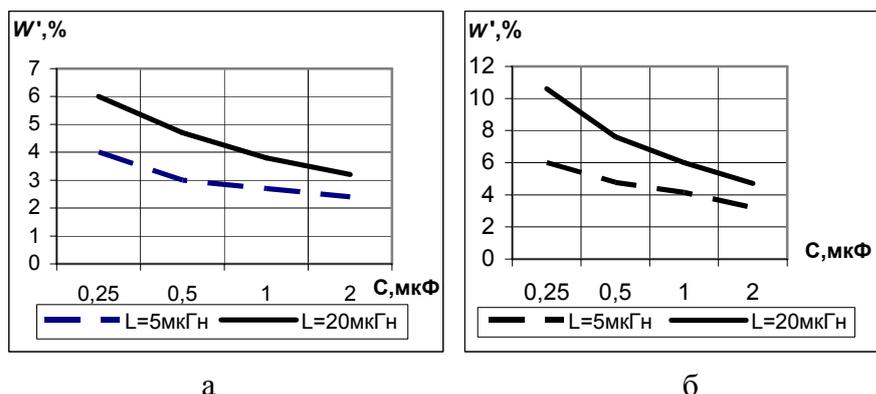


б

Рисунок 11 – Зависимости $W_{св} = (L, C)$

а – колебательный разряд, б – аperiodический разряд

Для установления соответствия моделей известным реальным экспериментальным зависимостям были проведены исследования зависимостей таких параметров, как коэффициент использования энергии накопительного конденсатора W' , амплитуда разрядного тока I_m , длительность искровой стадии разряда $t_{и}$, от параметров разрядной цепи системы зажигания (рис. 12, 13, 14 соответственно).

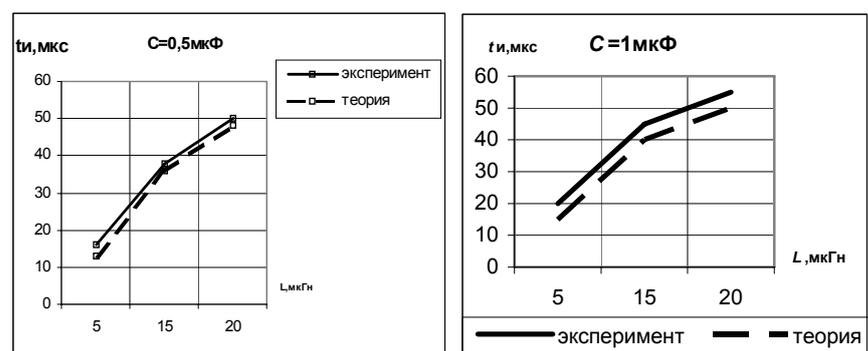


а

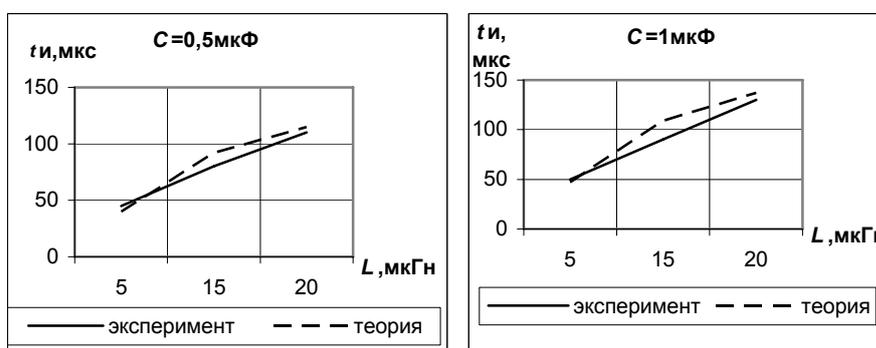
б

Рисунок 12 – Зависимости $W' = f(L, C)$

а – колебательный разряд, б – аperiodический разряд



а

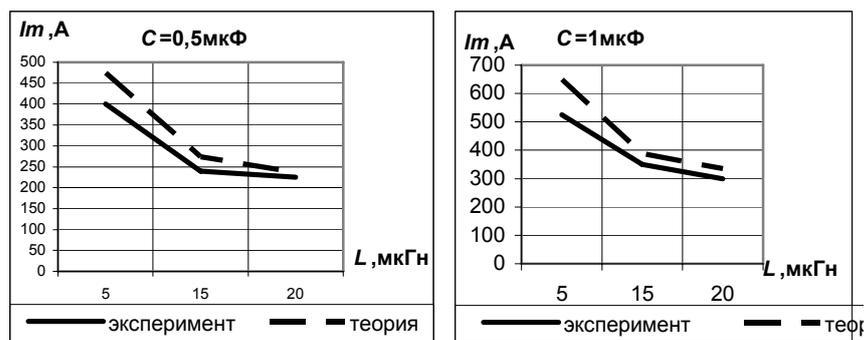


б

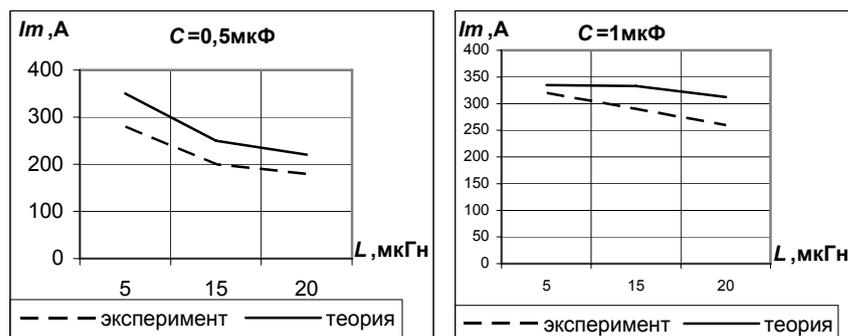
Рисунок 13 – Зависимости $t_{и} = f(L, C)$

а – колебательный разряд, б – аperiodический разряд

Итак, разработанные модели воспроизводят зависимости, которые в качественном и количественном плане близки к реальным. Таким образом, допущения при описании нелинейных свойств полупроводниковой свечи зажигания являются обоснованными. Модели реально отображают процессы в разрядной цепи и могут быть рекомендованы к использованию для предварительной оценки, прогнозирования энергетической эффективности ЕСЗ колебательного и аperiodического разрядов на стадиях их разработки и проектирования.



а



б

Рисунок 14 – Зависимости $I_m = f(L, C)$

а – колебательный разряд, б – аperiodический разряд

Полученное соответствие позволило исследовать и сравнить энергетические характеристики ЕСЗ колебательного и аperiodического разряда. Основными параметрами, по которым производилось сравнение, являются энергия разрядов в свече и интегральный показатель эффективности ЕСЗ, от которого, как известно, зависит процесс воспламенения смеси. Для одиночного искрового разряда этот показатель записывается в виде: $K = \frac{W_{\text{св}}}{I_m t_{\text{и}}}$, причем чем ниже значение K , тем выше воспламеняющая способность системы зажигания.

Сравнение результатов расчетов значений параметров $W_{\text{св}}$ и K (рис. 15) для ЕСЗ колебательного и аperiodического разрядов позволяет сделать вывод о том, что системы зажигания аperiodического разряда обладают повышенными энергетической эффективностью и воспламеняющей способностью, оцениваемой по интегральному показателю эффективности. Это теоретически подтверждает факт большей предпочтительности ЕСЗ аperiodического разряда.

По результатам исследований разработаны методики оценки показателей эффективности систем зажигания колебательного и аperiodического разрядов, позволяющие оценивать эффективность систем зажигания на различных этапах

жизненного цикла и содержащие рекомендации по выбору постоянных величин, входящих в расчетные выражения.

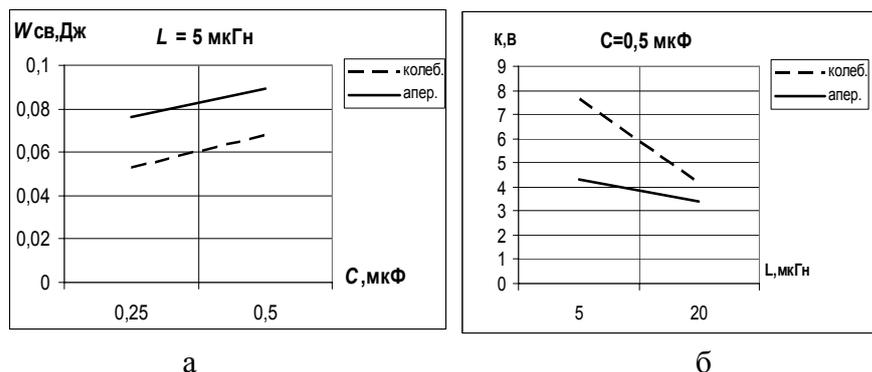


Рисунок 15 – Сравнение показателей эффективности ЕСЗ колебательного и аperiodического разрядов

a – энергия разрядов в свече $W_{св}$, $б$ – интегральный показатель эффективности K

В четвертой главе на основе проведенных исследований предложены новые схемотехнические решения систем зажигания, направленные на повышение их эффективности и расширение функциональных возможностей (Патенты РФ № 55435 и №60640).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработаны модели разрядных процессов в емкостной системе зажигания колебательного разряда на основе аналитического описания вольт-амперных и вольт-секундных характеристик полупроводниковых свечей, в отличие от известных в более полной мере учитывающие нелинейные свойства свечей. Показано, что с практической точки зрения целесообразен учет нелинейных свойств свечей на основе аналитического описания экспериментальных вольт-секундных характеристик.

2. Впервые разработана модель разрядных процессов в емкостной системе зажигания аperiodического разряда, учитывающая нелинейные свойства полупроводниковых свечей.

Адекватность моделей подтверждена результатами экспериментальных исследований энергетической эффективности систем зажигания в лабораторных условиях.

3. В результате теоретических исследований энергетической эффективности емкостных систем зажигания различных типов с использованием разработанных моделей и экспериментальных исследований на разработанном стенде установлено, что созданные модели в качественном плане и количественно отражают все основные известные закономерности разрядных процессов; в частности, подтверждено, что как при колебательном, так и при аperiodическом разрядах увеличение индуктивности разрядной цепи приводит к росту энергии искровых разрядов; коэффициент использования энергии накопительного конденсатора снижается с увеличением емкости

накопительного конденсатора. Расхождение между расчетными и экспериментальными зависимостями не превышает при колебательном разряде 15%, при апериодическом разряде – 20%.

4. На основе математического моделирования получены соотношения для определения энергии и уточненные выражения для интегрального показателя эффективности систем зажигания колебательного и апериодического разряда.

5. Теоретически и экспериментально доказано, что емкостные системы зажигания с однополярным разрядным импульсом обладают более высокими показателями энергетической эффективности по сравнению с системами зажигания колебательного разряда. Коэффициент использования накопленной энергии для диапазона емкостей накопительного конденсатора $C_n = (0,25 \div 2)$ мкФ у систем зажигания с однополярным разрядным импульсом достигает 11,5%, у систем зажигания колебательного разряда – 8%.

6. По результатам исследований разработаны методики оценки показателей эффективности систем зажигания колебательного и апериодического разрядов, предложены рекомендации по выбору постоянных величин, входящих в расчетные выражения.

7. Предложены новые схемотехнические решения емкостных систем зажигания повышенной эффективности, защищенные двумя патентами РФ.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

в рецензируемом журнале из перечня ВАК

1. Моделирование разрядных процессов в емкостной системе зажигания с однополярным импульсом / Ф.А. Гизатуллин, З.Г. Валиуллина (Габидуллина) // Вестник УГАТУ, 2009. Т.12, № 2(31), С. 126-133.

в других изданиях

2. К разработке имитационной модели процессов в разрядной цепи емкостных систем зажигания / Ф.А. Гизатуллин, З.Г. Валиуллина (Габидуллина) // XXXI Гагаринские чтения: Материалы междунар. молодежн. научн. конф. М.: «МАТИ» РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2005. т. 8. С. 95-96.

3. Имитационное моделирование процессов в емкостных системах зажигания / Ф.А. Гизатуллин, З.Г. Валиуллина (Габидуллина) // Электротехнические комплексы и системы: Межвуз. науч. сб. – Уфа: Изд. УГАТУ, 2005. С. 45-48.

4. О прогнозируемых возможностях имитационной и схемотехнической моделей применительно к емкостным системам зажигания ГТД / Ф.А. Гизатуллин, З.Г. Валиуллина (Габидуллина) // Электромеханика, электротехнические комплексы и системы: Межвуз. науч. сб. – Уфа: Изд. УГАТУ, 2006. С. 168-173.

5. Емкостная система зажигания апериодического разряда / Ф.А. Гизатуллин, З.Г. Валиуллина (Габидуллина) // Наука. Технологии. Инновации:

Материалы всероссийской научной конференции молодых ученых. - Новосибирск, 2006. ч. 3. С. 70-72.

6. Емкостная система зажигания аperiodического разряда. Патент № 55435, РФ МПК F02 P 3/06 / Ф.А. Гизатуллин, З.Г. Валиуллина (Габидуллина). Оpubл. 10.08.2006. Бюл. №22.

7. Емкостная система зажигания. Патент № 60640, РФ МПК F02 P 3/06 / Ф.А. Гизатуллин, З.Г. Валиуллина (Габидуллина). Оpubл. 27.01.2007. Бюл. №3.

8. Математическое моделирование разрядных процессов в комбинированной системе зажигания / З.Г. Валиуллина (Габидуллина) // Актуальные проблемы в науке и технике: Сборник статей 2-ой региональной зимней школы-семинара аспирантов и молодых учёных. – Уфа: Изд. «Технология», 2007. т. 2. – С. 189-190.

9. Имитационная модель емкостной системы зажигания колебательного разряда / Ф.А. Гизатуллин, З.Г. Валиуллина (Габидуллина) // Электротехнологические комплексы и системы: Межвуз. научн. сб. – Уфа: Изд. УГАТУ, 2007. С.111-114.

10. Имитационная модель разрядной цепи системы зажигания с однополярным импульсом / Ф.А. Гизатуллин, З.Г. Валиуллина (Габидуллина) // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий: сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции: в 2-х томах. - Уфа: Изд-во УГНТУ, 2007. т. 1. С.150-156.

11. Имитационное моделирование системы зажигания аperiodического разряда / З.Г. Валиуллина (Габидуллина) // Мавлютовские чтения: Материалы Всероссийской молодежной научной конференции. - Уфа, 2007. т. 2. С.15.

12. Моделирование разрядных процессов в емкостных системах зажигания колебательного разряда / Ф.А. Гизатуллин, З.Г. Валиуллина (Габидуллина) // Электромеханика, электротехнические комплексы и системы: Межвуз. науч. сб. – Уфа: Изд. УГАТУ, 2008. С. 23-27.

13. Исследование энергетической эффективности емкостных систем зажигания колебательного разряда / Ф.А. Гизатуллин, З.Г. Валиуллина (Габидуллина) // Электромеханика, электротехнические комплексы и системы: Межвуз. науч. сб. – Уфа: Изд. УГАТУ, 2008. С. 108-113.

14. Исследование энергетической эффективности системы зажигания аperiodического разряда / З.Г. Валиуллина (Габидуллина) // Мавлютовские чтения: Материалы Всероссийской молодежной научной конференции. - Уфа, 2008. т. 2. С. 30.

ГАБИДУЛЛИНА Зульфия Газинуровна

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЯДНЫХ
ПРОЦЕССОВ В ЕМКОСТНЫХ
СИСТЕМАХ ЗАЖИГАНИЯ

Специальность:

05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 19.11.2009. Формат 60 x 84 1/16

Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.

Усл. печ. л. 1,0. Усл. кр.-отт. 1,0. Уч. - изд. л. 1,0.

Тираж 100 экз. Заказ № 575.

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