

На правах рукописи

ФОКИН Роман Викторович

**ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ КОММУТАТОРЫ ТОКА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ
ДЛЯ ИНДУКТИВНЫХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ**

Специальность 05.27.02 – «Вакуумная и плазменная электроника»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань – 2006

Работа выполнена на кафедре Промышленной электроники ГОУ ВПО
«Рязанский государственный радиотехнический университет».

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Верещагин Николай Михайлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Коротченко Владимир Александрович
кандидат технических наук, доцент
Исаков Евгений Викторович

Ведущее предприятие: ОАО НИИ ГРП «Плазма», г. Рязань

Защита состоится 19 сентября 2006 г. в 11 ч. 00 мин. на заседании дис-
сертационного совета Д 212.211.03 в Рязанском государственном радиотех-
ническом университете по адресу: г. Рязань, ул. Гагарина, д.59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Рязанского государ-
ственного радиотехнического университета.

Отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просьба
направлять по адресу: 390005, Рязань, ул. Гагарина, д.59/1, Рязанский госу-
дарственный радиотехнический университет.

Автореферат разослан «___»_____2006 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета
Д 212.211.03,
д.т.н., профессор

Колотилин Б.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертационного исследования. Разработка современной аппаратуры в различных отраслях науки и техники, таких как радиолокация, связь, физика высоких энергий, лазерная техника, медицина, экология, во многих случаях нуждается в мощных высоковольтных импульсах наносекундной длительности. Постоянное ее совершенствование повышает требования к генераторам и к качеству формируемых импульсов.

В последнее время возрос интерес к генераторам на основе индуктивных накопителей энергии, которые во многом превосходят свои аналоги на основе емкостных накопителей. Однако они требуют применения надежных размыкателей тока. Наиболее подходящими для этих целей являются газоразрядные приборы, работа которых основана на самостоятельном обрыве разряда. Достоинства этих приборов – простота схемной реализации генератора, способность выдерживать высокие напряжения, возможность формирования многократно повторяющихся импульсов, малые габариты и т. п.

Однако работа газоразрядных приборов в схеме с индуктивным накопителем энергии изучена недостаточно полно.

Исторически сложилось так, что явление обрыва дуги в газоразрядных приборах считалось негативным. Все исследования, посвященные этому вопросу, были направлены на его устранение и сводились к изучению факторов, приводящих к обрыву разряда. По этой причине до сих пор отсутствует теоретическое описание физических процессов в коммутаторах на стадии выключения. Нет данных о факторах, влияющих на стабильность их работы, на их предельные режимы и временные характеристики. Конструкция газоразрядных приборов для работы в данных режимах применения не является оптимальной. Отсутствуют какие-либо рекомендации по конструированию приборов для использования в качестве коммутаторов тока с самостоятельным обрывом разряда.

Все это обуславливает необходимость проведения подобного рода исследований, которые являются очень важными и перспективными для реше-

ния проблем построения генераторов высоковольтных импульсов на основе индуктивных накопителей энергии с газоразрядными коммутаторами, так как позволят в значительной мере улучшить их характеристики, а также существенно расширить область применения. Поэтому тема диссертационной работы весьма актуальна.

Цель работы заключается в изучении физических процессов в газоразрядных приборах при обрыве разряда, в исследовании факторов, влияющих на временные и предельные параметры коммутаторов, в оценке возможностей управления моментом обрыва разряда, в выработке рекомендаций по их конструированию для работы в схемах с индуктивными накопителями энергии.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- исследовать физические процессы, протекающие в газоразрядных приборах при самостоятельном обрыве разряда в схеме с индуктивным накопителем энергии;
- исследовать влияние параметров схемы и конструкции коммутаторов на характеристики генератора высоковольтных импульсов с индуктивным накопителем энергии;
- аналитически рассчитать характеристики газоразрядных коммутаторов, включенных в схему с индуктивным накопителем энергии.

Достоверность полученных результатов подтверждается:

- использованием калиброванных стандартных измерительных приборов и стационарных источников питания;
- достаточным объемом экспериментальных данных;
- соответствием результатов экспериментов теоретическим сведениям и расчетам.

Научная новизна:

1. Теоретически и экспериментально показана возможность изменения момента обрыва разряда газоразрядного коммутатора в схеме с индуктив-

ным накопителем энергии, как внешними параметрами цепей, так и внутренними конструктивными параметрами, что дает возможность разрабатывать приборы со строго определенными характеристиками, для конкретных режимов применения.

2. Установлены факторы, определяющие время выключения газоразрядных коммутаторов при самостоятельном обрыве разряда, позволившие выработать рекомендации по улучшению временных характеристик приборов.
3. Исследованы причины, вызывающие ограничение минимального и максимального токов, размыкаемых газоразрядными коммутаторами с самостоятельным обрывом разряда.
4. Разработаны методики расчета параметров генераторов высоковольтных импульсов с индуктивными накопителями энергии и газоразрядных коммутаторов с самостоятельным обрывом разряда.

Научные положения и результаты, выносимые на защиту:

1. При самостоятельном обрыве диафрагмированного разряда интегральная плотность заряда в поперечном сечении сужения, необходимая для обрыва дуги, прямо пропорциональна давлению газа в приборе, при значениях тока обрыва в диапазоне 0,01-1 кА, сечении сужения от 7 до 200 мм² и давлениях газа от 1 до 50 Па.
2. Для уменьшения времени выключения газоразрядного коммутатора с самостоятельным обрывом разряда необходимо снижать эмиссионную способность обрывающего электрода, уменьшать расстояние между анодом и обрывающим электродом и уменьшать давление наполняющего газа.
3. Максимальный обрываемый ток газоразрядным коммутатором без повторных зажигания разряда уменьшается с увеличением давления наполняющего газа.
4. Теоретически и экспериментально доказана возможность временной импульсной модуляции путем изменения напряжения на аноде газоразряд-

ного коммутатора с самостоятельным обрывом разряда в схеме с индуктивным накопителем энергии.

Теоретическая и практическая значимость:

1. Проведен расчет временных характеристик газоразрядных коммутаторов с самостоятельным обрывом разряда.
2. Определен диапазон коммутируемых токов газоразрядными размыкателями с самостоятельным обрывом разряда и причины вызывающие его ограничение.
3. Разработан способ формирования высоковольтных импульсов с временной импульсной модуляции газоразрядным прибором с самостоятельным обрывом разряда.
4. Выработаны рекомендации по конструированию газоразрядных коммутаторов тока с самостоятельным обрывом разряда для генераторов высоковольтных импульсов с индуктивными накопителями энергии.
5. Предложена новая конструкция газоразрядного коммутатора с полным управлением разрядом, позволяющая улучшить стабильность выключения и энергетические характеристики.

Внедрение результатов работы:

Результаты диссертационной работы использованы ОАО НИИ ГРП «Плазма» (г. Рязань) в новой перспективной разработке по созданию газоразрядных прерывателей тока для индуктивных накопителей энергии, ООО «Импульсные технологии» (г. Рязань) при создании псевдоискровых коммутаторов современных конструкций.

Апробация работы. Результаты исследований, представленные в диссертационной работе, обсуждались на 37-й научно-технической конференции, посвященной 50-летию РГРТА (Рязань, 2002 г.), на VII всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Современные проблемы радиоэлектроники» (Красноярск, 2005 г.).

Публикации. Результаты диссертационной работы отражены в 8 публикациях.

Структура диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность исследования газоразрядных коммутаторов тока низкого давления в схемах с индуктивным накопителем энергии, сформулированы цели и задачи исследования.

В **первой главе** проведен обзор литературных источников по современным генераторам высоковольтных импульсов, существующим размыкателям тока, известным конструкциям газоразрядных приборов низкого давления и установившимся физическим представлениям об обрыве разряда в диафрагмированных газоразрядных промежутках.

Показаны преимущества генераторов на основе индуктивных накопителей над генераторами с емкостными накопителями энергии. Установлено, что основными из них являются возможность формирования высоковольтных импульсов непосредственно от низковольтного источника питания, значительно меньшие массогабаритные показатели. Выделены основные требования, предъявляемые к генераторам высоковольтных импульсов.

Проведено сравнение различных типов коммутаторов, показана перспективность использования газоразрядных приборов низкого давления с самостоятельным обрывом разряда для генераторов с индуктивными накопителями энергии, а также рассмотрены основные параметры коммутаторов тока.

Рассмотрены различные элементы конструкций газоразрядных приборов низкого давления и даны их характеристики.

Изложены современные физические представления об обрыве разряда в диафрагмированных газоразрядных промежутках.

Во **второй главе** приведены результаты экспериментальных исследований газоразрядных коммутаторов тока низкого давления с само-

стоятельным обрывом разряда на примере различных конструкций приборов, выпускаемых серийно (тиратронов), а также специально разработанного экспериментального прибора.

Представлены конструкции исследуемых приборов, даны их основные параметры.

Представлено описание экспериментальной установки и методики эксперимента. Схема экспериментальной установки показана на рис. 1.

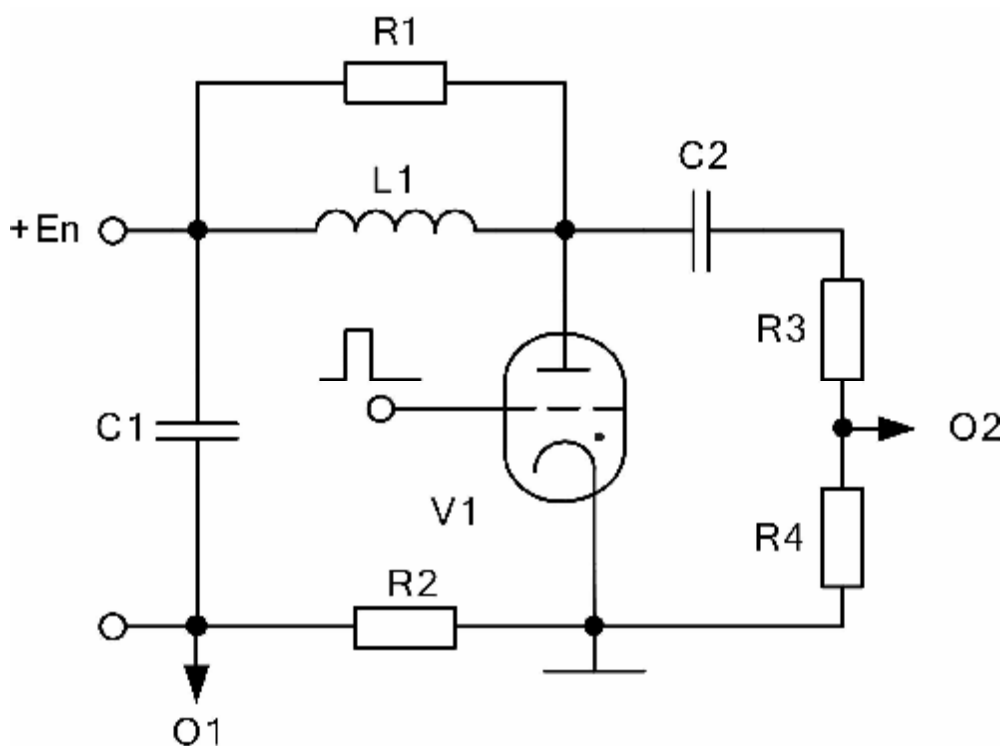


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Представлены осциллограммы тока через прибор и напряжения на нагрузке генератора высоковольтных импульсов. Они характеризуют процесс обрыва разряда и передачу энергии в нагрузку из накопителя (рис. 2, 3).

Проведено исследование возможности управления моментом обрыва разряда. Показано, что увеличение амплитуды тока, протекающего через коммутатор, приводит к уменьшению времени обрыва. Установлено, что при увеличении напряжения накала генератора водорода (давления газа) в приборе, при фиксированной амплитуде тока, необходимо больше времени для обеспечения обрыва.

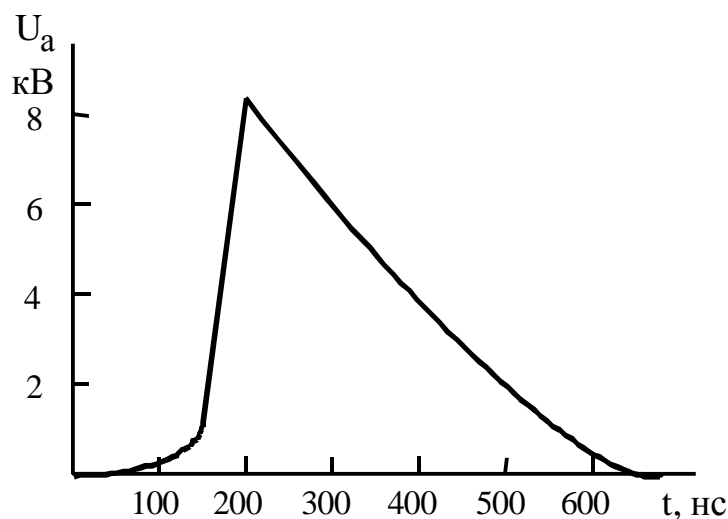


Рис. 2. Осциллограмма напряжения на нагрузке

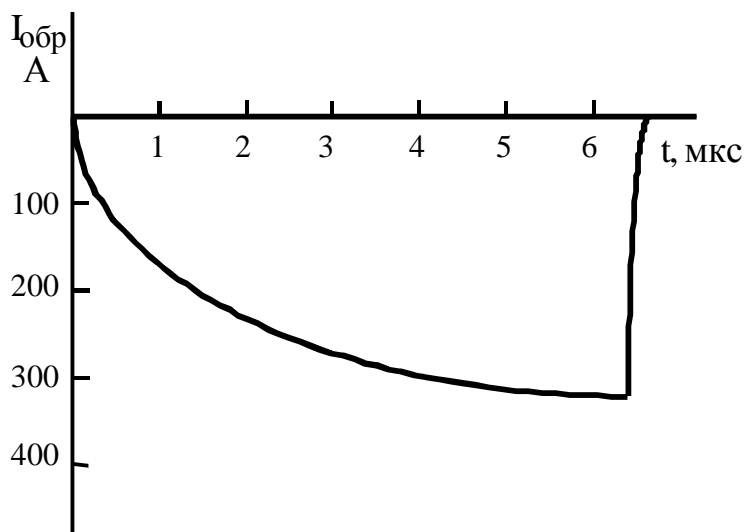


Рис. 3. Осциллограмма тока через прибор

Обнаружено, что при фиксированном давлении (напряжении накала генератора водорода) и времени обрыва, при любой площади отверстия в обрывающем электроде плотность тока, необходимая для обрыва, – величина постоянная.

Таким образом, показано, что управление моментом обрыва разряда возможно тремя основными способами: изменением давления газа в приборе; изменением амплитуды тока, протекающего через коммутатор; изменением сечения сужения разряда. Установлено, что обрыв разряда происходит в суже-

нии с меньшим сечением (с максимальной плотностью тока).

Обнаружено, что обрыв разряда определяется плотностью заряда в поперечном сечении сужения. Получены ее зависимости от давления газа в приборе (рис. 4). Установлено, что при фиксированном давлении, для любых типов приборов с водородным наполнением, плотность заряда, необходимая для обрыва, есть величина постоянная.

Проведено исследование физических процессов в коммутаторах на стадии выключения. Получены зависимости времени выключения от давления газа в

приборах (рис. 5). Установлено, что с ростом давления время выключения увеличивается.

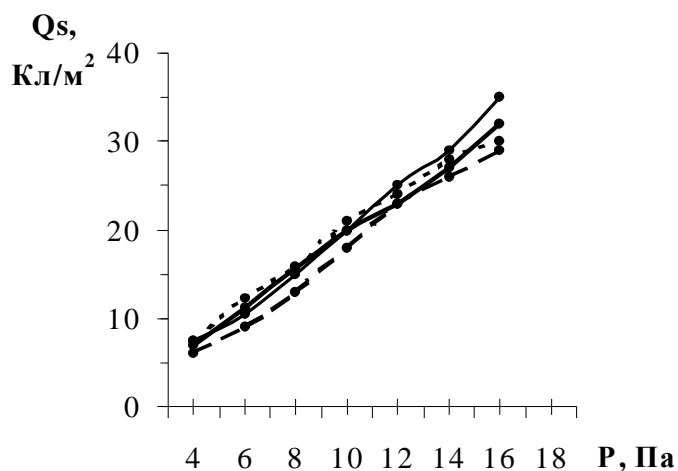


Рис. 4. Зависимость плотности заряда, необходимой для обрыва разряда от давления (толстая – ТГИ1-130/10, тонкая – ТГИ2-260/12, мелкий пунктир – ТГИ1-270/12, пунктир – ТГИ2-500/20)

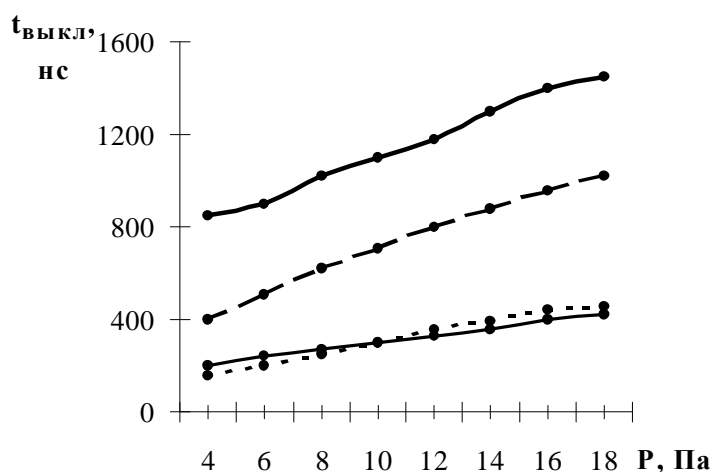


Рис. 5. Зависимость времени выключения от давления (толстая – ТГИ1-130/10, пунктир – ТГИ2-260/12, тонкая – ТГИ1-270/12, мелкий пунктир – ТГИ1-500/20)

Показано, что процесс выключения газоразрядных приборов определяется деионизацией промежутка между анодом и обрывающим электродом. В момент обрыва тока в этом промежутке существует некоторая остаточная ионизация. При этом в пространстве между анодом и обрывающим электродом возможны следующие процессы: ионно-электронная и термоэлектронная эмиссия с обрывающего электрода (последняя вызвана разогревом краев отверстия проходящим через него током), ионизация и рекомбинация (объемная и поверхностная). Рост времени выключения с ростом давления предположительно обусловлен повышением ионизации, как остаточной, так и производимой эмитирующими

электронами и соответственно большим временем рекомбинации.

Установлено, что время выключения прибора в сильной мере зависит

от расстояния между анодом и обрывающим электродом. Получена зависимость времени выключения от этого расстояния [зависимость снималась при фиксированных времени обрыва разряда и давлении газа, путем измерения времени выключения у трех приборов, имеющих различное расстояние между анодом и обрывающим электродом (рис. 6)].

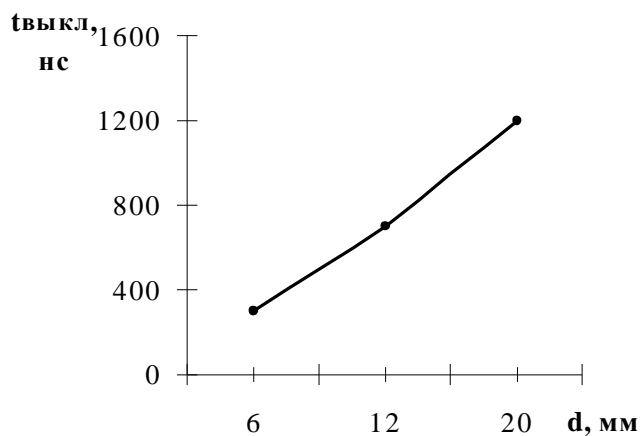


Рис. 4. Зависимость времени выключения от расстояния анод – обрывающий электрод

Проведено исследование предельных характеристик газоразрядных коммутаторов низкого давления.

Показано, что при работе в режиме с самостоятельным обрывом разряда газоразрядные приборы способны формировать импульсы с амплитудой в несколько раз выше, чем при ра-

боте в тиратронном режиме, а также дано объяснение этого явления.

Установлен диапазон обрываемых токов у тиратронов различных конструкций. Рассмотрены причины ограничения обрываемых токов по минимуму и максимуму. Получены экспериментальные зависимости минимальной и максимальной плотностей тока обрыва. Обнаружено, что изменение структуры поверхности обрывающего электрода (появление на нем микровыступов) вследствие образования на нем катодных пятен приводит к уменьшению максимального обрываемого тока.

Показано, что временная стабильность момента обрыва разряда в сильной мере зависит от стабильности питающего напряжения генератора высоковольтных импульсов и генератора водорода.

Проведено исследование специально изготовленного, экспериментального коммутатора с холодным катодом, у которого расстояние между анодом и обрывающим электродом составляет 3 мм, его время выключения составило – 50 нс. В результате получено подтверждение влияния расстояния между

этими электродами на процесс выключения коммутатора.

В третьей главе рассмотрены физические процессы, протекающие при обрыве разряда, проведены расчеты основных характеристик коммутаторов.

Дано описание физических процессов, протекающих в генераторе высоковольтных импульсов с индуктивным накопителем энергии и газоразрядным коммутатором тока с самостоятельным обрывом разряда, в течение всего периода формирования импульса.

Рассмотрен механизм обрыва разряда. Проведен расчет времени обрыва газоразрядного коммутатора. При расчете были приняты следующие упрощающие положения:

1. Из сужения атомы газа выбиваются ударами электронов.
2. Вне сужения концентрация атомов постоянна и равна N_0 .
3. Средняя длина свободного пробега электрона гораздо больше длины сужения ($\lambda_e \gg h$, молекулярный режим).
4. Разряд прекращается, когда концентрация атомов в сужении достигнет $N_{кр}$.

Получена зависимость концентрации атомов в сужении разряда с течением времени без учета влияния диффузии:

$$N = N_0 \cdot e^{-\frac{I_0 \cdot S}{e \cdot S \cdot w} \cdot (1 - \cos(\omega \cdot t))} \quad (1)$$

Также была получена аналогичная зависимость при учете влияния диффузии атомов в сужение разряда

$$N = \frac{A \cdot N_0}{e^{A \cdot t - \frac{B}{w} \cdot \cos(\omega \cdot t)}} \int e^{A \cdot t - \frac{B}{w} \cdot \cos(\omega \cdot t)} dt, \quad (2)$$

где $A = \frac{v_H \cdot S}{4 \cdot V}$, $B = \frac{I_0 \cdot h \cdot S}{e \cdot V}$.

Проведен анализ влияния диффузии на процесс обрыва разряда

(рис. 7). Установлено, что в диапазоне времени обрыва до 8 мкс диффузия практически не оказывает влияния на процесс обрыва разряда.

На основании выражения (1) получено выражение для расчета времени обрыва:

$$t_{обр} = \frac{1}{w} \cdot \arccos \left(1 + \frac{w \cdot e \cdot S}{I_0 \cdot S} \cdot \ln \frac{N_{кр}}{N_0} \right). \quad (3)$$

Сделан расчет времени обрыва разряда по величине плотности заряда, при этом была проведена линейная аппроксимация экспериментальной зависимости плотности заряда от давления.

$$t_{обр} = \frac{1}{w} \cdot \arccos \left(1 - \frac{S \cdot w}{I_0} \cdot (2.04 \cdot p - 1.17) \right). \quad (4)$$

Получено полуэмпирическое выражение для критической концентрации атомов в сужении разряда (при достижении которой происходит обрыв разряда) на основании выражений (3) и (4).

$$N_{кр} = \frac{p}{k \cdot T \cdot e^e \cdot \frac{S}{e} \cdot (2.04 \cdot p - 1.17)}. \quad (5)$$

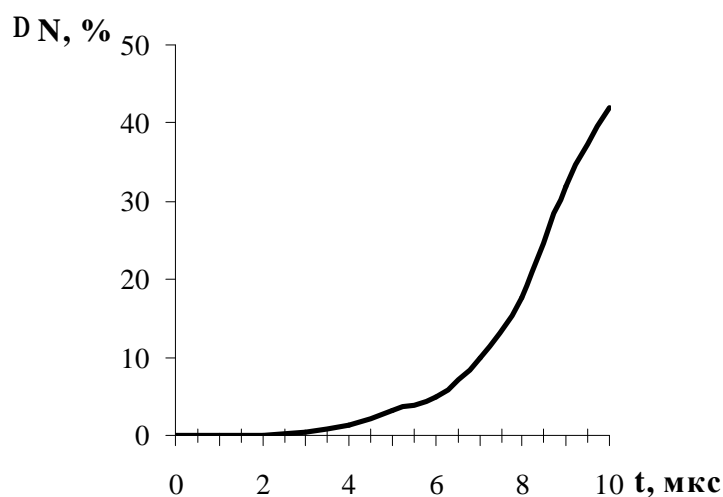


Рис. 5. Зависимость влияния диффузии на процесс обрыва от времени для ТГИ1-270/12

Получено выражение для расчета минимального обрываемого тока (6). Расчет основан на предположении о том, что минимальный обрываемый ток определяется балансом двух потоков атомов: в сужение разряда под действием разности концентраций (диффузия) и из него, за счет выталкивания газа потоком заряженных частиц.

$$I_{\min} = \frac{e \cdot v_H \cdot (N_0 - N_{KP}) \cdot S}{4 \cdot h \cdot s \cdot N_{KP}}. \quad (6)$$

Рассмотрены физические процессы, протекающие при обрыве разряда, на стадии выключения коммутатора. Дано их теоретическое описание.

Проведен расчет времени выключения газоразрядного коммутатора, при этом были приняты следующие упрощающие положения:

1. Пренебрегаем термоэлектронной эмиссией с обрывающего электрода.
2. Считаем, что рекомбинация зарядов происходит на электродах и в объеме (рекомбинацией на стенках прибора пренебрегаем, так как расстояние анод – обрывающий электрод значительно меньше размеров электродов).
3. При достижении концентрации зарядов некоторого минимального значения n_{\min} ток прекращается.

Таким образом, учитывались следующие процессы: ионно-электронная эмиссия с обрывающего электрода, ионизация, рекомбинация (объемная, поверхностная).

$$\frac{dn}{dt} = (1 + g) \cdot n_i \cdot n - b \cdot n^2 - \frac{n}{t_P}, \quad (7)$$

В результате получено выражение для времени выключения

$$t_{\text{выкл}} = \frac{1}{\frac{1}{t_P} - (1 + g) \cdot n_i} \cdot \ln \left[\frac{n_0 \cdot \left(n_i \cdot (1 + g) - \frac{1}{t_P} - b \cdot n_{\min} \right)}{n_{\min} \cdot \left(n_i \cdot (1 + g) - \frac{1}{t_P} - b \cdot n_0 \right)} \right]. \quad (8)$$

Проведена оценка влияния различных физических процессов на выключение прибора. Получено теоретическое подтверждение влияния давления газа и расстояния между анодом и обрывающим электродом на время выключения коммутатора (рис. 8).

Разработана программа на языке Delphi 7.0, позволяющая рассчитывать параметры импульса напряжения на нагрузке генератора высоковольтных

импульсов, импульса тока через коммутатор, а также моделировать физические процессы в газоразрядном коммутаторе при обрыве разряда. При создании программы использовались полученные выражения.

В четвертой главе даны рекомендации по проектированию газораз-

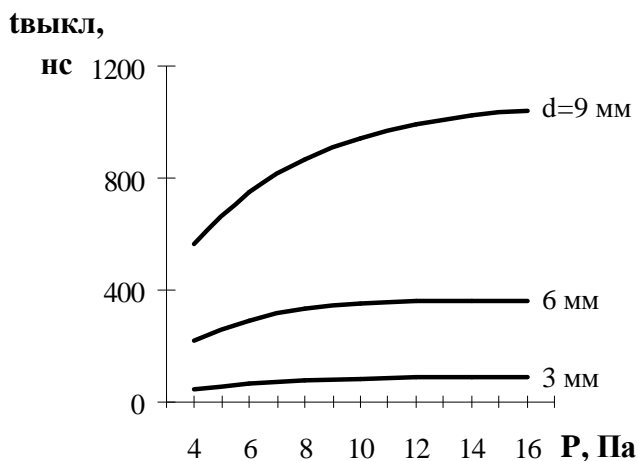


Рис. 6. Зависимость времени выключения от давления рабочего газа при различных расстояниях между анодом и обрывающим электродом

рядных коммутаторов и генераторов с индуктивным накопителем энергии, а также рассмотрено их применение.

Разработан способ формирования высоковольтных импульсов с временной импульсной модуляцией, а также устройство для его осуществления (структурная схема приведена на рис. 9). Установлено, что переменное напряжение на аноде

газоразрядного коммутатора с самостоятельным обрывом разряда, включенного в схему с индуктивным накопителем энергии, вызывает временную импульсную модуляцию на нагрузке.

Выработан ряд рекомендаций по конструированию газоразрядных коммутаторов и генераторов высоковольтных импульсов, основными из них являются:

1. Для уменьшения переднего фронта импульса на нагрузке генератора с индуктивным накопителем энергии и газоразрядным коммутатором нужно уменьшать расстояние анод – обрывающий электрод.

2. В газоразрядных приборах с самостоятельным обрывом разряда возможно изменение времени выключения в некоторых пределах за счет изменения давления газа.

3. С целью увеличения максимального обрываемого тока поверхность обрывающего электрода необходимо тщательно шлифовать, а также применять материалы с большой работой выхода.

4. При построении генераторов необходимо применять стабилизиро-

ванные источники питания как для самого генератора, так и для генератора водорода коммутатора ввиду существенного влияния их параметров на параметры импульса на нагрузке.

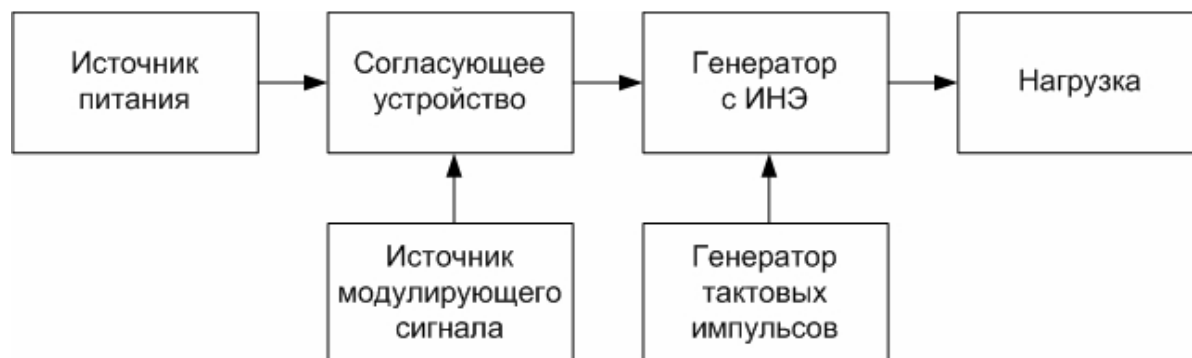


Рис. 7. Структурная схема временного импульсного модулятора

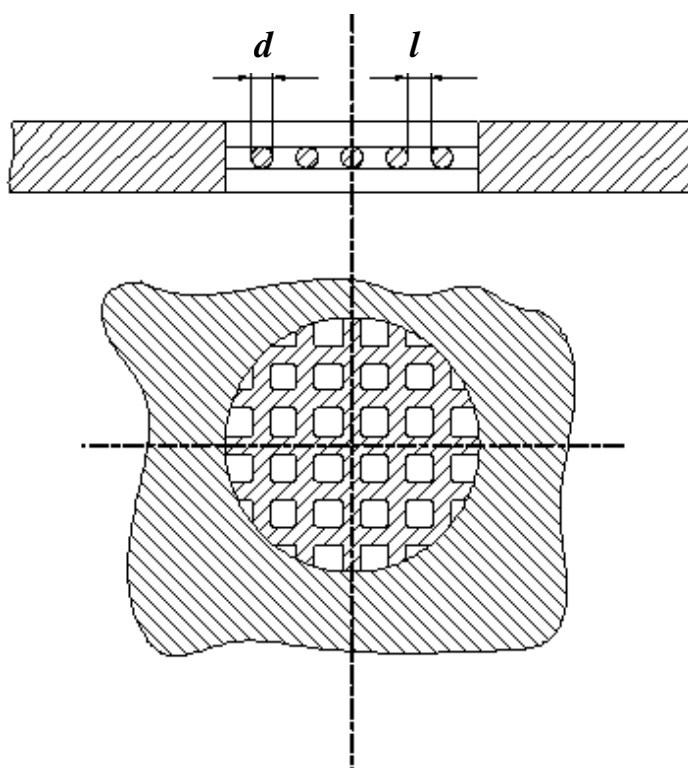


Рис. 8. Конструкция ячейки управляющего электрода

Предложена новая конструкция газоразрядного коммутатора с управлением включением и выключением разрядом. Конструкция ячейки управляющего электрода представлена на рис. 10. Гашение разряда осуществляется подачей отрицательного напряжения на управляющий электрод при снижении давления в области ячейки за счет выталкивания газа потоком заряженных частиц.

Получено выражение для расчета размера ячейки мелкоструктурной сетки

$$l = 2 \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot U_C \cdot e_0 \cdot S}{I}} \cdot \sqrt[4]{\frac{m_e}{m_m}} \cdot \sqrt{\frac{e \cdot E}{S \cdot m_e \cdot N_0}} \quad (9)$$

Установлено, что расстояние между витками сетки обратно пропорционально $\sqrt[4]{N_0}$. При изменении концентрации в десять раз за счет выдувания газа расстояние между витками сетки можно увеличить почти в два раза.

В **заключении** сделаны основные выводы по результатам проведенной работы.

Основные результаты работы состоят в следующем:

1. Установлено, что изменение момента обрыва тока газоразрядного коммутатора возможно тремя основными способами: изменением давления газа в приборе (напряжения накала генератора водорода); изменением амплитуды обрываемого тока (напряжения питания генератора, емкости разрядного конденсатора, индуктивности накопителя); изменением конструкции коммутатора (площади отверстия обрывающего электрода).

2. Доказано, что интегральная плотность заряда в поперечном сечении сужения разряда, необходимая для обрыва дуги, для различных типов приборов при фиксированном давлении, величина постоянная.

3. Показано, что время выключения газоразрядного коммутатора с самостоятельным обрывом разряда определяется родом газа, его давлением в приборе, эмиссионными характеристиками обрывающего электрода, а также расстоянием между анодом и обрывающим электродом.

4. Определены диапазоны размыкаемых токов газоразрядными коммутаторами с самостоятельным обрывом дуги и указаны причины, вызывающие их ограничение по минимуму и максимуму.

5. Разработаны методики расчета основных параметров газоразрядных коммутаторов с самостоятельным обрывом разряда для индуктивных накопителей энергии.

6. Предложен способ формирования высоковольтных импульсов с временной импульсной модуляцией газоразрядным коммутатором с самостоятельным обрывом разряда, а также устройство для его осуществления на основе генератора с индуктивным накопителем энергии.

7. Разработаны рекомендации по конструированию газоразрядных коммутаторов с самостоятельным обрывом разряда, среди которых – необходимость снижения эмиссионной способности обрывающего электрода путем его полировки и применения для него материалов с большой работой выхода,

уменьшения расстояния анод – обрывающий электрод, увеличения длины керамического изолятора по внешней поверхности.

8. Предложена новая конструкция газоразрядного коммутатора с полным управлением разрядом, позволяющая улучшить стабильность выключения и энергетические характеристики, а также проведен расчет размера ячеек управляющего электрода.

В **приложениях** приведены зависимости диапазона обрываемых токов от давления газа, текст программы для расчета параметров генератора высоковольтных импульсов и список условных обозначений.

ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ

1. *Фокин Р.В.* Моделирование процесса обрыва тока в диафрагмированных газоразрядных промежутках // *Электроника и информационные технологии.* – Рязань: РГРТА – 2002 г. – с. 71-75.
2. *Верещагин Н.М., Круглов С.А., Фокин Р.В.* Псевдоискровой разрядник как размыкатель тока для индуктивного накопителя энергии // 37-я научно-техническая конференция: Тез. докл. – Рязань. – 2002 – с. 37
3. *Верещагин Н.М., Фокин Р.В.* Тиратрон ТГИ1-270/12 как размыкатель тока для индуктивного накопителя энергии // *Вестник РГРТА.* Вып.13. – Рязань. – 2003 – с.69-71
4. *Фокин Р.В.* Генератор высоковольтных импульсов с индуктивным накопителем энергии и газоразрядным коммутатором тока // *Современные проблемы радиоэлектроники: Сб. науч. тр. / Под ред. А.И. Громыко, А.В. Сарафонова.* – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. – с. 75-77
5. *Фокин Р.В.* Импульсный модулятор // Патент РФ на Полезную модель № 46395 от 27 июня 2005 г.
6. *Фокин Р.В.* Способ формирования высоковольтных импульсов с временной импульсной модуляцией // Патент на Изобретение № 2277296 от 27 мая 2006 г.
7. *Фокин Р.В.* Расчет времени выключения газоразрядных приборов с самообрывом тока // *Электроника.* – Рязань: РГРТА. – 2005 – с. 31-34
8. *Фокин Р.В.* Расчет времени обрыва разряда в газоразрядных приборах низкого давления // *Электроника.* – Рязань: РГРТА. – 2005 г. – с. 34-37

ФОКИН Роман Викторович

**Газоразрядные коммутаторы тока низкого давления для
индуктивных накопителей энергии**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать «___» июня 2006 г.
Уч.-изд. л. 1.

Тираж 100 экз.

Формат 60x84 1/16.
Заказ № _____.

Отпечатано: Отделение полиграфии ИТО Академии права и управления
Федеральной службы исполнения наказаний
390036, г. Рязань, ул. Сенная, 1