

УДК 621.316.5

**СОЗДАНИЕ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ
НИЗКОВОЛЬТНЫХ ГИБРИДНЫХ АППАРАТОВ
С БЕЗДУГОВОЙ КОММУТАЦИЕЙ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ**

**DEVELOPMENT OF NEW GENERATION ARCLESS COMMUTATION LOW
VOLTAGE HYBRID SWITCHGEARS FOR SPECIAL ELECTRICAL ENGINEERING**

А. А. Григорьев¹, М. А. Ваткина²

A. A. Grigoryev¹, M. A. Vatkina²

¹*ФГБОУ ВПО «Чувашский государственный педагогический
университет им. И. Я. Яковлева», г. Чебоксары*

²*ООО «Научно-производственное предприятие “ЭКРА”», г. Чебоксары*

Аннотация. Рассмотрены пути создания нового поколения гибридных коммутационных аппаратов с применением нормально открытых силовых полупроводниковых приборов и микро-системной технологии для специальной электротехники.

Определены дальнейшие пути развития электротехнических систем нового типа на базе последних достижений науки и техники – коммутационных гибридных аппаратов на новых принципах бездуговой коммутации с последовательным включением главных контактов электромеханических аппаратов с нормально открытыми силовыми полупроводниковыми приборами, которые относятся к ряду перспективных направлений инновационного развития гибридных аппаратов нового поколения.

Обсуждаются возможные пути развития гибридных аппаратов с использованием интеллектуальной интегральной инновационной силовой электроники, альтернативных традиционным электромеханическим системам, применительно к электротехническим системам и комплексам, которые могут быть использованы для решения широкого круга новых актуальных задач, и практическое применение этого перспективного направления в космической и автомобильной отраслях.

Abstract. The article considers the ways of developing the new generation hybrid switchgears with normally open power semiconductors and microsystem technology for special electrical engineering.

It determines the perspective ways of developing the new electrotechnical systems based on the latest achievements of science and technology, i.e. switching hybrid units which employ new principles of arcless commutation with chain connection of the main contacts of electromechanic units and a normally open power semiconductors. Such units are among the upcoming trends of the innovative development of the new generation switching hybrid units.

The possible ways of developing hybrid units using intellectual integral innovative power electronics are discussed. They constitute alternatives to traditional electromechanic systems and can be applied in connection to various new tasks and challenges and practical use of this perspective trend in space and automobile industries.

Ключевые слова: гибридный аппарат, бездуговая коммутация, нормально открытый силовой полупроводниковый прибор, микросистемная техника.

Keywords: *hybrid switchgear, arcless commutation, normally open power semiconductor, micro-system technology.*

Актуальность исследуемой проблемы. Традиционные принципы построения низковольтных коммутационных аппаратов, подверженных воздействию при коммутации электрической дуги, основанных на теории, связанных с процессами горения и гашения дуги в дугогасительных системах, не могут с прежней эффективностью соответствовать возрастающим требованиям по надежности и коммутационной износостойкости, они в значительной мере исчерпали свои возможности совершенствования в конце XX века.

Образование дуги является одной из главных проблем, которая приводит к катастрофическому повреждению коммутационно-защитной аппаратуры, наносит экономический ущерб от аварий и связанных с ними перебоев в электроснабжении, что затрудняет и не позволяет добиться существенного снижения энергопотребления, массогабаритных показателей и расширения функциональных возможностей.

В условиях устойчивой тенденции непрерывного возрастания коммутируемых мощностей силовых промышленных установок в единице электрооборудования важнейшая роль при создании высокоэффективных коммутационных аппаратов отводится актуальной проблеме полного устранения электрической дуги из процесса коммутации в результате создания новых поколений бездуговых гибридных аппаратов.

Материал и методика исследований. Цель исследований заключается в создании научно-технических основ построения нового поколения коммутационных гибридных аппаратов с полным устранением электрической дуги из процесса коммутации, разработке новых схмотехнических решений, удовлетворяющих современным требованиям XXI века, а также в практическом внедрении результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в космическую, авиационную и автомобильную промышленность.

Поиск путей решения возникшей проблемы у нас в стране и за рубежом привел к использованию возможностей силовой электроники, позволяющей коренным образом улучшить технические параметры и защитные характеристики низковольтных аппаратов.

Таким образом, обозначилось новое перспективное направление в развитии низковольтной аппаратуры, связанное с ее электронизацией.

Если представить коммутационный аппарат в виде электромеханического контактного аппарата и бесконтактного силового полупроводникового ключа, то процесс электронизации коммутационной низковольтной аппаратуры в настоящее время развивается по следующим пяти направлениям:

1) создание бесконтактных (статических) аппаратов, не имеющих подвижных частей и дугогасительных камер, в которых силовой полупроводниковый прибор (СПП) не только участвует в коммутации тока, но и длительно проводит ток нагрузки. Главное достоинство бесконтактных аппаратов состоит в том, что они способны сочетать в себе функции быстродействующего токоограничивающего аппарата защиты и управления с выполнением не только коммутационных операций «включено-выключено», но и более сложных – осуществлять плавный пуск и регулирование скорости электродвигателя [20];

2) создание статических устройств управления, способных выполнять комплексную защиту электрооборудования от аварийных режимов работы и резко улучшать качество защиты [18];

3) создание коммутационных гибридных аппаратов (ГА), основанных на принципе взаимодействия главных контактов с параллельным (шунтирующим) включением силовых полупроводниковых ключей (тиристоров, симисторов, транзисторов), обеспечивающих принципиальную возможность устранения образования дуги на контактах главной цепи, сокращенно именуемых «ГАШ» [1], [2], [5], [6], [11], [20];

4) создание гибридных аппаратов нового поколения, в которых последовательно с контактами подключен полупроводниковый ключ (запираемый тиристор, SIT- или JFET-транзистор), обеспечивающий полную бездуговую коммутацию главной цепи, получивших обозначение «ГАП» [5], [6], [7], [12], [13], [14], [15], [16], [20];

5) создание гибридных аппаратов на базе микроэлектромеханических систем (МЭМС) и микрореле [3], [8], [9].

Реализация потенциальных возможностей, заложенных в новых схмотехнических оригинальных решениях, возможна только при условии создания и практического внедрения передовой технологии на базе новейших достижений силовой электроники и МЭМС технологии – технологии ближайшего будущего [8].

Поэтому особую значимость приобретает проблема разработки и создания ГА, в которых использованы новые, оригинальные, до сих пор не применявшиеся принципы бездуговой коммутации. О высоком уровне схмотехнических решений говорит тот факт, что все они защищены авторскими свидетельствами, а многие из них – и патентами. К числу таких аппаратов относятся ГА, рассмотренные в данной статье по последним трем направлениям.

Техническое решение для бездуговой коммутации, предложенное в [1], (рис. 1) представлено упрощенной структурной схемой ГАШ, содержащего электромагнитное двустабильное реле с одним входом управления 1, контакты 2, управляемые двустабильным реле 1, управляемый полупроводниковый ключ 3, который при снятии с управляющего входа команды управления принимает отключенное состояние. При подаче на вход управления гибридного аппарата команды управления на включение или отключение осуществляется одновременная подача команды управления на вход управления двустабильного реле 1 и управляющий вход силового полупроводникового ключа 3. Быстродействие управляемого полупроводникового ключа 3 значительно выше, чем быстродействие электромагнитного реле 1, поэтому включение и отключение полупроводникового ключа 3 происходит до замыкания или размыкания контактов 2, обеспечивая бездуговую коммутацию электрической цепи, обладая простотой технического решения и высокой надежностью.

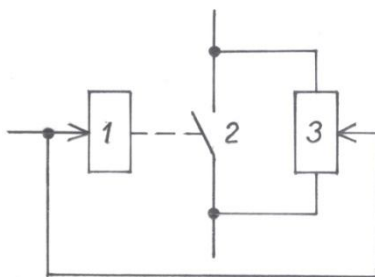


Рис. 1. Структурная схема ГАШ с одним входом управления

Технический результат бездуговой коммутации электрической цепи достигается в электромагнитном аппарате [2] при одновременном упрощении технологии изготовления конструкции мостикового подвижного контакта и вывода цепи управления СПШ в виде единой детали. Функциональная схема ГАШ, в котором использован электромагнитный привод 1 поворотного типа с мостиковой контактной системой, установленный на основании, на котором закреплены выводы 3 и 4 неподвижных контактов 5 и 6 соответственно и вывод 7 цепи управления мостика, пластина 8, состоящая из расширенной части 9 с установленными контакт-деталью 10 и 11 и участка 12, расположенного между изогнутой (гофрированной) 13 и расширенной 9 частями пластины 8, закрепленного на изоляционной подвижной части 14 электромагнитного привода 1, управляемый полупроводниковый ключ 15, подключенный управляющим электродом 16 к выводу 7 цепи управления мостика, а выводами 17 и 18 силовой цепи – к выводам 3 и 4 неподвижных контактов 5 и 6, приведена на рис. 2.

Включение (отключение) управляемого полупроводникового ключа 15 осуществляется либо от напряжения сети, либо от напряжения, которое прикладывается к управляющему электроду 16 полупроводникового ключа 15, который включается и обеспечивает за счет своего быстродействия бездуговое замыкание (размыкание) электрической цепи.

По сравнению с известными аппаратами выполнение конструкции мостикового подвижного контакта и вывода цепи управления в виде единой детали обеспечивает упрощение контактной мостиковой системы с двумя разрывами за счет исключения трудоемких деталей многоэлементного токосяема управления с подвижного мостикового контакта.

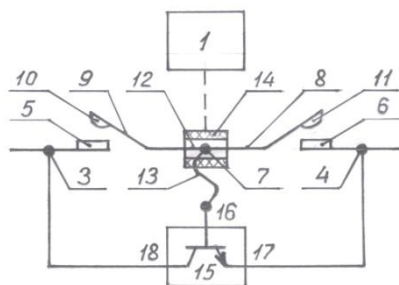


Рис. 2. Функциональная схема ГАШ с контактной системой мостикового типа

Технические решения выполнения коммутационных аппаратов с бездуговой коммутацией, основанные на использовании последних достижений развивающейся силовой электроники, имеют большую перспективу при разработке новых поколений ГА на повышенные напряжения и токи, а также с расширенным температурным диапазоном. В ближайшее время на рынке планируется появление высокотемпературных VJFE-транзисторов на основе карбида кремния (SiC), имеющих рабочую температуру до 600–700 °С и рабочее напряжение до 3,5 кВ [19]. В случае серийного освоения промышленностью VJFE-транзисторов появится возможность VJFE встраивать в цепь ГК либо непосредственно устанавливая на силовом главном контакте, как, например, в изобретении [17], которое открыло возможность создания интегрального комбинированного управляемого ключа. В связи с этим схема управления силовым полупроводниковым ключом в этом изобретении предельно проста, без применения дополнительных элемен-

тов, она обеспечит только электрическую связь управляющего электрода силового полупроводникового ключа с одним из контактов мостикового типа. Конструктивная схема патента приведена на рис. 3 [17].

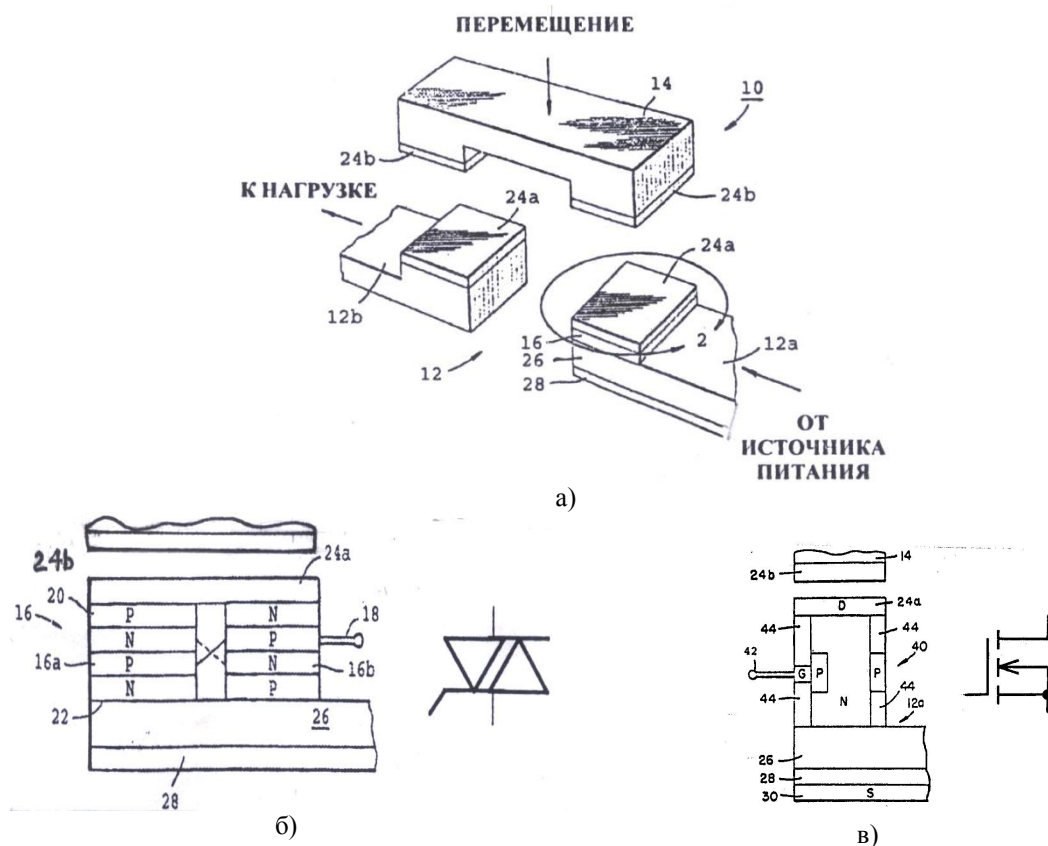


Рис. 3. а) конструктивная схема управляемого комбинированного электрического контакта; б) конструктивно-структурная схема переключающего механизма для переменного тока; в) конструктивно-структурная схема переключающего механизма для постоянного тока

Гибридный переключатель для прерывания тока имеет на контактной поверхности 26-полупроводниковый переключающий механизм 16. Данный переключающий механизм 16 представляет собой монолитный полупроводниковый прибор, выполненный в одном кристалле, причем функцию переключающего механизма выполняет тиристор либо силовой транзистор, размещенные на контактной поверхности 26. Для переменного тока полупроводниковый переключающий механизм 16, содержащий управляющий электрод 18 для управления электрическим током, проходящим через него, может содержать два сборных узла 16 а, 16 б (каждый из четырех элементов), при этом каждый сборный узел содержит попеременно элементы типа р-п, смонтированные по встречно-параллельной схеме на контактной поверхности 26, приведенной на рис. 3 б. Для применения при постоянном токе полупроводниковый переключающий механизм 16 может включать в себя зону источника, зону потребителя и запирающий электрод 42, приведенный на рис. 3 в.

Результаты исследований и их обсуждение. ОАО «ВНИИР» в последнее время разработал и внедрил (на основе нормально открытых полевых транзисторов с управляющим р-п переходом) коммутационно-защитное комбинированное реле РКН11, выполненное на новых принципах бездуговой коммутации, разработанное для систем электроснабжения космических спутников связи «Ямал-100» и телекоммуникационных спутников «Ямал-200», способных длительно функционировать в условиях открытого космоса [4].

Упрощенная электрическая схема комбинированного реле РКН11, выполненного на основе перспективных запатентованных технических решений [12], [13], приведена на рис. 4. Комбинированное (гибридное) реле, выполненное с применением новых нормально открытых полевых транзисторов с управляющим р-п переходом (SIT- или JFET-транзисторов), включенных последовательно с главными контактами, обладает следующими важными для разработки нового поколения коммутационных аппаратов качествами: высокой радиационной стойкостью, высокой помехоустойчивостью, высокой надежностью, высокими ключевыми характеристиками, близкими к характеристикам «идеального ключа».

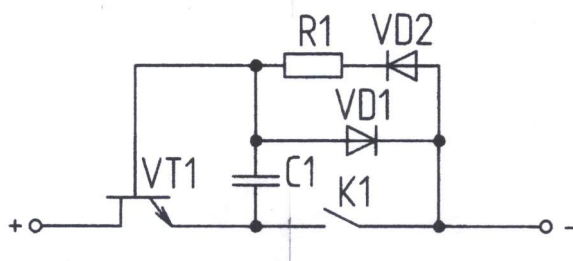


Рис. 4. Упрощенная электрическая схема комбинированного реле РКН11

В этом реле обеспечена работа главных контактов К1 в режиме замыкания и размыкания «сухой» цепи. В результате замыкания контактов К1 в первоначальный момент времени ток нагрузки через них не протекает, поскольку заряженный во время отключенного состояния ГА конденсатор С1 поддерживает нормально открытый SIT-транзистор в закрытом состоянии. После разряда конденсатора С1 через резистор R1 и диод VD2 транзистор VT1 плавно открывается и происходит «мягкое» включение устройства. Время задержки включения SIT-транзистора VT1, которое должно превышать время дребезга контактов К1, определяется величинами емкости конденсатора С1 и сопротивления разрядного резистора R1.

При размыкании контактов К1 ток нагрузки не прерывается, а перетекает с контактов К1 на параллельную цепь, образованную конденсатором С1 и диодом VD1. Тем самым исключается образование короткой дуги на контактах при их размыкании. При этом SIT-транзистор VT1, ввиду наличия на его входе интегрирующего конденсатора С1, закрывается не мгновенно, а постепенно, что ограничивает перенапряжения на устройстве при отключении активно-индуктивной нагрузки и обеспечивает заданный закон коммутации [10].

Особенностью этого реле, помимо работы контактов К1 в режиме коммутации «сухой» цепи, является и то, что к контактам К1 прикладывается не все коммутируемое напряжение, а только незначительное напряжение, определяемое напряжением отсечки нормально открытого SIT-транзистора, которое в десятки раз меньше коммутируемого. Это позволяет в перспективе для слаботочных исполнений ГА использовать в качестве контактов К1 контакты микроэлектромеханических систем (МЭМС-реле), применяемые в электронных переключательных системах, где требуется высокое сопротивление в разомкнутом и низкое – в замкнутом состоянии, малое время переключения и высокая надежность [8]. В [3] показаны перспективы развития микросистемной техники (МСТ) как научно-технического направления, цель которого – создание в ограниченном объеме твердого тела или на его поверхности микросистем, представляющих собой упорядоченные композиции областей с заданным составом, структурой и геометрией, как, например, в изобретении [17].

В [9] рассмотрен способ увеличения коммутируемой мощности на основе параллельно-последовательного соединения контактов микрореле. Во время коммутации контакты оказываются перегруженными вследствие невозможности обеспечения полной синхронизации замыкания (размыкания) большого числа контактов, что трудновыполнимо с точки зрения обеспечения надежности. В связи с этим использование микрореле наиболее актуально и эффективно в сочетании с нормально-открытыми полевыми транзисторами в гибридных аппаратах бездуговой коммутации.

При выполнении в перспективе SIT-транзисторов с изолированным затвором в отключенном состоянии будет достигаться практически нулевой ток утечки. Необходимо отметить, что это комбинированное реле не имеет технических ограничений и для достижения практически нулевого остаточного падения напряжения во включенном состоянии за счет параллельного соединения множества транзисторных структур с нормально открытым каналом.

В связи с этим данный гибридный аппарат, позволяющий достигать близкие к нулевым значениям ток утечки в отключенном состоянии и остаточное падение напряжения во включенном состоянии, можно отнести к ряду перспективных вариантов создания «идеального ключа», способного работать с заданным законом коммутации.

Схема ГАП с бездуговой коммутацией электрической цепи для переключения двух нагрузок [14] представлена на рис. 5. Технический результат заключается в упрощении, повышении надежности, быстродействии и расширении функциональных возможностей.

ГАП для бездуговой коммутации электрических цепей содержит вывод для подключения источника питания 1, выпрямительный диодный мост 2, переключающую контактную группу 3, неподвижные замыкающий и размыкающий контакты 4, 5, соединенные с выводами для подключения двух нагрузок 11, 12 и входами диодного моста 2, и первый управляемый полупроводниковый ключ 6, первый силовой вывод и управляемый электрод которого соединены с выходами диодного моста 2, а второй силовой вывод, образующий с управляющим электродом управляющий вход ключа 6, – с подвижным контактом переключающей контактной группы 3. Второй силовой вывод первого ключа соединен с подвижным контактом переключающей контактной группы 3 через управляющий вход дополнительно введенного второго управляющего полупроводникового ключа 7, образованный управляющим электродом и первым силовым выводом. При этом второй силовой вывод соединен с выводом для подключения источника питания.

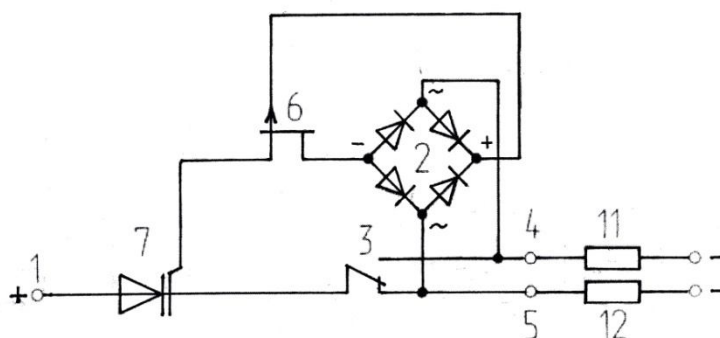


Рис. 5. Электрическая схема силового узла ГАП для переключения двух нагрузок

Один из вариантов ГАП для бездуговой коммутации электрической цепи, в котором в качестве нормально открытого управляемого полупроводникового ключа использован транзистор со статической индукцией, представлен на рис. 6 [15].

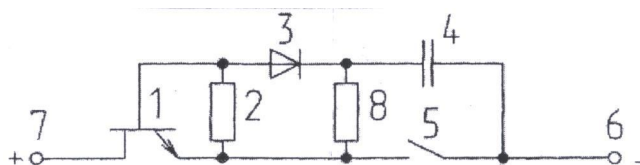


Рис. 6. Электрическая схема ГАП для бездуговой коммутации электрической цепи при использовании в качестве нормально открытого управляемого ключа транзистора со статической индукцией

В отключенном состоянии, когда контакт 5 разомкнут, конденсатор 4 заряжен через генератор тока, образованный транзистором со статической индукцией 1 и параллельно включенными через прямо включенный диод 3 резисторами 2 и 8, до полного напряжения источника питания. Тем самым разомкнутый контакт 5 и заряженный до напряжения источника питания конденсатор 4 обеспечивают в отключенном состоянии полную гальваническую развязку всех электродов транзистора 1 и, соответственно, нагрузки от источника питания.

При этом напряжение на размыкаемых контактах 5 увеличивается не скачкообразно, а плавно, обеспечивая превышение роста восстанавливающейся электрической прочности межконтактного зазора размыкающихся контактов 5 над ростом восстанавливающегося на них напряжения и тем самым исключая дугообразование на контактах, а также обеспечивая в отключенном состоянии полную гальваническую развязку нагрузки от источника без введения в ГА усложняющих дополнительных контактов развязки [15].

Другой вариант «идеального ключа» ГАП для коммутации электрической цепи, способный работать с заданным законом бездуговой коммутации при использовании в качестве нормально открытого управляемого полупроводникового ключа полевого транзистора с встроенным каналом и изолированным затвором [16], представлен на рис. 7. В отключенном состоянии, когда контакт 1 разомкнут, конденсатор 6 заряжен через пря-

мвключенный диод 4 до напряжения отсечки транзистора 2. Разомкнутый контакт 1, изолированный затвор транзистора 2 и заряженный конденсатор 6 обеспечивают в отключенном состоянии гальваническую развязку нагрузки от источника питания.

При этом транзистор 2, ввиду наличия на его входе интегрирующего конденсатора 6, закрывается не мгновенно, а постепенно, что ограничивает перенапряжения на выходных клеммах ГАП при отключении активно-индуктивной нагрузки. В данном ГАП с бездуговой коммутацией при наличии всего одного контакта и при использовании в качестве нормально открытого ключа полевого транзистора с изолированным затвором в отключенном состоянии обеспечивается полная гальваническая развязка нагрузки от источника питания, что является существенным отличием рассматриваемого ГАП от известных. Кроме того, существенно и то, что в отличие от известных в данном ГАП к контактам прикладывается не все коммутируемое напряжение, а незначительное напряжение, определяемое напряжением отсечки нормально открытого полупроводникового ключа, которое в десятки раз меньше коммутируемого напряжения, поскольку ток утечки определяется как отношение напряжения отсечки нормально открытого ключа к величине сопротивления на его входе управления, а падение напряжения на нормально открытом полупроводниковом ключе меньше, когда его управляющий электрод «оборван» от цепи истока.

Таким образом, приведенный на рис. 7 ГАП, позволяющий достигать близкие к нулевым значениям ток утечки в отключенном состоянии и остаточное падение напряжения во включенном состоянии, представляет один из вариантов «идеального ключа», причем способного работать с заданным, близким к оптимальному, законом коммутации [10].

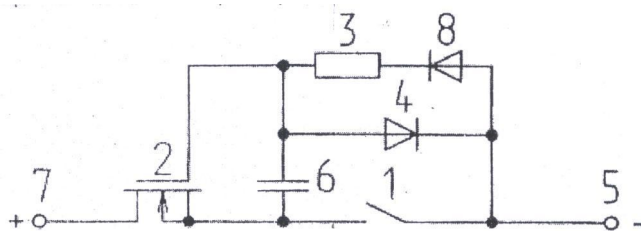


Рис. 7. Электрическая схема ГАП для бездуговой коммутации электрической цепи при использовании в качестве нормально открытого управляемого полупроводникового ключа полевого транзистора с встроенным каналом и изолированным затвором

Резюме. Поставлена задача создания низковольтных коммутационных гибридных аппаратов нового поколения, работающих с заданным законом бездуговой коммутации.

Реализация оптимального закона бездуговой коммутации возможна при наличии силового «идеального комбинированного ключа» и полностью управляемого интеллектуального интегрального коммутационного гибридного аппарата. Решение этих и других проблем является задачей ближайшего будущего.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. 1159077 СССР, МПК Н01Н 9/30. Устройство для бездуговой коммутации / А. А. Григорьев [и др.]; заявл. 20.12.82; опубл. 30.05.85, Бюл. № 20.
2. А. с. 1697130 СССР, МПК Н01Н 9/30, 9/50. Электромагнитный аппарат с бездуговой коммутацией электрических цепей / А. А. Григорьев [и др.]; заявл. 08.01.90; опубл. 07.12.91, Бюл. № 45.

3. *Беляев, В. А.* От электромеханических и дискретных решений к МЭМС / МСТ. МЭМС / МСТ в современной технике на примере автомобилестроения и авиации / В. А. Беляев // *Электронные компоненты*. – 2003. – № 2. – С. 27–34.
4. *ВНИИР 1961 – 2011. Нам только 50 /* АБС Электро. – М. : Азбука, 2011. – С. 117–118.
5. *Григорьев, А. А.* Основные тенденции инновационного развития коммутационных гибридных аппаратов нового поколения / А. А. Григорьев, М. А. Ваткина и др. // *Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева*. – 2012. – № 4 (76). – С. 58–63.
6. *Григорьев, А. А.* Перспективные направления инновационного развития коммутационных гибридных аппаратов нового поколения для бортовой аппаратуры автономных систем и комплексов / А. А. Григорьев, М. А. Ваткина // *Использование инновационных технологий в сервисном обслуживании транспорта* : сб. науч. ст. – Чебоксары : Чуваш. гос. пед. ун-т, 2012. – С. 17–32.
7. *Григорьев, А. А.* Основные тенденции инновационного развития коммутационных аппаратов низкого напряжения / А. А. Григорьев, М. А. Ваткина и др. // *Инновационные технологии восстановления сборочных единиц и сервисного обслуживания автомобильного транспорта* : сб. науч. ст. – Чебоксары : Чуваш. гос. пед. ун-т, 2011. – С. 101–110.
8. *Гридин, А. М.* Микроэлектромеханические реле: технология ближайшего будущего / А. М. Гридин // *Электронные компоненты*. – 2003. – № 7. – С. 38–40.
9. *Иванов, И. П.* Оценка возможностей создания с использованием микроэлектромеханических систем новых коммутационных аппаратов / И. П. Иванов, С. А. Моисеев // *Труды XII Международной конференции «Электромеханика, электротехнологии, электротехнические материалы и компоненты» МКЭЭЭ-2008*. – Алушта, 2008. – С. 302.
10. *Марактанов, В. А.* О возможности создания выключателя, работающего с заданным законом коммутации / В. А. Марактанов, А. Д. Пивненко // *Электротехническая промышленность. Аппараты низкого напряжения*. – 1971. – № 7. – С. 7–8.
11. *Патент 2050616* Российская Федерация, МПК H01H 9/30. Гибридный бездуговой аппарат / Григорьев А. А.; заявл. 26.05.92; опубл. 20.12.95.
12. *Патент 1721653* Российская Федерация, МПК H01H 9/30. Устройство для бездуговой коммутации электрической цепи / В. И. Плотников, А. Л. Виноградов, А. А. Григорьев и др.; заявл. 22.06.89; опубл. 23.03.92.
13. *Патент 2192682* Российская Федерация, МПК H01H 9/30. Устройство для бездуговой коммутации электрической цепи / В. И. Плотников, А. Л. Виноградов, С. А. Моисеев; заявл. 05.07.2000; опубл. 10.11.02.
14. *Патент 2255390* Российская Федерация, МПК H01H 9/30. Устройство для бездуговой коммутации электрической цепи / В. И. Плотников, С. А. Моисеев, М. А. Григорьева; заявл. 12.01.04; опубл. 27.06.05.
15. *Патент 2282265* Российская Федерация, МПК H01H 9/30. Устройство для бездуговой коммутации электрической цепи / В. И. Плотников, С. А. Моисеев, М. А. Григорьева и др.; заявл. 25.05.04; опубл. 20.08.06.
16. *Патент 2298249* Российская Федерация, МПК H01H 9/30. Устройство для бездуговой коммутации электрической цепи / В. И. Плотников, С. А. Моисеев, М. А. Григорьева и др.; заявл. 14.07.04; опубл. 27.04.07.
17. *Патент 0201248* ЕВП, МПК H01H 9/54. Controlled electrical contacts for electrical switchgear / Needham Eric.; заявл. 29.04.85; опубл. 12.11.86.
18. *Райнин, В. Е.* Статические расцепители низковольтных автоматических выключателей / В. Е. Райнин // *Электротехника*. – 2002. – № 2. – С. 41–46.
19. *Флоренцев, С. Н.* Силовая электроника начала тысячелетия / С. Н. Флоренцев // *Электротехника*. – 2003. – № 6. – С. 3–9.
20. *Электрические и электронные аппараты* : учебник для вузов / под ред. Ю. К. Розанова. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 752 с.