РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 497 274** (13) **C1**

(51) МПК
H03K 17/08 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: **2012107374/07, 28.02.2012**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
28.02.2012

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **28.02.2012**

(45) Опубликовано: **27.10.2013** Бюл. № **30**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2398347 C1, 27.08.2010. RU 42921 U1, 20.12.2004. RU 2208290 C1, 10.07.2003. SU 1483503 A1, 30.05.1989. EP 0528668 A2, 24.02.1993.**

Адрес для переписки:
355042, г.Ставрополь, ул. 50 лет ВЛКСМ, 61, кв.60, Е.Э. Горохову-Мирошникову

(72) Автор(ы):
Горохов-Мирошников Евгений Эдуардович (RU),
Козидубов Евгений Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Горохов-Мирошников Евгений Эдуардович (RU)

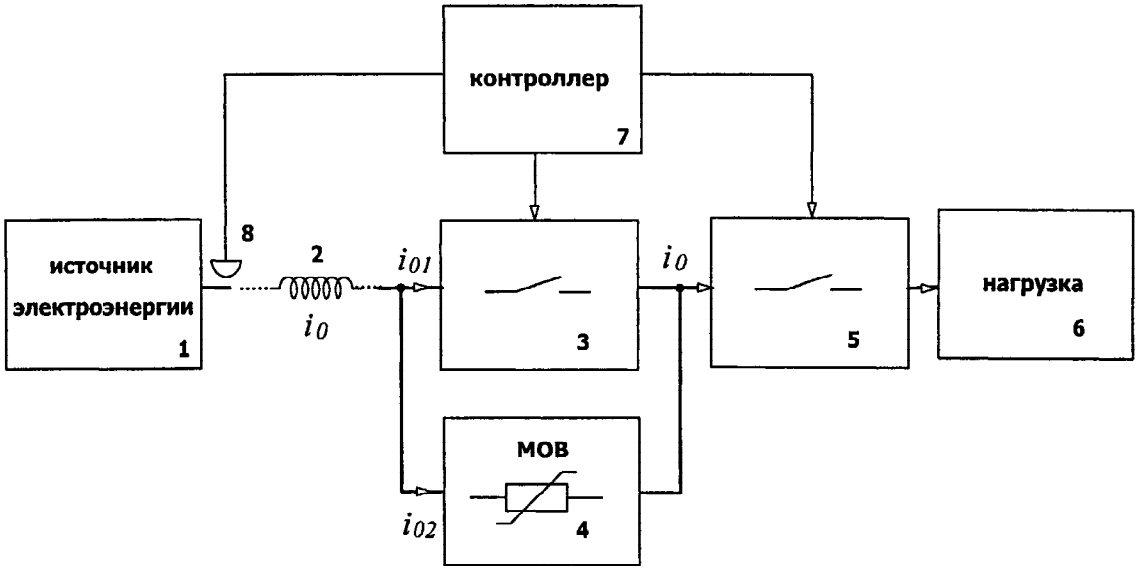
(54) ФОРМИРОВАТЕЛЬ ИМПУЛЬСОВ ЭНЕРГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАЛЛООКСИДНЫХ ВАРИСТОРОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к электротехнике. Технический результат заключается в разработке формирователя энергии с целью обеспечения мощного импульса тока (напряжения), способного уменьшить коммутационные всплески и резонансные колебания тока (напряжения) в нагрузке, повышении надежности работы ключей и других устройств, физически связанных с данным формирователем энергии, заданного ограничения импульса тока нагрузки. Для этого формирователь содержит импульсные накопители электрической энергии: индуктивность и/или заряженный конденсатор, по меньшей мере один полностью управляемый быстродействующий ключ с параллельной защитной цепью, которая ограничивает напряжение при выключении быстродействующего ключа, последовательно с быстродействующим ключом (ключами) установлен по меньшей мере один блокирующий ключ, который способен блокировать или пропускать ток нагрузки, контроллер, подключенный к цепям управления ключей через соответствующие устройства управления. Защитная цепь быстродействующего ключа (ключей) содержит по меньшей мере один металлооксидный варистор (МОВ), образуя импульсный ограничитель тока нагрузки, протекающий либо через быстродействующий ключ, либо через МОВ. В цепи тока нагрузки установлен датчик электрического режима и подключен к контроллеру, регулирующему ток нагрузки на низкой или высокой частоте. 1 з.п. ф-лы, 7 ил.

RU 2497274 C1

RU 2497274 C1



Фиг.1

RU 2497274 C1

RU 2497274 C1

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 497 274** (13) **C1**

(51) Int. Cl.
H03K 17/08 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2012107374/07, 28.02.2012**

(24) Effective date for property rights:
28.02.2012

Priority:
(22) Date of filing: **28.02.2012**

(45) Date of publication: **27.10.2013 Bull. 30**

Mail address:
355042, g.Stavropol', ul. 50 let VLKSM, 61, kv.60, E.Eh. Gorokhovu-Miroshnikovu

(72) Inventor(s):
Gorokhov-Miroshnikov Evgenij Ehduardovich (RU),
Kozidubov Evgenij Nikolaevich (RU)

(73) Proprietor(s):
Gorokhov-Miroshnikov Evgenij Ehduardovich (RU)

(54) SHAPER OF ENERGY PULSES USING METAL OXIDE VOLTAGE-VARIABLE RESISTORS

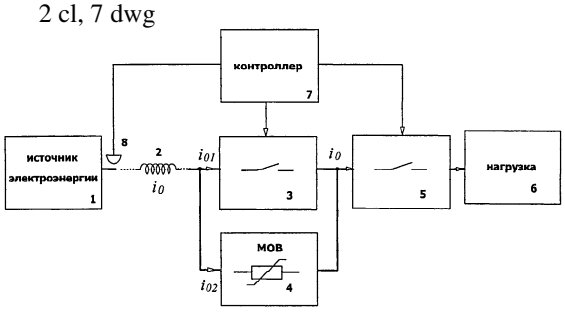
(57) Abstract:

FIELD: electricity.

SUBSTANCE: shaper includes pulse electric energy accumulators: inductance and/or a charged capacitor, at least one fully controlled quick-acting key with a parallel protective chain that restricts voltage at activation of a quick-acting key, in series with the quick-acting key(s) there installed is at least one locking key that is able to lock or pass load current, a controller connected to control chains of keys through the corresponding control devices. The protective chain of the quick-acting key(s) includes at least one metal oxide voltage-variable resistor (VVR), thus forming a pulse limiter of load current flowing either through the quick-acting key, or through VVR. In the load current chain there installed is a sensor of an electric mode and connected to a control controlling the load current on low or high frequency.

EFFECT: development of an energy shaper for the purpose of providing a powerful current pulse capable of reducing switching bursts and resonant current oscillations in load, improving operating reliability of keys and other devices physically connected to that energy shaper, and the specified limitation of load current pulse.

2 cl, 7 dwg



Фиг.1

RU 2497274 C1

RU 2497274 C1

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение касается формирования импульсов электрической энергии. Прежде всего, оно предназначается для использования в высоковольтных импульсных формирователях энергии внешних дефибрилляторов. Кроме того, оно может применяться в устройствах, которые используют включение, отключение или ограничение электрической энергии, например, в адаптируемых к текущему электрическому режиму цепях искусственной коммутации тока и высоковольтных модуляторах.

Уровень техники

Для защиты ключей от перегрузок используют защитные цепи, которые состоят из активных и/или реактивных элементов. Введение в цепь ключа постоянного активного сопротивления вызывает дополнительные потери энергии. Введение реактивных цепей защиты вызывает переходные перенапряжения, которые искажают параметры импульса энергии.

Для снижения потерь переключения и повышения надежности высоковольтные ключи переключают с высокой скоростью, но быстрое переключение создает нежелательные электромагнитные излучения и вызывает проблемы электромагнитной совместимости аналоговых и цифровых устройств, которые окружают нас повсеместно.

Желаемое решение для защиты ключей и импульсного формирования энергии в ходе коммутации - введение в цепь коммутации регулируемого активного сопротивления в момент отключения ключей. Так же предпочтительно обеспечить переключение ключей в отсутствие электрического тока или при его минимальном уровне.

Известно устройство для ограничения импульса тока за счет введения в цепь сопротивления, состоящего из дискретных резисторов. Сопротивление ограничителя тока регулируется с помощью датчика тока путем управления транзисторными ключами, шунтирующими дискретные резисторы. Устройство уменьшает зависимость тока разряда от сопротивления нагрузки. Недостаток - увеличение числа дискретных резисторов с ключами и независимыми контурами управления индивидуального включения ключей при повышении точности задания тока, что увеличивает габариты и снижает надежность устройства.

US Patent №6096063, 01.08.2000, ELECTROTHERAPY CIRCUIT HAVING CONTROLLED CURRENT DISCHARGE BASED ON PATIENT-DEPENDENT ELECTRICAL PARAMETER.

Патент РФ 2421899, 09.03.2009 г., УСТРОЙСТВО ФОРМИРОВАНИЯ БИПОЛЯРНОГО СИГНАЛА.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому положительному эффекту и принятым за прототип является устройство, описанное в патенте РФ №2398347, 06.08.2009 г., ФОРМИРОВАТЕЛЬ ИМПУЛЬСОВ ЭНЕРГИИ С РЕГУЛИРУЕМОЙ ФОРМОЙ.

Ключи, регулирующие импульсный ток, применяются совместно с защитными цепями на основе ограничителей напряжения. Защитная цепь используется в специальном режиме: как ограничитель напряжения регулирующих ключей и как цепь, ограничивающая ток нагрузки. Недостаток - ограниченные возможности использования защитной цепи.

Известно, что в качестве защитных устройств широко применяют металлооксидные варисторы, известные под сокращенным названием МОВ (MOV), которое будет

использовано в последующем изложении. МОВ на основе оксидов металлов (например, оксида цинка) обладают высокой скоростью срабатывания и возможностью поглощения огромной энергии. При всплеске напряжения выше уровня классификационного напряжения, пространство вокруг гранул оксида цинка становится электропроводным с нарастанием разрядного тока через МОВ в течение наносекунд. В настоящее время выпускаются МОВ с поглощаемой энергией более 100 МДж. Поглощение такой энергии становится возможным за счет эффективной автоэлектронной эмиссии электронов. При этом высокоэнергетические импульсы тепловой энергии рассеиваются во всем объеме МОВ. МОВ не может работать в режиме высокой проводимости длительное время, так как происходит его перегрев (Трегубов С.В., Пантелеев В.А., Фрезе О.Г. «Общие принципы выбора варисторов для защиты от импульсных напряжений», http://www.komi.com).

Известно применение варисторов для формирования напряжения сложной формы. (См. статью «Применение варисторов», журнал «Радио» №7, 1971 год). Приведены примеры использования варисторов для формирования сигналов в слаботочной телевизионной технике, в том числе и на высоких частотах. Недостаток - низкая эффективность предложенных решений в мощных импульсных схемах.

Раскрытие изобретения

Изобретение направлено на разработку формирователя электрической энергии, который способен обеспечить высокую мощность импульса (высокое напряжение и/или ток), способного уменьшить коммутационные всплески напряжения и резонансные колебания в нагрузке, повысить надежность ключей и устройств, физически связанных с данным формирователем электрической энергии, и ограничить ток импульса в нагрузке.

Изобретение создано при разработке формирователя импульсов электрической энергии для дефибриллятора, формирующего на нагрузке биполярное напряжение амплитудой более 2000 В и токе до 100 А. При этом решалась задача повышения надежности всех силовых ключей формирователя импульсов при неблагоприятных электрических режимах.

В соответствии с настоящим изобретением в цепи формирователя установлены импульсные накопители электрической энергии: индуктивность и/или заряженный конденсатор, а также одна или несколько нагрузок. По меньшей мере, к одному полностью управляемому быстродействующему ключу подключена параллельная защитная цепь, ограничивающая напряжение при выключении быстродействующего ключа. Последовательно с быстродействующим ключом (ключами) включен, по меньшей мере, один блокирующий ключ, который может блокировать или пропускать ток цепи. Блокирующие ключи могут быть полупроводниковыми и/или механическими. Формирователь содержит контроллер, подключенный к цепям управления ключей. Интервалы включения ключей синхронны или задаются индивидуально, как при допустимых состояниях нагрузки и источника электроэнергии, так и при отклонении от допустимых состояний, которые не зависят от формирователя.

Защитная цепь включает, по меньшей мере, металлооксидный варистор (МОВ), подключенный с минимальной индуктивностью соединений к быстродействующему ключу. Упомянутые элементы образуют импульсный ограничитель тока. МОВ задают определенные параметры, которые после скоростного отключения быстродействующего ключа, обеспечивают более длительное по сравнению со временем выключения быстродействующего ключа сохранение тока нагрузки.

Одновременно, напряжение на МОВ не должно превышать максимально допустимое напряжение быстродействующего ключа, в том числе и при максимально возможном токе нагрузки. Максимально допустимая поглощаемая энергия МОВ или суммарная максимально допустимая поглощаемая энергия последовательно соединенных МОВ, должна составлять, по меньшей мере, 10% от энергии импульсного накопителя энергии подключенного к формирователю. Формирователь регулирует ток нагрузки, используя активное сопротивление МОВ в течение определенных контроллером интервалов времени, переключая ток между быстродействующим ключом и активным сопротивлением МОВ на низкой или высокой частоте.

Формирователь настроен таким образом, что обеспечивает включение быстродействующих и блокирующих ключей в отсутствие электрического тока или при его минимальном уровне, выключение блокирующих ключей в отсутствие электрического тока или при его минимальном уровне.

Последовательно с импульсным ограничителем тока введены блокирующие ключи, образующие схему для переключения полярности тока в нагрузке на полупроводниковых ключах или электромагнитных реле.

При регулировании параметров импульса тока контроллер обеспечивает высокочастотное переключение тока в МОВ, например, на частоте более 50 кГц с перераспределением импульсной энергии между МОВ и нагрузкой на уровне более 10%.

Формирователь настроен для работы с одним или несколькими источниками электрической энергии для одной или нескольких нагрузок.

Максимально допустимая поглощаемая энергия МОВ выбрана с учетом параметров накопителей энергии и/или в формирователь введены устройства, ограничивающие поглощаемую энергию МОВ на допустимом уровне.

Описание чертежей

На фигуре 1 изображена упрощенная схема построения формирователя импульсов энергии с использованием быстродействующего полностью управляемого ключа и МОВ.

На фигуре 2 изображен график тока через быстродействующий ключ и через МОВ в функции времени (а) и график тока через нагрузку в функции времени (б).

На фигуре 3 изображены графики тока через нагрузку в функции времени, показывающие процесс регулированияе параметров тока с помощью МОВ.

На фигуре 4 изображена схема для формирования биполярных электрических импульсов.

На фигуре 5 изображен график перехода тока нагрузки из положительной фазы в отрицательную фазу в функции времени.

На фигуре 6 изображена «энергоэффективная» схема для формирования биполярных электрических импульсов.

На фигуре 7 изображен график биполярного электрического импульса через нагрузку в функции времени. Осуществление изобретения

На фигуре 1 изображен формирователь импульсов энергии с использованием быстродействующего полностью управляемого ключа и МОВ, а так же импульсного источника энергии - индуктивности.

Импульсный источник электрической энергии 1 (например, заряженный конденсатор) подключен через индуктивность цепи 2, быстродействующий ключ 3, МОВ 4, а так же блокирующий ключ 5 к нагрузке 6. МОВ 4 подключен к выводам ключа 3. Контроллер 7 подключен к цепям управления ключей 3 и 5. К схеме

подключен датчик электрического режима 8, который связан с контроллером 7. В цепи нагрузки 6, индуктивности цепи 2 и блокирующего ключа 5 протекает ток i_0.

Индуктивность 2 специально вводится в состав цепи или она может быть образована индуктивностью нагрузки. Индуктивность проводников в цепи действия тока i_0 рассматривается как индуктивность нагрузки.

В качестве ключа 3 возможно использовать полупроводниковые приборы, например биполярные транзисторы с изолированным затвором, известные под названием БТИЗ (IGBT). В качестве блокирующего ключа 5 возможно использование любых известных полупроводниковых ключей или механических ключей.

МОВ 4 имеет свойства мгновенно поглощать электрическую энергию и рассеивать тепловую энергию. Уровень поглощаемой энергии ограничен максимально допустимой поглощаемой энергией.

Соединения между ключом 3 и МОВ 4 должны иметь минимальную индуктивность, что обеспечивает включение тока через МОВ 4 в ответ на снижение тока через ключ 3 в течение наносекундных интервалов времени.

Остающееся напряжение на МОВ 3, например, при использовании БТИЗ, не должно превышать максимально допустимого напряжения БТИЗ и его обратного диода, при любом возможном токе через БТИЗ. Например, если максимальный ток через БТИЗ может подниматься до 200 А, а максимальное напряжение прикладываемое к БТИЗ не должно превышать 1200 В, то МОВ должен обеспечить при токе 200 А остаточное напряжение до 1200 В.

Обратим внимание на процессы, происходящие в схеме, показанной на фигуре 1. В начальный момент времени включения ключей 3 и 5, ток в цепи отсутствует и далее формируется ток i_0 равный току i_{01} через ключи 3 и 5, нарастающий с определенной скоростью. Скорость нарастания тока (di_0/dt) ограничена индуктивностью 2, которая накапливает энергию. При достижении тока i_0 заданного уровня и/или по истечении определенного времени, контроллер 7 выключает ключ 3. Ток ключа 3 прерывается, а ток i_{02} через МОВ 4 достигает своего максимального значения за счет того, что индуктивность 2 отдает накопленную энергию в цепь. При этом формируется такое напряжение на МОВ 4, при котором $i_{01}=i_{02}$. (такой процесс возможен при быстром спаде тока через ключ 3). Далее, ток цепи i_0 монотонно затухает до нуля или до уровня статического тока через МОВ 4. С помощью переключений ключа 3, возможно регулировать ток цепи i_0 в течение времени, которое ограничено максимально допустимой поглощаемой энергией МОВ 4.

Соотношение накопленной энергии в индуктивности 2, времени выключения ключа 3 и нагрузки 6 должно быть таким, что бы этой энергии хватило, что бы сформировать импульс тока через МОВ 4 и нагрузку 6. Например, со скоростью спада тока, более чем в 5 раз превышающей скорость спада тока через ключ 3.

На фигуре 2 показаны график тока через быстродействующий ключ и через МОВ в функции времени (а) и график тока через нагрузку в функции времени (б). Из графиков следует, что после момента выключения ключа 3, разрядный ток i_{02} начинает монотонно затухать со скоростью спада тока, превышающей скорость спада тока через ключ 3. Выбрав моменты коммутации ключа 5, можно обеспечить его выключение при минимальном токе или в отсутствие тока.

Система коммутации ключей формирователя импульсов, согласно фигуре 1, под управлением контроллера 7, должна обеспечить включение ключей 3 и 5 в отсутствие электрического тока или при его минимальном уровне, а так же выключение блокирующего ключа 5 в отсутствие электрического тока или при его минимальном

уровне. Под минимальным током следует понимать ток, по меньшей мере, в 20 раз меньший максимального тока.

Если, не дожидаясь затухания тока i_{02}, включить ключ 3, то ток i_{01} начнет нарастать от текущего уровня тока i_{02}, до некоторого заданного значения, когда снова можно выключить ключ 3. На фигуре 3 изображены диаграммы (а и б) тока нагрузки при импульсной модуляции ключа 3 с различным коэффициентом заполнения импульсов. Очевидно, что при закрытом ключе 3, минимальный уровень тока i_0 будет определяться разрядным током i_{02}, который соответствует входному напряжению и вольтамперной характеристики МОВ 4. Максимальный уровень перенапряжения при коммутации не превысит остающееся напряжение на МОВ 4. Энергия, высвобождаемая при коммутации, поглощается МОВ 4. Использование высокой частоты модуляции ключа 3 (например, при использовании БТИЗ, частота может превышать 50 кГц), позволяет снизить индуктивность цепи 2 и повысить разрешающую способность регулирования амплитуды тока нагрузки в течение времени, ограниченного возможностью поглощать энергию МОВ 4.

На основе схемы фигуры 1 возможно построение стабилизатора амплитуды импульсов или формирователя импульсов регулируемой формы. Управление ключом 3 может выполняться с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), частотно-импульсной модуляцией (ЧИМ) или релейным управлением.

В схеме фигуры 1 возможно ограничить поглощаемую энергию МОВ 4 за счет создания разгрузочного пути тока i_{02} с помощью ключа 3 или ограничения запасаемой энергии в импульсных накопителях энергии цепи, шунтирования индуктивности 2 дополнительной цепью.

Максимально допустимая поглощаемая энергия МОВ 4 (суммарная поглощаемая энергия последовательно соединенных МОВ) должна составлять, по меньшей мере, 10% от энергии импульсного накопителя подключенного к формирователю.

В случае если входное напряжение источника 1 может подниматься выше классификационного напряжения МОВ 4, то оно должно прикладываться к МОВ 4 строго ограниченное время, что можно контролировать с помощью блокирующего ключа 5. Контроль режима МОВ 4 можно создать с помощью датчика тока или с помощью контроля температуры. Возможно объединение нескольких методов контроля для ограничения поглощаемой энергии МОВ 4.

Рассмотрим пример реализации изобретения в конкретном высоковольтном формирователе биполярных импульсов электрической энергии, который изображен на фигуре 4. Такое устройство может исползоваться для формирования дефибриллятором лечебных импульсов электрической энергии.

Импульсный ограничитель, выполненый в соответствии с пунктом 1 формулы изобретения, образуют три последовательно включенных ключа 3 на основе БТИЗ, которые зашунтированы МОВ 4. Цепи управления ключами 3 подключены к контроллеру 7 через устройства управления 10, которые формируют траекторию переключения ключей 3.

Для переключения полярности тока в нагрузке 6 используется мостовая электрическая схема Н-образной формы 9, известная в технике под названием Н-мост, на основе блокирующих ключей 5, которые могут быть выполнены, например, на тиристорах. Как уже было отмечено, в качестве блокирующих ключей 5 возможно применение механических переключателей выполненных по любой из множества известных релейных схем переключения полярности, например, на обычных или перекидных электромагнитных реле. В любом случае, включение и отключение

ключей 5 обеспечивается при малом или нулевом токе. Основное требование к ключам 5 - в состоянии низкой проводимости они должны блокировать ток при любом возможном напряжении источника энергии 1 и/или от напряжения, поступающего со стороны нагрузки.

В плечах Н-моста 9 установлена нагрузка 6, в которой формируется импульс тока прямой или обратной полярности. Верхние выводы Н-моста 9, через импульсный ограничитель тока и индуктивность 2 подключены к положительному выводу источника 1. Нижние выводы Н-моста 9 подключены к отрицательному выводу источника 1. К контроллеру 7 подключены цепи управления Н-мостом 9 и выход датчика 8.

Возможны различные варианты режимов работы схемы изображенной на фигуре 4. Ключи 3 и МОВ 4, а так же Н-мост 9 позволяют обеспечить формирование биполярных импульсов разряда на нагрузке 6 в резонансном режиме (см. фигуру 2) и/или регулируемом режиме (см. фигуру 3). Переключение ключей 3 может выполняться контроллером 7 синхронно или индивидуально. Очевидно, что возможность индивидуального (несинхронного) переключения последовательно соединенных ключей 3 обеспечивает МОВ 4, даже при превышении напряжения источника 1 суммарного напряжения ключей 3, оставшихся в состоянии низкой проводимости. Снижение скорости изменения тока в нагрузке 6 при выключении ключей 3 как в регулируемом, так и в резонансном режиме, повышает надежность работы формирователя, снижает требования к устойчивости изолирующих схем управления ключами 3 и ключами 5.

На фигуре 5 изображен график перехода тока из положительной фазы в отрицательную фазу, сформированную с помощью МОВ 4. При снижении энергии заряженного конденсатора источника 1 или энергии индуктивности цепи 2 до критического уровня, при котором напряжение, прикладываемое к МОВ 4, снижается ниже уровня классификационного напряжения, ток цепи меняет направление. Остаточная энергия индуктивности 2 формирует короткий импульс отрицательного тока (i_{03}).

Другими словами, в результате ограниченного МОВ 4 переходного процесса малой длительности формируется межфазная пауза (см. фигуру 5). При выключении ключа 3 в течении 1 мкс, ток в нагрузке 6 спадает за интервал времени (t2-t1), значительно превышающий время выключения ключа 3. Таким образом, МОВ 4 обеспечивает возможность быстродействующего выключения ключей 3 в любой момент времени с малыми коммутационными перегрузками и последующее выключение ключей 5 в отсутствие тока цепи, как при резонансном разряде, так и при управляемом разряде энергии импульсных накопителей энергии. Используя скоростное отключение ключей 3 возможно защитить формирователь импульсов от повышенных токов в нагрузке (см. фигуру 2). В качестве порогового датчика тока перегрузки можно использовать калиброванные параметры одного из БТИЗ ключей 3.

Изобретение допускает введение дополнительных цепей для поглощения энергии индуктивности 2 и/или использование нескольких индуктивностей. Возможно использование формирователя по схеме понижающего импульсного преобразователя с высокой энергоэффективностью (см. патент РФ №2398347) при сохранении принципов настоящего изобретения. При этом часть энергии индуктивности, при выключении ключей рассеивается в МОВ, а оставшаяся часть замыкается через диоды в нагрузку.

На фигуре 6 показана энергоэффективная схема для формирования биполярных

электрических импульсов. Часть энергии индуктивности замыкается через нагрузку 6 с помощью обратных диодов 11, которые обеспечивают цепь тока между верхним выводом индуктивности 2 и нижним выводом моста 9.

На фигуре 7 показан пример сформированного биполярного импульса управляемого разряда на нагрузке 6 с использованием МОВ 4.

Применение изобретения возможно в системах искусственной коммутации электрической энергии. Использование формирователя для искусственной коммутации позволяет обеспечить переключения ключа основной цепи при нуле тока. При этом формирователь обеспечивает быстродействующую адаптацию цепи искусственной коммутации к текущему электрическому режиму нагрузки. Например, при включении и выключении силового однооперационного тиристора или механических ключей в цепях постоянного и переменного тока. При этом запас энергии импульсного накопителя мог бы достигать 100 МДж, а перенапряжения такой системы были бы минимальны за счет регулирования активной составляющей тока цепи искусственной коммутации на высокой частоте с помощью МОВ. Возможно переключение нагрузки от одного источника энергии к другому источнику энергии без изменения тока нагрузки. При этом на время коммутации источников, ток нагрузки может формироваться упомянутой цепью искуственной коммутации, включающей предлагаемый формирователь импульсов.

Предоставляется возможность последовательного соединения большого числа быстродействующих ключей на высоком напряжении, которое может превышать суммарное максимально допустимое напряжение быстродействующих ключей при их синхронном или несинхронном включении.

Технический результат достигают за счет того, что быстродействующие ключи зашунтированы МОВ с параметрами, которые в сочетании со скоростным выключением быстродействующего ключа и энергией в импульсном накопителе, обеспечивают длительное, по сравнению со временем выключения быстродействующего ключа сохранение тока нагрузки. Формирователь обеспечивает быстрое включение, отключение или ограничение электрической энергии в нагрузке и защиту ключей формирователя и других устройств, которые физически связанны с формирователем. С помощью МОВ обеспечивается возможность регулировать ток нагрузки в течение ограниченных интервалов времени, переключая ток цепи между быстродействующим ключом и активным сопротивлением МОВ на низкой или высокой частоте. Формирователь настраивается таким образом, что обеспечивает включение быстродействующих и блокирующих ключей в отсутствие электрического тока, высокоскоростное отключение быстродействующего ключа с переходом тока в МОВ и выключение блокирующего ключа в отсутствие электрического тока.

Изобретение снимает ограничения по количеству срабатываний МОВ из-за потери автоэлектронной эмиссии. Исключены ненормированные энергетические воздействия, характерные для применения МОВ в качестве ограничителей внешних перенапряжений. Использование блокирующего ключа исключает длительное воздействие напряжения на МОВ, что так же существенно увеличивает надежность изоляции МОВ при выполнении коммутационных операций.

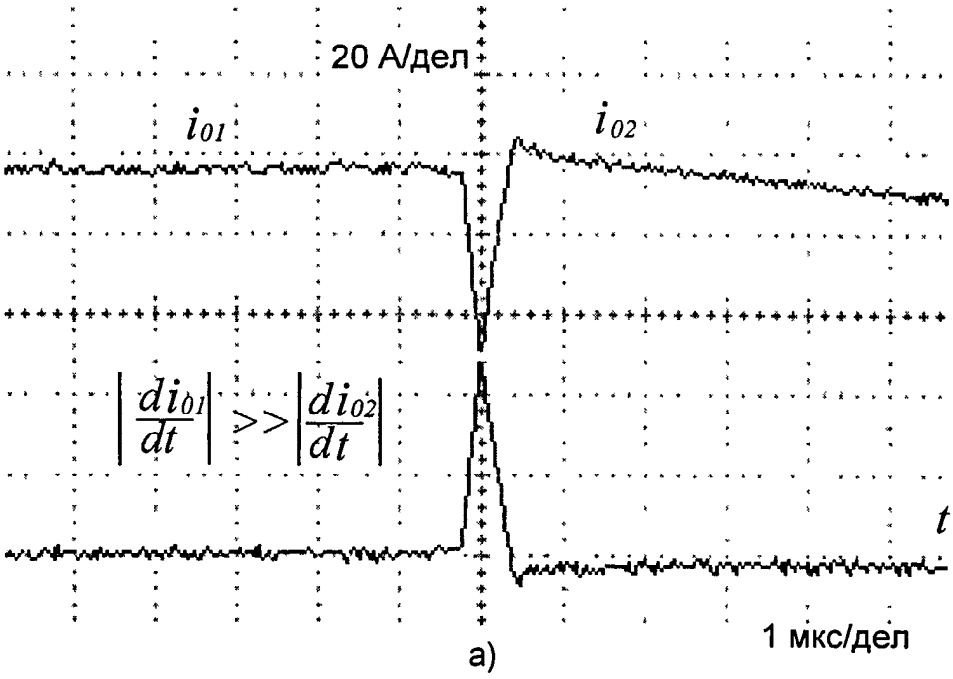
Таким образом, цель изобретения - разработка формирователя электрической энергии, который способен обеспечить высокую мощность импульса (высокое напряжение и/или ток) с возможностью ограничения тока, а также способного уменьшить коммутационные всплески напряжения и резонансные колебания в нагрузке, повысить надежность ключей и устройств, физически связанных с данным

формирователем электрической энергии - достигнута.

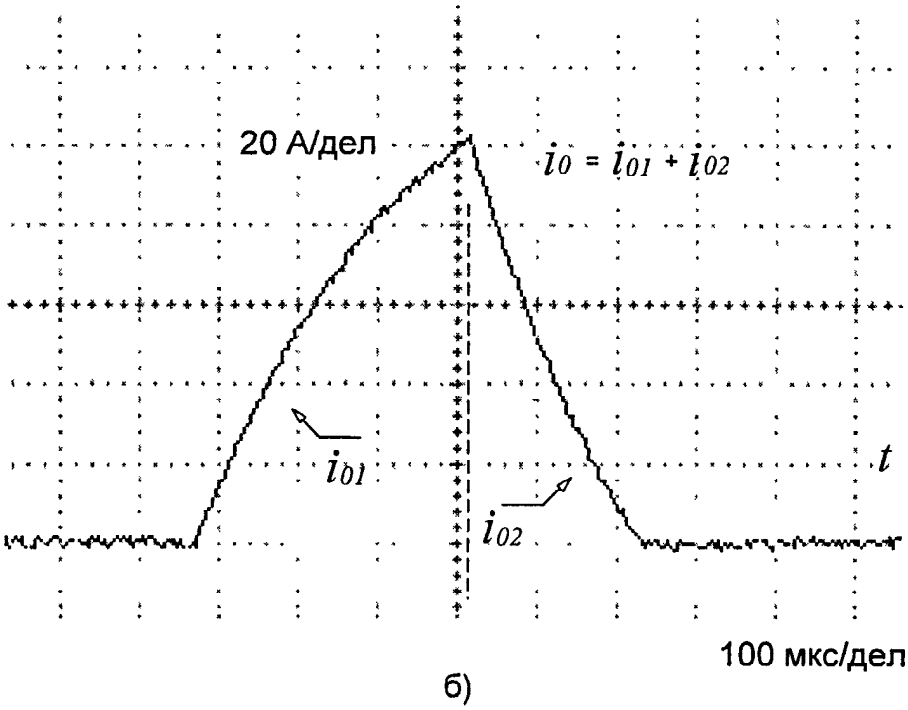
Формула изобретения

1. Формирователь импульсов энергии, в цепи которого установлены импульсные накопители электрической энергии: индуктивность и/или заряженный конденсатор и нагрузка, содержащий ключи, по меньшей мере, один полностью управляемый быстродействующий ключ с параллельной защитной цепью, которая ограничивает напряжение при выключении быстродействующего ключа, последовательно с быстродействующим ключом (ключами) установлен, по меньшей мере, один блокирующий ключ (полупроводниковый или механический), который может блокировать или пропускать ток цепи, контроллер, подключенный к цепям управления ключей через соответствующие устройства управления, интервалы включения всех ключей определенным образом синхронизируются контроллером как при допустимых состояниях нагрузки и источника электроэнергии, так и при отклонении от допустимых состояний, которые не зависят от формирователя, отличающийся тем, что защитная цепь включает, по меньшей мере, металлооксидный варистор (МОВ), подключенный к быстродействующему ключу, образуя импульсный ограничитель тока, при этом МОВ задают параметры, которые после скоростного отключения быстродействующего ключа (при наличии определенной энергии в индуктивности цепи и/или заряженном конденсаторе), обеспечивают более длительное по сравнению со временем выключения быстродействующего ключа сохранение тока нагрузки, с максимально допустимой поглощаемой энергией МОВ или суммарной максимально допустимой поглощаемой энергией последовательно соединенных МОВ, которая составляет, по меньшей мере, 10% от энергии импульсных накопителей энергии формирователя, при этом напряжение на МОВ не должно превышать максимально допустимое напряжение быстродействующего ключа, в том числе и при максимально возможном токе нагрузки, в цепи действия тока нагрузки установлен датчик электрического режима и подключен к контроллеру формирователя, регулирующему ток нагрузки на низкой или высокой частоте.

2. Формирователь по п.1, отличающийся тем, что последовательно с импульсным ограничителем тока введены дополнительные блокирующие ключи, образующие схему для переключения направления тока в нагрузке.

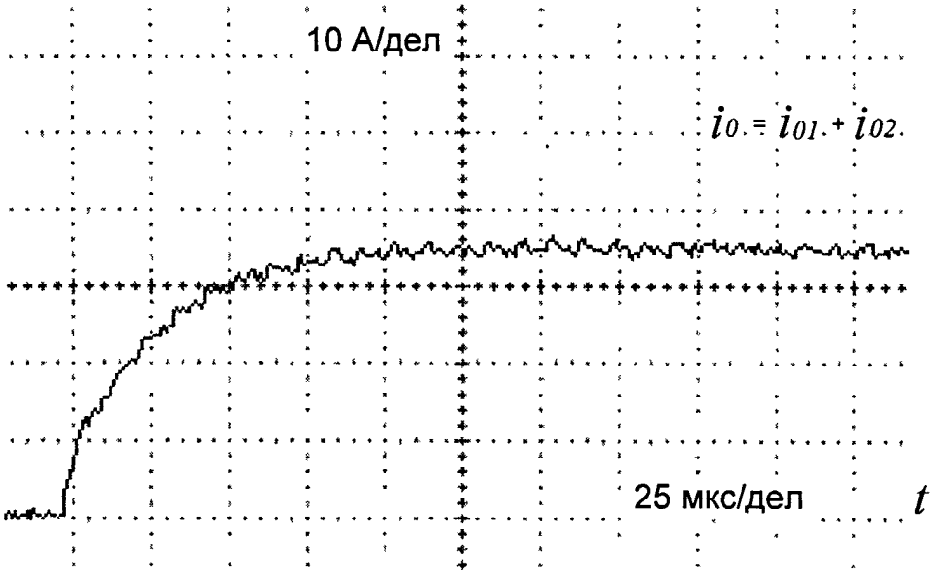

20 А/дел
i_{01}
i_{02}
$\left|\frac{di_{01}}{dt}\right| >> \left|\frac{di_{02}}{dt}\right|$
t
1 мкс/дел

а)

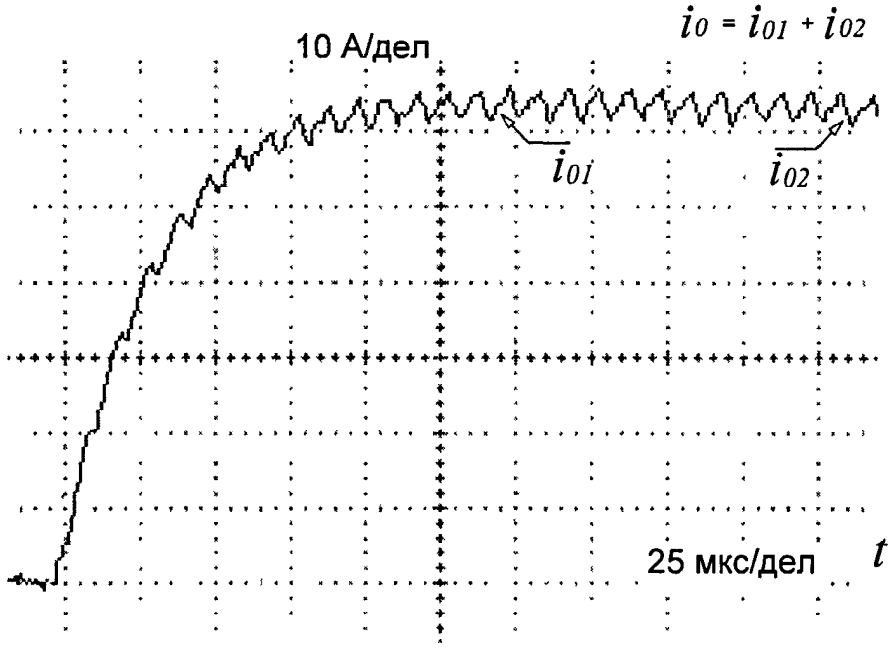

20 А/дел
$i_0 = i_{01} + i_{02}$
i_{01}
i_{02}
t
100 мкс/дел

б)

Фиг.2

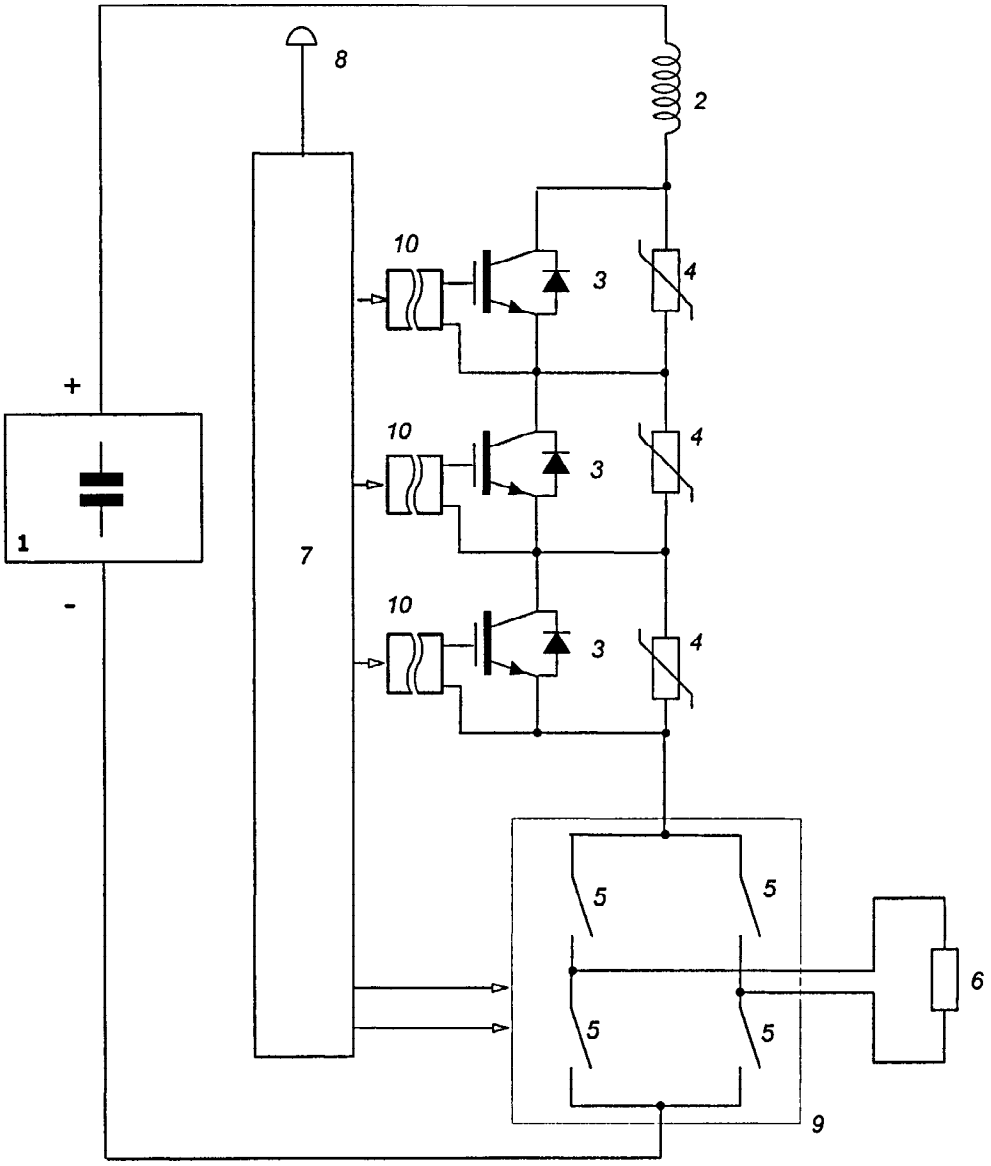

10 А/дел
$i_0 = i_{01} + i_{02}$
25 мкс/дел
t

а)

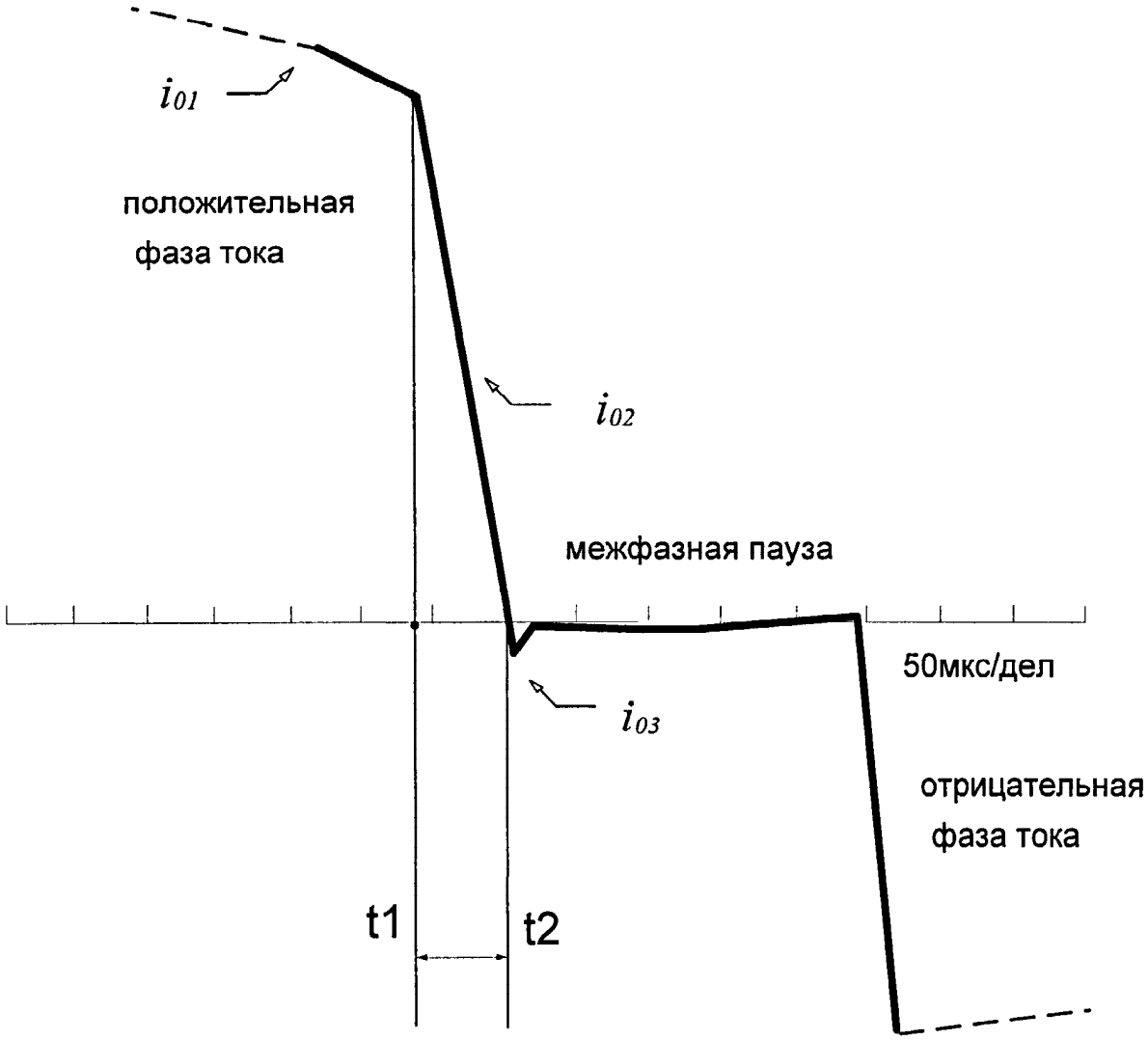

$i_0 = i_{01} + i_{02}$
10 А/дел
i_{01}
i_{02}
25 мкс/дел
t

б)

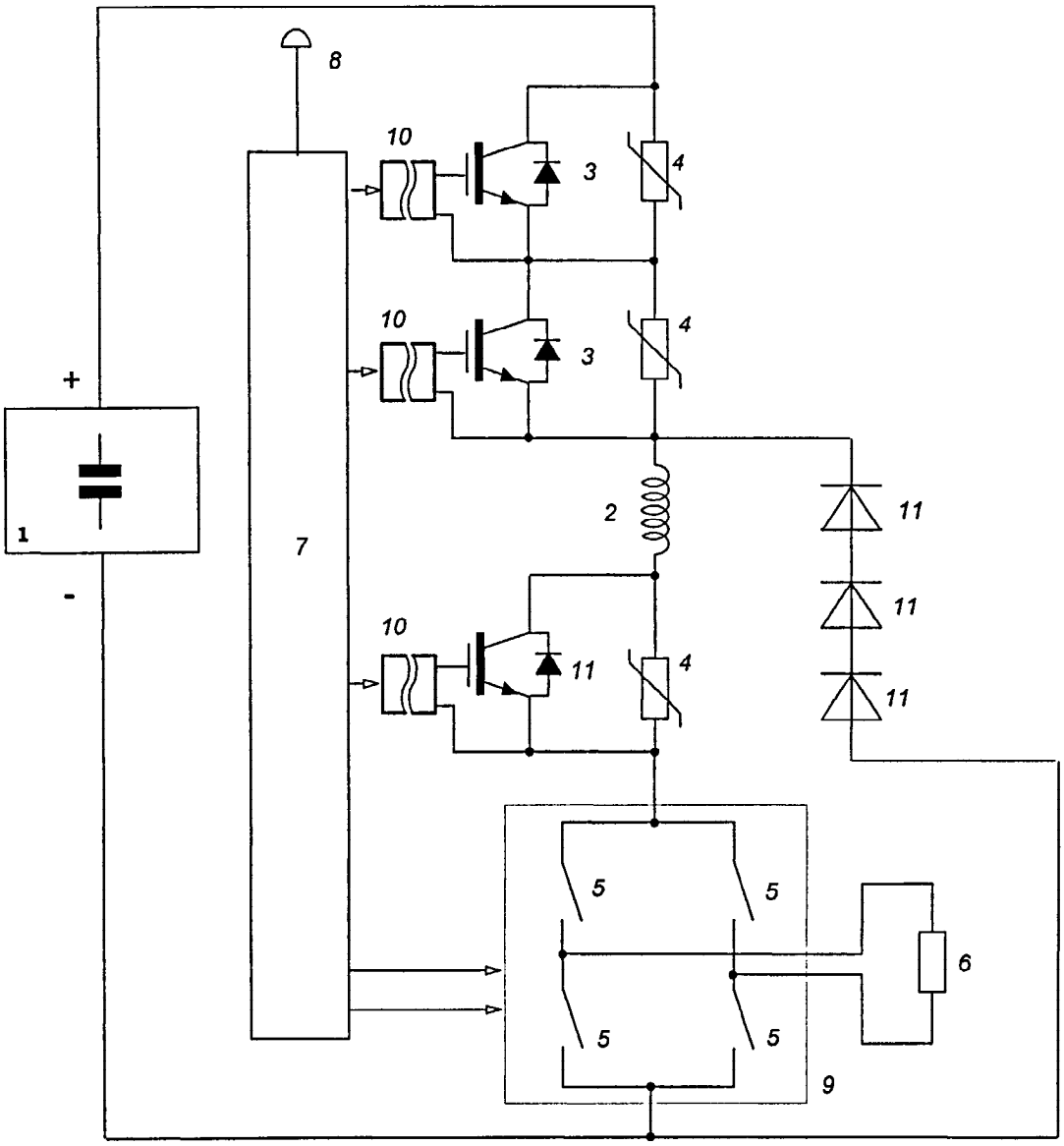
Фиг.3



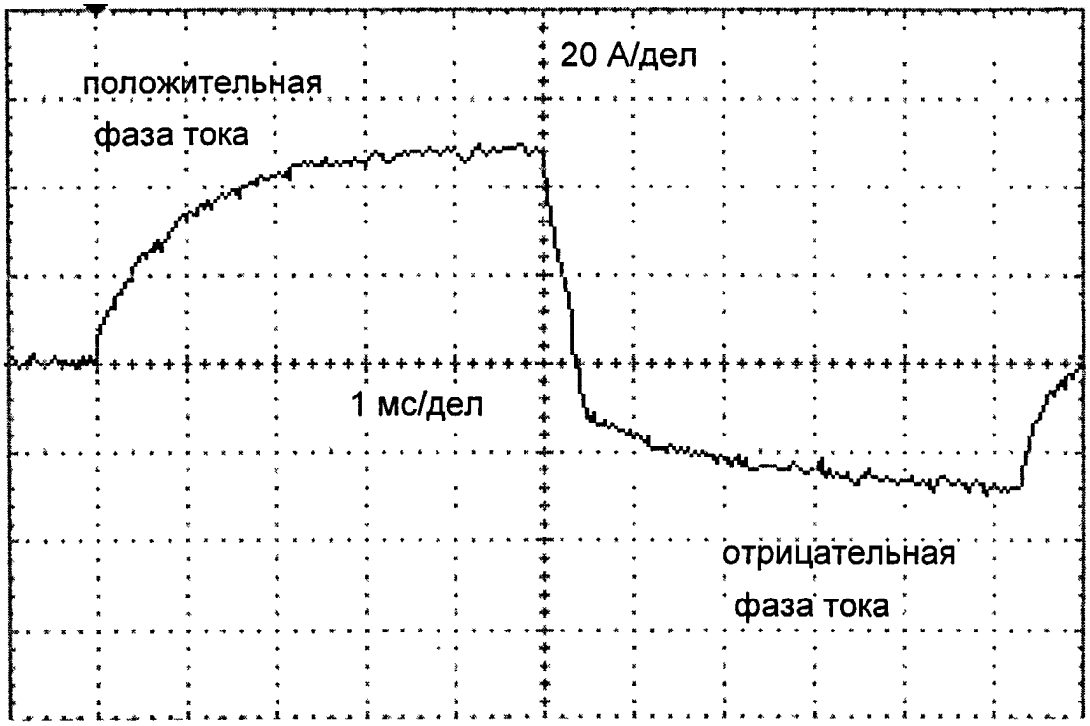
Фиг 4


i_{01}
положительная
фаза тока
i_{02}
межфазная пауза
50мкс/дел
i_{03}
отрицательная
фаза тока
t1
t2

Фиг.5



Фиг.6


положительная
фаза тока
20 А/дел
1 мс/дел
отрицательная
фаза тока

Фиг.7