



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ(21), (22) Заявка: **2009130331/09, 06.08.2009**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
06.08.2009(45) Опубликовано: **27.08.2010** Бюл. № **24**(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **RU 696851 U1, 27.12.2007. RU 23445475 C1,**
27.01.2009. US 2005228453 A, 13.10.2005.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)

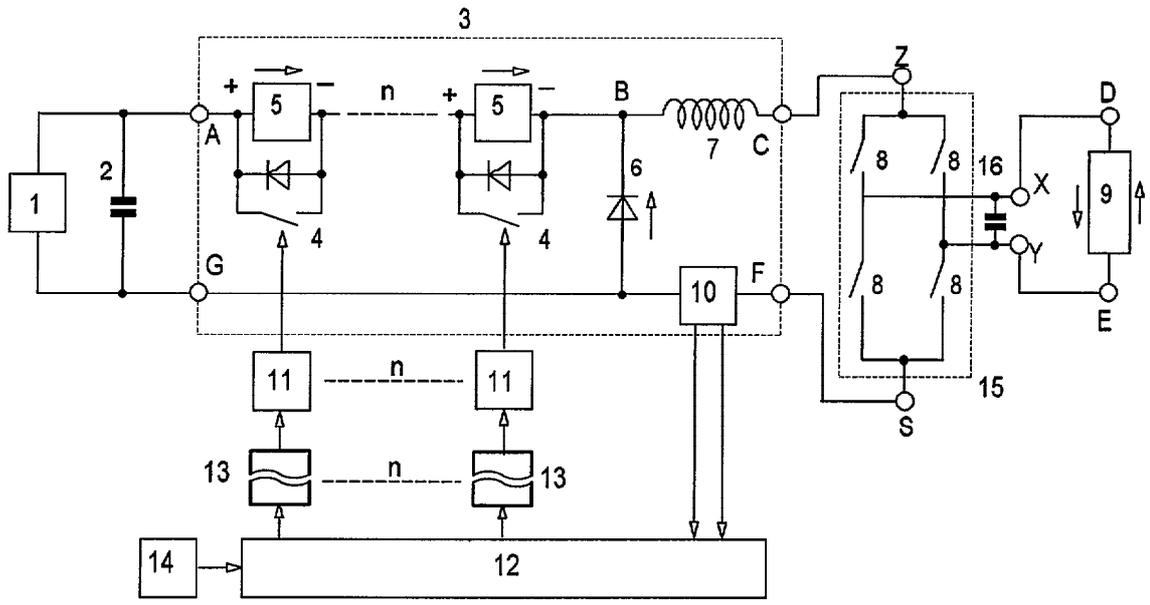
(73) Патентообладатель(и):

Горохов-Мирошников Евгений
Эдуардович (RU)**(54) ФОРМИРОВАТЕЛЬ ИМПУЛЬСОВ ЭНЕРГИИ С РЕГУЛИРУЕМОЙ ФОРМОЙ**

(57) Реферат:

Изобретение направлено на улучшение основных параметров формирователя импульсов с регулируемой формой. Технический результат достигают за счет того, что обеспечивают разряд энергии при высоких допустимых напряжениях высокочастотного ключа или высоковольтного столба на его основе. Такую возможность обеспечивают установкой защитной цепи со свойствами ограничителя напряжения в специальном режиме применения, введением низкочастотного ключа и быстродействующим режимом стабилизации тока формирователя импульсов. С ростом максимально допустимого напряжения заряда емкостного накопителя энергии появляется возможность увеличить энергию регулируемых импульсов, диапазон регулирования параметров импульса и/или снизить габариты емкостного

накопителя энергии. Возможность увеличения рабочей частоты ВЧ-ключа способствует точности задания формы регулируемого импульса. Излишне высокое напряжение заряда накопителя энергии приводит к быстрому преобразованию избыточной энергии в тепловую энергию, выделяемую в защитной цепи. При этом снижаются динамические потери при каждом переключении ВЧ-ключа и частота его переключений на критическом участке разряда. Энергия импульса может нарастать, спадать в один или несколько этапов, изменять направление, колебаться относительно заданных уровней не зависимо от изменения сопротивления нагрузки. Формируемое распределение энергии в импульсе может быть predetermined или адаптируемым к технологической нагрузке. 5 з.п.ф-лы, 8 ил.



Фиг.4



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.
H02M 7/537 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **2009130331/09, 06.08.2009**

(24) Effective date for property rights:
06.08.2009

(45) Date of publication: **27.08.2010 Bull. 24**

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 WITH CONTROLLED SHAPE

(57) Abstract:

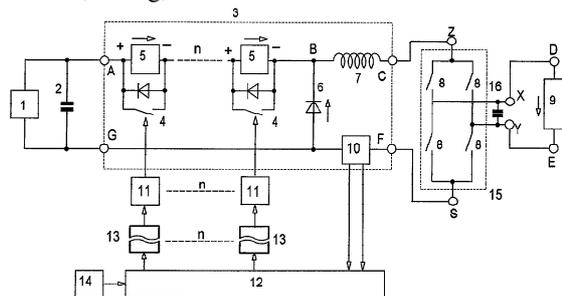
FIELD: electricity.

SUBSTANCE: energy discharge is provided at high permissible voltages of high-frequency switch or high-voltage pillar on its basis. Such possibility is provided through installation of protective circuit with properties of voltage limiter in special mode of application, introduction of low frequency switch and quick-acting mode of pulse shaper current stabilisation. As maximum permissible voltage of capacitance energy accumulator grows, it becomes possible to increase energy of controlled pulses, range of pulse parametres control and/or reduce dimensions of capacitance energy accumulator. Possibility to increase working frequency of HF switch assists in accuracy of setting shape of controlled pulse. Excessively high voltage of energy accumulator charge results in fast conversion of excessive energy into thermal energy released in protective circuit. At the same time dynamic losses

at each switching of HF-switch are reduced, as well as frequency of its switchovers at critical part of discharge. Energy of pulse may grow, collapse in one or several stages, change direction, oscillate relative to specified levels independently on change in load resistance. Generated distribution of energy in pulse may be pre-determined or adaptable to process load.

EFFECT: improved main parametres of pulse shaper with adjustable shape.

6 cl, 8 dwg, 5 ex



Фиг.4

RU 2 398 347 C1

RU 2 398 347 C1

Области техники, к которым относится изобретение

5 Может применяться в формирователях электрических импульсов для электротехнологий различного назначения, использующих разряд емкостного накопителя энергии. Например, в медицинских приборах, в импульсных генераторах
10 для плазменных и электрохимических технологий, в электротехнических установках, в измерительном и испытательном оборудовании, в генераторах излучений, в электроприводе. Изобретение полезно при воздействии на технологические нагрузки с нелинейным эффектом, когда более желательное воздействие с оптимальным распределением энергии.

Уровень техники

15 Известен высоковольтный импульсный модулятор, формирующий разряд емкостного накопителя энергии на технологическую нагрузку (Патент РФ на полезную модель 69685 от 27.12.2007, **ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ МОДУЛЯТОР**). Высоковольтные транзисторы соединяют в высоковольтный столб и шунтируют импульсными диодными ограничителями напряжения. Высоковольтный столб из двенадцати ячеек ($n=12$) с транзисторами IRFPG50 проверялся на
20 напряжении 9000 В. Недостатки импульсного модулятора: форма формируемого импульса полностью зависит от спада напряжения емкостного накопителя энергии и параметров нагрузки; импульсный модулятор не может работать при напряжении питания, превышающем напряжение пробоя импульсных диодных ограничителей.

25 Известен генератор АНР-3122, представляющий собой источник сигналов произвольной формы, задаваемых пользователем с помощью математических выражений, по шаблону либо графически. Максимальный размах выходного напряжения прибора не более ± 10 В на нагрузке 50 Ом. Прибор зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений № 27123-04. Недостаток прибора - отсутствие контроля над формируемым сигналом и низкая мощность источника
30 сигнала произвольной формы.

Известен формирователь биполярных импульсов, у которого два ключа в плечах моста работают на высокой частоте, а два ключа работают на низкой частоте (комбинированная схема моста). Известен формирователь импульсов, у которого
35 вместо моста используют два емкостных накопителя энергии и два ключа. Известен формирователь импульсов с использованием ячеек с делителем напряжения на конденсаторах емкостного накопителя энергии.

EP 0813892 A2, 29.12.1997, DEFIBRILLATOR WITH WAVEFORM SELECTION CIRCUITRY.

40 US Patent № 6,493,580 B1, 10.12.2002, IMPULSES OR A SERIES OF IMPULSES FOR DEFIBRILLATION AND DEVICE TO GENERATE THEM.

PCT/EP2003/012857, 17.11.2003, DEFIBRILLATOR WITH IMPROVED OUTPUT STAGE.

Патент РФ 2345475 от 27.01.2009, **УСТРОЙСТВО ФОРМИРОВАНИЯ БИПОЛЯРНОГО И МНОГОФАЗНОГО СИГНАЛОВ**.

45 Применение двух или более изолированных преобразователей вызывает усложнение и удорожание формирователя импульсов.

Известно описание устройства, синтезирующего выходной сигнал малой длительности, который порождается рядом генераторов коротких импульсов.
50 Формируемые импульсы настраиваются по амплитуде, длительности, ширине и полярности. US Patent 7,545,304 B1, 09.06.2009, DISTRIBUTED ARBITRARY WAVEFORM GENERATOR. Недостаток - требуется большое количество ключей с контурами управления.

Известно описание формирователя импульсов большой мощности с применением нескольких ячеек преобразователей понижающего типа, работающих в режиме импульсной модуляции с разделением напряжения на конденсаторной батарее емкостного накопителя энергии. Четыре ключа НЧ-коммутатора используются для переключения полярности импульсов и два ключа для разрыва высоковольтной цепи (См. фиг.2, US Patent № 6,546,287 В1, 08.04.2003, CONTROLLED-POWER DEFIBRILLATOR AND METHOD OF DEFIBRILLATION). Применение нескольких последовательных ячеек преобразователей обусловлено технологическими ограничениями, накладываемыми на максимально допустимое обратное напряжение транзисторов массовых серий выпуска, преимущественно до 1200 В. Недостатки - требуются дополнительные ключи с контурами управления и увеличенные габариты емкостных и индуктивных накопителей энергии.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому положительному эффекту и принятым за прототип является формирователь импульсов с управляемой энергией, содержащий преобразователь понижающего типа (См. фиг.7, US Patent № 7,200,434, 03.04.2007, CONTROL OF ARBITRARY WAVEFORMS FOR CONSTANT DELIVERED ENERGY). Используют высокоскоростную коммутацию (до 500 кГц) для формирования импульсов управляемой формы до 3 кВт и напряжения на нагрузке до 1000 В. Форма импульсов контролируется импульсным модулятором с контуром обратной связи по напряжению в нагрузке. Используют четыре полностью управляемых ключа в низкочастотном коммутаторе для переключения направления тока в технологической нагрузке. Недостаток - низкая энергия импульсов.

Использование разделения напряжения емкостного накопителя энергии, применение нескольких преобразователей в различных схемах их соединения не решают проблемы генерации импульсных тепловых потерь переключения в высокочастотных ключах и мощных перенапряжений на их выводах.

Раскрытие изобретения

Изобретение направлено на увеличение энергии формируемых импульсов, повышение точности и расширение диапазона регулирования их параметров, уменьшение габаритов, увеличение надежности формирователя.

Технический результат достигают за счет того, что преобразователь формирователя импульсов содержит один или несколько последовательно соединенных ВЧ-ключей, образующих секции высокочастотного столба (ВЧ-столба) с постоянной обратной проводимостью.

Управление ВЧ-ключом (секциями ВЧ-столба) обеспечивают от гальванически изолированного импульсного модулятора через изоляторы логических сигналов посредством высокочастотных драйверов. Импульсный модулятор регулирует переключения ВЧ-ключа (секций ВЧ-столба) на высокой частоте и содержит, по меньшей мере, контур обратной связи по току в цепи технологической нагрузки с возможностью продолжения работы преобразователя в режиме короткого замыкания в цепи технологической нагрузки.

Параллельно ВЧ-ключу или каждой секции ВЧ-столба установлена защитная цепь со свойствами ограничителя напряжения таким образом, что обеспечивается ограничение напряжения на ВЧ-ключе (секциях ВЧ-столба) на уровне, который не превышает максимального напряжения, при котором ВЧ-ключ или секции ВЧ-столба сохраняют блокирующую способность.

В цепи формируемого импульса тока установлен, как минимум, один низкочастотный ключ (НЧ-ключ) с контуром управления. НЧ-ключ сохраняет

блокирующие свойства при напряжении, превышающем максимально допустимое напряжение заряда емкостного накопителя энергии.

НЧ-ключ включают только на время фазы формирования тока и одновременно начинают высокочастотное переключение ВЧ-ключа (ВЧ-столба). При включении ВЧ-ключа (ВЧ-столба) ограничивают ток его включения посредством индуктивного накопителя энергии. При его выключении по мере спада тока разряда и роста напряжения на ВЧ-ключе (секциях ВЧ-столба) обеспечивают режим автоматического перехода выключаемого тока в защитную цепь. Отключают НЧ-ключ и прерывают действие нерегулируемого тока защитной цепи в технологической нагрузке после стационарного выключения ВЧ-ключа (ВЧ-столба) и завершения фазы формирования импульса.

Формирование тока обеспечивают через мостовой переключатель полярности (мост) с четырьмя НЧ-ключами, образующими плечи моста. Между плечами моста установлена технологическая нагрузка.

Мост выполнен на основе однооперационных триодных тиристоров (ОТТ). В цепи действия формируемого тока устанавливают дополнительный НЧ-ключ. Нерегулируемый ток отключают или резко уменьшают дополнительным НЧ-ключом.

Импульсный модулятор гальванически изолирован, кроме участка подключения его измерительных цепей к датчику тока.

Для формирования импульсов используют: два или более преобразователя с НЧ-ключами; комбинированную мостовую схему, содержащую, как минимум, один преобразователь и НЧ-ключи; преобразователи с НЧ-ключами при разряде отдельных и/или общих емкостных накопителей энергии, одновременно или в разных фазах.

Описание чертежей

На фиг.1 изображена схема формирователя импульсов энергии.

На фиг.2 изображена схема трехфазного двухсекционного столба.

На фиг.3 изображены импульсы тока разряда и тока обратного диода.

На фиг.4 изображена схема формирователя импульсов энергии с мостом.

На фиг.5 изображена схема с двумя формирователями импульсов энергии.

На фиг.6 изображена схема с мостом на ОТТ и дополнительным НЧ-ключом.

На фиг.7 изображен сформированный импульс с мощностью 40 кВт.

На фиг.8 приведены примеры распределения энергии.

Осуществление изобретения

Пример 1. В схеме фиг.1 формирователь импульсов энергии регулируемой формы содержит источник высокого напряжения 1 с максимальным напряжением $U_{с_макс}$, параллельно которому подключен емкостной накопитель энергии 2 с емкостью C_n . Преобразователь 3 (реализован по схеме понижающего импульсного преобразователя) содержит два последовательно включенных ВЧ-ключа 4 с постоянной обратной проводимостью. Положительный потенциал источника высокого напряжения 1 (точка А) подключен к положительному выводу первого ВЧ-ключа 4. К выводам каждого ВЧ-ключа 4 подключена защитная цепь со свойствами ограничителя напряжения 5. Отрицательный вывод второго ВЧ-ключа 4 подключен к точке соединения катода обратного диода 6 и первого вывода индуктивного накопителя энергии 7 (точка В) с индуктивностью L_n . Анод обратного диода 6 подключен к точке отрицательного потенциала источника высокого напряжения 1 (точка Г). Между вторым выводом индуктивного накопителя энергии 7 (точка С) и верхним выводом внешней технологической нагрузки 9 (точка D) установлен

низкочастотный ключ 8 (НЧ-ключ). Нижний вывод технологической нагрузки 9 (точка Е) подключен через датчик тока 10 к точке отрицательного потенциала источника высокого напряжения 1 (точка G). К управляющим входам ВЧ-ключей 4 подключены ВЧ-драйверы 11, работающие под управлением логических сигналов импульсного модулятора 12 (драйверы формируют траектории переключения ВЧ-ключей). Изоляторы сигналов управления 13 изолируют потенциалы ВЧ-драйверов 11 и импульсного модулятора 12, обеспечивая прохождение логических сигналов с минимальной задержкой.

К импульсному модулятору 12 подключен формирователь опорного сигнала 14, который содержит задатчик формы опорного сигнала и задатчик масштаба опорного сигнала (на фиг.1 не показаны). Импульсный модулятор 12 содержит формирователь сигнала рассогласования, формирователь частоты и длительности импульсов управления ВЧ-ключами 4 (на фиг.1 не показаны). Импульсный модулятор 12 обеспечивает режим управления методами широтно-импульсной модуляции или частотно-импульсной модуляции. При формировании импульсов управления импульсным модулятором 12 возможен учет и иных параметров технологического процесса. Дополнительные контуры обратной связи и цепи контроллера для упрощения схемы на фиг.1 не показаны. Емкостной накопитель энергии 2 реализован в виде конденсаторной батареи. Индуктивный накопитель энергии 7 реализован в виде линейного дросселя. Линейный дроссель 7 сглаживает пульсации тока за счет накопления энергии, поддерживает ток в периоды его прерывания и является одновременно элементом низкочастотного RL-фильтра с индуктивностью, например, от 1 до 10 мГн и активным сопротивлением линейного дросселя до 5 Ом.

НЧ-ключ 8 обеспечивает прекращение действия тока в технологической нагрузке 9 и реализуется на приборах, способных коммутировать максимальное напряжение заряда $U_{с_макс}$, причем $U_{блок_нч} > U_{с_макс}$, где $U_{блок_нч}$ - напряжение, при котором НЧ-ключ 8 сохраняет блокирующую способность.

Обратный диод 6 должен иметь малое время обратного восстановления, а его блокирующая способность должна сохраняться при напряжении, превышающем $U_{с_макс}$.

Для увеличения предельной частоты переключения в преобразователе 3 (см. фиг.1) ВЧ-ключи 4 допускают реализацию в параллельном включении. На фиг.2 показан пример соединения ВЧ-ключей 4 в трехфазный высокочастотный столб, содержащий две секции. Последовательно включенные ВЧ-ключи 4 переключаются синхронно. Параллельно включенные ВЧ-ключи 4 переключаются в разных фазах.

В качестве ВЧ-ключей 4 используют биполярные транзисторы с изолированным затвором (БТИЗ), мощные полевые транзисторы или другие полностью управляемые полупроводниковые ключи. Блокирующая способность ВЧ-ключей 4 определяется максимально допустимым напряжением $U_{блок_вч}$.

При работе ВЧ-ключей 4 на высокой частоте формируются мощные выбросы перенапряжения с крутыми фронтами, ограничивающие использование ВЧ-ключей на высоком напряжении. При возникновении импульса перенапряжения защитная цепь 5 резко уменьшает свое динамическое сопротивление $R_d = f(U_{огр})$ и шунтирует ВЧ-ключ 4, рассеивая поглощенную энергию в виде тепла, ограничивая напряжение на уровне

$$U_{огр} \leq U_{блок_вч},$$

где $U_{огр}$ - напряжение ограничения при токе разряда $I_{разр_огр}$ через защитную цепь.

В качестве ограничителя напряжения для защитной цепи 5 используют диодные ограничители напряжения, варисторы или комбинацию цепей, работающих на различных физических эффектах. Комбинация защитных цепей обеспечивает заданное напряжение ограничения, максимальный ток ограничения, максимальную энергию, время срабатывания, проходную емкость. Известные технические решения позволяют обеспечить защиту ВЧ-ключей 4 в схеме фиг.1, но с недостаточным использованием ВЧ-ключей по напряжению. Ограничители напряжения с резким переходом от состояния блокирования тока к состоянию низкого динамического сопротивления $R_d = f(U_{огр})$ пока не созданы, а и их применение в схеме фиг.1 не решило бы проблемы выделения огромной активной пиковой мощности при высокочастотных переключениях ВЧ-ключа на предельных напряжениях. Особенность применения защитной цепи 5 в схеме фиг.1 заключается в том, что она срабатывает на участках низкого динамического сопротивления при приложении к ВЧ-ключам 4 относительно низкого напряжения. Между максимальным напряжением $U_{с_макс}$, напряжением $U_{блок_вч_i}$ секции ВЧ-столба, напряжением ограничения $U_{огр_i}$ секции защитной цепи 5 выполняются соотношения:

$$\sum_{i=1}^n U_{блок_вч_i} = k_{зап} U_{с_макс}$$

и

$$\sum_{i=1}^n U_{огр_i} \leq \sum_{i=1}^n U_{блок_вч_i},$$

где n - число секций ВЧ-столба.

Значение коэффициента $k_{зап}$ может составлять от 1 до 1,2. Допускают напряжение заряда емкостного накопителя, превышающего максимально допустимое напряжение ВЧ-ключа (ВЧ-столба), то есть при $k_{зап} < 1$, но при условии, что защитная цепь 5 строго обеспечивает для каждой секции ВЧ-столба соотношение $U_{огр} \leq U_{блок_вч}$.

При замыкании точек С и F (фиг.1) ток $I_{разр_огр}$ протекает через защитную цепь 5 при заряде емкостного накопителя энергии 2 и выделении нежелательной тепловой энергии в защитной цепи 5, способной ее повредить. Чтобы избежать нежелательного тока разряда, предусматривается, что НЧ-ключ 8 включается только в фазе формирования регулируемого импульса тока.

С началом разряда энергии при высоком напряжении заряда емкостного накопителя энергии 2 обеспечивают режим пассивного высокочастотного переключения ВЧ-ключей 4. Рост их тока включения ограничен последовательно включенным линейным дросселем 7. При их выключении защитная цепь 5 принимает часть прерываемого тока разряда $I_{разр_вч}$. Другими словами, режим пассивного переключения ВЧ-ключей 4 обеспечивает снижение доли изменения энергии в коммутируемом контуре при фазах включения и выключения ВЧ-ключей. Потери переключения в ВЧ-ключах 4 уменьшаются при их включении или выключении при действии тока защитной цепи 5. Например, в ситуации, когда защитная цепь 5 обеспечивает протекание непрерывного тока разряда, по меньшей мере, при низком сопротивлении технологической нагрузки и максимальном напряжении заряда $U_{с_макс}$ емкостного накопителя энергии 2. На фиг.3 приведены импульсы тока $I_{разр_вч}$ через ВЧ-ключ 4 и $I_{разр_огр}$ через защитную цепь 5 и импульсы тока $I_{обр}$ через обратный диод 6 (при $U_{с} = 2200$ В и коротком замыкании между точками D и E). При увеличении напряжения $U_{с}$ растет ток $I_{разр_огр}$ через защитную цепь 5 и существенно уменьшается число переключений ВЧ-ключа 4 с генерацией тепловой энергии в защитной цепи 5. Защитная цепь 5 выполняет динамическое симметрирование напряжения на ВЧ-ключах 4 при несинхронном переключении

последовательно включенных ВЧ-ключей 4. Максимальная мощность защитной цепи 5 не должна превышать при коротком замыкании между точками D и E.

Использование обратной связи по току способно обеспечить безопасную работу ВЧ-ключа 4 и НЧ-ключа 8 при коротком замыкании в цепи формируемого тока и уменьшить число переключений ВЧ-ключа 4 при действии тока защитной цепи 5. Для этого время задержки выключения тзад ВЧ-ключа 4 при превышении задаваемого импульсным модулятором желаемого значения тока устанавливают:

$$t_{зад} < L_n / R_x$$

где $R_x = U_c / I_{разр_макс}$ - характеристическое сопротивление;

$I_{разр_макс}$ - максимально допустимый ток разряда.

При этом избыточная энергия накопителя энергии преобразуется в тепловую энергию, которую генерирует и рассеивает защитная цепь.

Импульсный модулятор 12 гальванически изолируют от цепей формирователя, кроме участка подключения к датчику тока, что позволяет не применять оптоэлектронные изоляторы аналоговых сигналов и уменьшить время задержки тзад управления ВЧ-ключом.

Формируемое распределение энергии в импульсе может быть как predetermined, так и адаптируемым к технологической нагрузке. Для формирования импульса в технологической нагрузке 9 предварительно заряжают от источника высокого напряжения 1 емкостной накопитель 2 до напряжения U_c . Заниженное напряжение на емкостном накопителе энергии 2 не позволяет получить требуемое распределение энергии в формируемом импульсе. В этой ситуации импульсный модулятор 12 управляет ВЧ-ключом 4 с минимальной скважностью импульсов управления. Перед формированием импульса желательно измерить сопротивление технологической нагрузки 9 для определения оптимального напряжения заряда емкостного накопителя энергии 2. Включают импульсный модулятор 12 и НЧ-ключ 8. Формируют опорный сигнал в формирователе 14 аналоговым и/или цифровым способом. При этом начинают отсчет длительности формируемого импульса, а импульсный модулятор 12 обеспечивает регулирование времени открытого и/или закрытого состояния ВЧ-ключа 4 в контуре обратной связи по току. После завершения отсчета длительности отключают импульсный модулятор 12. Переключения ВЧ-ключа 4 прерывают. НЧ-ключом 8 разрывают цепь нерегулируемого тока. НЧ-ключ 8 устанавливают в стационарно закрытое состояние.

Пример 2. На фиг.4 приведен пример функциональной схемы формирователя биполярных импульсов с регулируемой формой. Между точками С и F установлены верхний (Z) и нижний (S) выводы моста 15. Четыре НЧ-ключа 8 образуют плечи моста 15. Между плечами моста 15 (точки X и Y) установлена технологическая нагрузка 9. При переключении НЧ-ключей 8 обеспечивают: изменение направления тока формируемого импульса; разрыв цепи тока; шунтирование технологической нагрузки 9 плечами моста 15. Параллельно технологической нагрузке 9 в точках X и Y установлен конденсатор 16 НЧ-фильтра.

Пример 3. Возможно воплощение изобретения в схемах, содержащих несколько формирователей импульсов. В схеме фиг.5 используют отдельные формирователи положительной и отрицательной полярности с работой в разных фазах, что дает возможность формирования биполярного регулируемого импульса. Смену направления тока на технологической нагрузке 9 обеспечивают при соответствующем переключении с одного преобразователя 3 и НЧ-ключа 8 на другой преобразователь 3 и НЧ-ключ 8.

Пример 4. На фиг.6 приведен пример схемы формирователя биполярных импульсов регулируемой формы с мостом 15, содержащим НЧ-ключи 8 на основе ОТТ, и дополнительным низкочастотным ключом 17 с постоянной обратной проводимостью. НЧ-ключ 17 установлен между линейным дросселем 7 (в точке С) и верхней точкой тиристорного моста 15 (в точке Z). ВЧ-ключи 4 включают при предварительном включении НЧ-ключа 17. Отключают НЧ-ключ 17 после выключения ВЧ-ключей 4. Параллельно НЧ-ключу 17 установлена защитная цепь 5. Между точками F и G установлен датчик тока 10. Между точками F и Z установлен датчик напряжения 18.

В устройство управления 19 поступает информация о напряжении заряда емкостного накопителя 2 с датчика тока 10 и с датчика напряжения 18. Устройство управления 19 обеспечивает регулировку заряда емкостного накопителя энергии 2 и управляет работой ВЧ-ключей 4, НЧ-ключом 17, НЧ-ключами 8. На фиг.7 изображен импульс разряда емкостного накопителя энергии 2 с импульсной мощностью 40 кВт.

Для формирования импульса энергии регулируемой формы, например положительной полярности, включают НЧ-ключ 17, далее включают ВЧ-ключи 4 и НЧ-ключи 8 (ОТТ VS1 и VS4). Для завершения формирования импульса переводят ВЧ-ключи 4 в стационарно закрытое состояние и закрывают НЧ-ключ 17. При этом цепь тока разряда Iразр обрывается. Энергия, накопленная в линейном дросселе 7, вызывает протекание тока отрицательного направления через диоды ВЧ-ключей 4, емкостной накопитель энергии 2 и запираемые ОТТ VS1 и VS4, замыкая цепь через диод НЧ-ключа 17.

Пример 5. При расчете основных элементов преобразователя 3 (схемы фиг.1, фиг.4, фиг.5, фиг.6 или другие воплощения изобретения) учитывают формы желаемого распределения энергии.

На фиг.8 приведены примеры распределения энергии в импульсах регулируемой формы, которые возможно реализовать с помощью изобретения.

Фигура 20 - нарастание энергии с некоторого начального уровня с участками нулевой энергии.

Фигура 21 - равномерное распределение энергии.

Фигура 22 - распределение энергии с заданной скоростью нарастания.

Фигура 23 - последовательность импульсов нарастающей амплитуды синусоидальной формы.

Фигура 24 - нарастание энергии до заданного уровня, ее стабилизация на этом уровне в течение заданного времени и переход на другой уровень стабилизации.

Авторами изготовлены рабочие макеты формирователей импульсов дефибриллятора по схеме фиг.6. Получены следующие результаты:

- формирование импульсов по форме опорного сигнала с плавным нарастанием тока до уровня 20 А на нагрузке 100 Ом (см. фиг.7);

- проверена возможность реализации повторяющихся режимов короткого замыкания при максимальном напряжении 2400 В;

- достигнута стабилизация формируемого тока в диапазоне от 0,5 А до 30 А;

- время установления стабилизации тока после скачкообразного уменьшения сопротивления нагрузки от 100 до 50 Ом составило не более 20 мкс;

- максимальная погрешность задания энергии 260 Дж в технологической нагрузке при формировании биполярных импульсов на нагрузке 50 Ом при напряжении на емкостном накопителе энергии 2000 - 2400 В составила не более $\pm 4\%$ при проведении более 10000 разрядов.

Технический результат достигают за счет того, что обеспечивают возможность

разряда энергии при высоких допустимых напряжениях высокочастотного ключа или высоковольтного столба на его основе. Такую возможность обеспечивают установкой защитной цепи со свойствами ограничителя напряжения в специальном режиме применения, введением низкочастотного ключа и быстродействующим режимом стабилизации тока формирователя импульсов. С ростом максимально допустимого напряжения заряда емкостного накопителя энергии появляется возможность увеличить энергию регулируемых импульсов, диапазон регулирования параметров импульса и/или снизить габариты емкостного накопителя энергии.

Возможность увеличения рабочей частоты ВЧ-ключа при высоких напряжениях способствует точности задания формы регулируемого импульса. Излишне высокое напряжение заряда накопителя энергии приводит к быстрому преобразованию избыточной энергии в тепловую энергию, выделяемую в защитной цепи. При этом снижаются динамические потери при каждом переключении ВЧ-ключа и частота его переключений на критическом участке разряда. Энергия импульса может нарастать, спадать в один или несколько этапов, изменять направление, колебаться относительно заданных уровней не зависимо от изменения сопротивления нагрузки. Формируемое распределение энергии в импульсе может быть predetermined или адаптируемым к технологической нагрузке.

Таким образом, цель - увеличение энергии импульсов, повышение точности и расширение диапазона регулирования параметров, уменьшение габаритов, а также увеличение надежности - достигнута.

Формула изобретения

1. Формирователь импульсов энергии регулируемой формы для воздействия на технологическую нагрузку, содержащий, по меньшей мере, один емкостной накопитель энергии и один преобразователь на основе индуктивного накопителя энергии и ключа, при этом ключ пропускает или блокирует ток разряда емкостного накопителя энергии с высокой частотой переключений с управлением от импульсного модулятора, отличающийся тем, что преобразователь содержит один или несколько последовательно соединенных ключей с постоянной обратной проводимостью (ВЧ-ключей), образующих секции высокочастотного столба (ВЧ-столба), параллельно ВЧ-ключу (каждой секции ВЧ-столба) подключена защитная цепь, ограничивающая напряжение на ВЧ-ключе (на каждой секции ВЧ-столба), защитная цепь обладает соответствующим образом подобранными параметрами и пропускает ток разряда емкостного накопителя энергии, проявляя ограничительные свойства, при напряжении, которое не превышает максимального напряжения заряда емкостного накопителя энергии, и при котором ВЧ-ключ или секции ВЧ-столба сохраняют блокирующую способность, а в цепи действия тока технологической нагрузки установлен, по меньшей мере, один ключ, способный блокировать ток разряда емкостного накопителя энергии на низкой частоте.

2. Формирователь по п.1, отличающийся тем, что в цепях импульсного модулятора применяется, как минимум, контур обратной связи по току технологической нагрузки, который регулируется по текущему уровню опорного сигнала.

3. Формирователь по п.1, отличающийся тем, что в цепи формируемых импульсов энергии установлен, по меньшей мере, один мостовой переключатель полярности тока в технологической нагрузке, содержащий ключи, способные блокировать ток разряда емкостного накопителя энергии.

4. Формирователь по п.3, отличающийся тем, что мостовой переключатель

полярности тока в технологической нагрузке выполнен на основе однооперационных триодных тиристоров (ОТТ).

5 5. Формирователь по п.1 или 3, отличающийся тем, что он содержит комбинированную мостовую схему переключения полярности, использующую в составе моста, по меньшей мере, один ВЧ-ключ, переключающийся на высокой частоте.

10 6. Формирователь по п.1, отличающийся тем, что он образован преобразователями с НЧ-ключами, которые разряжают разделенные и/или электрически связанные емкостные накопители энергии, одновременно или в разных фазах.

15

20

25

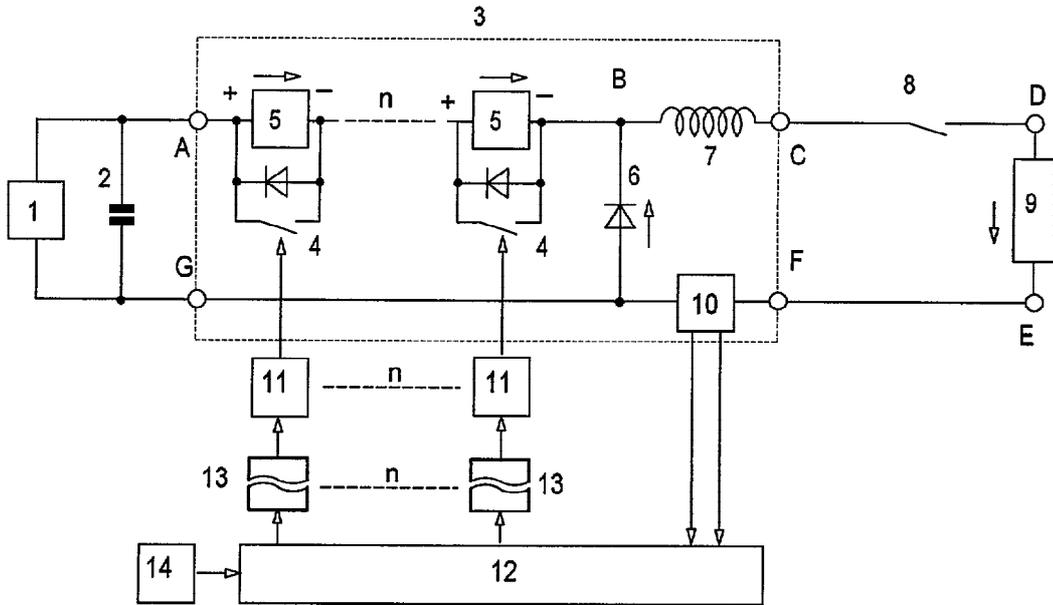
30

35

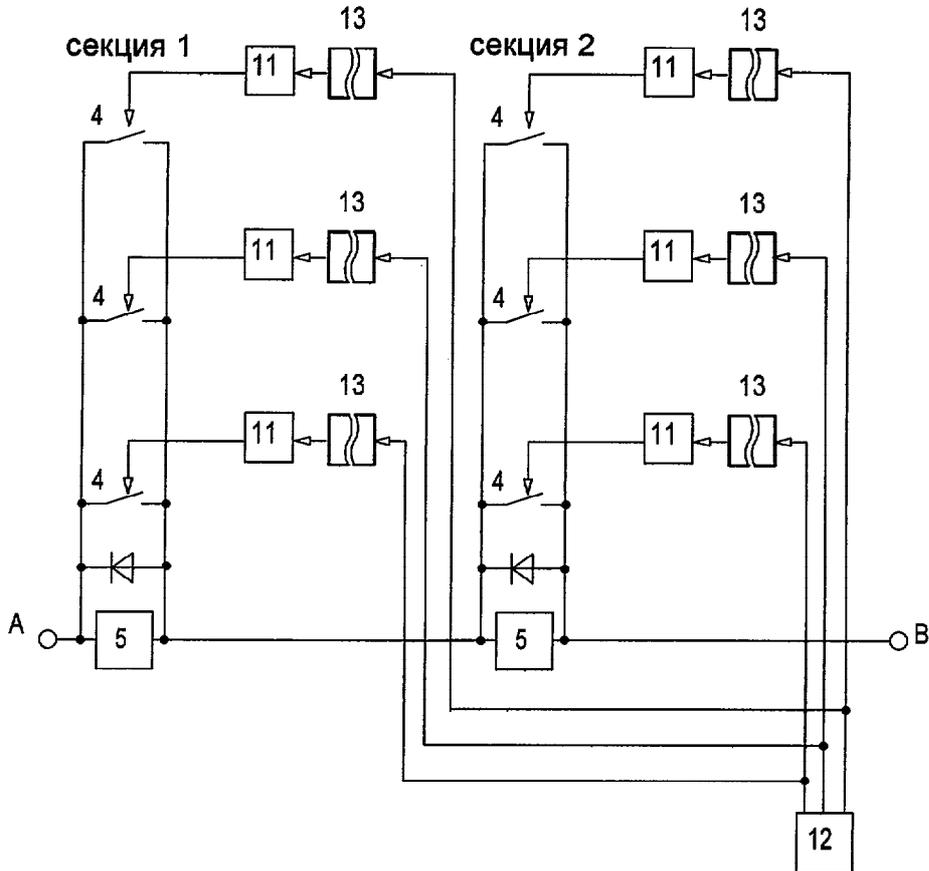
40

45

50

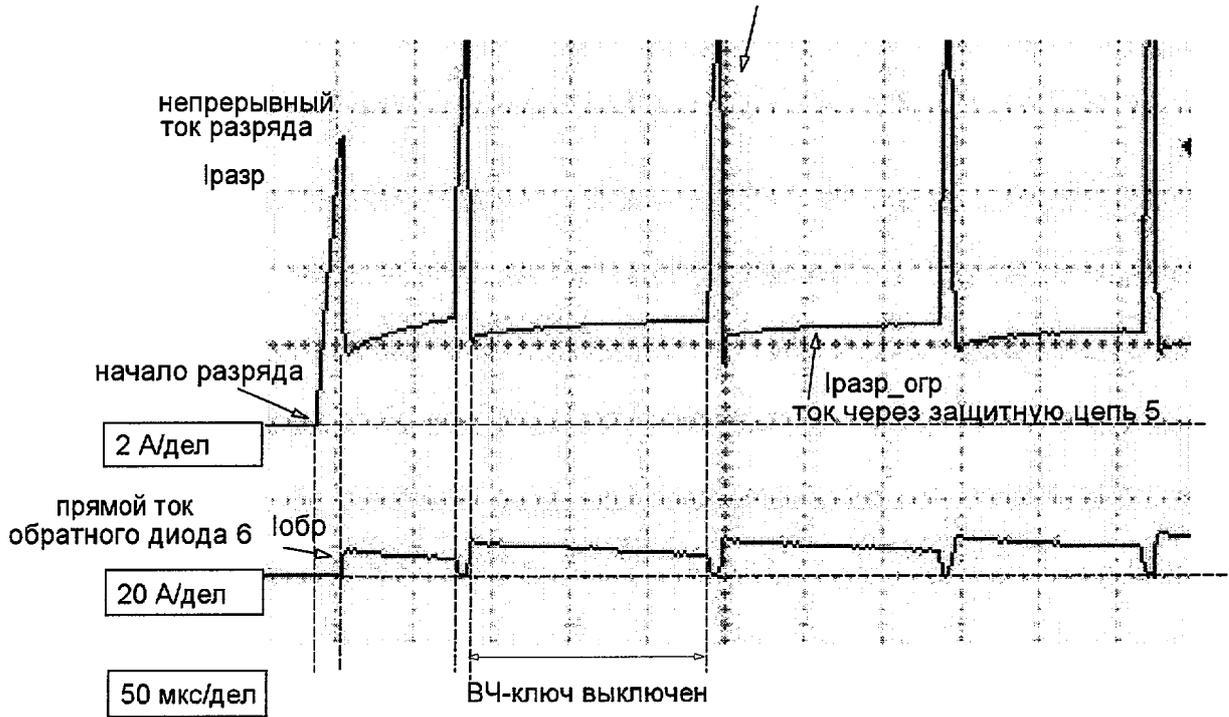


Фиг.1

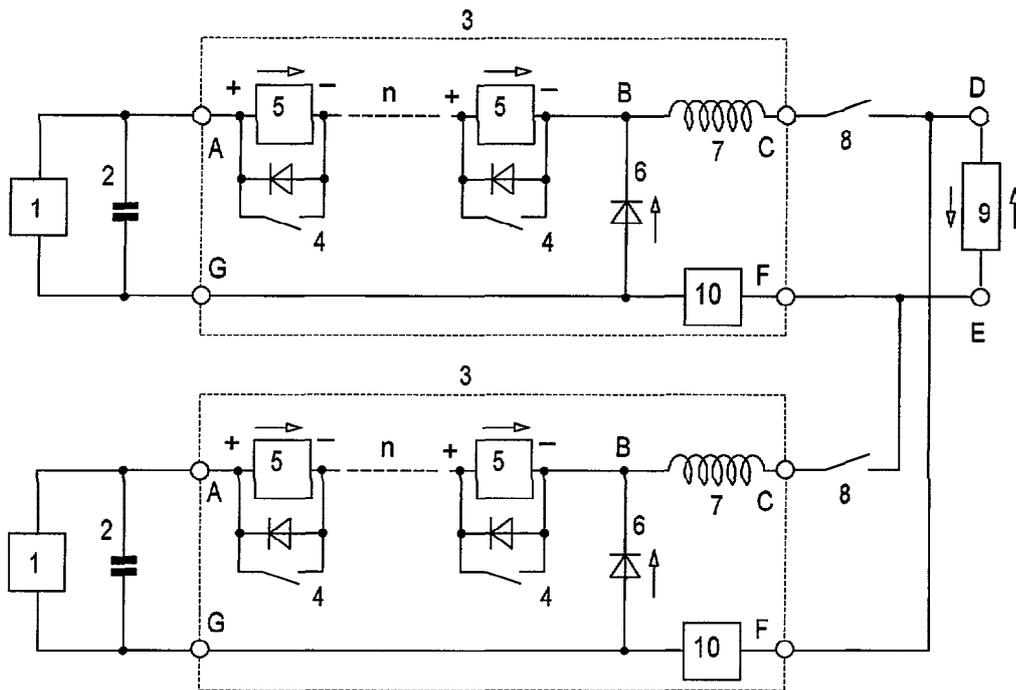


Фиг.2

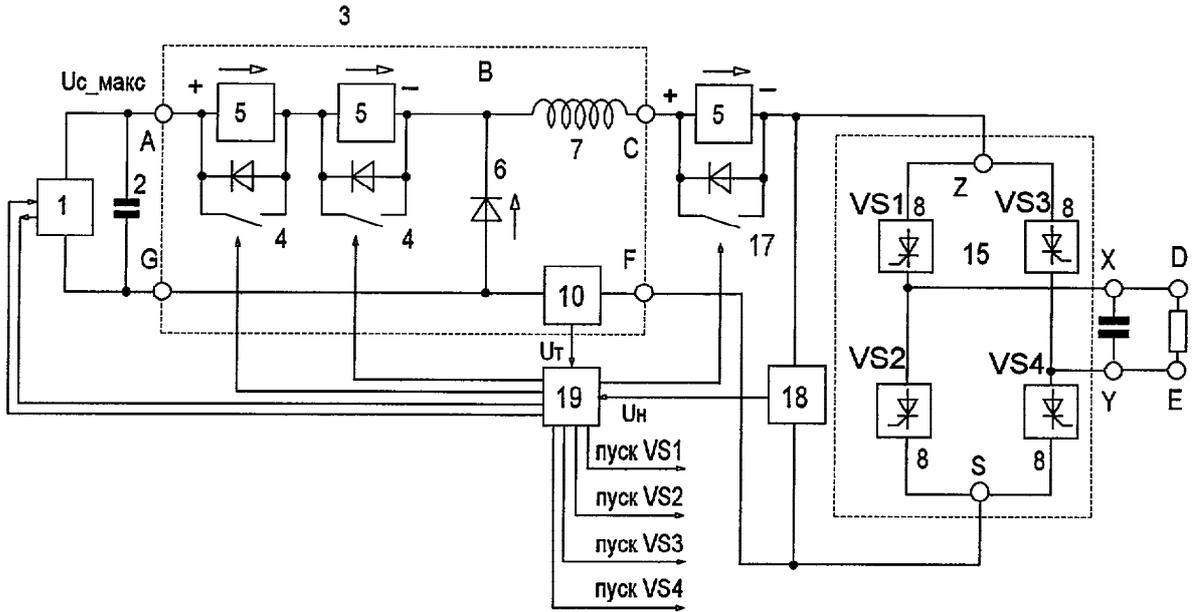
ток через ВЧ-ключ 4
 $I_{разр_вч}$



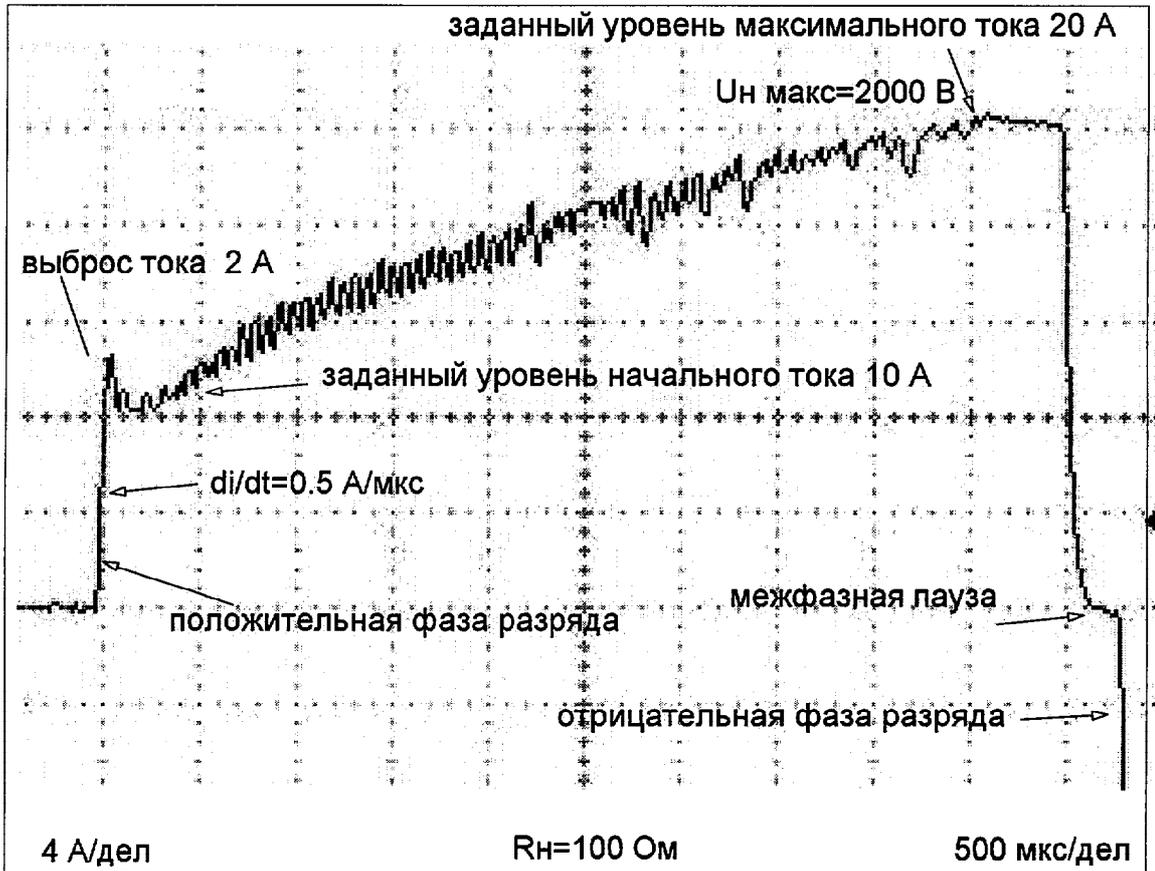
Фиг.3



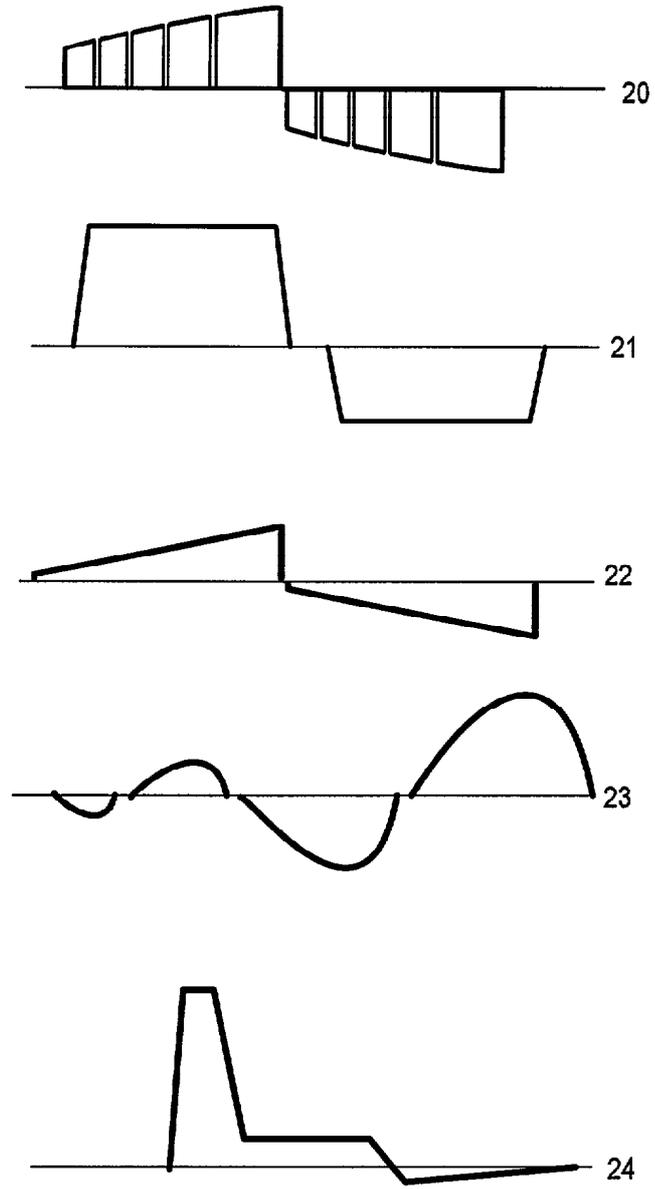
Фиг.5



Фиг.6



Фиг.7



Фиг. 8